وسائل تطوير محطات تنقية المياه

منظمة الصحة العالمية
المكتب الاقليمي لشرق المتوسط
المركز الاقليمي لأنشطة صحة البيئة
عمان-الأردن
2004

Upgrading Water Treatment Plants

بيانات الفهرسة أثناء النشر
منظمة الصحة العالمية- المكتب الإقليمي لشرق المتوسط
المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة، مترجم
وسائل تطوير محطات تنقية المياه
صدرت الطبعة الإنجليزية في جنيف 2001 ISBN 0 419 26050 1
وصدرت الطبعة العربية في عمان 2004 ISBN 92-9021-370-1

وقد منح المدير العام لمنظمة الصحة العالمية حقوق تعريب هذه الوثيقة للمركز الاقليمي لانشطة صحة البيئة التابع لمنظمة الصحة العالمية. والمركز هو المسؤول الحصري عن الطبعة العربية.

ترحب منظمة الصحة العالمية بطلبات الحصول على الإذن باستنساخ أو ترجمة منشوراتها جزئياً أو كلياً. وتوجه الطلبات والاستفسارات في هذا الصدد إلى مكتب المطبوعات بمنظمة الصحة العالمية، إقليم شرق المتوسط، القاهرة، الذي يسره أن يقدم أحدث المعلومات عن أي تغييرات تطرأ على النصوص، وعن الخطط الخاصة بالطبعات الجديدة، وعن الترجمات والطبعات المكررة المتوافرة.

© مُنْظَّمَةُ الصِّحَّةِ العَالَمِيَّةُ، 2004

جميع الحقوق محفوظة
إن التسميات المستخدمة في هذه المنشورة، وطريقة عرض المادة التي تشتمل عليها، لا يُقْصَدُ بها مطلقاً التعبير عن أي رأي لأمانة منظمة الصحة العالمية، بشأن الوضع القانوني لأي قطر، أو مقاطعة، أو مدينة، أو منطقة، أو لسلطات أيٍّ منها، أو بشأن حدود أيٍّ منها أوتخومها. وتمثل الخطوط المنقطة على الخرائط خطوطاً حدودية تقريبية قد لا يوجد حولها بعد اتفاق كامل.
ثم إن ذكر شركات بعينها، أو منتوجات جهة صانعة معينة، لايقصد به أن منظمة الصحة العالمية تخصها بالتزكية أو التوصية، تفضيلاً لها على ما لم يرد ذكره من الشركات أو المنتوجات ذات الطبيعة المماثلة.
يمكن الحصول على منشورات منظمة الصحة العالمية من إدارة التسويق والتوزيع، المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية لشرق المتوسط، ص. ب. (7608)، مدينة نصر، القاهرة 11371، مصر (هاتف رقم: 202+ 2535 670؛ فاكس رقم: 2492 670 202+؛ عنوان البريد الإلكتروني: DSA@emro.who.int). وينبغي توجيه طلبات الحصول على الإذن باستنساخ أو ترجمة منشورات المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية لشرق المتوسط، سواء كان ذلك لبيعها أو لتوزيعها توزيعاً غير تجاري إلى المستشار الإقليمي للإعلام الصحي والطبي، على العنوان المذكور أعلاه (فاكس رقم: 5400 276 202+؛ عنوان البريد الإلكتروني: HBI@emro.who.int).

يمكن التوصّل إلى النص الكامل لهذه المنشورة عن طريق الإنترنت
http://www.emro.who.int/ceha/publication.asp

شكر وتقدير

ينتهز مركز منظمة الصحة العالمية الاقليمي لأنشطة صحة البيئة مناسبة اصدار هذه الوثيقة ليعبر عن شكره وامتنانه لمنظمة الصحة العالمية – المقر الرئيسي لموافقته على ترجمتها وطباعتها وتوزيعها في اقليم شرق المتوسط. كما يعرب المركز عن شكره للتالية اسمائهم وذلك عن جهودهم المتعددة في التعريب والتدقيق والتصميم والاخراج والتنفيذ:

الترجمة والتعريب:	المهندس محمد عبد السلام، مركز الاستشارات الهندسية
المراجعة والتدقيق العلمي:	الدكتور المهندس صقر السالم، المركز الاقليمي لأنشطة صحة البيئة
التدقيق اللغوي:	الدكتور قاسم سارة، المكتب الاقليمي لشرق المتوسط
المراجعة والاخراج الفني:	المهندس مازن ملكاوي، المركز الاقليمي لأنشطة صحة البيئة
	المهندس أحمد الكوفحي، جمعية البيئة الأردنية
	السيدة رهام اليمن ، المركز الاقليمي لأنشطة صحة البيئة

تمهيد

انصب اهتمام منظمة الصحة العالمية منذ سنوات على دراسة المياه المتاحة والآمنة، وأولت مياه الشرب اهتماماً خاصاً، وقد عملت المنظمة منذ ذلك الوقت على تشجيع المجتمعات للحصول على مياه شرب آمنة، بالتعاون مع مجلس التعاون لتوفير المياه والصحة البيئية، من خلال المجموعة العاملة في التشغيل والصيانة. وقد أصدرت المنظمة عدة كتيبات وأدلة تعليمية، ومعلومات أخرى حول هذا الموضوع.

يوجد عدة طرق لسد الطلب على المياه، ولكن متخذي القرار حتى الآن لم يأخذوا بعين الاعتبار الطريقة ذات التكلفة المعقولة المتمثلة برفع كفاءة محطات تنقية المياه القائمة، وتحسين فاعلية منشآتها الهيدروليكية القائمة، وزيادة فاعلية عمليات التنقية فيها. إن مثل هذه التحسينات متوسطة التكلفة إذا قورنت باستثمار رأس مال كبير لإنشاء محطات تنقية جديدة، يمكن أن يكون من نتيجتها زيادة حجم الإنتاج إلى ضعفين أو ثلاثة أضعاف. وفي نفس الوقت يمكن تحسين عمليات التنقية لزيادة الإنتاج وتحسين جودة المياه المعالجة.

يعتمد هذا الكتاب على خبرة طويلة في إعادة تأهيل عدد كبير من محطات تنقية المياه في جميع أنحاء العالم. وقد ازدادت سعة هذه المحطات ازدياداً كبيراً، وتحسنت جودة المياه التي تنتجها بشكل واضح. وهذا أمر متوقع لأن معظم محطات تنقية المياه في الدول النامية تعتمد على أفكار تمت بلورتها في بداية القرن العشرين، عندما كانت جوانب متعددة من عمليات التنقية غير مفهومة بشكل كامل. لذلك فإن زيادة كبيرة في أحجام المنشآت وكميات تدفق المياه الخام قد استخدمت في تصميم وإنشاء محطات التنقية لتعالج هذا النقص. وزيادةً على ذلك فإن معظم الأجهزة والأدوات الموجودة في محطات التنقية في الدول النامية لا تعمل بشكل جيد. وتتفاقم المشكلة سوءاً إذا كان التصميم والمواصفات والتركيب سيئاً جداً.

يحتوي هذا الكتاب على أفكار يمكن تطبيقها بشكل خاص في الدول النامية، لذلك فقد تم التوجه نحو تشغيل يعتمد على الأيدي العاملة بشكل مكثّف، ويقلل من الاعتماد على استعمال الأجهزة الإلكترونية أو الميكانيكية، ويُركّز على استعمال القوى الهيدروليكية والانسياب الطبيعي بدلاً من استخدام المضخات أو المحركات، وذلك للتقليل من متطلبات الصيانة .

بُذِل جهد كبير لتبسيط تصميم وحدات المعالجة لتقليل تكلفة الإنشاء والصيانة والتشغيل. كما تم التركيز على التحاليل الكيميائية والفيزيائية والميكروبيولوجية للمياه الخام المراد معالجتها، وعلى تجميع المعلومات عن نتائج التشغيل والفحوصات المخبرية وإنشاء محطات تنقية تجريبية.

يمكن تطبيق الأساليب المقترحة في هذا الكتاب، ليس فقط للحصول على الفائدة العظمى من محطات تنقية مياه قائمة، ولكن أيضا لتصميم محطات تنقية جديدة. لذلك سيكون الكتاب مصدراً قيّماً لمعلومات تفيد المصممين والمهندسين والاستشاريين والمشغلين. إضافة إلى الفائدة التي سيقدمها إلى الإداريين في الهيئات المالية ورؤساء صحة البيئة والطلاب .

قائمة المحتويات

الفصل الأول: المتطلبات الأساسية للحصول على الفائدة المثلى

1-1	مقدمة	1
2-1	دائرة الموظفين	1
3-1	الهيكل الإداري	4
4-1	صيانة المحطة	5
5-1	تدبير المحطة	6

الفصل الثاني: تقييم كفاءة محطة التنقية وتحديد الأعطال

1-2	مراقبة تشغيل المحطة	9
2-2	مأخذ الماء الخام	11
3-2	قياس المياه الخام	11
4-2	التعامل مع المخثّر	11
5-2	أنظمة التندف	13
6-2	خزانات الترسيب	16
7-2	المرشحات	18
8-2	التطهير	19
9-2	المعادلة	21

الفصل الثالث: تحليل المياه لضبط تشغيل المحطة

1-3	المتغيرات الفيزيائية	23
2-3	المتغيرات البيولوجية	25
3-3	المتغيرات الكيميائية والملوثات	26
4-3	التحاليل المخبرية	31

الفصل الرابع: تشغيل وتطوير المحطات

1-4	سجلات المحطة	35
2-4	مأخذ المياه الخام وكمية التدفق	35
3-4	إعادة تأهيل مبنى حفظ المواد الكيميائية	37
4-4	وحدات المعالجة الأولية	39
5-4	إعادة تأهيل المرشحات	43
6-4	تشغيل المرشح	46
7-4	المعادلة	50

الفصل الخامس: تحديد معايير التصميم

1-5	مقدمة في فحوصات المختبر	53
2-5	عوامل التشغيل والتصميم	55
3-5	الحيز اللازم للأجهزة والأدوات المخبرية	58
4-5	الفحوصات المخبرية للمعالجة التقليدية	60
5-5	الفحوصات المخبرية للترشيح المباشر	70
6-5	جمع عينات لتحديد كفاءة محطة التنقية	74
7-5	المحطات التجريبية	80
8-5	محطة التنقية كمحطة تجريبية	95

الفصل السادس: التطهير
6-1 اختيار عملية التطهير 101
6-2 الأخطار الصحية الناتجة عن الكلورين 101
6-3 تصميم خدمات الكلورين 102
الفصل السابع: تطوير محطات التنقية للحصول على الفائدة المثلى
7-1 تطبيق تكنولوجيا جديدة 121
7-2 الحصول على الفائدة المثلى في محطات التنقية 122
7-3 معلومات تصميمية 124
الفصل الثامن: الحصول على الفائدة المثلى وتطوير محطة ذات سعة من 100 لتر/الثانية إلى 250 لتر/الثانية
8-1 تقييم محطة قائمة 137
8-2 صفات المحطة المحسنة 142
8-3 غرفة المدخل 144
8-4 الخلط الأولي للمخثِّر والمياه الخام 145
8-5 التندف 145
8-6 توزيع الماء المندَّف على أحواض الترسيب 150
8-7 خزان الترسيب 154
8-8 المرشحات 164
8-9 ملخص 169
الفصل التاسع: الحصول على الفائدة المثلى وتطوير محطة ذات سعة من 1 م^3/ثانية إلى 2 م^3/ثانية
9-1 تقييم المحطة القائمة 171
9-2 التحسينات المطلوبة لزيادة الكفاءة 174
9-3 تعديلات في التصميم 176
الفصل العاشر: الحصول على الفائدة المثلى وتطوير محطة ذات سعة من 20 م^3/الثانية إلى 50 م^3/الثانية
10-1 تقييم المحطة الأصلية 199
10-2 كفاءة المحطة 202
10-3 تحسين المعاملات التي تم تجديدها بوساطة اختبار الجرة 203
10-4 تعديلات تصميمية للحصول على الفائدة المثلى وتطوير المحطة 203

قائمة المصطلحات العلمية 209
قائمة المفردات المستخدمة في التعريب 211
قائمة المراجع 215

الفصل الأول

المتطلبات الأساسية للحصول على الفائدة المثلى

1.1 مقدمة

يمكن تطبيق فكرة مضاعفة فاعلية محطات تنقية المياه عن طريق تحسين ظروف التشغيل على جميع المحطات، لأن تحسين ظروف التشغيل يمكن أن يتم سواء أكانت المحطة ذات أجهزة معقدة للمراقبة والتحكم، أم كانت لا تملك المختبر أو الأجهزة المناسبة، وسواء أكان يقوم على تشغيلها مشغلون مدربون مهرة أم مشغلون اكتسبوا هذا العمل عن طريق الخبرة.

يجب أن يشمل التوجه نحو مضاعفة فاعلية تشغيل المحطات شريحةً واسعةً من محطات التنقية، كما يشمل الأشخاص الذين يقومون بتشغيلها. إن تعميم الحديث عن ذلك صعب للغاية، لأن كل محطة، وكل حالة تحتاج إلى مقاييس وإجراءات خاصة للحصول على الكفاءة العظمى. ونظراً لوجود المختبرات الحديثة والأشخاص المدربين في الدول الصناعية فإنه لا يمكن اتباع هذه الإجراءات فس هذه الدول، ولكن معظم أو جميع المقترحات يمكن أن تُحسِّن الوضع بشكل عام في الدول النامية.

يبدأ إنتاج أفضل المياه، وتشغيل المحطة بطاقتها القصوى، بقرار من إدارة مديرية المياه لتحسين ظروف تشغيل المحطة، وتأمين المصادر الضرورية للقيام بذلك. وهذا يعني الحصول على أفضل معالجة لنوع معين من المياه الخام، وتطبيق المعرفة الجديدة التي لم تكن متوفرة لدى مصمم هذه المحطة، واستعمال المعلومات السابقة في تشغيل محطة التنقية كما هو موجود في سجلات المحطة، ومراقبة المشغل اليومية واهتمامه يعتبر مؤشراً مهماً على مثالية المحطة، وكذلك فإن مثابرة وإخلاص المشغلين لفهم أُسس معالجة المياه وتطبيقها بشكل يومي يزيد من مثالية تشغيل المحطة.

إن تحسين ظروف تشغيل محطات التنقية لا يحدث بموجب قرار إداري وحسب، بل بعمل جميع الأشخاص الذين يديرون هذه المحطة بروح الفريق الواحد.

2.1 دائرة الموظفين

يجب أن يتم رفع كفاءة محطات تنقية المياه القائمة عن طريق المشغلين، لأن تصميم وإنشاء هذه المحطات قد تم منذ فترة، بحيث لا يمكن عمل شيء في هذا الخصوص. لذلك فإن كفاءة المحطة هي من مسؤولية موظفي التشغيل بدءاً بمديري دوائر المياه، ومروراً بالمشغلين وانتهاء بعمال المحطة.

1.2.1 الإدارة العليا

في معظم الحالات التي تحتاج لإجراء سريع لرفع كفاءة المحطة، هناك احتمال أن يتم ذلك دون الحاجة إلى أجهزة وأشخاص متخصصين. يحتاج تحقيق هذه المتطلبات إلى تفويض ودعم من الإدارة، من مدير دائرة المياه ومن المهندسين ذوي العلاقة، والأشخاص المسؤولين عن توزيع التمويل وشئون الموظفين.

إن معظم التحسينات ممكنة إذا وجدت الرغبة عند إدارة دوائر المياه، وذلك عن طريق توفير مساعدين لمهندسي التصميم. وتوفير الدعم المالي. وقد ينتج عن ذلك زيادة إنتاج المياه من المحطة إلى ضعفين أو ثلاثة أضعاف مع تحسُّن كبير في نوعية المياه المعالجه وبتكلفة قليلة جداً.

2.2.1 موظفون تقنيون

إن معظم الذين يعتمد عليهم في تحسين فاعلية محطات تنقية المياه هم المشغلون أنفسهم، لكن في معظم المحطات (ولا سيما في الدول النامية، سواء أكانت المحطة صغيرة أم كبيرة) فإن المشغلين نادراً ما يكونون أكفاء للقيام بأعمال المختبرات أو استعمال الأجهزة. كما هو الحال في اختبار الجرة *(Jar Test)* والعكر والأس الهيدروجيني، ونادراً ما يكونون ذوي قدرة على استخدام النتائج والمعلومات المخبرية لتحسين كفاءة المحطة. لذلك فمن المهم توفير شخص متخصص لتدريب هؤلاء المشغلين في هذه المجالات لتشغيل المحطة بكفاءة عالية.

إن الحل الأمثل لذلك هو توفير مهندس ذي مراس، يكون قادراً على فهم الفيزياء والكيمياء بشكل جيد، حتى يكون قادراً على تشغيل المحطة على أكمل وجه، وحتى يستطيع متابعة تعليمات الشركة الصانعة للقيام بعمل الصيانة اللازمة واستخدام المطبوعات الخاصة بتحسين عمل محطات التنقية. إن وجود مهندس قائد لتشغيل المحطة له قيمة كبيرة، لأن المهندس سيكون له القدرة على فهم التصميم واتخاذ بعض التدابير لتحسين المحطة.

يجب توفير مشغِّل أو أكثر لمساعدة مهندس المحطة، بحيث يكون المساعد ممن لديه الخبرة الكافية في مجال تحسين وصيانة المحطة. ويجب اختيار المشغلين الذين لهم القدرة على التعلُّم ولديهم الدوافع الذاتية لتطوير أنفسهم. وإذا كان يتوفر في المحطة مختبر جيد، فيجب على فني المختبر أن يشارك بشكل مباشر بتشغيل المحطة بالطريقة المثلى، ويجب أن يكون لديه معرفة بمتطلبات أعمال الصيانة في المحطة.

إن محاولات الاستفادة من رفع كفاءة محطات التنقية هي عمليات مستمرة، لذا، فإن دور المشغل في هذه العمليات يجب أن يكون على أوسع نطاق، وعلى مدى طويل من مراقبة التشغيل. في معظم محطات التنقية الصغيرة (أقل من 2.5 لتر/الثانية أو 200 م^3 /اليوم) يوجد إحتمال عدم إمكانية القدرة على توفير شخص ذي كفاءة تقنية كافية (مهندس كيميائي أو مشغل ذي مهارة عالية). لذلك يجب الاستعانة بشخص من دائرة المياه، أو من أية دائرة أخرى للقيام بهذه العمليات. ومهما كان الأمر، فإن تدخل شخص من خارج المحطة، يشجع على استعمال المعلومات الموجودة في المحطة، وعلى مراقبة كفاءة المحطة، مما سيؤدي إلى أن يستمر التحسُّن في عمليات التنقية.

3.2.1 مشغلو المحطة

حتى يقوم مشغل محطة التنقية بالأعمال الموكلة إليه بشكل صحيح يجب أن يكون:

- حاصلاً على تدريب في أساسيات تشغيل محطات تنقية المياه.
- حاصلاً على تدريب يؤهله لتشغيل المحطة المعنية.
- قادراً على فهم نوعية المياه الداخلة، والمواصفات المطلوبة للمياه الناتجة فهماً كافياً.
- مُلماً بمهامه الخاصة، وبما عليه أن يقوم به في جميع الأوقات. وأن يكون على علم كامل بالمعلومات التي يجب أن يجمعها أو يحسبها أو يسجلها.

- قادراً على القيام بالمراقبة المناسبة ونقل المعلومات إلى المسئول المباشر.

وسواء أكانت محطة تنقية المياه في الدول المتطورة أم في الدول النامية، فإن هذه المتطلبات- لسوء الحظ- غير مطبّقة. وإن عدداً قليلاً من مصممي محطات تنقية المياه لديهم خبرة في تشغيل هذه المحطات، كما أن عدداً قليلاً من المشغلين لهم دور في المراحل الابتدائية أو المراحل النهائية في تصميم محطات التنقية، وهم الذين ستقع على عاتقهم المسئولية عن المحطة في النهاية . إن إعطاء دور للمشغلين أثناء مرحلة التصميم يقلل أو يحول دون حدوث مشكلات في مرحلة التشغيل. ولكن هذه الحالة نادرة الحدوث، ومن المحتمل عدم حدوثها في الفترة الزمنية القادمة. لذلك فما على المشغل إلاّ أن يتعامل مع المنشآت الموجودة والتي أصبحت من مسؤوليته.

سوف يحفز التنافس مشغل المحطة للقيام ببعض الأعمال المرتبطة بعملية التشغيل على مسؤوليته الخاصة، لتحسين كفاءة المحطة القائمة. بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن إجراء تغيير بسيط في المنشآت ومسارب المياه تحقيقاً للهدف ذاته، ويشتمل هذا التغيير على :

- التحكم بمستوى الماء في منشأة مدخل المياه الخام.
- قياس كميات المياه الداخلة للمحطة.
- التحكم بتركيز محلول التخثير.
- التحكم في تخفيف محلول التخثير والكمية المضافة للمعالجة.
- تركيب بخاخ ذي كفاءة عالية.
- اختيار موقع للبخاخ بحيث يعطي أقصى فاعلية له في حوض التكثيف.
- تحسين شكل وموقع عوارض المياه في حوض التندف.
- تحسين مدخَل الطاقة لخزانات التندف الميكانيكية.
- إزالة وتنظيف وتبديل الرمال والحصى الداعم في المرشح.
- بناء طبقة من الحصى الداعم وذلك باستعمال تدرج عكسي.
- تصليح الأجزاء السفلية من المرشحات إذا تضررت.
- التأكد من معدل التدفق للمرشح وللغسيل العكسي.
- التحكم في كمية جرعات الكلور والجير.
- تعديل الأس الهيدروجيني بعد إضافة الكلور.
- وضع برنامج لأعمال صيانة أجهزة ومباني المحطة.

وعند دعم دائرة المياه لمهندسي الدائرة الفنية، إضافة إلى الدعم المالي، فإن التنافس بين المشغلين قد يجعلهم يقومون بما يلي:

- تحسين أو تغيير مكان منشأة توزيع المياه الداخلة لتحسين نوعية المياه.
- تصميم وبناء هدار لقياس كمية المياه الخام الداخلة بدقة.
- بناء أو تركيب نافث لرش محلول المكثف على الهدار.
- إعادة تصميم أو تعديل القناة الرئيسة لتوزيع كمية التدفق إذا لزم الأمر على الخزانات.

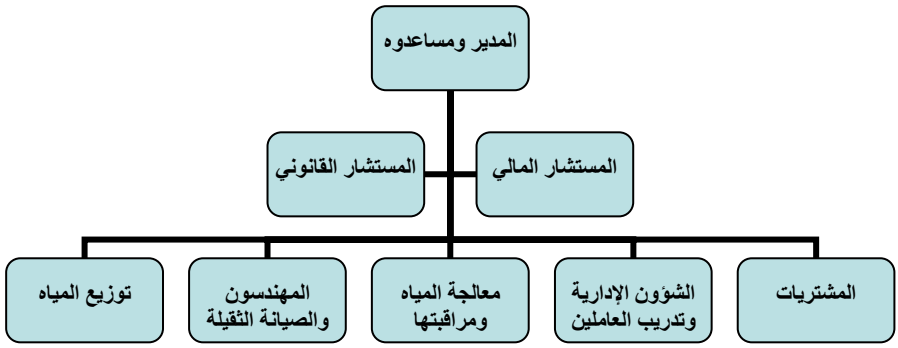
- تزويد خزان التندف بمصدر للطاقة بتصميم مناسب.
- تصميم وإنشاء حجرات لخزان التندف الذي يَستَخدم خلاطاً ميكانيكياً أو تحسين الحواجز لهذه الخزانات وذلك لزيادة كفاءة الخلط.
- تصميم وبناء وحدات تندف مساعدة إذا لزم الأمر.
- تصميم وبناء حواجز مثقبة عند مداخل خزانات الترسيب.
- تصميم وتركيب أنظمة ذات كفاءة عالية لإزالة المواد المترسبة.
- فحص ضغط الماء الفاقد في المرشحات، وحساب أقصى تدفق ممكن.
- تحسين مخارج خطوط المياه الموجودة في قاع المرشحات، لزيادة تدفق المياه الخارجة إلى 400-450 م^3/م^2/اليوم.
- إزالة أجهزة التحكم بما يتناسب مع حجم التدفق، وتصميم وتركيب قرص مثقبٌ على مخرج المرشح، وذلك للتحكم بأقصى معدل للترشيح ليناسب وحدة التحكم ذات التدفق المتناقص.

نستنتج من هذه القوائم، أن موظفي التشغيل يستطيعون عمل الكثير من التحسينات على عملية التشغيل (بالاعتماد على أنفسهم أو بمساعدة فنية ومالية من دائرة المياه). يمكن أن تحسن هذه العمليات نوعية المياه المعالجة، وتقلل تكلفة المحطة، وفي معظم الحالات تزيد من إنتاجية المحطة.

3.1 الهيكل الإداري

إن تشغيل المحطة، وكذلك صيانتها بكفاءة عالية، يحققان الفائدة المثلى منها، ويعتمد ذلك على الإدارة الممتازة التي تنتهجها دائرة المياه، ابتداء من الإدارة العليا وانتهاءً بالإدارة المباشرة عن تشغيل المحطة. معظم إدارات المياه تم تنظيمها كما يوضح الشكل رقم (1-1) .

تنظيمياً تُلحق محطات المعالجة بقسم المعالجة، وقد يكون هناك أكثر من محطة في المدينة الواحدة، وذلك حسب حجمها. إن محطة التنقية التي تعالج 200-300 لتر/ث، وتعمل على مدار الساعة، يجب



شكل رقم 1-1الهيكل التنظيمي الإداري لوحدات المياه متوسطة الحجم

أن تحتوي على كوادر تشمل رئيس مشغلين، ومساعد لرئيس المشغلين، بالإضافة إلى ثلاثة أو أربعة عمّال، ومتخصص أو أكثر في مجال الكهروميكانيك، ومن أربعة إلى خمسة عمّال ، وفني مختبر واحد وكاتب إداري واحد.

يكون رئيس المشغلين مسؤولاً عن التشغيل والصيانة، والإشراف على جميع الأعمال في المحطة بشكل عام، وقد يحتاج هذا الرئيس إلى مساعد حتى يستطيع القيام بعمل المشغل الرئيس في حال المرض والإجازات، ويكون مسؤولاً عن تزويد المحطة بالمواد الكيميائية والمواد اللازمة لعمل الصيانة اليومية للأجهزة وللمحافظة على استمرارية عمل المحطة.

يجب أن يتواجد في الوردية الواحدة (8-12 ساعة) مشغل واحد، يكون مسؤولاً عن تشغيل المحطة، لإعداد الجرعة الصحيحة، وللسيطرة على تدفق المياه إلى المحطة، ليحقق الكمية المطلوبة لحاجة السكان، ولأخذ أية ملاحظات تجلب اهتمام المشغل. إن الكهروميكانيكي في المحطات الصغيرة يكون متواجداً عادة في الفترة الصباحية (خلال النهار) ليعمل على إصلاح أي عطل يحتاج إلى خبرة خاصة. إن المضخات والمحركات والأجهزة دائماً بحاجة إلى صيانة وإصلاح، لذلك فإن الكهروميكانيكي يعمل بشكل منتظم في أعمال الصيانة وتجديد الأنابيب والأعمال الهيدروليكية والإنشائية في المحطة. أما الحالات الخطيرة (التي تحتوي على أعمال إصلاح والتي تحتاج إلى خبرات إضافية) فهي تحتاج إلى مساعدة دائرة الهندسة. كما يجب أن يتواجد في كل وردية عامل أو اثنان، للقيام بأعمال النظافة العامة، ومساعدة الكهروميكانيكي. وبحسب حجم المحطة فقد يكون من الضروري تواجد فني مختبر للقيام بأعمال المراقبة المخبرية المنتظمة وعمل الفحوصات اللازمة، وكاتبٍ يكون مسؤولاً عن إنتاج التقارير وحفظ سجلات الجرد (الموجودات)، والقيام بالأعمال الإدارية الأخرى مثل سجلات دوام الموظفين وتقاريرهم الشخصية.

هؤلاء هم الأشخاص الذين يعتمد عليهم بشكل مباشر للحصول على الفائدة القصوى من محطة التنقية. إن تدريبهم وإعطاءهم الحوافز عاملٌ مهم جداً لزيادة وتحسين نجاح عمليات التنقية. وللحصول على الفائدة القصوى الكاملة فإن هؤلاء الأشخاص بحاجة إلى اهتمام الإدارة العليا بهم ودعمهم وتوفير الأجهزة المناسبة لعملهم، ومساعدة قسم الهندسة لهم. ويمكن إضافة محطة تنقية جديدة إلى القائمة لإنتاج كميات مياه أكثر وذات جودة أفضل.

1. 4 صيانة المحطة

إن أهمية صيانة محطة تنقية المياه هي أمرٌ واضح جداً. لذلك فإن الصيانة السيئة في بعض الحالات تؤدي إلى تكرار الحاجة لأعمال الصيانة. وهذا الموضوع كبير، وتغطيته بشكل عميق خارج نطاق البحث في هذا الكتاب. لذلك فإن أعمال صيانة المحطة سوف يُتطرّق إليها فقط بشكل عام مع العناية الخاصة بالمضخات والمحركات.

تحتاج الصيانة إلى الاهتمام بمنشآت المحطة وأجهزتها بطريقة تؤدي إلى ضمان استعمالها لأطول فترة زمنية، وإلى منع توقف المحطة ومجابهة الحالات الطارئة فيها. إن القواعد العامة التي يمكن ذكرها والتي تغطي طريقة الصيانة بشكل عام تشتمل على:

- توفير إدارة جيدة للمحطة تضمن نظافة وترتيب وتنظيم جميع محتويات المحطة. وهذا له أهمية كبيرة في تشغيل المحطة بشكل فعّال، وينعكس ذلك على تشغيل المحطه والعاملين فيها.
- تطوير خطة يومية لتشغيل المحطة ومتابعتها. يجب أن يعرف كل شخص في المحطة عمله ومتى وكيف يقوم به، حتى تعمل المحطة بشكل مرن ودون مشكلات.
- تطوير الخطة اليومية حسب ما تتطلبه الخبرة والظروف. بشكل عام لا توجد خطة كاملة تماماً، والظروف غير المتوقعة قد تحتاج إلى تغييرات في الخطة أو طرح خيارات مختلفة. وعليك أن تجعل هذه الترتيبات مشمولة في الخطة اليومية حتى لو كانت تستعمل في ظروف خاصة فقط. فعلى سبيل المثال، عند وجود عكر عالٍ يجب على المشغل في هذه الحالة أن يعرف ما عليه أن يفعل.

- اتباع توصيات الشركة الصانعة لتشغيل وصيانة الأجهزة. فجميع الأجهزة تكون مزودة بتعليمات خاصة. وفي بعض الأحيان بكتيبات بلغة أجنبية يجب ترجمتها بشكل جيد حتى لا تترجم تفصيلات دقيقة ترجمة مخطوءة. هناك احتمال وجود بعض العيوب في الأجهزة، تكون أحياناً مهمة، لكن معظم المشكلات في محطات التنقية تكون ناتجة عن عدم القدرة على اتباع التعليمات أو الفهم الخاطئ لهذه التعليمات.
- وضع ومتابعة المراقبة والتشحيم الروتيني لكل الأجهزة في المحطة. يجب أن تتبع توصيات الصانع في تنظيم الصيانة وأساليبها المتبعة في المحطة. ويجب أن تحفظ تقارير أعمال الصيانة في سجلات الصيانة من أجل مراقبة التنفيذ كما سيتم مناقشه ذلك لاحقاً.
- الاحتفاظ بسجلات لأعمال الصيانة والإصلاح المنفذة لكل قطعة من قطع أجهزة المحطة، وحفظ هذه السجلات المهمة لفترة طويلة، في ملفات تبين أي جزء من الجهاز سهل، وأيها صعب ومكلف في التشغيل والصيانة، وصولاً إلى التقرير بقبول هذه الأجهزة أو رفضها. مثال على ذلك (سجل المضخة) كما هو واضح في جدول رقم 1-1.
- وضع خطة لصيانة منشآت المحطة. فكل من التنظيف والدهان والصيانة الروتينية المستمرة تعمل على إطالة أمد هذه المنشآت. إن معظم محطات التنقية تشتغل في ظروف تتآكل فيها الأجهزة مما يستلزم تجديد طبقة الحماية باستمرار. إن الإخفاق في إصلاح سطح المنشآت الخرسانية يسبب تعرض حديد التسليح للتآكل ثم ضعف المنشأ وفقدانه. إن الصيانة الوقائية الجيدة تمنع الخسارة الكبيرة.
- استعمال الصور الفوتوغرافية حيثما أمكن ذلك. حينما تكون هناك حاجة لتسجيل ظرف خاص مهم. فالصورة الفوتوغرافية تكون مفيدة جداً في توثيق الحالة وإبرازها كما كانت في ذلك الوقت.
- الحفاظ على مشْغَل مُعَد إعداداً جيداً يحتوي على قطع غيار كهروميكانيكية، وعلى كمية كافية من الأنابيب والأسلاك الكهربائية الضرورية، وعلى قطع الغيار الأساسية. إن المضخات والمحركات وما شابه ذلك من أجزاء الأجهزة معرضة للتآكل، لذلك فإن المشْغَل الجيد والميكانيكي الكفء هم أساسيون في الحفاظ على المحطة في ظروف جيدة. وقد تُفقَد بعض الأدوات أحياناً أو تُعار، لذلك فإن العمل على الاحتفاظ بأدوات احتياطية مهم جداً. مثال على ذلك، ينبغي أن يكون لدى كل عامل يستعمل الأدوات مجموعة من الرقائق (قطع معدنية خاصة)، تُستَبدَل كل واحدة منها بأداة من الأدوات المحفوظة في المستودع إذا أراد استعارتها، ويستطيع استرجاع الرقيقة عندما يعيد الأداة المستعارة إلى المستودع.

5.1 تدبير المحطة (*Housekeeping*)

يعني تدبير المحطة أن تبقى نظيفة ومنظمة ومرتبة. هذا يعني أن ساحات المحطة يجب ألا تحتوي على أجهزة أو مواد غير مستخدمة. ويجب أن يكون المختبر والمخزن والمشغل مرتبة وجيدة التهوية. وأن يتم تصليح الأعطال الكهربائية والهيدروليكية بطريقة وأسلوب نظيفين وآمنين عن طريق أشخاص مناسبين.

يعطي مظهر محطة التنقية من الداخل والخارج والساحات المحيطة بها الانطباع الأول لما يمكن أن تكون عليه المحطة. إن الإخلاص في التشغيل يتطلب أن تكون المحطة نظيفة ومنظمة، وكذلك الأرض المحيطة بوحدات التنقية. بينما المحطة القذرة وغير المنظمة تشكّل عائقاً لكفاءة التشغيل وجَودة المياه النهائية.

جدول رقم1-1 مثال على صيانة المضخة وسجل الإصلاح يوضح عملية إدخال مثالية

المضخة: **معلومات عن المضخة**:	مضخة عالية الخدمة رقم 1 (الصانع والموديل والرقم التسلسلي والطاقة التقديرية المطلوبة والتدفق الأقصى..الخ)		
التاريخ	**الصيانة والإصلاح**	**المنفذ**	**ملاحظات**
يومياً	مراقبة وملاحظة تشغيل المحطة	ج.د	
98-01-25	تركيب الحلقات	ج.د	
98-02-10	فحصها وتشغيلها	ج.د	
98-02-20	تركيب مروحة جديدة	ج.د	المروحة القديمة متآكلة بشكل سيئ
98-02-28	سماع أصوات مزعجة	ج.د	كتابة تقرير لرئيس المشغلين
98-03-10	الأصوات المزعجة مستمرة	ج.د	
98-03-11	مراقبة المضخة والمحرك كهروميكانيكياً	ج.د	تخطيط جدول عمل الإصلاحات

الفصل الثاني

تقييم كفاءة محطة التنقية وتحديد الأعطال

1.2 مراقبة تشغيل المحطة

أفضل طريقة لمراقبة تشغيل المحطة هي متابعة مسار تدفق المياه الداخلة إلى المحطة من المأخذ حتى خزانات مياه المعالجة النهائية. إن الخطوة الأولى هي مراقبة كل وحدة وتدوين مشكلاتها، ومحاولة معرفة حلّ هذه المشكلات. والخطوة الثانية هي أخذ عينات من كل وحدة، وعمل التحاليل المخبرية والفحوصات الضرورية لمعرفة كفاءتها ولتقييم عمليات التنقية بشكل عام، ومعرفة مدى إمكانية تحسين وتطوير هذه العمليات.

إن دراسة تصميم محطة التنقية لها أهمية خاصة، تفوق أهمية مراقبة وحدات المحطة. لأن بعض المشكلات في المحطة قد تكون ذات علاقة مباشرة في التصميم، وهناك عدة أسباب محتملة لظهور هذه المشكلات وهي:

- أن يكون التصميم غير فعَّال لهذا النوع من المياه الخام، ولا سيّما إذا كانت بعض جوانب مواصفات المياه غير معروفة أثناء فترة التصميم.
- عدم ملاءمة التصاميم لمستوى التشغيل والصيانة في المحطة بشكل عام.
- عدم حصول المصمم على أفضل المعلومات أو أحدثها، ولا سيّما تلك المتعلقة بالعمليات الفيزيائية والكيميائية اللازمة لتصميم محطة التنقية.
- أن يكون التصميم الأولي الذي اعتمد عليه المصمم غير كامل، وينقصه بعض الفحوصات المخبرية وإنشاء محطة تجريبية استكشافية.

يجب أن يتم التأكد وبدقة عند دراسة المخططات والمواصفات من كمية التدفق والأحجام والتحميل السطحي والسرعات لكل وحدة، والجدول رقم (2-1) يعرض مثالاً لهذه المعلومات التي يجب أن يتم تدقيقها. والأمر الهام الآخر هو سهولة تشغيل المحطة، إذ أن القليل من المصممين عملوا كمشغلين، لذلك فإن معظمهم ليس لديه المعرفة بالأمور التشغيلية.

جدول رقم 2-1 وحدات التحميل – معلومات استكشافية عن المحطة

غرفة الرمال[1]		الخزانات قبل الترسيب[2]			
التدفق إلى المحطة	مدة المكث	التدفق إلى المحطة	التحميل		مدة المكث
م^3/ث	دقيقة	م^3/ث	م^3/م^2/اليوم	سم/دقيقة	دقيقة
4	10.6	4	38.7	2.7	130
5	8.5	5	48.4	3.4	104
6	7.0	6	58.0	4.0	87
7	6.0	7	67.7	4.7	74
8	5.3	8	77.4	5.4	65

[1] الحجم يساوي 2535م^3

[2] المساحة تساوي 8934 م^2 : الحجم يساوي 31269 م^3

تابع جدول 2-1

حزانات التندف[3]		الخزانات قبل الترسيب[4]			المرشحات[5]	
التدفق إلى المحطة	مدة المكث	التدفق إلى المحطة	التحميل		التدفق إلى المحطة	التحميل
م^3/ث	دقيقة	م^3/ث	م^3/م^2/اليوم	سم/دقيقة	م^3/ث	م^3/م^2/اليوم	سم/دقيقة
4	30	4	27.2	1.9	4	120	1.4
5	24	5	34.0	2.4	5	150	1.7
6	20	6	40.7	2.9	6	180	2.1
7	17	7	47.5	3.3	7	210	2.4
8	15	8	54.3	3.8	8	240	2.8

[3] الحجم يساوي 72000 م^3

[4] المساحة تساوي 12723 م^2

[5] ستة عشر مرشحا ومجموع مساحة تساوي 2880 م^2

يجب على المراقب بعد دراسة المخططات بعناية أن يهتم كثيراً في التوزيع العام، وفي كفاءة تصميم كل وحدة، بالإضافة إلى اهتمامه بالمشكلات الموجودة أو المشكلات المحتملة في المستقبل. إن جميع محطات التنقية يمكن تحسينها وبنسب متفاوتة لإنتاج مياه ذات جودة عالية. إن دراسة وتحليل كل محطة قد ينتج عنها ربح كبير لدائرة المياه.

2.2 مأخذ الماء الخام

يجب أن يبذل جهد كبير عند اتخاذ قرار تحديد موقع مأخذ الماء الخام، لأنه يوفر فوائد طيلة فترة تشغيل محطة تنقية المياه. كما ويجب أن يكون المأخذ أقرب ما يمكن إلى المحطة. والأهم من ذلك أن يكون المأخذ على النهر أو الخزان الذي يحتوي على أفضل نوعية للمياه الخام (أقل ما يمكن من العكر والتلوث).

قد تتغير مواصفات المياه الخام بشكل كبير، وذلك تبعاً لعمق المأخذ وبعده عن سطح الماء الساكن أو الأنهار الكبيرة. بالإضافة إلى ذلك فإن الأعماق التي تحتوي على أفضل المياه الخام وجدت أن طبيعتهما تختلف خلال السنة. لذلك فإنه من المهم جدا أن يكون مبنى مأخذ الماء ذا مرونة، بحيث يمكن أخذ الماء من أعماق مختلفة تتراوح بين أسفل سطح الماء ونقطة قريبة من القاع. ويجب الأخذ بعين الاعتبار تغيير موقع المأخذ إذا كان هذا المنشأ لا يحتوي على هذه المرونة، وكان موقعه خطأ (بالاعتماد على خطورة المشكلات الناتجة). (أنظر الفصل السابع)

3.2 قياس المياه الخام

من المهم أن يعرف المشغل كمية تدفق المياه في جميع الأوقات، لأن جرعة المواد الكيميائية لها علاقة مباشرة بكمية تدفق المياه. ومن سوء الحظ، إن معظم المحطات في الدول النامية، ومعظم المناطق الأخرى، لديها أدوات لقياس تدفق المياه لا تعمل بالشكل المطلوب. إن أجهزة قياس كمية التدفق بحاجة إلى صيانة مستمرة لأنها سهلة التعرض للأعطال من خلال التآكل وهذا ما يجب أن يتم تجنبه.

يعتمد المشغلون على عدد وسعة مضخات المياه الخام العاملة، في الحصول على كمية المياه اللازمة لمحطة تنقية المياه. إن تآكل فراشات المضخة، وتلف السطح الداخلي لأنابيب المياه، يجعلان كمية التدفق تتغير مع مرور الوقت. ومع ذلك، فإن هذه الطريقة يمكن أن تكون طريقة مفيدة، ولا سيما إذا تم معايرة المضخات بمعدل مرة واحدة في السنة على الأقل. وذلك باستخدام أحد خزانات الترسيب أو التندف لتحديد الحجم الحقيقي للمياه الخام الداخلة إلى المحطة. مثال على ذلك : إذا كانت محطة رفع المياه الخام تحتوي على ثلاث مضخات، ومضخة احتياطية أخرى، وجميعها لها نفس الحجم والمواصفات فإن خزان الترسيب وخزان التندف يجب أن يتم تفريغهما حتى عمق ماء محدد. على سبيل المثال: 2م تحت مستوى مخرج الماء. عندها يجب بدء تشغيل محطة ضخ المياه الخام الأولى، ويجب أن يستمر الضخ حتى يصل مستوى سطح الماء إلى مستوى المخرج، عندها يمكن حساب معدل الضخ من خلال الارتفاع الذي تم إعادة تعبئته، ومعرفة مساحة الخزان ومدة الضخ. إن هذا التمرين يجب أن يتكرر باستخدام كل مضخة، واستخدام أكثر من مضخة في التشغيل. إن مثل هذه المعايرة السهلة تعطي المشغل معرفة ممتازة للجمع بين المضخات، والذي على ضوئه تحدد الجرعة المناسبة من المواد الكيميائية.

إذا تم تركيب مقياس كمية التدفق على خط أنابيب فإن معايرة الجهاز تبقى مهمة، ويجب أن تتم معايرته سنوياً، وذلك بسبب استمرار انحراف المقياس عن المعايرة الأصلية، مما يؤدي إلى عدم دقة القياس بعد فترة من المعايرة.

4.2 التعامل مع المخثِّر

تختلف طرق التعامل مع المواد الكيميائية في محطات المعالجة بصورة كبيرة، ولا سيّما إذا كانت المحطة تعمل بطريقة ميكانيكية أو يدوية بالكامل. أية طريقة يمكن أن تكون كافية إذا كان التصميم والتشغيل قد تمّا بشكل مناسب . ولكن من المهم أن تكون جرعة المخثر التي أضيفت للمياه الخام صحيحة لتعمل بكفاءة عالية. وهذا يعني أنه يجب معرفة المعلومات التالية بدقة:

- الجرعة المطلوبة.
- كمية المواد الكيميائية اللازمة لكل وحدة حجم من المياه.
- كمية المياه المُخَفَفَة.
- حقن الجرعة المطلوبة طول الوقت.

2-4-1 اختيار المخثِّر الأولي

إن كمية المخثِّر أو مجموع المخثِّر والبوليمر الأكثر كفاءة يمكن تحديدها بدقة كبيرة وبطريقة اقتصادية في المختبرات. كما يجب أن يستخدم فحص الجرة لتحديد أفضل مخثِّر (أنظر الفصل الخامس)، وكذلك الجمع أو التتابع (Sequence) في إضافة المواد الكيميائية لتحديد الجرعة الأكثر اقتصاديةً والأكثر فاعليةً. ومن المؤسف أن معظم المحطات لا تقوم بعمل هذه التجربة البسيطة، مع العلم أنها مفيدة جداً. بعض محطات تنقية المياه تقوم بعمل الفحوصات على مواد كيميائية وجرعات بشكل مستمر ومنتظم للبحث عن العملية الأكثر اقتصادية وفاعلية.

2-4-2 التحضير للاستعمال

تستخدم معظم المحطات في الدول النامية وعدة محطات في الدول الصناعية كبريتات الألمنيوم الجافة في حالة الصلابة في عملية التخثير الأولية. وعادة تضاف كبريتات الألمنيوم في حالة الصلابة إلى خزان ماء خاص على دفعات، ويتم تحضير محلول أو أكثر بينما يتم استخدام المحلول الذي تم تحضيره سابقاً وهكذا. هذه الطريقة في التحضير غير موثوق بها وقليلة الكفاءة في معظم المحطات وذلك لعدم قياس كمية كبريتات الألمنيوم المضافة وكمية الماء بطريقة دقيقة. وبالتالي فإن المشغل لا يراعي أهمية ودقة تركيز الكبريتات في هذه العملية. وقد يكون حجم خزان الخلط لم يتم تحديده بدقة أو أن تكون علامة كمية الماء قد اختفت لكثرة الاستخدام. ومعظم الكميات المحضرة قد تكون ضمن 10٪ من القيمة اللازمة، ولكن يمكن الحصول على دقة اكبر بسهولة، لذلك فإن بذل جهد أكبر للسيطرة على كمية الماء وكمية الكبريتات له أهمية كبيرة وذلك حتى نحصل على تركيز متماثل وحسب المطلوب.

إن حجم خزانات الخلط، وكذلك كمية المخثِّر الجاف المراد إذابته، يجب تحديدهما بشكل دقيق. حيث يمكن قياس حجم الخزان بسهولة، وإن كمية كبريتات الألمنيوم المراد إضافتها من أكياس خاصة يكون مكتوباً عليها وزن كل كيس بوضوح ودقة. ولكن من المهم جداً أن يعرف المشغل بوضوح أهمية الحصول على الكمية المطلوبة بدقة عند خلطها مع الماء، وذلك حسب وزن كل كيس، للحصول على التركيز المطلوب. هذه القاعدة الأساسية مهمة جداً لاستعمال الطريقة الصحيحة في عملية تشغيل في محطات التنقية.

لتوفير حيِّز في خزان الخلط، يفضل تحضير محلول بتركيز أعلى، وعادة ما يتراوح بين 20-25٪، ويفضل أن تكون هذه الخلطة قد صممت لتعطي 10٪ من محلول كبريتات الألمنيوم وذلك لجعل كبريتات الألمنيوم تذوب في الماء بكل سهولة.

2-4-3 إضافة المخثِّر للمياه الخام

يكمن العجز الأكثر شيوعاً في محطات التنقية في طريقة إضافة المخثِّر للماء الخام. كما أن تخفيف تركيز المخثِّر للحّد المناسب نادراً ما يحصل في أية محطة تنقية للمياه، وذلك لأن المشغلين والمهندسين لا يقدِّرون أهميته وقيمته. حيث يميل المشغلون في معظم المحطات إلى إضافة حجر الشب من الأكياس مباشرة. بعض المحطات تستخدم الشب الجاف، وهذا يعني عادة أن المحلول يحتوي 20٪، وبعضها الآخر يستخدم الشب في حالته السائلة، وهذا يعني أنه يُمثِّل 50٪ من المحلول. وفي العادة تستيطع رؤية جريان خفيف ورفيع من محلول الشب يضاف إلى خزان الخلط أو إلى سطح القناة التي تحمل المياه الخام، وينتج عن ذلك جرعة غير متجانسة، حيث تستقبل كمية قليلة من

المياه الخام كمية كبيرة من الشب، بينما معظم المياه الخام تستقبل كمية قليلة جداً من محلول الشب. لذلك يجب إضافة المخثر بتركيز حوالي 0.5٪، وبالتأكيد يجب أن يكون أقل من 1٪. مما سيوفر أقصى حجم للمحلول المخثَّر، بينما يحافظ على أكبر تركيز ممكن دون حصول بلمرة وتفاعل مع الماء المخفَّف. بالنظر إلى كفاءة المحطة فإنه سيتم ملاحظة عدم كفاية تخفيف المخثر. (أنظر الفصل السابع لملاحظة توصيات نوع المغذي للمادة المخثَّرة).

إن التحقق من نظام التشغيل سهل جداً، كما أن تركيز المخثر في الخلطة وكمية مادة المخثَّر في المحلول الذي يضاف أثناء عملية المعالجة يمكن أن يتم تحديدهما بسهولة. وإذا ما تم تحديد كمية تدفق المياه الخام فإنه يصبح بالإمكان حساب جرعة المخثَّر المستعملة. وبعد معرفة كمية الجرعة التي يجب أن تستخدم فإنه من السهل التحقق منها. إن الفحص على المستوى المخبري باستعمال اختبار الجرة سوف يحدد الجرعة المناسبة، ولكن نادراً ما يتم عمل ذلك.

إن المشكلات الشائعة في نظام إضافة المادة الكيميائية هي :

- عدم تغيير جرعة المخثَّر حسب تغير كمية تدفق المياه الخام.
- عدم عمل نظام الضغط الثابت (الناتج عن ثبوت مستوى سطح الماء) بشكل سليم، وذلك لاختلاف كمية الجرعة المستعملة مع اختلاف مستوى المحلول المخثَّر في خزان التغذية.
- عدم معايرة مضخة التغذية الكيميائية، أو عدم مراعاة تلفها الكامل بحيث لا تعمل بشكل صحيح.

ونتيجة لذلك فإن فقدان المخثَّر ذي التكلفة العالية، وتكوين نواة للتّخثير أقل بكثير مما هو متوقع ومرغوب فيه، إن ذلك يؤدي إلى خروج جزء كبير من المواد الغروانية من خلال المرشحات مع المياه المعالجة.

إن ذوبان المخثَّر الكامل في المياه الخام له أهمية كبيرة، وقد تم إدراك هذا منذ وقت قريب. إلا إنه من الصعب جداً الحصول على هذه النتيجة لوجود بعض القيود الفيزيائية، ولكن يمكن الوصول إلى وضع قريب من ذلك. ومن المطلوب إضافة المخثَّر في إحدى المناطق التي يكون فيها التدفق مضطرباً بشكل كبير والتي تكون عندها معدل تغير السرعة (خط ميل السرعة) لا يقل عن 1000 ث$^{-1}$، وتركيز المخثَّر لا يزيد عن 0.5٪ (5غرام من الشب لكل لتر من الماء).

نادراً ما يكون الخلط السريع، وانتشار المخثَّر في الوسط المائي ذا كفاءة عالية وبطريقة فعَّالة. إن التفاعل الأولي للماء الخام مع المخثَّر سريع للغاية (خلال جزء من الثانية)، ولذلك فإنه من المهم جداً أن يتم خلط الماء الخام مع المخثَّر في أقل من ثانية أو قبل انتهاء التفاعل الأولي.

يجب أن تتعرض جميع المواد الغروانية أو معظمها لجزء من المخثَّر للحصول على عدم الاستقرار، وتكوين نواة للتخثير. وستقوم أيونات المعادن الموجبة (A^{3+} الأكثر استعمالاً) بمعادلة الغروانيات السالبة الشحنة، وبذلك تُكوِّن نواة فعَّالة للتخثير. وهناك عدة أنظمة للخلط يمكن الحصول بها على نتائج مرضية، وإن الطريقة الهيدروليكية للخلط، كما تم وصفها في الفصل السابع هي إحدى التوصيات التي يجب استخدامها في البلدان النامية.

5.2 أنظمة التندف

1.5.2 هيدروليكا القناة الرئيسة

يتم عادة نقل المياه الخام المخثَّرة إلى خزان التندف من خلال قناة خرسانية مفتوحة، وهناك أمران يظهران في هذه المرحلة يصعب تحقيقهما. الأول : التأكد من توزيع المياه الخام بالتساوي على خزانات التندف، والثاني : تفادي الزيادة الكبيرة في فاقد ضغط الماء أثناء جريانها في القناة.

يجب استخدام التشعب الهيدروليكي للقناة الرئيسة في الحالات التي يكون فيها الأنبوب أو القناة توزع مياها إلى عدة نقاط (مُشعَّب موزع)، أو تجمع من عدة فروع (مشَّعب مجمع). وفي محطات تنقية المياه يستقبل المشعب الموزع عادة المياه من خزان الخلط الابتدائي لتوزيعها على خزانات التندف المتصلة على التوازي. وفي نظام الغسل العكسي، يتم توزيع المياه على عدة أنابيب أو قنوات خارجة من مكان مشترك. في كل هذه الحالات لا بد من استعمال المشعب الهيدروليكي للحصول على توزيع المياه بشكل متناسب (عادة متساو) على جميع الفروع.

يبدو أن توزيع المياه من قناة النقل الرئيسة إلى عدة قنوات متعامدة مع القناة الرئيسة هو عمل سهل، وقد يكون ذلك صحيحاً عندما تكون جميع العوامل الهيدروليكية مفهومة ومأخوذة بعين الاعتبار أثناء التصميم، ومن سوء الحظ أن يتم إهمال استخدام التشعب الهيدروليكي في التصميم لدى تشغيل معظم محطات تنقية المياه.

يحدث فاقد ضغط الماء في نظام نقل المياه من وحدة الخلط السريع إلى خزان التندف عند التفرع على درجة 90˚، والتي تكون عندها السرعة عالية، أو عند هدارات تم تصميمها لتوزيع المياه. يوضح الفصل السابع طرقا متعددة لتقليل فاقد ضغط الماء في التصميم، أو لتلافي هذا الفاقد في المحطات القائمة. وقد يكون ذلك مهماً إذا كان المطلوب زيادة إنتاج المحطة، لأن فاقد الضغط يزداد مع السرعة بعلاقة على شكل قطع مكافئ. وهذا قد يشكل إعاقة مهمة. وهناك أمثلة على المشعب المجمّع في محطات تنقية المياه التي تحتوى على أنظمة لغسل أحواض الترسيب. وتحتوي في بعض المراحل على قنوات متوازية تصب في قناة مشتركة واحدة. ونادراً ما تقوم المشعَّبات بدورها بشكل فعّال، وذلك لعدم تصميمها بشكل صحيح. وعندما يتواجد من 4 إلى 6 خزانات تستقبل مياه من قناة واحدة، فإن خزاناً واحداً أو اثنين من الخزانات تستقبل عادة من 40٪ إلى 50٪ من المياه أو أكثر قليلاً، ويعتبر هذا سيئاً جداً لعمليات المعالجة. وعندما يزيد حِمْل الخزانات عن الحمل التصميمي فإن المحطة لا تعمل بشكل مناسب، وسوف تنتج مياهاً ذات عكر عالية إلى المرشحات، مما يسبب مشكلات في صيانة المرشحات وتؤدي إلى تدنٍ خطيرٍ في جودة المياه المعالجة. تقع المشكلة في المشعب الموزع وفي نظام الغسيل الراجع للمرشحات. إن سوء توزيع مياه الغسيل من الأنبوب الرئيس إلى الأنابيب الفرعية قد يؤدي إلى عدم انتظام الغسيل العكسي، وإلى ظهور المشكلات في جسم المرشح حالاً.

2.5.2 التندف

إن الخلل الأساسي في معظم أنظمة التخثير يكمن في أنه تم تصميمها دون الاعتماد على معلومات عن تدرج السرعة المثلى، وعن الوقت المناسب للتخثير، وعن كمية الطاقة المثلى التي يجب إضافتها أثناء التخثير. وجميع هذه المعلومات تؤثر في بيان كيفية تفاعل المياه في خزانات التخثير، وتؤثر على نتائج الفحوصات التي نحصل عليها من اختبار الجرة. وقد يحدث تخثر أكثر أو اقل من اللازم سواء أكان الخلط هيدروليكياً أم ميكانيكياً.

لا بد من تقسيم خزانات التخثير الميكانيكية إلى حجرات، وذلك للسيطرة على عملية التخثير بصورة أفضل. إن المسارب القصيرة والأحجام الساكنة، هو الأمر الغالب في الخزانات التي تحتوي على حجرة واحدة أو حجرتين، كما هو شائع في محطات التنقية القديمة. لذلك يجب توفير أربع حجرات على الأقل للحصول على تخثير منتظم ومناسب. وتأثير نظام الخلط المباشر له أهمية، كبيرة فمثلاً المحور العمودي لشفرات الخلاط يخلق تدرجاً في السرعة، فتكون السرعة عالية في الجزء السريع من الشفرات على الطرف البعيد من المركز، ويقل ذلك كلما اقتربنا من مركز الدوران.

يكون التدرج في السرعة عالياً في الأنظمة الهيدروليكية حول نهاية الشفرات، بينما هو بطيء بين الشفرات. وإن عملية تكوين نواة تخثير هي عملية حرجة جداً، وإن مدخَل الطاقة سواء أكانت الطاقة كبيرة أم صغيرة يمكن أن يقف عائقاً في تكوين تخثير جيد. وينتج عن ذلك سوء في الترسيب، وتحميل المرشحات كمية أكبر من المواد المخثَّرة وبالتالي تقل جودة عملية التنقية.

إن التدرج في استخدام الطاقة خلال عملية التخثير مطلوب، لأنه ينتج نواة تخثير كبيرة قابلة للترسب. ولا يوجد حتى الآن إلاّ عدد قليل من محطات التنقية التي تم تصميمها للسيطرة على استخدام الطاقة بشكل تدريجي ومناسب. ويمكن الحصول على ذلك بوساطة النظام الهيدروليكي بسهولة، إذا وضعت الشفرات على أبعاد صحيحة، وكان المصمم على وعي بتدرج للسرعة وبأهمية استخدامه للحصول على عملية التخثير. وفي نظام الخلط الميكانيكي تكون هناك حاجة إلى عدة حجرات، كل حجرة لها خلاط منفصل، وتستخدم كميات مختلفة من الطاقة في الحجرات المتعاقبة، فالطاقة في البداية تكون كبيرة ثم تقل بالتدريج بحيث يكون استهلاك آخر حجرة أقل كمية من الطاقة.

3.5.2 نظام التدفق الأفقي

هناك عدة عوامل لا بد من التأكد منها عند مراقبة نظام التخثير بوساطة التدفق الأفقي وهي:

- ظهور الكتل المتخثرة عند المخرج.
- عدد وتصاميم الحجرات.
- متوسط قيمة الخضخضة المستعملة.
- مرونة أجهزة الخضخضة لزيادة أو تقليل شدتها.
- مدة مكوث الماء في وحدة التخثير.
- المسارات القصيرة.
- إضافة البوليمر ومكان إضافته.

يجب أن يحتوي الماء الذي تم تخثيره عند اقترابه من الخزان النهائي على مواد متخثرة كثيفة على شكل كتل كالغيوم، وهي الصفة الظاهرة. هذه الغيوم تحتوي على بعض الفراغات التي تحتوي على مياه صافية. وهذه الفراغات تكون بعرض من 2-5سم، وبطول عدة أمتار. وتتغير هذه الفراغات مع ظهور فراغات جديدة، وتتسع ويقل حجمها ويتغير مكانها باستمرار. قد يختلف التخثير من حيث حجمه اختلافاً كبيراً (فبعض الأحجام تكون صغيرة وبعضها كبيرة) ولكن الحجم الغالب هو من 2-3ملم.

إن عمل حجرات -كما هو مذكور في الفصل السابع- يعني تسيير الماء في طريق معين لتقليل المسارات القصيرة، ويهدف ذلك لجعل وقت التخثير قريباً جداً من الوقت اللازم للحصول على الفائدة المثلى. ومن الواضح نتيجة التجارب على مستوى المختبر أنه عندما يكون وقت التخثير قصيراً يكون التخثُّر سيئاً ولا يترسب بشكل جيد. وبالمقارنة مع التخثير لفترة زمنية طويلة فإنه قد تتفكك الكتل المخثَّرة مما يعيق عملية الترسيب. وعند استخدام نظام الحجرات بشكل فعَّال في التصميم فإنه من غير المحتمل حدوث مسارات قصيرة أثناء عملية المعالجة (أنظر الأشكال 8-9، 8-11، 8-12) في الفصل الثامن.
عندما تصبح شحنة المواد الغروانية متعادلة باستعمال مخثرات معدنية، تصبح هذه المواد غير متنافرة، ولذلك تلتصق معاً لتكون نواة لكتلة متخثَّرة. وفي البيئة الهادئة تصبح إمكانية تلامس جزيئات هذه المواد أقل بكثير في حالة وجود نوع من الخضخضة. وفحوصات المختبر تظهر أن الخضخضة الشديدة تؤدي إلى تحطم المواد المخثَّرة، وتمنعها من النمو، ولكن الخضخضة الضعيفة (القليلة) لا تعطي فرصة للمواد حتى تلامس بعضها البعض. وحتى تكّون جزيئات أكبر. لذلك فإن هناك حدّاً أقصى للخضخضة، يوفر أفضل بيئة لبناء الكتل المخثَّرة، وكلما زاد حجم الكتل المخثَّرة كان من السهل تحطيمها وفقدان الطاقة في نظام التخثير. وهذا يعني أن الخضخضة لا بدّ أن تكون

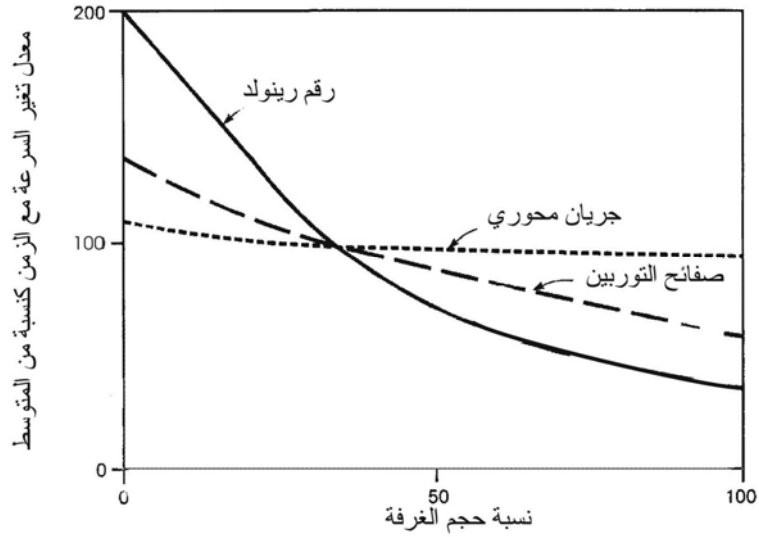
بطيئة في النهاية حتى لا يتم تحطيم الجزيئات الكبيرة، والتي يكون تفككها سريعاً وسهلاً. وهذا ينطبق على جميع أنظمة الخلط سواء أكان خلطاً ميكانيكياً أم خلطاً هيدروليكياً.

يجب على نظام الخضخضة أن يحافظ على تشتيت الطاقة في خزان التخثير بشكل مناسب ومستمر. هناك بعض الأجهزة تُشتِّت الطاقة بشكل متوازن، وبذلك يحصل تخثُّر أفضل مما هو عليه في أجهزة أخرى. (انظر الشكل رقم 2-1). يتجنب جهاز التدفق الأفقي التدرج في السرعة ويتم خضخضة جميع أجزاء الخزان بشكل متوازن، ومع ذلك تقوم بعض الأنظمة الهيدروليكية بإضافة الطاقة بشكل غير متوازن. وفي نهاية كل حاجز تكون السرعة أكبر منها عند وسط الحاجز (عندها تأخذ المياه مساراً معاكساً 180°)، لذلك يجب أن يعمل النظام الهيدروليكي بشكل مستمر بالدوران والانحناء للحصول على كفاءة عالية. (انظر شكل رقم 8-11) في الفصل الثامن.

يجب أن يكون جهاز الخضخضة ذا مرونة كبيرة لتزويد خزان التخثير بالطاقة تدريجياً، كما تم مناقشته أعلاه، وذلك للسماح بعمل بعض التعديلات الموسمية حسب الحاجة وحسب درجة الحرارة والتركيب الكيميائي للمياه الخام. إن الماء البارد بحاجة إلى خضخضة أقل لأن الكتل المخثَّرة تكون ضعيفة، ويمكن أن تتفكك بسهولة لذلك يجب تصميم النظام الهيدروليكي لإضافة الطاقة تدريجياً، ولكنه سيكون أقل مرونة.

إن زمن التخثير والمسار القصير ووجود حجرات متعددة، كل تلك العوامل هي عوامل متداخلة بعضها مع بعض، فإذا كان تصميم نظام الحجرات ممتازاً، فسوف يحافظ على وجود الماء في النظام قريباً من المياه المثالية التي تقارب بخصائصها خصائص تلك النتائج التي تم الحصول عليها من تجارب المختبر، وهذا يحسِّن من تناسق عملية التخثُّر. أما النظام الهيدروليكي فلا يوجد فيه مسارات قصيرة، ولكن الزمن الكلي في النظام له علاقة بكمية التدفق.

يستعمل بوليمر ثقيل غير متأين لزيادة سرعة الترسيب في بعض محطات التنقية، ويمكن استخدام ذلك في بعض الظروف، مثل أن يكون الجو بارداً أو أن يكون هناك مشكلات ناتجة عن المياه الموسمية. وهناك محطات تنقية أخرى يوجد فيها مشكلات متواصلة ناتجة عن لون الماء، وفي هذه الحالة من المهم إضافة بوليمر بعد تكوّن الكتل المخثَّرة. ويمكن تحديد الوقت الملائم لإضافة البوليمر بعمل فحوصات مخبرية، ويكون الوقت الملائم عادة هو بعد بداية التخثير بخمس دقائق. (انظر شكل رقم 5-8) الفصل الخامس.



شكل 1.2 التوزيع الفراغي المفروض معدل تغير السرعة مع الزمن بالاعتماد على نوعية المروحة

6.2 خزانات الترسيب

يجب نقل المياه بعد تكوين الكتل المخثَّرة بكل حذر إلى خزانات الترسيب، وذلك لتفادي تفكك هذه الكتل. ويُعتَقَد أن مجرد وصول المياه إلى خزانات الترسيب سيتيح لعملية الترسيب أن تبدأ بسرعة، وسينتج عن ذلك مياه صافية. ولكن هذه الحالة لا تشير إلى مايحدث عادةً، وذلك نتيجة لأسباب عدة تعمل على تقليل كفاءة خزانات الترسيب.

وإذا لم يتم تصميم خزان الترسيب بشكل مناسب فإن الطاقة الناتجة عن عملية الخلط، يمكن أن تنتقل لتسبب تيارات ومسارات قصيرة. وثمة ملاحظه تتكرر تشير إلى أن المياه تمر من خلال خزانات الترسيب في وقت يساوي أو يقلّ عن نصف زمن التصميم لهذه العملية، وفي نفس الوقت فقد يوجد مناطق ميتة، تبقى فيها المياه راكدة لفترة أطول من اللازم. ونتيجة لهذا الخلل فإن كفاءة خزان الترسيب سوف تقل، مع أن المياه الناتجة تكون قليلة الجودة، وتنقل المشكلة معها إلى المرشحات مما تزيد من رداءة المياه المرشحة.

ينتج عن الفرق في درجة حرارة المياه الموجودة في الخزانات والمياه الداخلة إليها تيارات مائية ومسارات قصيرة، مما يسبب سوء كفاءة الترسيب، وبذلك فإن معظم الكتل المخثَّرة تنتقل إلى المرشحات. كما أن برودة أو دفء المياه الداخلة يجعل المسارات القصيرة إما على سطح أو في قاع الخزانات. كما أن زيادة العكر بشكل مفاجئ يزيد من الوزن النوعي للمياه المخثَّرة مما يسبب مسارات قصيرة في قاع الخزانات.

يمكن أن يقلل التصميم الملائم لمداخل خزانات الترسيب من هذه المشكلات بشكل كبير. فوجود حواجز عند مدخل المياه (شكل 8-17، 8-18 الفصل الثامن) يعمل على توزيع المياه بشكل متساوٍ على كامل مقطع الخزان، مما يجعل عمل الخزان يحاكي نظام التدفق الكتلي (Plug Flow). وهذا

يعني أن المياه سوف تسير في الخزان بنفس السرعة الأفقية تقريباً. وبعد أن تدخل المياه إلى خزان الترسيب، ويتم توزيعها بشكلٍ متوازٍ على مقطع الخزان، فإنه يجب إزالة المياه منه بطريقة مناسبة، وليس فقط جعل المياه المترسبة تخرج في النهاية، وتسقط دون عائق من على المخرج النهائي للخزان. إن هذه ليست الطريقة المثلى.

يلعب نظام إزالة الترسبات دوراً مهماً وأساسياً في الحصول على مياه ذات عكر قليل لتحويلها إلى المرشحات لاحقاً. ولتحقيق ذلك فإن سرعة المياه الخارجة من خزان الترشيح يجب أن تكون أقل ما يمكن، وأن يكون هدار المخرج أطول ما يمكن. ويكون طول الهدار عادة بعرض خزان الترسيب. ولكن هذا لا يعني أنه الأطول والأكثر ملاءمة للتصميم. والنتيجة أن سرعة الماء تكون عالية، وبذلك يأخذ الماء بعض الكتل المخثَّرة من الخزان. ويمكن تقليل السرعة إلى النصف، وذلك بمضاعفة طول الهدار (كما هو واضح في شكل رقم (8-22))، وإذا أمكن زيادة طول الهدار إلى ثلاثة أو أربعة أمثال أو حتى عشرة أمثال الطول الأصلي، فإن سرعة الماء ستقل بنفس النسبة، وهوا المفضل بشكل عام.
بالاعتماد على عينات من مئات خزانات الترسيب المستطيلة، فإن أقل المياه عكراً عادةً هي المياه الخارجة من منتصف طول الخزان وحتى الربع الثالث من طول الخزان (انظر شكل رقم 5-23 فصل رقم 5). وهذا صحيح في محطات التنقية، لذلك فإن الهدار يجب أن يمتد إلى الثلث النهائي من طول خزان الترسيب النهائي، الأمر الذي من شأنه أن يقلل سرعة خروج الماء، وحمل الكتل المخثَّرة، ويمنع تكوّن التيارات الناتجة عن درجات الحرارة أو الكثافة. وتجرّ المياه الناتجة ذات العكر القليل إلى المرشحات. وتكون النتيجة الحصول على مدة أقل لعملية الترشيح، وتكون المياه الناتجة أقل عكر، وفي النهاية تكون حاجة المرشحات لأعمال الصيانة المتكررة قليلة جداً.

إن وجود حاجز ذي ثقوب عند المخرج يزيد من كفاءة واقتصادية إزالة عكر المياه في الخزان. إن فاقد الضغط عند الحاجز يسبب خروج الماء من الخزان بشكل أفقي، ويمنع صعود تيارات مائية إلى الأعلى (انظر شكل 8-17 و 8-18 الفصل الثامن).

1.6.2 طريقة ترسيب الحمأة

تعطي طريقة ترسيب الحمأة دلالة واضحة على فاعلية الخلط والتندف مع أنه يمكن تطبيق هذا على الخزانات التي لا تُزال منها الحمأة بصورة مستمرة، (وهذا يعني أنه يطبق على الخزانات التي يجب أن تفرَّغ منها الحمأة مرة واحدة أو ثلاث مرات سنوياً). إن الحمأة المترسبة تترك أثراً على طول جدران خزان الترسيب، مما يشير إلى فكرة واضحة عن طريقة الترسيب. شكل 8-4 الفصل الثامن يوضح الحالة المواتية وكذلك الظروف المثلى لتندف سيىء.

7.2 المرشحات

معظم المرشحات الموجودة خارج الدول الصناعية ذات حجم متوسط. وهي عبارة عن رمل بعمق من 25-30سم وحتى60-70 سم، حيث إن حجم الحبيبات تتراوح بين 0.5-0.6 ملم وحتى 0.8-0.9 ملم، وقد تصل إلى 1 ملم. مع العلم أن المرشحات تتكون من طبقتين، الأولى من الرمل، والثانية من الفحم، حيث أصبحت هذه المرشحات منتشرة. ولكن هذه الطريقة من طرق المعالجة منتشرة أيضاً في الدول الصناعية.

المهمة الأولى والأكثر أهمية في مراقبة وتحليل كفاءة المرشحات هي مراقبة نوعية المياه المرشحة، ومع أن للعكر حدّ معين إلاّ إنها لا تزال الطريقة الفضلى لقياس عملية الترويق في معظم محطات التنقية. ويمكن لمحطات التنقية المصممة والمشغلة بشكل ممتاز أن تنتج أيضاً مياهاً مرشحة ذات عكر أقل من 0.5 وحدة (NTU). عندما تتكرر قيمة العكر للمياه المرشحة التي تزيد على وحدة واحدة (NTU) فهذا يعطي دلالة واضحة على وجود مشكلات يجب الانتباه إليها.

تختلف المياه الخام في قابليتها للمعالجة، ولكن المياه التي تنتج كتلاً متخثّرة خفيفة وضعيفة تحتاج إلى عناية خاصة، سواء أكانت في العمليات نفسها أم في التصميم الهيدروليكي للمحطة. ويمكن للفحوصات المخبرية الأولية أن تحدد هذه المشكلة، لذلك فإنه يمكن اتخاذ التدابير في المراحل الأولى لحل هذه المشكلات، وقد تحتوي هذه التدابير على استخدام البوليمر أو استعمال الحديد كمخثّر بدل الشب ، واستعمال وقت أطول مع سرعة قليلة، وتحميل قليل لخزان الترسيب مع الانتباه الشديد للسرعات واضطرابات التدفق. إن هذه المعايير مجتمعة قد ينتج عنها فروق كبيرة في أحمال الكتل المخثّرة والتي قد تصل إلى المرشحات.

يجب أن تحدد وتحلل المشكلات التي لها علاقة بالمعالجة في فترة التصميم، لأن عمليات التصميم الفيزيائية يمكن أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء التصميم للسيطرة عليها. وبما أن محطات التنقية ولا سيما تلك الموجودة في الدول النامية نادراً ما تم تصميمها اعتماداً على نتائج فحوصات مخبرية، ومحطات تجريبية ومحطات مماثلة، فإن مثل هذه المشكلات لا تظهر إلاّ بعد إنشاء وتشغيل المحطة نفسها. ومن هنا يتبين أن طرق حل هذه المشكلات صعبة جداً ومعقدة ومكلفة جداً، لذلك فإن عمل تحريات كافية قبل عملية التصميم تبقى خطوة مهمة وأساسية في المناطق التي تمتلك مصادر قليلة لتطوير المحطة. ولكن الواقع يشير إلى اعتبار مثل هذه الدراسات قبل عملية التصميم هي عملية كمالية أكثر منها ضرورية.

الخطوة الأولى لمعرفة سبب إنتاج مياه مرشحة ذات نوعية رديئة ليست في تفحص المرشحات نفسها، وإنما في المعالجة الأولية التي تسبق عملية الترشيح. فإذا ما تعرضت المرشحات إلى مياه ذات درجة عكر كبيرة، فسوف تكون معرضة للانسداد، وتُكوِّن كرات طينية، وإلى احتمال حدوث اختراق لطبقات المرشح، وهذا سوف ينعكس سلباً على نوعية المياه المرشحة. وقد يكمن السبب في انتشار المخثّر الأولي، وتخفيف المخثّر في عملية التندف والترسيب.

فتحسين المعالجة الأولية ضروري جداً قبل التفكير بعمل شيء للمرشحات نفسها، لأنّ من غير المقنع استبدال المرشحات مع استمرار استعمال المياه الرديئة في عملية المعالجة، إن ذلك سوف يتلف المرشح بسرعة كبيرة. هناك محطة في جنوب شرق آسيا تم إعادة بنائها عدة مرات خلال 25 سنة، حيث كان من الصعب معالجة المياه الخام التي تصلها، وكانت المحطة تحتوي على خزان خلط سيىء، ولا يوجد خزان تندف، بالإضافة إلى أن مدخل ومخرج خزان الترسيب كان بحاجة إلى تحسين. فتحت مثل هذه الظروف يكون من المستحيل على المرشحات أن تعمل بشكل ممتاز وسوف تكون بحاجة إلى صيانة دائمة.

مع أن المعالجة الأولية هي الأساس في مشكلات المرشحات، إلا أن هناك عدة مشكلات تتعلق بالمرشحات نفسها. إن التصميم المناسب للمرشحات تم مناقشته في الفصل السابع، وبعض هذه المشكلات سوف يتم توصيفه في الفقرة اللاحقة.

الرمال أكثر المواد استعمالاً في المرشحات، تدعمها من الأسفل طبقة من الحصى، تُستَخْدم لتصريف المياه من المرشحات. ويستخدم نفس النظام للغسيل العكسي، وهذا ينتج عنه عدة مشكلات: أهمها المزج في طبقات المرشح وعمل تخلخل (اختراق) فيها، وسوء توزيع الغسيل العكسي نتيجة عدم غسيل المرشحات بشكل متوازن، وعدم كفاية توزيع مياه الغسيل العكسي بالتساوي على سطح المرشح، حيث يمكن أن يتواجد هذا في محطات تنقية قديمة وعدة محطات حديثة. فالجزء الذي يستقبل كمية قليلة من المياه قد يؤدي إلى إغلاق فراغات المرشح، بينما الجزء الآخر الذي يستقبل كمية أكبر تكون السرعة فيه كبيرة وقد تخترق طبقات المرشح. وفي بعض الأحيان قد يكون عدم

التوازن في الغسيل العكسي ناتجاً عن وجود فروق في ارتفاع سطح الماء ومصارف المياه أسفل المرشحات. إن التصميم الفعَّال للغسيل العكسي يحتاج إلى معرفة متقدمة في الهيدروليكا التطبيقية.

قد تم تصميم محطات التنقية، ولا سيّما القديم منها، للتعامل مع كميات مياه غير كافية للغسيل العكسي، وهذا يعني ألاّ يتم تمدد المرشحات بالشكل المطلوب لإزالة الكتل المخثَّرة فيها، أو الوصول إلى سرعة مياه مناسبة لها القدرة على إزالة هذه الكتل. وهناك عدة أنظمة لا تعطي كمية المياه الكافية لغسيل المرشحات بشكل كامل لأكثر من خمس أو ست دقائق، مع أنها في بعض الأحيان بحاجة إلى وقت أطول لإتمام عملية الغسيل.

ويمكن أن يكون قد تم تصميم المحطات على شكل مرشحات تحتوي على صناديق ليست عميقة، لتوفير بعض كميات الخرسانة، الأمر الذي ينتج عنه تقليل عمق المياه فوق وسط المرشحات، وهذا يعرض المرشحات إلى ضغط سالب في الفترة الأولى من دورة التشغيل مع فقدان جزء من ضغط الماء. وعادة ما تمتلئ قنوات التصريف للمرشحات أثناء الغسيل العكسي، لعدم تصميم هذه القنوات بشكل يناسب حجم المياه المستعملة في الغسيل العكسي. لهذا فإن الجزء الذي يعلو هذه القنوات لا يتم غسله بشكل مناسب، وتحدث نفس النتيجة إذا كان توزيع مياه الغسيل العكسي لا يوزع على سطح المرشحات بشكل متوازن.

حجز كميات من الهواء داخل جسم المرشحات يؤثر سلباً في عملية الغسيل العكسي وسط وقاع المرشح. فإذا كان مستوى ارتفاع مياه الغسيل العكسي أعلى من مستوى قنوات الغسيل العكسي فقد يؤدي ذلك إلى احتقان كميات من الهواء في الأنبوب الرئيس (Header) أثناء عملية الغسيل العكسي. وتحدث هذه الحالة عادة عندما تُضخ مياه الغسيل العكسي إلى المرشح. إضافة لذلك فإن احتقان الهواء قد ينتج عن تكُّون دوامة (Vortex) في خزان المياه الذي يستعمل للغسيل العكسي أثناء فترة الغسيل وهذه الحالة تتكرر كثيراً في الخزانات الضحلة. (انظر الشكل 4-6 الفصل الرابع).

8.2 التطهير

تحتوي جميع محطات التنقية في العالم تقريباً على وحدة تطهير بمادة الكلورين، مع وجود بعض الدول الأوروبية التي تستخدم الأوزون لهذه الغاية. وليس من الغريب أن نرى واحدةً أو أكثر من الحالات التالية لها علاقة باستعمال الكلورين:

- جرعة الكلورين قليلة جداً.
- فترة التلامس قليلة.
- إضافة الكلورين بعد الجير للمعادلة.
- أجهزة التطهير تعمل بصورة رديئة أو لا تعمل نهائياً.

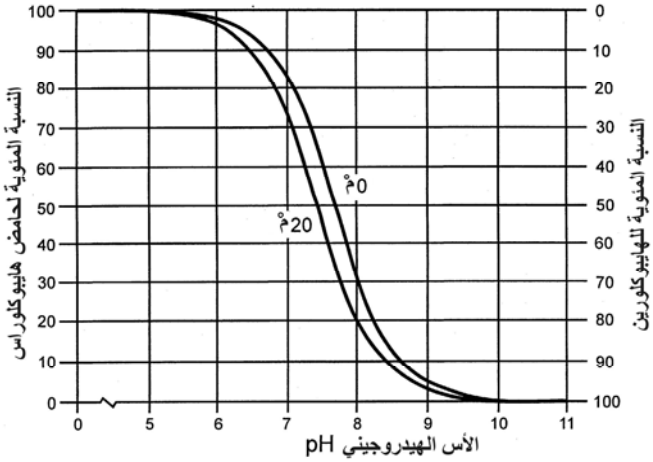
للحفاظ على صحة مستهلكي المياه لا بدّ من إكمال عملية التطهير. إن الجرعة القليلة بحاجة إلى فترة تلامس طويلة، ولكن في العادة تكون فترة التلامس قليلة، وعليه فإن الجرعة لا بدّ أن تكون كبيرة. ومهما كانت الحالة فلا بدّ من أن تكون الجرعة كافية حتى يصل التفاعل إلى وجود كلورين حر متبقٍ، (هذا يعني أن الكمية كافية لأكسدة جميع المواد القابلة للتأكسد، ويتبقى بعد ذلك كمية من الكلورين في المياه التي سوف توزع على المستهلكين). إن إضافة أية جرعة قليلة لن تؤدي إلى تطهير كامل، أو لن تطهِّر شيئاً على الإطلاق. تعتبر حالة بعض المياه التي تحتوي على ملوثات قليلة جداً، أو لا يوجد فيها ملوثات غير حرجة على الإطلاق، ولكن في المياه الخام الملوثة بشكل كبير فإن سوء عملية تطهيرها له أثر كبير على صحة المستهلكين.

تُصنَع أجهزة الكلورة بالكامل في الدول الصناعية، ولا بدّ للدول النامية من استيراد هذه الأجهزة، لذلك فإنه من غير المستغرب أن تدار عملية التشغيل في هذه الدول بشكل سيىء. والأسباب الأولية هي الصيانة السيئة، وعدم توفر قطع غيار، وقلة إمكانية تحويل العملات لاستيراد قطع الغيار

اللازمة، وعدم إعطاء الأهمية الكافية لتطهير المياه المعالجة. إن أجهزة الكلورين بحاجة إلى صيانة دائمة بشكل ممتاز لتجنب أخطار تسرب الكلور. وإن أفضل مصدر لتشغيل وصيانة أجهزة الكلورة هي كتيبات الشركة الصانعة، إذ يجب أن يتم تتبعها بدقة، فإذا كان في عملية إضافة الكلورين أي خطأ فإن سلامة المياه النهائية سيكون مشكوكاً فيها. وفي العادة تجد أن معدل سحب الكلورين أكثر مما تسمح به درجة حرارة الموقع.

كفاءة الكلورين كعامل مطهر لها علاقة مباشرة بالأس الهيدروجيني للماء. فعند درجة حرارة 20 درجة مئوية تكون أكبر قيمة من حامض الهيبوكلوريك (HOCL) يمكن الاستفادة منه كعامل مطهر ومؤكسد تبلغ حوالي 75٪، وذلك عند الأس الهيدروجيني 7، ولكن تهبط إلى 25٪ عند الأس الهيدروجيني 8 (انظر شكل رقم 2-2).

لذلك فإنه من الضروري أن يضاف الكلورين قبل تعديل قيمة الرقم الهيدروجيني للمياه المرشحة، وقبل توزيعها للمستهلكين (عادة تكون 7 أو اقل). تقل كفاءة الكلورين كعامل مطهر بصورة كبيرة عند الأس الهيدروجيني 7.2-7.3 أو أكثر ولا يحدث أي نوع من التطهير، بعد أن يصل الرقم الهيدروجيني إلى تسعة، ويجب أن يُصَمَّم خزان التطهير بحيث يبقى الكلورين المضاف حوالي 30 دقيقة على الأقل في الخزان، ويفضل أن تكون الفترة الزمنية أطول، ويتم الحصول على ذلك باستخدام حواجز في خزان الكلورة حتى لا تسير المياه في مسارات قصيرة، وحتى لا تخرج المياه من الخزان بسرعة إلى شبكة التوزيع.



شكل 2.2 تأثير الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة على تكون حامض الهيبوكلوراس في عملية التطهير

9.2 المعادلة (*Stabilization*)

معادلة الماء المعالج عملية مهمة جداً، لأن الماء إذا كان يعمل على التآكل، أو يسبب بعض الترسبات فإن له مضار كبيرة إذا نُقل إلى شبكة توزيع المياه وهو بهذه الصورة. هناك عدة محطات تنقية تعمل دون أخذ المعادلة بتلك الأهمية، لذلك فقد تتعرض شبكة التوزيع إلى مضار كبيرة قبل اكتشاف مثل هذا الضرر والعمل على تصحيحه.

إطار 2-1 قائمة تفقدية لمراجعة المخططات وكفاءة المحطة

مأخذ المياه الخام

- ☑ **الموقع صحيح.**
- ☑ **مرونة سحب المياه من مستويات مختلفة إذا كانت تناسب المصدر.**

قياس المياه الخام

- ☑ **تحديد التدفق بدقة (هدار أو مفيض أو عداد).**
- ☑ **معايرة دورية.**

قنوات المياه الخام

- ☑ **حساب أقصى تدفق باستعمال ميول القنوات القائمة .**

التعامل مع المواد الكيميائية

- ☑ **سعة التخزين لكل مادة كيميائية مثل المخثِّر والجير والكلوريد ..الخ.**
- ☑ **حجم الجرعة لكل مادة كيميائية (شاملاً الطريقة والسعة والحد).**

الخلط الابتدائي للمخثِّر مع المياه الخام

- ☑ **وصف الطريقة المستعملة بحيث يشمل وضع مخطط تفصيلي إذا كان ذلك مناسباً.**

إضافة الجير للتخثير وتعديل الأس الهيدروجيني

- ☑ **وصف طريقة الاستخدام.**
- ☑ **عند أية نقطة من عمليات التنقية يضاف الجير.**

نظام التندف

- ☑ **وصف نظام التندف المستعمل.**
- ☑ **الزمن النظري اللازم للتندف.**
- ☑ **حجم النظام.**
- ☑ **نوع النظام.**

نظام الترسيب

- ☑ **عدد الخزانات ومساحة سطح كل منها.**
- ☑ **التحميل السطحي.**
- ☑ **أبعاد كل وحدة.**
- ☑ **وصف المدخل والمخرج.**
- ☑ **تدفق المياه من على هدار المخرج.**
- ☑ **عكر المياه المترسبة**

نظام الترشيح

- ☑ **عدد المرشحات ومساحة سطح كل مرشح.**
- ☑ **عمق المرشح وحجم الجزينات المستعملة في جسم المرشح.**
- ☑ **الوسط الداعم.**
- ☑ **قاع المرشح.**
- ☑ **معدل الترشيح والغسيل العكسي.**
- ☑ **معدل التنظيف.**
- ☑ **عكر المياه المرشحة**
- ☑ **وصف المرشح وغسيل الأنابيب.**
- ☑ **أبعاد قنوات التندف.**

التطهير

- ☑ **حجم ومكان جهاز الكلورة.**
- ☑ **أدنى وأقصى تدفق.**
- ☑ **الاحتياطات الآمنة.**

المعادلة

- ☑ **نقطة إضافة المثَّبت.**
- ☑ **اضافة الكمية (والمرونة في اضافتها).**
- ☑ **الأس الهيدروجيني.**

الفصل الثالث

تحليل المياه لضبط تشغيل المحطة

تتغير خصائص المياه الخام السطحية الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية والإشعاعية بشكل كبير، وإن بعض التركيزات العالية في هذه المياه قد يصعب تخفيفها أثناء عمليات المعالجة.

تختلف معايير المياه المخصصة للاستعمال المنزلي من دولة إلى أخرى، من حيث الكمية والتركيز وعدد الفحوصات اللازمة للتأكد من جودتها. فعلى سبيل المثال، وضعت دائرة حماية البيئة (EPA) في الولايات المتحدة قائمة بمئة وتسعة وثلاثين ملوثاً تقريباً. إن معالجة هذه الملوثات هي خارج نطاق هذا الكتاب، لذلك فإن أكثر هذه الملوثات شيوعاً سوف يتم مناقشتها هنا. وعندما يتم الشك أو التأكد من وجود هذه الملوثات، فقد تحتاج إلى معالجة خاصة لإزالة هذه الملوثات إذا تطلب الأمر ذلك. هناك قائمة بالقيم الاسترشادية موجودة في جدول رقم (3-1) صادرة عن منظمة الصحة العالمية (WHO). دلائل جودة مياه الشرب (المجلد رقم 1، التوصيات، منظمة الصحية العالمية، جنيف، 1993).

3-1 المتغيرات الفيزيائية

العكر واللون هما أكثر المتغيرات الفيزيائية الواجب دراستهما في عملية المعالجة. إن مستوى كل متغير من هذه المتغيرات له تأثير كبير على عملية التنقية التي سوف تستخدم لذلك، فمن المهم جداً أن تقاس هذه المتغيرات بدقة في المياه الخام على مدار السنة. تتناسب كمية جرعة المخثر تناسباً طردياً مع كمية العكر أو اللون المراد إزالتهما. فإذا كانت كمية أي منهما قليلة فيمكن إزالتهما بطريقة سهلة، أما إذا كانت كميتها كبيرة، فيجب تصميم عمليات معقدة ذات كلفة عالية لإزالتهما، وإذا كانت كمية أي منهما تقع في مجال واسع فيجب على محطة التنقية أن تكون ذات مرونة كافية لمعالجة الحالات القصوى بطريقة اقتصادية قدر الإمكان. يجب التنبه -عندما تكون قيمة عكر ولون المياه الخام عالية- إلى عدة نقاط عند تصميم محطات التنقية، منها أن المحطة يجب أن تُزوَّد وتُخزّن كميات كبيرة من المخثر لتستعمل لتحضير الجرعات المناسبة. ويجب أن يتم الحصول على خلط أولي ممتاز للماء الخام مع المخثر، بالإضافة إلى وجوب التنبه إلى عوامل أخرى لها علاقة خاصة بالعكر واللون سيتم شرحها في الفقرات اللاحقة.

جدول رقم 3-1 قيم استرشادية للمواد الكيميائية والأحياء الدقيقة

المعطيات	قيم الدلائل (ملغم/لتر)[1]	شكاوى المستفيدين	
		السبب	ارتفاع التركيز إلى (ملغم/لتر)
الأحياء الدقيقة			
بكتيريا تتحمل الحرارة أو البكتيريا القولونية	لا يمكن اكتشافها في عينة 100مللتر		
المواد غير العضوية			
الألمنيوم	-	الترسب واللون	0.20
الأرسينيك	0.01		
كلورايد	-	الطعم والتآكل	250
النحاس	**2**	ترك بقع على الملابس	1
الفلورايد	1.5		
كبريتيد الهيدروجين	-	الرائحة والطعم	0.05
الحديد	-	ترك بقع على الملابس	0.3
الرصاص	0.01		
المنغنيز	0.05	ترك بقع على الملابس	
الزئبق	0.001		
النايتريت	50		
سيلينيوم	0.01		
صوديوم	-	الطعم	200
الكبريتات	-	الطعم والتآكل	250
إجمالي المواد الصلبة	1000	الطعم	
العسر	100	ترسبات وتكون مواد طافية(عسر عال) التآكل (عسر قليل)	
زنك	-	المظهر والطعم	3
الأس الهيدروجيني	تساوي أو أقل من 8.0	التآكل والطعم الشعور بلزوجة	قيمة قليلة قيمة عالية
معطيات فيزيائية			
اللون	-	المظهر	15 وحدة TCU
عكر متوسط[2]	تساوي أو أقل من1 NTU	المظهر	5 وحداتNTU
عكر عال[2]	تساوي أو أقل من 5 NTU		

[1] التراكيز بوحدة ملغم/لتر ما لم يتم تحديد وحدات أخرى

[2] التطهير النهائي الفعال

المصدر: منظمة الصحة العالمية، WHO، 1993.

تحتاج المياه ذات اللون الداكن إلى كمية كبيرة من المخثر للتأكد من حدوث عملية التندف، وتكوّن الكتل المخثَّرة. عندما تكون وحدة اللون حوالي 200-300 وحدة (وحدة لون حقيقية) فقد تحتاج إلى إضافة 100 ملغم/لتر من المخثر حتى تزول المواد العضوية الملونة تماماً. إن الكتل المخثَّرة الناتجة عن المواد العضوية الملونة تكون عادة خفيفة الوزن وقابلة للتَّفتت، ولهذا فلا بدّ من التحكم بها تحكّماً بالغاً حتى يتم تجنب الخلط الزائد. كما يجب نقل المياه المخثَّرة بكل حذر إلى خزان الترسيب لتجنب تفتيت هذه الكتل. لأنها إذا ما وصلت إلى المرشحات، فسوف تعمل على سدّ الفراغات الداخلية فيها، وبالتالي التأثير على عملها بفاعلية.

تحتاج المياه الخام ذات اللون الخفيف والعكر العالي (300-500 وحدة) إلى متطلبات مختلفة، فيجب أن يكون نظام التندف قادراً على التعامل مع الكتل المخثَّرة الثقيلة، التي قد تحتاج إلى طاقة أكبر للتندف. ومع وجود سرعة بطيئة وحيِّز ميت في الخزانات، فإن كميات كبيرة من الكتل المخثَّرة سوف تترسب خارج خزان الترسيب، مما يسبب مشكلات تشغيلية. ويجب أن يتم نقل المياه المخثَّرة بحيث يتم تجنب تفكك الكتل المخثَّرة أو ترسبها قبل وصولها إلى خزان الترسيب. بعد ذلك فإنه من الواجب تجميع الحمأة في خزان الترسيب وإزالتها تحت ظروف خاصة.

يتضح مما تقدم أن معظم محطات التنقية في العالم لا تعمل بالكفاءة المطلوبة، ويوجد صعوبة في تشغيلها خاصة إذا كانت المياه الخام ذات نوعية رديئة. ويجب على دوائر المياه أن تجمع المعلومات المفيدة بصورة مستمرة، وذلك لاستعمالها حين الحاجة في تحسين كفاءة إنتاج المياه.

2-3 المتغيرات البيولوجية

إن المتغيرات البيولوجية التي لها علاقة بعمليات المعالجة هي الجراثيم والفيروسات والطحالب. وجميع هذه المتغيرات موجودة في المياه السطحية، ولكن عدد هذه المتغيرات يعتمد على حالة المياه نفسها. لذلك فإن الأنهار في المناطق الصناعية والمناطق ذات الكثافة السكانية الكبيرة تكون ملوثة، حيث تحتوي على كميات كبيرة من البكتيريا والفيروسات، بينما جداول المياه التي لم تتعرض لأنشطة البشر تكون نسبياً غير ملوثة وتحتوي على كميات قليلة من البكتيريا والفيروسات.

إن رقابة المتغيرات البيولوجية أكثر صعوبة وتعقيداً من رقابة المتغيرات الفيزيائية. وذلك لأن عملية عد الأحياء الدقيقة يحتاج إلى تدريب مكثف وخبرة عالية جداً أكثر بكثير من قراءة العكر وشدة اللون. معرفة كمية الجراثيم وفيروسات محددة تحتاج إلى أجهزة معقدة، لذلك فإن الدوائر المائية الكبيرة بحاجة إلى أن يكون لديها الأجهزة اللازمة وأشخاص مدربون على مراقبة البكتيريا والطحالب على المستوى الميكربيولوجي أو البيولوجي. إن مراقبة الفيروسات أكثر تعقيداً ولكنها في نفس الوقت غير ضرورية لمعظم المياه.

تنقص أعداد البكتيريا والفيروسات الموجودة في المياه أثناء عملية المعالجة بنفس نسبة نقص عكر هذه المياه. فإذا تم خفض العكر بقيمة 95٪ فيمكن افتراض أن الحمل الجرثومي والفيروسي قد انخفض بنفس النسبة. عندما يكون عكر المياه المرشحة قليلاً جداً فإن عملية التطهير اللاحقة يمكن أن تكون ذات فاعلية كبيرة، ويجب أن تقضي على الجراثيم ومعظم الفيروسات إذا كانت الجرعة المضافة مناسبة للتطهير.

من وجهة نظر مشغلي محطات التنقية، فإن أهم الأحياء الدقيقة على الإطلاق هي الطحالب، ووجودها سوف يخلق مشكلة كبيرة أثناء عمليات التنقية، خاصة إذا تراكم تكاثر هذه الطحالب على جدران الخزانات، مما يسبب انسداد المرشح، وينتج عنه كذلك طعم ورائحة، ولهذا فمن المهم جداً أن يتم تحديد نوع الطحالب وعددها في محطة التنقية.

تزيل عمليات معالجة المياه الطحالب بوساطة التخثير والتندف والترسيب. وقد يصل عدد قليل من الطحالب إلى المرشحات، مما قد يسبب مشكلات خطيرة، لذلك يجب السيطرة على تكاثر الطحالب،

أثناء المعالجة، إذا كان ذلك ممكناً، عن طريق إضافة جرعة من الكلورين عند تواجد الطحالب بكميات كبيرة. إن إضافة الكلورين في مراحل المعالجة الاولى يقلل من الطحالب، ولكن قد يَنْتُج عن ذلك مشكلات أكثر سوءاً بتكوين ثلاثي هيلوميثان (THM)، ولا سيّما إذا كانت المياه تحتوي على مواد عضوية. وعلى دوائر المياه أن تقوم بمراقبة ثلاثي هيلوميثان إذا كان الكلورين يضاف قبل معالجة المياه في المحطة، وكانت المياه الخام تحتوي على مواد عضوية. وقد يكون إضافة الكلورين على فترات متقطعة، أكثر سلاماً في مثل هذه الحالات.

إن أهم أنواع الطحالب التي يجب أن تؤخذ بالاعتبار لدى معالجة الماء، هي تلك التي تسبب الطعم والرائحة، وتلك التي تسبب انسداد المرشحات. وثمة ضرورة لتحديدها والسيطرة عليها في بداية المحطة، كما يجب إعطاؤها الأهمية أثناء تصميم عمليات المعالجة. بعض الطحالب تم تصنيفها على أنها تسبب الطعم والرائحة، ومنها: *Asterionella، Ceratium، Dinobryon ، Peridinium.* ، *Stephanodiscus، Synedra ، Synura ، Tabellaria and Uroglenopsis* ، وهناك بعض الأحياء الدقيقة التي تكثر في المرشحات وتسبب انسدادها، منها: *Asterionella، Fragillaria ، Synedra، Tabellaria ، and Tribonema.*

3-3 المتغيرات الكيميائية والملوثات

إن المتغيرات الكيميائية هي أكثر المجموعات المنتشرة التي يجب تحديدها ومراقبتها في المياه حيث لها علاقة في تصميم ومراقبة العمليات في محطات التنقية.

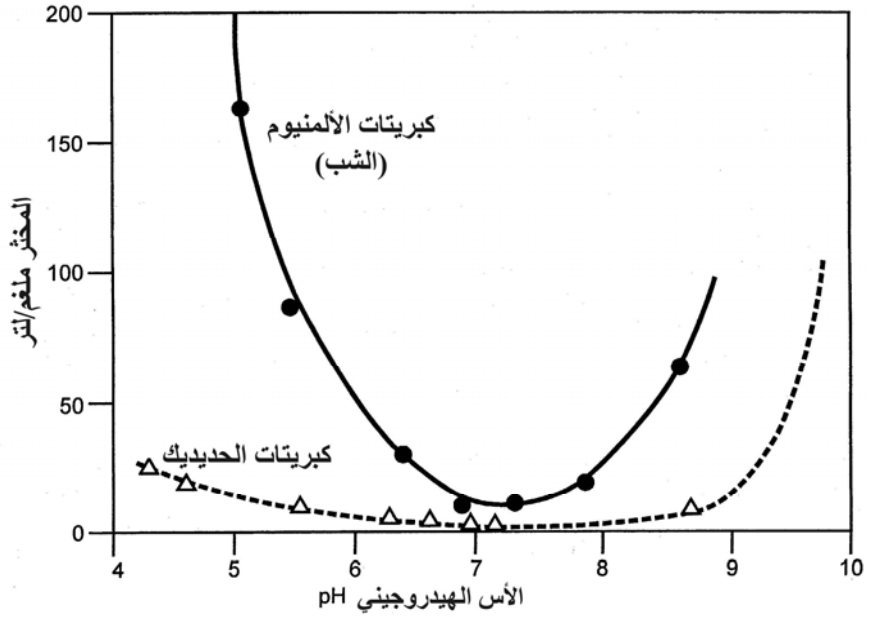
1.3.3 الأس الهيدروجيني

يُعبِّر الأس الهيدروجيني عن درجة الحموضة أو القاعدية للماء، وهذا يعكس صفات منطقة مستجمعات مياه الأمطار، ونوع الطبقات الصخرية التي مرت من خلالها المياه الخام. فإذا كانت المنطقة ذات صخور جيرية، تكون المياه الخام قاعدية وعسرة، وتكون ذات أس هيدروجيني كبير. بعكس ما إذا كانت الصخور الجيرية غير موجودة، عندها ستكون المياه يسره وقليلة القلوية وذات أس هيدروجيني قليل. يوجد للأس الهيدروجيني تأثير كبير على تفاعلات المخثر مع المياه الخام. فكمية كبريتات الألمنيوم وكبريتات الحديديك الضرورية لتقليل عكر المياه إلى النصف، تختلف باختلاف الأس الهيدروجيني (انظر الشكل رقم 3-1). وللحصول على أقصى كفاءة من الجير كمخثر، فإن الأس الهيدروجيني له مدى قليل جداً، بينما لكبريتات الحديديك أس هيدروجيني ذو مدى واسع. إن القيمة القصوى للأس الهيدروجيني لها أهمية كبرى في محطات التنقية التي تستخدم الجير كمخثر، وإلا فإن جزءاً كبيراً من المخثر لا يستفاد منه حيث يعتبر جزءاً ضائعاً.

في معظم محطات التنقية، لا يتم تعديل قيمة الأس الهيدروجيني لوسط المخثر، إلا إذا كانت نسبة القلوية مهمة جداً لاستمرار التفاعلات، ويتم فيه تحديد جرعة المخثر للحصول على أفضل عملية ترسيب بوساطة عمل تجارب مخبرية بالإضافة إلى الخبرة. والسبب الرئيس في ذلك هو ملاءمة ذلك لعمليات المعالجة. فقد يكون الأس الهيدروجيني ليس الأفضل، ولكن برأي المشغل قد يكون كافياً. يحتاج تعديل قيمة الأس الهيدروجيني إلى حامض أو قاعدة، وإلى أجهزة خاصة وتكلفة إضافية وانتباه المشغلين لعمليات المعالجة. ومع ذلك فقد تكون التكلفة النهائية تقريباً متساوية.

يقل الأس الهيدروجيني أثناء عمليات المعالجة نتيجة التفاعل بين المخثر والقلوية للمياه الخام. ولتجنب تآكل شبكات توزيع المياه يجب زيادة الأس الهيدروجيني (عادة بوساطة الجير) قبل نقل المياه من محطة التنقية، ولكن هذا يتعارض مع عمليات التطهير. فكفاءة الكلورين في تطهير المياه لها علاقة مع قيمة الأس الهيدروجيني، فإذا كان الأس لهيدروجيني عالياً فإن معظم الكلورين المضاف لا يستفاد

منه، ويعتبر ضائعاً، ولا تتم عملية التطهير بكفاءة، كما تم شرحه في الجزء 2-8، لذلك يجب إضافة الكلورين قبل تعديل قيمة الأس الهيدروجيني.



شكل 3-1 تخثير عينة ماء تحتوي على 50 ملغم/لتر كاولين تظهر الجرعة المطلوبة لتخفيف العكر الناتج عن صلصال بمقدار 50%. إن كفاءة كبريتات الألمنيوم وكبريتات الحديديك تختلف مع اختلاف الأس الهيدروجيني.

يجب أن يتم باستمرار قياس الأس الهيدروجيني، (وأن يحفظ في سجل) للمياه الخام، والمياه المترسبة فيها، والمياه المرشحة، والمياه التي يتم ضخها في شبكة المياه. وكذلك يجب أخذ عينات للفحص من الشبكة نفسها للمراقبة ومعرفة جميع التغيرات الحاصلة.

2.3.3 القلوية

يجب أن تتوفر القلوية في المياه الخام حتى تستمر عملية التخثير، وتتكون كتل متخثّرة مقبولة. ويمكن أن تكون هذه القلوية طبيعية ناتجة عن مرور الماء في صخور قلوية في منطقة مستجمعات مياه الأمطار، وقد تكون إضافية لأن بعض المياه تكون ذات قلوية قليلة. إن كبريتات الألمنيوم (الشب) هي أكثر المواد استعمالاً في العالم كمادة مخثرة، وأن قيمة القلوية المستخدمة في التفاعل مع الشب بتركيز 1ملغم/متر هي:

- 0.5 ملغم/لتر قلوية طبيعية في المياه الخام على شكل كربونات الكالسيوم.
- 0.33 ملغم/لتر جير سريع (quick lime) على شكل أكسيد الكالسيوم.
- 0.39 ملغم/لتر جير مائي (hydrated lime) على شكل هيدروكسيد الكالسيوم.
- 0.54 ملغم/لتر رماد الصودا (Soda ash) على شكل كربونات الصوديوم.

تُستخدم بعض محطات التنقية كلوريد الحديديك كمادة مخثرة أساسية. إن كمية القلوية التي تُستَخدم في التفاعل مع 1.0 ملغم/لتر من كلوريد الحديد هي:

- 0.92 ملغم/لتر قلوية طبيعية على شكل كربونات الكالسيوم.
- 0.72 ملغم/لتر بتركيز 95٪ على شكل هيدروكسيد الكالسيوم.

تكون القلوية الموجودة في معظم الحالات في المياه الخام كافية لاستمرار عملية التخثير (عادة تكون في حدود 12.5 ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم، وهذا يعني أنها كافية للتفاعل مع 25 ملغم/لتر من الشب). بالإضافة إلى أنه يجب مراقبة القلوية في عملية المعالجة، إذ يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أثناء تصميم محطات التنقية. إذا كانت القلوية قليلة فيجب زيادتها، وإذا كانت القلوية عالية جداً فإن المياه تكون عسرة، ويجب أن تحول إلى مياه يسرة.

3.3.3 الحديد والمنغنيز

يسبب الحديد والمنغنيز بعض المشكلات في مياه الشرب. ويعتبر الحديد الأكثر شيوعاً حيث ينتج عن السيليكا الموجودة في الصخور النارية المنتشرة في العالم. ولكن المنغنيز أكثر شيوعاً في الصخور المترسبة والصخور المتحولة. إن مشكلات الحديد والمنغنيز تنتج عن البحيرات والخزانات التي تحتوي على بيئة لاهوائية، حيث أن البيئة اللاهوائية تَختَزل الحديديك والمنغنيز رباعي الأيون إلى حديدوز ذائب ومنغنيز ثنائي الأيون. تتكون طبقات (Stratification) في جسم الماء في الأجواء الدافئة والبيئة الهادئة، ولذا فإن الحديد والمنغنيز المذابين يتواجدان في الطبقات اللاهوائية السفلى. وعندما يمتزج الماء نتيجة حركة الهواء وتغيرات درجة حرارة الماء (انقلاب الطبقات المائية) فإنه يعمل على ذوبان الحديد والمنغنيز في الماء، وهذا يسبب مشكلات في محطة التنقية نتيجة زيادة شدة اللون والعكر والمواد العضوية.

يتم إزالة الحديد والمنغنيز في معظم محطات التنقية بأكسدتها وتحويلها من حالة الإذابة إلى الحالة المترسبة، ليتم إزالتها من المحطة نهائياً. والعامل المؤكسد المستعمل بشكل واسع هو الكلورين وبيرمنغنات البوتاسيوم ذات الكفاءة الخاصة في أكسدة مركبات المنغنيز، ولكن توفره وتكلفته تعتبر حجر عثرة لدوائر المياه في الدول النامية. قبل تصميم نظام لإزالة الحديد والمنغنيز على نطاق واسع لا بد من عمل تجارب مخبرية وتحريات تجريبية لتحديد القيمة القصوى للأس الهيدروجيني، أو الوقت اللازم لإتمام تفاعلات الأكسدة بالكامل. وقد يحتاج إلى وقت طويل (15-30 دقيقة) حتى تتم تفاعلات الأكسدة بالكامل، في نفس الوقت يجب أن يكون الأس الهيدروجيني في المدى القلوي. الفحوصات المخبرية، والتجارب التجريبية، وبناء محطات تنقية تجريبية، تمت مناقشتها في الفصل الخامس.

4.3.3 الطعم والرائحة

إن الطعم والرائحة صفتان شائعتان في امدادات المياه، لوجود مواد متعددة تتسبب في ظهورها، وعدد من هذه المواد يدخل النظام المائي بسهولة. وعادة يكون الطعم والرائحة سببهما وجود طحالب، ومنها الطحالب الخضراء المزرقة، بالإضافة إلى مواد كيميائية تكون في معظم الأحيان السبب في ظهور طعم ورائحة للمياه منها الفورمالدهايد، الفينول ومركبات عضوية ومخلفات بتروكيماوية ونافثالين وتيترالين وأسيتوفينون والأيثر ومركبات ملوثة ناتجة عن صناعة البيتروكيماويات.

تظهر المشكلة عادة عند إضافة الكلورين للمواد العضوية، وبعض المواد التي ذكرت سابقاً. عند حدوث ذلك يصبح من الضروري معرفة مصدر هذه المواد العضوية وتصميم نظام لمعالجة ذلك. والطريقة المثلى لذلك هي إزالة الطعم والرائحة قبل وصول المياه الخام لمحطة التنقية، بحيث تشمل السيطرة على المخلفات التي تتسرب إلى المياه الخام، والسيطرة كذلك على تكاثر الطحالب في خزانات المياه. وعندما لا نستطيع منع ذلك عند المصدر فلا بد من ضرورة معالجة ذلك بإحدى الطريقتين التاليتين: إما الأكسدة أو الامتزاز، ويمكن أن تتم عملية الأكسدة بوساطة الكلورين أو البيرمنغنات أو الأوزون أو أكسيد الكلور.

ويمكن القيام بعمل تجارب وفحوصات مخبرية لتحديد كفاءة وتكلفة عملية الأكسدة. إن عملية الامتزاز فعَّالة، ولكنها حل مكلف جداً، ويعتمد ذلك على توفير الكربون المنشط. ويحدد سبب الطعم والرائحة أسلوب المعالجة، بالإضافة إلى الناحية الاقتصادية للحلول المطروحة. وإنشاء محطة معالجة تصحيحية، تكون عادة باهظة، الكلفه مما يؤكد أهمية وفائدة تفادي أن يكون هذا هو الخيار الأول.

5.3.3 الكبريتات والكبريتيد

تنتشر مركبات الكبريت بشكل واسع في جميع أنحاء العالم، ووجود هذه المركبات بكميات كبيرة يتسبب في ظهور مشكلات خطيرة في مياه الشرب المعدة للتوزيع. فقد تسبب الكبريتات ترسبات في السخانات أو مراجل التبادل الحراري، وتحت ظروف مواتية للاختزال يتم تحويل الكبريتات إلى كبريتيدات مما يسبب روائح خطيرة.

إن معالجة الكبريتات أو الكبريتيدات عملية معقدة جداً وباهظة التكلفة، وفي معظم الحالات فإن الحل الوحيد هو التعايش مع المشكلة، أو أن تجد مصدراً آخر للمياه الخام. وإذا لم يتوفر أية خيارات أخرى غير معالجة مركبات الكبريت، فيمكن أكسدة هذه المركبات إلى مركبات كبريتية غراونية، وبذلك يمكن إزالتها والتخلص منها عن طريق الترشيح. ومع ذلك يبقى بعض الطعم والرائحة، وبذلك قد تحتاج إلى معالجة أخرى للقضاء على المشكلة نهائياً.

6.3.3 النيترات

إن النيترات من المكونات العامة للمياه الطبيعية، وقد يزداد تركيز النيترات نتيجة المخلفات المنـزلية السائلة، أو ناتج عن أراض زراعية، أو عن التصريف الناتج عن مكب النفايات. وهناك ميل كبير لجميع مركبات النتروجين أن تتحول إلى نيترات، وتعتبر هذه إشارة دالة على أن المياه ملوثة. وإزالة النيترات أمر مكلف، ويحتاج إلى معالجة خاصة بطريقة التبادل الأيوني، وهي أفضل طرق المعالجة. بما أن المصدر الشائع للتلوث بمركبات النتروجين يكون إما من مخلفات سائلة أو من تصريف مياه الري، لذلك فإن أفضل طريقة معالجة هي منع هذه المياه من الوصول إلى المياه الخام التي تصل إلى محطة التنقية وهذا هو الحل العملي المفضل.

7.3.3 عسر الماء

إن عسر الماء ناتج عن وجود عناصر ثنائية الأيونية، حيث أن الكالسيوم والمنغنيز أكثر العناصر شيوعاً وتسبباً في عسر الماء، وعادة يكونان مرتبطين بالهيدروكربونات أو الكبريتات أو الكلور أو النيترات أو أكسيد السيليكون. وإن المياه السطحية والمياه الجوفية التي تمر من خلال مناطق تتواجد فيها الصخور الجيرية تكون مياه ذات عسر عالٍ جداً نتيجة الأيونات الثنائية وخاصة الكالسيوم.

إن السبب الرئيس والمهم في إزالة الزيادة الكبيرة في عسر الماء هو زيادة كمية استهلاك الصابون في الغسيل، الأمر الذي يزيد التكلفة. ينتج عن الماء العسر ترسبات في الوحدات التي تكون فيها درجات الحرارة عالية مثل السخانات والأنابيب وهذه الترسبات في الأنابيب تسبب إعاقة بجريان الماء في شبكة توزيع المياه.

إن عسر الماء من 80-100 ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم أمر محبّذ، ولكن إذا زاد عسر الماء عن 150 ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم فيعتبر حينها مقبولاً، أما إذا زاد عن 250ملغم/لتر فهذا يسبب مشكلات ملحوظة. وإذا ما زاد عسر الماء إلى درجة كبيرة وملحوظة فلا بد لدائرة المياه من إجراء اختبارات وتحاليل دقيقة لتحديد الطريقة السهلة والاقتصادية لمعالجة هذا الوضع.

إن إزالة عسر الماء الناتج عن الكربونات عملية سهلة نسبياً، وذلك بإضافة الجير الى الحدّ الذي يصبح الأس الهيدروجيني فيه بحدود 9.3-10، مما يسبب ترسب الكالسيوم على شكل كربونات الكالسيوم، ونتيجة لذلك فقد يرتفع الأس الهيدروجيني إلى 10.5، وذلك للتأثير على ترسيب المنغنيز على شكل هيدروكسيد المنغنيز. عندما يكون مصدر عسر الماء من غير الكربونات فيمكن إضافة مادة قلوية أخرى على سبيل المثال: كربونات البوتاسيوم أو الصودا، عندها سوف تستبدل الأيونات الثنائية المسببة للعسر بالصوديوم، وقد ينتج عن ذلك زيادة تركيز الصوديوم في المياه، مما قد يسبب مشكلات لبعض السكان الذين يتأثرون بالصوديوم، والذين يجب تحديد نسبة تناولهم من الصوديوم. بعد انتهاء التفاعلات الكيميائية الخاصة للتخلص من عسر الماء حيث يكون الأس الهيدروجيني للمياه مرتفعاً، ولا يصلح لتوزيعه عبر شبكة توزيع المياه للسكان، لذلك يجب إضافة ثاني أكسيد الكربون لتقليل الأس الهيدروجيني إلى حالة الاستقرار.

8.3.3 الكلورين

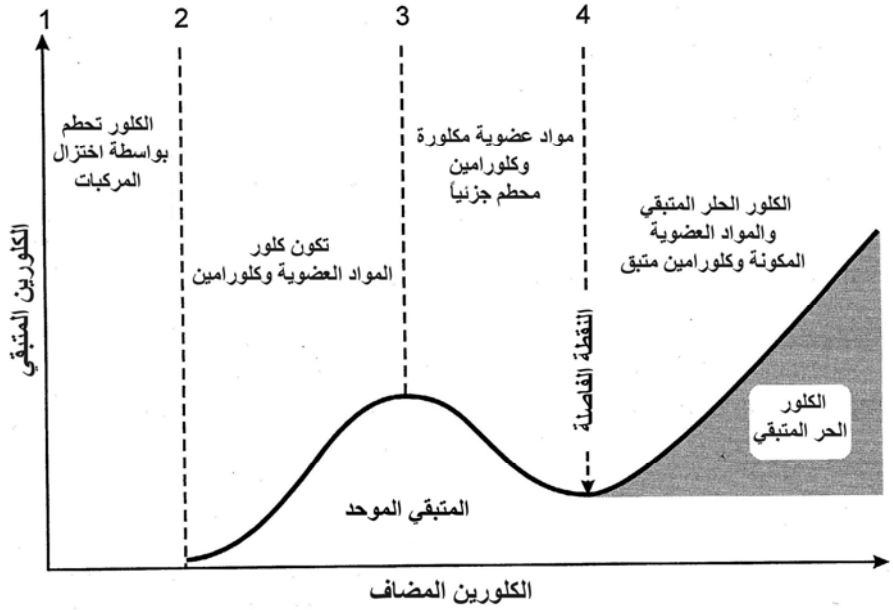
يستعمل الكلورين في معظم محطات التنقية كمطهر نهائي قبل تحويل المياه إلى شبكة توزيع المياه. إن إضافة الكلورين تتم بعد عملية الترشيح، ولكن قبل تعديل قيمة الأس الهيدروجيني، لأن كفاءة الكلورين تكون عالية عندما يكون الأس الهيدروجيني قليلاً. يجب أن يوفر تصميم المحطة وقت تلامس لا يقل عن 30دقيقة بين الكلورين المضاف والمياه المرشحة، وذلك لتطهير أية مواد عضوية تمر من خلال المرشحات، إن قلة عكر المياه المرشحة تقلل من حماية الأحياء الدقيقة بوساطة المواد العالقة.

يجب أن تكون جرعة الكلورين كافية لقتل الأحياء الدقيقة، التي استطاعت أن تمر من خلال المرشحات، وأن تؤدي إلى تأكسد المواد الأخرى، مثل مركبات الحديد والمنغنيز، كما يجب أن تحتوي المياه الخارجة من محطة التنقية على كلورين حر متبق. بذلك يتم التحقق من نوعية المياه المعالجة، ويؤكد حماية المياه ضد أي تلوث قد يحصل لاحقاً في شبكات المياه وقبل وصول المياه للمستهلك. إن فحص اللون بالمقارنة باستعمال DPD هو فحص سريع وغير مكلف لمعرفة الكلورين الحر المتبقي في المياه.

يبين الشكل رقم 3-2 مستوى الكلورين ومشتقاته أثناء التفاعلات الكيمائية، بعد إضافة الكلورين. في البداية يتفاعل القسم الأكبر من الكلورين مع المواد القابلة للتأكسد بشكل كبير، بعد ذلك تتكون المواد العضوية المكلورة والكلورامين، والبعض الآخر يتحطم حتى يصل التفاعل نقطة الكسر (Break point)، بعدها يبدأ الكلور الحر المتبقي بالظهور. ولإتمام عملية التطهير لا بدّ من إضافة كمية كافية من الكلورين لتسمح لهذه السلسلة من التفاعلات بالحدوث. ومع أن للكلورامين قيمة خاصة في عملية التطهير، إلا أن الكلور الحر يعتبر أكثر كفاءة بخمس وعشرين مرة.

4-3 التحاليل المخبرية

يجب على دائرة المياه أن يكون لديها الأجهزة والمواد الكيميائية الأساسية، حتى يقوم الشخص المناسب والذي تم تدريبه بقياس دقيق للخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الخام والمياه المعالجة. إن المعلومات الدقيقة والكاملة عنصر أساسي من عناصر مراقبة جودة المياه، وتصميم تحسين محطة التنقية. وعلى كل دائرة مياه أن تحدد احتياجاتها بالاعتماد على مصادرها الخاصة وأن تنظم عمل مختبراتها بناء على ذلك.



شكل 2.3 تكوين مركبات الكلورين مع زيادة إضافة الكلورين. يجب انتاج الكلورين الحر للمحافظة على فاعلية التطهير أثناء توزيع المياه

إن المرشد الأساسي للقيام بالتحاليل المائية، هو الطرق المعيارية لفحوصات المياه والمياه العادمة (الطبعة 19)، المطبوع من قبل المؤسسة الأمريكية للصحة العامة، والمؤسسة الأمريكية لأعمال المياه، ومؤسسة التحكم في تلوث المياه (1992). وهذا الكتاب يستعمل بشكل مستمر وذلك منذ الصدور الأول له عام 1905 ولا يزال يُحَدَّث بشكل دوري.

وكتاب آخر عن طرق تحليل المياه هو مراقبة مواصفات المياه، قام بتحريره J. Bartram and R. Ballance، وتم طباعة سلسلة من هذه الكتب من قبل E & FN Spon سنة 1996، وكذلك دليل تشغيل المياه/ GEMS والذي تم انتاجه وطباعته من قبل منظمة الصحة العالمية في جنيف عام 1992. إن معظم الكتب الحديثة توصي باستخدام الطريقة التحليلية المعيارية والتي تم طباعتها من قبل المنظمة العالمية للمعايير (ISO) في جنيف.

1.4.3 أجهزة وأدوات المختبر

عادة يكون في المدن الكبرى مختبر مركزي للقيام بعمل جميع التحاليل والاختبارات لجميع أجزاء النظام في المدينة. وقد يحتوي هذا المختبر على أجهزة معقدة، وعدد كبير من الموظفين تبعاً لحجم المدينة أو المنطقة. في بعض المناطق قد يكون المختبر قريباً من محطة التنقية، أو موجوداً بداخلها. مع ذلك فإن العمل المنوط بمختبر محطة التنقية عمل يختلف. إذ يجب أن يحتوي على أجهزة خاصة للقيام بالمراقبة والسيطرة على تشغيل المحطة. إن الأجهزة الأساسية التي يجب أن تتوفر لإجراء التحاليل لمياه محطة التنقية تم ذكرها في الإطار رقم 3-1.

عادة يكون السعر، وتزويد المحطة بالأدوات الزجاجية ليسا بالعامل المهم. وتوجد بعض الفوائد لاستعمال أدوات بلاستيكية بديلاً لأدوات زجاجية في معظم محطات التنقية (خاصة في الدول النامية) وهذه الفوائد هي:

- إن الأدوات البلاستيكية قوية ومتينة، ويمكن وضع العلامات المناسبة عليها بوساطة الخدش بسهولة أكبر من الزجاجيات. كما أنها أصلب من الزجاج وتعمر طويلاً.
- إن الأدوات البلاستيكية دقيقة لإجراءات التجارب المطلوبة في تحاليل محطات التنقية.
- يمكن الحصول على أدوات بلاستيكية تقاوم حرارة التعقيم.
- إن الأدوات البلاستيكية خفيفة، ويمكن نقلها بسهولة، ولها أهمية في العمل الميداني خاصة في الأماكن ذات التضاريس الصعبة.

2.4.3 الاختبارات الفيزيائية والكيميائية

يعتبر القيام بفحوصات ومراقبة المياه في محطات التنقية عبئاً لا يستهان به، لذلك هناك حاجة لعمل جدول خاص وكتابة تقارير، وحفظ هذه التقارير. وسيتم شرح أساسيات تحاليل المياه في الفقرات التالية.

عند أخذ عينة لإجراء الفحوصات عليها من نهر أو من خزان، تكون مدة مكوث المياه فيه قليلة، لذلك فقد تتغير الظروف أثناء فيضانات الشتاء. فعلى سبيل المثال: إن عسر الماء قد يكون متجانساً لفترة طويلة من الوقت، إلاَّ أنها تقل نتيجة التخفيف أثناء التدفق العالي. بعض الماء اليسر يتدفق على شكل كتل متتابعة من النهر، ويكون ذا حامضية أثناء حدوث فيضانات.

- *العكر (بطريقة مقياس العكر) واللون (بطريقة القياس الضوئي):* خذ عينة من الماء مرشحة ومترسبة (لقياس العكر فقط)، في كل فترة من فترات التشغيل إذا كانت نوعية المياه لا تتغير، وإذا كانت النوعية متغيرة فيجب أخذ عينة كل ساعتين، أو عندما تتطلب الضرورة، لأخذ القرار المناسب لتشغيل المحطة، يجب تحديد وتسجيل نتائج فحوصات العكر واللون مباشرة.
- *درجة الحرارة (بوساطة مقياس درجة الحرارة):* يجب قراءة درجة حرارة الماء الخام والماء الخارج من محطة التنقية في كل فترة من فترات التشغيل.
- *الأس الهيدروجيني (بوساطة مقياس الأس الهيدروجيني):* يقاس الأس الهيدروجيني كل ساعتين على عينات من المياه الخام والمياه المترسبة والمياه المرشحة والمياه النهائية، ويجب تسجيل النتائج مباشرة.
- *القلوية (بوساطة المعايرة):* إذا لم تكن الظروف متغيرة، فإن قياس عينة واحدة كل أسبوعين إلى اربعة أسابيع كافية، أما إذا كانت الظروف متغيرة فيجب قياسها تبعاً لمتطلبات تشغيل المحطة، وقد تكون عينة في كل فترة من فترات التشغيل.

- *الحديد (بطريقة فينانثرولين أوجهاز امتصاص الطيف الذري(AAS)):* إذا كان الحديد يتسبب في ظهور مشكلات، فيجب مراقبته باستمرار، وإذا كان التركيز يتغير، يجب أن يقاس عندها في كل فترة من فترات التشغيل، ولكن تحت ظروف مستقرة فإن قياس الحديد أسبوعياً يعتبر كافياً.
- *المنغنيز (بوساطة المقياس الطيفي أو جهاز امتصاص الطيف الذري):* إن توفير (AAS) قد يكون صعباً في معظم دوائر المياه، ولكن يمكن توفيره في مختبر مركزي. إن جهاز القياس الطيفي البسيط قد يفي بالغرض لمعظم محطات التنقية، مع أنه غير دقيق وتكرار إجراء الفحوصات يعتمد على ظروف التشغيل.
- *المواد الصلبة الذائبة (بطريقة الوزن):* عندما تكون الأوضاع مستقرة يفضل أن تقاس المواد الصلبة الذائبة أسبوعياً، أو أقل من ذلك، أما إذا كانت الأوضاع غير ذلك فيفضل أن تقاس في كل فترة من فترات التشغيل.
- *استقرار كربونات الكالسيوم (طريقة لانجلير):* يجب تحديد كربونات الكالسيوم باستمرار وفي كل فترة من فترات التشغيل.
- *الكلورين المتبقي (بوساطة DPD):* يجب قياس الكلورين المتبقي كل ساعتين، ويجب أن تؤخذ العينة من المياه الصافية الخارجة من المحطة.
- *الفلوريد (بوساطة الالكترود):* يجب قياس الفلوريد يومياً، ولا سيّما إذا كانت محطة التنقية تستخدم الفلور في عمليات المعالجة حيث يضاف بعض الأحيان لحماية أسنان الأطفال.
- *عسر الماء (طريقة المعايرة (EDTA)):* إن عسر الماء تقريباً ثابت، لذلك فإن فحص عسر الماء أسبوعياً وفي بعض الأحيان شهرياً يكون كافياً.

إطار رقم 3-1 قائمة بأسماء الأجهزة والأدوات اللازمة لمختبر محطة تنقية.

الأجهزة:

- جرار مربعة لعمل اختبار الجرة.
- جهاز محرك لاختبار الجرة للخلط (مثال فيبس وبيرد).
- ثلاجة سعة 20-30 لتر (موديل تجاري مناسب).
- فرن للتجفيف بمدى درجة حرارة 30-350 درجة مئوية.
- صفيحة تسخين (Hot plate) بحجم معياري وذات تحَّكم بدرجة الحرارة.
- محَّرك مغناطيسي مع تحكم بدرجة الحرارة.
- جهاز تقطير مياة لإنتاج 2-3 لتر الساعة.
- ميزان ذو كفة واحدة.
- ميزان تحليلي (أتوماتيكي أقصى وزن 1 كغم بدقة 0.01 غرام).
- مجموعة مناخل رمل (عشرة) بحجم من 0.3-0.4 ملم (ذو معيار أمريكي أو معيار مشابه).
- مرشح تجريبي متنقل بقطر 2 إنش مع ملحقاته ويحتوي على خزان ومضخات.
- مضخة نموذجية للتحكم بالجرعات مع ملحقاتها.
- جهاز DPD (لقياس تركيز الكلورين).
- جهاز قياس ضوئي.
- جهاز قياس الطيف الضوئي.
- جهاز قياس العكر.
- جهاز قياس الأس الهيدروجيني (1- 14).

الزجاجيات:

- قوارير الغسيل.
- بيكر (30 و 50 و 100 و 250 و 600 و1000 مللتر).
- قوارير مدَّرجة (10 و 25 و 50 و 100 و 250 و 500 و 1000 لتر).
- سحاحات (50 و100 مللتر).
- قارورة ايرلمنير (Erlenmeyer Flask).(500، 250، 100، 50 لتر)
- قارورة حجمية (100، 1000،500 مللتر).
- قطَّارة. (100، 25، 10، 5، 1 لتر)
- محقان (10-20 سم من الأعلى).
- قوارير للمواد الكيميائية.

المواد الكميائية:

- كبريتات الألمنيوم.
- جير (ذو جودة تجارية).
- حامض الكبريتيك وحامض الهايدروكلوريك.
- كلوريد الحديديك وكبريتات الحديديك.
- بوليمر موجب وبوليمر متعادل.
- أوراق ترشيح، واتمان (Whatman) .

الفصل الرابع

تشغيل وتطوير المحطات

4-1 سجلات المحطة

السجلات الجيدة في محطات التنقية لها دور مهم في تحسين كفاءة أو تصميم وحدات مطوّرة في المحطة لنوعية مياه خام متشابهة. ومع ذلك فإن الدراسات الدقيقة لمثل هذه الأعمال يمكن إيجادها عادة في سجلات كفاءة المحطة بشكل غير كامل وغير كافٍ وغير متوازن، وتعتبر بهذه الحال غير موجودة علمياً. إذا تم الاحتفاظ بسجلات لمراقبة وتشغيل المحطة، فإن قيمتها الحقيقية تكون بتوفيرها لنتائج الفحوصات اللازمة للدراسة دون عمل تحاليل إضافية. إن أهم العوامل لتحسين كفاءة المحطة هو فحص المياه الخام، ومعرفة خواصها، وكلما كانت المعلومات المتوفرة أكثر،كانت عملية التحسين في المحطة أفضل. والوضع الأمثل للمحطات القديمة هو الاعتماد على المعلومات التي تم تجميعها خلال عشرين سنة على الأقل، بحيث تحتوي على القيمة الصغرى والقيمة العظمى لكل من العكر واللون والأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة والقلوية وتركيز الحديد وتركيز المنغنيز.

بالنظر إلى خصائص مناطق مستجمعات المياه الخام، هناك مؤشرات أخرى لها أهميتها، كتلك المتعلقة بالفوسفات والكلورايد، والكبريتات، والنيترات، والمعادن الثقيلة، والمبيدات الحشرية، وملوثات صناعية مختلفة.

في معظم محطات التنقية -حتى في الدول الصناعية-، ليس هناك وقت أو قدرة للمشغلين، ولا يتوفر الأدوات المخبرية للقيام بتحاليل أكثر مما تحتاجه عمليات المحطة. لذلك في هذا الكتاب سوف نناقش الاختبارات التي يمكن أن يقوم بها مختبر محطة تنقية صغيرة. هذه المعلومات يجب أن تجمَّع وتسجَّل كما هو واضح في الإطار رقم 4-1 بحيث تشمل التحاليل الخاصة المذكورة في هذا الفصل والفصول الأخرى.

4-2 مأخذ المياه الخام وكمية التدفق

إن التوصيات التي تخص تحسين كفاءة محطات معالجة المياه متوفرة. تصف الفصول الخامس والسادس والسابع هذا العمل، الذي يبدأ من منشأ المأخذ، ومقياس تدفق المياه الخام. إن المشغلين لا يستطيعون تحسين مأخذ المياه الخام، ولكن يمكن أخذ المياه من أعماق مختلفة، حيث أن أخذ العينات وتحليلها يمكن أن يحدد العمق الذي يكون فيه تركيز الطحالب والعكر والملوثات الأخرى أقل ما يمكن. وإذا كان هناك خطأ في الموقع أو في تصميم المأخذ، عندها يجب إخبار المسؤولين بأهمية وخطورة هذه المشكلة للعمل على تحسينها والأخذ برأي المشغلين.

إطار 4-1 معطيات أساسية يجب تسجيلها في محطة التنقية

معلومات عامة:
- التاريخ.
- كمية الأمطار كل 24 ساعة.
- درجة حرارة الهواء عند الساعة 12 ظهراً.

المياه الخام:
- درجة الحرارة عند الساعة 6 و 12و 18 و24
- العكر والأس الهيدروجيني لكل وردية تحت ظروف عادية أو كل ساعتين إذا كانت متغيرة.

المياه المترسبة (في كل خزان):
- العكر والأس الهيدروجيني كل ساعتين.
- الكلورين الحر المتبقي كل وردية.

المياه المرشحة (في كل مرشح):
- العكر كل ساعتين.
- تسجيل ساعات تشغيل المرشح كما هو محدد أدناه.

المياه النهائية (في كل غرفة مياه صافية):
- العكر والأس الهيدروجيني في كل وردية.

الجرعات الكيميائية:
- الجرعات للمخثّر والبوليمر كل ساعتين.
- جرعات الجير والكلورين أثناء كل وردية.

استهلاك المواد الكيميائية:
- كمية المخثّر والجير والكلورين المستخدم أثناء كل وردية.

تشغيل المرشحات (لكل مرشح):
- ساعة الغسيل العكسي (الوقت من اليوم).
- المدة الإجماليه الذي يكون فيها المرشح خارج الخدمة.
- ساعات التشغيل (بالساعة).
- فترة الغسيل العكسي (بالدقائق).
- معدل تدفق مياه الغسيل العكسي إذا كان ممكناً (م3/م^2/ الدقيقة).
- فاقد ضغط الماء النهائي في المرشح قبل الغسيل (متر).

نوعية المياه الخام:
- مستوى مياه النهر (يوميا).
- مستوى مياه الخزان (يوميا).
- مستوى مياه المأخذ.

معدل التدفق:
- تدفق المياه الخام الداخلة للمحطة (م^3/اليوم).
- دفق المياه المعالجة والخارجة من المحطة (م^3/اليوم).

التحاليل الكيميائية: في كل وردية إذا كانت المياه متغيرة أو أسبوعيا إذا كانت المياه مستقرة:
- القلوية والعسرة (كربونات وغير كربونات والمجموع الكلي).
- الحديد والمنغنيز.
- عناصر أخرى قد تكون مهمة بالاعتماد على الحالة.

1.2.4 الفحوصات المخبرية للمياه الخام

على افتراض أن التحضيرات الأساسية جاهزة، فإنه من الأفضل أن تبدأ بفحص المياه الخام، لتحديد أفضل عمليات التنقية. وهذه الاختيارات قد تم مناقشتها بالتفصيل في الفصل الخامس، لذلك فإنه من المفضّل أن يقرأ مسئول المحطة والمشغلون هذا الفصل بعناية قبل البدء بأعمال تحاليل المياه. ولا بد من إخضاع الأشخاص الذين ليس لديهم الخبرة العملية في استعمال الأدوات المخبرية مثل السحاحة وغيرها إخضاعهم لتدريب خاص لاستعمال هذه الأدوات. ومع ذلك فإذا كان مسؤول المحطة لديه خبرة فمن السّهل الحصول سريعاً على نتائج دقيقة وكافية من اختبار الجرة. وإن إعادة الفحوصات لمتغيرات مختلفة مهم جداً، لذلك يجب على المشتغلين العاملين في المحطة إتقان هذه التجارب بشكل ممتاز.

قد يستغرق الوقت اللازم لشخص ذي خبرة لعمل اختبار جرة كامل على مياه خام عشرة أيام. وفي الحقيقة لا بدّ أن تكرر المجموعة التي لاخبرة لديها الفحص ثلاث أو أربع مرات، للحصول على نتائج يمكن الاعتماد عليها، حيث يجب أن يحدد هذا الفحص ما يلي:

- أفضل أنواع المخثرات وأفضل جرعة تحت ظروف التجربة.
- أفضل تتابع يمكن اتباعه لإضافة الجرعة الكيميائية (المخثّر).
- ما إذا كان إعادة ضخ الحمأة ذات فائدة على زيادة الكفاءة.
- كمية الجرعة المناسبة من البوليمر.
- أفضل وقت لازم للتخثير وكمية الطاقة المضافة، واستهلاك الطاقة بالتدريج، وأثر ذلك على عملية التخثير.
- منحنى توزيع سرعة الترسيب للعينة والأفضل لمحطة التنقية.

3-4 إعادة تأهيل مبنى حفظ المواد الكيميائية

تظهر بعض المشكلات عادة نتيجة تخزين المواد الكيميائية في المباني. وفي معظم محطات التنقية يستعمل المخزن -بالإضافة إلى إستعماله كمخزن للمواد الكيميائية- لأغراض أخرى، مثل: مكتب رئيس المشغلين، وحمامات الموظفين، وخدمات تغيير الملابس، والمختبر ومخزن عام. فإذا كان التخزين مناسباً بالقرب من مكتب المشغل فهذا له فوائد، مثل: مراقبة العمل وتشغيل المحطة عن قرب، والتواصل مع الأشخاص العاملين في المحطة، وتكون إدارة المحطة عملية سهلة. ولكن إذا كانت عملية التخزين سيئة فيصبح ذلك مشكلة كبيرة، وبالتالي يكون مشغل المحطة عرضة لأن يتم مقاطعته أثناء العمل باستمرار، وبذلك يكون العمل ذا كفاءة منخفضة، ويتم الاسترخاء أثناء العمل في كافة أقسام المحطة.

بشكل عام، يعتبر الجير من أصعب المواد الكيميائية تعاملاً معها، حيث أن هذه المادة تسبب التآكل، وينتج عنها غبار ينتشر بالمبنى بسرعة كبيرة، إذا لم يتم التعامل معها بتأنٍّ وفي حيز محدد. كما يجب أن تكون عملية تحضير ونقل الجير منعزلة، وذلك لتفادي تلوث عمليات التنقية الأخرى، ويمكن عزل هذه العملية دون التأثير على عمليات التنقية، فإما أن تكون في غرفة منفصلة مغلقة بالكامل، أو بوضع ستائر جدارية مناسبة، أو أية طريقة مناسبة أخرى تحول دون انتشار الغبار الناتج عن هذه النشاطات. إن نقل الجير بوساطة الهواء المضغوط نادراً ما يستخدم في المحطات الصغيرة غير المصممة لمثل هذه التقنية.

يتم تزويد كبريتات الألمنيوم (الأكثر استعمالاً كمادة مخثرة) عادة بأكياس خاصة على شكل مادة صلبة، لذلك لا ينتج عنها غبار. وبعض محطات التنقية يتم تزويدها بكبريتات الألمنيوم على شكل سائل يتم تفريغه مباشرة في خزان التجميع وبذلك يتم تجنب الغبار.

من النادر جداً أن تكون محطات التنقية القديمة تتعامل أو تستخدم المواد الكيميائية بطريقة جيدة ودقيقة، والسبب الرئيس في ذلك أن المشغلين لا يقدّرون أهمية ودقة إضافتها بشكل مخفف، ولا ينتظرون حتى يتأكدوا أنها قد انتشرت بشكل سريع في المياه الخام. إن دقة العملية تبدأ في تحضير محلول مخفف في الخزانات، يتبعها تخفيف المخثر، وإضافته إلى المياه الخام بعد معرفة كمية تدفق المياه الخام، لتحديد حجم محلول المخثر الذي يجب إضافته. لذلك يجب قياس حجم الخزان لمعرفه حجمه بدقة، ويجب وضع علامات خاصة على جدار الخزان لإضافة الكمية اللازمة من المادة الكيميائية لذلك الحجم من الماء، لإعطاء تركيز نسبته 10٪. وإذا كانت كمية المادة الكيميائية المترسبة (غير المذابة) تقدر بأكثر من 6-8٪ فسوف تتراكم المادة الكيميائية أسفل الخزان، حيث يعتبر هذا مكلفاً جداً. ويجب استخدام خزان ذي حجم صغير، ولا سيّما إذا كان تركيز المادة الكيميائية عالياً، ولن يكون هناك اختلاف كبير في تكلفة إنشاء الخزان إلا إذا كان للموقع مشكلات خاصة.

وأمر آخر مهم، هو أنه يجب إضافة المادة الكيميائية بوساطة الانسياب الطبيعي، وعدم استخدام المضخات لتقليل مشكلات الصيانة والتشغيل المصاحبة لها. لذا يجب أن تكون البناية على مستوى عالٍ لإعطاء فرق المنسوب المطلوب عندما تكون الأرض على سفح تل وبميل مناسب. والمثال التالي يوضح حسابات تحضير المواد الكيميائية التي لها علاقة بكمية تدفق المياه والجرعة المطلوبة: الجرعة القصوى هي 25 ملغم/لتر، وهي الجرعة اللازمة لكمية تدفق بمقدار 100 لتر/الثانية، ويجب أن يحتوي خزان التحضير على كمية كافية للتشغيل لفترة 24 ساعة وتركيز نسبته 10٪ من محلول الشب. إن التدفق اليومي للمياه تقدر بحوالي 86400 ثانية في اليوم × 100 لتر في الثانية = 8640000 لتر/اليوم فتكون كمية الشب تساوي 8640000 لتر في اليوم × 25 ملغم في لتر = 216 كغم/اليوم. بذلك يقدر حجم الخزان بحوالي = 216 كغم/اليوم × 10 لتر في كغم (10٪) = 2160 لتر (2.16 م^3)، وعليه تكون أبعاد خزان التحضير تعادل 2 × 1 × 1.4 = 2.80 م^3 بوجود حوالي 0.30 م عمق حر (انظر الفصل السابع الذي يحتوي على تحديد الأنابيب وعملية التغذية).

من الناحية العملية يجب أن تولى أهمية لحجم الخزان، حيث يجب أن يكون حجم الخزان مناسباً لاستخدام عدد صحيح من أكياس المادة الكيميائية الجافة. على سبيل المثال: إذا كانت مادة الشب الجافة تشحن بأكياس ذات وزن 40 كغم، فإن الخزان الذي تم حسابه سابقاً يمكن أن يُوسَّع قليلاً ليستوعب 240 كغم من مادة الشب الجافة، وهو ما يعادل ستة أكياس. أما إذا كان وزن الكيس الواحد 45 كغم، فإن وزن خمسة أكياس من الشب يعادل 225 كغم، لذلك يمكن معايرة الخزان للمنسوب المطلوب لاستعمال عدد كامل من أكياس المادة الكيميائية (الشب في هذه الحالة).

عند السيطرة على تركيز المخثر في خزان التحضير فإن معدل كمية المياه الخام يمكن أن يحدد بناءً على ذلك. وتكملة للمثال السابق إن تركيز 10٪ من الشب يحتاج إلى 2160 لتراً يومياً من الماء، لذلك لا بدّ من معايرة فرق المنسوب بحيث يعطي كمية تدفق بمعدل 1500 مللتر في الدقيقة.

إن المحلول الذي تم تحضيره ذو تركيز 10٪، ولكن يفضل أن يضاف بتركيز 0.5٪ وذلك لزيادة الكفاءة. وبناءً عليه فإنه يجب تخفيف الحجم الأصلي للمحلول 19 مرة في خزان التحضير قبل استعماله. وعلى سبيل المثال: فإن إضافة 1500 مللتر في الثانية سوف يحتاج بعد تخفيفه إلى استعمال 28.5 لتر في الثانية قبل إضافته للمياه الخام.

شكل رقم 8-9 وشكل رقم 8-10 يوضحان التفاصيل الدقيقة لخزان التحضير، وفرق المنسوب الثابت، ونظام السيطرة على تخفيف المحلول وطريقة إضافته.

4.4 وحدات المعالجة الأولية

1.4.4 تحضير المخثر وإذابته

إن التعامل مع المخثر مثل الجير والمواد الكيميائية الأخرى في خزان التحضير عملية سهلة جداً بعد وضع أساس العمل المنظم لمرة واحدة، بعد ذلك تكون العملية بحاجة إلى مراقبة من فترة لأخرى.

تعتمد إضافة وتخفيف مادة التخثير أو الجير على أجهزة تزويد المادة الكيميائية، وكيفية السيطرة على تدفق المواد الكيميائية، وعلى كمية تدفق المياه الخام المراد إضافة الجرعة لها. يجب المراقبة عن كثب على كل من كمية تدفق المياه الخام وكمية المواد الكيميائية المضافة ومياه التخفيف، ويجب أن يسمح تصميم هذا النظام لأخذ عينات بسهولة. وقياس تدفق المحلول الرئيس ومياه التخفيف عن طريق جمع قياسات التدفق لفترة زمنية معيارية، فالمياه الخام يجب قياسها عن طريق هدار أو مقياس تدفق، وبذلك يمكن معرفة الجرعة المناسبة وذلك باستخدام اختبار الجرة.

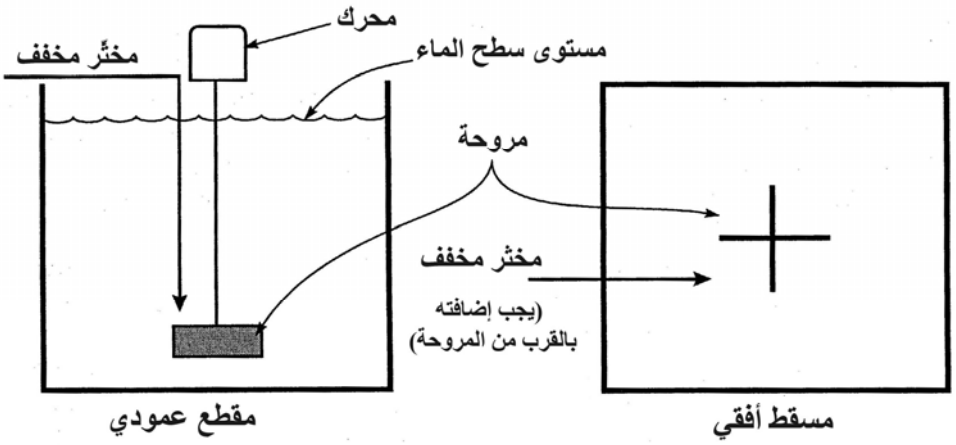
تعني عملية الخلط للجير التعامل مع مادة ينتج عنها غبار مما يؤدي إلى تلوث المنطقة المحيطة بسهولة. لذا يجب عزل خزن الجير ومكان التعامل معه قدر الإمكان بعيداً عن العمليات الأخرى. ونظراً إلى أن الجير ينـزع للتفاعل بسرعة كبيرة مع مياه التخفيف، لذلك يجب تحضير محلول الجير يومياً، ولحفظ الجير معلقاً في المحلول يجب أن تكون سرعة تدفقه عالية نسبياً، كما يجب أن تكون الأنابيب مصممة بطريقة يسهل تنظيفها.

2.4.4 إضافة المادة المخثرة

إن النافث المستخدم لإضافة المخثر عند الهدار موضح بالأشكال من 8-7 إلى 8-9 في الفصل الثامن، كما إن إنشاء النافث على طول الأنابيب والمحابس يجب أن يكون ضمن قدرة مشغلي المحطة. وفي المحطات التي لا تحتوي على مختبر يجب على المشغل أن يَحكُم على صحة جرعة المادة المخثرة من تكوين الكتل المخثَّرة ومن مظهر المياه المترسبة. إذا كان الخلط ميكانيكياً يجب إضافة المخثر المخفَّف في نقطة أقرب ما يمكن إلى المنطقة الأكثر خضخضة، وعادة تكون قرب الشفرات. (شكل رقم 4-1).

3.4.4 توزيع المياه بين الخزانات

يستخدم في محطات التنقية الصغيرة، كما هو الحال في المثالين اللذين سيتم شرحهما في الفصول 5 و8 و9 خزان واحد لإضافة جرعة المخثر مباشرة، أو كما هو الحال في المثال الثالث، فيجب تقسيم المياه بالتساوي على جميع خزانات التندف. لتحقيق ذلك، وبكل بساطة يجب أن تكون مخارج القنوات ذات أحجام متساوية لكل خزان، وأن تكون السرعة في جميع هذه القنوات ثابتة، ومراجعة مخططات مخارج القنوات وأبعادها سوف يؤكد ما إذا كانت الأبعاد صحيحة أم لا. وإذا كانت قناة توزيع المياه في وضع جيد، فيمكن عندها حساب السرعة التقريبية من معرفة كمية التدفق ومساحة مقطع القناة. كما يمكن تصميم القناة بشكل يضمن بقاء سرعة الماء فيها ثابتة، مع تناقص التدفق فيها. بشكل آخر يمكن حساب كمية التدفق بين مخرج القناة ومدخلها، وذلك لتقليل عمق القناة. (شكل رقم 4-2).

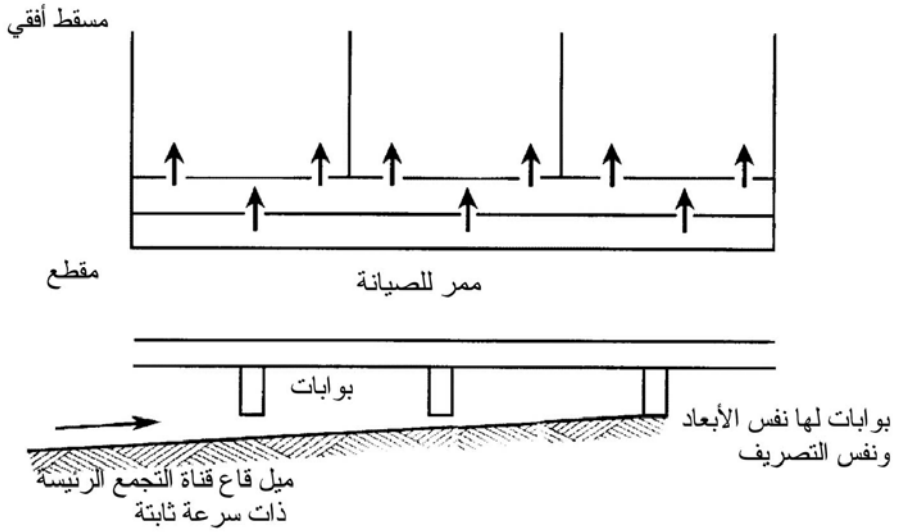


شكل 1.4 خزان خلط مع خضخضة ميكانيكية

4.4.4 التندف

لا يحتاج نظام عملية التندف لأكثر من اتباع تعليمات التصميم والإنشاء في المحطة. و يحدد النجاح أساساً بقرارات تصميم المحطة. جرت العادة الاعتماد على نتائج فحص اختبار الجرة لتصميم نظام التندف، وإذا لم يكن هذا ممكناً فلا بدّ من الاعتماد على الخبرة، وعادة يكون الوقت المناسب للتندف يتراوح ما بين 25-30 دقيقة، ومن المهم أن تتم إضافة الطاقة بالتدريج. إن النصف الأول من وقت دورة التندف يكون خلطاً سريعاً ولكن مع مرور الوقت يكون الخلط فيها خفيفاً نسبياً، ويقل كلما زاد حجم الكتل المخثَّرة. هناك أمثلة في الفصلين الثامن والتاسع توضح نظام خلط التندف سواء أكان ميكانيكياً أم هيدروليكياً.

تكمن المشكلة الرئيسة في عملية الخلط في طول جدران الحواجز، حيث تسير المياه بهدوء وانتظام إلاّ عند تغيير الاتجاه، عندها يتم الخلط ولكن بشكل خفيف. إذا تم إضافة نتوءات عمودية على جدران خزان الخلط، فسيساعد ذلك على الخلط كما هو موضح في المثال الذي تم إيراده عن الخلط في الفصل الثاني. قد يتم في نظام التندف الهيدروليكي تراكم الحمأة المترسبة ولا سيّما إذا كانت كمية التدفق أقل من القيمة التصميمية، لذلك فإن السرعات المنخفضة تساعد الكتل المخثَّرة على الترسيب في نهاية الوحدة.



شكل 4-2 مخطط عام لتوزيع جريان الماء من القناة الرئيسة

في التندف الميكانيكي تحتاج الماتورات وأجهزة الخضخضة إلى صيانة ممتازة، كما يجب أن تكون سرعة دوران المخضخض قريبة جداً من السرعة المصممة لها، وأن تستهلك الطاقة في الخزان بشكل متدرج من مدخل خزان الخلط إلى مخرجه. تكمن المشكلات الناتجة عن التندف الميكانيكي عادة في الحجرات التي يتكون منها النظام المستعمل، فإذا ترك الماء لاتخاذ المجرى لوحده فإنه سيأخذ المسار القصير، ومن غير المعتاد أن يكون مدة مكث نصف كمية المياه في خزان التندف فقط من 5 الى 10 دقائق . لذلك عند التصميم يجب استخدام جدران حجز مما يمنع المسارات القصيرة ويعطي مدة مكث تتراوح بين 25-30 دقيقة. ويوضح الفصل السابع أن تغيراً بسيطاً جداً عادة يكون كافياً للحصول على نتائج أفضل في خزان التندف الميكانيكي.

إذا لم تتوفر أجهزة فحوصات تجريبية على مستوى المختبر للحصول على أفضل معدل تغير للسرعة في وحدة الزمن (خط ميل السرعة) في ممر التندف، فإنه يمكن أن تستعمل خط ميل السرعة 30-70/الثانية في النصف الأول و20/الثانية في المناطق الأخرى الباقية. ويمكن للمشغلين مع مساعدة بسيطة من مهندس الدائرة أن يقوموا في تصحيح عملية التندف لتحسين الكفاءة بشكل ملحوظ.

5.4.4 خزانات الترسيب

يوجد في معظم خزانات الترسيب المستطيلة مشكلات عند منطقة مدخل المياه القادمة من خزان التندف، وكذلك عند مخرج الخزان بعد عملية الترسيب. إن الهدف الأساسي من خزانات الترسيب هو تأمين جريان الماء بسرعة ثابتة ليقلل الخلط حتى نهاية الخزان (تدفق كتلي). يشرح الفصل الثامن طريقة تصميم حاجز المدخل المثقّب الذي يهدئ من سرعة الماء، الأمر الذي من شأنه أن يقلل من منسوب الماء، حيث يسلك الماء الطريق الذي يكون فيه فاقد الضغط أقل ما يمكن. وبما أن فاقد الضغط متساوٍ، فإن المياه تدخل إلى خزان الترسيب بسرعة متماثلة على كامل مساحة مقطع الخزان. وبذلك سوف يُحَدِد إذا كان الخزان بحاجة إلى حواجز جدارية أم لا. كما يجب أن لا تمر المياه

الخارجة من خزان التندف مباشرة من خلال الحاجز المثقب، ويمكن وضع حاجز جداري لتقليل طاقة المياه الداخلة إلى خزان الترسيب، وذلك لامتصاص قوة دفع المياه، لتنسيق توزيع المياه على كامل مساحة مقطع الخزان. ويمكن تصميم وتركيب الحواجز المثقبة، بغض النظر عن فحوصات الجرة المخبرية. وفي محطات التنقية التي تحتوي على أجهزة اختبار الجرة فإن معدل التغير في السرعة يجب أن تتناسق مع السرعة عند الحواجز في الجزء الأخير من خزان التندف. وإذا لم يكن هناك نتائج مخبرية فيمكن استخدام خط ميل السرعة 30-35/الثانية في المياه ذات درجة الحرارة الأعلى من 10°م، واستخدام خط ميل السرعة 20-25/الثانية للمياه تحت درجة حرارة 10°م.

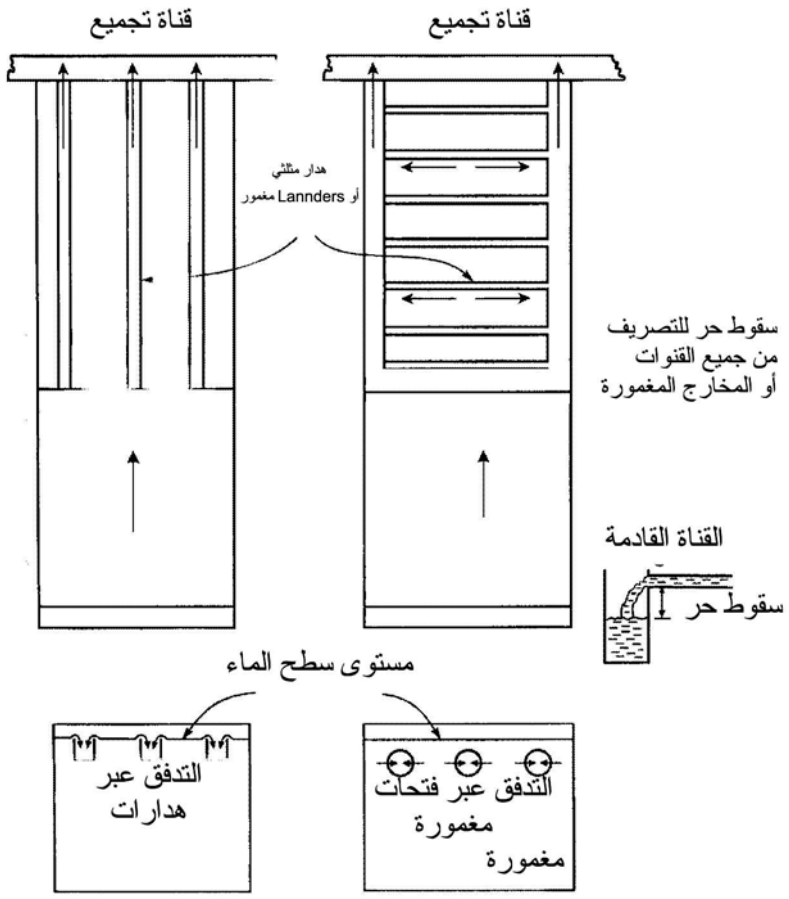
إن مقدار التحميل للخزان أقل أهمية من التدرج في خط ميل السرعة ، والحاجة إلى نتائج فحوصات مخبرية ضرورية لتحديد السرعة المثلى في خزان الترسيب. إن التحميل بقيمة 2.8سم/الدقيقة (تقريباً 40م^3/م^2/اليوم) قد يفيد الاستمرارية، وقد يكون التحميل أكثر من ذلك، ولكن لا يمكن تأكيد ذلك إلا بعمل فحوصات مخبرية.

من المهم جداً الاحتفاظ بالمعلومات عن المحطة، لأن كمية التدفق خلال نظام التندف هو العامل الذي يحدد تحسين عمل المحطة. فكلما زاد التدفق تقل مدة مكوث الماء، وقد يصبح ذلك غير فعّال، وإذا كان هناك مسار قصير فإن مدة المكوث تكون قصيرةً جداً. ولتصحيح ذلك يفضل زيادة مدة المكوث مما يحسن عملية التندف، وبذلك يمكن زيادة التحميل دون التأثير على تكوين الكتل المخثَّرة.

عادة ما تخرج المياه المترسبة من خزان الترسيب عن طريق هدار يكون في نهاية الخزان. إذا كان الهدار المُصمم قصيراً نسبياً عندها تكون كمية تدفق المياه عالية، مما يزيد من ارتفاع منسوب المياه في الخزان، مما قد يؤدي إلى خروج الكتل المخثَّرة من فوق الهدار دون أن تترسب. والأكثر من ذلك في العادة تكون المياه الأقل عكراً متواجدة في وسط الخزان وتبقى هناك، وتكون النتيجة أن المياه المترسبة ذات الجودة العالية تبقى في الخزان ولا تخرج منه.

يوضح الشكل رقم 4-3 طريقة ذات كفاءة عالية لإزالة المياه المترسبة من الخزان. يكمن مفتاح النجاح في طول الهدارات ومخارج المياه، فعندما يكون تدفق المياه الخارجة من الهدار قليلاً والتيارات بالاتجاه العلوي قليلة، فهذا يسمح بترسب الكتل المخثَّرة، وينتج مياهاً ذات جودة ممتازة. ولتصميم وتركيب حواجز مثقبة لإزالة المياه المترسبة، هناك حاجة إلى مساعدة فنية ومالية. إذ يجب احتساب فاقد الضغط في تصميم الحاجز المثقب، أو الفتحات الغاطسة، ثمة صعوبة في تصميم وإنشاء هدار طويل، ولكن التحسن الذي يطرأ على المياه المترسبة من حيث الجودة هو تحسن ذو قيمة كبيرة يستحق الجهد والكلفة.

إذا كانت الكميات المترسبة في خزان الترسيب كبيرة جداً، فاحرص على تنظيف الخزان كل 3-6 شهور. ويتم تنظيف الخزان بوساطة مياه تحت ضغط عالٍ. كما أنه يمكن استعمال مضخات متنقلة أو تكنولوجيا السيفون في الغسيل بالماء، إلا أن معظم محطات التنقية فيها شبكة مياه ذات ضغط عالٍ، تستخدم خصيصاً للغسيل. وحتى في الخزانات التي يتم فيها إزالة الحمأة ميكانيكياً بصورة مستمرة، فإنه من المفضل تفريغ الخزان مرة في السنة لتنظيفه وصيانته ومراقبة الأجهزة فيه، والأمر كذلك في الخزانات التي يتم فيها إزالة الحمأة هيدروليكياً، لأنه لا بدّ من ترسب بعض الحمأة. لذلك فهي بحاجه إلى تنظيف بين فترة وأخرى. في الخزانات التي لا يتم فيا إزالة الحمأة باستمرار تظهر علامة على جدران الخزان عند تفريغه، تبيِّن هذه العلامة عمق الحمأة المترسبة، ويمكن استخدام هذه العلامات لتقييم عملية التنظيف ومدة تكرارها والحاجة إليها، كما يوضح الشكل رقم 4-8 في الفصل الثامن.



شكل 4-3 اختيارات التصميم في نظام إزالة المياه المترسبة

5-4 إعادة تأهيل المرشحات

عندما يوجد خلل في انتشار المخثر، ويتبعه تندف بسيط، ثم ترسيب غير كافٍ، فإن المياه التي تصل إلى المرشحات في هذه الحالة تكون ذات عكر عالٍ (20-25 وحدة NTU). يعمل العكر على انسداد المرشحات، مما ينتج عنها مياه ذات جودة متدنية، ويصبح المرشح غير فعَّال. وبهذه المشكلات يعتقد أن السبب الرئيس لرداءة المياه هي المرشحات. وقد يكون ذلك صحيحاً في بعض الحالات، ولكن المرشحات لا تستطيع أن تعمل بشكل جيد عندما تكون المياه التي تصلها ذات عكر عالٍ، مما يؤدي إلى عمل متدن. والخطوة الأولى لتحسين كفاءة المرشح هي التأكد من أن عمليات التنقية التي تسبق المرشحات تعمل بكفاءة عالية، عندها فقط يمكن تقييم المرشحات بالتفصيل.

في محطات التنقية التي يزيد عمرها عن عشر سنوات، يكون معدل الترشيح من 110-120 م^3/م^2/اليوم، ومعدل الغسيل العكسي عادة أقل من 0.3-0.4 م/الدقيقة. إن التحميل المنخفض للمرشحات لن يستغل سعة المرشحات نفسها، ولكن قلة معدل الغسيل العكسي لن يسمح بغسيل المرشحات بشكل جيد. ففي كل مرة يتم فيها غسيل المرشحات، لا بدّ من تخلُّف بعض الكتل المخثَّرة،

مما يجعلها تتراكم، وتصبح منطقة متسخة، وتسبب في انسداد المرشحات، ويمكن أن تزداد هذه العملية سوءاً إذا زاد عكر المياه الداخلة إلى المرشحات.

يكون توزيع مياه الغسيل العكسي في معظم محطات التنقية القديمة غير متجانس، فبعض المناطق تصلها كميات مياه أكثر من المطلوب، بينما مناطق أخرى تصلها كميات أقل من المطلوب. بالإضافة إلى ذلك فقد يكون توزيع الحصى الداعم غير متجانس أيضاً. والمشكلة الأخرى المنتشرة في الغسيل العكسي هي أن قنوات المياه فيها صغيرة، ولا تستطيع استيعاب كمية المياه اللازمة. لذلك فإن سرعة مياه الغسيل العكسي تكون غير كافية، ولذلك تتأخر هذه المياه، وتبقى فترة في المرشحات. وهذا يسبب عدم الغسيل الكامل للجزء السفلي من المرشح القريب من المخرج.

إذا استقبلت المشرحات مياهاً ذات عكر عالٍ لفترة طويلة، فإن الكتل الطينية سوف تملأ المرشح، وقد يظهر تشققات على سطح المرشح، ويخرج الرمل منها، وأفضل طريقة لإصلاح هذا الوضع هو إزالة الرمل والحصى الداعم وغسلهما وإعادة بناء المرشح من جديد.

يحتاج تحسين كفاءة المرشح إلى جهد كبير، وتخطيط جيد لتحسين عمل المحطة بشكل عام، ودعم من الإدارة، وتعاون جميع العاملين، وأفضل طريقة لذلك هي رفع وسط كل المرشحات واحداً تلو الآخر وغسله وإعادة وضعه في مكانه من جديد، وقد يستغرق ذلك وقتاً ولكنها الطريقة المثلى، ولا سيّما إذا مضى وقت طويل دون إجراء صيانة للمحطة. وإذا تم إزالة مرشح واحد، فإن المرشحات الأخرى سوف تكون قادرة على استيعاب الحمل بالكامل، وعادة يستغرق المرشح الأول وقتاً أطول للصيانة وإعادة تأهيله، حيث يكتسب المشغّل خبرة في عملية تأهيل المرشح الأول، ويصبح في النهاية أسرع وعمله أسهل. فقد يستغرق المرشح الأول شهراً أو شهرين لعمل التحسين المطلوب، ولكن بعد ذلك يصبح المرشح الواحد يستغرق نصف الوقت، وذلك بالاعتماد على حجم المرشح والخبرة التي اكتسبها العمال.

وهناك عدة نقاط تحذيرية لعملية تأهيل المرشحات، لذلك فإن تفصيل الخطوات للمراحل الأساسية هي ضرورية بالاعتماد على الخبرة التي اكتسبت من تأهيل حالات مختلفة.

إن التخطيط المفصل هو أحد متطلبات تأهيل المرشحات تأهيلاً فاعلاً نظراً لتعدد المستلزمات الضرورية وتنوعها، تلك المستلزمات تشمل: سقالات وممرات وعربة يد، وأدوات يدوية وساحات خالية وأجهزة غسيل الرمل وإعادة تمديد أنابيب ... الخ، يجب أن تكون جميعها جاهزة قبل البدء بعملية التأهيل. كما يجب وضع الرمل والحصى الذي تم تنخيله وتصنيفه في أكوام، وحمايته من الظروف الجوية. ويجب معرفة تفاصيل المرشحات من مخططات التصميم، أو المخططات التغييرية، ومعرفة أحجام وأطوال الأنابيب ولوازم توصيلها، كما يجب أن تكون تقريباً جاهزة ليتم تجميعها، وإذا لم يكن ثمة حاجة إلى تغيير سعة المرشحات فسيكون العمل سهلاً جداً.

يحتاج وضع الحصى والرمل وطبقه الفحم في صندوق المرشح إلى عناية خاصة. أولاً وقبل كل شيء إن الحصى الداعم الذي سوف يستخدم، يجب أن يكون كروي الشكل، أما الحصى المفلطح، فيجب إزالته. وقبل البدء أيضاً لا بد من وضع علامات على جدران المرشح لتحديد مستوى الحصى الداعم، وبعدها يسمح للماء بالدخول للتأكد من أن مستوى سطح الحصى متجانس في المرشح وفي جميع المناطق والاتجاهات. بعد الانتهاء من وضع الطبقة الأولى يوضع لوح كبير على الحصى وفي جانب المرشح، ويبدأ العمل من هذه المنطقة. ويجب عدم السماح لأي شخص بالمشي على طبقة الحصى الداعم، لأنه سوف يجعل هذه الطبقة غير متوازنة، ويجعل فيها مناطق ضعف، ويسبب مشكلات أثناء التشغيل. وعند الانتهاء من كل طبقة يسمح للماء بالدخول للعمق الذي تم وضعه على جدار المرشح للتأكد من أن سطح الطبقة مستوٍ.

بعد وضع كل طبقه من الحصى في موقعها الصحيح، يُبْدأ بوضع الطبقة التالية، ويجب نقل الحصى بكميات مناسبة وبكل حذر ورفق وهدوء، وتستمر هذه العملية حتى توضع جميع طبقات الحصى، والتأكد من مستوى سطح الماء عند كل طبقة.

بعد ذلك يوضع الرمل المغسول والنظيف والمنخَّل والجاف إلى مستوى العلامات التي تم وضعها مسبقاً على جدار الخزان، ويجب أن تكون إضافة طبقة الرمل فوق الحصى الداعم مباشرة وبشكل دقيق جداً. في هذه الحالة سوف يملأ الرمل الفراغات في الجزء العلوي من طبقة الحصى، ويبقى ما سماكتة 10سم من الرمل تقريباً فوق طبقة الحصى، يدك قليلاً وبلطف، ثم نتابع وضع الرمل، ثم يستعمل مستوى سطح الماء للتأكد من مستوى الرمل كما في الحالة السابقة.

بعد وضع الرمل في مكانه، يتم الغسيل العكسي للمرشح بنسبة 50٪ من تدفق الغسيل العكسي الأصلي، بحيث يتم زيادة كمية التدفق بالتدريج للوصول إلى 50٪. بهذه العملية سوف يُغسل المرشح، وسيتم توزيع الرمل فوق الحصى بشكل أفضل. بعد عدة دقائق يتم زيادة كمية تدفق الماء حتى يتمدد الرمل من 30-40٪، ويبقي على هذا التدفق فترة عشر دقائق، بعدها يتم إيقاف تدفق مياه الغسيل العكسي بالتدريج، ثم يتم تصريف المياه من المرشح بالتدريج، حتى يصبح مستوى سطح الماء مع سطح الرمل، ويجب التأكد من مستوى الرمل، فإذا انخفض عن مستواه قبل الغسيل فقد يكون المرشح بحاجة إلى كمية رمل إضافية. لذلك من الضروري إضافة كمية من الرمل للوصول إلى المستوى المطلوب، ثم كرر عملية الغسيل العكسي.

يضاف الفحم بعد ثبات طبقة الرمل (إذا كان يستخدم)، ويجب تسوية المستوى كل 10-15سم، والتأكد من المستوى بتعبئة المرشح بالماء بالتدريج وذلك عن طريق أنابيب الغسيل العكسي.كما يجب أن يكون مستوى سطح الفحم أكثر بـ 3سم من المستوى المطلوب، وذلك لأن جزء من هذا الفحم، وخاصة الناعم منه سوف يخرج مع ماء الغسيل بالإضافة إلى أن الفحم سوف تقل سماكته تحت تأثير الضغط. يُبدأ بالغسيل العكسي مرة أخرى بحدود 50٪ بعد حوالي عشر دقائق، ثم تُرفع النسبة إلى 75٪، وتكرر هذه العملية حتى يَنْظف المرشح. وأخيراً ترفع النسبة إلى 100٪، ويجب ملاحظة أن الفحم الذي يفقد مع ماء الغسيل يكون حبيبات صغيرة وليس الحبيبات الكبيرة.

يوجد لجميع المرشحات الثنائية عامل مساعد في الغسيل العكسي، يكون عادة إما هواء أو ماء، ويجب أن يفحص العامل المساعد بعد وضع جميع المواد، وسوف تناقش عملية الغسيل المساعدة في فصل لاحق، وسيتم تلخيصها في الفقرة التالية:

عند استخدام الهواء عاملاً مساعداً للغسيل، يكون مستوى سطح الماء متساوياً مع منسوب قنوات تصريف الماء، ويكون محبس التصريف مفتوحاً بينما باقي المحابس مغلقة. ثم يبدأ فتح الهواء بالتدريج، ويستمر ذلك من 4-5 دقائق، عندها يحرِّك الهواء طبقات المرشح ويهيجها، مما يؤدي إلى اتساخ المرشح. عندها يجب إغلاق محبس الهواء بالتدريج، ويبدأ مباشرة بالغسيل العكسي كالمعتاد. إن هذه الدقائق القليلة من الهواء يحرك الطبقات حركة شديدة، ويفصل المواد غير المرغوب فيها عن مادة المرشح ثم يأتي دور الماء لغسلها كلياً.

بالنسبة للمرشحات التي تحتوي على قاشطات، فإن مستوى سطح الماء في المرشح يجب أن يقل عن مستوى القاشطات، وعند البدء بعملية الغسيل العكسي يُفتح محبس الضغط العالي، حيث تبدأ القاشطات بالدوران السريع، ونتيجة لذلك تنغمر القاشطات بالماء، وتبدأ بالدوران البطيء في جسم المرشح الذي يكون قد زاد حجمه، ويجب على القاشطات أن تستمر بالدوران حتى آخر دقيقة من الغسيل العكسي.

يبدأ نظام الغسل ذو المنسوب الثابت عن طريق فتحات الأنابيب الموجوده تحت سطح الماء في المرشح، وعندما يبدأ النظام بالعمل يبدأ الغسيل العكسي، وكما هي الحال مع القاشطات يجب في نظام الغسل بالماء ذي المنسوب الثابت أن يبقى يعمل حتى آخر دقيقة من الغسيل. في البداية يتم إغلاق النظام المساعد، وبعدها مباشرة يتم إيقاف الغسيل العكسي.

يجب فحص كفاءة نظام الغسيل المساعد سواء كان بالهواء أو بالماء من حيث الضغط والكمية، وذلك اثناء انشاء المرشح. وأحياناً يكون النظام المساعد يعمل باليد، ويتم السيطرة عليه في أعلى مستوى من المرشح.

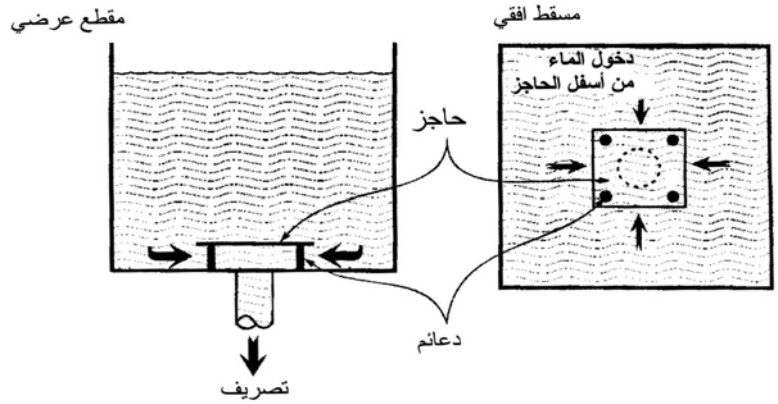
4- 6 تشغيل المرشح

إذا كانت العمليات الأولية من تخثير وتندف وترسيب قد أعطت نتائج ممتازة، وكانت المياه المترسبة ذات عكر قليل فإن المرشحات سوف تعمل بشكل ممتاز. وعندما تكون المعالجة الأولية في وضع جيد، فإن إعادة تأهيل المرشحات سوف تكون عملية سهلة تُمكننا من الوصول إلى ظروف تشغيل ممتازة، حيث يمكن أن يصل العكر إلى أقل من وحدة واحدة. إن صيانة معايير المعالجة الأولية ضرورية جداً لاستمرار الحصول على ظروف ممتازة لكن يجب توخي الحيطة والحذر عند تطبيقها على المرشحات نفسها.

على المشغل أن يراقب المرشح عند الغسيل العكسي، وملاحظة المناطق التي تخرج منها المياه بسرعة أعلى من مناطق أخرى (انظر شكل رقم 4-5). وهذا دليل على أن هناك كسراً في أحد خطوط المياه الداخلة أسفل المرشح. مما يسبب اضطراباً في طبقات الحصى الداعم، ويصبح مكاناً يتجمع فيه الرمال، وقد يخرج جزء من الرمل من أسفل المرشح وتصبح المشكلة خطيرة إذا ما تم فقدان كميات كبيرة من الرمل.

إن تكلفة الرمل في المرشحات عالية جداً، ولا سيّما إذا كانت حسب المواصفات، لذلك فإن فقدان كميات كبيرة من الرمل من أسفل المرشح يعتبر غير اقتصادي وهدراً للمال. من هنا يجب مراقبة خزان السيب النهائي (Clear Well)، فإذا لوحظ أنه يحتوي على رمل، عندها يجب معرفة مصدر الرمل، وإجراء الصيانة اللازمة للمرشح الذي يخرج منه. وعادة يكون الضرر الذي يلحق بقنوات التصريف والحصى الداعم للمرشح واقعاً على ثلاثة أشكال، كما سيتم شرحه في الفقرات التالية.

في معظم الأحيان يؤدي انحسار الهواء في مناطق محددة من المرشح، إلى زيادة الضغط، وقد يؤدي إلى انفجار في طبقة الحصى الداعم، وقد يكون ذلك نتيجة كسر أنبوب أو خرسانة، مما يجعل الحصى يتحرك من مكانه، وبالتالي فقدان الرمل. وهناك مصدران لدخول الهواء في ماء الغسيل العكسي، أولاً: إذا كان منسوب خط ماء الغسيل أعلى من مستوى سطح الماء في المرشح، فإن ذلك يؤدي الى إمكانية تجميع الهواء في الخط بين فترات الغسيل، ويمكن تفادي ذلك بأن يبقى هذا الخط تحت ضغط معين، أو خفض مستوى الخط إلى أقل من مستوى سطح الماء في المرشح، ليكون الخط تحت ضغط عمود من الماء باستمرار. ثانياً: حدوث دوامة في خزان ماء الغسيل العكسي، مما يسمح للهواء بدخول الماء وانتقاله إلى المرشح، ولمنع ذلك يمكن وضع حواجز لمنع حصول دوامة في الخزان (انظر الشكل 4-4).

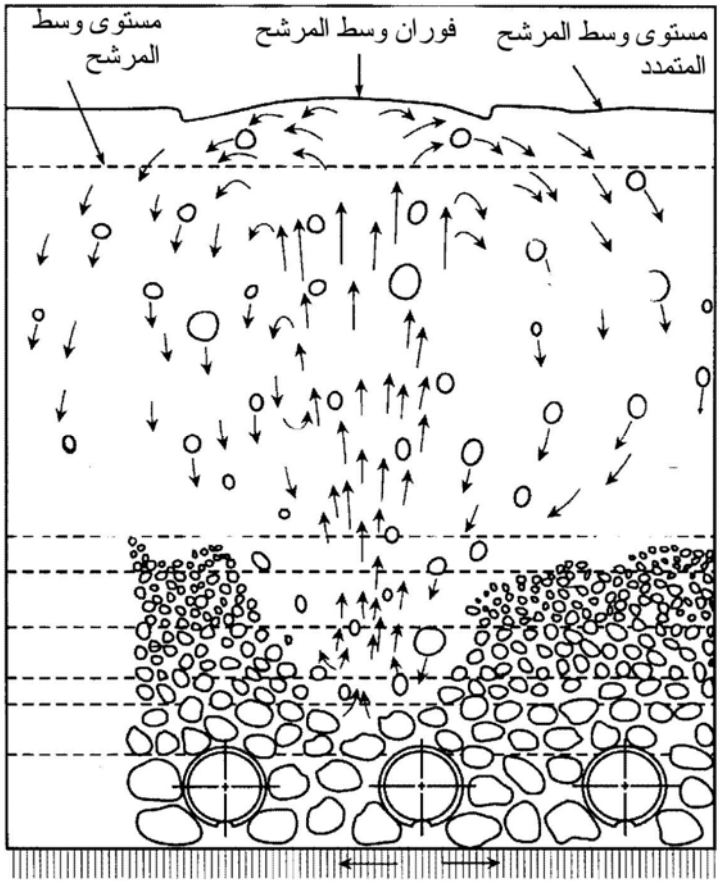


شكل 4-4 حاجز ضد الدوامة في خزان ماء الغسيل

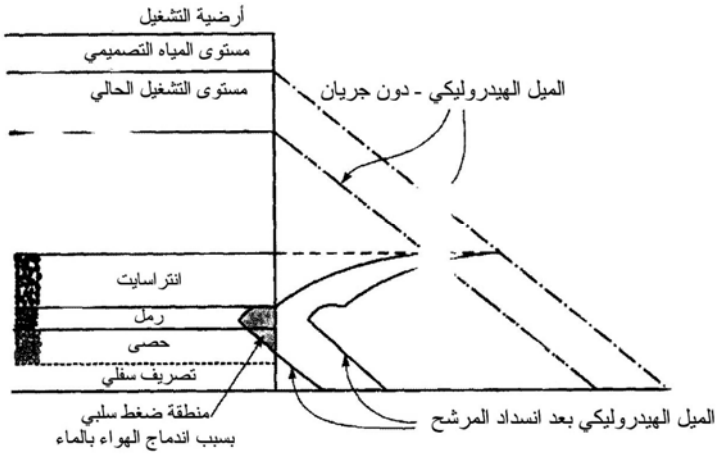
السرعة العالية لمياه الغسيل العكسي هي السبب الثاني في إلحاق الأضرار بالطبقة السفلى للمرشح. لذلك، إذا تم دخول مياه الغسيل العكسي للمرشح بسرعة وبشكل مفاجئ، فإن الطاقة الكبيرة التي يحملها نتيجة السرعة تُفقد عند اصطدامها بالأنابيب أو بالطبقة السفلى، مما قد يعرضها للكسر. ولذلك، يجب فتح وإغلاق محابس مياه الغسيل العكسي بالتدريج.

كما قد يلحق الضرر بالطبقة السفلى للمرشح من خلال تشغيله إلى نقطة يكون فيها فاقد الضغط في وسط المرشح عالياً جداً، مما قد يُحدث ضغطاً سالباً في الطبقة السفلى للمرشح، الأمر الذي قد ينتج عنه دمار بعض منشآت مخرج المياه، وحتى نتلافى حدوث ذلك، يجب غسل المرشح قبل الوصول إلى فاقد ضغط ذي قيمة كبيرة، مع أنه لا يوجد في الواقع أية دلائل واضحة للمشغل قبل حدوث ذلك.

من السهل جداً إضافة بيزوميتر (مقياس ضغط) ليتمكن المشغل من معرفة الضغط داخل المرشح، ومقدار فقدان ضغط الارتفاع. والشكل رقم 4-5 يوضح مقطعاً لمرشح، يبين اختلاط الحصى بالرمل، والشكل رقم 4-6 يظهر كيف أن الهواء يدخل ضمن النظام الهيدروليكي في المرشح.



شكل 4-5 مرشح مضطرب ومسار قصير وتحرك في وسط المرشح وفوران وسط المرشح عند السطح أثناء الغسيل العكسي



شكل 4-6 شكل تمثيلي لإظهار سبب اندماج الهواء داخل وسط المرشح

تلعب الخبرة دوراً مهماً في استخدام الهواء أو الماء كعامل مساعد في عملية الغسيل العكسي، حيث يضمن استمرار عمل النظام بظروف ممتازة، أفضل مما لو استخدم الغسيل العكسي لوحده. وهناك أربع طرق يتم من خلالها إنجاز دور العامل المساعد في عملية الغسيل العكسي. فعند استخدام الهواء مساعداً في عملية الغسيل، لا بدّ من تصميم مدخل المرشح بحيث يسمح لدخول الهواء إلى المرشح من الأسفل تحت ضغط متجانس. بينما يمكن استخدام الماء عاملاً مساعداً للغسيل من خلال إضافة كاشطات دوَّارة أعلى من سطح المرشح ب 5-8 سم. وعندما يتمدد وسط المرشح تدور الكاشطات داخل وسط المرشح. وكبديل لهذا النظام يمكن استخدام موزعات مياه ثابتة، وعلى طبقتين: واحدة أعلى من سطح المرشح بـ 5-8سم قبل التمدد، وأخرى على منسوب 4 سم أعلى السطح المشترك بين الفحم والرمل.

الطريقة الرابعة التي يمكن اتباعها، هي باستعمال خراطيم مياه ذات ضغط عالٍ تحمل يدوياً، حيث يمكن استخدامها في محطات التنقية القديمة، التي لم يتم تصميم أي نوع من أنواع الأنظمة المساعدة للغسيل العكسي فيها، سواء أكانت بالهواء أم بالماء. حيث لا يمكن أن يتم تركيب مساعد أتوماتيكي للغسيل، ولكن يمكن استخدام نظام الضغط اليدوي العالي، ويمكن توجيه ذلك أثناء الغسيل العكسي على سطح المرشح، وكذلك يمكن غسل جدران المرشح نفسه، وهذا يزيد من شدة حركة وسط المرشح مما يزيد من فاعلية التنظيف بشكل كبير. وتحت ظروف مناسبة (ضغط عالٍ، استعمال خرطوم وفوهة خرطوم مصممة بشكل جيد لإعطاء سرعة كبيرة). تحت مثل هذه الظروف يمكن المحافظة على جسم المرشح بحالة ممتازة. و يمكن استخدام هذا النظام في جميع المحطات التي لم يتم إنشاء نظام مساعد للغسيل فيها، وإذا كان ضغط الماء غير كافٍ، يمكن إضافة مضخة خاصة لزيادة الضغط أثناء فترة الغسيل. وفي المرشحات ثنائية الوسط والتي تحتوي على رمل وفحم، فلا بدّ من استخدام مساعد للغسيل غير أتوماتيكي، ويجب على المشغل أن يبذل جهداً جيداً لعمل ذلك في كل دورة غسيل. يجب أن يكون أسلوب الغسيل العكسي بشكل عام كما يلي:

- إغلاق مدخل المياه المترسبة.
- الاستمرار في الترشيح حتى يصبح مستوى سطح الماء من 20-30سم أعلى من مستوى قنوات الغسيل العكسي.
- فتح قنوات التصريف ليصبح مستوى سطح الماء مساوياً لمستوى قنوات التصريف.

- الاستمرار في عملية الترشيح حتى يصبح مستوى الماء من 15-20 سم أعلى مستوى سطح وسط المرشح.
- إغلاق محبس مياه الترشيح (المياه المترسبة).
- البدء بتشغيل الهواء أو الماء المساعد للغسيل العكسي لمدة تتراوح بين ثلاث وخمس دقائق.
- فتح محبس مياه الغسيل العكسي بالتدريج حتى النهاية.
- إغلاق الهواء المساعد مع استمرار ضغط الماء من 5-6 دقائق، ثم إغلاق محبس المياه المساعدة للغسيل أثناء الغسيل العكسي.
- الاستمرار في الغسيل العكسي، حتى يصبح الماء نظيفاً وخلال 6-8 دقائق سيكون عكر المياه بين 5-10 وحدات.
- إعادة المرشح للعمل بفتح محبس مدخل المياه المترسبة ومحبس المرشح.

الخطوة الثانية: عادة لا تُتَّبع، وبدلا من ذلك يتم مباشرة فتح محبس تصريف المياه بعد إغلاق محبس المدخل، الذي سيضيع كمية كبيرة من المياه في كل دورة غسيل. يتم تصريف المياه بسرعة وكذلك يعود المرشح للعمل بسرعة ودون تأخير، في معظم محطات التنقية يتم تقليل كمية تدفق المياه في آخر 30-60 دقيقة من التشغيل، وذلك للاقتصاد في المياه. وهناك بعض الحالات النادرة التي تكون فيها المياه الخام متوفرة بكميات كبيرة، وتصل إلى محطة التنقية بفعل الانسياب الطبيعي دون الحاجة إلى ضخ، بذلك يمكن زيادة عدد دورات غسل المرشح. على سبيل المثال كل 80-96 ساعة من بداية التشغيل. ولكن إذا كان الغسيل يتم كل 24-30 ساعة والمياه يتم ضخها، فإن التشغيل يكون أكثر اقتصاداً إذا استمر الترشيح حتى يصل مستوى سطح الماء إلى مستوى قنوات التصريف بالاعتماد على مستوى مياه الغسيل العكسي في قنوات التصريف، وعلى معدل الغسيل العكسي، فإنه من المحتمل أن يحصل غسيل لوسط المرشح. وللتأكد من أن معدل الغسيل العكسي ليس مرتفعاً، يجب مراقبة قنوات التصريف لمياه الغسيل العكسي، وملاحظة وجود رمل أو فحم فيها قبل بدء إعادة التشغيل المرشح.

7-4 المعادلة

لا يدرك معظم المشغلون بشكل واضح أهم هدف من أهداف محطات التنقية، وهو إنتاج وتوزيع مياه مثبتة، لا تسبب التآكل أو التفاعل مع المعادن، ولا تلحق ضرراً بالتوصيلات المنـزلية، ولا تحتوي على مواد قابلة للترسيب مثل الكالسيوم، لمنع انسداد أنابيب التوزيع. إن المياه القادمة أصلاً من خلال صخور جرانيتية تكون يسره، والأس الهيدروجيني فيها منخفض، مما يتسبب في إذابة المعادن التي تلامسها. وتكون المياه السطحية والجوفية في المناطق التي توجد في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وجزء كبير من آسيا قادرة على إذابة المعادن لذلك يجب معادلتها قبل توزيعها.

الطريقة المعتادة لمعادلة المياه اليسرة لتكون صالحة للتوزيع هي إضافة الجير، وبذلك يرتفع الأس الهيدروجيني وعسر وقلوية الماء. توجد كميات من الجير مترسبة بشكل طبيعي في معظم بلدان العالم. إن إضافة مخثر مثل كبريتات الألمنيوم وكلوريد الحديديك أو كلوريد الحديدوز يخفض الأس الهيدروجيني خلال المعالجة، وإذا أضيف الكلورين على شكل غاز، فسوف يزيد من انخفاض الأس الهيدروجيني لذلك فإن المياه المعالجة تكون مياهاً قابلة لإذابة المعادن.

يوفر مؤشر لانجلير طريقة سهلة لتحديد ما إذا كان الماء قريباً من وضع الثبات أم لا، وهذا الفحص يحتاج إلى بعض الأجهزة والتحاليل الكيميائية، ومن الضروري أيضاً قياس إجمالي المواد الصلبة الذائبة والأس الهيدروجيني وتركيز الكالسيوم والقلوية، لحساب درجة ثبات الماء كما يلي:

$$langelier\ Index(LI) = pH\ of\ \ the\ water\ leaving\ the\ plant - pH_s$$

حيث الأس الهيدروجيني المشبع (pH_s) = معامل درجة الحرارة + معامل تركيز المواد الصلبة الإجمالي - عامل القلوية - عامل الكالسيوم.

$$pH_s = tempratue\ \ factor + \ TDSfactor - \ alkalinity\ \ factor - \ calcium\ \ factor$$

عوامل درجة الحرارة وإجمالي المواد الصلبة والقلوية موضحة في جدول رقم (4-1). لاحظ في الجدول أن عامل القلوية والكالسيوم هو نفسه. إذا كان مؤشر لانجلير أقل من صفر، فإن المياه تكون لها قابلية لإذابة كربونات الكالسيوم، بينما إذا كان مؤشر لانجلير أكبر من صفر، فإنه يدل على نزع المياه لترسيب كربونات الكالسيوم.

نتائج الفحص لعينة ممثلة لمياه معالجة يسرة هي كما يلي: الأس الهيدروجيني 7.0، وإجمالي المواد الصلبة 90ملغم/لتر، (من جدول رقم 4-1 يكون العامل يساوي 9.70)، والقلوية 40 ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم، (العامل يساوي 1.6) وتركيز الكالسيوم على شكل كربونات الكالسيوم 60 ملغم/لتر، (العامل يساوي 1.78) ودرجة الحرارة 20°م (العامل 2.1) ولهذه الحال فإن الأس الهيدروجيني المشبع يكون:

$$pH_s = 2.10 + 9.76 - 1.6 - 1.78 = 8.48$$

بذلك يكون مؤشر لانجلير =

$$langelier\ Index(LI) = 7.00 - 8.48 = -1.48$$

تدل قيمة مؤشر لانجلير على أن المياه المعالجة لها قابلية كبيرة لإذابة المعادن، ولذلك لا بدّ من زيادة قيمة الكالسيوم والقلوية، وذلك بإضافة الجير. زيادة 1ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم تحتاج إلى إضافة 0.74 ملغم من الجير، فإذا تم إضافة 25ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم، فإن الكالسيوم أو القلوية سوف ترتفع بقيمة 34 ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم. بذلك يرتفع تركيز الكالسيوم إلى 94 ملغم/لتر على شكل كربونات الكالسيوم، (العامل يكون 1.97) وستكون القلوية 74ملغم/لتر، على شكل كربونات الكالسيوم (العامل يكون 1.87)، بذلك يكون الأس الهيدروجيني المشبع يساوي:

$$pH_s = 2.10 + 9.76 - 1.97 - 1.87 = 8.02$$

بعد إضافة 25ملغم/لتر من الجير فإن القيمة الحقيقية للأس الهيدروجيني ترتفع إلى 8.0، بذلك يكون مؤشر لانجلير هو:

$$langelier\ \ Index(LI) = 8.00 - 8.02 = -0.02$$

هذه نتيجة متعادلة تقريباً، فلا الماء قابل لإذابة المعادن، ولا هو قابل لترسيب كربونات الكالسيوم، ومن الجدير بالذكر أن مؤشر لانجلير يعطي نتيجة تقريبية، ولكنها كافية للاعتماد عليها لحماية شبكات توزيع المياه.

من أفضل الطرق لمراقبة درجة ثبات المياه المعالجة هو وضع قطعة حديد في شبكة توزيع المياه، حيث توزن وتوضع في مكان ثابت وبعد ثلاثة أشهر تقريباً ترفع مرة أخرى ويعاد وزنها فإذا كان

وزنها الجديد أقل، تكون المياه قابلة لإذابة المعادن، وإذا كان وزنها الجديد أكبر، تكون المياه قابلة لأن ترسب كربونات الكالسيوم، وإذا لم يحصل تغيير على وزنها تكون المياه في حالة تعادل.

جدول 4-1 العوامل التي تؤثر على معامل لانجلير وهي درجة الحرارة وإجمالي المواد الصلبة الذائبة والكالسيوم والقلوية

درجة الحرارة		إجمالي المواد الصلبة الذائبة		الكالسيوم أو القلوية	
^{o}م	العامل	**ملغم/لتر**	العامل	ملغم/لتر كربونات الكالسيوم	العامل
0	2.60	0	9.70	10	1.00
4	2.50	100	9.77	15	1.18
8	2.40	200	9.83	20	1،30
12	2.30	400	9.86	25	1.40
16	2.20	800	9.89	30	1.48
20	2.10	1000	9.90	35	1.54
26	2.00			40	1.60
30	1.90			45	1.65
				50	1.70
				60	1.78
				70	1.85
				80	1.90
				90	1.95
				100	2.00
				110	2.04
				120	2.08
				130	2.11
				140	2.15
				180	2.26

الفصل الخامس

تحديد معايير التصميم

1.5 مقدمة في فحوصات المختبر

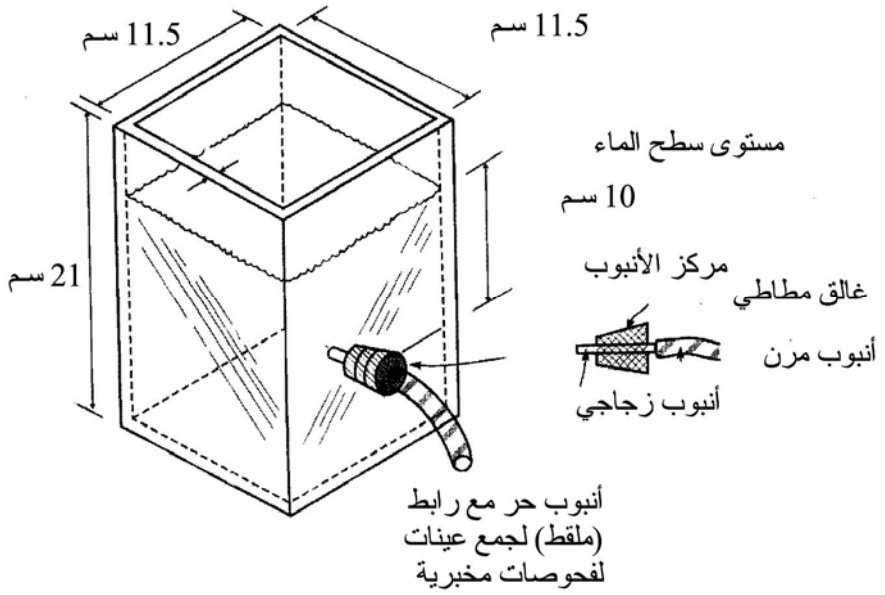
أعداد قليلة من محطات تنقية المياه العاملة اليوم تم تصميمها لمعالجة مياه خام ذات نوعية محددة، تحت ظروف مختلفة تحدث على طول السنة. ويعود سبب ذلك إلى الأمور التالية :

- في معظم الحالات لم تتوفر للمصمم معلومات كافية عن مواصفات المياه الخام تغطي فترة زمنية طويلة.
- طرق وأساليب تحديد عوامل التصميم عن طريق إجراء فحوصات مخبرية لم تكن على قدر كبير من الاستيعاب والتطبيق.
- قد تكون التكلفة العالية عائقاً دون الحصول على المعلومات الأساسية للتصميم.
- تغير نوعية المياه نتيجة تغيير أسلوب الحياة ومستوى المعيشة والنشاطات الصناعية والزراعية في منطقة مستجمعات المياه.

إن الاستراتيجية المتَّبعة عادة في حال نقص معلومات معينة، هي استخدام المعايير التي ثبت نجاحها في تصميم محطات أخرى. نتيجة لذلك فقد يكون عدة محطات تنقية متشابهة قد بدأ تصميمها من قبل شخص أو مجموعة أشخاص. ومن المهم للإداريين والمشغلين، فهم خلفية التصميم لعمل الأفضل، لزيادة كفاءة المحطة، بغض النظر عن التصميم، إذ يمكن عمل الكثير من التطوير لمثل هذه المحطات.

يزداد الطلب على المياه في المدن بصورة كبيرة، لذلك فإن محطات التنقية عاجلاً أم آجلاً ستضطر لإنتاج أقصى ما يمكن، إن لم يكن فوق طاقتها. في النتيجة النهائية تكون نوعية المياه رديئة، وكلفتها عالية. إن استخدام الفائدة المثلى يدعو للبحث عن طريقة اقتصادية لاستعمال المواد الكيميائية (والتي تعتبر مهمة جداً ومكلفة جداً)، دون وقوع ضرر على جودة المياه المعالجة، ويجب تحسين التشغيل لزيادة سعة المحطة، وتحسين جودة المياه الخارجة منها. تُستخدم للوصول إلى الفائدة المثلى لمحطة التنقية طرق بسيطة وأجهزة قليلة جداً وزجاجيات ومختبر. فعلى المهندسين والمشغلين ذوي الخبرة والمؤهلين، أن يتعلموا أساليب التقييم الأولي ويستمروا في مراقبة المحطة وتحسين كفاءتها.

إن الفحوصات المخبرية هي الطريقة المثلى للحصول على أقصى فائدة ممكنة من عملية التشغيل، وفي استعمال عكر المياه المترسبة كمقياس لتصفية الماء، وهذا يمكن تطبيقه لأنه يوجد للعكر علاقة مع كمية المواد الصلبة المستعملة بالعينة. والطريقة الأكثر دقة هي تحديد نوعية المياه الميكروبيولوجية. ومحتوياتها من المواد الصلبة متوفرة ويمكن تطبيقها، ولكن هذه الطريقة مكلفة جداً وتحتاج إلى وقت طويل.



شكل 5-1 جرة ذات حجم ليترين لإجراء تجارب في المختبر

تعمل الفحوصات المخبرية هنا على وصف محطة تنقية في المختبر، تحاكي في تشغيلها المحطة الفعلية المنوي إنشاؤها. والدقة في تطبيق نتائج الفحوص على المحطة الفعلية ضرورية، ولكن الخبرة أثبتت أن تطبيق مثل هذه المعلومات ناجح جداً ومفيد. بشكل عام، يمكنه استخدام المحطة أو جزء منها، لتأكيد النتائج دون التعقيد الكبير لعمليات التشغيل المتكررة، وقد استخدم هذا الأسلوب العملي والاقتصادي في عدة محطات تنقية.

يمكن اعتبار الطريقة التقليدية في اختبار الجرة مع بعض التعديلات، طريقة سريعة وأكثر اقتصاداً للحصول على معلومات يمكن الاعتماد عليها في التغييرات التي تؤثر على عوامل التصميم وعمليات التنقية. وتعتمد العملية الأساسية على استعمال لترين اثنين كعينة من الماء يتم معالجتها في المختبر معالجة خاصة، ويوضح شكل رقم 5-1 تصميم وأبعاد اختبار الجرة، فقد تم وضع جرة من البلاستيك الشفاف بسماكة 5ملم، وذلك لسهولة مراقبة كيفية تكوين الكتل المخثَّرة وغيرها من عمليات. بالاعتماد على المعالجة التي تمت في اختبار الجرة، فإن عملية الترويق قد تتم بسرعة كبيرة والتي قد تُنتِج مياهاً ذات مستويات مختلفة من العكر.

من العوامل المهمة في تصميم أو تحسين عمليات التنقية، التحميل السطحي، ومدة التندف، وإدخال الطاقة. إن شدة الخلط في تحميل خزان الترسيب عادة يُعرف بحجم المياه الداخلة التي تمر من خلال وحدة المساحة في وحدة الزمن وتقاس عادة بـ م^3/م^2/اليوم.

معظم خزانات الترسيب تم تصميمها بحمل يقدر بـ30-40م/اليوم (حوالي2.1-2.8 سم/الدقيقة). وقد تم استعمال صندوق بلاستيكي لاختبار الجرة، بحيث يكون الفرق بين مستوى سطح الماء فيه، ومركز الأنبوب الخارج يساوي 10 سم. وهذه هي كمية المياه الخارجة بعد خمس دقائق من خزان الترسيب. ويُقدِّر عكر الخزان عند تشغيله بحمل يعادل 2سم في الدقيقة (28.8م^3/م^2/اليوم). بمعنى آخر، إنّ جميع الكتل المخثَّرة التي لها سرعة ترسيب أكثر من 2سم في الدقيقة سوف تترسب خلال خمس دقائق. مع العلم بأن هناك كتلاً متخثِّرة تتكوَّن بأحجام مختلفة، ولكن الكتل الكبيرة تترسب

بسرعة أكبر. لذلك فإن عكر المياه المترسبة ناتجة عن الكتل المخثَّرة الصغيرة التي لها سرعة ترسيب منخفضة، لهذا فإن زمن الترسيب، وبالتالي سعة المحطة تعتمد على إزالة الشوائب بالعمليات المتتالية في الترشيح.

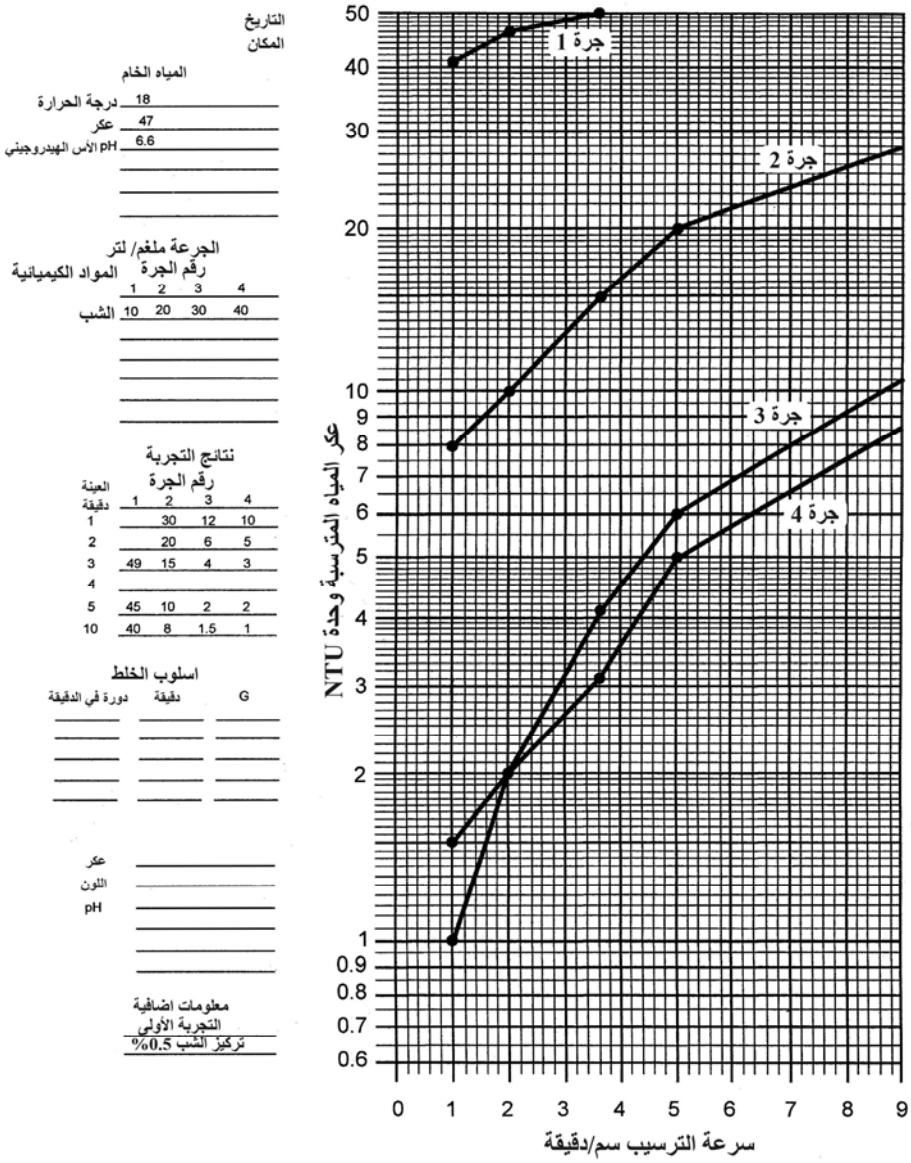
والخطوة الألى لنستطيع تحديد صفات المياه المترسبة بدقة، هي أخذ عينة من المياه الخام، وقياس عكرها، ثم يعاد قياسها بعد عمليات المعالجة، وعند بدء عملية الترسيب تؤخذ عينات بعد 1 و2 و3 و5 و10 دقائق من بداية فترة الترسيب، وهذه تعادل 10و 5 و 3.3 و 2 و 1 سم في الدقيقة سرعة ترسيب على التوالي. إن أول عينة وآخر عينة هما أكثر وأقل العينات عكراً على التوالي. يعطي الفرق بينهما إشارة إلى كفاءة الترسيب. ونتيجة لاختلاف العوامل وتباينها فلا بدّ من دراسة كل عامل على حدة، لتحديد قيمة أفضل نتيجة يمكن الحصول عليها عند تغيير كل عامل على حدة. على سبيل المثال: إذا كانت جرعة المخثر غير كافية، فستكون النتيجة النهائية غير مرضية، حتى لو كانت العوامل الأخرى أفضل ما يمكن، والعكر سوف يقل بكمية قليلة أثناء الفحص. وبالمقارنة، إذا كانت جرعة المخثر والخلط والتندف عند أفضل نتيجة لها. فإن عكر المياه المترسبة في الدقيقة الأولى أو الثانية، وعكر المياه بعد عشر دقائق يكون بينها اختلاف كبير. توضح الأشكال رقم 5-2 و 5-3 نتائج تجارب أولية، وتجارب معدلة للمثال في جدول رقم 5-1.

5-2 عوامل التشغيل والتصميم

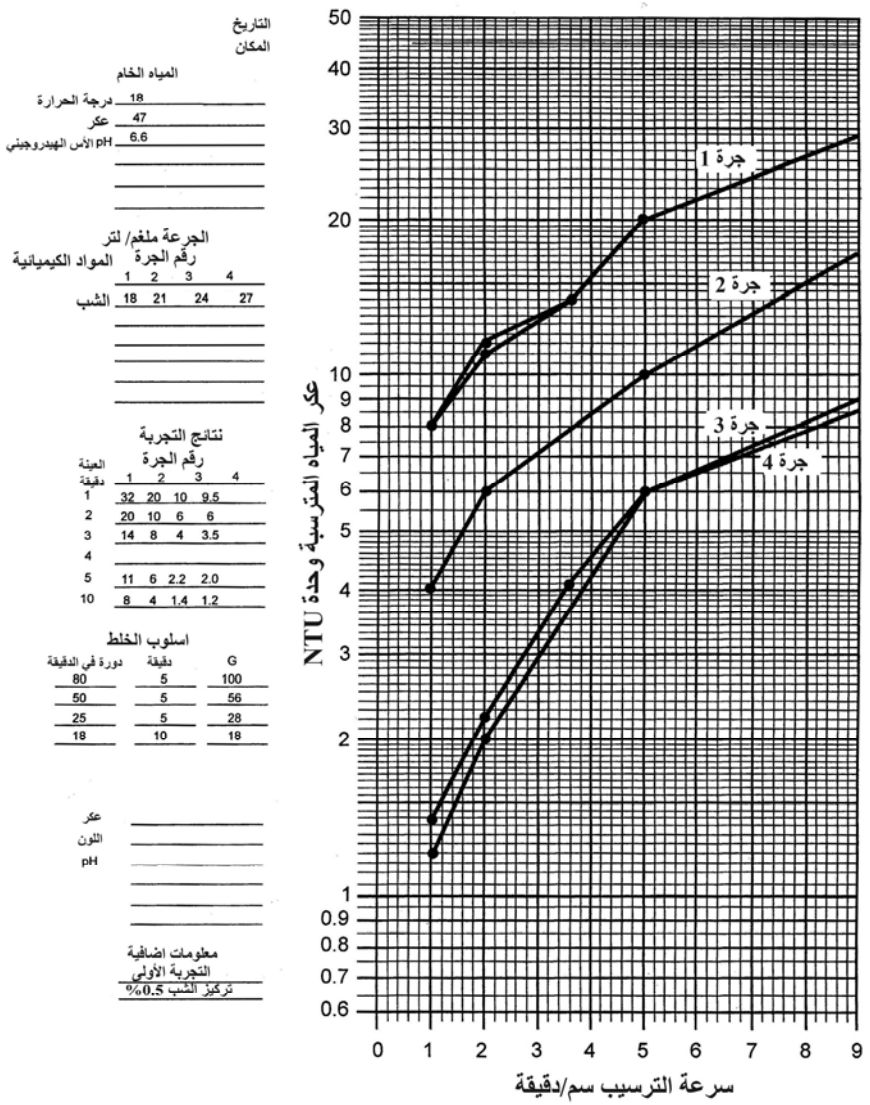
العوامل المهمة التي يمكن تحديدها من الناحية العملية هي :

1- *انتشار المخثر والبوليمر والمواد الكيمائية الأخرى.*

- إن فعالية الخلط السريع باستعمال جهاز الخلط يحدد بقيمة خط ميل السرعة. والشكل رقم 5-4 يبين العلاقة بين خط ميل السرعة والسرعة الدورانية (دورة في الدقيقة) لنفس الجهاز.
- معرفة الجرعة المثلى من المخثر والبوليمر والمواد الأخرى.
- تأثير المخثرات والبوليمرات- الوسائل والطرق بما في ذلك التخفيف.
- التوقيت الأمثل والتتابع الأمثل لإضافة المواد الكيماوية.
- تأثير الأس الهيدروجيني على عملية المعالجة.
- تأثير تدوير الحمأة.



شكل 5-2 اختبار جرة لتحديد جرعة المخثر: يعمل أول اختبار بمدى واسع من معطيات الفحص وظروف الفحص والمعلومات الأولية يمكن تسجيلها على نفس الورقة كما هو موضح

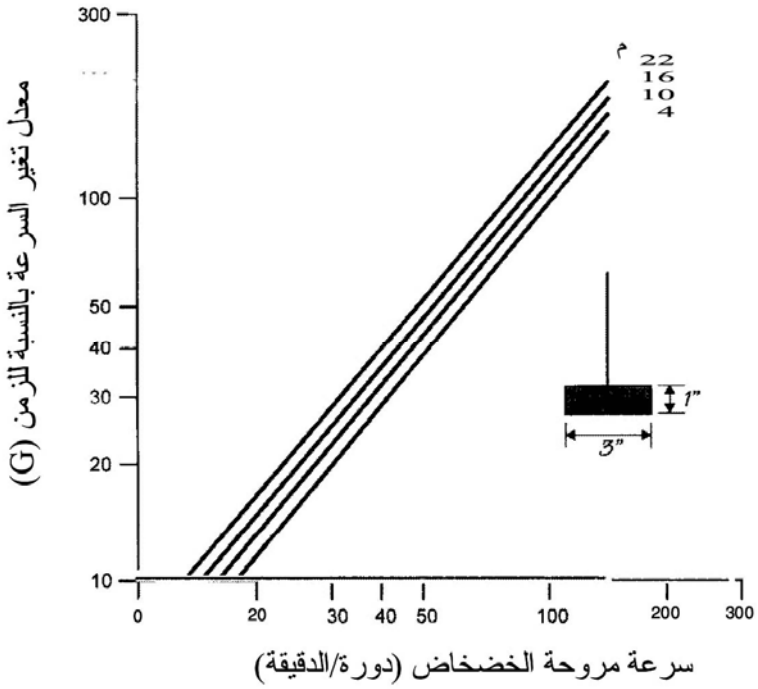


شكل 5- 3 اختبار جرة لتحديد جرعة المخثر: الاختبار الثاني استعمل فيه مدى قصير للعامل المطلوب.

جدول رقم 5-1 مثال على اختبار الجرة لتحديد جرعة المخثِّر الأكثر فاعلية

(جرعة المخثِّر ملغم/لتر من كبريتات الألمنيوم)

الزمن (دقيقة)	سرعة الترسيب سم/دقيقة	عكر (NTU) عند استعمال جرعة مخثِّر ملغم/لتر			
		10	20	30	40
الفحص الأول					
1	10	56	30	12	10
2	5	54	20	6	5
3	3.3	50	15	4	3
5	2	54	10	2	2
10	1	40	8	1.5	1.0



شكل 5-4 علاقة معدل تغير السرعة المستخدمة مع السرعة الدورانية ودرجة حرارة الماء للخلاط الذي يستخدم عادة في اختبار الجرة

تابع للجدول رقم 5-1

الزمن (دقيقة)	سرعة الترسيب سم/دقيقة	عكر (NTU) عند استعمال جرعة مخثّر ملغم/لتر			
		18	21	24	27
الفحص الثاني					
1	10	32	20	10	9.5
2	5	20	10	6	6.0
3	3.3	14	8	4	3.5
5	2	11	6	2.2	2.0
10	1	8	4	1.4	1.2

2- التندف

- الوقت الإجمالي للتندف الأمثل.
- القيمة المثلى لقيمة خط ميل السرعة ومدة المعالجة في كل خزان.
- العدد الأقصى للحجرات.
- توقع تأثير زيادة الخضخضة أو نقصانها على عملية الترويق.
- سرعة انتقال المياه من وحدة إلى أخرى.

3- الترسيب.

- عكر المياه المترسبة وإمكانية انتقاله إلى المرشحات حسب الحمل على الخزانات.
- معايير تصميم خزانات الترسيب، والحمل الأساسي على الخزانات وحواجز المدخل ونظام إزالة المياه المترسبة.

4- الترشيح .

- مقدار حمل المرشح من الكتل المخثّرة.
- تحديد إمكانية الترشيح المباشر.
- عكر المياه المرشحة التقريبي.

إن الغاية الأساسية من إجراء اختبار الجرة، هي تحديد قيمة الفائدة المثلى الممكنة لكل عامل من العوامل على حدة، وتقييم ذلك للوصول إلى أقصى فائدة ممكنة. ويفضل في البداية تحديد أفضل جرعة، ثم دراسة العوامل الأخرى عند هذه الجرعة.

3-5 الحيز اللازم للأجهزة والأدوات المخبرية

إن الأدوات اللازمة لإجراء اختبارات على مستوى المختبر هي:

- جهاز خلط بسرعات مختلفة تصل إلىحدّ 150 دورة في الدقيقة، بطاقة تزويد لا تقل عن أربع دوارق سعة 2 لتر لكل منها. وشكل رقم 5-4 يعطي قيمة خط ميل السرعة لكل منها 10-150 دورة في الدقيقة باستعمال خلاط ذي أبعاد 2.5-7.5 سم.
- جهاز قياس عكر الماء من 0.01 وحدة (NTU) 1.00 وحدة (NTU).
- جهاز قياس الأس الهيدروجيني.
- على الأقل أربع جرار سعة كل واحدة 2 لتر.
- منحنيات تحويلية لتحديد قيمة خط ميل السرعة من خلال سرعة الدوران (انظر شكل 5-4).
- أوعية زجاجية مختلفة لحفظ المواد الكيمائية وخلطها وتحضير محاليل مخفّفة ... الخ. احتمال كسر الأدوات البلاستيكية ذات الجودة العالية اقل منها في غيرها من الأدوات.
- سحاحات بأحجام 1 و 5 و 10 و 25 و 100 مللتر.
- بيكر مدرّج أو قارورة بسعة 10 و25 و100 و500 و1000 مللتر.
- ساعة توقيت.
- أوراق ترشيح واتمان رقم 40 (Whatman No. 40).

المواد الكيماوية اللازمة :

- محلول من كبريتات الألمنيوم بتركيز 10٪.
- محلول من كلوريد الحديديك بتركيز 10٪ (يجب أن يحضر يومياً).
- بوليمر من جميع الأنواع موجب وسالب ومتعادل الشحنة (غير أيوني) ويحضر محلول البوليمر بإذابة البوليمر الجاف للحصول على تركيز 10٪).
- مياه مقطرة.
- مياه خام.
- محلول جير بتركيز 1٪ يحضر يومياً.

حيِّز بطول 4-3م من طاولة مختبر هو الحيز المطلوب مع وجود كافة التسهيلات من كهرباء وأجهزة ومغسلة ومياه.

4-5 الفحوصات المخبرية للمعالجة التقليدية

1-4-5 جرعة المختبر

إذا كانت محطة التنقية القائمة عاملة، فعادة يبدأ برنامج عمل التجارب لتحديد الجرعة الفضلى للمخثر. فأول خطوة هي استعمال المياه الخام نفسها و تركيز المخثر المُستَعمل في نفس المحطة لعمل التقييم اللازم.

أما إذا كانت المياه الخام جديدة أو كان المخثر جديداً، فيجب استخدام تركيزات مختلفة، وبمجال واسع، ثم يعمل من خلال التجربة على تضييق هذا المجال لتحديد أفضل تركيز.

يجب في أي عمل مخبري ترقيم الجرار، وتسجيل كل القياسات والاختبارات والملاحظات عن كل جرة مهما كانت الملاحظة، وربما تحتاج إلى إعادة التجربة إذا توقفت عن ملاحظتها، حتى ولو لمجرد الرد على تليفون. والطريقة هي :

1- *التحضير:*

- معايرة جهاز قياس العكر للمجال المتوقع في التجربة.

- املأ الجرار بالمياه الخام، وقس عكر الماء في كل جرة.
- بوساطة السحاحة اسحب الكمية المراد استعمالها من المخثر بتركيز 0.1٪، وضَعها في وعاء زجاجي بجانب كل جرة.
- إذا كانت المياه الخام بحاجة إلى قلوية، فيمكن إضافة الكمية المناسبة من الجير مع الخلط ببطء شديد.
- مثال على ذلك: في التجربة الأولى تمّ استخدام 20، 40، 60، 80 مللتر من 0.1٪ من كبريتات الألمنيوم وإضافتها لكل بيكر من 1 وحتى 4 لتكون كمية المواد الكيماوية المضافة 10، 20، 30، 40 ملغم/لتر.

2- *الخلط الأولي والتندف:*

- أضف كمية المادة المخثرة من الوعاء الزجاجي لكل جرة مرادفة لها وابدأ الخلط السريع.
- بعد عشر ثوانٍ اخفض سرعة الدوران إلى 100 دورة/الدقيقة لمدة دقيقتين، ثم اخفضها إلى 60 دورة في الدقيقة لمدة 3 دقائق، وأخيراً إلى 20 دورة في الدقيقة واستمر على هذه الحال 15 دقيقة.
- بعد عشرين دقيقة من التندف المباشر، يجب أن يتم تصريف المياه الزائدة عن 2 لتر وهو الحجم المكافىء للزيادة الناتجة عن إضـافة المادة المخثرة، ويكون الحجم 20 و40 و60 ، 80لتر.

3- *الترسيب وأخذ عينات:*

- يجب أن يكون هناك شخصان للقيام بهذا العمل، وهو جمع العينات، حيث يمكن لكل شخص أن يجمع عينتين في الوقت نفسه، فالشخصان يمكن أن يقوما بجمع العينات من الجرار الأربعة في نفس الوقت.
- أوقف جهاز الخلط، ومن الناحية العملية، يمـكن العد التنازلي بحوالي 30 ثانية بعد وقف الخلط، وهذا يمثل الوقت اللازم لوصول المياه من خزان الخلط إلى خزان الترسيب.
- ابدأ باستعمال سـاعة التوقيـت، وذلك لـجمع العينات من كـل جرة عند 1 و2 و 3 و5 و10 دقائق وذلك للحصول على منحنى سرعة الترسيب.
- قبل جمع العينة أفرغ حوالي 5 مللتر عن طريق أنبوب التفريغ.
- اجمع عينة ذات حجم 30 إلى 35 مللتر، وهو حجم كافٍ لقياس عكر المياه، ويمكن جمعها دون التأثير على حجم المياه في الجرة.
- قياس الأس الهيدروجيني في كل جرة (كلما كانت جرعة المخثر أكثر كان الأس الهيدروجيني أقل).
- سيكون مجموع العينات 20 عينة من جميع الجرار وقبل قياس عكر المياه لا بد من خضخضة العينة.

4. *تحديد أفضل قيمة للجرعة:*

- تعاد التجربة بعد الجولة الأولى باستخدام جرعات قريبة جداً من الجرعة التي أعطت أفضل مياه صافية (أقل عكر).

- قيمة عكر الماء للعينة المأخوذة عند 5 دقائق تكون عادة 2-5 وحدة، وذلك لأفضل جرعة يمكن استخدامها.
- بعد تحديد قيمة جرعة المخثر والتي تعطي فاعلية كبيرة بتكلفة قليلة عندها نبدأ باستعمال هذه الجرعة لتحديد العوامل الأخرى على التوالي.

يمكن استخدام التجربة السابقة لأكثر من مخثر، والجدول رقم 5-1 يظهر مثالاً يستخدم فيه مادة الشب. وفي هذا المثال فإن أفضل جرعة هي 24 ملغم/لتر، وهي تعطي نفس نتيجة الجرعة 27ملغم/لتر، ولكنها أكثر اقتصاداً بحوالي 10٪.

2.4.5 جرعة البوليمر

إذا كان البوليمر يساعد في عملية الترسيب، فيجب أن يدرس بعد دراسة المخثر. فالبوليمر ذو الشحنة الموجبة يستعمل كمخثر، ويستعمل كمساعد لجرعة التخثير. في بعض الحالات عند إضافة جرعة قليلة من بوليمر موجب خلال فترة الخلط يقلل كمية المخثر التي يجب استخدامها بشكل كبير. يمكن إجراء دراسة أولية مخبرية على هذا الأسلوب للتحقق منها، علماً بأن كمية البوليمر المضافة مهمة، إلا أن عملية تتابع إضافة البوليمر أو المخثر له أهمية أكبر، لذلك يجب تحديد أيهما يجب إضافته أولاً. وبشكل عام فإن البوليمر وحده يكون كافياً لتكوين كتل متخثِّرة.

يساعد استعمال البوليمر المتعادل على تكثيف الكتل المتخثِّرة لتترسب، ولكن يجب إضافة البوليمر بعد تكون الكتل المتخثِّرة، وإلا فسوف يكون غير فعّال، و إذا أضيف بعد فترة طويلة فقد لا يكون هناك وقت كافٍ لتكثيف الكتل المتخثِّرة. ولهذا فمن المهم جداً معرفة متى يجب إضافة البوليمر. وتدل الخبرة على أن إضافته بعد خمس دقائق من بداية التندف تكون أكثر فعالية.

لم يحالف مؤلفي هذا الكتاب نجاح كبير للحصول على نتائج جيدة في استخدام البوليمر السالب الشحنة في التندف والتخثير، بينما كان هناك نجاح كبير في استخدام البوليمر الموجب الشحنة في التخثير، ونتائج ممتازة للبوليمر المتعادل ذي الوزن الجزيئي الكبير، الذي يساعد في بناء الكتل المتخثِّرة. إن تكلفة البوليمر عالية جداً، لذلك يجب استخدامه بطريقة فعَّالة، وعند الحاجة إليه. عند تقييم البوليمرات يمكن استخدام نفس نظام وطريقة الخلط التي تم استخدامها في حالة تقييم المخثرات وبنفس التركيز. ويجب في المرحلة التي يستخدم فيها البوليمر أن تعتمد على الأهداف النهائية وعلى نوع البوليمر. ويجب إضافته بتركيز خفيف جداً (على الأكثر 0.01٪) عند إجراء تجارب مخبرية، لأن التركيزات الخفيفة مطلوبة. وذلك لصعوبة دقة قياس تركيز البوليمر في المحلول عالي التركيز.

3.4.5 أمثلة لتحديد القيمة الفضلى من المخثر والبوليمر

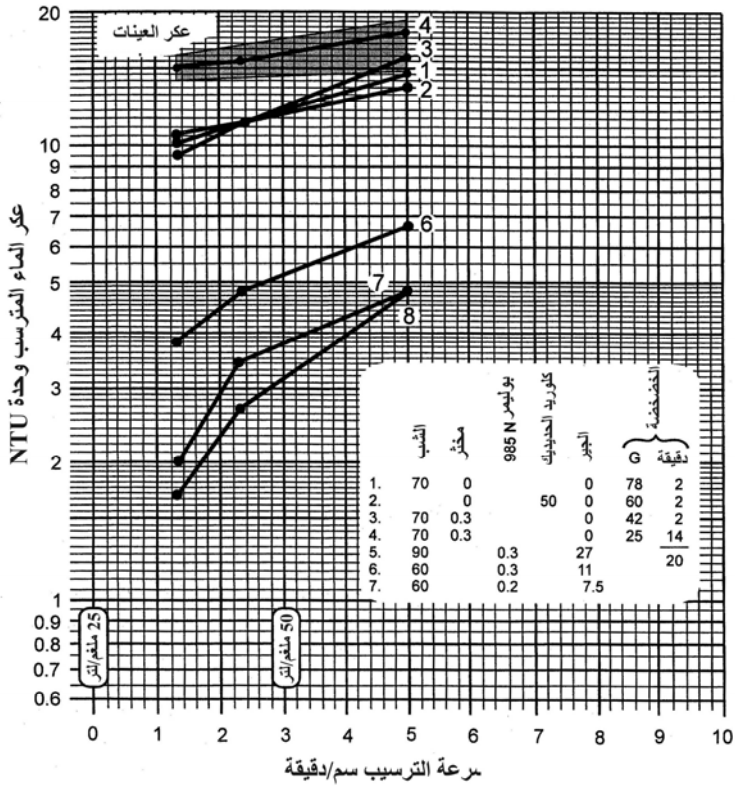
تُظهر الأشكال من 5-5 إلى 5-12 بعض نتائج المياه في مختلف مناطق العالم. وهناك أهمية كبيرة لنتائج الفحوص على مستوى المختبرات. وبالخبرة يمكن الحكم على فحوصات معقدة لتقييم عدة اختيارات، كما هو واضح في شكل 5-5، ويمكن الحصول على خفض عكر المياه المترسبة إلى أربعة أمثال القيمة الأصلية بالجمع بين الشب والبوليمر كمادة مخثرة.

هناك اختبارات أكثر فعالية لفحوصات أقل تعقيداً، إذا تم دراستها من قبل مهندسي ومشغلي دائرة المياه. ويمكن مناقشة كل حالة حسب أفضليتها، بحيث تحتوي على جرعة المخثر (جدول رقم 5-1 والأشكال 5-2 الى 5-3) ومحلول مخفف (الأشكال 5-9 إلى 5-10) وتتابع إضافة الشب والمخثر (شكل 5-11) واختيار البوليمر (شكل 5-6) والجرعة (شكل 5-7) وكذلك وقت إضافة البوليمر (شكل 5-8).

إن الفحوصات التي تجرى في المختبر، والتي تحاكي المحطة الحقيقة، يمكن أن تُظْهر مدى إمكانية الحصول على مياه صافية، وقد تم تحديد جرعة المواد الكيميائية للمياه الخام، وتحديد الظروف الواجب اتباعها في المحطة كما هو موضح في شكل 5-12.

4.4.5 ظروف التندف

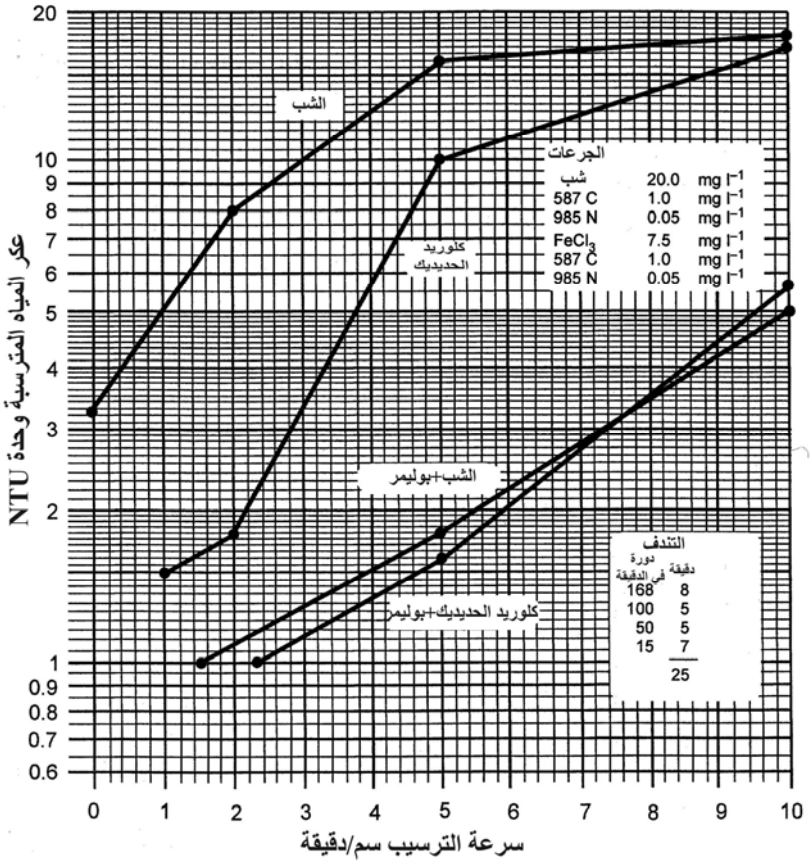
بعد تحديد درجة التخفيف، وتتابع إضافة المواد الكيمائية، وفترة الخلط، فإنه من الممكن تحديد وقت الطاقة المضافة، وهذا يحتوي على مجال واسع، ولكن الخبرة تكسب السرعة في تحديد دراسة الاختيارات قبل بدء تقييم التندف لتحسين عمل محطة قائمة. أما بالنسبة لإنشاء محطة تنقية جديدة فالمصمم يمكن أن يحدد النظام للوصول إلى النتيجة المرغوب فيها، باتباع الأسس التصميمة والخبرة. إذا كان الهدف تحسين محطة قائمة فإن النظام موجود، وعليه التحليل فقط، وقد تحتوي المحطة على شفرات خلط عمودية أو أفقية أو شفرات متذبذبة أو نظام الجسر المتحرك، وبعض هذه الأنظمة مستعمل أكثر من الآخر لإدخال الطاقة على شكل متدرج.



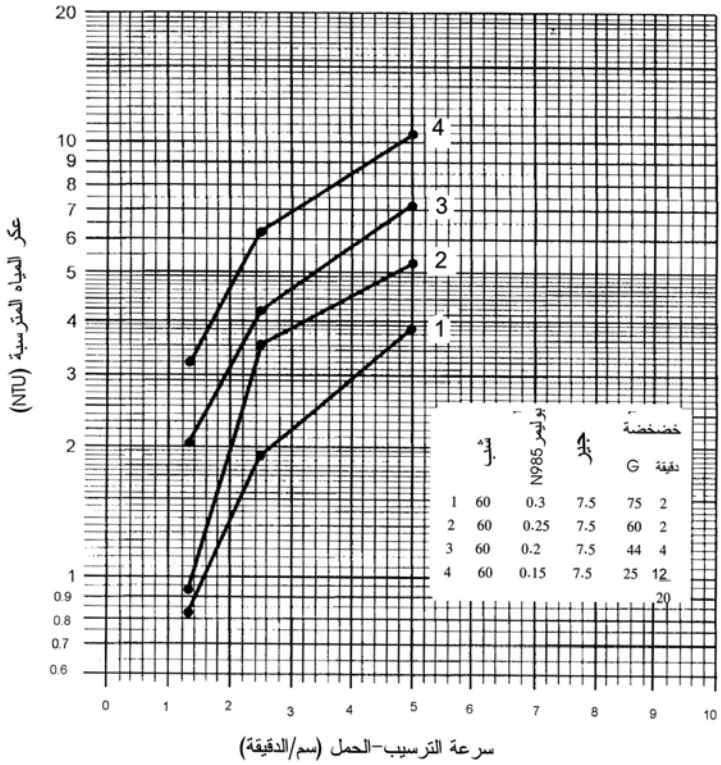
شكل 5-5 طريقة متقدمة في فحص الجرة يتم تغيير كميات الجير، المخثر والبوليمر، وهذه الطريقة تعطي نتائج سريعة ولكنها تحتاج الى خبرة كبيرة في اجراء فحص الجرة، والذي يتم بواسطتها الحكم على مناسبة ظروف الفحص. ان الفحص رقم 7 يعطي نتائج جيدة واقتصادية.

يجب العمل على استخدام الأجهزة الموجودة، ولكن في بعض الحالات لا بدّ من تغيير النظام القديم. فعلى سبيل المثال: إذا كان هناك أربع حجرات موجودة، فإنه يمكن اختيار ما يشابه هذا النظام على مستوى المختبر، لاختيار أي أنظمة خلط أكثر ملائمة، فعشرون دقيقة تندف يمكن نظرياً أن تسمح بخمس دقائق لكل حجرة، وبذلك يمكن إجراء الفحوصات اللازمة بناءً على ذلك. وفي نظام الخلط الأفقي هناك احتمال استعماله في قناة بسرعة محددة لفترات مختلفة بالاعتماد على كمية تدفق المياه في القناة.

الخبرة في تنظيم مثل هذه الحالة المعقدة مطلوبة، وذلك لترويق المياه من العكر واللون. واستعمال الخضخضة الشديدة في البداية لفترة قصيرة، تتبعها خضخضة بطيئة لفترة طويلة أثبتت فاعليتها. وتعتبر هذه ملاحظة عامة، ويمكن أن تكون غير مناسبة في حالات خاصة، ولكنها تعطي بداية جيدة، وإلاّ فإن الباحث القليل الخبرة سوف يجد نفسه في دوامة وقد يفقد السيطرة كلياً.



شكل 5-6 نتائج اختبار جرة ذات طاقة عالية لتنديف وتقييم كفاءة بوليمر (985C) حيث كان البوليمر ذا فاعلية جديدة مع كلا المخثرين



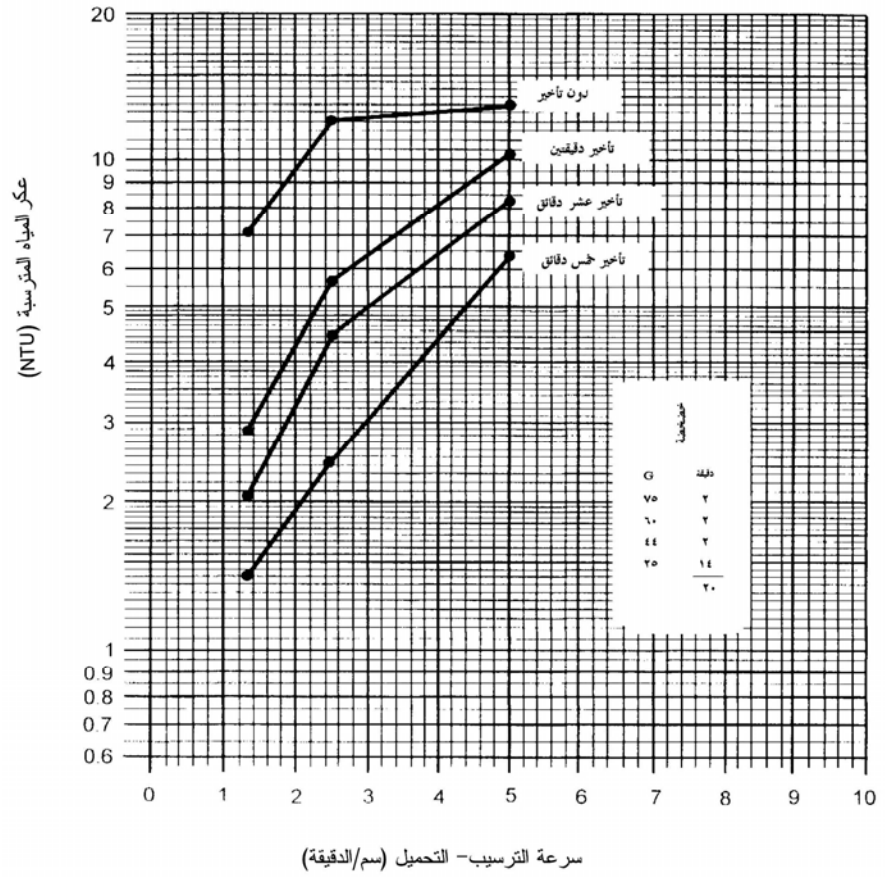
شكل 5-7 نتائج اختبار جرة لايجاد أفضل جرعة للبوليمر (985N). الترويق له علاقة مباشرة مع جرعة البوليمر (استنسخ بتصريح من شركة بحوث المياه والهواء)

الخطوة الأولى هي استعمال الجرعة الفضلى من المخثر مع إضافة 0.1 ملغم/لتر بوليمر، وذلك بعد خمس دقائق من الخلط مع الاستمرار في الخلط لمدة خمس عشرة دقيقة، بذلك يكون المجموع الكلي لفترة الخلط 20 دقيقة، ويجب اختيار البوليمر لتجميع الكتل المخثَّرة، ومساعدتها على الترسيب (احتمال بوليمر متعادل ذو وزن جزيئي كبير).

إن الهدف من جمع العينات وتحليلها، هو الحصول على منحنى توزيع سرعة الترسيب، الذي يقودنا إلى تأهيل خزانات الترسيب والتندف لمحطة قائمة، أو تصميم محطة جديدة. يجب جمع عينات المياه المترسبة بعد 1و2 و3 و5 و10 دقائق لقياس العكر. ومن ثم يتم رسم نتائج الفحوصات للمياه المترسبة على المحور العمودي (مقياس لوغرتمي) وسرعة الترسيب على المحور الأفقي (مقياس خطي) كما في الأشكال 5-3 و5-4. بعد ذلك تعاد نفس دورة التندف مع تعديل ظروف التجربة (نفس أسلوب فحص التخثير) حتى يتم تحديد أفضل طريقة للخلط، وهذا يحتاج إلى محاولات أكثر من الفحوص السابقة.

يبقى بعد ذلك تحديد أفضل فترة زمنية للخلط، وذلك بعد تحديد أفضل القيم لكل من جرعة المخثر والبوليمر وأفضل نظام للخلط، وذلك بخلط كل جرة من عشر إلى سبعين دقيقة، وذلك بإضافة عشر دقائق في كل مرة. بعد خلط محتويات كل جرة حسب الوقت المحدد لها، تجمع العينات منها بعد 1، 2، 3، 5، 10 دقائق لقياس العكر. وإذا لم تستطع عمل التجارب لجميع الجرار مرة واحدة، فلا بدّ من

تكرار التجربة أكثر من مرة. بعد تحليل العينات ترسم مدة التندف على المحور الأفقي (بالدقائق) والعكر على المحور العمودي بمقياس حسابي لكل منهما. في أول عشر إلى عشرين دقيقة يكون تصفية الماء بشكل واضح، ثم يصبح التغير قليلاً، وبعد 30-40 دقيقة يزداد العكر، وذلك لتفكك الكتل المخثَّرة بعضها عن بعض، نتيجة طول فترة الخلط (انظر الأشكال 5-12 إلى 5-15). الأشكال 5-12 وحتى 5-15 توضح أهمية مدة التندف والذي يمكن تمثيله بعكس المحاور ورسم كل منحنى لوحده ليمثل سرعة الترسيب عند 1 و2 و3 و5 و10 دقائق.(مثال الشكل 5-13)



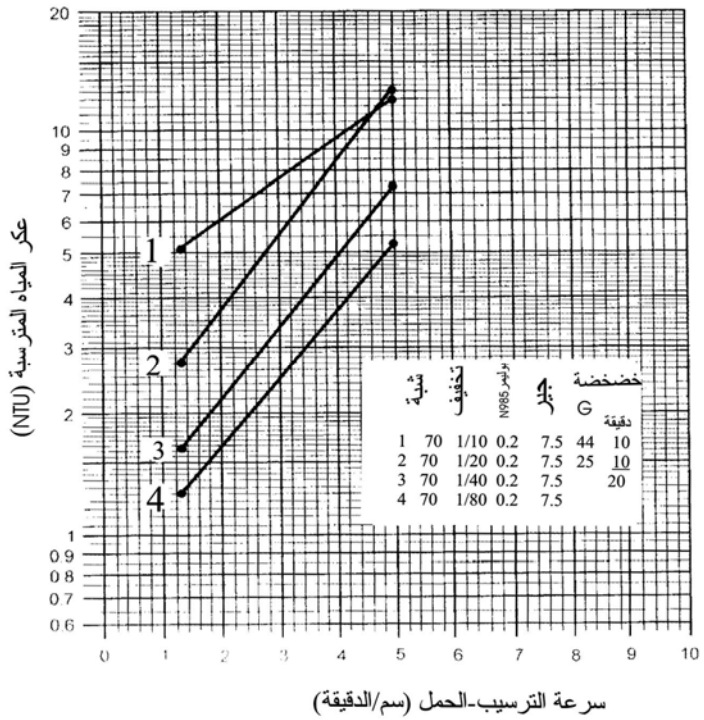
شكل 5-8 نتائج اختبار جرة لإيجاد أقل فترة لإضافة البوليمر بعد الندف. وجد أن أقصى فاعلية لإضافة البوليمر هي بعد تكون الكتل المتخثرة، ويحتاج تحديد الوقت بدقة كبيرة الى تجارب اضافية (استنسخ بتصريح من شركة بحوث الماء والهواء)

5.4.5 تطبيقات على النتائج

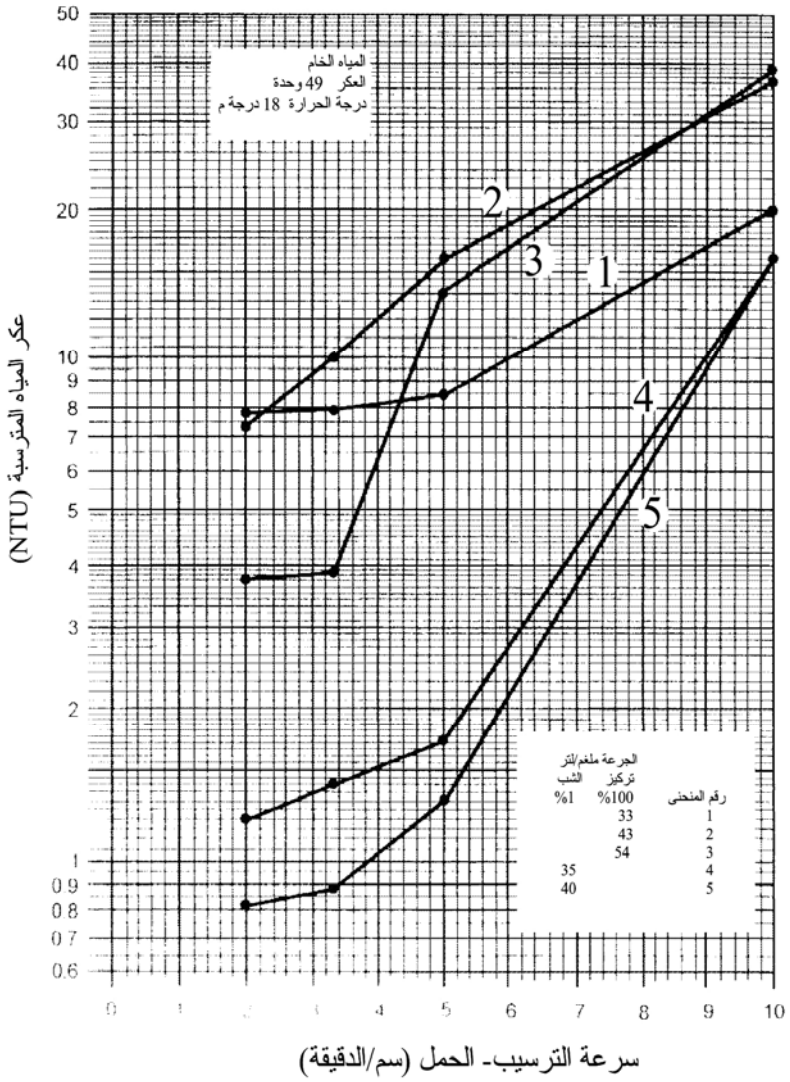
من المهم جداً ملاحظة أن المعلومات يمكن تطبيقها على متغيرات المعالجة تحت ظروف إجراء الفحص في المختبر ومحطة التنقية نفسها. حتى يكون تطبيق النتائج ناجحاً في عملية تشغيل المحطة، فلا بدّ من أن تكون الظروف أقرب ما يمكن للواقع. إن استعمال مدة التندف الفضلى يعطي مثالاً ممتازاً على ذلك، وذلك لأنه يؤثر على تصفية المياه المعتمدة على درجة الحرارة (انظر شكل 5-14)

والأكثر من ذلك أنه إذا كانت نوعية المياه الخام متغيرة من عكر أو درجة حرارة أو قلوية على مدار السنة عندها يجب إجراء تجارب دورية، وذلك حتى يتم تعديل استعمال الطريقة المثلى للمعالجة.تعطي نتائج برنامج الفحص المخبري معلومات قيِّمة، حيث يُعْتَمد عليها في إتخاذ قرارات التشغيل والتصميم، ومن هذه المعلومات ما يخص تشغيل المحطة مثل الحمأة الراجعة، والتحسينات. قد تشمل المنشآت من الناحية الفيزيائية وعمليات التشغيل نفسها. وقرارات تصميم عمليات المعالجة تحتوي على:

- أكثر المخثرات فعالية وأفضل جرعة ممكنة.
- مدى الجرعة القلوية ومدى الفترة السنوية الواجب استخدامها.
- أكثر أنواع البوليمر فعالية وكمية الجرعة التي يجب أن تُستخدم.
- وقت وتتابع إضافة المواد الكيماوية.
- العمليات الأكثر فعالية والمدى الكبير لتغير صفات المياه الخام.



شكل 5-9 نتائج اختبار جرة لإيجاد أفضل تخفيف للمخثر. يتم تخفيف كمية ثابتة من الشب إلى مدى تركيزات مختلفة قبل إضافتها. إن الترويق له علاقة مباشرة مع تخفيف المخثر (استنسخ بتصريح من شركة بحوث المياه والهواء)

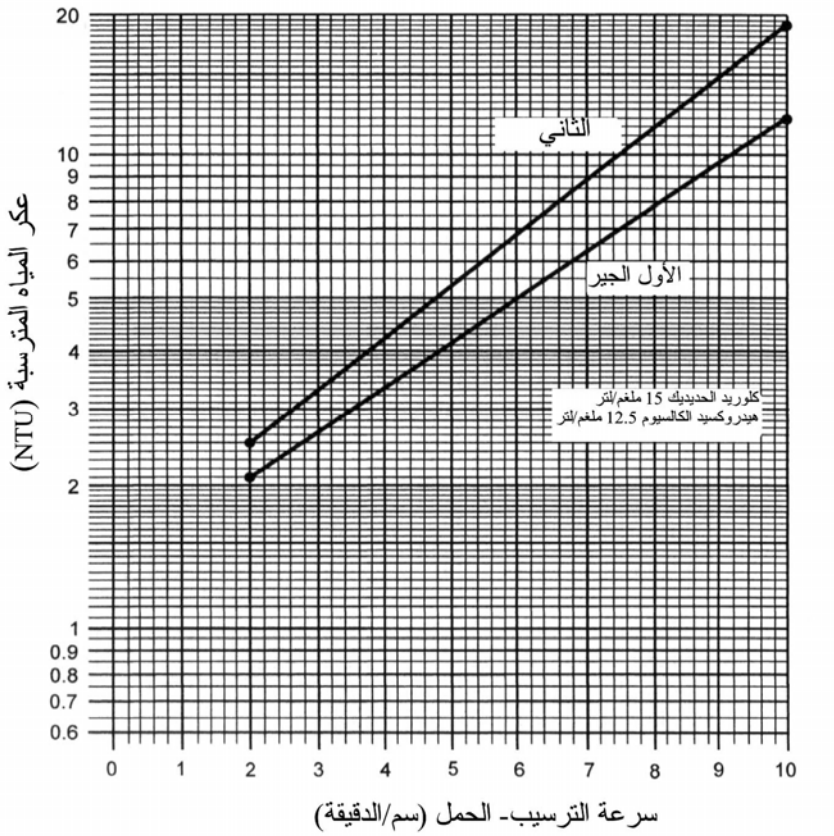


شكل 5-10 نتائج اختبار جرة لإيجاد التخفيف الأمثل للمخثر. لقد تم تخفيف كمية محددة من المخثر إلى مدى تركيز مختلف قبل استعماله. فكان الترويق له علاقة مباشرة مع تخفيف المخثر.

القرارات التي يمكن استنباطها من العمليات الفيزيائية هي:

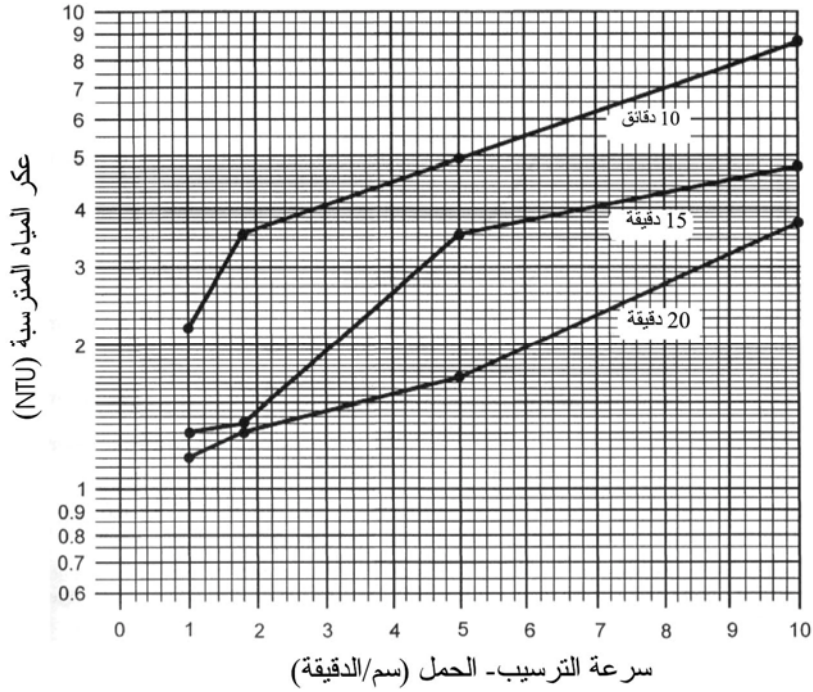
- الخلط السريع لنظام انتشار المخثر.
- نظام التندف وما إذا كان ميكانيكياً أم هيدروليكياً (بَدَّالات، بكرة دوارة، توربين).
- وقت التندف الأفضل عند الظروف الصعبة.
- إضافة الطاقة المثلى مع اختلاف ظروف المياه الخام.
- التحكم بكمية التدفق في حجرات التندف.

- السرعات في القناة والأنابيب والسرعة القصوى المسموح بها لتلافي تفتت الكتل المختَّرة.
- قيمة الحمل على خزانات الترسيب تحت ظروف مختلفة.



شكل 5-11 تأثير ترتيب إضافة الجير وكلوريد الحديديك على التندف عند درجة حرارة للماء 50 درجة مئوية. إن تتابع إضافة جرعات المواد الكيميائية مهم جداً

والمتغير الآخر الذي يجب فحصه هو الأس الهيدروجيني وتأثيره على عملية التصفية. ويتم ذلك عن طريق معادلة المتغيرات الأخرى، وتغيير الأس الهيدروجيني من 3.5 وحتى 8 ثم رسم منحنى معايرة الأس الهيدروجيني مع الجرعة المناسبة من الجير.توضح المنحنيات في الأشكال 5-16 و 5-17 كيف تتفاعل المياه حسب نوعيتها، ومدى أهميتها للمشغل، لمعرفة أكبر قدر ممكن من الصفات ومدى تغييرها.

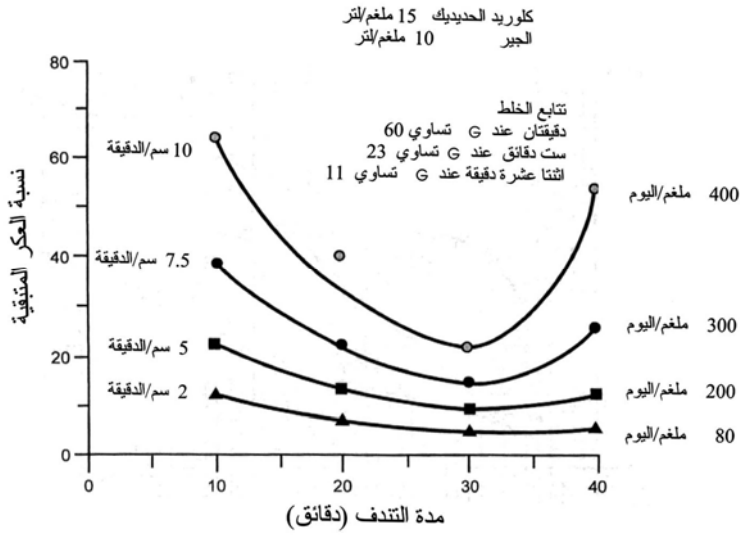


شكل 5-12 تأثير مدة التندف على الترويق باستعمال الشب والبوليمر. إن مدة التندف مهمة جدا لتكوين كتل متخثرة بشكل جيد (استنسخ بتصريح من شركة بحوث المياه والهواء)

5.5 الفحوصات المخبرية للترشيح المباشر

جَعَلَ التوفير الاقتصادي -سواء أكان في رأس المال أم في كلفة التشغيل- الترشيح المباشر أمراً مرغوباً فيه، والكلفة القليلة المرتبطة مع تقليل استعمال المواد الكيميائية، وحمل الحمأة والتي تم التأكيد على أنها ذات كلفة أقل من التوفير في إنشاء المحطة، وهذا يمثل استمرار التوفير على طول فترة تشغيل المحطة. بعض المياه الخام غير مناسبة للترشيح المباشر، وإذا وجدت أنها مناسبة فلا بدّ من إجراء فحوصات على مستوى المختبر، وإنشاء محطة تجريبية لعمل بحوث لوضع معايير تصميم المحطة المناسبة.

تُقَرَر قابلية المياه الخام للترشيح المباشر بكمية المخثر والبوليمر الذي تحتاجه المياه لإزالة العكر واللون، لذلك فإن تقليل ذلك بشكل أكبر يتم عن طريق الترشيح، وهي الطريقة الأكثر اقتصادية. إن الحدود القصوى للعكر ولون المياه المعالجة، تختلف حسب التشريعات المختلفة. حيث لا تحتوي دلائل جودة مياه الشرب (الطبعة الثانية- 1993- مطبوعة من قبل منظمة الصحة العالمية)، على قيم للعكر أو اللون تعتمد على شروط صحية، مع أنه ذُكِرَ أن المياه الملونة أقل من 15 وحدة وعكرها أقل من 5 وحدات، عادة تكون مقبولة لتوزيعها على المستهلكين ودرجة قبولها تختلف حسب الظروف المحلية.

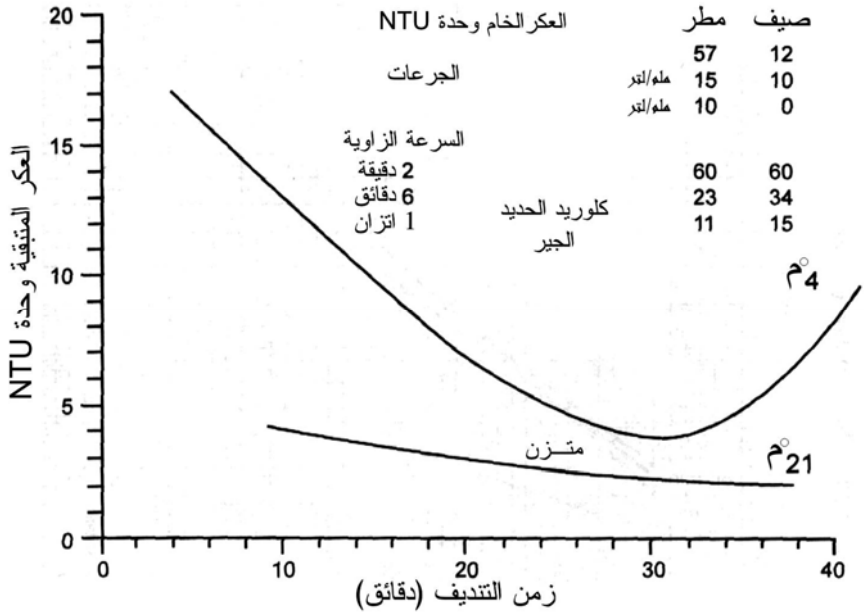


شكل 5-13 تأثير مدة التندف على الترويق عند درجة حرارة 5 مئوية. تم رسمها بطريقة تستخدم عادة لفحص هذه المتغيرات. المعلومات أخذت من نهر كبير، وعند استخدام مدة أقل من مدة التندف المثلى تكون النتائج سيئة.

تعتمد معالجة جرعة قليلة على التخلص من العوالق في المياه. إن القيام بعمل فحوصات بسيطة على مستوى المختبر يمكن أن تحدد المستوى الذي يمكن أن يقلل عكر المياه المرشحة بورق الترشيح في المختبر. والمتغيرات تحتوي على المخثر الأفضل، والبوليمرالأكثر فعالية، والجرعة القصوى، والتتابع في إضافة المواد الكيماوية، وأسلوب الخلط. واستعمال ورقة ترشيح (واتمان رقم40) تمثل بحد ذاتها محطة تجريبية، أو تقريباً محطة ترشيح، حيث إن ترشيح كل عينة عادة تأخذ من 2-3 دقائق، حيث تستخدم ورقة الترشيح لمرة واحدة فقط.

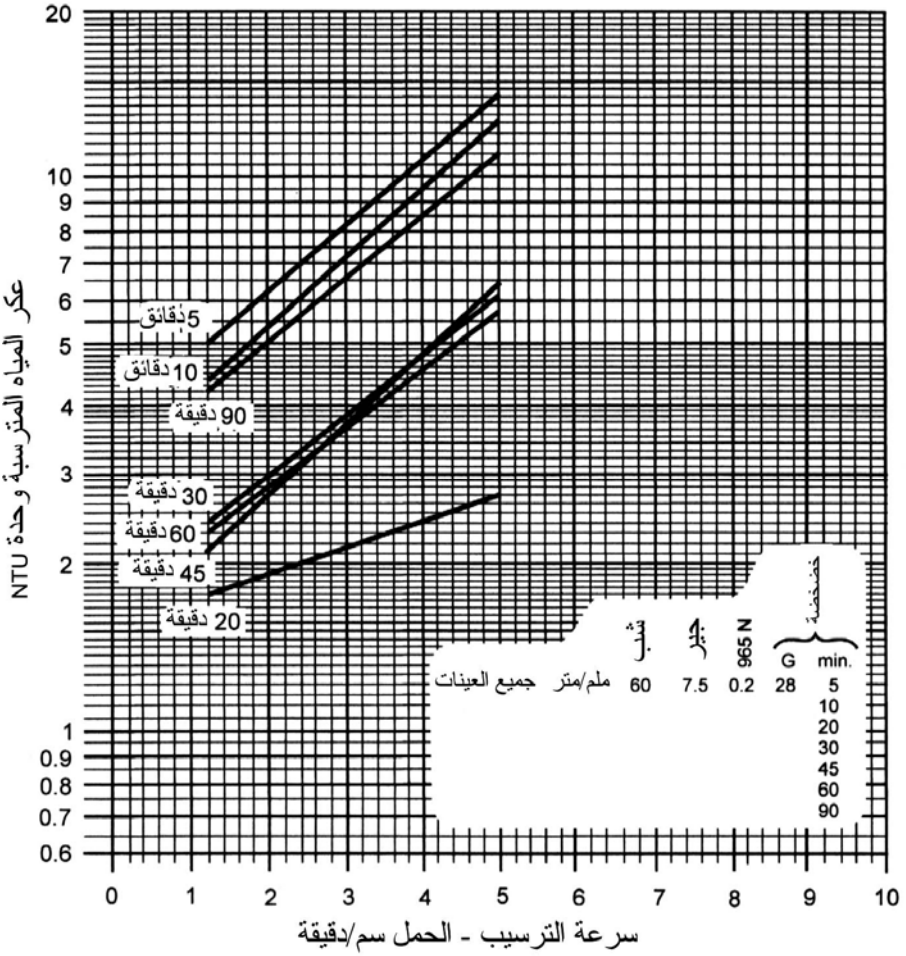
حجم الكتل المخثَّرة التي تصل إلى المرشح لها علاقة مباشرة في انسداد المرشح، والتي بدورها لها علاقة بـجرعة المخثر. فإذا كانت جرعة المخثر التي تحتاجها المياه لخفض عكر المياه إلى المستوى المقبول أكثر من 15-20 ملغم/لتر فإن كفاءة المرشح من ناحية اقتصادية مشكوك فيها. ولكن عندما تكون جرعة المخثر أقل من 6-7 ملغم/لتر بإضافة أو عدم إضافة كمية قليلة من بوليمر يكون الماء ذا قابلية كبيرة للترشيح المباشرة. تحتاج تحديد جرعة المخثِّر إلى دراسة أولية، إذ يجب دراسة وتقييم كل حالة لوحدها. وإذا كانت المياه نوعية رديئة فهذا يدل على أنها بحاجة إلى تصميم مرشح ذي سعة تخزينية أكبر وله قدرة على حمل أكبر.

على سبيل المثال، إن المياه التي تحتوي عكراً يعادل 100 وحدة (NTU)، يقدَّر حجم المواد الصلبة الموجودة فيها بحوالي 40 جزء من المليون. على إذا كان الوزن النوعي لجزئيات المواد الصلبة التي تسبب العكر تساوي 2.5، فإننا بحاجة إلى 20 ملغم/لتر من الشب لإزالة هذا العكر من المياه. سوف ينتج عن هذه العملية 5000 جزء من المليون من الكتل المخثَّرة، ولمنع انسداد المرشح لا بدّ من ترسيب هذه الكتل قبل وصولها للمرشح. أما إذا أمكن تخثير المواد التي يسبب عكرها بوساطة مادة الشب بتركيز 2-4ملغم/لتر مع أو بجرعة قليلة من البوليمر فإنه يمكن التخلص من الكتل المخثَّرة بوساطة المرشح دون التأثير على دورة تشغيل المرشح.



شكل 5-14 تأثير درجة الحرارة على علاقة عكر الماء المترسب مع زمن التندف عند سرعة ترسب 5 سم/دقيقة. إن استخدام زمن أطول من المناسب سوف ينتج مياهاً ذات نتائج سيئة بالاعتماد على المياه ودرجة الحرارة. (استنسخ بتصريح من شركة بحوث المياه والهواء)

يمثل الشكلان رقم 5-18 و 5-19 نتائج مثالية لفحوصات عند استعمال جرعات مواد مخثرة وبوليمر، فقد انخفض عكر المياه بالترشيح المباشر خلال ورقة (واتمان رقم 40) (شكل رقم 5-18)، وهذا يدل على قابليتها للترشيح المباشر. وفي كلتا الحالتين فإن إضافة كمية قليلة من البوليمر، أو زيادة جرعة المخثر كان لها فعالية كبيرة، وهذا يشجع على بحوث إضافية لدراسة قابلية المياه للمعالجة بهذه الطريقة.



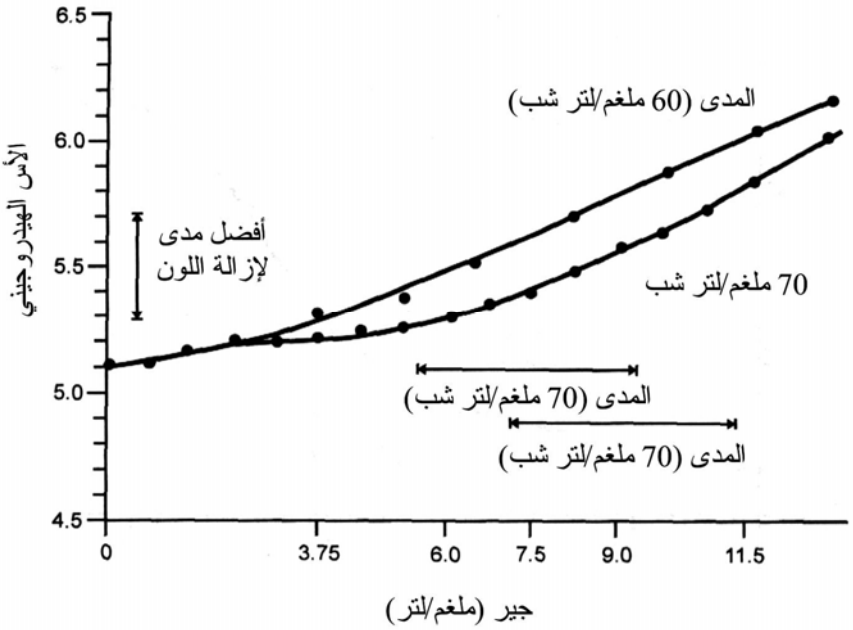
شكل 5-15 تأثير زمن التندف على الترويق. يمكن تحديد أفضل قيمة والتي بعدها تبدأ نوعية المياه المترسبة بالتردي. (استنسخ بتصريح من شركة بحوث المياه والهواء)

يمكن القيام بفحوصات خلال ساعات في المختبر لتحديد جرعة الفائدة المثلى والفضلى اقتصادياً، دون الحاجة إلى تصميم وإنشاء وتشغيل محطة تجريبية. إذا كانت نتائج الفحوصات على مستوى المختبر مشجعة فلا بدّ من إنشاء محطة تجريبية، وذلك لتحديد معايير التصميم لمحطة الترشيح.

يحتوي الجدول رقم 5-2 على معلومات محطة تجريبية، استخدمت مياه بحيرة (أونتاريو)، وفترة الترشيح كانت تتناسب تناسباً عكسياً مع جرعة الشب كما تم مناقشته سابقاً.

جدول 5-2 تأثير جرعة الجير على فترة دورة الترشيح في المحطة التجريبية في تورينتو

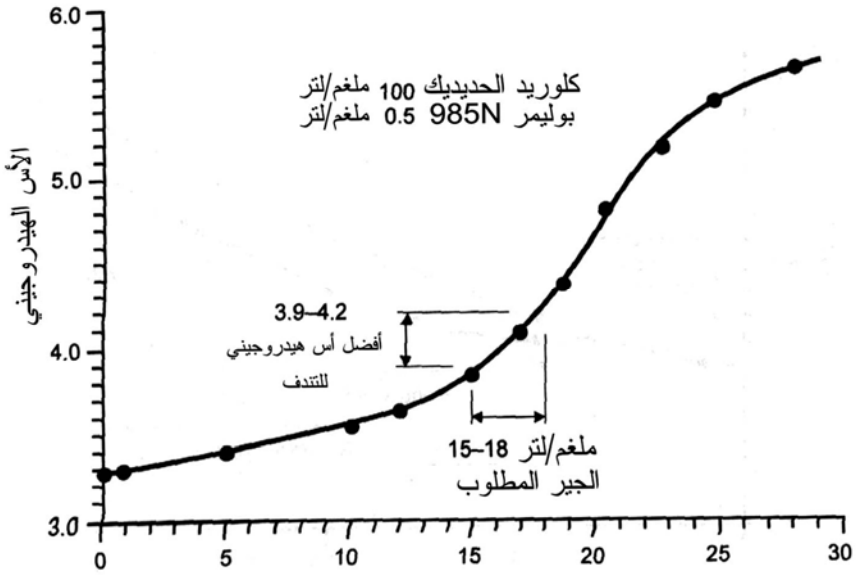
عكر المياه الخام (NTU)	جرعة الجير ملغم/لتر	متوسط فترة دورة الترشيح الساعة	عكر المياه المرشحة (NTU)	عدد الدورات
3.5 -1.8	5	35.9	0.16	12
3.2 -2.9	20	9.8	0.14	14



شكل 5-16منحنى معايرة الأس الهيدروجيني مع إضافة جير استعمل لإيجاد أفضل جرعة للجير وتوفر أفضل الظروف للمعالجة بمادة الشب بتركيز 60 أو 70 ملغم/لتر. إن المنحنى نفسه يعتمد على تركيز الشب، وكذلك فإن مدى الأس الهيدروجيني مهم جدا لتكوين كتل متخثرة اقتصادية.

5-6 جمع عينات لتحديد كفاءة محطة التنقية

بعد تحديد قيم المتغيرات عن طريق عمل الفحوصات، على مستوى المختبر، فإن الخطوة التالية هي جمع العينات لمقارنة كفاءة المحطة.



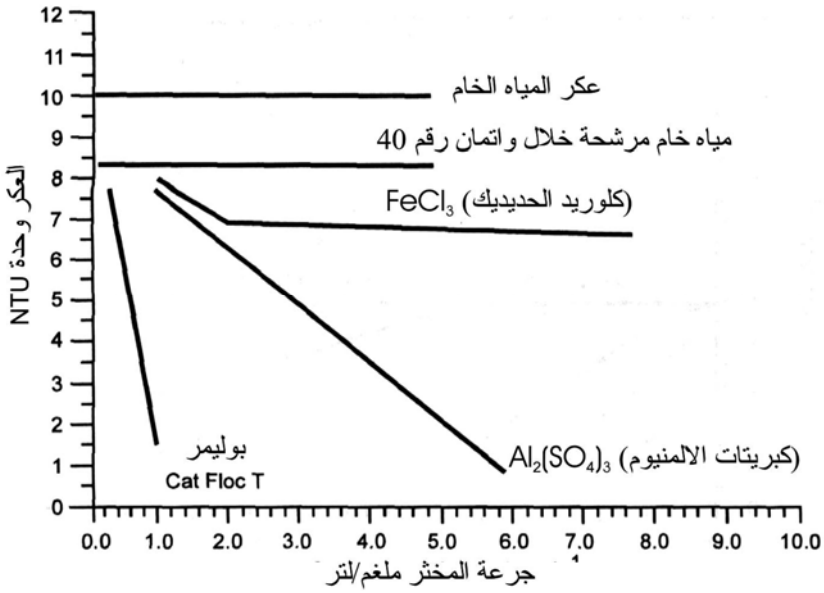
شكل 5-17 منحنى معايرة الأس الهيدروجيني مع إضافة الجير، استخدم لمعرفة جرعة الجير التي ستوفر أفضل الظروف للمعالجة 100 ملغم/لتر من كلوريد الحديديك

1.6.5 خلط المخثر الأولي

الخطوة الأولى، هي فحص مدى الانتشار الأولي للمخثر في المياه الخام. في البداية لا بدّ من فحص صحة الجرعة المضافة. وعند معرفة حجم المخثر، وكمية تدفق المياه الخام وتركيز المخثر، سيكون بالإمكان حساب معدل تدفق المخثر. على سبيل المثال: إذا كان محلول الشب يتكون من10٪ كبريتات ألمنيوم، أو ما يمثل 100 ملغم/مللتر، وإن كمية تدفق المياه الخام 600 لتر/الدقيقة، وإن العينة التي تم جمعها من محلول المخثر في دقيقة واحدة تساوي 300 مللتر بذلك تكون

$$\text{الجرعة} = 100\text{ملغم/مللتر} \times 300\ \text{مللتر/دقيقة} \times \frac{1}{600\ \text{لتر/دقيقة}} = 50\ \text{ملغم/لتر}$$

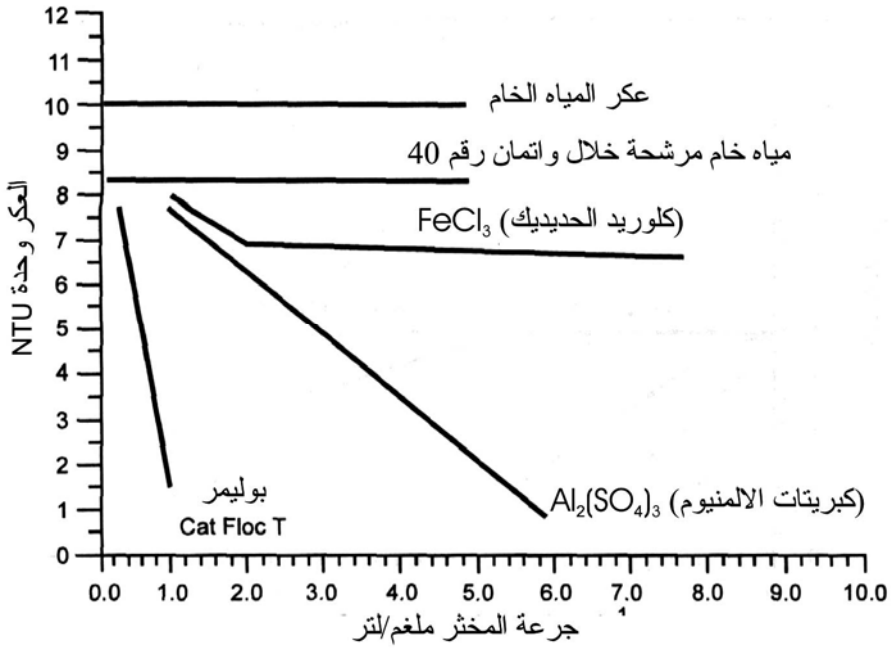
هذه الجرعة التي تم قياسها يجب أن تكون ضمن 5٪ من الجرعة المطلوبة، وإلا فهي بحاجة إلى تعديل. وبذلك من المتوقع أن يكون الخطأ كبيراً، كلما زاد تركيز محلول المخثر، وذلك لأن أي خطأ صغير في معدل تدفق محلول المخثر سوف يؤدي إلى خطأ كبير في كمية المخثر.



شكل 5-18نتائج فحص الدراسة الأولية للترشيح المباشر. كانت جرعة قليلة من بوليمر موجب أو كلوريد الحديديك ذي فعالية كبيرة. وكان الترشيح لوحده كافياً لإزالة معظم عكر المياه الخام، وهذا يدل على أن الترشيح المباشر مناسب جداً

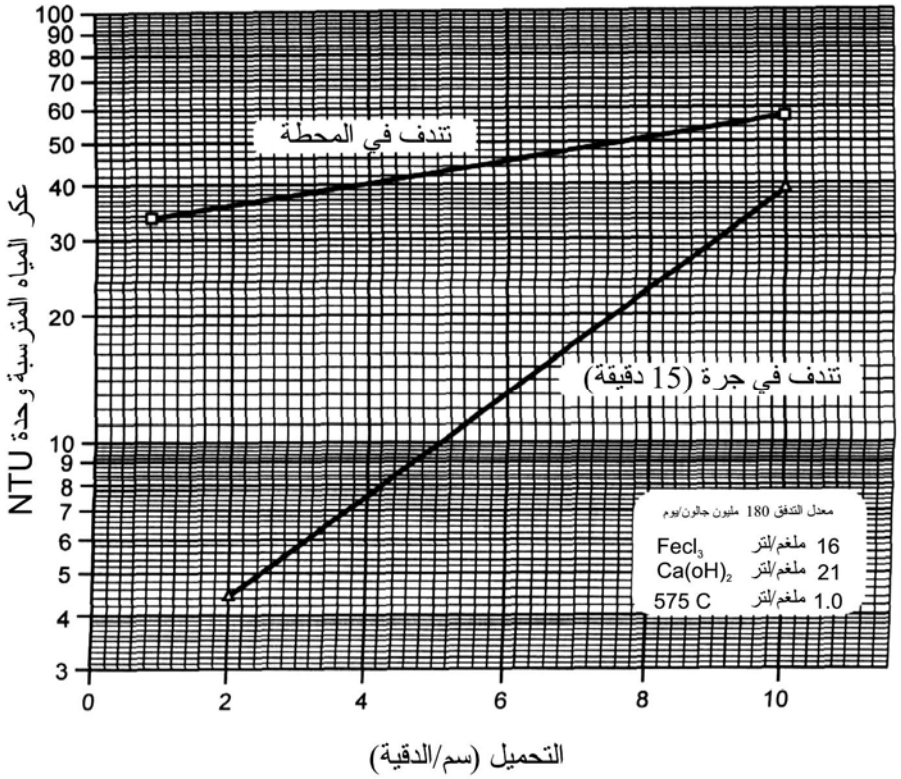
2.6.5 نظام التندف

بعد التأكد من أن جرعة المخثر صحيحة نسبة إلى نتائج فحوصات الفائدة المثلى في الاختبار على مستوى المختبر، فإن الخطوة التالية هي تقييم عملية التندف في محطة التنقية. أولاً: اجمع عينات من المياه الخام الواقعة بين نقطة الخلط الأولي وخزانات الترسيب، وطبق عليها أسلوب التندف الأمثل (من حيث مدة التندف واستهلاك الطاقة) في المختبر واجمع عينات (عند 1و2 و3 و5 و10 دقائق بعد بدء الترسيب) لقياس عكر الماء لهذه العينات كرر هذه العملية للحصول على عدة منحنيات توزيع سرعة الترسيب. بذلك يمكن تحديد المتوسط، ومدى هذه السرعات. فعلى سبيل المثال، إن قراءة عكر الماء بعد خمس دقائق قد تتراوح بين 4.5-6.0 وحدة لأكثر من عشر عينات. ثانيا: اجمع عينة سريعة من مخرج خزان التندف عندما يكتمل تكوّن الكتل المخثَّرة، وتكون جاهزة للترسيب. يجب توخي الحذر عند جمع العينة حتى لا تتحطم الكتل المخثَّرة، ويجب أن يتم خضخضة العينة بهدوء كامل عند نقطة جمعها. يمكن إجراء أسلوب الترسيب على مستوى المختبر لعدة جرار، حيث تؤخذ قراءة عكر المياه كل 1و2 و3 و5 و10 دقائق، ومنها يمكن رسم منحنى توزيع سرعة الترسيب.



شكل 5-19نتائج فحص الدراسة الأولية للترشيح المباشر في جنوب شرق آسيا حيث أزال الترشيح لوحده القليل من عكر المياه الخام، لكن استعمال كمية قليلة من المخثر أو البوليمر كان له فعالية كبيرة. بعض المخثرات لها فعالية أكبر من غيرها بالاعتماد على نوعية المياه.

وفي نفس الظروف، فكانت النتائج تشير إلى ان الترويق الناتج عن المعالجة في المختبر، أفضل مما كان عليه في المحطة. العامل المؤثر في ذلك هو عملية التندف. مما يشير الى إمكانية تحسين عملية التندف في المحطة للحصول على نتائج افضل. يوضح الشكل 5-20 سوء نتائج عملية المعالجة في المحطة، بسبب سوء عملية التندف فيها. وضعت خطة لتحسين التندف في المحطة، وتم تنفيذها، والشكل 5-40 يلخص نتائج فحص عينات من المحطة، بعد ان تمّ تحسين كل من جرعة المخثر، وحجرات التندف، ومدخل وخزانات الترسيب، لقد كان التحسين واضحاً، والعكر قليلاً، فقد إنخفض 15 وحدة إلى وحدة واحدة، وهذا يعني مياهاً ذات جودة عالية. في معظم محطات التنقية يمكن الحيلولة دون حدوث التندف السيىء في خزان الترسيب، حيث يمكن أن تتم عملية التندف والترسيب في خزان الترسيب في نفس الوقت.



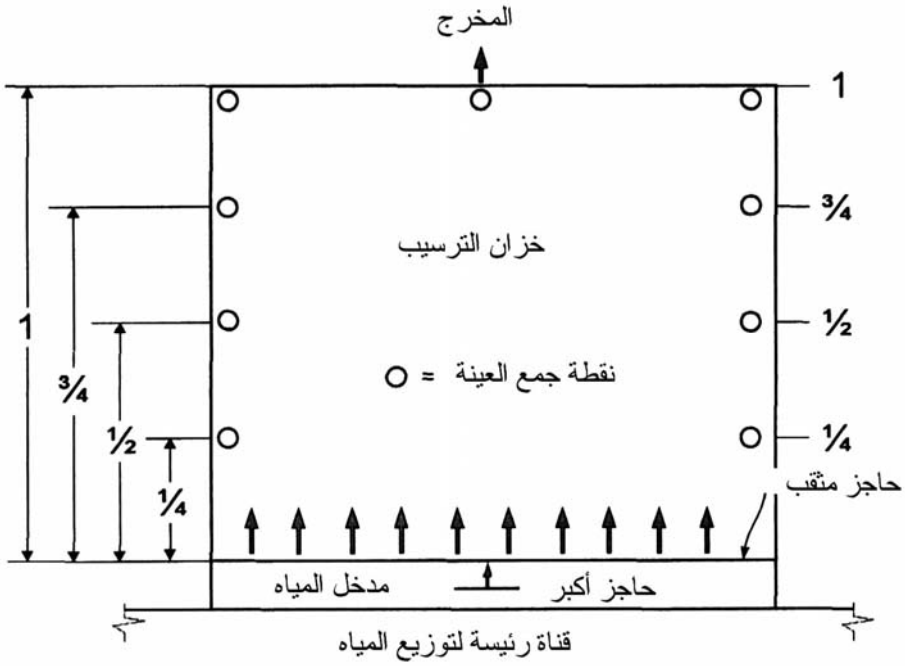
شكل 5-20 مقارنة عكر مياه مترسبة مع تندف في المحطة وفي المختبر. إن النتائج تشير الى أن نظام التندف في المحطة بحاجة الى تحسين.

3.6.5 خزانات الترسيب

يجب أن تجمع عينات لفحص العكر من خزانات الترسيب يومياً، وفي التوقيت نفسه وعلى مدى خمسة عشر يوماً، ويفضل ان يكون ذلك الساعة العاشرة والساعة السادسة عشرة، على أن تجمع العينات من عمق يتراوح بين عشرين وخمسة وعشرين سنتمتراً من سطح الماء، ومن مركز مخرج الخزان، بالإضافة إلى عينات من الجوانب وعلى بعد0.25، 0.5، 0.75 من المخرج كما هو موضح في شكل رقم 5-21. يحتاج جمع العينات إلى جهاز بسيط كأن يكون زجاجة لها غطاء مربوط بخيط، فعندما تصل الزجاجة إلى العمق المطلوب يسحب الخيط لتفتح الزجاجة وتؤخذ العينة، ويمكن وضع علامة خاصة لتحديد عمق أخذ العينة، حتى تكون النتائج متجانسة. يتغير عكر المياه بالاعتماد على وقت جمع العينات، فالأشكال من 5-22 وحتى 5-27 تمثل نتائج لعدة عينات من خزانات الترسيب لعدة محطات تنقية. عادة تكون أفضل أماكن الترسيب في بداية خزان الترسيب أو في وسطه، بينما الترسيب السيىء يكون عادة عند مخرج الخزان. ويمكن أن يعزى ذلك إلى عدم فعالية مدخل الخزان نتيجة سوء التصميم، ونتيجة لقصر ضلع (السرعة العالية لخروج المياه) هدار خزان الترسيب حيث يحصل فيضان في الهدار مما يؤدي إلى حمل الكتل المختثرة إلى خارج الخزان.

4.6.5 المرشحات

يجب جمع عينات لقياس عكر المياه مرتين يومياً وفي نفس التوقيت من جميع المرشحات، كما يجب تسجيل الفترة بين الغسيل العكسي والذي يليه، وهذا يعطي دليلاً على التغيرات التي تحدث، خاصة إذا أصبح هناك اختراق سريع لطبقات المرشح. ويجب أخذ عينات للفحص من كل مرشح، فقد يكون هناك مرشح واحد يسبب رداءة جودة المياه، وإذا كانت المعالجة الأولية مرضية فيكون الخلل من المرشح نفسه ولا بد من تحديد هذا المرشح لإعادة تأهيله مرة أخرى.



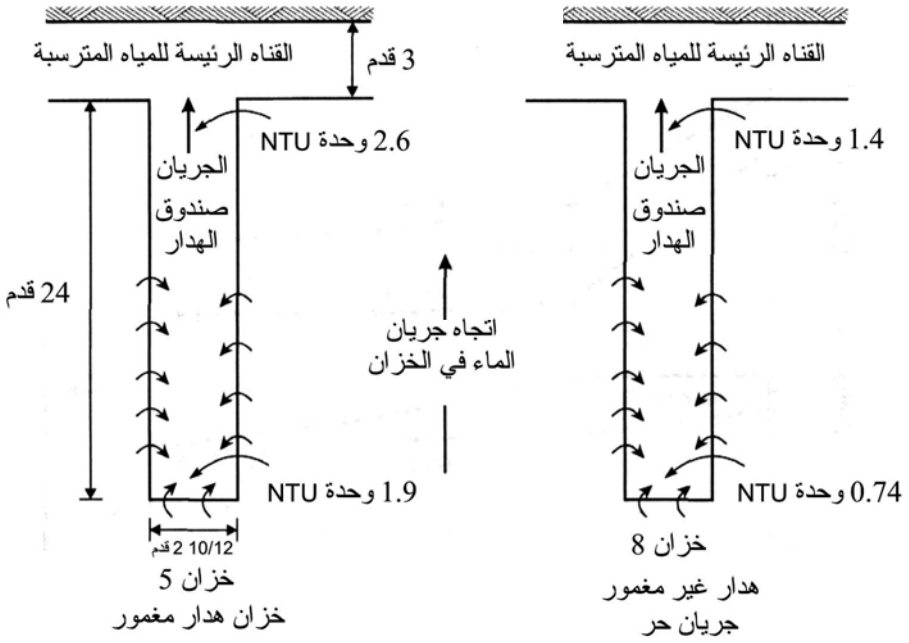
شكل 5-21 موقع نقاط جمع عينات لمراقبة توزيع العكر في خزان الترسيب. هذا سوف يكشف عن الاسلوب الفاشل، على سبيل المثال زيادة العكر كلما اتجهنا الى المخرج

يمكن تحديد معدل تزويد المرشح بالمياه، ومعدل تدفق مياه الغسيل العكسي، بقياس ارتفاع أو انخفاض مستوى سطح الماء في جسم المرشح. وهذا يتطلب تثبيت عصا خشبية على جدار المرشح بطول 3-4م وعليه علامات مميزة كل 15سم.

يتم إغلاق محبس الدخول ومحبس التصريف لقياس معدل تزويد المرشح، وفتح محبس المياه المرشحة، ثم يسجل الوقت اللازم حتى ينخفض مستوى سطح الماء 10 و 20 و 30 سم. وعلى سبيل المثال: بمعرفة مساحة سطح رمل وسط المرشح، يمكن حساب معدل الترشيح. فإذا كانت المساحة تساوي 5 × 10 م^2 ومستوى سطح الماء قد انخفض 30 سم خلال دقيقتين، فإن معدل الترشيح يكون 7.5م^3/الدقيقة (50م^2 × 0.30 م) ÷2 دقيقةالذي يعادل حوالي 216م^3/م^2/اليوم.

أما بالنسبة للغسيل العكسي، فإن المقياس المتدرج يوضع أسفل قنوات تصريف مياه الغسيل العكسي، حيث يتم قياس الوقت الذي يرتفع فيه مستوى سطح المياه 10و 20 و30 سم، وبذلك يتم حساب معدل الغسيل العكسي كالسابق. فعلى سبيل المثال: إذا استغرق سطح الماء ليرتفع 30 سم فتره زمنية

مقدارها نصف دقيقة، فإن معدل الغسيل العكسي يكون 30 م^3 في الدقيقة ((50 م^2 × 0.30 م) ÷ 0.5 دقيقة) أي حوالي 864 م^3/م^2/اليوم



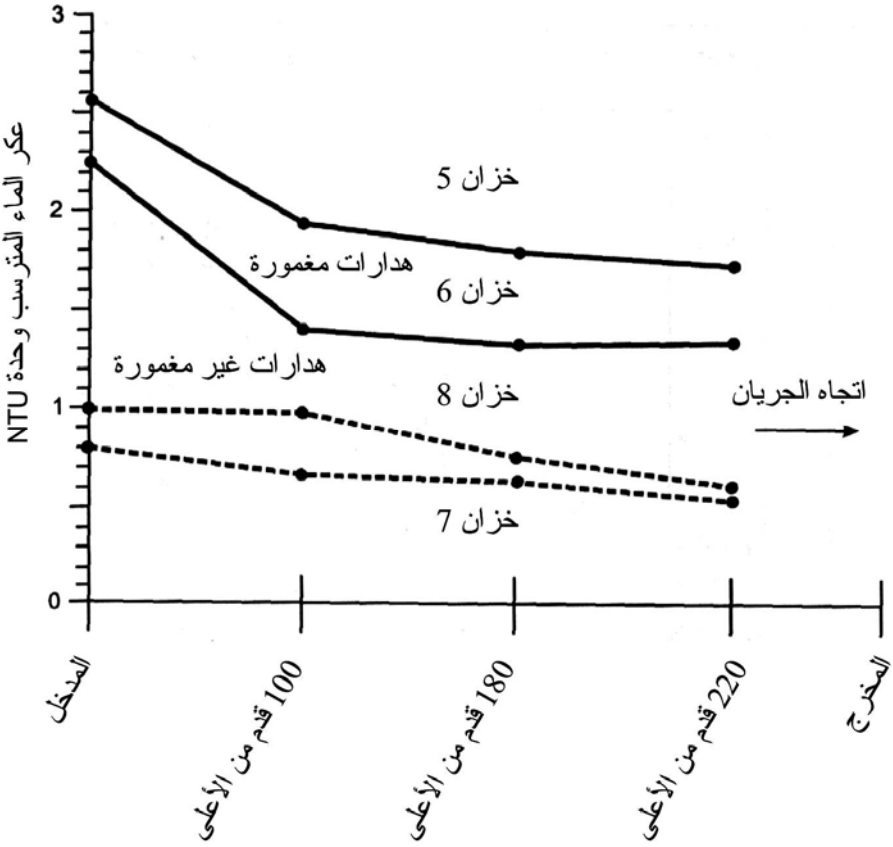
شكل 5-22 تغير العكر حول الهدارات المغمورة وغير المغمورة عند مخرج خزان الترسيب، عادة يكون فيضان الجريان فوق الهدارات وينتج عنه رداءة في كفاءة التخزين

من المهم جداً فحص مدى سرعة ومدى نظافة المرشح خلال الغسيل العكسي، ويمكن عمل ذلك من خلال جمع عينات من مياه الغسيل العكسي كل دقيقة لفترة عشر دقائق، بعد الانتهاء من الغسيل العكسي لقياس عكر هذه العينات، قم برسمها في منحنى خاص (كما يبين ذلك شكل رقم 5-29 وشكل رقم 5-30) والمرشح الذي يكون في حالة ممتازة يكون ذا كفاءة عالية بالغسيل العكسي ويتم غسله وتنظيفه بسرعة.

7.5 المحطات التجريبية

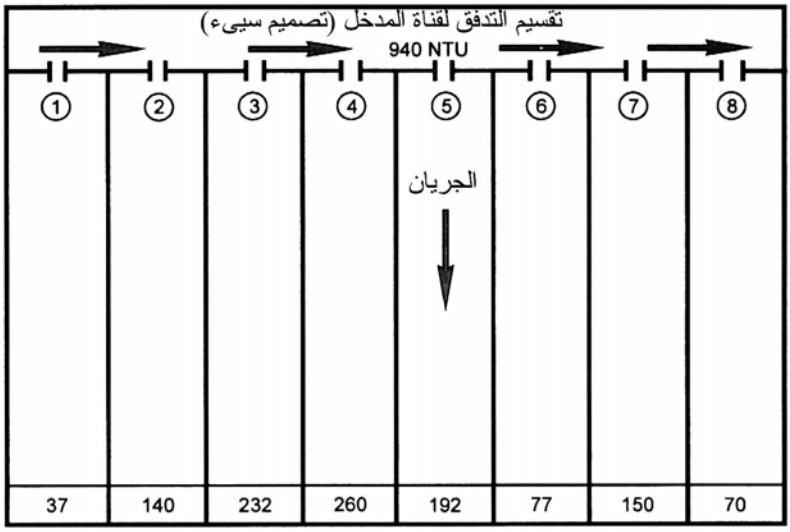
1.7.5 اعتبارات أساسية وتصميمية

فحوصات الجرار على مستوى المختبر تشبه معالجة المياه بمحطات التنقية، ويمكن اعتبارها محطات تجريبية، مع أنها تعمل بتدفق متقطع. تقليدياً تعتبر المحطة التجريبية هي محطة عادية، ولكنها ذات مقياس أصغر وتعمل باستمرار. وقد اعتبرت المحطات التجريبية معقدة بعض الشيء ومكلفة من حيث البناء والتشغيل. في بعض الأحيان هذا صحيح ولكن في معظم الأحيان تكون المحطات التجريبية بسيطة في التصميم والبناء والتشغيل وتكلفتها بسيطة.



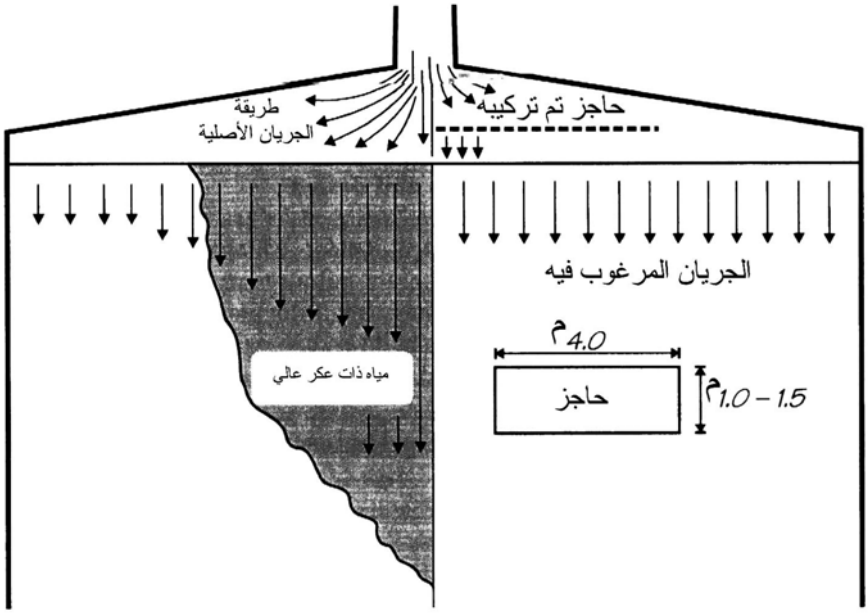
شكل 5-23 اختلاف في العكر خلال خزانات الترسيب بالفتحات والهدارات المغمورة. إن الهدارات المغمورة تجعل الخزان ذو كفاءة رديئة.

يجب أن يعتمد التصميم في جميع محطات التنقية على فحوصات على مستوى المختبر وعلى معلومات من محطات تجريبية، بما فيها تصميم وحدات تنقية لتوسعة المحطة، مثل تصميم مرشحات جديدة وخزانات التندف وخزانات الترسيب، وقد تم القيام بذلك لعدد قليل من المحطات في العالم. ولكن الآن ولا سيّما في الدول الصناعية يتم عمل محطات تجريبية، بينما في الدول الأقل تطوراً قد لا يجدون المال الكافي ليتم صرفه على المحطات التجريبية مع العلم أنه من المهم ومن الضروري الاعتماد في تصميم المحطات على فحوصات على مستوى المختبر أو محطات تجريبية.

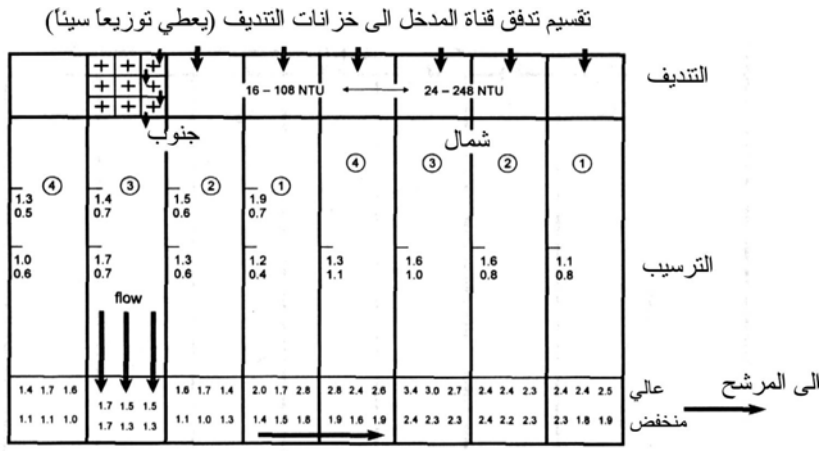


عكر المياه الخارجة وحدة NTU

شكل 5-24 مثال على توزيع المياه بشكل سيء من القناة العامة وهذا ناتج عن سوء التصميم



شكل 5-25 تأثير تصميم المدخل على كفاءة خزان الترسيب. تركيب حواجز مما يساعد على تحسين الكفاءة



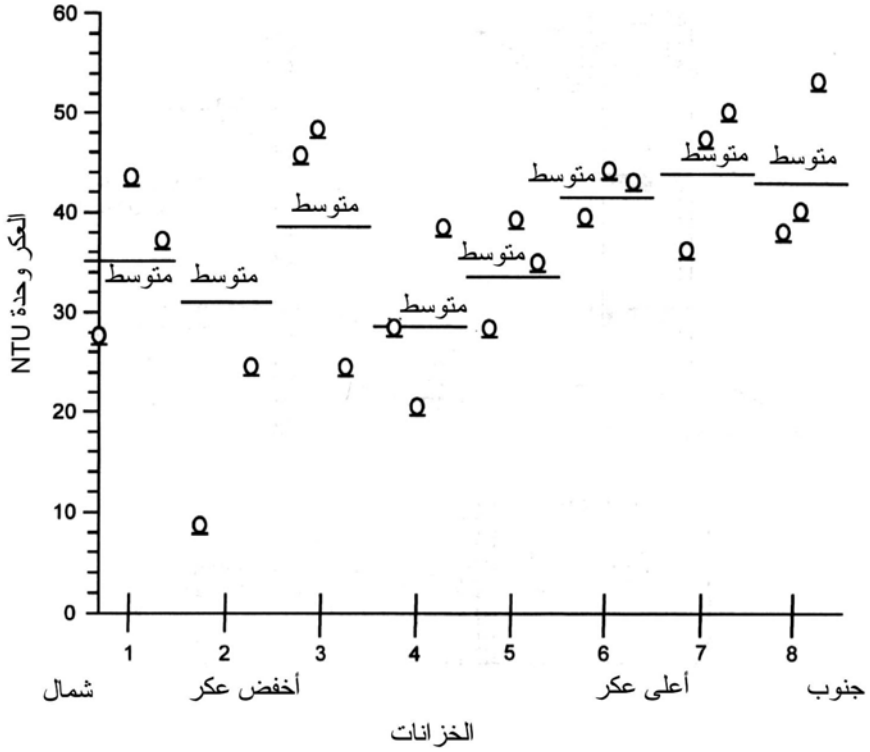
شكل 5-26 قياسات العكر (5 أيام الأقصى والأدنى) خلال خزانات الترسيب الثمانية. العينات المأخوذة قبل مخرج الخزان كانت دائما أقل عكراً.

وهناك أربعة أسباب رئيسة لعدم استخدام المحطات التجريبية في تصميم المحطات العادية:

- عدم فهم الأهمية والحاجة للمعلومات التي يتم الحصول عليها من المحطات التجريبية.
- الحاجة الماسة إلى توسيع محطات تنقية قائمة بسرعة.
- عدم معرفة تصميم وبناء وتشغيل المحطات التجريبية.
- عدم إعطاء التقدير اللازم لمقدار الوفر الاقتصادي الناتج عن تصميم محطة تنقية عند الاعتماد على نتائج اختبارات لمحطات تجريبية.

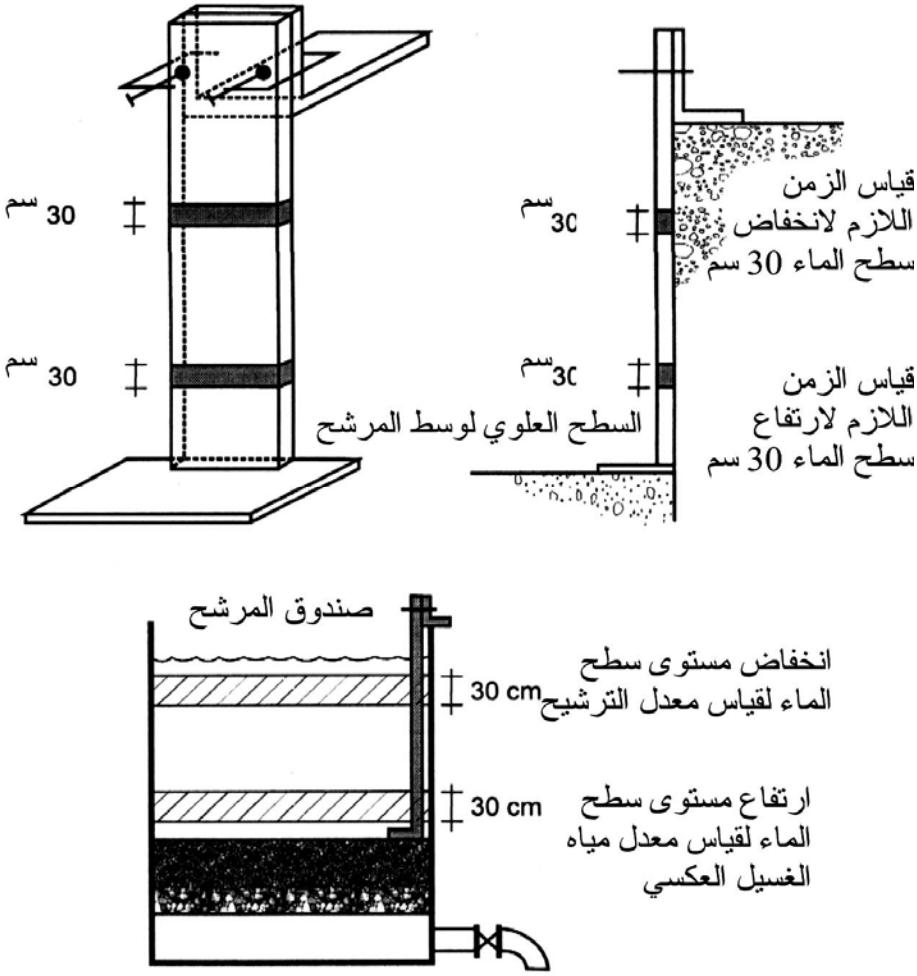
هناك معلومات عملية يمكن الاعتماد عليها، ويمكن أن نحصل عليها من المحطات التجريبية بكلفة متواضعة دون الحاجة إلى أجهزة خاصة أو بناء معقد. ومن هذه المعلومات: سجلات المحطة، وكفاءتها، وفحوصات على المستوى المخبري للخلط الأولي للمخثر، ونظام التندف، وخزانات الترسيب. مع أن معلومات تصميم المرشح لا يمكن الحصول عليها إلا من مرشح تجريبي. ومن الضروري وجود مرشح يعمل بوساطة المياه باستمرار، لنحصل على معلومات فاقد ضغط الماء وإزالة العكر ومعدل تدفق المياه، والوسط المعين ومعالجة أولية. وقد تكون فترة التشغيل قصيرة تصل إلى 8 ساعات أو طويلة قد تصل إلى 60-70 ساعة، ولمثل هذا المرشح التجريبي لا بد من إنشاء أنظمة معالجة أولية.

أفضل استثمار يمكن أن تقوم به إدارة المياه، هو إنشاء محطة تجريبية لاستخدامها فترة طويلة لتحديد العمليات الضرورية لمعالجة المياه. مع أن مثل هذه الدراسات تتم لتصميم محطة جديدة أو توسعة محطة قائمة فإن تشغيل محطة تجريبية لفترة طويلة تعطي نفس ظروف المحطة الأصلية للحصول منها على معلومات مفيدة، ولا بدّ أن يقوم بتشغيلها أشخاص ذوو كفاءة عالية.



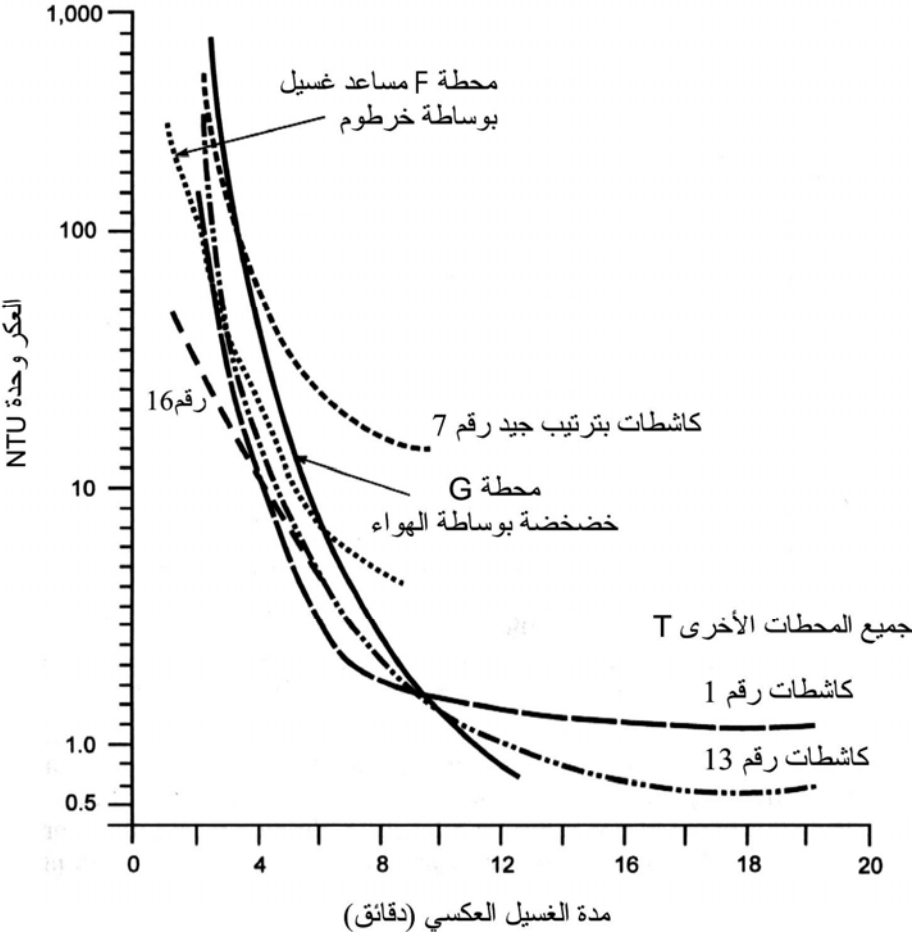
شكل 5-27 فرق ارتفاع منسوب قناة التجميع ومتوسط عكر كل خزان. (انظر ايضا شكل 5-26) الفرق بين منسوب مخرج الهدار وقناة التجميع له تأثير كبير على كفاءة الخزان

لبناء محطة تجريبية سهلة التشغيل ولتعطي نتائج ممتازة، هناك حاجة إلى بعض المعلومات الأساسية والقرارات المهمة. القرار الأول هو تحديد معدل التدفق الذي يعتمد عليه بشكل مباشرة عدد، وحجم المرشحات التجريبية. وقد تكون المحطة التجريبية بقطر 2.5 سم او تزيد عن ذلك عدة سنتمترات مربعة، ولكن الأكثر عملياً أن تكون المحطة التجريبية بقطر 15سم. لأن المرشحات الأصغر من ذلك تسبب مشكلات هيدروليكية ولا سيّما عندما يكون معدل التدفق قليلاً.



شكل 5-28 مقياس بسيط لتحديد معدل الترشيح ومعدل الغسيل العكسي

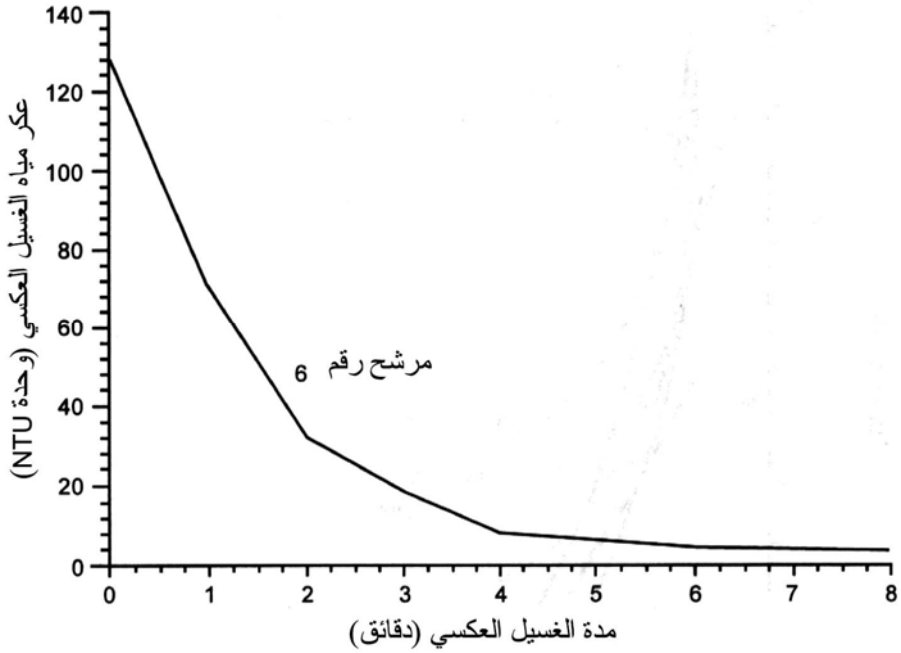
يمكن أن يستعمل أنبوب قطره 15سم لبناء مرشح تجريبي، يفضل أن يكون شفافاً. فمن الضروري مراقبة مرور الكتل المخثرة في وسط المرشح والترسبات التي تترسب على وسط المرشح، ومراقبة تمدد وسط المرشح أثناء الغسيل العكسي والمزج الذي يتم بين الفحم والرمل في المرشحات الثنائية. والجزء المفترض أن يكون شفافاً هو الذي يحتوي على وسط المرشح حتى أثناء التمدد في الغسيل العكسي. وهذا عادة لا يكون أكثر من أنبوب بطول 1.5-2.0 م. والأجزاء الأخرى يمكن أن يتم تركيبها من أنابيب أخرى، ولكن يفضل أن تكون أنابيب بلاستيكية لأنها خفيفة يسهل التعامل معها. يوضح شكل رقم 5- 31 مثل هذا المرشح التجريبي.



شكل 5-29 معدل غسيل المرشح خلال الغسيل العكسي في ثلاث محطات تنقية

يجب أن تعكس المياه الخام للمرشحات التجريبية الظروف الحقيقية أثناء التشغيل الحقيقي. وفي بعض الأحيان يمكن استخدام بعض وحدات المحطة القائمة ولا سيّما وحدات المعالجة الأولية، ثم يتم تحويل جزء من هذه المياه إلى المرشحات التجريبية. وإذا لم تكن المحطة قائمة، أو لا يوجد إمكانية لاستخدامها فلا بدّ من إنشاء وحدات معالجة أولية للمرشحات التجريبية، مثل الخلط والتندف وخزانات للترسيب، ويفضل أن يكون الخلط هيدروليكياً.

إن القرار -فيما إذا كان من المفضل إنشاء محطة تجريبية أم لا- أمر يعتمد على نتائج الفحوصات المخبرية. فخلال هذه الفترة يتم تسجيل المعلومات المهمة التي لها علاقة مباشرة مع المحطة التجريبية. وخلال ذلك يتم اختيار أفضل الجرعات للمخثر بوجود أو عدم وجود البوليمر وعوامل التندف ونتائج الترشيح بورق الترشيح. على سبيل المثال: إذا كانت الجرعات التي تحتاجها المياه كبيرة للتخلص من الشوائب وإنتاج كتل متخثّرة كبيرة، فإن الترشيح المباشر غير مجد، لأنه سوف يعمل على انسداد المرشحات بسرعة كبيرة، من هنا يبدو واضحاً مدى الفائدة الاقتصادية المتحققة من الفحوصات على مستوى المختبر.



شكل 5-30 معدل غسيل المرشح خلال الغسيل العكسي، مع استعمال مساعد لغسيل السطح بوساطة خرطوم ذي ضغط عال. يجب تنظيف المرشحات خلال 6-5 دقائق (هذا يعني أقل من 10 وحدات NTU)

قبل اتخاذ قرار إنشاء مرشح تجريبي، يجب الأخذ بعين الاعتبار تصميم المرشح، والذي يمكن أن يحسّن وبشكل كبير قدرة المرشح على تحمل الكتل المخثَّرة . فالمرشح العميق ذو حجم وسطي كبير بعمق 1.5م أو أكثر، واستخدام مادة واحدة أو اثنتين، يمكن أن يتحمل كمية كبيرة من الكتل المخثَّرة في وسطه لوقت طويل، ولكن قد يعمل على انسداد المرشح التقليدي. ولاستعمال هذا المرشح العميق لا بدّ للمصمم أن يكون لديه بعض المرونة، وذلك في تصميم وحدة جديدة. بينما في تأهيل محطة قائمة فإن الإنشاءات الخرسانية تكون قائمة ولا يترك للمصمم أي خيار آخر.

إن كمية المياه التي يحتاجها المرشح التجريبي قليلة، وبالتالي فإن كمية المخثر أو المواد الكيميائية التي يحتاجها أيضاً قليلة. على سبيل المثال: مرشح تجريبي بقطر 15 سم، وبحمل 300م^3/م^2/اليوم، يحتاج إلى 3.7 لتر/الدقيقة مياه خام. وإعطاء جرعة لهذا التدفق بمقدار 15 ملغم/لتر يحتاج إلى مخثر بتدفق 55 ملغم/الدقيقة. وهذا يعادل 11 مللتر/الدقيقة من محلول تركيزه 0.5٪. يعتبر هذا التدفق قليلاً، حيث يصعب التعامل معه دون وجود أجهزة خاصة ودقيقة لإعطاء الجرعة المناسبة. والاختيار الآخر هو زيادة كمية تدفق المياه المعالجة، وتصريف الكمية الزائدة بعد ذلك، فقط لزيادة تدفق محلول المخثر الذي يمكن السيطرة عليه تحت هذه الظروف.

إذا تم زيادة التدفق من 3.7 لتر/الدقيقة إلى 37 لتر/الدقيقة فإن الجرعة المطلوبة ستكون 110مللتر/الدقيقة من محلول المخثر. وهذا يعتبر أيضاً قليلاً، ولكن يمكن التحكم به أكثر من 11مللتر/الدقيقة. فإذا كان هناك خطأ بمقدار 1مللتر/الدقيقة في التدفق القليل يكون له أثر كبير جداً، ولكن على التدفق الكبير (110 مللتر/الدقيقة) فإن الخطأ أقل من 1٪، وهذا لن يغير النتائج بشكل كبير. إن التخلص من مياه مضاف إليها مخثر أثناء عمليات المحطة التجريبية يعتبر مكلفاً، ولكن

سيتم من خلال ذلك تحسين السيطرة على التجربة للحصول على نتائج أكثر دقة، ومع استخدام عدد أكبر من المرشحات التجريبية ستكون الكمية التي يمكن التخلص منها أقل بكثير.

هناك طريقتان يوصى بهما من أجل إضافة الجرعات إلى محطة تجريبية ذات تدفق قليل: إما جرعة دقيقة عن طريق مضخة أو عن طريق مستوى ارتفاع ماء ثابت بفعل الانسياب الطبيعي باستعمال زجاجة ماريوت. والأفضل هو استخدام المضخة، وذلك لدقتها وسهولة تشغيلها. ولكن في الدول النامية يعد توفرها مشكلة، بالإضافة إلى تكلفتها العالية. مع أن تكلفة المضخات ذات المحرك متغير السرعات وذات الضخ الكتلي في الخرطوم البلاستيكي لا تتجاوز 500 دولار أمريكي، وهو سعر قليل جداً إذا ما قورن بكلفة تحسين محطة تنقية صغيرة. ولكن بعض الدول تضع رسوم جمارك عالية مما يزيد من ارتفاع سعرها، ولكن تلك الدول التي تحصل على دعم خارجي يمكنها التغلب على هذه المشكلة، والحصول على المعدات اللازمة مثل مضخة الجرعات والأنابيب والمحابس الحساسة.

وإذا لم يتوفر نظام المضخات، فإن الجمع بين نظام الانسياب الطبيعي مع زجاجة ماريوت يمكن أن يكون البديل. حيث إن هذا النظام يعمل بشكل ممتاز إذا كان ضغط ارتفاع عمود الماء ثابتاً عند نقطة إضافة الجرعة. إن الضغط في زجاجة ماريوت هو على الدوام الضغط الجوي، وعند ثبات جريان المخثر يبقى ثابتاً على الدوام (انظر شكل رقم 5-32).

توَّفر المحطة التجريبية معلومات قيّمة جداً لتصميم المرشحات، وكذلك بالنسبة لكفاءتها مهما كانت المعالجة الأولية. وإذا كانت المحطة التجريبية مصممة بشكل جيد ومثالي وتحتوي من ثلاثة إلى ستة مرشحات تجريبية، فإنه يمكن استخدام هذه المرشحات لدراسة من ثلاثة إلى ستة متغيرات اختيارية في الوقت نفسه. ولذلك يمكن الحصول على المعلومات بسرعة مع توخي الحذر والدقة في التشغيل والسيطرة عليها، وأن يُعَمل على صيانتها باستمرار. مع العلم أن مرشحاً واحداً يمكن أن يوفر معلومات ممتازة، ولكن بحاجة إلى وقت أطول لدراسة اختيارات متعددة من المرشحات. وهذه الاختيارات قد تكون كما يلي:

- الرمل - العمق والحجم الفعلي للرمل وتجانسه.
- الفحم - العمق والحجم الفعلي للفحم وتجانسه.
- الرمل والفحم معاً - العمق والحجم الفعلي للرمل والفحم وتجانسهما.
- معدل التدفق إلى المرشح من 150 إلى 900 م^3/م^2/اليوم.
- السيطرة على المرشح - تدفق ثابت، تدفق متناقص.
- المعالجة الأولية - تقليدية وترشيح مباشر مع خلط المخثر وترشيح مباشر مع خلط بالمخثر البوليمر.
- معدل دفق مياه الغسيل العكسي-غسيل باستعمال المياه لوحدها بتدفق (500-1000 لتر/م^2/الدقيقة) (مع/ أو دون مساعد في غسيل السطح)، ماء وهواء، (هواء 50-60 م^3/م^2/الساعة).

تدل هذه الاختيارات على عدد كبير من المتغيرات، وعلى سعة مداها، وما يمكن أن تعالجه المحطة التجريبية. وحتى لو كان هناك عدة مرشحات في نفس الوقت فهي بحاجة إلى وقت طويل لدراسة هذه الاختيارات. وعلى دائرة المياه الاستمرار في إجراء التجارب من خلال المحطة التجريبية لوقت طويل، وذلك إذا أرادت أن تحدد وتراقب التغيرات الممكن حصولها في عمليات المعالجة عند أفضل الظروف. وهذه حقيقة واضحة عندما تكون جودة المياه الخام متقلبة على مدار السنة.

المبالغ التي يجب أن تستثمرها دائرة المياه في إنشاء وتشغيل محطة تجريبية، تعتمد على حجم ووضع النظام. مع الأخذ بعين الاعتبار أنّ المدن يزداد عدد سكانها باستمرار، ويزداد الطلب على

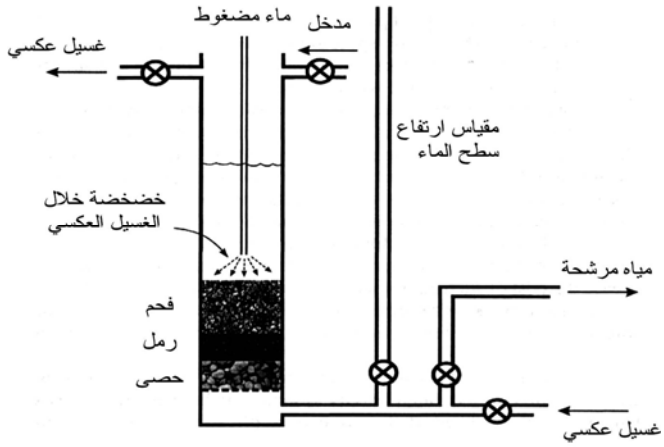
المياه تبعاً لذلك. ولهذا السبب لا بدّ من زيادة سعة المحطة، أو بناء محطة جديدة بمرور الزمن، لتغطية هذه الزيادة. إن صرف هذه المبالغ للحصول على معلومات كافية عن نوعية المياه الخام وعن كيفية معالجتها هو استثمار جيد جداً في جميع الحالات.

قد يكون مرشح واحد كافياً لمحطات صغيرة لمعالجة المياه (سواء أكان بالترسيب فقط أم بإضافة مخثر)، ولكن في المدن الكبيرة قد يكون الإنفاق مُبَرراً على بناء محطات تجريبية يمثّل جزءاً كبيراً من التكلفة المستقبلية للمحطة الجديدة. وكمثال لذلك: فقد تم في مدينة لوس أنجلوس بناء محطة تنقية جديدة بسعة 15.5 م^3/الثانية، حيث تم إنشاء محطة تجريبية وتشغيلها حوالي 3-4 سنوات قبل تصميم المحطة المذكورة.

في محطة تجريبية تعمل بمرشح واحد، وباستعمال المعالجة الأولية للمياه الخام من محطة التنقية القائمة، يمكن لدائرة المياه أن تقوم بتجارب باستخدام وسط مرشح ذي مواصفات محدودة، لترشح المياه الناتجة عن محطة التنقية الأصلية بشكل منتظم. وهذه التجارب سوف تزودنا بالمعلومات عن خواص المياه المرشحة، ومعدل الترشيح، وفترة الترشيح، ومقدار فاقد الضغط الضروري للحصول على معدل تدفق كافٍ للغسيل العكسي ومدى اختراق الكتل المخثَّرة في جميع الاختيارات. هذا سوف يساعد في اختيار المواصفات المناسبة، سواء لتوسعة المحطة أم بناء وحدات جديدة. والشكل رقم 5-33 يوضح أجزاء محطة تجريبية تعمل بفعل الانسياب الطبيعي.

يمكن إنشاء المرشح التجريبي قريباً من خزان الترسيب لاستعمال المياه المترسبه في المحطة بوساطة سايفون، وذلك لتلافي استخدام أنبوب طويل لمنع انسداد أو تغُّير نوعية المياه المترسبة قبل وصولها إلى المرشح التجريبي. ويجب أن يكون معدل تدفق الماء في الأنبوب ضعف الكمية المطلوبة، وقبل وصولها إلى المرشح يمكن التخلص من الكمية الزائدة لمنع الترسبات في الأنبوب. وتفكك الكتل المخثَّرة في الأنبوب ليس ذا أهمية لأن هذه الكتل تكون تحت ضغط في المرشح أكبر من ذلك الذي يوجد في الأنبوب.

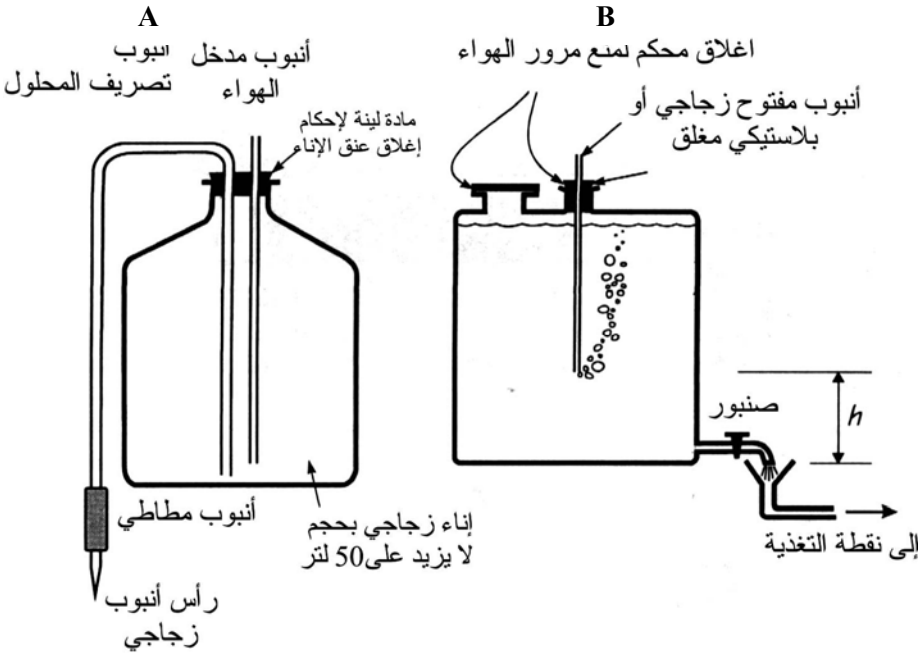
يتعرض وسط المرشح في نهاية كل فترة تشغيل إلى ضغط، نتيجة مرور الماء من خلاله، ولكن عند البدء بالغسيل العكسي يرتفع وسط المرشح من أعلى مستوى الحصى الداعم للأعلى، بحركة تشبه تماماً حركة المكبس. (يبدو ذلك واضحاً حتى لو كان قطر عمود الترشيح 15سم). لهذا يجب توفير طريقة مناسبة لتفكيك وسط المرشح قبل ارتفاعه عدة سنتيمترات، سواء أكان ذلك ميكانيكياً أم هيدروليكياً، ويمكن عمل ذلك هيدروليكياً باستخدام ماء عالي الضغط، وبتوجيهه إلى عمود المرشح، أو ميكانيكياً باستخدام أذرع ميكانيكية خاصة. وهذا يساعد على تفكك الترسبات داخل وسط المرشح، ولا سيّما إذا كان وسط المرشح من الفحم. بعد حدوث هذا التفكك يستمر الغسيل العكسي بشكل طبيعي دون أية مشكلات.



شكل 5-31 رسم توضيحي لمقطع تقليدي من عمود مرشح تجريبي

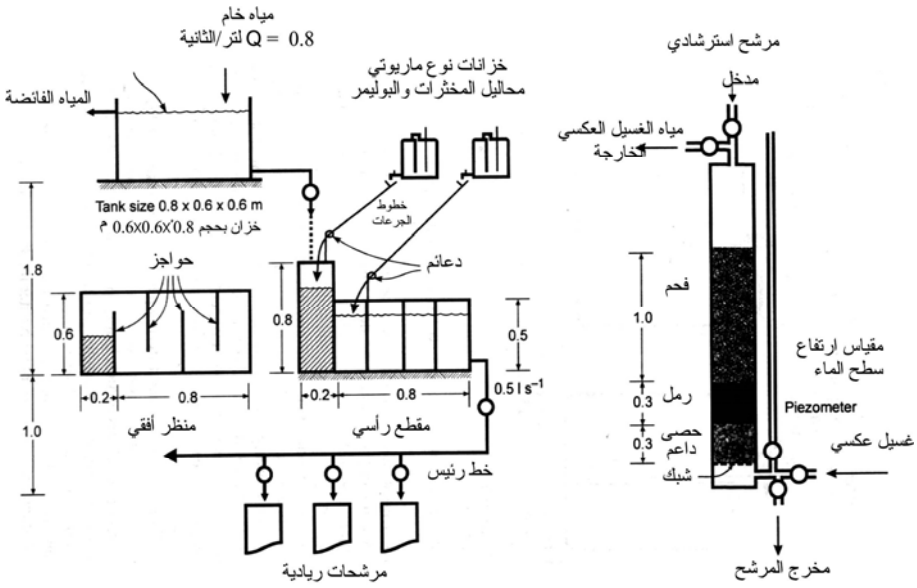
إن المعلومات التي يتم الحصول عليها من المحطة التجريبية مفيدة جداً، لعلاقتها بتصميم المرشحات، وليس كما هو الحال في المخثرات والخلط الأولي والتندف والترسيب الذي لا يمكن دراسته بالاعتماد على اختبار الجرار على مستوى المختبر. إن كل دورة تشغيلية تعطي معلومات عن فاقد ضغط الماء، وعن مقدار إزالة العكر عند تدفق محدد، وعند مروره في وسط محدد. شكل رقم 5-34 وشكل 5-35 يمثلان دورة تشغيل حقيقية بمياه خام بقيمة عكر تعادل 60 وحدة تم تحليلها بجرعة بسيطة من بوليمر موجب (0.5 ملغم/لتر).

في شكل رقم 5-35 كان معدل التدفق متناقصاً باستمرار، وكان متوسط معدل التدفق حوالي 285 م^3/م^2/اليوم، وهو معدل عالٍ نسبياً. كان فاقد ضغط الماء بعد حوالي 17ساعة 1.2م، وكانت مادة المرشح تتكون من الرمل بارتفاع 26 سم (الحجم الفعلي 0.67 ملم وتجانسيه 1.07) وانثراسايت بارتفاع 85 سم (الحجم الفعلي 1.4ملم وتجانسية تعادل 1.57)، وقد انخفض العكر إلى أقل من وحدة واحدة وبقيت تقريباً ثابتة عند 0.5-0.6 وحدة خلال فترة التشغيل.



شكل 5-32 زجاجة ماريوت (اليسار) وصندوق بلاستيكي (اليمين) لجرعة المخثر

وفي حالة واقعية في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، كان عكر الماء الخام حوالي 2.5 وحدة، وكانت جرعة المخثّر في المحطة من 2 إلى 2.5 ملغم/لتر، والبوليمر الموجب حوالي 0.25 ملغم/لتر. وفي دراسة لسجلات المحطة وجد أن جزءاً قليلاً من المواد المخثّرة قد تم التخلص منها في خزان الترسيب، بينما كانت المرشحات مسؤولة عن التخلص من 95٪ من هذه المواد. وقد تم إنشاء أربعة مرشحات تجريبية تم توصيلها بالمياه، حيث تلقت المياه جرعات على فترات زمنية 1و 30 و 90 دقيقة بعد الخلط السريع، وكان إزالة العكر مشابهاً جداً للمرشحات التجريبية، وفي الواقع بعد الخلط الأولي كان العكر الأفضل 0.02-0.04 وحدة. يبين الشكل رقم 5-36 نتائج الفحوصات اليومية لعدة شهور. في هذه الحالة أشارت الدراسة أن الترشيح المباشر هي طريقة معالجة مناسبه جداً لمثل هذه المياه.



شكل 5-33 مخطط عام لمحطة تجريبية بسيطة تعمل بالانسياب الطبيعي

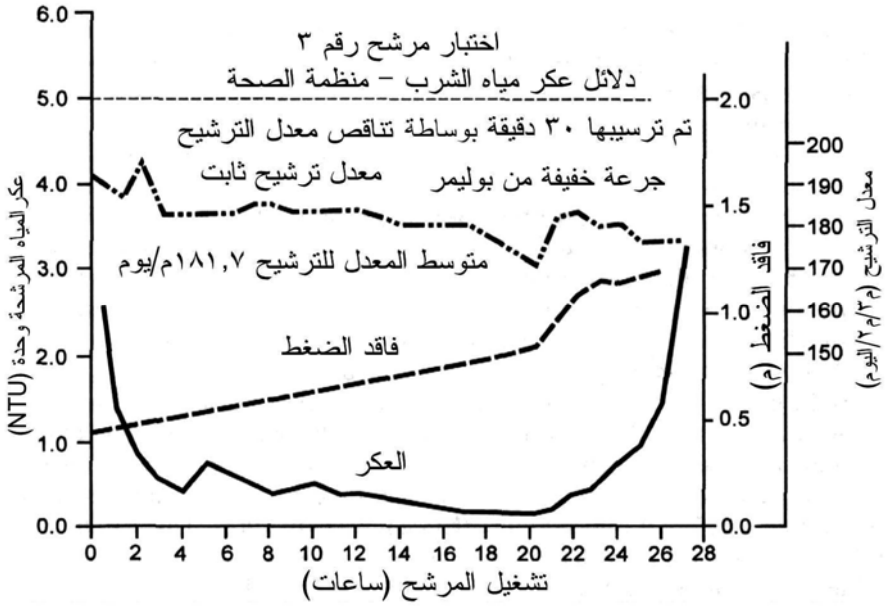
من العوامل التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار في تصميم محطة تجريبية هي :

- مدى سرعة جمع المعلومات وتقييمها.
- تغير نوعية المياه الخام على مدار السنة.
- أخذ التدابير الاحتياطية لإنشاء معالجة أولية في المحطة التجريبية.
- طرق المراقبة وجمع العينات سواء أكانت بحسب برنامج منتظم أم بشكل عشوائي.
- خطط التشغيل وما إذا كانت الفحوصات اليومية مستمرة أم متقطعة.
- الميزانية المتوفرة لإجراء الفحوصات على المحطة التجريبية.
- نوع وكميات أجهزة المراقبة المتوفرة والجاهزة للاستعمال.
- المعلومات المتوفرة في السجلات سواء أكانت من اختبار الجرار على مستوى المختبر أم على مستوى المحطة الحقيقية.

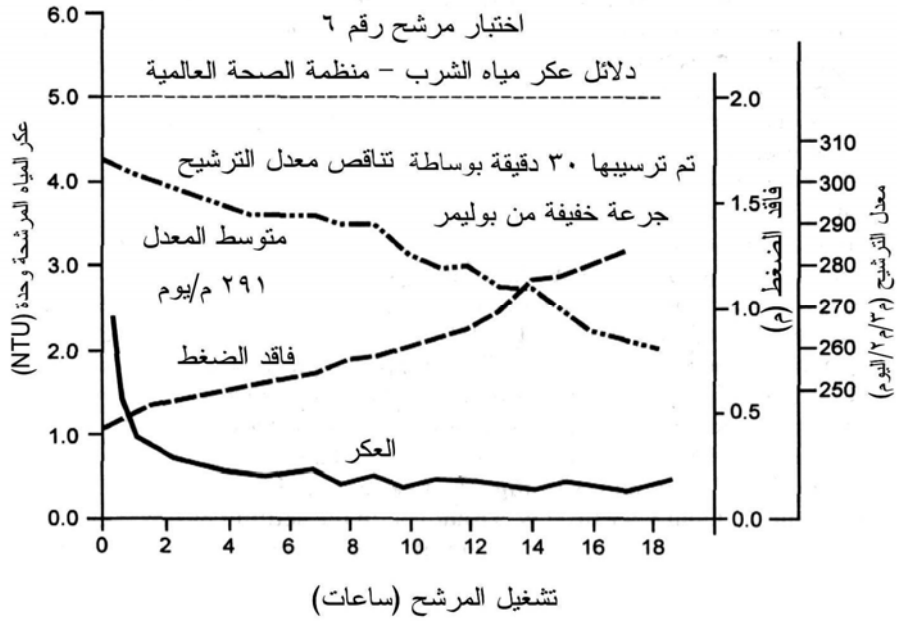
باختصار فإن أكثر المحطات التجريبية عملية هي التي تتكون من مرشح واحد أو اثنين، بحيث تستقبل المياه من خزان الترسيب لمحطة قائمة، وتتم مراقبة المياه فيها بأخذ عينات عشوائية. ويكون معدل التدفق فيها إما ثابتاً أو متناقصاً. كما يوجد بالمقابل طرق وأنظمة مكلفة جداً، سواء أكان لإضافة المخثر أم لخلط المخثر بالمياه الخام، أو للترويب والترسيب. وأخيراً يتبعها أربعة مرشحات تجريبية أو أكثر. وفي المحطة الأخيرة (ذات الكلفة الكبيرة) قد يكون فيها مضخات خاصة لإضافة الجرعات، وخلط ميكانيكي، والتندف، وخزان ترسيب وقد يوجد أيضاً على كل مرشح جهاز قياس عكر ليقوم بتسجيلها أتوماتيكياً وبشكل دوري. وبين هذين النوعين يوجد مدى كبير من الاختيارات المتعددة المتوفرة لتحقق المطلوب للحصول على معلومات تصميمية.

2-7-5 التشغيل

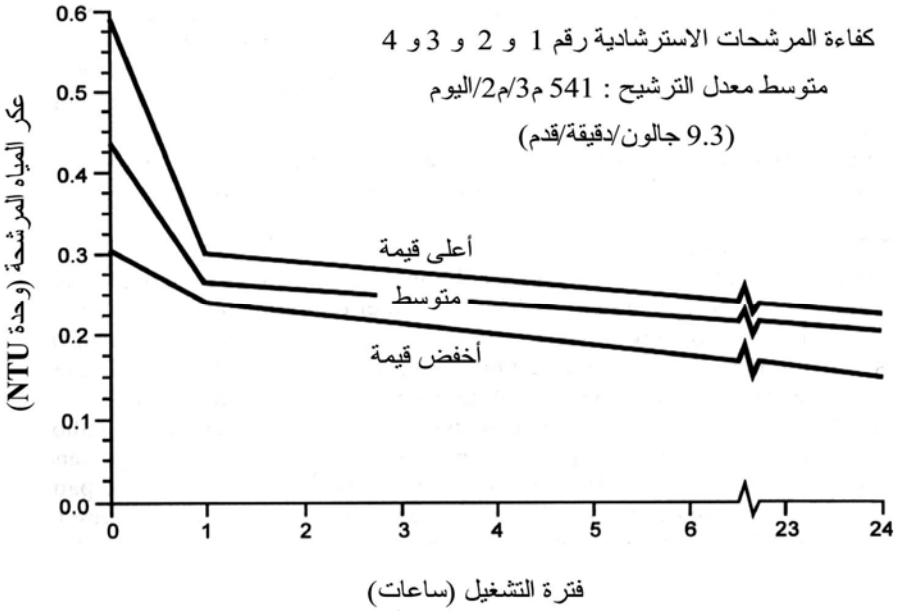
حتى لو كانت المحطة التجريبية تحتوي على مرشح واحد، فإن إنتاج مياه مرشحة تحتاج إلى عناية فائقة. عدد الأشخاص اللازم لتشغيل المحطة يعتمد على حجم المحطة وعلى نوع المعالجة الأولية التي تسبق عملية الترشيح، وكذلك على عدد المرشحات الموجودة. بعد إنشاء محطة التنقية وبدء تشغيلها فإن شخصاً واحداً مدرباً بإمكانه إدارتها، ولكن على المحطة أن تعمل أربعاً وعشرين ساعة في اليوم، مع أنه يمكن جمع المعلومات دون تشغيل المحطة بشكل مستمر إلا انه يجب على هذه المعلومات أن تعكس واقع التشغيل. والتجربة أثبتت أن معلومات الترشيح لا تستمر على وتيرة واحدة قبل أو بعد إيقاف التشغيل. لذلك يجب أن يكون هناك شخصان أو أكثر للقيام بمراقبة وجمع المعلومات عن المحطة وعن عمليات المعالجة الأولية المتكررة اثناء الغسيل العكسي.



شكل 5-34 مثال على محطة ترشيح تجريبية يتم التحكم بها بمعدل التدفق الثابت



شكل 5-35 مثال على محطة ترشيح تجريبية يتم التحكم بها بمعدل تدفق متناقص



شكل 5-36 كفاءة مرشحات تجريبية لفترة طويلة تستقبل المرشحات مياهاً على مراحل متعددة بعد الخلط، وانتظام النتائج يدل على أن الترشيح المباشر مناسب مع مياه خام ذات عكر منخفض، ويمكن أن يصل معدل الترشيح الى خمسة أضعاف أو أكثر لمعدل الترشيح التقليدي(استنسخ بتصريح من شركة بحوث المياه والهواء)

والمعلومات التي تُجمع عن المرشحات عادة تحتوي على:

- عكر المياه الخام كل ساعة على طول فترة الاختبار.
- عكر المياه المرشحة كل ساعة على طول فترة الاختبار.
- فاقد ضغط الماء كل ساعة على طول فترة الاختبار ولكل مرشح على حدة.
- معدل إضافة المواد الكيميائية منذ بداية التشغيل حتى نهاية فترة الاختبار.
- معدل الترشيح طيلة فترة الاختبار.
- نوعي وسط المرشح (العمق والحجم الفعلي والتجانسية).

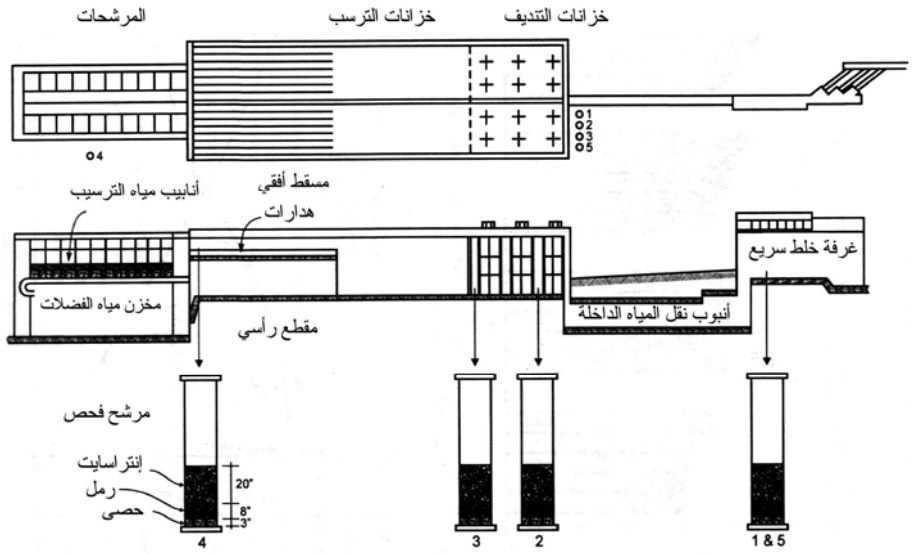
8-5 محطة التنقية كمحطة تجريبية

بعد جمع معلومات مقبولة عن تشغيل المحطة التجريبية، يمكن فحص النتائج مرة أخرى على جزء من المحطة الحقيقية. ويمكن إجراء تحسينات على المحطة لتقييم نتائج اختبار الجرار على مستوى المختبر، وقد تم وصف فحوصات مخبرية لمحطة تجريبية في المثالين التاليين:

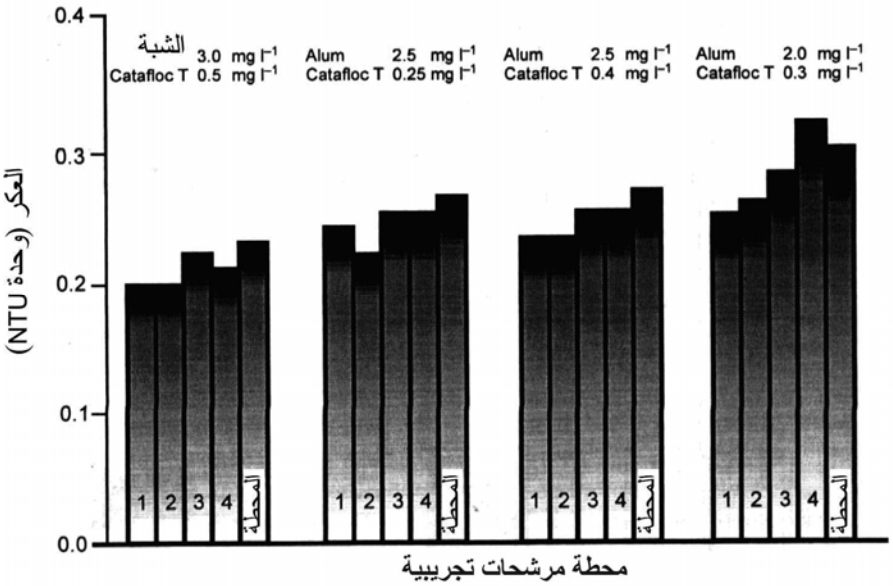
الحالة الأولى: وجود محطة تنقية تقليدية تعالج مياهاً سطحية، وهذه المحطة تقع في مدينة كبيرة في أمريكا الجنوبية. والمحطة صممت على أساس معالجة مياه بمقدار 13.5م^3/الثانية، ولكن المدينة بحاجة إلى مياه بكميات أكبر، لذلك فقد وضع برنامج فحص لمرشحات تجريبية. فقد تم تحويل جزء من مياه خزان الترسيب إلى مرشحين تجريبيين لفحص مادة الرمل ومادة ثنائية كوسط للترشيح، والشكل رقم 5-37 إلى 5-39 يوضح ذلك، وقد تم اختبار المسارات القصيرة التي يمكن أن تظهر في خزان التندف أو خزان الترسيب.

لقد تم إجراء الدراسات والبحوث لمدة ثمانية عشر شهراً وكانت النتيجة أن سعة المحطة يمكن مضاعفتها باستعمال نفس الأبنية الإنشائية القائمة، حيث تعطي نتائج مقبولة في جميع مراحل عمليات التنقية. فقد كانت خزانات التندف والترسيب والقنوات الناقلة كافية، وكذلك مرشحات الرمال كانت مناسبة لاستقبال ضعف الكمية الأصلية. وقد كان التحكم في معدل المياه الداخلة إلى المرشحات هي المعضلة الهيدروليكية الرئيسة في المحطة، بالإضافة إلى مشكلة الحاجة لتزويد المحطة بضعف كمية المياه الخام وتوزيعها في المدينة. في ظل هذه النتائج المتفائلة. فقد تم تحسين نظام تندف واحد وخزان ترسيب بالإضافة إلى مرشح واحد (تُسعُ حجم المحطة)، حتى يستطيعوا معالجة ضعف المعدل السابق (قبل التعديل). ومن التعديلات التي تم إنجازها إزالة جهاز فنشوري (مقياس تدفق) الذي يقيس معدل تدفق المياه، وذلك لمضاعفة المعدل الحالي، بينما لم يتم إجراء أي تعديل على مادة الرمل (وسط المرشح) وتم تشغيل هذا الجزء ستة أشهر، وتم مراقبة فاقد ضغط الماء على طول دورة تشغيل المرشح وعكر المياه المرشحة.

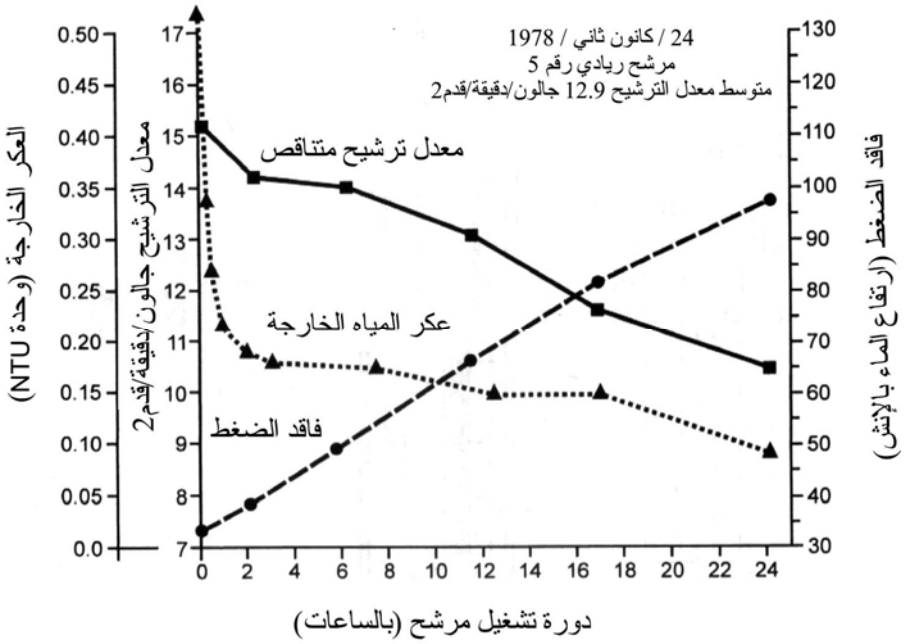
تم زيادة معدل الترشيح من 125 م^3/م^2/اليوم (1.44 م م/الثانية) إلى 250م^3/م^2/اليوم، علماً بأن عكر المياه المرشحة لم يتغير كثيراً، فقد كانت قيمة العكر تتراوح بين (0.3-0.5) وحدة، مع أن دورة الترشيح انخفضت من 60-70 ساعة إلى 25-30 ساعة، وذلك لزيادة الحمل، بينما قيمة عكر المياه المترسبة لم تتغير (من 5 إلى 7 وحدات). بعد التشغيل وجمع العينات والتحليل لمدة ستة أشهر كانت النتيجة دون أدنى شك أن المرشحات الرملية القائمة يمكن أن تستقبل حملاً عالياً دون تأثير على جودة المياه الناتجة.



شكل 5-37 موقع مصدر المياه لمرشحات تجريبية



شكل 5-38 كفاءة المرشحات لمحطة عادية ومحطة تجريبية تم مقارنة متوسط عكر المياه المرشحة مع أربع جرعات مختلفة من مخثر البوليمر



شكل 5-39 صفات تشغيل مرشحات تجريبية ذات معدل ترشيح متناقص

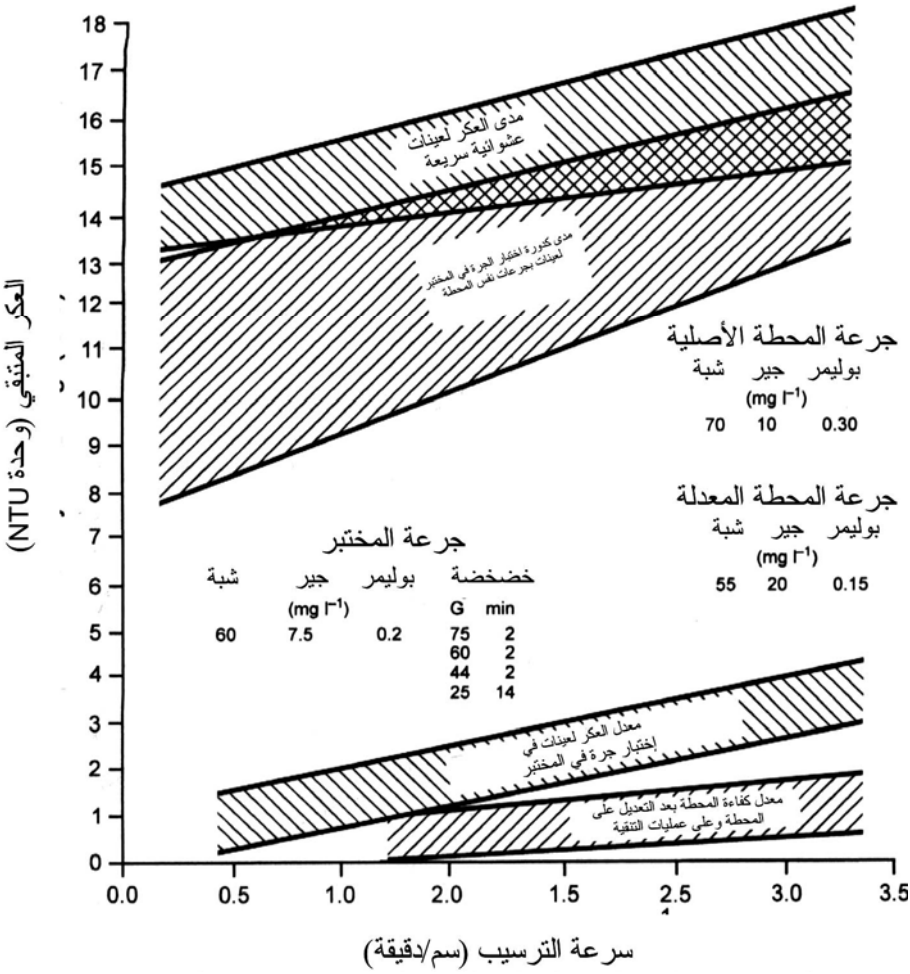
تم تعديل خزان التندف فأصبح يحتوي على ست حجرات بدل حجرتين. وقد لوحظ في السابق وجود مسارات قصيرة في خزان الترسيب مع وجود حواجز، وقد كان زمن المكوث في خزان التندف عبارة عن خمس عشرة دقيقة، بينما تم تصميمه ليكون خمساً وعشرين دقيقة. بعد تعديل خزان التندف من حجرتين إلى ست حجرات، فقد أصبح زمن المكوث يتراوح بين 12-13 دقيقة حتى بعد مضاعفة معدل التدفق، مما يعطي وقتاً كافياً لتتكون الكتل المختثرة القابلة للترسيب. والخطوة التالية هي تحسين مدخل خزان الترسيب، فقد تم تركيب حاجز مثقب على مدخل خزان الترسيب لتحسين جريان المياه في الخزان، خلال فحص الخزان الأصلي فقد كانت المياه تمر عبر الخزان في عشرين دقيقة بدلاً من أن تستغرق ساعتين كما هو معتمد في التصميم. ولتحسين إزالة المياه المترسبة فقد تم عمل فتحة مغمورة كلياً بالمياة على مخرج خزان الترسيب بطول 20 م.

إن التحضيرات لعمل فحوصات على مستوى المحطة قد استغرق حوالي شهرين بالرغم من صرف مبالغ لا بأس بها على هذه العملية، إلا أن ذلك كان مُبَرراً، حيث تم مضاعفة سعة المحطة دون القيام بعمل منشآت جديدة. مع أنه تم صرف عدة آلاف من الدولارات الأمريكية للوصول إلى هذه النتيجة، فقد تم توفير مبالغ تتراوح بين 30 و40 مليون دولار أمريكي، وهو المبلغ المتوقع ككلفة لإنشاء محطة جديدة تستطيع معالجة نفس معدل المياه في المحطة الأصلية.

تم فحص الخزان على مدار أسبوعين (يوماً بعد يوم)، وقد كانت نتائج عكر المياه المترسبة متقاربة، حيث لا يوجد فرق ذو أهمية إحصائية بين خزان الترسيب بعد مضاعفة تدفق الجريان والخزان المجاور غير المعدَّل (الذي يستقبل التدفق العادي) وهذا تأكيد آخر على قدرة المحطة لاستقبال ضعف تدفق الجريان الأصلي.

تم تصميم التعديلات على المحطة الدائمة بالاعتماد على النتائج التي تم الحصول عليها من التجارب على مستوى المختبر وعلى المحطة التجريبية وعلى المحطة نفسها، وقد استغرق إنشاء هذه التعديلات قرابة ثمانية عشر شهراً. والآن المحطة تعمل بتدفق جريان حوالي 29م^3/الثانية منذ خمس وعشرين سنة.

الحالة الثانية: محطة تنقية تقع جنوب الولايات المتحدة، والهدف الرئيس من إنشائها هو إزالة اللون. فقد كانت تعمل بسعة مقدارها 27 مليون جالون في اليوم (1.2 م^3/الثانية)، ولكن المدينة بحاجة إلى ضعف هذه الكمية. لذلك فقد بُدىء العمل فيها في اختبار جرة في المختبر لإجراء الفحوصات الضرورية، وتم جمع عينات من خزان التندف وخزان الترسيب. وقد أوضحت النتائج إمكانية تحسين المحطة بشكل كبير.



شكل 5-40 مقارنة كفاءة المحطة القائمة وظروفها وجرعتها وعمليات التنقية وجرعة المختبر وعمليات المختبر والظروف المعدلة للمحطة وأهمية التحسين الناتج عن العمليات الفضلى ثم توضيحها

في اختبار الجرار تم تجربة عدة اختيارات، وكانت النتيجة الفضلى هو عمل عدة تحسينات على تشغيل المحطة وهي :

- تغيير البوليمر المستعمل من بوليمر موجب إلى بوليمر متعادل ذي وزن جزيئي كبير.
- إضافة البوليمر إلى خزان التندف بعد خمس دقائق من بدء دورة التندف.
- إضافة محلول الشب بتركيز 1٪ بدل المستعمل وهو 50٪.
- إضافة محلول الشب المخفف إلى قناة جريان المياه بدلاً من إضافته إلى الخزان وخلطه بخلاط ميكانيكي (الخلط أصبح هيدروليكياً).

يحتوي خزان التندف في المحطة القائمة على ثماني خلاطات ميكانيكية، وكان من السهل تحويل هذا الخزان الكبير إلى ثمانية خزانات صغيرة، بحيث يحتوي كل خزان على خلاط واحد، وكذلك تم تركيب حاجز مثقّب على مدخل خزان الترسيب. وفحص المحطة نفسها مباشرة، فقد تم إجراء التعديلات التالية على جزء واحد من المحطة:

- تم تقسيم خزان التندف إلى ثمانية أجزاء.
- تم تركيب حاجز مثقب على مدخل أحد خزانات الترسيب.
- تم استعمال بوليمر متعادل ذي وزن جزيئي كبير في خزان التندف بعد خمس دقائق من بداية جريان الماء.
- استعمل محلول الشب المخفف من خلال نافث، وإضافته إلى خط أنابيب مضغوطة بمياه خام.

وقد تم تشغيل هذا الجزء من المحطة لفترة خمسة شهور، وتم تجميع وفحص عينات ومراقبة التشغيل بعد مضاعفة معدل جريان المياه فيها. وقد جاءت النتائج كما كانت متوقعة، وأكدت أن عكر المياه المترسبة أقل من عكر المياه المترسبة قبل التعديل (كان نحو 1-2 وحدة). وقد استخدمت المحطة نفسها لإثبات النتائج التي تم التوصل إليها من اختبار الجرار. والشكل رقم 5-40 يوضح النتائج المخبرية، ونتائج المحطة نفسها. وقد تم عمل التعديلات على المحطة وكانت النتائج مبهرة.

وقامت دائرة ضبط محطات تنقية المياه في الولاية بالموافقة على عمل التعديلات اللازمة، لزيادة معدل جريان المياه، والآن المحطة تعمل بعد إجراء هذه التعديلات منذ سنوات. ولم يتم الموافقة على زيادة الحمل إلى قيمة أكبر من ذلك مع أنه يمكن تحمل عكر مياه أقل جودة من المياه التي يتم إنتاجها. على أية حال إن دائرة المياه قد اقتصدت قليلاً في المعالجة الأولية ليتم من خلال ذلك إنشاء مرشحات إضافية.

الفصل السادس

التطهير

1.6 اختيار عملية التطهير

هنالك عدة طرق لعمليات التطهير، بعضها فيزيائي أو كيموفيزيائي، مثال ذلك: الطاقة الحرارية والأشعة فوق البنفسجية، وأشعة جاما وأشعة أكس. والبعض الآخر كيميائي، مثال ذلك: الأوزون والهالوجينات ومركباتها. حيث تحتوي على كلورامين وكالسيوم وصوديوم هايبوكلورايد. ومن الناحية الاقتصادية فإن التطهير الكيميائي هو الأكثر شيوعاً ولا سيّما الكلورين وبعض مركباته.

يستعمل الكلورين كمادة مطهرة للمياه. لكن بعض مشتقاته يمكن أن تسبب السرطان، ومن أهم هذه المشتقات الهالوفورمات والتي تتكون نتيجة لتفاعل الكلورين الحر مع المواد العضوية. إن تكوين الهالوفورمات بطيء جداً (من ساعة إلى عدة أيام) وذلك بالاعتماد على درجة الحرارة والأس الهيدروجيني ونوع وتركيز المواد العضوية ونوع المطهر الحر.

إن تجنب تكوين الهالوفورمات له علاقة باختيار طريقة التطهير، ولا سيّما إذا كانت المواد العضوية متوفرة في المياه الخام. والاختيار الأول هو استعمال مطهِّر من نوع آخر، مع أن العمليات التي تمت دراستها لها مساوئها حيث تكوِّن إما مواد ثانوية أو مواد حرة. إن السيطرة على مثل هذه العمليات صعبة جداً ومعقدة، وتكون عادة مكلفة، لذلك فإن إزالة المواد الضارة الموجودة بالأصل قبل عملية الكلورة تبقى أفضل الطرق.

هناك اعتبارات مختلفة تجعلنا نفضل الكلورة، ولا سيّما إذا نظرنا للموضوع نظرة مستقبلية، حتى لو تم استعمال عامل مؤكسد في المعالجة الأولية (لإزالة الطحالب والمواد العضوية والحديد والمنغنيز والطعم واللون، أو لوقف نشاط الفيروسات). والكلورة النهائية تعطي مقاومة متبقية للجراثيم الحشرية، وبذلك تبقى في شبكة توزيع المياه. يتم إنتاج الكلورين على مستوى تجاري حتى في الدول النامية، بالإضافة إلى أن كلفة تركيب وتشغيل أجهزة الكلورة قليلة نسبياً، وللمشغلين في محطات التنقية خبرة في استعمالها.

2.6 الأخطار الصحية الناتجة عن الكلورين

يجب توخي الحذر والتنبه لوجود عدة أضرار كامنة في استعمال الكلورين كمادة مطهرة. يجب التنبه كذلك لدى تمديد أنابيب أو تركيب أجهزة الكلورين، ولدى التعامل مع الكلورين نفسه، لأن الكلور يتحول إلى غاز تحت درجة حرارة الجو، والضغط الجوي. ويعتبر الكلور ضاراً بالصحة حتى لو كان بكميات قليلة.

فالكلور يهيج الجلد، وقد يحدث حروقاً في العيون، ويدمر خلايا الجسم، ويعمل على تلف الغشاء المخاطي ونظام التنفس، مما يسبب انقباضات في الحنجرة والكحة وأمراض رئوية، حتى لو كانت الكميات المتعرض لها قليلة جداً. والحالة الخطرة تكون عندما يتم استنشاق الكلورين، حيث تظهر على الشخص أعراض عدم الاستقرار والإثارة والعطس وخروج اللعاب من فمه وتقلصات في المعدة

والتقيؤ. وصعوبة التنفس التي قد تؤدي إلى الموت، وفي الحالات الأقل خطورة قد تسبب للشخص عاهة دائمة. لهذا السبب يجب أخذ الحذر الكبير في تصميم وتركيب أجهزة الكلورين.

3.6 تصميم خدمات الكلورين

الأمور الأساسية التي تؤثر في عملية الكلورة هي فاعلية التشغيل والصيانة، وسهولة تخزين أسطوانات الكلور، وطريقة التعامل معها والسيطرة على العملية جميعها بشكل عام. مع أن كل حالة من الحالات تختلف في طريقة وأسلوب التركيب، إلا أنه يوجد دلائل عامة قد تساعد في تصميم أجزاء النظام. وهذه الدلائل ذات علاقة بأسطوانات غاز الكلور، وطريقة التغذية وقياس كمية الكلور المضافة، وأجهزة التحكم وأنابيب التمديد وطريقة الحقن وأجهزة السلامة.

أثناء عملية التصميم لا بدّ من حساب كمية استهلاك الكلورين، وهذا يعتمد على كمية تدفق المياه المعالجة عند الجرعة المطلوبة. ومن الضروري أيضاً أن يهتم المصمم بطريقة حقن الكلورين، وهل سيتم ذلك مباشرة أم عن طريق محلول، وذلك لأخذ الاحتياطات اللازمة أثناء تركيب الأجهزة، مثل إمداد الكلورين، وجهاز الكلورين وخطوط الأنابيب بالمياه، والتنبه إلى ضرورة توفير غرفة خاصة لهذه الأجهزة. كما يجب أخذ أقصى الاحتياطات لمنع أي تسرب من غاز الكلورين، ويجب السيطرة والتحكم في حال حدوث أي تسرب، وأن تحافظ على عدم وجود رطوبة في المكان، وحول الأجهزة التي يجب أن تكون جافة على الدوام.

1.3.6 أجهزة القياس والتغذية والسيطرة

عادة يتم تزويد المياه بالكلورين على شكل سائل جاف تحت ضغط معين، في أسطوانات تحتوي على 45.4 كغم، أو 68 كغم أو 907.2 كغم. والحجم المناسب من هذه الأسطوانات يعتمد على كمية الاستهلاك اليومي للكلورين في المحطة. وبشكل عام لا يستعمل الحجم الصغير. والحجم الكبير يستعمل عندما يزيد الاستهلاك اليومي عن 250 كغم.

يقيس جهاز الكلورة الكلورين على شكل غاز فقط، وهذا يعني أن الكلورين السائل في الأسطوانات يجب أن يتحول إلى غاز قبل استعماله. ولهذا فسائل الكلورين بحاجة إلى حرارة حتى يتحول إلى غاز، وقد يكون مصدر الحرارة الهواء الجوي، أو قد يكون مصدراً آخر لتزويد أسطوانة الكلورين بالحرارة.

يحتاج تشغيل جهاز الكلورة إلى القليل من ضغط الغاز، عند نقطة سحب الغاز من الأسطوانة، ويعتمد الضغط المطلوب على نوع المغذي لجهاز الكلورة. فإذا كانت تغذية الغاز تتم مباشرة، فإن الضغط المطلوب حوالي 1.41 كغم/سم^2 بالإضافة إلى الضغط عند نقطة الكلورة. بينما بعض الأجهزة التي تعمل جزئياً بفراغ فالضغط يمكن أن يكون 0.98 كغم/سم^2.

وحتى تتم عملية سحب الكلورين (تعتمد على توصيل وانتقال الحرارة عبر الهواء الجوي) هناك عوامل يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار، ومن أهم هذه العوامل: درجة حرارة الجو، ومعدل حركة الهواء، ورطوبة الهواء وكمية الكلورين في الأسطوانة ومساحة سطح الأسطوانة. عادة تزيد كمية سحب غاز الكلورين مع زيادة تهوية وحركة الهواء، وقلة الرطوبة وقلة الكلورين في الأسطوانة على شكل سائل، ولكن في البداية تكون الأسطوانة مليئة، وإذا كانت حركة الهواء والرطوبة متغيرة، فهذه العوامل جميعها يمكن إهمالها. ولكن الدقة تتطلب إجراء الحسابات، مع أخذ درجة حرارة الجو ومساحة سطح الأسطوانة، وأقل ضغط لغاز الكلورين بعين الاعتبار عند نقطة السحب.

يوجد بين حالة الكلورين السائلة وحالته الغازية علاقة تحدد عملية تحويل الكلورين من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وذلك بناء على منحنى التعادل بينهما، والذي يعتمد على درجة الحرارة والضغط

كما يوضح الشكل رقم 6-1. لذلك عند معرفة الحد الأدنى لضغط غاز الكلورين اللازم لتشغيل جهاز الكلورة يمكن تحديد أقل درجة حرارة ليبقى الكلور في الحالة الغازية ليستمر الجهاز بالعمل بشكل طبيعي.

يمكن حساب معدل سحب الكلورين بمعرفة أقل درجة حرارة ممكنة، ومساحة سطح أسطوانة الكلورين مع الأخذ بعين الاعتبار درجة حرارة الجو وذلك باستعمال المعادلة التالية:

$$R = f\ (T_o - T_1)$$

R = *قيمة* معدل السحب القصوى (كغم/اليوم)

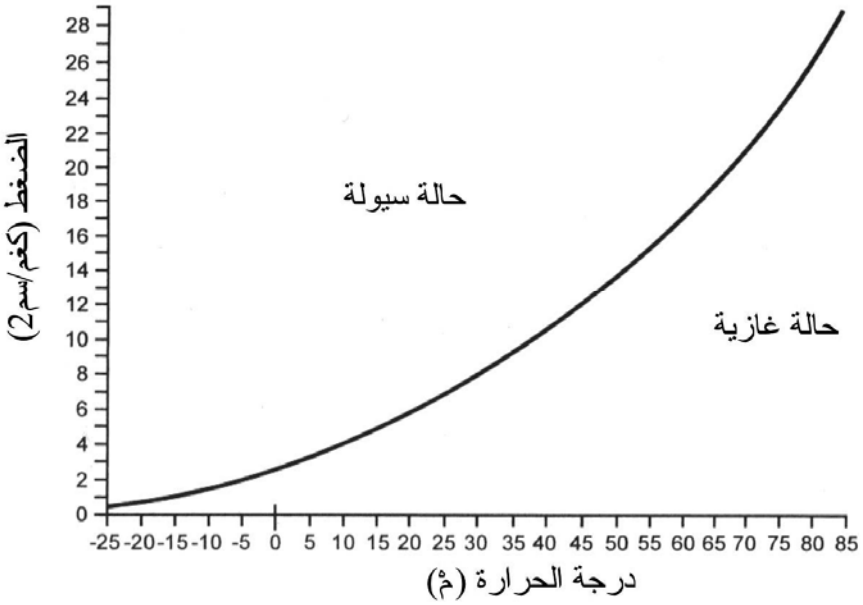
T_o = درجة حرارة الجو (م°)

T_1 = درجة الحرارة الحرجة (الدنيا) المرتبطة بأقل ضغط للغاز (م°).

f = معامل السحب (0.64 ، 0.82 ، 6.63 لكل من الأسطوانات 45.4 ، 68 ، 907.2كغم على التوالي).

بمعرفة معدل سحب الغاز فإن هذه الحسابات يمكن أن تحدد عدد الأسطوانات التي يمكن أن يتم ربطها دون حدوث تجمد عند درجة حرارة الجو.

على المصمم أن يأخذ بعين الاعتبار فاقد الضغط الناتج عن جميع المكونات الواقعة بين أسطوانات الغاز وجهاز الكلورة. وهذه المكونات مثل: (المحابس والتوصيلات ومقياس الضغط والأنابيب ... الخ)، حيث يجب أن لا يقل ضغط الغاز عند بداية جهاز الكلورة عن أقل ضغط مطلوب لتشغيل الجهاز.



شكل 6-1 العلاقة بين ضغط بخار الكلورين ودرجة الحرارة

تستخدم حرارة الهواء الجوي في بعض المناطق لتحويل الكلورين من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وذلك حسب موقع المنطقة من الكرة الأرضية. ولكن إذا كانت كمية استهلاك الكلورين تزيد على أربعة أطنان يومياً فيتم سحب الكلورين على شكل سائل، ثم يحول إلى غاز باستخدام طريقة مناسبة (جهاز تبخير). ولكن عندما يزيد معدل جريان الكلورين بشكل كبير ومفاجيء، فإن الكلورين السائل في جهاز التبخير يتحول إلى غاز بسرعة كبيرة، مما يقلل الضغط في نظام الكلورة من بعد نقطة التحول، وهذا يسبِّب ظاهرة التحول السريع من الحالة السائلة الى الغازية بشكل سريع، وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الغازية الومضية (flashing gasification)، عند النقاط التي تكون فيها فاقد الاحتكاك كبيراً مما يؤدي الى إعاقة حركة الكلورين السائل.

عندما يكون الكلور في حالة سيولة ودرجة حرارة دافئة وتكون أنابيب توصيل الكلورين طويلة، فإن الكلور سوف يستغرق وقتاً طويلاً للوصول إلى حالة الاتزان والجريان بشكل طبيعي. لذلك يجب أن تكون الأنابيب أقصر ما يمكن، وإذا كانت درجة الحرارة مرتفعة، فيجب عزل الأنابيب لتقصير الطول والسيطرة لمنع تحول الكلور إلى غاز بسرعة وتقليل تغير الضغط الناتج عن ذلك.

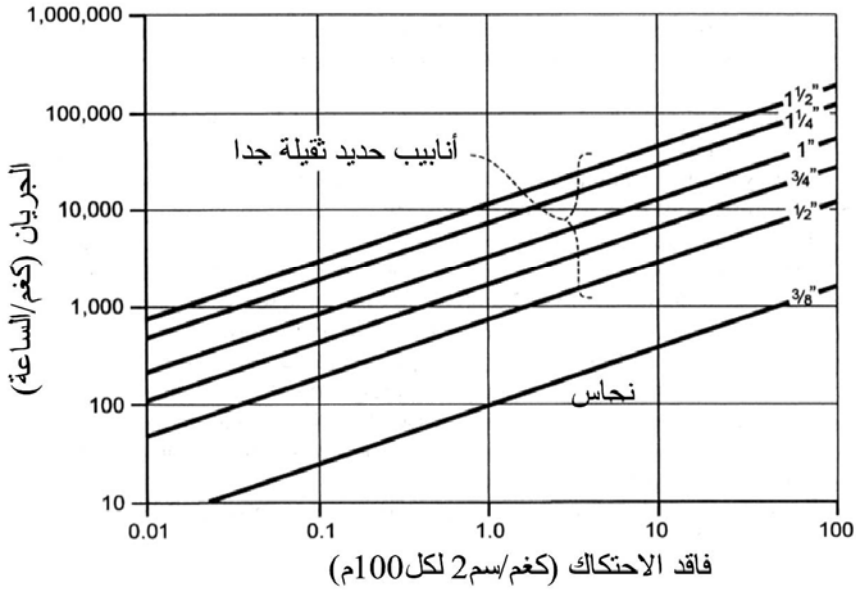
يجب ملاحظة بعض النقاط عند تصميم مكان تخزين الكلورين وهي:

- حماية أسطوانة الغاز من أشعة الشمس المباشرة.
- توفير وسيلة للمشغِّل لمعرفة كمية استهلاك الكلورين أو متى يقوم بفتح محابس أسطوانات جديدة ووضعها في الخدمة وإغلاق الأخرى.
- أن تكون المسافة بين أسطوانة الكلورين (مخزن الكلورين) وأجهزة الكلورة أقصر ما يمكن.
- عند التشغيل والكلورين في الحالة الغازية، يجب أن تكون درجة حرارة أسطوانة الكلورين أقل من درجة حرارة جهاز الكلورة.
- يجب أن تكون درجة حرارة مخزن الكلورين أكثر من 10°م لأنه عند درجة حرارة أقل من ذلك يصبح جريان الكلورين بطيئاً ومتذبذباً.
- يجب عدم تعريض أسطوانة الكلورين إلى حرارة بصورة مباشرة.
- يجب أن يكون هناك حيز لأسطوانتين على الأقل (واحدة تعمل، والأخرى احتياط)، بالإضافة إلى حيزٍ لأسطوانة أخرى ليساعد المشغل على سهولة التشغيل.
- يجب تجنب أن يكون المخزن تحت مستوى سطح الأرض، لأن الكلورين أثقل من الهواء، لذلك سوف يتراكم الكلور في المخزن. وإذا كان المخزن في ساحة مفتوحة لا بدّ أن يوضع جدار حول الساحة.
- يجب أن يكون للأسطوانة عجلات وشناكل خاصة، لسهولة رفع ونقل الأسطوانة سواء أكان ذلك يدوياً أم من خلال رافعة كهربائية.
- يجب تزويد الأسطوانة بمحابس خاصة وأنابيب مرنة لسهولة التوصيل.
- من الممكن أن تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون -29°م في أنظمة الكلورين وعند هذه الحرارة يمكن أن تنكسر بعض أنواع المعادن. يعتبر الكلورين مادة سامة، ويساعد على اشتعال الحديد، ويساعد أيضاً على تآكل المعادن في ظل وجود الرطوبة. لذلك يجب أن تكون الأنابيب وجهاز الكلورة من مادة مناسبة، وأن يتم التعامل معها أثناء التركيب بحذر شديد. ويجب أن تدعم بشكل جيد، وبميول كافية. وأن يدخل المصمم في حساباته التمدد الناتج عن اختلاف درجة الحرارة (يجب استخدام وصلات مرنة)، كذلك يجب عليه أن يضع محابس تغلق أتوماتيكياً في نهاية كل خط، وغرفة تمدد في كل خط جريان للكلورين السائل.

- للتعامل مع غاز أو سائل الكلورين عند درجة حرارة أعلى من -29°م، وحجم أنبوبة 19-44 ملم ينبغي أن تكون الأنابيب من الفولاذ المكربن "Seamless Carbon Steal"، وأن يكون قوياً جداً (عيار 80)، وأن تكون الوصلات من الفولاذ المكربن نوع "Forged Carbon Steal" ، وأن يتحمل ضغط 907.2 كغم، وأن يكون المحبس من الحديد المطروق أو الحديد السكب نوع (363 كغم)، أو دكتايل (136 كغم). ويجب أن تكون جميع الوصلات مسننة أو ملحومة، أو بشفة مثبتة. وإذا كانت مسننة يجب أن تُعالج بمادة بوليترافلوروايثان (PTEE) أو مادة (الثيريج) مكونة من أول أكسيد الرصاص والجلسرين التي تمنع الوصلات من الانفصال. وبالنسبة للمنشآت المثبتة باللحام وقطع الربط فيجب أن يكون لحام قطع الربط من النوع الذي يثبت على المواسير بوساطة الدفع (slip-on-type). كما يجب أن تكون جلدة الحشو من مادة مثبتة على شكل حلقات بسماكة 1.6 ملم، مصنوعة تحت ضغط ودرجة حرارة عاليتين. كما يجب أن تكون البراغي والصواميل مصنوعة من الحديد القوي جداً، وأن تكون ذات أبعاد وتسنين حسب مواصفات الأنابيب ذات الشفة المنبسطة نوع 150. كما يجب عدم معالجة المحابس بالكلورين أثناء التصنيع، وأن تكون أجزاء المحابس هذه موافقة للمواصفات المعتمدة من معهد الكلورين في الولايات المتحدة الأمريكية أو أية منظمة معتمدة.
- يجب تهوية مخزن الكلورين تهوية خاصة، وذلك لتوقع تسرب غاز الكلورين، ويجب تزويد المخزن بشافط هواء على مستوى سطح الأرض، يستطيع تغيير الهواء في المخزن خلال أربع دقائق. ويجب أخذ الحذر لمنع الكلورين من الوصول إلى منطقة قد تسبب الإصابة أو الجروح.
- يجب تنظيف جميع أجزاء جهاز الكلورة قبل تركيبها لأن الكلورين يتفاعل مع الزيوت والشحوم ومواد أخرى، ويمكن استخدام ترايكلورايثيلين أو مادة مذيبة يدخل في تركيبها عنصر الكلور لتنظيف هذه الأجزاء. ويجب عدم استعمال الكحول أو المواد الهيدروكربونية لأنها تتفاعل مع الكلورين. كما يجب أن تكون المحابس جاهزة ونظيفة، ويجب التأكد من ذلك بوساطة هواء أو نتروجين جاف لا يحتوي على زيوت تحت ضغط 10.6 كغم قوة/سم^2. وكذلك يجب فحص أنابيب جهاز الكلورة تحت ضغط 21 كغم/سم^2 قبل تنظيفه بوساطة بخار الماء. وأثناء عملية التبخير، يجب إزالة جميع المواد التي تُكتَشَف والمواد الغريبة الأخرى من الأنابيب. ثم يجب ضغط الهواء أو النتروجين وهي ما تزال ساخنة حسب المواصفات السابقة لفترة ساعتين حتى جفافها، وبعد التأكد من جفافه يجب أن يفحص للتأكد من عدم تسرب الغاز تحت ضغط 10.5 كغم قوة/سم^2.

2.3.6 تمديد الأنابيب

إن صفات جريان غاز الكلورين في الحالة الغازية يختلف عنه في الحالة السائلة، ومع ذلك فإن معادلة دارسي ويسبخ (Darcy-weisbach) تستعمل لحساب حجم أنبوب الكلورين. والشكل 6-2 يبين منحنيات فاقد الاحتكاك (نقص الضغط بـ كغم قوة/سم^2 لكل 100م من طول الأنبوب) لعدة أحجام مختلفة من الأنابيب ذات القوة الإضافية وأنبوب من النحاس بالنسبة لكمية التدفق.



شكل 6-2 فاقد احتكاك الجريان في أنابيب الحديد والنحاس (معادلة دارسي ويسبخ)

كما تم شرحه سابقاً، فإن التغير المفاجئ في كمية تدفق الكلورين يجعل الكلورين السائل يتبخر بسرعة، وهذه الحالة تدعى التبخر الومضي (Flashing vaporisation)، مما يسبب انخفاض الضغط، وبالتالي إعاقة تدفق الكلورين. لهذا السبب فإنه يوصى باستخدام أنبوب بقطر يسمح بانخفاض الضغط إلى 0.058 كغم قوة/سم^2 كل 100م إذا كان طول الخط يزيد عن 150م، وضغط 0.116 كغم قوة/سم^2 كل 100م للخطوط الأقل طولاً.

يتكون الطول المكافئ من الطول الحقيقي للأنبوب بالإضافة الى الطول المكافيء للوصلات وأجهزة القياس (gauges)، والمحابس ... الخ. ويمكن استخدام معادلة هيزن - وليم لتقدير الطول المكافيء للأنبوب وهي:

$$L = 1.98 \times 10^{-6} C^{1.85} kD^{0.87} \left(P/\gamma\right)^{0.15}$$

L = الطول المكافيء (م).

k = معامل دارسي ويسبخ (انظر جدول 6-1).

C = معامل التصريف في معادلة هيزن وليامز (في هذه الحالة أخذت 100).

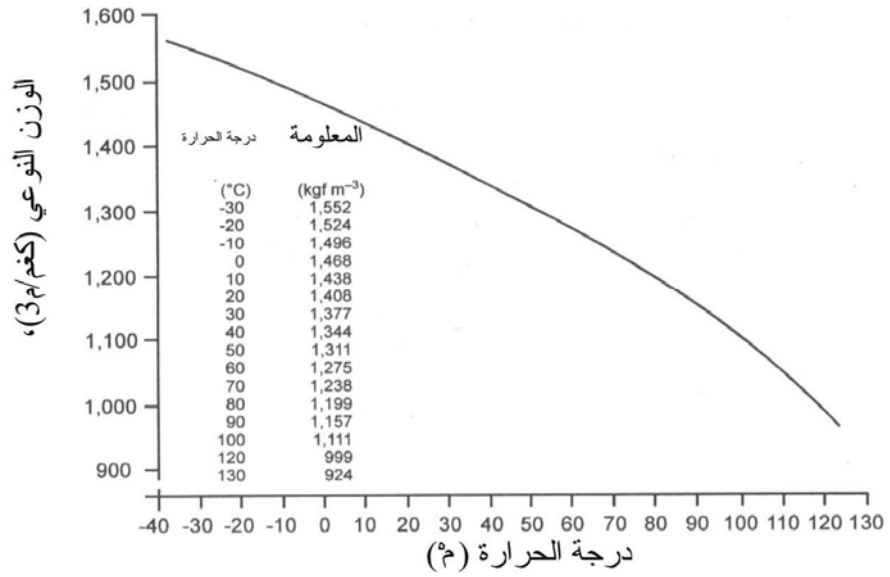
D = قطر الأنبوب (ملم).

P = تدفق سائل الكلورين بالوزن (كغم/الساعة).

γ = الوزن النوعي المشبع لسائل الكلورين(كغم/م^3) مبيَّن في شكل6-3.

جدول 6-1 معدل قيمة معامل الإحتكاك k المستعمل في معادلة دارسي وسباخ لقطع المواسير والمحابس

البند	معامل الإحتكاك	البند	معامل الإحتكاك
كوع عادي مسنن	2	مدخـــل	
كوع 90^{o} مع فلنجة	0.45	مستو مع الحائط	0.5
كوع فاتح 90^{o}	0.4	بارز للداخل	1
كوع مسنن 45^{o}	0.4	محبـس مفتـوح	
كوع فاتح 45^{o} مع فلنجة	0.2	كرة مسنن	20
تي مسنن - جريان بإتجاه واحد	0.9	كرة بفلنجة	18
تي مسنن - جريان متفرع	1.8	بوابه مسنن	0.35
تي بفلنجة - جريان بإتجاه واحد	0.25	بوابة بفلنجة	0.3
تي بفلنجة - جريان متفرع	1	زاوية مسنن	8
تكبيـر مفاجـئ		زاوية بفلنجة	7.5
d/D $^{1}/_{4}$	0.95	كروي مسنن	0.8
d/D $^{1}/_{2}$	0.6	كروي بفلنجة	0.75
d/D $^{3}/_{4}$	0.2	سدادة مسنن	0.8
إنقـاص مفاجـئ		سدادة بفلنجة	0.75
d/D $^{1}/_{4}$	0.4	غشائي	2.3
d/D $^{1}/_{2}$	0.3		
d/D $^{3}/_{4}$	0.2		



شكل 6-3 العلاقة بين الوزن النوعي ودرجة حرارة سائل الكلورين

يخضع جريان غاز الكلورين لقوانين السوائل الديناميكية، لذلك يمكن حساب فاقد الاحتكاك بدقة في نظام الكلورة باستعمال المعادلات المناسبة للأنابيب. ويمكن استخدام قانون دارسي ويسبخ كما يلي :

$$h_f = \left(fL\ v^2\right) \Big/ (2\ gD\ ) \qquad \text{i}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{0.0084\ fw^2V}{D^5} \quad \text{or} \quad \frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{0.0084\ fw^2}{\rho D^5} \qquad \text{ii}$$

$$P = \gamma h_f \quad v = Q \Big/ S \quad Q = w \Big/ \gamma \quad S = \pi D^2 \Big/ 4 \quad \gamma = \rho g \qquad \text{iii}$$

f = معامل الاحتكاك (رسم مودي كاقتران مع عدد رينولد).

L, D = قطر الأنبوب الداخلي وطول الأنبوب (م).

v = سرعة التدفق (م/الثانية).

g = 8066. 9 م/الثانية^2.

P_2, P_1 = الضغط في الأعلى والأسفل.

w = التدفق الوزني (كغم/الثانية).

ρ = الكثافة أو الكتلة النوعية (كغم/م^3 ، كما هو موضح في الأشكال رقم 6-4و 6-5).

V = الحجم بالنسبة للوزن ($1/\rho$).

Q = التصريف (م^3/الثانية).

γ = الوزن النوعي (كغم/م^3).

S = مساحة المقطع العرضي للأنبوب (م^2).

يمكن إيجاد معامل الاحتكاك f كاقتران بين عدد رينولد (Reynold) والخشونة النسبية للأنبوب باستعمال منحنى مودي (Moody). ويمكن حساب عدد رينولد كماهو موضح لاحقاً. التدفق الوزني يقاس كغم/الثانية، وقطر الأنبوب D بالمتر، واللزوجة الديناميكية μ كغم.ثانية/م^2 .

$$R = \frac{vD}{V} = \frac{\rho 4wD}{\gamma \pi D^2 \mu} = \frac{4w}{\pi g D \mu}$$

ν = اللزوجة الحركية (μ/ρ).

إن اللزوجة الديناميكية μ تتغير مع درجة الحرارة كما هو موضح في شكل 6-6 .

تُوضِّح هذه الفقرة قيم الخشونة للأنابيب : الحديد غير الملحوم عندما يكون جديداً 0.02-0.04، بعد سنة من الاستعمال يصبح 0.06-0.10، وبعد استعمال عدة سنوات يصبح 0.15-0.25، (وذلك لتآكل أجزاء منه)، وإذا كان الأنبوب من النحاس تكون الخشونة 0.0015-0.01، وإذا كان من البلاستيك (PVC) يكون 0.06. يجب ألا يقلّ قطر أنبوب الموصى باستعماله في نقل الكلورين عن 19ملم، وأفضل مادة يصنع منها هو البلاستيك.

عادة توجد أربع حالات في محطات التنقية يتم فيها نقل غاز الكلورين الجاف تحت ضغط معين هي :

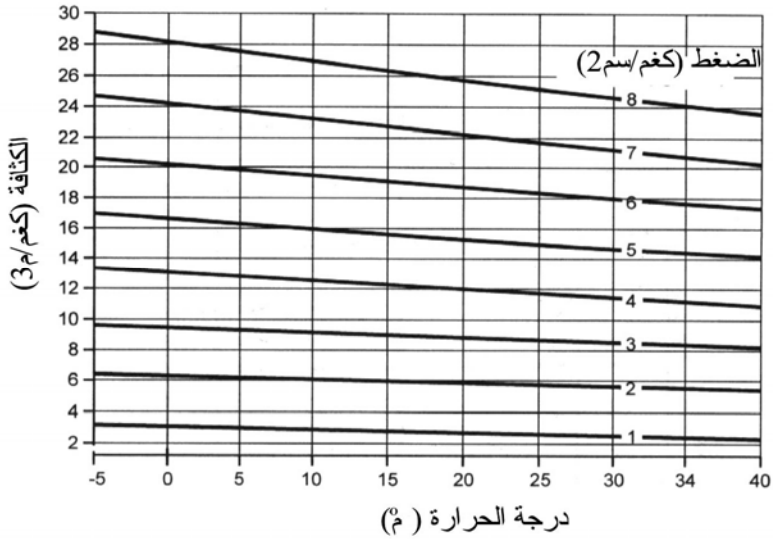
1 أسطوانات الغاز ومحبس تخفيف ضغط الكلورين.

2 محبس تخفيف ضغط الكلورين وجهاز الكلورة.

3 المبخِّر (جهاز التبخير) ومحبس تخفيف ضغط الكلورين.

4 محبس تخفيف ضغط الكلورين وجهاز الكلورة عند استخدام جهاز التبخير.

في الحالة الأولى: P1 هو ضغط غاز الكلورين في الأسطوانة عند درجة حرارة معينة لها، P2 ضغط الغاز عند مخرج محبس تخفيف ضغط الغازالذي يحسِّن عمل جهاز الكلورة، لأنه يقلل من تغيرات ضغط الغاز، ويجعله ثابتاً عند الضغط المرغوب فيه، ويساعد في منع تحول الكلورين من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة. وعادة يتم معايرة المحبس ليعطي ضغط 2.5 كغم/سم^2. والضغط المتوفر لحساب حجم الأنبوب هو الفرق بين الضغط الخارج من المحبس، وضغط غاز الكلورين عند أقل درجة حرارة للجو. وهذا الفرق عادة يكون كبيراً. وإذا كان الأنبوب قصيراً نسبياً فإن حجم الأنبوب بالاعتماد على الحسابات سيكون صغيراً، وسرعة جريان الكلورين في الأنبوب ستكون عالية جداً. يوجد انخفاض كبير في الضغط بالإضافة إلى تمدد الأنبوب السريع، نتيجة امتصاص الحرارة من الهواء. لتجنب تكوّن الثلج على سطح الأنبوب الخارجي، وتحول الكلورين إلى الحالة السائلة فإن السرعة يجب أن تكون باستمرار أقل من 10م/ث، علماً بأن أقل حجم للأنبوب الموصى باستعماله هو 19 ملم، وهو كافٍ لنقل حوالي 3000 كغم من الكلورين في اليوم.

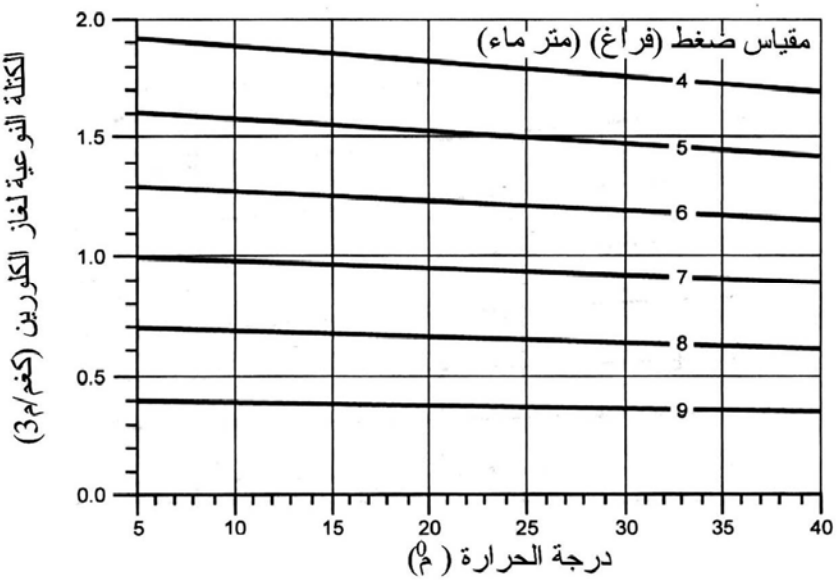


شكل 6-4 تغيرات الكثافة مع درجة حرارة غاز الكلورين

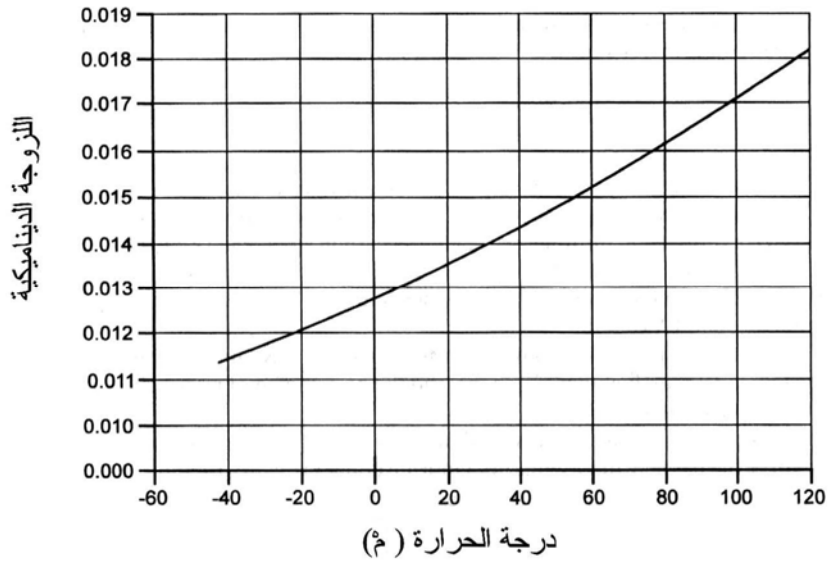
الحالة الثانية: كما في السابق P1 هو ضغط الكلورين الخارج من محبس تخفيف ضغط الكلورين. P2 هو أقل ضغط مطلوب لتشغيل جهاز الكلورة. تنخفض درجة حرارة الغاز مع الانخفاض المفاجئ للضغط عند محبس تخفيف ضغط الكلورين، لذلك فإن كثافة الكلورين تقل وسرعته تزيد. والسرعة الجديدة يجب أن يتم حسابها باستعمال أقل ضغط لازم لتشغيل جهاز الكلورة عند درجة حرارة الجو.

الحالة الثالثة: P1 هو ضغط الكلورين الخارج من جهاز التبخير. P2 ضغط الكلورين الخارج من محبس تخفيض ضغط الكلورين، حيث درجة حرارة الغاز تساوي 37 م°، لذلك تكون الكثافة 20.34 كغم/سم^3 عند ضغط 70كغم/سم^2، واللزوجة الديناميكية تساوي 1.408×10 ^{6} كغم/م^2/ث. بعد حساب حجم الأنبوب بوساطة عدد رينولد والمعادلة المحسنة لدارسي ويسبخ على المصمم التأكد من سرعة الكلورين.

الحالة الرابعة: P2 هو أقل ضغط غاز ممكن لتشغيل جهاز الكلورة، وP1 ضغط الغاز الخارج من محبس تخفيف ضغط غاز الكلورين. عادة يكون الأنبوب قصيراً ويكون مصمّماً على أساس أن متوسط سرعة الجريان لا تزيد عن 9 سم/ث، باستخدام درجة حرارة الجو لتحديد كثافة الغاز. يزداد تناقص ضغط الغاز مع ازدياد سرعة الجريان تزايداً أسياً (exponentially). وانخفاض الضغط يزيد من حجم الغاز الذي يؤدي إلى زيادة أكبر في السرعة، وانخفاض الضغط (نقصان الاحتكاك)، وللتحكم بهذه المشكلة يجب أن لا يزيد متوسط سرعة الجريان على القيمة المذكورة.



شكل 6-5 مقياس ضغط حسب كثافة ودرجة حرارة غاز الكلورين



شكل 6-6 العلاقة بين اللزوجة الديناميكية ودرجة حرارة غاز الكلورين الجاف

3.3.6 الحاقن

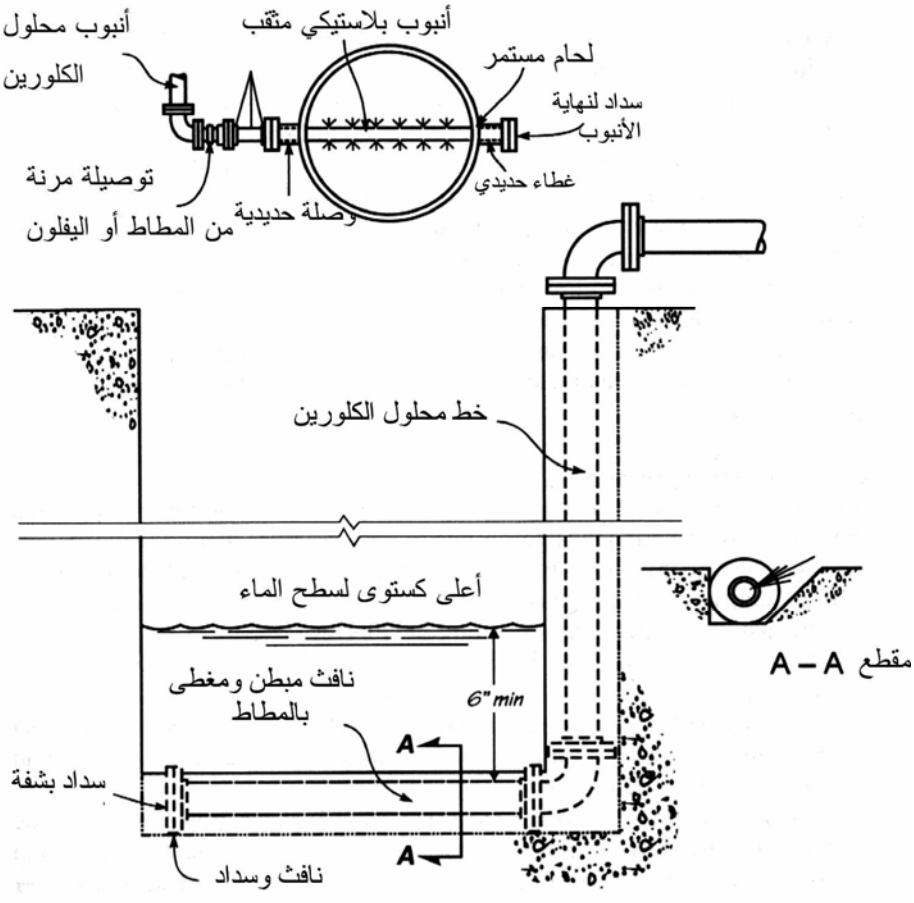
يجب توخي الحذر الشديد أثناء تصميم خطوط الكلورة، لأن التعامل هنا يتم مع غاز الكلورين الجاف تحت الفراغ، (أثناء جريان غاز الكلورين بين جهاز الكلورة والحاقن) ، ولا سيّما عندما يكون الحاقن بعيداً عن جهاز الكلورة. حيث أن الحاقن يصمم حتى يوفر فراغ بما يعادل ضغط سالب لعمود من الماء بارتفاع 8.5 م، ولكن بسبب التسرب، وأسباب أخرى من الناحية العملية لا يتم الحصول على أكثر من فراغ 5.5 إلى6.5 م ماء. ليتم التشغيل بشكل مناسب فإن فراغ بمقدار 3.5 م ماء يكون مناسباً. وعادة يعمل جهاز الكلورة عند فراغ قيمتة 1.7 م ماء، ولكن يفضل أن تكون القيمة ضعف هذا الرقم، وذلك لسحب الهواء وثاني أوكسيد الكربون وجزئيات الكلورين التي قد تتراكم في أنبوب محلول الكلورين، لذلك فإن مجموع فاقد ضغط الماء يجب أن لا يزيد على 2.1 م فراغ ماء.

هناك عدة عوامل تؤثر على حساب حجم الأنبوب، مثل درجة الحرارة والضغط. على سبيل المثال، يوجد لعامل الاحتكاك اقتران مع عدد رينولد الذي يعتمد بدوره على اللزوجة الديناميكية للسائل، والتي تعتمد هي الأخرى على درجة الحرارة والضغط، مما يجعله يعتمد على معادلة الضغط والحجم ودرجة الحرارة، ولهذا فإن الحسابات لها حساسية كبيرة لدرجة الحرارة والضغط، وللأمان يجب افتراض أسوأ الاحتمالات أثناء القيام بالحسابات اللازمة لتحديد حجم الأنبوب. إن تحاليل فاقد ضغط عمود الماء في المعادلة المستعملة، تدل على أن الظروف القصوى هي أقل درجة حرارة ممكنة، مع توفر أقل فراغ يمكن الحصول عليه عند الحاقن، ويقدر بحوالي 4.5 م فراغ ماء.

بالإضافة إلى أن الحاقن مسؤول عن تشغيل نظام الكلورة بشكل عام، إلا أنه أيضاً مسؤول عن ذوبان غاز الكلورين في الماء. ومن هنا تأتي قوته في تطهير الماء. بالاعتماد على درجة الحرارة وعلى صفات الماء، فإن درجة تشبّع محلول الكلورين يبلغ حوالي 3.5 غرام/لتر. عندما يزداد تركيز الكلورين ينفصل عن المحلول كجزيء كلورين، ويظهر إما على شكل غاز يتحد مع الأنابيب تحت ضغط سالب، أو يخرج عند نقطة المخرج حيث يلاقي طريقه إلى الغلاف الجوي. لذلك عندما يكون الحاقن قابلاً للمعايرة، فعلى المشغل مراقبة كمية تدفق الماء في جهاز الكلورة، ليكون على علم بما إذا كان هذا التدفق كافياً لعمل محلول كلورين غير متشبع أم لا.

عادة يتوفر أربعة أحجام من الحاقنات، والأصغر حجماً يبلغ 2.5سم، يحتوي على مخرج ثابت ولكن يمكن استبداله. ويمكن اختيار أجزائه الأخرى بالاعتماد على معدل إضافة الكلورين إلى المياه. وفاعلية الحاقن تحدِّد كمية التدفق وضغط الماء اللازم للتشغيل الذي يحقق الغرض المطلوب. لذلك يتم استعمال مياه ذات نوعية مناسبة. كما يجب على المصمم أن يأخذ في حساباته منحنيات تشغيل نفس الحاقن المستعمل كما ورد من المصنع نفسه.

يشترط أن ينتشر محلول الكلورين في جسم الماء بشكل منتظم حتى يعمل كمطهر للمياه. وهذه النقطة مهمة جداً في تصميم النافث (Diffuser). وعند جريان المحلول بالأنبوب وعلى كامل مقطعه يجب أن يحمل النافث محلول الكلورين في مركز الأنبوب أو على محيطه وذلك بالاعتماد على قطر الأنبوب إذا كان أقل أو أكثر من 0.6 م. وفي كلتا الحالتين فإن عدد رينولد يجب أن يكون على الأقل 2500 لأنبوب يبلغ طوله عشرة أمثال قطره. أما بالنسبة للقنوات المفتوحة فإن النافث يكون على شكل مجموعة من فوهات خراطيم مرنة، أو أنبوب مثقب، يثبت بالقرب من أسفل القناة، ويصمم بحيث تكون فتحة الفوهة أو الثقب على مسافات متباعدة بمقدار يتراوح بين 0.1 و 0.2 م، بحيث يكون سرعة خروج المحلول من هذه الفوهات تتراوح بين 3 و 4.5 م/ث والشكل رقم 6-7 يوضح صفات النافث.



شكل 6-7 بعض الصفات المثالية لناشر الكلورين

3.3.7 غرفة الكلور

عند تصميم غرفة أجهزة الكلورة لا بدّ من الأخذ بعين الاعتبار ترتيبات أجهزة الكلورة، والأجهزة الأخرى الضرورية لها من مدفأة وتهوية وحيز لأسطوانات الكلور وأجهزة التحكم والإنذار.

يشترط أن تتراوح دائماً درجة الحرارة في غرفة الكلورة بين 20و 25°م، ويجب أن يتم تدفئتها إذا انخفضت درجة حرارتها إلى أقل من 10°م. أما مخزن أسطوانات الغاز فيجب أن تكون درجة حرارته أقل من درجة حرارة جهاز الكلورة بـ 5°م، وذلك لمنع تحول غاز الكلورين إلى سائل أثناء انتقاله من الأسطوانة إلى جهاز الكلورة.

قد تكون التهوية الطبيعية كافية لغرفة الكلورة إذا توفر فيها شبابيك أو تهوية مناسبة، للتأكد من أن الهواء فيها يتجدد بشكل دائم، وبحركة مستمرة. على الأقل، يجب أن يتجدد الهواء كل خمس عشرة دقيقة، وإذا ما حدث تسرب خطير للكلور فيجب توفير مروحة شافطة (قرب مستوى سطح أرضية غرفة الكلورة) حتى تستطيع أن تُبَدِّل هواء الغرفة خلال ثلاث دقائق.

يحتوي جهاز الكلورة الذي تحت ضغط سالب على محابس للتحكم بضغط محلول الكلور، أحدهما يكون قبل جهاز قياس التدفق، والثاني بعده. وإذا كان نظام الضغط يختلف صعوداً وهبوطاً بالضغط السالب فيجب استخدام محبس لتحرير الضغط السالب، أو استخدام نظام التشغيل العادي. وحتى يتم نقل أبخرة الكلورين إلى الخارج للتخلص منها لا بدّ من وجود أنبوب تهوية بلاستيكي منفرد لكل جهاز كلورة، ليقوم بهذه المهمة، ويجب أن لا يزيد طوله على 7.5 م. وأن يكون الأنبوب متجهاً للأسفل ومغطى بسلك نحاسي على شكل منحنى، لمنع الحشرات من الدخول، ومائلاً بنسبة 1٪ على الأقل ليصرف المياه المكثفة فيه. كما يجب أن يحتوي كل جهاز كلورة على تهوية خاصة به، ليسَّهل على المشغل أن يحدد الجهاز الذي لا يعمل بشكل طبيعي.

تستخدم أجهزة تسخين عند مدخل غاز الكلورين، وذلك لتقليل ترسبات الشوائب المحتملة، لذلك لا بدّ أن يكون هناك مصدر لتزويد غرفة أجهزة الكلورة بالطاقة الكهربائية.

5.3.6 أجهزة الأمان

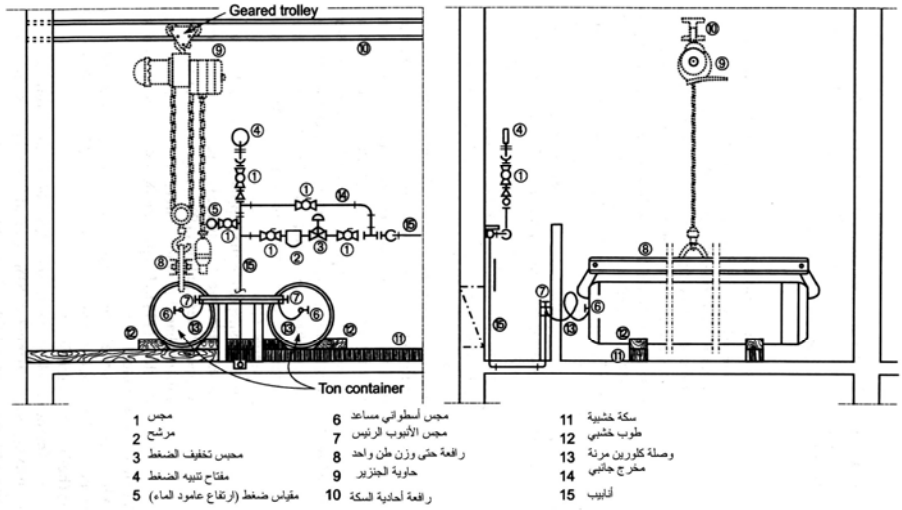
لمنع الحوادث ذات العلاقة بعملية الكلورة لا بدّ من أخذ الاحتياطات اللازمة. لذلك يجب توفير أقنعة غاز وأجهزة حمام قرب غرفة الكلورة لاستعمالها مباشرة، كما يجب توفير جهاز إنذار وجهاز كاشف لغاز الكلور لإعطاء تحذير أولي عند حدوث أي تسرب لغاز الكلورين.

والأجهزة الأخرى التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم أجهزة الكلورة هي:

- *جهاز تحليل الكلور المتبقي*: وهذا الجهاز يقيس الكلورين الحر أو المتحد مع الماء، وعلى المحلل الاحتفاظ بسجل خاص، ويجب تزويد الجهاز بالكهرباء.
- *مرشح غاز الكلورين* : قد يحتوي الكلورين على بعض الشوائب مثل كلوريد الحديد أو هيدروكربون متحد مع الكلور، مما قد يسبب مشكلات في الأنابيب وأجهزة التحكم. ولتقليل عملية صيانة الأجهزة يجب تركيب مرشح غاز في أقرب نقطة من آخر أسطوانة، وعادة يكون قبل محبس تقليل الضغط.
- *جهاز تبخير*: وهذا الجهاز يستخدم عندما يكون من غير الممكن تحويل الكلورين من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تحت الضغط الجوي. فيقوم هذا الجهاز بتسخين الكلورين السائل إلى درجة التبخر ليتحول إلى غاز، وذلك لتجنب عودة الكلور إلى الحالة السائلة.
- *جهاز كشف الكلور*: وهذا الجهاز يجمع عينات باستمرار من الهواء الجوي، حيث يوجد بالداخل مجسات يمكنها الكشف عن غاز الكلورين، حتى لو بلغ حجمه جزءاً من المليون. وإذا ما اكتشف يَنْشط جهاز الإنذار.
- *أجهزة الطوارئ* : تحتوي على مجموعة من الأجهزة لمعالجة التسربات التي قد تحدث سواء أكانت في الأنابيب أم في المحابس أم في الأسطوانة نفسها.
- *جهاز إغلاق أجهزة الكلورة أتوماتيكياً*: عندما ينفذ غاز الكلورين من أسطوانة الكلورين، فإن هذا الجهاز يقوم بالتحويل إلى أسطوانات جديدة، ويقوم بضبط الضغط في الأسطوانات لإعطاء أفضل قيم للتشغيل. ويتم تصميم هذا الجهاز ليستمر في سحب غاز الكلورين حتى بعد إغلاق الأسطوانة الفارغة أو شبه الفارغة، حتى يتسنى استغلال الكلورين بالكامل. ويحمي هذا الجهاز من وجود بعض الشوائب في غاز الكلورين.

6.3.6 أمثلة

لإتمام الناحية العملية للتوصيات التي وضعت في هذا الفصل، فقد تم إضافة بعض الأمثلة لتركيب أجهزة الكلورة وهي موضحة في الأشكال من 6-8 وحتى 6-10.



شكل 6-8 مثال لتركيب جهاز كلورين: غرفة الخزين والتعامل مع اسطوانة الكلورين

الشكل 6-8 يوضح تركيب جهاز الكلورة الذي يستخدم أسطوانات غاز الكلورين (ذات الطن)، وعدد الأسطوانات يعتمد على درجة حرارة الجو وعلى مدى سحب الكلورين، كما تم شرحه سابقاً. فإذا كان استهلاك الكلورين قليلاً فإن أسطوانة واحدة تكون كافية، ولكن لا بدّ من وجود أسطوانة ثانية كاحتياط لمنع انقطاع جريان الكلورين أثناء تبديل الأسطوانة.

يوضح التوصيل إلى المحبس العلوي بأن النظام يزود بغاز الكلورين، وقد تم تزويد الأسطوانة بمحبس مساعد رقم (6) ليسهل التحويل من أسطوانة إلى أخرى، (لمنع دخول الرطوبة في أنابيب نظام الكلورة)، وليعمل على إغلاق المحبس عندما يكتشف جهاز الإنذار أي تسرب في غاز الكلورين. والأسطوانة موصولة بالمحبس رقم (7) بوساطة أنبوب مرن طوله على الأقل 30 سم من المحبس المساعد رقم (6) إلى المحبس الرئيس.

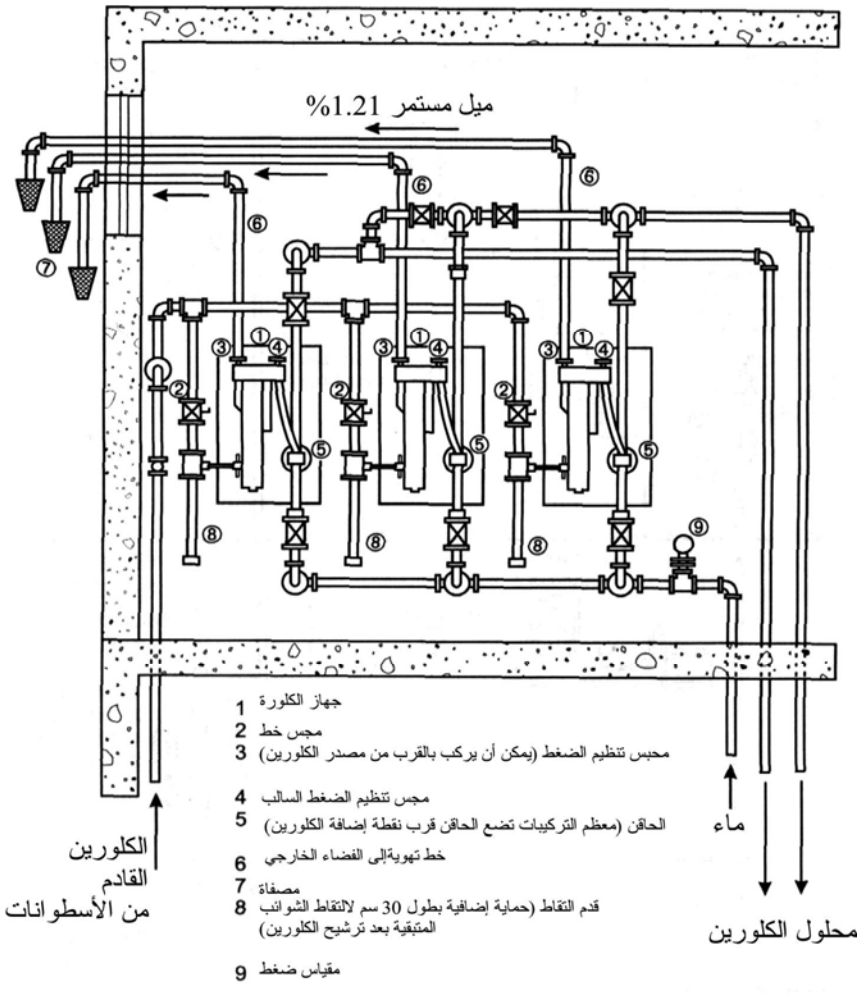
وكذلك يبين الشكل 6-8 زاوية الحديد (7.6 × 7.6سم)، لحماية التشعبات والمرشح (2) لإزالة الشوائب من غاز الكلورين، والمحبس (3) لتخفيض الضغط ومنع غاز الكلورين من العودة إلى الحالة السائلة في أنابيب النظام. ومحبس إنذار الضغط (4) وذلك لتنبيه المشغل عندما يكون من الضروري التحويل من أسطوانة فارغة إلى أخرى مليئة بالكلورين، وجهاز مقياس الضغط (5) ليسمح للمشغل بمراقبة ضغط الكلورين ومعرفة كمية ما تبقى من غاز الكلورين في الأسطوانة. وهناك أنابيب فرعية لا تمر من خلال المرشح رقم (2)، ومحبس تخفيض الضغط رقم (3) يستعمل عند التنظيف أو الصيانة الضرورية. وجميع الأجهزة يمكن فصلها عن طريق المحبس رقم(1).

لنقل أسطوانة جديده من وسيلة نقل الأسطوانات إلى غرفة غاز الكلورين، (تُدوّر الأسطوانة ليصبح محبس الخروج للأعلى، حتى يتم وصله مع نظام التزويد) فإننا بحاجة إلى رافعة كهربائية 2.5 طن رقم (9) والأجهزة مزودة أيضاً برافعة رقم (8) وخط أحادي رقم (10) للرافعة وجسر خشبي مثبت

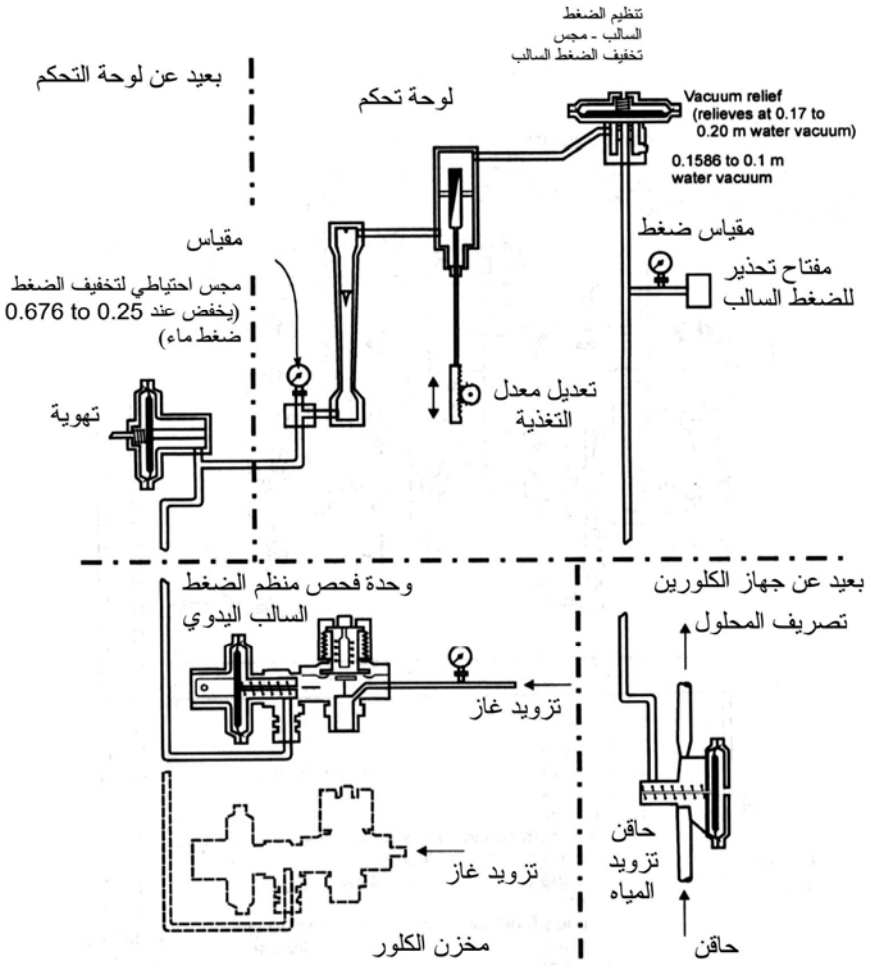
بالأرض رقم (11) وذلك للمحافظة على الأسطوانة جافة، وكذلك مسند في النهاية رقم (12) لحفظ الأسطوانة في مكانها.

يوضح الشكل رقم 6-9 ثلاثة أوضاع ممكنة لأجهزة كلورة صغيرة تعمل بنظام تغذية بضغط سالب حيث يستطيع كل جهاز تزويد 11-227كغم/اليوم عند نقطتين (قبل وبعد الترشيح).

يدخل غاز الكلورين جهاز الكلورة من الأعلى إلى الأسفل عن طريق الأنبوب رقم (8)، ويضاف إلى طول هذا الأنبوب 30 سم من الأسفل، وذلك لتتجمع فيه المواد الشائبة التي قد تكون موجودة في الغاز. إن كل خط تزويد له محبس رقم (2). وفي حالة عدم عمل جهاز الكلورة بالشكل الصحيح فهناك أنبوب خاص لتهوية كل جهاز، رقم (6)، وبذلك يمكن للمشغل أن يحدد في أي الأجهزة يقع الخطأ. يُنتِج الماء أثناء جريانه في الحاقن رقم (5) فراغاً يعادل 0.86 كغم/سم^2 لتحديد تركيز محلول الكلورين لأقل من 3500 ملغم/لتر، ويمكن قياس ذلك بمانوميتر رقم (9) الواقع على خط الماء القادم من مضخة الرفع.



شكل 6-9 مثال تركيب جهاز الكلورين، تفاصيل تمديد أنابيب القياس



شكل 6-10 مثال تركيب جهاز كلورة: عرض عام لجريان الكلور

والجهاز الموجود في الوسط هو احتياطي لجهاز الكلورة ثنائي التغذية، وفي حال تعطل أي جهاز يتم تشغيله ليعطي جرعة محلول الكلورين لأحد النافثين.

الشكل 6-10 يمثل مسار توضيحي لنظام كلورة يعمل بنظام التحكم عن بعد بالإضافة إلى التحكم يدوياً. ويظهر نظام التحكم بوحدة تنظيم الضغط السالب الموجود بالقرب من أسطوانات الكلورين وقرب نقطة استعمال محلول الكلورين (ولهذا يعتبر بعيداً عن جهاز الكلورة).

يبدأ تشغيل جهاز الكلورة بفتح محبس تزويد الماء، وذلك للحصول على فراغ عند الحاقن الذي يقوم بفتح محبس التحكم بالفراغ ومن ثم فتح محبس التحكم بغاز الكلورين للسماح للكلورين بالانتقال من

الأسطوانات إلى الحاقن. وعندما يحصل الغاز على فراغ ثابت، عندها يُغْلَق محبس تقليل الضغط فيوقف جريان الهواء إلى جهاز الكلورة.

عند درجة حرارة محددة فإن حجم الغاز يعتمد على ضغطه، لذلك فإن التحكم بكمية تدفق الغاز تعتمد في المحافظة على كثافة الغاز وسرعه ثابتة عند أي معدل جريان مطلوب. ولجهاز الكلورة محبس خاص يعمل أتوماتيكياً ليحافظ فراغ بقيمة ثابتة، بغض النظر عن جريان الماء في الحاقن. لقد تم تحديد فتحة فوهة الحاقن بدقه للتأكد من جودة مقياس كمية التدفق سواء أكان القياس يدوياً أو أتوماتيكياً.

فإذا كان تزويد الكلورين يتم بشكل متقطع فإن محبس الهواء سوف يفتح، ويدخل الهواء في جهاز الكلورة. وإذا ما زاد الضغط السالب في جهاز الكلورة فسوف يدعو نظام الإنذار للعمل، لأن نقص الكلورين قد يؤدي إلى اتحاد الهواء بمحلول الكلورين مما يشكل خطورة.

ووضع جهاز إنذار بين الحاقن ومحبس التحكم الجزئي بالكلورين، وهذا المحبس يتم تنشيطه (عمله) إما بوساطة ظروف الضغط السالب المترفع أو المنخفض، وذلك للتحذير من فشل التزويد بالمياه، أو لأي ظروف هيدروليكي يضعف الفراغ في الحاقن.

الفصل السابع

تطوير محطات التنقية للحصول على الفائدة المثلى

1.7 تطبيق تكنولوجيا جديدة

حتى وقت قريب جداً، لم يكن هناك طريقة متبعة عالمياً لتشغيل محطات التنقية للحصول على الفائدة المثلى. ونادراً جداً أن يكون هناك تساؤل عن التصميم، أو بذل جهد لتحسين ما قد تم إنجازه لتشغيل محطات التنقية. ومع ذلك ففي السنين الثلاثين الأخيرة حصل فهم كامل للعمليات الفيزيائية والكيميائية التي تحدث في محطات التنقية. وقد استخدمت التكنولوجيا الحديثة، والتي تم تطويرها عن طريق البحوث في مجال التطوير، والاستفادة المثلى من محطات تنقية قائمة. وقد أصبحت هذه المحطات قادرة على إنتاج كميات أكثر من المياه، وجودة أفضل من الوضع الأصلي. وهذه التكنولوجيا اعتمدت على:

- فهم أكثر لعملية الخلط الأولية للمخثر مع المياه الخام، وطرق الحصول على انتشار المخثر بشكل سريع وكامل.
- أهمية أن تكون السرعة متجانسة التوزيع في الوسط المائي خلال الخلط الأولي وأثناء عمليات التندف.
- أهمية استخدام الطاقة بشكل متدرج أثناء عمليات التندف، وذلك للحصول على كتل متخثرة جيدة ليتم ترسيبها لاحقاً.
- معرفة جيدة بإنشاء القنوات الرئيسة، وطرق توزيع المياه من قناة عامة رئيسة إلى عدد من الخزانات أو الأنابيب على التوازي، وكذلك فهم أكثر لتجميع المياه في قناة رئيسة من عدد من القنوات الفرعية أو الفتحات، أو أي نوع آخر من المدخلات.
- تصميم بوابات للمداخل وتثبيت الطاقة الحركية و إنشاء حواجز توزيع المياه الداخلة لأحواض الترسيب، ونظام إزالة المياه المترسبة للحصول على عملية ترويق فعالة.
- استعمال الأنابيب والصفائح لتسريع عملية الترسيب.
- استعمال البوليمر لتحسين الترسيب والترشيح وتقليل جرعة المخثر.
- السيطرة الهدروليكية على عملية الترشيح للحصول على نوعية مياه أفضل، وإنتاج كمية أكبر، والحماية من زيادة عملية الترشيح وذلك نتيجة الأخطاء التشغيلية التي لها علاقة بالتطهير.
- استعمال مادة واحدة أو مادتين في وسط المرشح على عمق كبير، وذلك لتحسين نوعية وكمية المياه المرشحة.
- إعطاء الأهمية الكبرى لإعادة وسط المرشح لوضعه الطبيعي قبل تشغيله بعد عملية الغسيل العكسي الكافي.

هناك بعض العيوب من حيث التصميم أو التشغيل في جميع محطات التنقية العاملة اليوم تقريباً. وهناك عدد قليل من المحطات التي تم تصميمها حديثاً بناءً على معلومات من المختبرات أو محطات

تجريبية. إن عملية تطوير محطة قائمة للوصول إلى الفائدة المثلى ممكنة، وتعتبر العملية مجدية للحصول على كمية مياه أكثر وذات نوعية أفضل.

2.7 الحصول على الفائدة المثلى في محطات التنقية

إن أسرع وأسهل طريقة للحصول على نتائج ممتازة، هي تلك الطريقة التي تهدف إلى الحصول على الفائدة المثلى الممكنة من عمليات التنقية، والتي تحتوي على عمليات فيزيائية وكيميائية. إن أكثر العيوب شيوعاً في نظام معالجة المياه هي:

- *العيوب التي لها علاقة في جرعة المياه الخام.*

وتتمثل في عدم المعرفة الدقيقة والكافية بنوعية المياه الخام، أو كمية تدفق المخثّر، أو تركيز المواد الكيميائية في خزان الخلط، وتتمثل كذلك بإضافة المخثر بتركيز عالٍ أو عند نقطة لا يكون فيها الخلط كافياً، أو عدم نضج عمليات التندف. وإضافة البوليمر في المكان الخطأ، والفشل في إضافة المواد الكيميائية بالتتابع الذي يعطي كفاءة قصوى. كل ذلك يعدّ من العيوب العامة المتعلقة بجرعة المياه الخام.

- *العيوب التي لها علاقة بالتندف والترسيب.*

حيث يكون الوقت المخصص لعمليات التندف إما أكثر من المطلوب أو أقل، وكذلك كمية الطاقة المدخلة، وسوء تصميم مداخل خزانات الترسيب، ونظام إزالة المياه المترسبة.كل ذلك يعدّ من العيوب العامة المتعلقة بعملية التندف والترسيب.

- *العيوب التي لها علاقة بنظام الترشيح.*

عدم كفاية سعة قنوات تصريف المرشح، وعدم سعة نظام الغسيل العكسي. وعدم انتظام الغسيل العكسي ليشمل كافة اجزاء سطح المرشح، وعدم استواء قنوات تجميع المياه الناتجة عن الغسيل العكسي، الأمر الذي يؤدي إلى عدم انتظام تدفق المياه فيها، وكل ذلك يعدّ من العيوب العامة المتعلقة بنظام الترشيح.

- *العيوب التي لها علاقة بالتطهير.*

تعني إضافة الكلورين بعد رفع الأس الهيدروجيني أن عملية التطهير ستكون غير فاعلة، وذلك لأن الكلورين لا يكون في حالة فاعلة عندما يكون الأس الهيدروجيني عالياً.

أن استخدام المخثر أو البوليمر غير الفعال، أو إضافة جرعات خاطئة، أو إضافة الجرعة في الوقت الذي يكون فيه الأس الهيدروجيني غير مناسب، ان كل ذلك يعدّ شكلاً من أشكال الخلل الذي يتسبب به تعاملنا مع المواد الكيميائية وجرعة المياه الخام.

مراقبة كفاءة المحطة، ودراسة سجلاتها إن وجدت تعطي فكرة أولية ممتازة عن كيفية عمل المحطة وكفاءتها في معالجة المياه الخام، والخطوة التالية، هي اختيار برنامج فحص، وعلى الأقل يجب أن تكون الاختيارات على مستوى المختبر، كما تم شرحه في الفصل الخامس، والتي قد تؤدي نتائجه إلى احتمال عمل تجارب تجريبية مناسبة. تعطي كذلك الفحوصات معلومات عن الفائدة المثلى لعمليات المعالجة ومعطيات التصميم التي يجب أن تطبق في المحطة القائمة لإعطاء الكفاءة المثلى.

كما تم عرضه في الأمثلة، لتحسين كفاءة المحطات بعد إجراء تعديلات على وحداتها لتحسين أداء كل خطوة من خطوات عملية المعالجة، فقد أدت إلى فوائد متراكمة، كلما تم تخطي كل وحدة على مدى جميع خطوات التنقية. وعلى سبيل المثال: إذا كانت نوعية المياه الخام قابلة للتحسين، بتغيير عمق

المأخذ أو موقعه، فسوف يؤدي ذلك إلى تخفيف الحمل المباشر على عمليات التنقية، وسيؤدي ذلك إلى توفير في المادة المخثرة وتحسين في نوعية المياه خلال مرورها في جميع خطوات التنقية.

إن الخلط الأولي الجيد، والكمية الصحيحة للمادة المخثرة، وما يتبع ذلك من تكوّن لكتل متخثرة قابلة للترسيب، وإن وجود وحدة ترسيب فاعلة كل ذلك يؤدي إلى تخفيض كبير في عكر المياه المترسبة. على سبيل المثال، من 20 وحدة إلى 3-4 وحدة عكر (NTU)، إن هذا التحسين له نتائج مؤثرة: حيث تصبح جودة المياه المعالجة أفضل بكثير، وأن تركيز المواد الصلبة والبكتيريا والفيروسات ينخفض بنفس نسبة تخفيض حمل الكتل المخثَّرة عن المرشحات، والسبب الرئيس لمشكلات المرشحات سوف يزول. وعند إعادة تشغيل المرشحات ستنتج مياهاً مرشحة ممتازة، وقد ترتفع إمكانية سعة المحطة.

سيتم شرح عمل ثلاث محطات معالجة مياه في الفصول التالية، تم تصميمها أصلاً لمعالجة مياه بتدفق 100 و1000 و20 لتر/الثانية، وقد تم تطويرها لإنتاج 250 و2500 و50 لتر/الثانية. وبالاعتماد على استهلاك الفرد، مع إعطاء قيمة مناسبة خاصة للدول النامية، فإن هذه المحطات قد تخدم مُدناً ذات تعداد سكاني 100000 – 125000، و1000000، و20000 - 25000 على التوالي.

لقد تم إجراء تجارب مختلفة في المختبر لكل محطة من المحطات الثلاث على حدة، للاستفادة من نتائجها، وتطبيقها لدى تصميم التوسعة. وفي جميع الحالات تم اختيار المخثر والبوليمر الأكثر فاعلية بعد أجراء اختبار الجرة، ولدى أجراء اختبار الترشيح المباشر باستخدام ورق الترشيح. لم يتم وصف جميع الحسابات التفصيلية لكل محطة معالجة.

بالرغم من أن تعديل الأس الهيدروجيني ليس ضرورياً عادة، إلا إنه تم تحديد مدى الأس الهيدروجيني ذي الفاعلية الكبرى في عملية المعالجة. إن استعمال مواد كيميائية إضافية عادة يؤدي إلى زيادة حجم العمل المنجز، والكلفة والقدرة على التحكم. لذلك يجب بذل كل جهد لتبسيط العملية بدلاً من تعقيدها. أما إذا دعت الحاجة لزيادة القلوية أو خفض قيمة الأس الهيدروجيني فإنه من المفضل أن تستمر في عملية التخثير حتى لو كانت قيمة الأس الهيدروجيني ليست المفضلة. لأن تكون الكتل المخثَّرة وترسبها لن يكون مختلفاً بشكل كبير، ولن تختلف كمية المخثر المطلوبة أيضاً.

في المحطات القائمة، ولدى إضافة المخثر في منطقة اضطراب لا تؤمن انتشاراً جيداً، يكون الخلط الأولي للمخثر عادة مختلاً بشكل عام. ولا سيّما إن المخثر دائماً يضاف بتركيز أعلى من التركيز المفضل، الذي يتراوح ما بين (0.5-1.0٪).

أما المعطيات الأخرى الهامة فهي: مدة التندف، والخضخضة المتجانسة الكافية، ومدْخَل الطاقة. إن التفاصيل الأكثر دقة يمكن إيجادها بسرعة باستخدام اختبار الجرة في المختبر، وهذا ما تم استخدامه في رفع كفاءة كل من المحطات الواردة في الأمثلة السابقة. إن فترة التندف المفضلة عادة ما تكون بين 18-30 دقيقة، (بالاعتماد على درجة حرارة الماء)، وأفضل نصيحة هي أن تكون معتدلاً. وهذا يعني أن تختار زمن تندف ما بين 25-30 دقيقة.

عادة ما يتم استهلاك طاقة الخلط بطريقة متدرجة. وعادة يمكن إنجاز عملية التندف في الدقائق الأولى، وذلك بمعدل تغير السرعة مع وحدة الزمن (خط ميل السرعة) التي قد تصل قيمتها إلى 80-100/الثانية، أما الدقائق التالية التي تتراوح بين 12 و15 دقيقة فتكون قيمة (خط ميل السرعة) فيها 40-50/الثانية، ثم تنخفض إلى 25-30/الثانية، ولتصل في آخر 10-15 دقيقة إلى 18-20/الثانية. ويجب أن يلائم خزان التندف هذه المعطيات. من الناحية التصميمية، يمكن الحصول على الخلط بالطريقة المتدرجة في الخزانات ذات الخلط الهيدروليكي.

عندما يكون هناك خلط ميكانيكي في أحواض منفصلة، فإن تفاصيل الطريقة المتدرجة يجب أن تلائم عدد الخزانات، وقد تم تغطية التندف الهيدروليكي والميكانيكي في الأمثلة المذكورة سابقاً.

إن معدل تغير السرعة مع الزمن (خط ميل السرعة) في الجزء الأخير من نظام التندف، قد أخذ في الاعتبار لدى تصميم جدار حاجز مثقب عند مدخل خزان الترسيب. إن البوابات والمداخل في جدار المدخل قد صممت لتجنب تفتيت (تكسير) الكتل المخثَّرة التي تكونت في بيئة ذات قيمة لـ (خط ميل السرعة) تعادل 20/ثانية. في بعض الأحيان للحصول على فاقد الضغط المطلوب يجب استخدام)خط ميل السرعة(بقيمة عالية خلال ثقوب جدار المدخل، لأن جريان المياه خلال المداخل يتم في ثانية أو أقل. لذلك يوجد هناك خطر قليل على تفتيت الكتل المخثَّرة. ويعتبر معدل تغير السرعة مع الزمن بقيمة 30/ثانية عند المداخل أمر مقبول.

يتم تحميل خزانات الترسيب لتتوافق مع سرعات الترسيب التي أعطت أفضل النتائج في اختبار الجرار. في الفحوصات المتتالية يجب أن تعطي سرعة ترسيب لإنتاج مياه مترسبة ذات عكر 3-4 وحدات (NTU). وباستعمال الجرعة الصحيحة من المخثر، وبالخلط الأولي الجيد، والتندف الجيد، فإن سرعة الترسيب المثلى تكون عادة بين 3-3.5 سم/دقيقة. ومن الممكن أن تصل إلى 2.5-4.0 سم/دقيقة، وذلك تبعاً لنوعية المياه الخام. وعلى أية حال، فإن الأحواض الحالية أو الجديدة يتم تحميلها بمدى أمان ملائم. فإذا أعطت الفحوصات مدى 2.8-3.3 سم/دقيقة لإزالة العكر بدرجة مقبولة، فإن التطبيق الأفضل هو استعمال سرعة لا تزيد عن 2.8 سم/دقيقة.

إن فرضية استعمال الترشيح المباشر في المختبر مهمة جداً. فإذا انخفض عكر المياه المخثرة بشكل واضح باستعمال ورق الترشيح لوحده، فإن الترشيح المباشر يصبح مجدياً. وإذا كان عكر المياه الخام ثابتاً وكذلك لونها، لفترة كافية من العام، فهذا يعني أن محطة التنقية التقليدية يمكن أن تعمل بالترشيح المباشر خلال تلك الفترة. وهذا الاحتمال قد استعمل في أحد الأمثلة السابقة.

3.7 معلومات تصميمية

لتحسين كفاءة محطة تنقية قائمة، لا بدّ من الحصول على مجموعة من المعلومات لاستخدامها في المعادلات اللازمة للقيام بالحسابات الهيدروليكية، والحسابات الأخرى المتعلقة بمعظم أجزاء المحطة. (وقد اعتمدت هذه الطريقة في تحسين كفاءة المحطات الثلاث في الأمثلة السابقة).

1.3.7 هدارات

هدار مهوَّى مستطيل الشكل وذو حافة حادة.

$$Q = 1.838 \quad l \; h^{3/2}$$

حيث:

Q = التدفق (م^3/الثانية)

l = الطول (م)

h = عمق الماء فوق الهدار (م)

وللهدار الثلمي أو المثلثي

$$Q = 13265\left(\theta/2\right) h^{2.47}$$

$= Q$ التدفق (م^3/الثانية)

$= \theta$ زاوية الثلمة أو زاوية الهدار المثلثية

$= h$ العمق (م)

2.3.7 القنوات

$$Q = Av = \frac{AR^{2/3} I^{1/2}}{n}$$

Q = التدفق (م^3/الثانية)

A = المساحة (م^2)

R = نصف القطر الهيدروليكي

I = الميل (م/م)

n = معامل الخشونة (للخرسانة 0,013)

v = السرعة (م/الثانية) $(R^{2/3} I^{1/2}) / n$

3.3.7 الفتحات

$$Q = C_d \; A \; \sqrt{2gh}$$

$$C_d = 1 \Big/ \sqrt{15 + Kl/d}$$

Q = التدفق (م^3/الثانية)

C_d = معامل التدفق

A = المساحة (م^2)

K = معامل الخشونة (دارسي)

d = قطر الفتحة (م)

l = طول الفتحة (م)

h = ارتفاع الماء فوق حافة الفتحة (م)

للحصول على قيمة خط ميل السرعة للفتحة نستعمل:

$$G = \frac{d_n C_d}{s}\sqrt{\frac{\pi}{8\nu}}\sqrt{\frac{V^3}{l_1}}$$

$$= (d/s)\sqrt{\pi/8\nu C_d^2 \mathrm{X}}\left(V^{3/2}/\mathrm{X}^{1/2}\right)$$

$$= K\left((d/s)V^{3/2}/\mathrm{X}^{1/2}\right)$$

حيث:

$d =$ قطر الفتحة أو القطر الهيدروليكي (م)

$s =$ المسافة بين مراكز الفتحات (م)

$\nu =$ اللزوجة الديناميكية (م^2/الثانية.... عند 20^{o}م = 1 x 10^{-6})

$\mathrm{X}, l_1 =$ طول ممر المياه قبل الاندماج (م)

$V =$ متوسط السرعة في الفتحة (م/الثانية)

$C_d =$ معامل التدفق، يتم الحصول عليه من الجداول الهيدروليكية أو من المعادلة التالية:

$$C_d(submerged) = 1/l\sqrt{\sum\mu + \sum K\left(l/4R_H\right)}$$

حيث:

$\sum\mu =$ الفواقد المحلية (معامل الدخول + معامل الخروج)

$R_H =$ القطر الهيدروليكي

$K =$ معامل الاحتكاك (من رسومات مودي)

4.3.7 قنوات التوزيع الرئيسة

التدفق في قناة (معادلة مانينج)

$$G = \sqrt{\gamma/\mu}\ I^{1/2}V^{1/2} = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu n}}\ R_h^{3/4}I^{3/4}$$

حيث:

R_H = القطر الهيدروليكي

V = السرعة م/الثانية

n = معامل الخشونة (للخرسانة 0,013)

γ = الوزن النوعي

I = الميل (م/م)

μ = اللزوجة الديناميكية (كغم/الثانية/م3.... عند 20م° = 1 ,03 x10^{-4})

5.3.7 إزالة الحمأة هيدروليكياً

$$t = 2V / \left(C_d A \sqrt{2gh}\right)$$

t = زمن التفريغ (الثانية)

V = الحجم (م^3)

C_d = معامل (0,65 في هذه الحالة)

A = مساحة التصريف (م^2)

h = عمق الماء (م)

g = تسارع الجاذبية الأرضية (9,81 م/الثانية^2)

6.3.7 ترسيب بمعدل عالٍ من خلال الأنابيب أو الصفائح

معادلة ياو:

$$\left(V_s / V_\circ\right)\left(\sin\theta + L\cos\theta\right) = S_c$$

S_c = معامل الترسيب لكل نوع من انواع الترسيب، للأنابيب الدائرية ($S_c = 4/3$)، أو للأنابيب التي على شكل متوازي مستطيلات ($S_c = 11/8$)، أو على شكل صفائح متوازية ($S_c = 1$) أو على شكل قناة مفتوحة ($S_c = 1$).

V_S = سرعة ترسيب الجزيئات المراد إزالتها (نفس وحدات $V_\circ$)

V_o = متوسط سرعة التدفق خلال الأنابيب أو الصفائح (نفس وحدات V_s)

θ = زاوية ميلان الأنابيب عن الأفق.

L = الطول النسبي لنظام الترسيب (طول/عرض)

7.3.7 أنظمة التجميع

القنوات التي تحتوي على تدفق متغير بانتظام (متوازي مستطيلات أفقي)

$$Waterprofile = \left[1 + 1/2F_o^2\right]\left[y/y_o\right] - \left[\left(1/F_o^2\right)\left(y/y_o\right)^3\right]$$

حيث:

$$F_o^2 = \left(q^2 l^2\right)/\left(gb^2 y_o^3\right) = Q^2/\left(gb^2 y_o^3\right)$$

F_o = عدد فرويد (إذا كان السقوط حراً فإن F_o يساوي واحد، أو يحسب حسب المعادلة السابقة.

l, b = طول القناة وعرضها.

g = تسارع الجاذبية الأرضية.

y, y_o = ارتفاع الماء على بعد x من المركز أو النهاية العليا، وعند المخرج.

q = التصريف لكل وحدة طول (م3/الثانية/م).

8.3.7 طاقة التندف

يمكن حساب الطاقة المدخلة لكل قيمة من قيم)خط ميل السرعة(حسب المعادلة التالية:

$$P = \mu v G^2$$

P = الطاقة المدخلة إلى المياه (كغم م/الثانية).

v = حجم الخزان (م^3).

μ = اللزوجة الديناميكية (كغم/الثانية/م^3 تساوي عند 20م^o = 1 ,03 x10^{-4}).

إدخال الطاقة بوساطة مروحة:

$$Power\ Number = N_p = Pg_c/N^3 D^5 \rho$$

ويتم تمثيل N_p ب K والتي يتم الحصول عليها من رسم بياني كوظيفة لعدد رينولد والتي تكون للمروحة:

$$R_e = D^2 N_p / \mu$$

gc = معامل نيوتن لحفظ الطاقة (كغم م/كغم الثانية^2).

N = عدد الدورات في الثانية.

D = قطر المروحة (م).

ρ = الكثافة (الكتلة النوعية، كغم الثانية^2 /م^4).

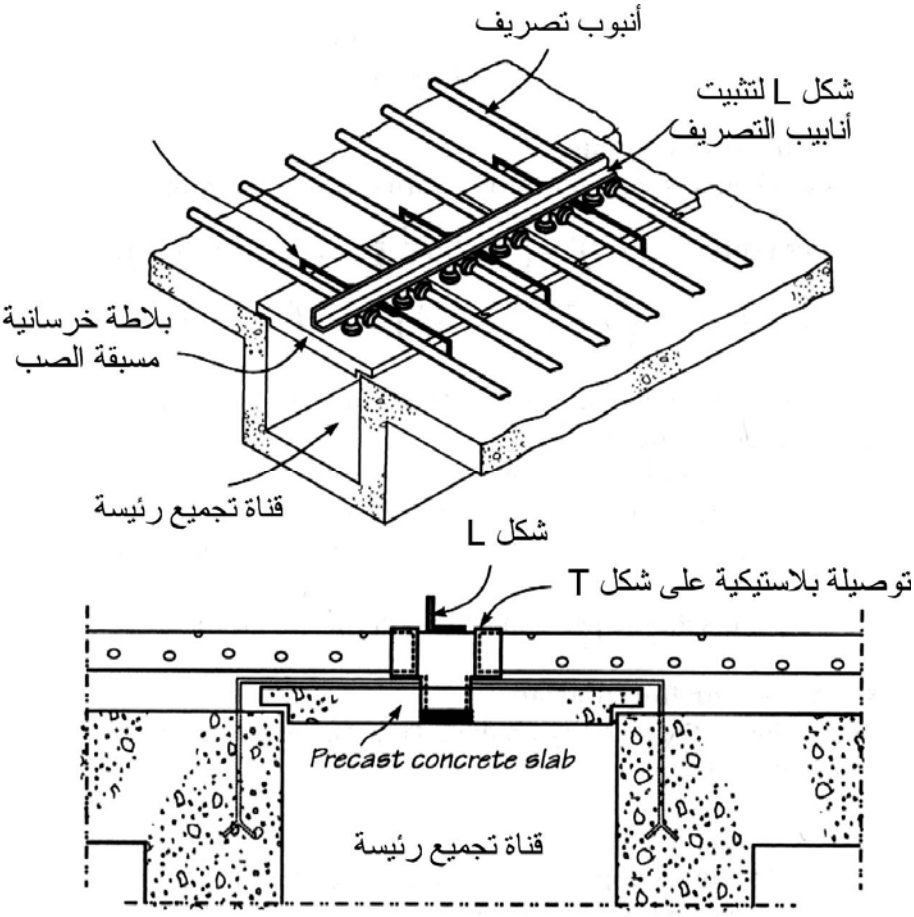
إن العلاقة بين رقم القوة (power Number) وعدد رينولد يتغير حسب نوع المروحة ويتم تحديد ذلك بالتجارب.

9.3.7 تصميم قاع المرشح

من المهم أن يكون ماء الغسيل موزعاً على كامل سطح قاع المرشح بشكل متجانس قدر الإمكان، حتى يتم غسيل جميع أجزاء وسط المرشح بشكل متساو. هنالك أنواع كثيرة من قيعان المرشحات يمكن تصميمها لتأدية هذا الغرض. (انظر الحسابات التصميمية في الفصل التاسع).

القناة الرئيسة والفرعية:

يعتبر هذا النظام من أقدم الأنظمة المستعملة. لقد تم استخدامه بشكل كبير في جميع أنحاء العالم، وهو يعمل بشكل جيد إذا صمم بطريقة هيدروليكية صحيحة. يتم تركيب أنابيب مثقبة متوازية بشكل متسلسل في قناة رئيسة. القطر والمسافة بين الأنابيب والثقوب تعتمد على الحجم والمتطلبات الهيدروليكية للمرشح. معظم الإنشاءات أصلاً مكونة من الفولاذ أو الإسمنت، والقنوات الرئيسة والفرعية مصنوعة من الفولاذ أو حديد الزهر أو من الإسمنت الإسبستي. أما اليوم فإن معظم قيعان المرشحات مصنوعة من الأنابيب البلاستيكية. (انظر الأشكال 7-1 و 7-2).

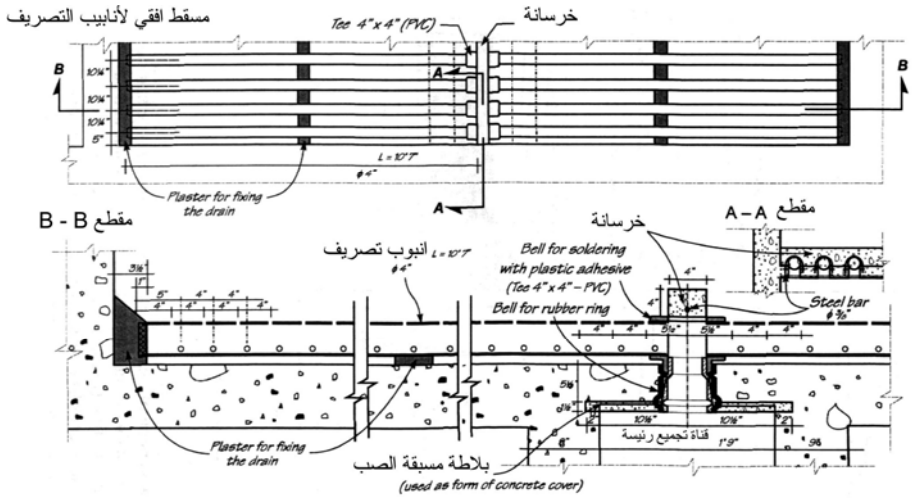


شكل 7-1 مخطط عام لقناة تجميع رئيسة وفروعها في قاع المرشح

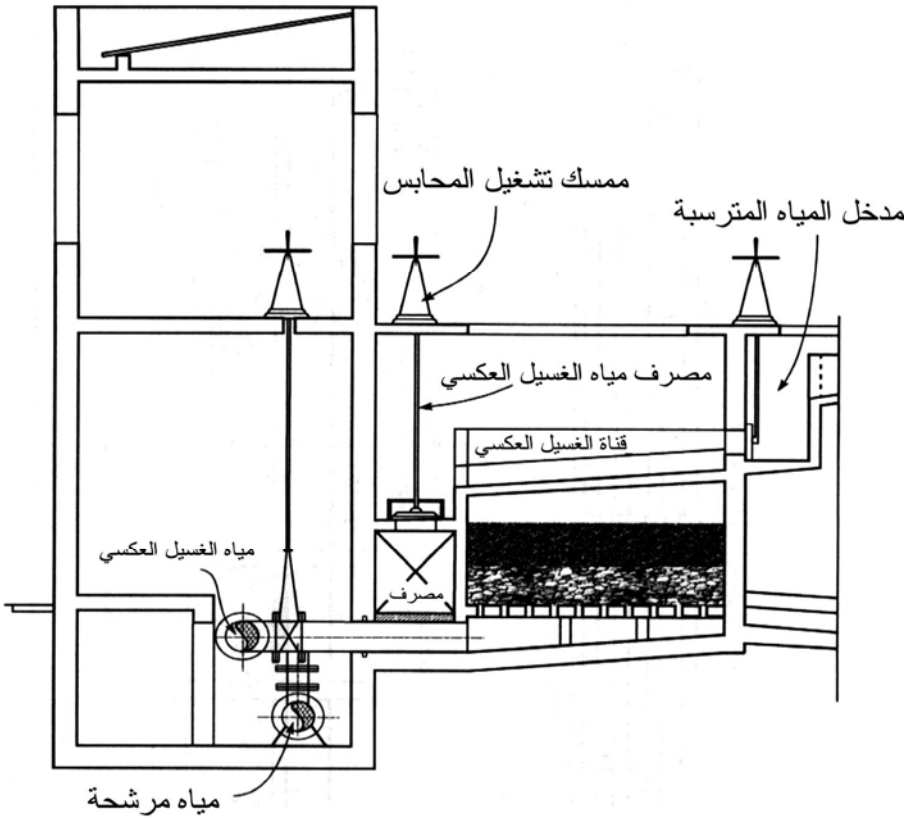
وثمة نوع جديد من قيعان المرشحات، هي القيعان المضلعة، والتي استخدمت لأول مرة في كاليفورنيا. في هذا التصميم، تكون الفروع فيه جنباً إلى جنب، وذات مقاطع إما مثلثية أو شبه منحرفة. (الأشكال 7-3 إلى 7-7). وهذا النظام في القناة الرئيسة يملك صفات هيدروليكية ممتازة: يوفر مجالاً جيداً لغسيل المرشح. حيث يتم تثبيت الفروع بجسر خرساني مسبق الصب مثبت فوق هذه الفروع.

طوب مثقّب مسبق الصنع:

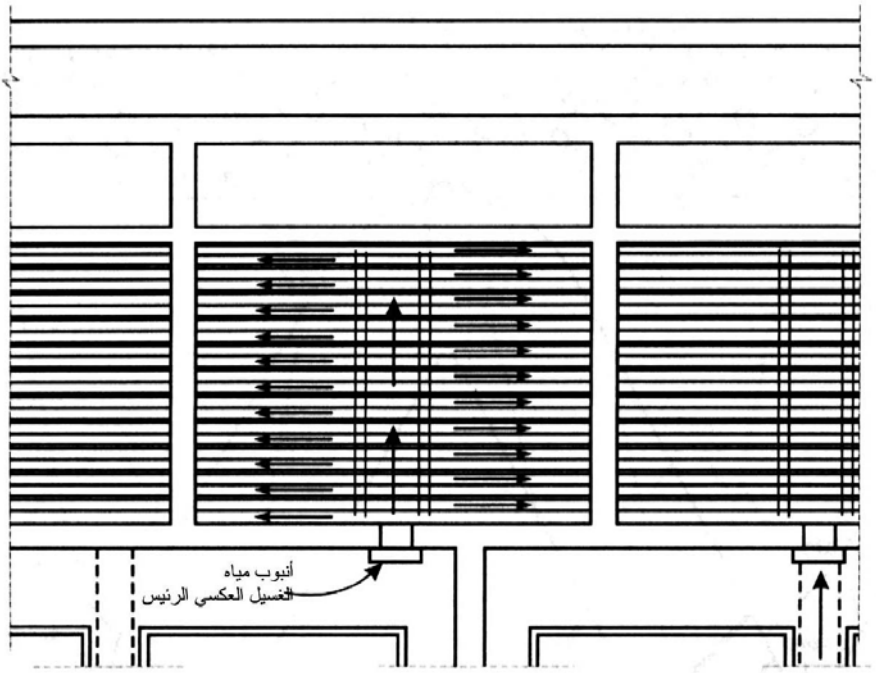
يتكون قاع ليوبولد (Leopold) من طوب بلاستيكي ثنائي الفتحات، له مواصفات هيدروليكية ممتازة، يوفر إمكانية الغسيل بالماء والهواء، وهو واسع الانتشار في أمريكا. ويتم جمع الطوب البلاستيكي إلى بعضه البعض بوساطة حشوات مطاطية. (انظر الشكل 7-8).



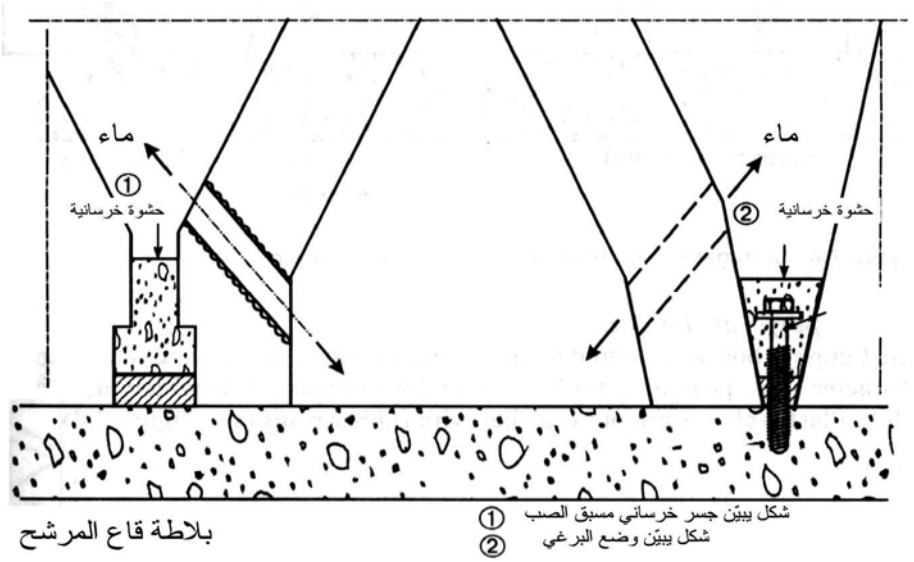
شكل 7-2 رسم تصميمي لقناة تجميع رئيسة وفروعها في قاع المرشح لمحطة تنقية لتزويد مناطق حضرية بالمياه. لاحظ أن القياسات بالقدم والإنش.



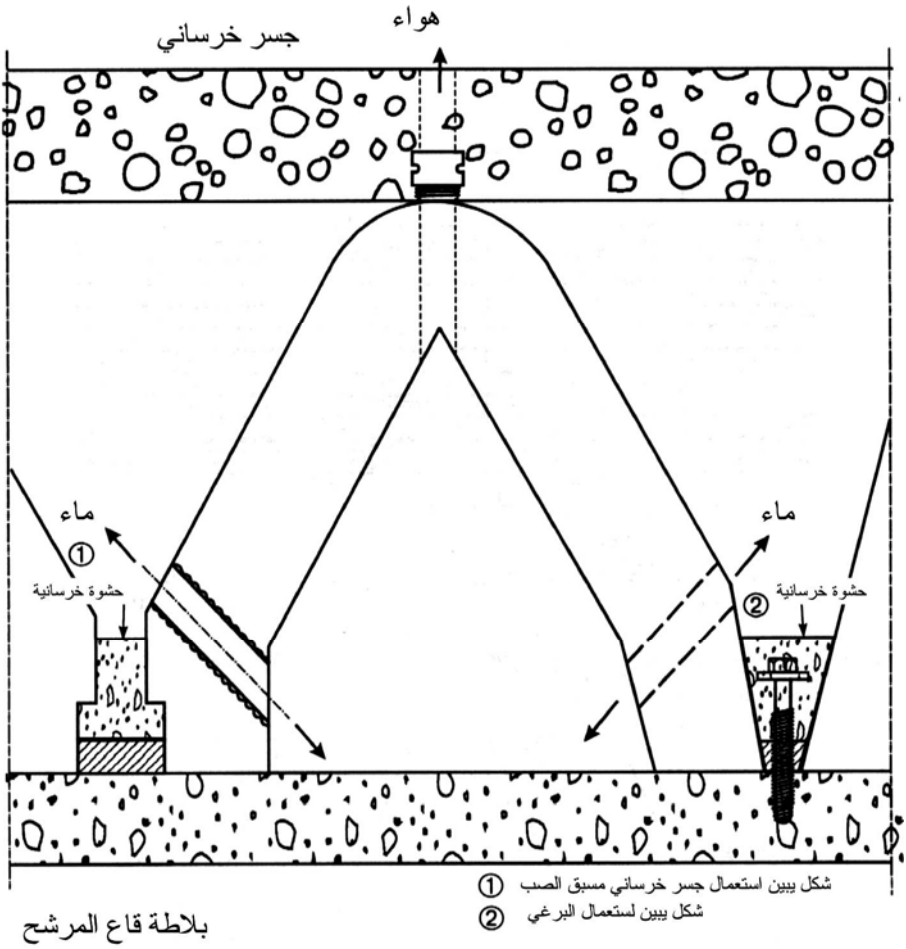
شكل 7-3 محطة ترشيح وتمديدات الأنابيب القائمة



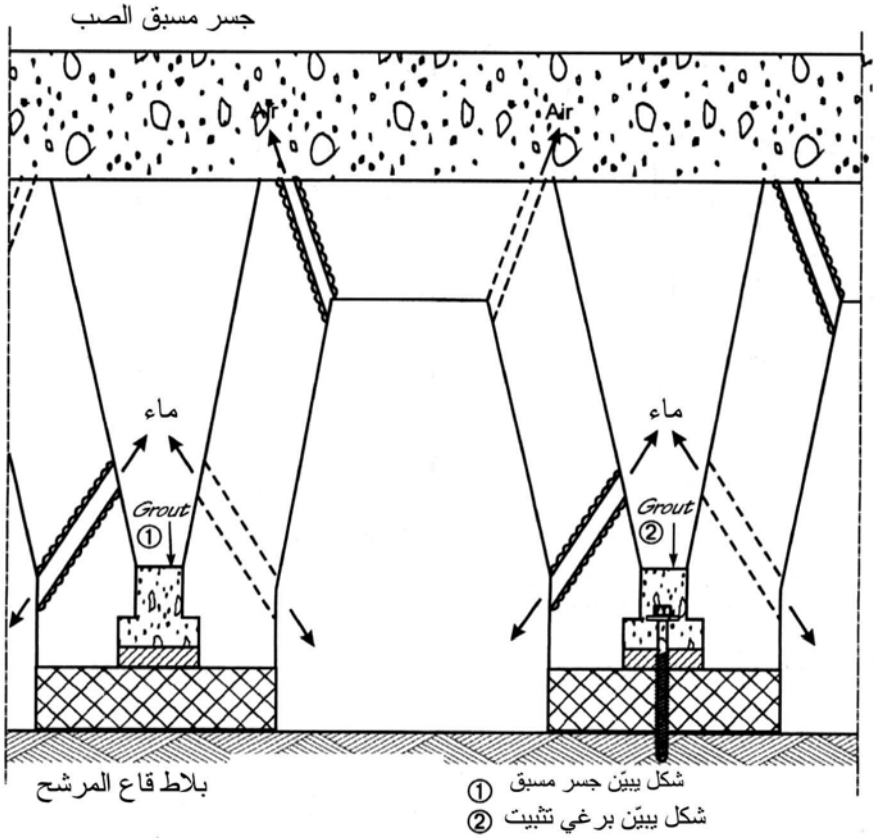
شكل 7-4 مسقط أفقي لقاع مرشح متموج واتجاه جريان مياه الغسيل العكسي



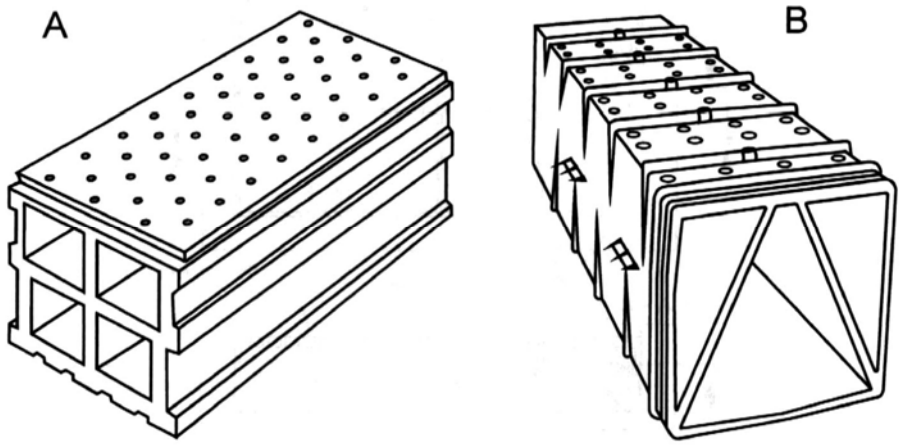
شكل 7-5 قاع مرشح متموج بسعة مياه قليلة



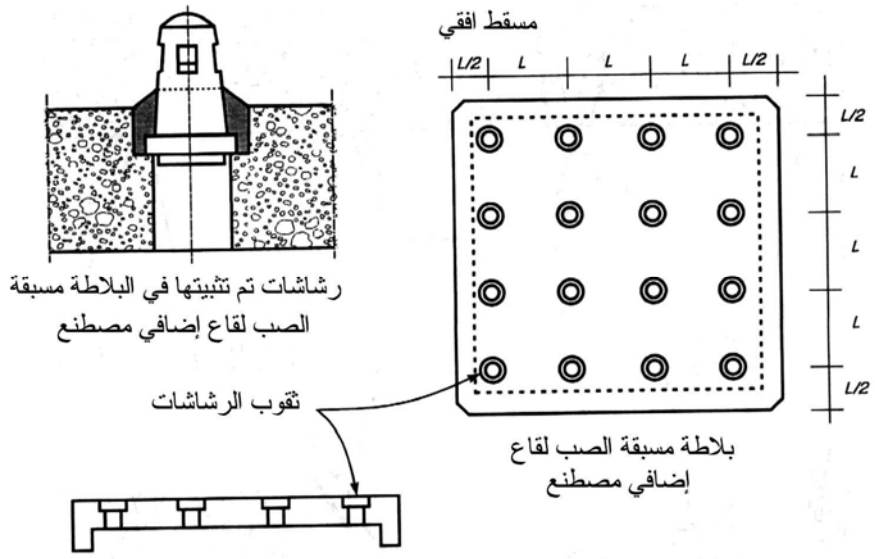
شكل 7-6 قاع مرشح متموج للغسيل بالماء والهواء



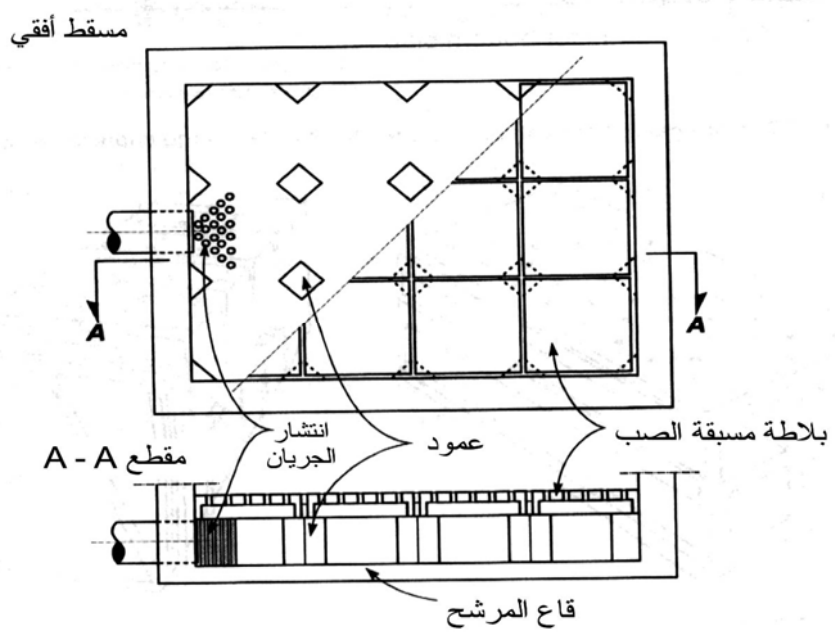
شكل 7-7 قاع مرشح متموج صمم لتوفير سعة كبيرة



شكل 7-8 قاع مرشح من اليوبولد: طوب ذو قنوات متعددة مسبقة الصب



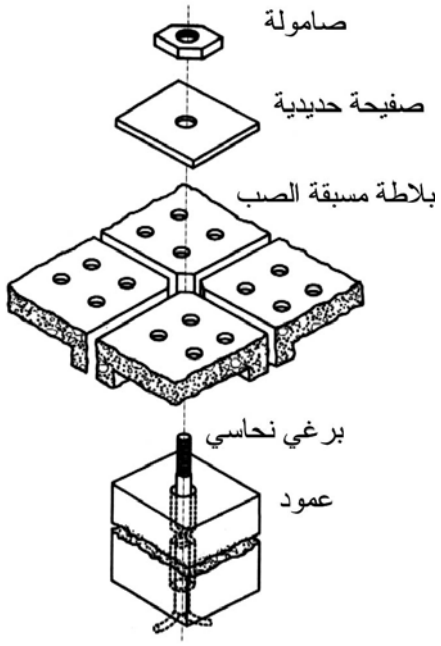
شكل 7-9 قاع المرشح إضافي مصطنع مكون من بلاطة مسبقة الصب مع رشاشات للغسيل العكسي



شكل 7-10 تركيب بلاطة مسبقة الصب مع تثبيت الرشاشات

القاع الإضافي المصطنع ذو الفتحات:

وهذا يحتوي على شرائح من الإسمنت، مثبتة على مساند في قاع المرشح. وتثبت رشاشات على الشرائح الإسمنتية التي تكّون القاع الإضافي المصطنع. صانعو الرشاشات يضعون المواصفات الهيدروليكية لكل من الماء والهواء والمسافات. (انظر الأشكال من 7-9 إلى 7-11).



شكل 7-11 تفعيلة تثبيت البلاط مسبق الصب

الفصل الثامن

الحصول على الفائدة المثلى وتطوير محطة ذات سعة من 100 لتر/الثانية إلى 250 لتر/الثانية

8-1 تقييم محطة قائمة

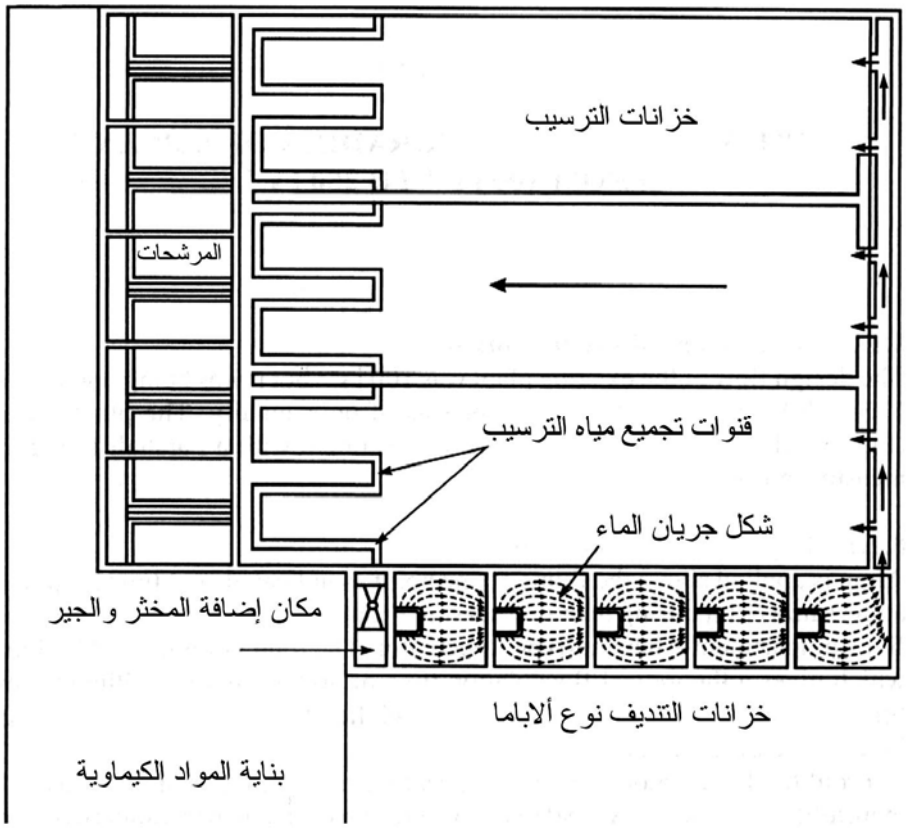
التدفق الذي تم تصميم المحطة القائمة عليه هو 100 لتر/الثانية، علماً انها كانت تعالج مياهاً بتدفق 125-150 لتر/الثانية. وكانت جودة المياه المعالجة سيئة. والشكل 8-1 يوضح موقع وحدات المحطة، وهي عبارة عن محطة بتدفق أفقي مع مقياس تدفق مفيض بارشال.

8-1-1 الموقع العام والأبعاد

يتم إضافة الشب قبل مقياس التدفق كما هو موضح بالرسم، تضاف مادة الشب عند نفس النقطة خلال موسم الأمطار. ومن مقياس التدفق تتابع المياه سيرها إلى خمس حجرات للتندف نوع ألاباما، حيث يبلغ مجموع الحجم الإجمالي 183.75م^3، مما يعطي وقتاً حسابياً للتندف مقداره 30.63 دقيقة. مع أن هذا الوقت كافٍ جداً، إلا أنه يوجد حيّز ميت. مما يتيح مسارات مياه قصيرة في مثل هذا النوع من التندف.

تسير المياه من خزان التندف إلى ثلاثة خزانات للترسيب بوساطة قناة رئيسة بعرض 1.0 م وعمق 0.8 م، حيث تدخل كلّ خزان من خلال بوابتين، كل بوابة بعرض 0.3 م وعمق 0.7 م. وخزانات الترسيب الثلاثة لها عرض 6.75 م وطول 23.7 م. والعمق يختلف من 3.6 م عند المدخل إلى 4.0 م عند تصريف الحمأة و3.0 م عند المخرج. ويوجد حاجز جداري عند المدخل يحتوي على أربع فتحات أفقية على شكل مربع طول ضلعه 1.0 م، وكل مدخل أفقي يحتوي على ثماني فتحات. يتم تجميع المياه المترسبة في ثلاث قنوات طول كل منها 3.75 م. حيث توجد قناة واحدة عند كل جانب من جوانب الخزان، وتوجد واحدة في المنتصف كما هو موضح في شكل 8-1.

تسير المياه المترسبة مباشرة إلى خمسة مرشحات، حيث يبلغ أبعاد كل مرشح 3.75 م × 3.95 م. ويبلغ عمق الرمل في كل مرشح 0.6 م، ويبلغ عمق الحصى الداعم 0.45 م، وتحتوي المرشحات على قيعان إضافية مصطنعة تحتوي على رشاشات، يبعد كل رشاش عن الآخر مسافة 0.2 م من المركز للمركز. وأسفل القاع الإضافي المصطنع يوجد دعامات بارتفاع 0.4م. يتم جمع مياه الغسيل العكسي في قنوات فرعية في قناة تصريف بعرض 0.8 م. ومحبس تصريف الطين بقطر 0.45 م وتدخل المياه المترسبة إلى المرشحات من خلال بوابات منزلقة بمساحة 0.3 م^2، ويتم توزيعها على وسط المرشحات بوساطة قنوات مياه الغسيل.

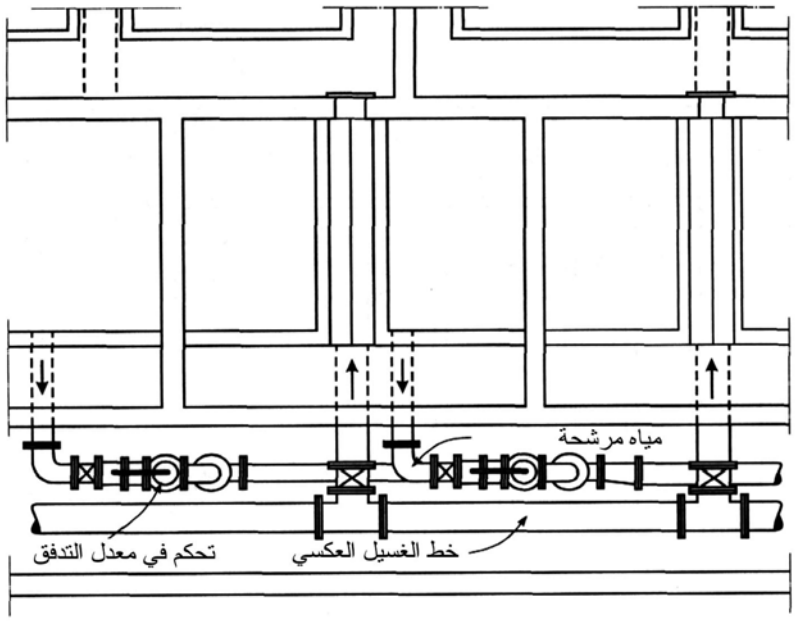


شكل 8-1 مخطط عام لمحطة تنقية قبل التحسين سعة 100 لتر/ثانية

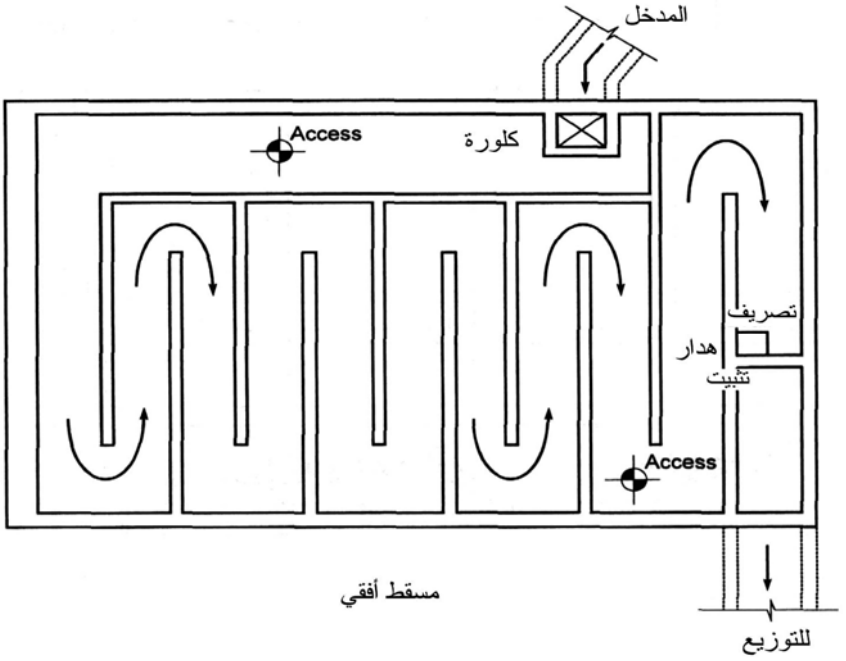
تحتوي المرشحات على خطوط أنابيب منفصلة (شكل 8-2) للمياه المرشحة (بطول 200 م)، وأنابيب مياه غسيل عكسي (بطول 350 م)، وخطوط أنابيب تدفق المياه المرشحة إلى حجرة التجميع ذات الحواجز (بطول 60 م وعرض 8.0 م وعمق 2.5 م) أسفل بناية المواد الكيميائية (شكل 8-3). وتضاف جرعة الكلورين عند مدخل خزان التطهير، الذي يحتوي على حواجز جدارية، لتحقيق أقل وقت مطلوب للتلامس. ويتم إضافة مادة الشب عند مخرج خزان تعديل الأس الهيدروجيني، ثم تجري المياه بالانسياب الطبيعي إلى مضخة رفع، لضخها إلى المدينة. ويتم رفع مياه الغسيل العكسي من خزان السيب النهائي، إلى خزان مرفوع عن سطح الأرض بعشرة أمتار عن قناة تجميع مياه الغسيل العكسي، حيث يبلغ حجم الخزان (85 م^3) ويكفي لفترة 9.5 دقيقة للغسيل عند 0.6 م^3/م^2/الدقيقة.

بناية الإدارة والمواد الكيميائية لها حيز كاف، يتسع لتحضير المواد الكيماوية، وللتخزين والمختبر ومكاتب صغيرة وحمامات ومجمع للعمال ومضخات لرفع مياه الغسيل العكسي.

كما أن وجود سد قبل محطة التنقية مباشرة، يمنع أي تغير مفاجئ في نوعية المياه الخام، التي تختلف بين الفصل الممطر والفصل الجاف. والجدول 8-1 يلخص مواصفات المياه الخام.



شكل 8-2 توصيلات الأنابيب في محطة التنقية قبل التحسين

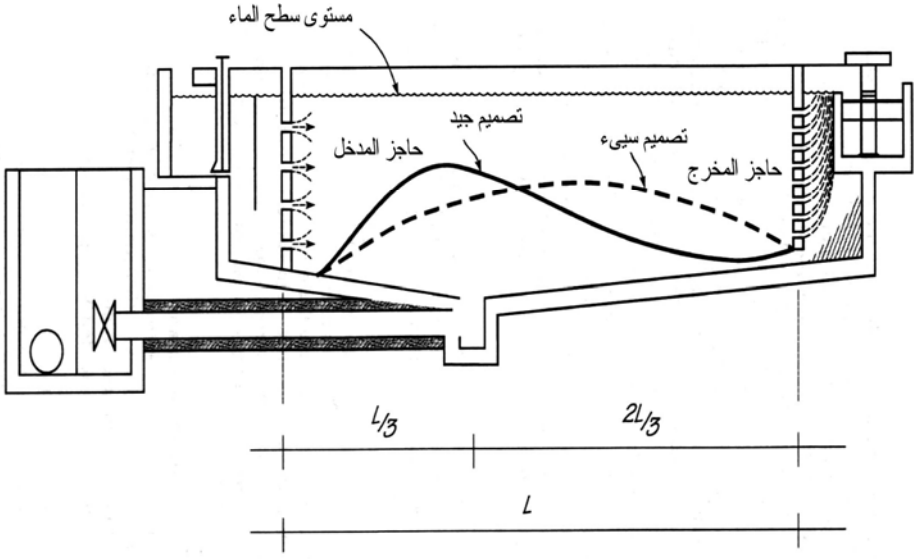


شكل 8-3 مسقط أفقي لخزان السيب النهائي

2.1.8 كفاءة محطة التنقية

يتم قياس تدفق المياه الخام بدقة مقبولة، لكن عمليات السيطرة في المحطة تسير بشكل سيء. ويتم كذلك تحضير محلول الشب من المادة الصلبة لكبريتات الألمنيوم ليتم استخدامه كمخثر. ويمر المحلول من خلال مغذٍّ دون معايرته، لذلك فإن الجرعة تتم إضافتها بشكل غير دقيق، حتى إن الجرعة المضافة بالعادة لا تكون معلومة. ويضاف محلول المخثر إلى مجرى المياه مباشرة قبل المفيض، مما يسبب جرعة زائدة بكمية قليلة لجزء من المياه المتدفقة، وجرعة أقل للجزء الباقي. نظام التندف الموجود من نوع ألاباما يستعمل بشكل سيىء لأنه يوجد فيه مناطق ميتة كبيرة ناتجة عن مسارات مياه قصيرة. كانت نتائج عمليات ترويق عينات تم تندفها في المختبر بعد إضافة جرعة المخثر اليها وتم تندفها في المختبر أفضل بكثير من تلك التي تمت معالجتها في المحطة. وهذا أيضاً ينطبق على عينات تم تجميعها من المياه الخارجة من خزان التندف في المحطة، وتم خلطها بشكل أكثر في المختبر، مما يدل على أن عملية التندف في المحطة القائمة غير كافية. وعند جمع عينات أخرى من خزانات الترسيب أكدت أيضاً وجود مشكلة، وهي الانتشار السيىء للمخثر وقلة كفاءة التندف.

عادة يكون عكر المياه المترسبة 20-25 وحدة (NTU)، وهذه قيمة عالية بالنسبة لمرشحات تعمل بشكل جيد. إن حاجز المدخل لا يعمل على توزيع المياه بشكل متجانس على كامل مساحة مقطع خزان الترسيب. كما تم جمع عينات إضافية من وسط خزان الترسيب، فكان عكر المياه فيها (10-12 وحدة NTU)، وهي أفضل بكثير من المياه الخارجة من الخزان. وكانت الحمأة المترسبة في خزان الترسيب على مستوى واحد تقريباً، وهذا يدل على أن كمية كبيرة من الكتل المخثَّرة يتم حملها مع المياه الخارجة من خزان الترسيب. الشكل 8-4 يظهر شكل الحمأة المترسبة الاعتيادية لكلتا الحالتين الجيدة والسيئة للمياه المعالجة مسبقاً.



شكل 8-4 مقطع طولي لترسيب الحمأة في خزان ترسيب، كمثال على تندف جيد وتندف سيء للماء

جدول 8-1 نوعية المياه الخام خلال الفصل الممطر والفصل الجاف لمحطة تنقية ذات سعة أساسية تساوي 100لتر/الثانية.

	فصل الأمطار			فصل الجفاف		
	أقصى قيمة	أدنى قيمة	المتوسط	أقصى قيمة	أدنى قيمة	المتوسط
العكر	110	75	87	57	15	21
اللون	23	15	17	16	14	6
الحديد(ملغم/لتر)	0.2			057		
عدد القولونات الاجمالية (MPN)	3200			100		
الجراثيم البرازية[1]	20			15		
القلوية (ملغم/لتر)			15			30
كلورايد (ملغم/لتر)			35			35
طحالب	بعض المشكلات في فصل الربيع					

[1] عدد الجراثيم في 100 مللتر

MPN : الرقم الأكثر احتمالا (Most Probable Number)

تعكس عينات المياه المرشحة رداءة المعالجة الأولية، حيث تظهر العكر العالي للمياه المترسبة. فقد كان عكر المياه المرشحة عادة يتراوح ما بين 2.5 و4.0 وحدة (NTU) خلال فترة ما بين 2 إلى 24 ساعة من تشغيل المرشح. وكانت نسبة العكر في البداية أعلى، وفي الفترة ما بين 24 إلى 36 ساعة من دورة المرشح زاد العكر إلى 12 وحدة (NTU)، وهي أعلى بكثير من دلائل جودة مياه الشرب في منظمة الصحة العالمية. إن طول دورة الترشيح تعتمد على التحكم في فاقد ضغط الماء، لاعلى عكر المياه المرشحة.

إن مراقبة المرشح تعطي مؤشراً على رداءة ظروف التشغيل. وإن الآراء تشير إلى أن حركة الحصى والطين يبلغ 1.6-2.3٪، وهي نتيجة عالية جداً. وقد انخفض مستوى الرمل نحو 0.15 إلى 0.18 م في جميع طبقات المرشح، ومعظم الرمل يترسب في خزان السيب النهائي، وهذا ناتج عن انهيار قاع المرشح تحطم الرشاشات، وهي الاسباب التي يعزى إليها رداءة جودة المياه المرشحة وطول فترة الترشيح. إن المشكلة الخطيرة في المعالجة الأولية هي أن معظم المرشحات تعمل بشكل جيد إذا تم تزويدها بمياه مُروقة بشكل مناسب.

3.1.8 تحسين المعطيات عن طريق الخبرة و اختبار الجرة

إن طرق اختبار الجرة تم شرحها في الفصل الخامس. هناك فرق واضح بين نوعية المياه الخام في الفصل الممطر والفصل الجاف، ويتم تحسين المعطيات لكل حالة بشكل منفصل.

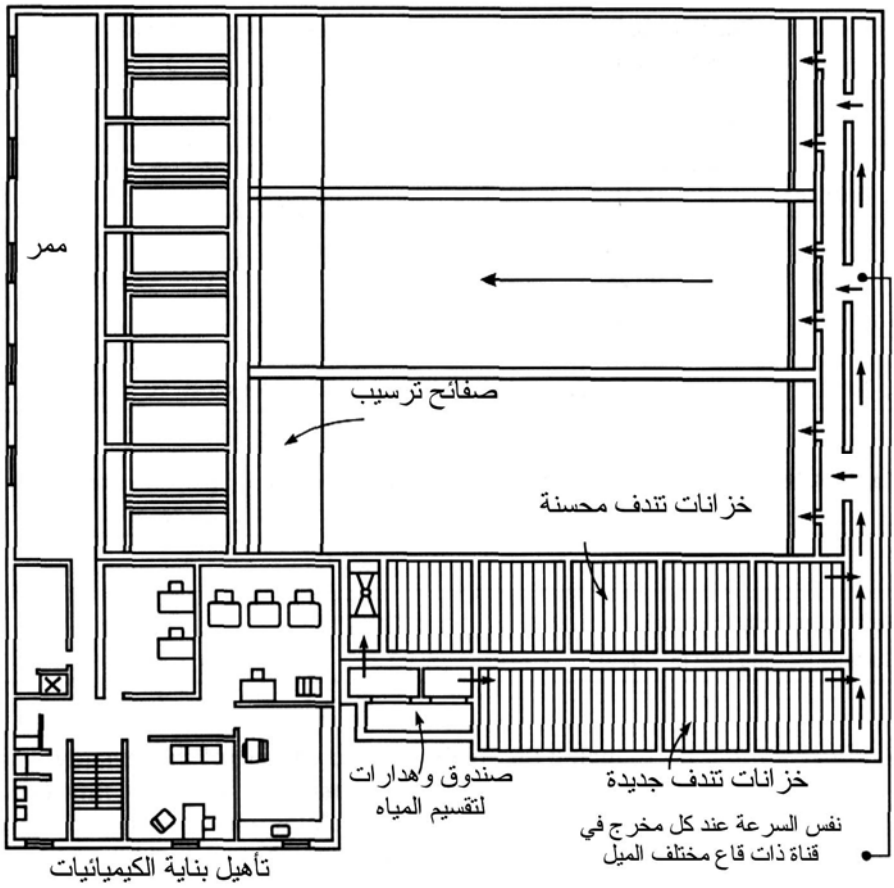
لقد تم استخدام مادة الشب كمخثر لتعطي أفضل كفاءة، حيث إن الجرعة في الفصل الجاف هي 4-16 ملغم/لتر، وفي الفصل الممطر 16-20 ملغم/لتر. لذلك فإن الحاجة إلى الجير تكون فقط في

الفصل الممطر، وبجرعة 5-7 ملغم/لتر. كما أن انتشار محلول الشب المخفف يكون كافياً عند الهدارات عند قيمة لـ (خط ميل السرعة) تقدر بحوالي 1000/الثانية.

إن عمليات التندف والترسيب الموضحة في جدول (8-2) هي الأفضل لكلا الفصلين الممطر والجاف، مع وجود تشابه في كلتا الحالتين. تم تحقيق المعايير المتبعة للمياه المترسبة من مياه مُروقة بعكر قد يصل حده الأقصى إلى خمس وحدات (NTU).

2.8 صفات المحطة المحسنة

بالاعتماد على مخطط المحطة، والمعطيات التي تم تحديدها نتيجة الفحوصات، فقد تم وضع برنامج لتوسيع وتعديل معالجة 250 لتر/الثانية أو زيادة السعة الاسمية للمحطة القائمة مرتين ونصف (انظر شكل 8-5).



شكل 8-5 مخطط عام لتحسين محطة تنقية ذات سعة 250 لتر/ثانية. هذا التحسين على التصميم تم معظمه ضمن الانشاءات القائمة في المحطة.

- ***التخثير***. إن المحطة بحاجة إلى ظروف أفضل للخلط السريع وتجانس المياه الخام مع المخثر
- ***مقياس التدفق***. إن مقياس التدفق مفيض بارشال القائم صغير جداً، ولا يستطيع قياس تدفق 250 لتر/الثانية. والمطلوب هو زيادة استيعاب المحطة لهذه الكمية. لذلك لا بد من بناء صندوق لتوزيع المياه قبل مقياس التدفق، لتقسيم التدفق بدقة كبيرة باستعمال هدار مهّوى ذي حافة (شفة) حادة. وقد تم إضافة المخثر عند الهدار ليدعم الخلط الجيد.
- ***التندف*** : بتقليل العمق الحر، فقد زاد الحجم الفعَّال للخزان القائم ليصبح 192.94 م^3، ولكن الحجم عند أقل زمن مكث (25 دقيقة) يبلغ 375 م^3، لذلك يجب إضافة جهاز تندف جديد بسعة حجم 181.3 م^3 على الأقل. وتم تغذية خزان التندف الجديد وخزان التندف القديم على التوازي، وذلك لنتمكن من استخدام ضغط الماء. أما لو تم وضع الخزانات على التوالي فإن فاقد ضغط الماء سيكون أعلى من ضغط الماء المتوفر. وكانت هناك حاجة لاستخدام الحواجز في خزانات التندف الموجودة وذلك للحصول على تندف أفضل، وللسيطرة على المسارات القصيرة.

جدول 8-2-أ معطيات التندف ذات الفائدة المثلى كما تم تحديدها بوساطة اختبار الجرة (الوقت والطاقة المستهلكة)

الفصل الجاف		الفصل الماطر	
الوقت (دقيقة)	خط ميل السرعة (التدرج) (/ثانية)	الوقت (دقيقة)	خط ميل السرعة(التدرج) (/ثانية)
3-2	60-50	3-2	60-50
5-3	35-45	5-3	45-35
7-5	25-35	7-5	35-25
12-7	15-20	12-7	20-15
المجموع لا يقل عن 22 دقيقة		المجموع لا يقل عن 20 دقيقة	

جدول 8-2-ب معطيات الترسيب ذات الفائدة المثلى (للحصول على مياه مترسبة ذات عكر لا يزيد عن خمس وحدات (NTU)) كما تم تحديدها باختبار الجرة.

	الفصل الجاف	الفصل الماطر
سرعة الترسيب (سم/الدقيقة)	≤ 3.0	≤ 2.76
التحميل السطحي(م^3/م^2/اليوم)	≤ 43.2	≤ 39.6

- ***التندف في قنوات الماء*** : يجب إنشاء قناة جديدة بثلاثة مخارج ليتم توزيع تدفق المياه بالتساوي بين خزانات الترسيب، ولتجنب تفتت الكتل المخثَّرة. للحصول على سرعة جريان ثابتة على طول القناة تم تغذية القناة في أماكن متباعدة على طول القناة، بينما كانت المياه تخرج عن طريق مخارج فرعية.
- ***خزانات الترسيب***: إن المساحة الإجمالية للوحدات القائمة للترسيب الفعلي هي 479.925 م^2، أما المساحة التي من الضروري توفرها للحصول على تحميل سطحي بمقدار 39.6م^3/م^2/اليوم

(2.75 سم/الدقيقة) فهي 545.4 م^2. وبسبب أن متوسط السرعة الأفقية يجب أن يكون تسعة أضعاف سرعة الترسيب لأخف كتلة متخثرة يراد إزالتها (2.75 × 8.97 = 24.69)، فيمكن استخدام صفائح ترسيب أفقية لتساعد على رفع كفاءة الخزانات. يجب أن تكون صفائح الترسيب قرب المخارج، بينما تستخدم الأجزاء الأولى من الخزان للتخلص من الكتل المخثّرة الثقيلة، لاحظ أن متوسط السرعة الأفقية لصفائح الترسيب بوجود تدفق أفقي يجب أن لا يزيد على 10-15 ضعف سرعة ترسيب الكتل المخثّرة.

- ***المرشحات***: إن المساحة الموجودة للمرشحات هي 74.063 م^2، لذلك فإذا كان تدفق المياه المعالجة 0.25 م^3/الثانية، فإن متوسط سرعة الترشيح هي 12.15م/الساعة. وعليه فإن هذا يعتبر قليلاً للمرشحات ثنائية الوسط، وعالية بعض الشيء للمرشحات الرملية. لذلك هناك حاجة لإنشاء مرشحات جديدة. إن مداخل البوابات المنـزلقة، وخطوط أنابيب المياه المرشحة، يجب أن تكون أكبر، وذلك لزيادة كمية التدفق، بالإضافة للحاجة لاستعمال وسيلة مساعدة في الغسيل العكسي.

  وقد تم استعمال الهواء للمساعدة في غسيل وسط المرشحات، كما تم إزالة الرمل والحصى لغسله وإعادة ترتيبه. وتم وضع طبقة الحصى الداعمة بتدرج عكسي وذلك لمقاومة الحركة. وكذلك تم إصلاح قنوات التصريف التي تحتاج لذلك. كما تم إزالة التحكم بمعدل التدفق، وتم تشغيل المرشحات بطريقة التدفق المتناقص، وكانت النتيجة تحسن جودة المياه وزادت فترة دورة الترشيح.

3.8 غرفة المدخل

بتقسيم تدفق المياه الخام، كما تم شرحه سابقاً، فإن مقياس تدفق مفيض بارشال يمكن أن يستعمل بعد أن تم تقسيم التدفق بناءً على سعة خزانات التندف المتتابعة. ولأن الخزان القائم كان أكبر حجماً من الخزان الجديد، فإن الخزان الجديد يجب أن يستقبل تقريباً 52 ٪ (192.9/375) من التدفق الكلي، (شكل 8-6). والمعادلة التقريبية لحساب كمية التدفق من الهدارات المستعملة هي:

$$Q = 1.838\ l\ h^{3/2}$$

Q = مقدار التدفق م^3/الثانية.

l = طول الهدار بالامتار.

h = ارتفاع سطح الماء عن حافة (شفة) الهدار بالامتار.

إن ارتفاع سطح الماء عن حافة الهدار يجب أن يكون تقريباً 10سم، لأن هذا الكمّ من الماء يكفي لتخفيف المخثر من خلال خلطه مع المياه الخام. إذا كان ارتفاع سطح الماء عن حافة الهدار كبيراً جداً عندها يكون انتشار المخثر في الماء سيئ. وتم زيادة كفاءة التدفق تصميمياً إلى 0.25 م^3/الثانية، وقد أثبتت المعادلة أن عرض الهدار بطول إجمالي 3.55م يكون كافياً.

إن إرتفاع سطح الماء أعلى بمقدار 10 سم من حافة الهدار، وهذا مقبول، حيث يمكن تقسيم التدفق على خزانات التندف بصورة ناجحة باستخدام الأطوال التالية للهدارات 1.85 م و 1.70م.

4.8 الخلط الأولي للمخثِّر والمياه الخام

لا يمكن إصلاح الأخطاء في تشغيل محطات معالجة المياه في المراحل الأولى، لذلك فمن الأجدى تهيئة أفضل الظروف بمزيد من الحذر. إن خلط المخثر والمياه الخام يجب أن يكون سريعاً جداً وكاملاً، حتى نهيىء الظروف المطلوبة للتندف خلال هذه العملية. كما إن قيمة (خط ميل السرعة) عند نقطة الخلط يجب أن تكون 1000 إلى 1200/الثانية، وهذه تعادل تقريباً سقوط الماء عن ارتفاع 10-15 سم من أعلى الهدار. (الأشكال 8-7 إلى 8-9).

كما يجب أن يكون موقع النافث بحيث يلامس محلول المخثر المخفف (في هذه الحالة 0.5٪) المياه الخام لأكثر من جزء من الثانية قبل أن يدخل عمليات المعالجة، ويجب أن تدخل المياه المعالجة بسقوط حر، ويفضل ألاّ تقل مسافة السقوط الحر للماء الخام عن 30 سم. وهذا يعطي انتشاراً جيداً لمحلول المخثر في المياه الخام، وينساب محلول المخثر انسياباً خفيفاً على طول فتحة الهدار.

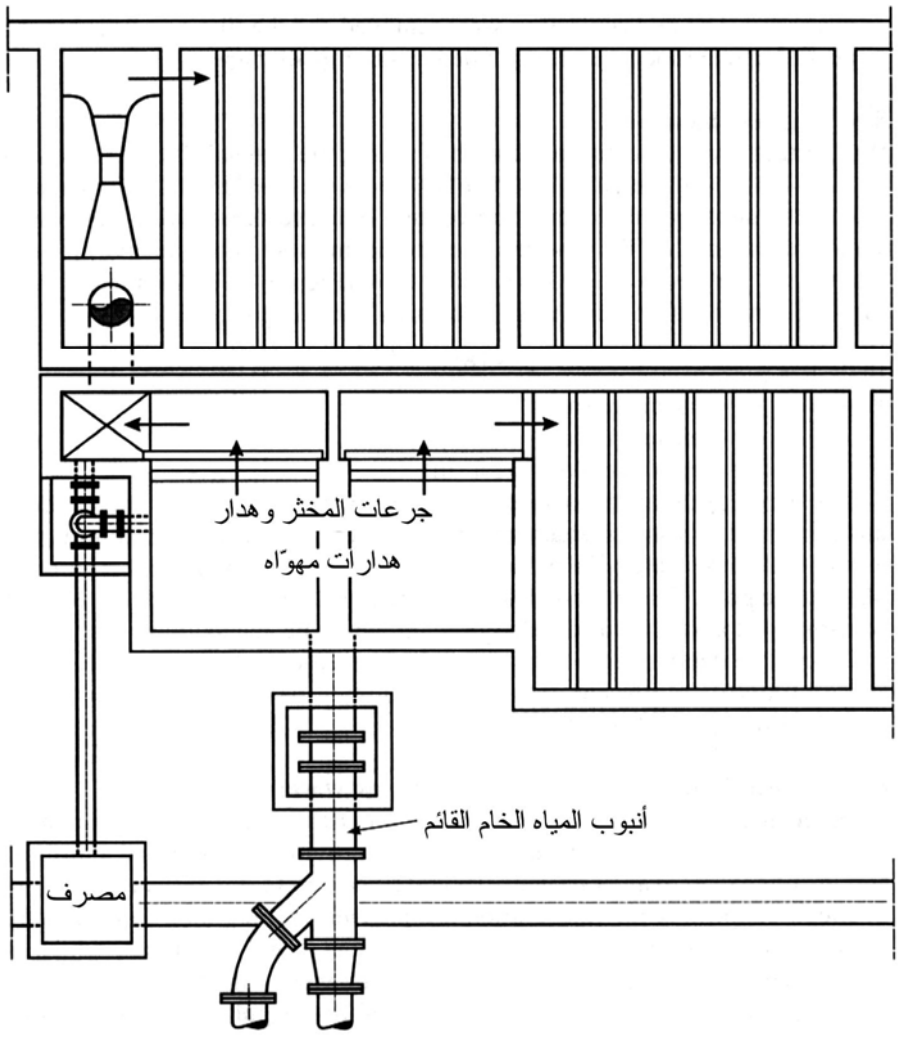
لقد تمّ توزيع كميات المياه الخام على قنوات صغيرة، وذات سماكة قليلة، حيث تنساب هذه المياه خلال هدارات. وكذلك تم إضافة محلول المخثر على طول الهدارات على شكل محلول مخفف جداً لخلط المياه الخام مع المخثر عند منطقة عالية الخضخضة. لذلك فقد تم عمل الممكن للحصول ما أمكن على انتشار كامل وسريع جداً للمخثر في جميع أجزاء المياه الخام، كخطوة مهمة جداً لتجانس تركيز المخثر في المياه. والشكل 8-10 يبين عملية تحضير مادة الشب ونظام تغذيتها على طول الهدار.

5.8 التندف

تتمثل أحدى المشكلات في عملية الخلط الهيدروليكي في انخفاض مستوى سطح الماء نتيجة فاقد الضغط، كلما جرت المياه خلال الخزان. وهذا يمثل كمية الطاقة التي استخدمت في عملية الخلط. فأثناء انتقال المياه خلال الخزان وخاصة عند دورانها حول نهاية جدران الحواجز، يحدث خلط شديد للمياه. تعتمد الطاقة المستخدمة على السرعة وعلى المساحة، حيث تصبح السيطرة على العملية صعبة جداً إذا تغير هذان العاملان. لذلك فإن التصميم التقليدي للحواجز يجب أن يتم تعديله عن طريق الحفاظ على جميع الفتحات مغمورة كلياً تحت سطح الماء. لهذا يمكن أن تتغير السرعة فقط بينما تبقى المساحة ثابتة أثناء جريان المياه خلال الحواجز. وبـهذه الطريقة تكون قيمة خط ميل السرعة معلومة على الدوام، وتحت السيطرة الكاملة. (انظر الأشكال 8-11 و8-12).

يبين الشكل 8-11 الفرق بين التصميمين كما يلي: مع أن مساحة الفتحات في كلا التصميمين متساوية في البداية، إلا أن المساحة 'A لن تتغير مع تغير مستوى سطح الماء. ولوجود علاقة بين السرعة والمقطع العرضي لجريان الماء بتدفق معلوم، فإن سرعة الدوران تكون معروفة، ويمكن السيطرة عليها لوجود علاقة مباشرة بين خط ميل السرعة والسرعة.

يحتاج تصميم نظام التندف الهيدروليكي في البداية إلى توزيع التدفق بين الخزانين الجديد والقديم، ويمكن السيطرة على ذلك من خلال صندوق توزيع يوجد قبل الخزانات، ويمكن تقسيم التدفق إلى 0.13 م^3/الثانية للخزان القديم و 0.12 م^3 للخزان الجديد. لقد كان حجم الخزان القديم 193م^3 (3.5 × 3.5 × 3.15 م × 5)، لقد كان وقت التندف عند تدفق 0.13 م^3/الثانية يساوي 24.74، أو ما يقارب 25 دقيقة. وكان نظام التندف الملائم المحدد بوساطة اختبار الجرة هو 3 و5 و5 و12 دقيقة عند سرعات دوران 55 و40 و30 و20/الثانية على التوالي.

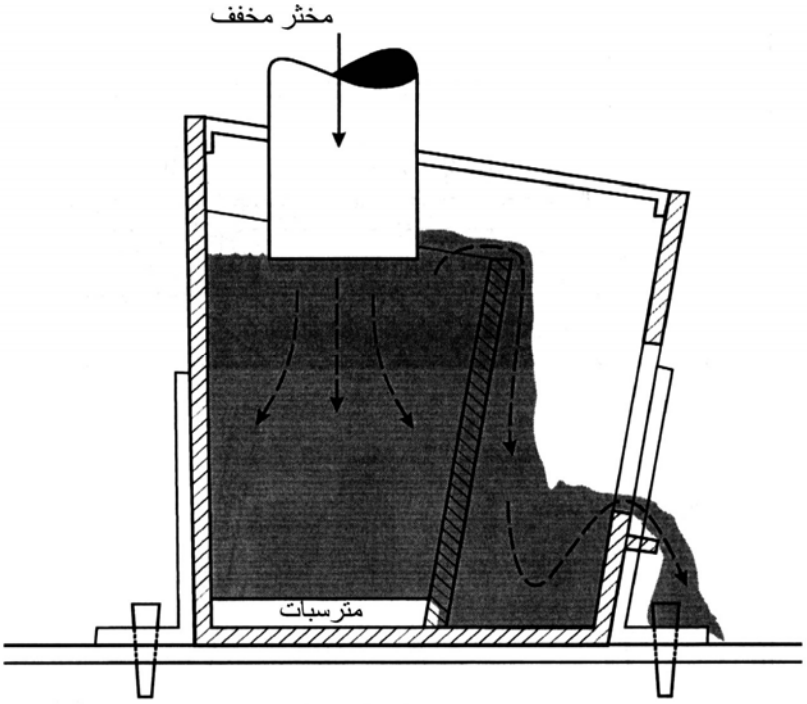


شكل 8-6 صندوق تقسيم جديد وهدارات، مع إضافة جرعات المخثر عند الهدارات للحصول على انتشلر سريع

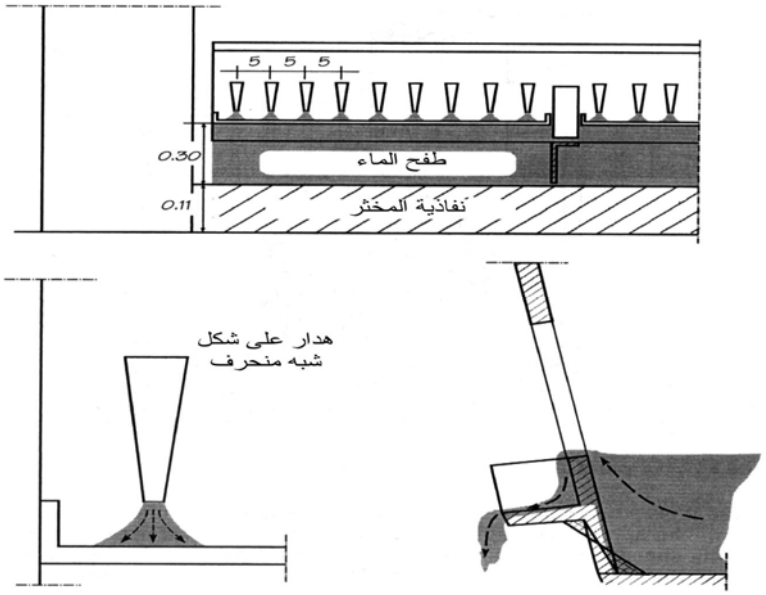
وكانت المسافات بين الحواجز في الخزان (نحو 0.5 م) وهذه المساحة تسمح للعمال بالدخول إلى الخزان من بين هذه الحواجز، وكان عدد الفراغات بين الحواجز 35 (3.5 ÷ 0.5 م لكل من الحجرات الخمسة)، كما أن عدد الحواجز كان خمسة وثلاثين حاجزاً، باعتبار أن جدران الحجرة تعتبر حواجز.

وكانت مدة المكث في كل حجرة 4.94 دقيقة (24.74 دقيقة/5 حجرات)، وبالتالي فقد كان الزمن بين الحواجز 0.705 دقيقة لكل فراغ. لذلك كان عدد الممرات بين الحواجز للمراحل الأربعة من نظام التندف الأفضل 4 (3 دقائق عند قيمة خط ميل السرعة 55/الثانية) و7 (5 دقائق عند قيمة خط ميل

السرعة 40/الثانية) و7 (5 دقائق عند قيمة خط ميل السرعة 30/الثانية) و 17 (3 دقائق عند قيمة خط ميل السرعة 20/الثانية).



شكل 8-7 انتشار المخثر خلال حجرتين



شكل 8-8 تفاصيل لنافث المخثر

ويمكن حساب مساحة فتحات الحاجز لكل قيمة خط ميل السرعة بدمج المعادلتين التاليتين :

$$Q = Av$$

$$G = 1.133v^{1.50}$$

حيث:

$Q =$ التصريف (م^3/الثانية).

$A =$ مساحة الفتحة (م^2).

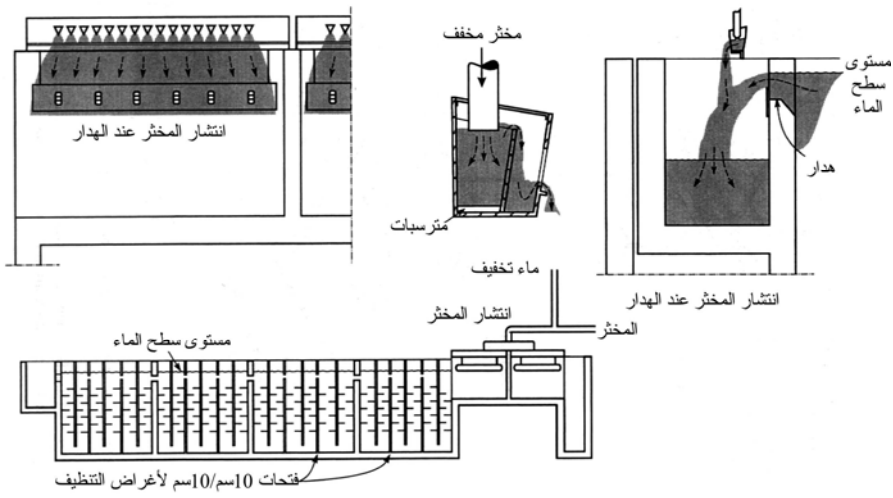
$v =$ السرعة (م/الثانية) التي نحصل عليها من حل المعادلة (ii)

لذلك:

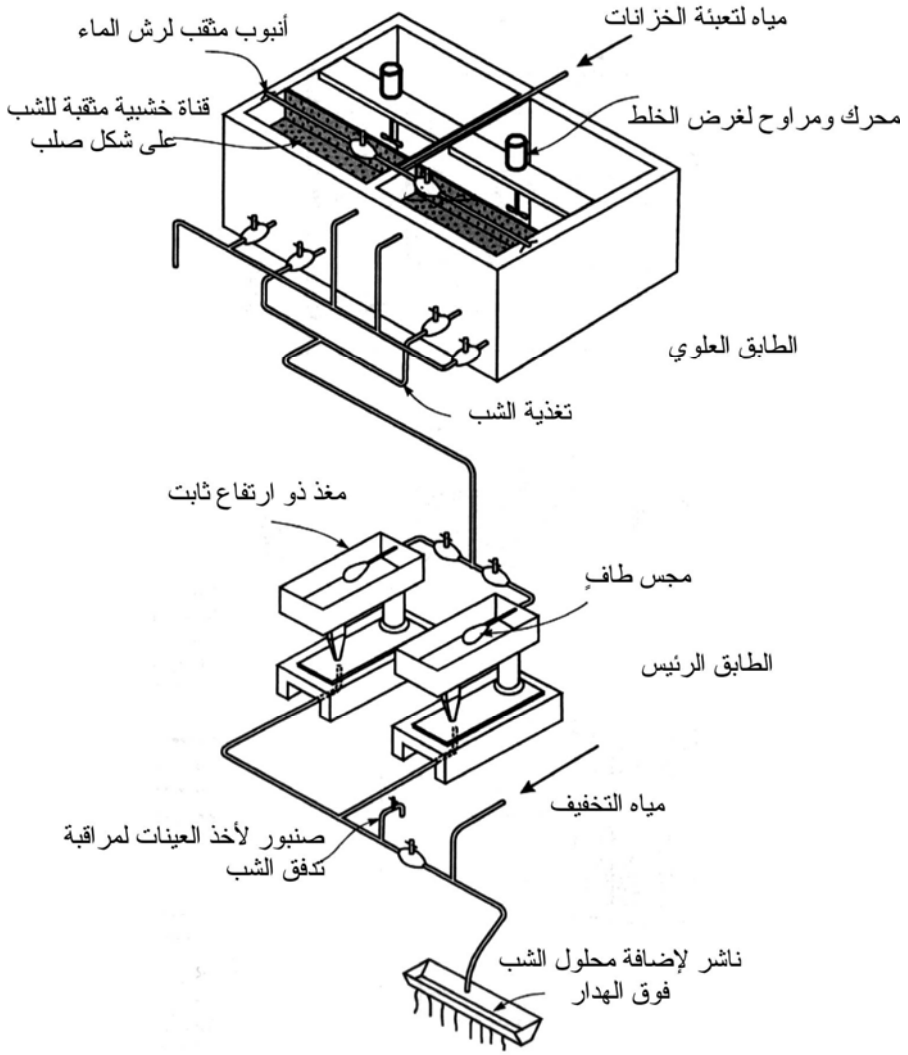
$$A = 0.13/(G/1.334)^{2/3}$$

في هذه الحالة ولقيم المختلفة خط ميل السرعة 55 و40 و30 و20/الثانية، فإن هنالك حاجة لوجود أربع فتحات بمساحة 0.99 م^2، وسبع فتحات بمساحة 1.13م^2، وسبع فتحات بمساحة 0.48 م^2 و سبع عشرة فتحة بمساحة 1.94م^2، على التوالي. يوجد في الحواجز عند القاع فتحات لتسهيل عملية تنظيف الخزان.

وقد اتُّبعَت الطريقة نفسها في تصميم نظام الحواجز في خزان التندف الجديد مع تعديل بعض التفاصيل في القياسات.



شكل 8-9 انتشار المخثر والتندف



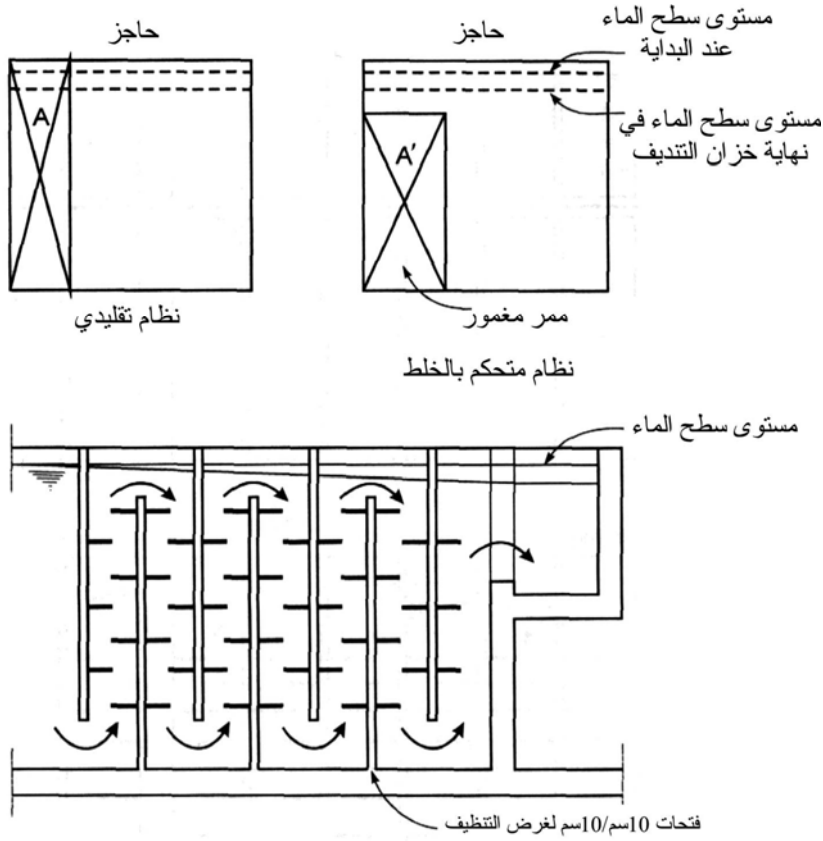
شكل 8-10 نظام تحضير وتغذية محلول الشب

6.8 توزيع الماء المندَّف على أحواض الترسيب

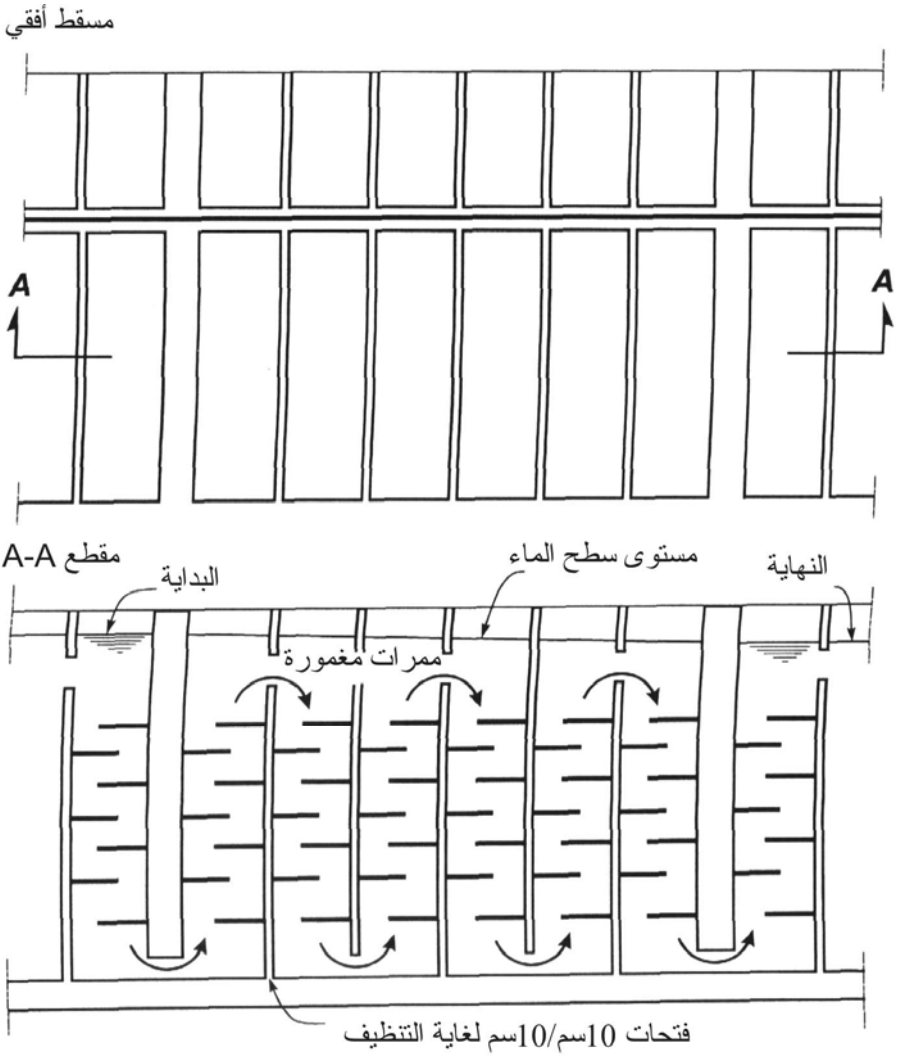
توجد حاجة لتوزيع المياه المتدفقة من القناة الرئيسة بين أحواض الترسيب الثلاثة بالتساوي، وتوزيع المياه من القناة الرئيسة إلى قنوات أخرى ليست بالعملية الهيدروليكية السهلة، لذلك فإن بذل جهد في عملية التصميم الجيد مبرر. (انظر بند 3-6-5 من الفصل الثالث). وهناك عدة عوامل يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء تصميم القناة:

- يجب عدم تفتت (انحلال) الكتل المخثَّرة التي تكونت في خزان التندف من جراء اضطراب حركة الماء في القناة أو في الفتحات.

- يجب أن تكون السرعة ثابتة على طول القناة للحصول على توزيع متساوٍ للتدفق.
- يوجد ثلاثة مخارج فقط، مخرج واحد لكل خزان ترسيب.
- يمكن المحافظة على القناة القائمة كما هي، بتحديد عمق المخرج الأخير لقناة التوزيع الجديدة إلى القناة القائمة.
- يجب أن تقع مخارج القناة الجديدة في مكان بحيث لا يعيق وصول المياه إلى أي من المخارج المصممة لإيصال هذه المياه الى خزانات الترسيب. (انظر الشكل 8-5).
- يجب أن تكون جميع المخارج لها نفس القياسات.
- يجب أن تكون السرعة في القناة كافية لمنع الكتل المخثَّرة من الترسب، وفي نفس الوقت يجب أن لا تكون مرتفعة بحيث تؤدي إلى اضطراب كبير يسبب تفتت (انحلال) الكتل المخثَّرة.



شكل 8-11 تندف هيدروليكي: مستوى سطح الماء ومنطقة مرور الماء في النظام التقليدي ونظام التحكم بالخلط، ومخطط عام للحواجز في نظام (أعلى وأسفل) للتندف التقليدي



شكل 8-12 تندف هيدروليكي: مخطط عام للحواجز المتحكمة في التندف (أعلى وأسفل) مع ممرات علوية مغمورة

تصبح الحسابات الهيدروليكية والخبرة ضرورية للحصول على هذه المتطلبات، لذلك من الأفضل أن تراعى المبادئ النظرية للتصميم كخطوة أولى.

الأعماق في قناة التوزيع:

من الضروري وجود قناة تكون أبعادها وسرعة المياه فيها تؤدي إلى توزيعها بالتساوي من خلال أبواب القناة الرئيسة المؤدية لكل خزان ترسيب. إن معامل فاقد الضغط خلال الأبواب يكون متناسباً

مع $(V_m/V_e)^2$ حيث V_m وV_e تمثل السرعات في القناة الرئيسة، وعند كل بوابة مخرج أو فرع (يمكن تمثيل العلاقة كما في منحنى هدسون). ولتأمين تصريف متساو خلال البوابات، يجب أن تكون علاقة (V_m/V_e) ثابتة. ولأن تصريف القناة الرئيسة ينخفض بعد كل بوابة، ولأن أبعاد البوابات جميعها ثابت، فإن الحل الوحيد - بوجود عرض ثابت- أن يكون قاع القناة الرئيسة متدرجاً، وذلك بحساب العمق المناسب عند كل بوابة. وطريقة إيجاد العلاقة بين العمق والتصريف سيتم شرحها لاحقاً.

إن سرعة المياه في القناة مقترنة بنصف القطر الهيدروليكي، وميل القناة ومعامل الاحتكاك لسطحها، وذلك حسب معادلة Manning.

$$v = \left(R^{2/3} I^{1/2}\right) / n$$

$v =$ السرعة (م/الثانية).

$R =$ نصف القطر الهيدروليكي.

$I =$ الميل (م/م).

$n =$ معامل الخشونة (للخرسانة 0,013).

ويتوفر تعبيران بما يتعلق باستهلاك الطاقة:

$$\text{طاقة} = \mu V G^2 \quad and \quad \text{طاقة} = Q H \gamma$$

$\mu =$ اللزوجة الديناميكية (كغم/الثانية/م^3 وتساوي عند 20 م^o = 1.03 x 10^{-4}).

$G =$ معدل تغير السرعة مع الزمن (20 /الثانية).

$V =$ الحجم (م^3).

$Q =$ التصريف (م^3/الثانية).

$H =$ ارتفاع سطح الماء (م).

$\gamma =$ الوزن النوعي.

بدمج التعبيرات الثلاثة السابقة، والتي تشمل التدفق، و (خط ميل السرعة)، وفاقد الضغط والسرعة وأبعاد القناة فإن السرعة في القناة تكون:

$$v = (\mu/\gamma)(G^2/I) = \left(\mu G^2/\gamma n^2\right)^{1/3} R^{4/9}$$

والتي تكون في المقطع المستطيل للقناة بعرض b وارتفاع h هو:

$$v = \left(\mu G^2 / \gamma n^2\right)^{1/3} \left[bh/(b+2h)\right]^{4/9}$$

إن قيم μ و γ و n معروفة مسبقاً، وقيمة خط ميل السرعة = 20/الثانية قد تم اختيارها بناءً على الخبرة للتصاميم الناجحة، والعلاقة بين γ إلى b و h تكون:

$$v = 0.6249\left[bh/(b+2h)\right]^{4/9}$$

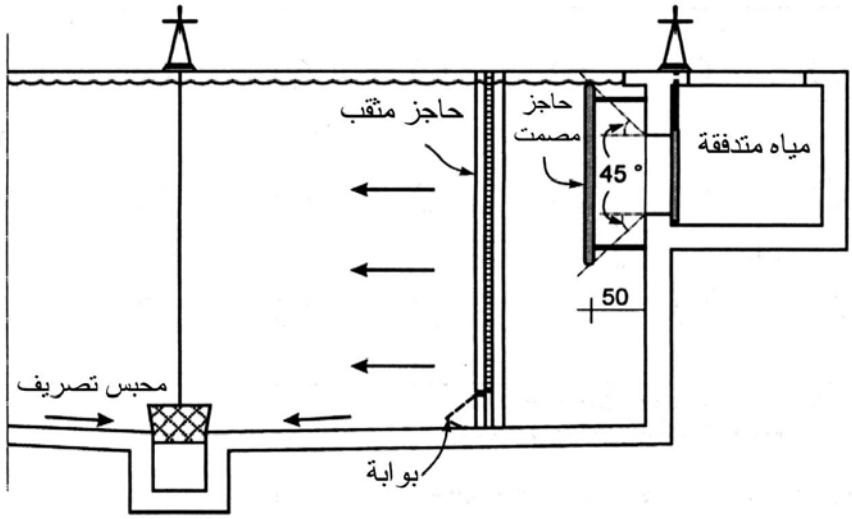
التصريف Q متعلق بالسرعة، والمساحة (Q = AV , A = hb) بحيث أن دمج هذه المعادلة (i) في الأعلى:

$$Q = vbh \Rightarrow v = 0.6249\left[bh/(b+2h)\right]^{4/9} = Q/hb$$

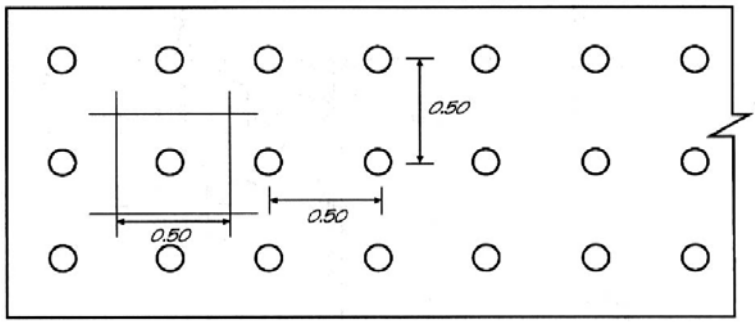
إذا كان عرض القناة ثابتاً، (خط ميل السرعة ثابتة على 20/الثانية كما تم تعويضها سابقاً)، فإن هذه العلاقة يمكن إعادة ترتيبها لإيجاد الارتفاع المطلوب لكل تصريف:

$$h\left[bh/(b+2h)\right]^{4/9} = Q/0.6249\ b$$

ولعرض 0.8 م وثلاثة مخارج (واحد لكل خزان ترسيب)، فإن الأعماق التي تم حسابها قبل أول وآخر مخرج هي 0.89 م، 0.35 م على التوالي. أما الأول فيعتبر مقبولاً، أما الأخير فهو ضحل جداً، وذلك لأن القناة القائمة في المنطقة العليا كانت ذا عمق 0.6 م. ليتناسب هذا العمق مع عمق المياه في المنطقة العليا، لذلك فإنه يتوجب إضافة 0.25 م للأعماق، وبذلك يكون العمق قبل المخرج الأول 1.15م، وهذا يعني أن خط ميل السرعة في القناة ستكون أقل من 20/الثانية.



شكل 8-13 موقع الحواجز عند مدخل خزان الترسيب



الفتحات بقطر ١٠٠سم
المسافات بين الفتحات من المركز الى المركز ٠,٥ م

شكل 8-14 حاجز مثقب لمدخل خزان الترسيب

أبعاد الفتحات:

لتجنب تفتت (تكسير) الكتل المخثَّرة يجب تحديد الفتحات في القناة الجديدة، وأبعاد البوابات (اثنتان لكل خزان) في البناء القائم لسرعة دوران 20/الثانية. وإذا تم إيقاف أحد الخزانات عن العمل فإن التدفق من خلال كل بوابة يكون 0.0625 م^3/الثانية (0.25 م^3/الثانية) /4).

عندما يكون التدفق 0.0625 م^3/الثانية تكون السرعة 0.26م/الثانية، وعندما يتم تصحيحها لـ 20°م، فيجب أن تكون مساحة البوابة 0.24 م^2 (0.0625/0.26)، وبعمق 0.60 م، ويكون العرض المطلوب 0.40 م.

7.8 خزان الترسيب

المراحل التي يجب أخذها بالاعتبار أثناء التصميم:

- مدخل الماء وخاصة مدخل الحواجز.
- الترسيب الفعال للكتل المخثَّرة بالرجوع إلى سرعة الترسيب و مدة المكوث، واستعمال صفائح الترسيب إذا لزم الأمر.
- إزالة الحمأة من خزانات الترسيب.
- إزالة المياه المترسبة.

1.7.8 مدخل الحواجز

لتجنب تيارات مميزة فإن المياه المندفة يجب أن لا تصطدم مباشرة في الحواجز المثقبة، ولذلك تم استخدام الحواجز، ووضعها في مقدمة مدخل البوابة لامتصاص الطاقة الحركية، (طاقة اندفاع الماء)، ولتوزيع المياه على كامل مقطع مساحة مدخل الخزان. ويجب أن لا تقل المسافة من البوابة إلى مدخل خزان الترسيب عن 0.5 م، وأن يكون الحاجز أكبر من فتحة المدخل، التي يتم تحديدها من إسقاط 45° من الجوانب وقاع بوابة المخرج. (شكل 8-13).

إن الحواجز المثقبة لها عدة مداخل على سطحها، (شكل 8-14)، وعدد هذه المداخل يعتمد على كمية التدفق وحجم الخزان. كان عرض مداخل الخزان ومدخل الحواجز في هذه المحطة تعادل 6.75 م وكان عمقها 3 م لكل خزان، حيث يستقبل كل خزان ثلث التدفق الكلي. (0.0833 م^3/الثانية).

يجب أن تكون الفتحات متباعدة نحو 0.40-0.50 م، وموزعة على أعلى ثلثي إلى ثلاثة أرباع الحاجز. ويمكن استخدام الفتحات بعدد أقل وحجم أكبر، ومسافات متباعدة، أو بعدد أكبر وحجم أقل ومسافات متقاربة. والطريقة المثلى أن يكون عدد الفتحات كبيراً، لتحقيق المتطلبات الهيدروليكية والعملية. إن عمل فتحات مكلف جداً، ويكمن ذلك في عملية حفرها. ولكن إذا كان عددها قليلاً فستكون الفتحات متباعدة بشكل كبير.

يجب أن يكون فاقد الضغط كبيراً من خلال الحواجز المثقبة، ليصبح من الصعب على الماء سلوك مسارات قصيرة، فالماء دائماً يسلك الطريق السهل والقصير. تمتص الحواجز أمام بوابات المدخل الطاقة الحركية وتعمل على إضطراب مسارات السرعة، ويصبح من الصعب أن تجد المياه مساراً قصيراً لتسلكه، فتنتشر أتوماتيكيا على كامل سطح الحاجز المثقَّب.

يجب تحقيق شرط آخر، وهو أن السرعة خلال الفتحات يجب ألا تكون عالية حتى لا تتسبب في تفتت الكتل المخثَّرة، ولكن يجب أن نحصل على قيمة خط ميل السرعة مساوية تقريباً لقيمة خط ميل السرعة في آخر جزء من خزان التندف، وهي في هذه الحالة 20/الثانية.

ويمكن تلخيص قواعد تصميم الجدران المثَّقبة كما يلي :

- يجب أن يكون فاقد الضغط أكبر ما يمكن من خلال المداخل وأن يكون متناسقاً مع قيمة خط ميل السرعة.
- يجب أن تكون قيمة خط ميل السرعة خلال الفتحات متناسقة مع قيمة خط ميل السرعة في الجزء الأخير من خزان التندف.
- يجب أن يكون هناك أكبر عدد من الفتحات عملياً، بحيث تكون أبعد مسافة بين كل فتحة وأخرى حوالي 0.5 م، وهذا يقصر المسافة، قبل التقاء مسارات المياه حيث يبدأ الترسيب الفعلي.

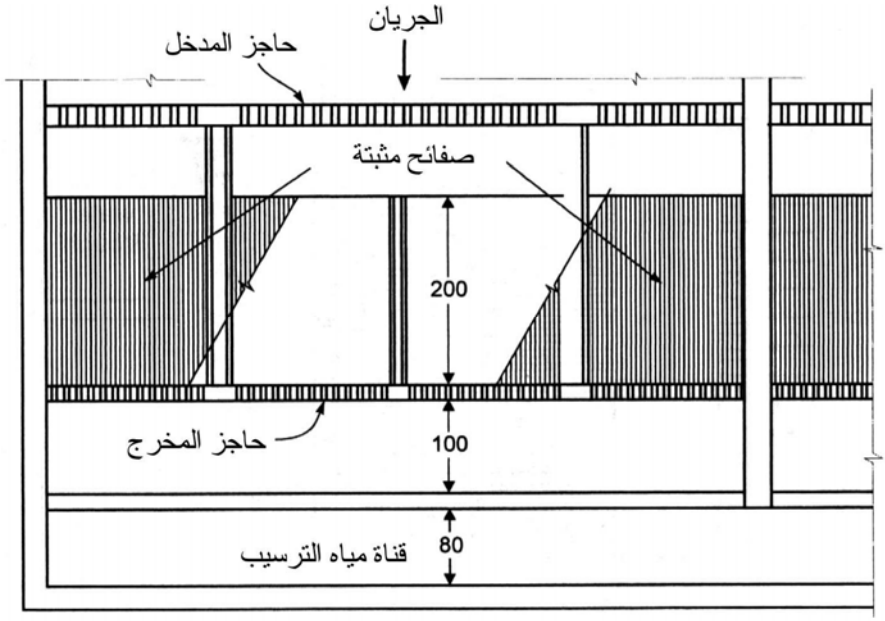
لأسباب عملية، فإن فتحات في الحواجز المثقبة يجب أن تكون ذات أقطار مناسبة لتحقق متطلبات التصميم. كما يجب أن تكون جميع المواد المستعملة قابلة لمقاومة الظروف الحامضية في خزان الترسيب. بذلك يكون البلاستيك هو الخيار الأول من الناحيتين الاقتصادية ومقاومة التآكل.

مداخل الحواجز يجب أن تتفق مع خزان الترسيب التي صُمِمَت لها، وفي هذه الحالة تكون بعرض 6.75 م وعمق 3م عند المدخل. وهذه محاولة لعمل المواصفات التي يمكن أن تلائم عملية التقييم وعلاقتها مع المتطلبات العامة:

- حجم المداخل = 75 ملم و المسافات بين مراكزها 0.5 م.
- مساحة المدخل = ط نق^2= (0.075÷ 2)^2 ط = 0.0044 م^2.
- مساحة المداخل الإجمالية = 0.0044 × 60 = 0.264 م^2.
- سرعة المياه = 0.0833 م^3/الثانية ÷ 0.264 م2 = 0.316 م/الثانية.
- معدل تغير السرعة = حوالي 35/الثانية(من منحنى هدسون الجزء 8-6).
- فاقد الضغط =(19.62/0.3162) × 1.7 = 8.7 ملم

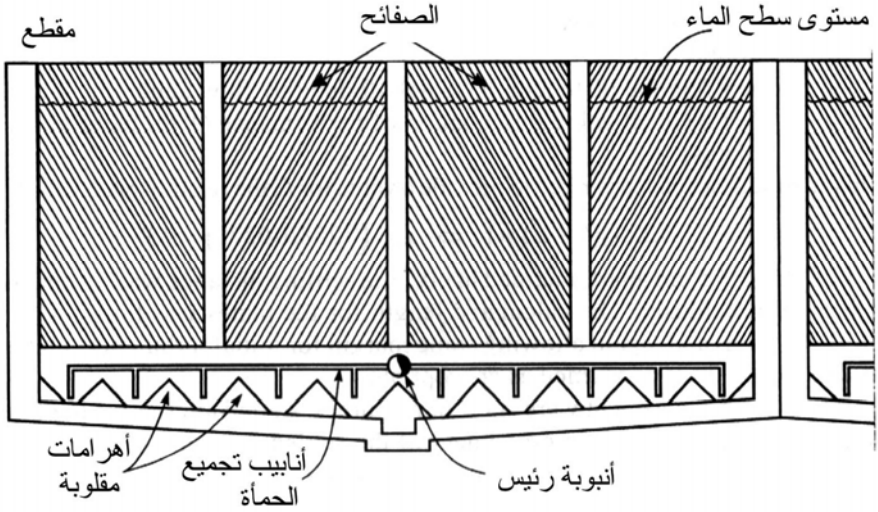
تفي هذه المحاولة لتحديد حجم الفتحات وتوزيعها بشكل كافٍ لجميع المواصفات ما عدا معدل تغير السرعة مع الزمن. والتي هي مرتفعة نوعاً ما. (25 - 30/الثانية تكون أفضل). إذا كانت الكتل المخثَّرة في مياه معينة قوية، فلا يوجد هناك مشكلة، أما إذا كانت الكتل المخثَّرة ضعيفة (من حيث اللون أو ليِّنة أو ماء بارد) فهناك خطورة في تفكك هذه الكتل. يمكن استخدام حجم فتحات 100مم كمحاولة ثانية لتخفيض السرعة.

- حجم المدخل : 100 ملم والمسافة بين مراكز الفتحات هي 0.5 م (5 صفوف من 11 فتحات).
- مساحة المدخل : ط نق^2 = ط (0.1 ÷ 2)^2 = 0.007854 م^2.
- مساحة المداخل الإجمالي : 0.007854 × 55 = 0.432 م^2.
- السرعة = (0.0833 م^3/الثانية) /0.432 = 0.1928 م/الثانية.
- معدل تغير السرعة مع الزمن يساوي تقريباً 22/الثانية.
- فاقد الضغط = (19.62/0.1928) × 1.7 = 3.22ملم.

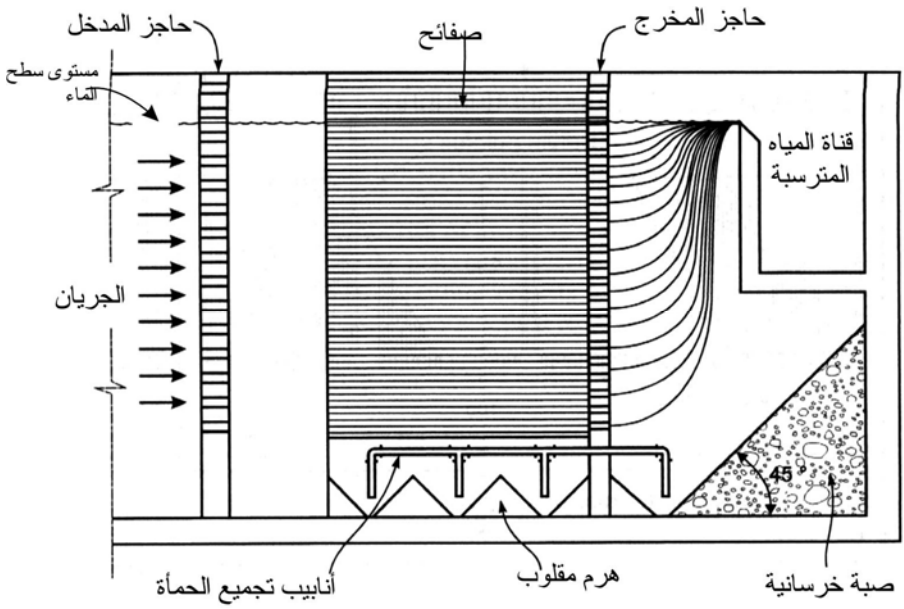


شكل 8-15 مسقط أفقي لصفائح الترسيب عند نهاية مخرج خزان الترسيب

سوف يعمل الحاجز في هذا الخزان بصورة أفضل باستعمال حجم الفتحة 100 ملم (4 انش). والذي سوف يوفر معدل تغير سرعة مقبول. إن فاقد الضغط سيكون قليلاً، ولكن سيكون باستطاعته معالجة الحمل الزائد. لزيادة فاقد الضغط يمكن تقليل عد الفتحات إلى 45-50، مع عمل بعض التعديل على توزيع المداخل هندسياً. قد يكون فاقد الضغط 5 ملم مناسباً أكثر لتوزيع المياه المتندفة على كامل مساحة مقطع الخزان. قد ترتفع السرعة وخط ميلها ولكن خط ميل سرعة بقيمة تعادل30/الثانية يعتبر مقبولاً.



شكل 8-16 مقطع لصفائح الترسيب وتجميع الحمأة هيدروليكيا ونظام إزالة الحمأة



شكل 8-17 مقطع طولي لصفائح الترسيب

عند تركيب الحواجز المثقبة فإن المياه سوف تبدأ بالمرور خلال الخزان على شكل تدفق كتلي. وتكون السرعات على طول الخزان تقريباً متساوية والكتل المخثَّرة لها فرصة كبيرة لتترسب من عمود الماء.

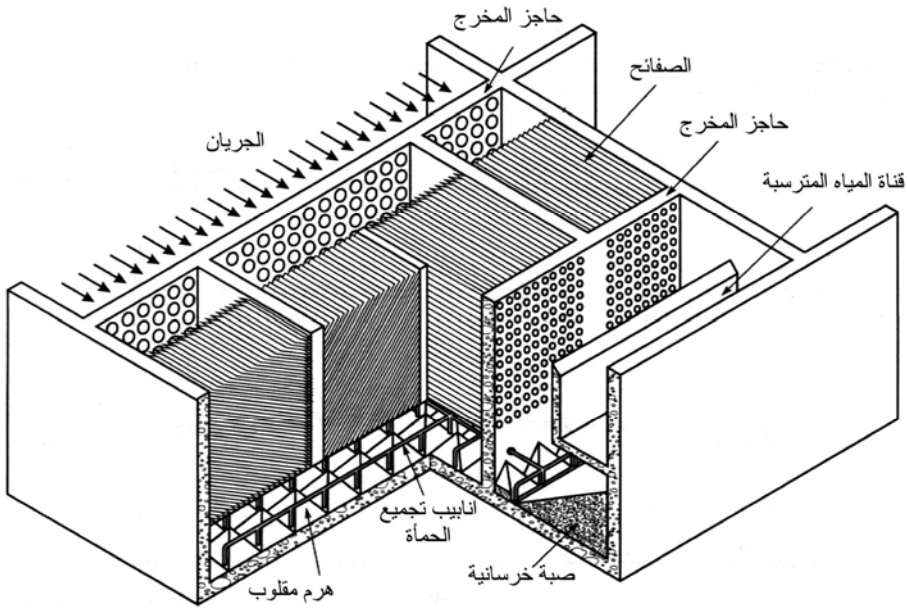
2.7.8 كفاءة الترسيب وصفائح المرشحات

متوسط السرعة الأفقية التصميمية لتدفق 0.25 م^3/الثانية هي 0.24 م/الدقيقة عندما يكون الخزان نظيفاً، و0.30 م/الثانية عندما يكون فيه حمأة مترسبة بمقدار 20٪. من الضروري إزالة الكتل المترسبة التي لها سرعة ترسيب 2.75 م/الدقيقة (حسب نتائج اختبار الجرة)، وتعادل 39.6 م^3/م^2/اليوم). ومساحة السطح المطلوبة لهذه الإزالة هي 545.5 م^2، لكن متوفر فقط 479.9 م^2. إن الفرق بين هاتين القيمتين ليس كبيراً، لذلك فإن الخزانات القائمة قد تقلل العكر بشكل كافٍ، لتسمح للمرشح بالعمل بشكل جيد دون أن تغلق فراغات المرشح بسرعة. وكانت الخزانات القائمة قادرة على إزالة الكتل المخثَّرة بسرعة ترسيب 3.13 سم/الثانية أو أكثر، ولكن لترك مجال أمان فقد تم تركيب صفائح ترسيب في نهاية مخرج الخزان. وهذا سوف يقلل عكر المياه المترسبة إلى مستوى قليل جداً، ويسمح لحمل زائد بدون خطر انخفاض جودة المياه.

الشروط الرئيسة لتصميم صفائح الترسيب هي:

- إزالة الجزيئات التي لها سرعة ترسيب تعادل 2.75 سم/الدقيقة أو أكثر.
- التدفق الأفقي ليس أكثر من عشرة أمثال سرعة الترسيب الدنيا.
- السيطرة على التدفق والمسارات القصيرة بوساطة حاجز المخرج المثقب مع فاقد ضغط كبير (2-3 سم).
- تثبيت الصفائح بميل 60° عن المستوى الأفقي، للمساعدة في انسلاخ الحمأة التي ترسبت على الصفائح.
- المسافة بين الصفائح من 5 ألى30 سم. (7.5 سم في هذه المحطة). مع صفائح ترسيب قصيرة، ذات مسافات بينية قليلة. إن الكفاءة لاتعتمد على الفراغ بين الصفائح، بل تعتمد على الفراغ المتوفر والتكلفة وسهولة تجميع وتنظيف الصفائح.

لأن الصفائح قد وضعت بزاوية ميل 60° عن المستوى الأفقي ومتباعدة بـ 7.5 سم، فإن أقصى مسافة للترسيب ستكون 15 سم (7.5/جتا 60°).



شكل 8-18 منظر تجسيمي لصفائح الترسيب

كانت سرعة ترسيب الكتل المخثَّرة المراد إزالتها 2.75 سم/الدقيقة، وبما أن أقصى مسافة تحتاجها حتى تترسب تبلغ 15سم حتى تترسب، لذلك يجب أن يسمح لها الجهاز بالبقاء مدة 5.45 دقيقة، (15سم/2.75 سم/الدقيقة). كان متوسط السرعة الأفقية للتدفق الذي تم اعتماده بالتصميم 24-30سم/الدقيقة، وكان هذا كافياً لتحقيق معايير السرعة الأفقية التي تكون ضمن عشرة أمثال سرعة الترسيب، وهذا يعني 27.5 سم/الدقيقة. ويمكن أن تكون هذه السرعة مناسبة لحساب طول الصفائح اللازم، الذي يبلغ 1.5 م (27.5 سم/الدقيقة 5.45). للسماح بحصول جريان مضطرب عند مدخل حوض الترسيب، يجب أن يكون طول الصفائح 2 م، (انظر الأشكال 8-15 إلى 8-18). إنّ الطريقة الصحيحة والمثالية لحساب طول الصفائح هي معادلة yao:

$$S_c = (V_s / V_\circ)(\sin\theta + L\cos\theta)$$

حيث:

V_S = سرعة الترسيب للكتل المخثَّرة المراد إزالتها (م/الدقيقة، في هذه الحالة تساوي 0,0275).

$V_\circ$ = متوسط سرعة التدفق (م/الدقيقة). في هذه الحالة، كانت سرعة التصميم لهذا الخزان 0,232 م/الدقيقة وكان قد تم حسابها كما يلي: (0,25 م^3/الثاني) (60 ثانية)/(3)(6,75)(3,25). لكن هناك 10٪ من مقطع الخزان يستعمل للترسيب، لذلك فإن 0,258 م^3/الثانية تكون قيمة أكثر دقة.

θ = زاوية الجريان مع السطح الأفقي. (في هذه الحالة صفر درجة للجريان الأفقي).

L = طول الصفيحة النسبي. (الطول مقسوم على عمق التدفق).

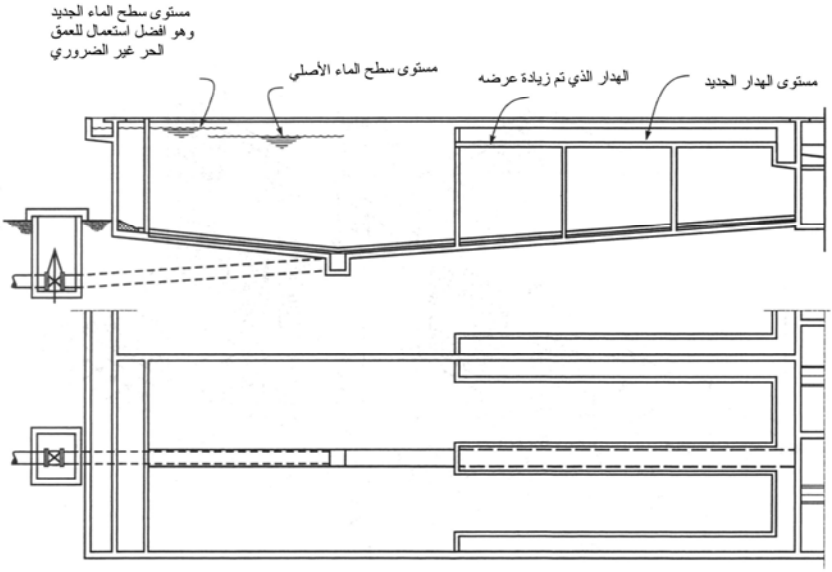
S_c = كفاءة المعادلة عند القيمة الحرجة. (واحد بالنسبة للصفائح المتوازية).

يمكن إعادة ترتيب هذه المعادلة لتعطي قيمة L ، طول الصفيحة النسبي

$$(0.275/0.258)(0+L)=1 \Rightarrow\ L=(0.258/0.0275)=937$$

الصفائح متباعدة بمقدار 7.5 سم، وذات ميل 60°، ومسافة الترسيب 15 سم، كما تم مناقشتها سابقاً، وطول الصفائح المحسوب هو 1.41 م (15 × 9.37)، وتم التأكد من أن طول الصفائح البالغ 2م هو طول مناسب، وأيضاً سمح ببعض الجريان المضطرب الأولي.

إذا كانت دائرة المياه لا يوجد لديها مصادر، فإن الخيار هو استعمال صفائح ترسيب لتحسين نظام إزالة المياه المترسبة، ورفع مستوى سطح الماء للاستفادة من العمق الحر الزائد في الخزان. (انظر شكل 8-19). إن زيادة طول هدارات التجميع قد يفيد في إنتاج مياه أصفى في مركز الخزان ورفع مستوى سطح الماء قد يقلل السرعة الأفقية. وتحت معظم الظروف فإن هذه التغيرات الصغيرة قد تنتج مياهاً مترسبة ذات جودة جيدة. مع ذلك فإن الصفائح أكثر أمناً ولكن أعلى كلفة بعض الشيء.



شكل 8-19 أحد اختيارات التحسين: تم فيها رفع مستوى سطح الماء وزيادة الهدارات عند المخرج

3.7.8 نظام إزالة الحمأة

تترسب الكتل المختثرة على الصفائح ثم تنزلق للأسفل على السطوح المائلة، أو إلى ممرات خاصة بعرض 0.2 م، ثم بعد ذلك، تتراكم في قاع الخزان تحت الصفائح، حيث يوجد نظام هيدروليكي تم إنشاؤه لإزالة الحمأة المتراكمة على فترات منتظمة.

يعتمد تكرار إزالة الحمأة (بوساطة فتح محبس لمدة دقيقة واحدة تقريباً) على كمية المواد الصلبة في المياه الخام، والتي تختلف خلال أيام السنة. ويمكن تركيب محبس أتوماتيكي يعمل على ساعة توقيت يتم وضعها حسب دورة مخصصة لإزالة الحمأة. وتكون التكلفة الأولية وتكلفة الصيانة لمثل هذا النظام أعلى بكثير من تشغيل المحبس يدوياً، ولكنه يبقى اختياراً وارداً إذا كانت الأيدي العاملة مكلفة جداً. الشكل 8-15 إلى 8-18 يوضح مخطط للصفائح ونظام إزالة الحمأة. إن العوامل التي تحدد تصميم نظام إزالة الحمأة هي:

- حجم الحمأة المتراكمة أسفل صفائح خزان الترسيب.
- أقل فاقد ضغط لكل فتحة هو 0.15 م، فاقد الضغط في الفتحات الفرعية يجب أن يكون خمسة أضعافه في الفروع الأخرى. أي ما يعادل ثلاثة أضعاف الفتحات الرئيسة.
- الفراغ المتوفر أسفل صفائح الترسيب، وترتيب أماكن تجميع الحمأة. (على شكل أهرامات مقلوبة).
- أقل حجم للأنابيب الفرعية هو 38 ملم (1.5 إنش).
- يمكن عمل فتحات صغيرة بوساطة توصيل غطاء على الجوانب مع عمل فتحات فيها.

يمكن إيجاد حجم الحمأة المجمعة في الأهرامات المقلوبة حسب المعادلة التالية :

$$(h/3)\left(B+b+\sqrt{Bb}\right)=0.112\ \ m^3$$

حيث:

h = الارتفاع (0,42 م).

B,b = أطول وأقصر ضلع للقاعدة (0,84 م, 0,10 م).

إن حجم الثقوب المجمعة للحمأة في الفروع نفسها والرئيس يجب حسابها كما هو موضح أدناه:

إن حجم الحمأة المجمعة من الفتحات الجانبية:

$$Q=C_v s\sqrt{2gh}$$

حيث:

Q = التصريف ، كل هرم كان 0.0019م3/الثانية.

h = فاقد الضغط خلال الثقب.

g = التسارع نتيجة الجاذبية الأرضية.

C_v = معامل التصريف.

A = مساحة مقطع الجريان م^2.

$A = 0.0019/\sqrt{0.65\times 2\times 9.81\times 0.15}$ = 0.0017 م^2.

D = قطر الفتحة (م).

$D = \sqrt{4A/\pi} = 0.466\ \ m$.

لمثل هذا النظام لإزالة الحمأة، تكون مساحة مقطع كل ثقب هي 0.0017 م^2 مرتبطة بقطر الثقب 0.0466م (1.75 إنش).

حجم *الفروع*:

يمكن حساب قطر الفروع باستعمال إعادة ترتيب معادلة Hazen- Williams

$$h_f = \left(Q^{1.85} L\right) / \left[(0.2785 \quad C)^{1.85} \times D^{4.87}\right]$$

حيث:

h_f = فاقد الضغط (0, 03 م) منها 0, 2 ناتخة عن تجميع الحمأة من الفتحات).

Q = التصريف (الذي كان 0, 0038 م3/الثانية لهرمين).

L = الطول (1, 85 م).

C = 120 للأنابيب البلاستيكية.

D = قطر الفروع (م).

$$D = \left(Q^{1.85} \times 1\right) / \left[(0.2785 \times 120)^{1.85} \times 0.01^{4.87}\right] = 0.07m$$

بالتعويض بالمعطيات سابقة الذكر يكون القطر المناسب للفروع هي 0.074 م (3 انش).

حجم *الأنبوب الرئيس*:

يمكن حساب حجم الأنبوب الرئيس كما هو في الأعلى. فاقد الضغط (0.01 م) أي ما يعادل ثلث ما كان عليه في الفرعي، والتصريف من 12 فرع يساوي 0.0456 م^3/الثانية، وطول الأنبوب الرئيس 1.68م. بتطبيق المعادلة السابقة يكون قطر الأنبوب الرئيس 0.234 م (حوالي 15 إنش).

4.7.4 إزالة المياه المترسبة

يتم إزالة المياه المترسبة بوساطة حاجز مثقب، وهذا ينتج عنه فاقد ضغط أكثر من حاجز المدخل. يكون في الماء خلال مراحل الترسيب الأولي كمية كبيرة من الكتل المخثَّرة التي تم تكوينها بعناية، لذلك يجب توخي الحذر الشديد حتى لا يتم تفتيت هذه الكتل، ولكن بعد إزالة معظم الجزيئات (خاصة الكبيرة منها) فلا يوجد حاجة بعدها للاهتمام الكبير لتفتيتها. إن الضغوط الواقعة على المرشح تكون أعلى بكثير من الضغوط التي تكون خلال المرور بين وحدات الترسيب والترشيح. ويمكن تصميم حاجز المخرج بفاقد ضغط حوالي 2 سم ليتم السيطرة على التدفق في خزان الترسيب لمنع حدوث مسارات قصيرة تؤدي إلى تخفيض كفاءة النظام.

يحتوي كل حاجز من الحواجز الثلاثة على 86 فتحة بحيث تسمح كل فتحة بمرور 0.001 م^3/الثانية عند تصميم لتدفق 0.250 م^3/الثانية. لذلك يمكن حساب سرعة وقطر للفتحات كما يلي:

$$v = \sqrt{2gh_f / k} = \sqrt{(2 \times 9.81 \times 0.02)/1.7} = 0.48\ ms^{-1}$$

$$D = \sqrt{4\,A/\pi} = 0.051\ m$$

حيث:

$$A = Q/v = 0.001/0.48 = 0.0021\ m^2$$

يمكن زيادة فاقد الضغط بعض الشيء بتقليل عدد الفتحات إلى 80 فتحة موزعة على كامل سطح حاجز الترسيب. بما أن الحاجز يعمل فقط على توزيع التدفق من خلال فاقد الضغط فإنه لا يوجد حاجة لإضافة أنابيب. إن استخدام حاجز خشبي ذي فتحات سيكون أكثر اقتصادياً وأكثر فعالية.

يتم جمع المياه الخارجة من خزانات الترسيب في القناة القائمة ليتم نقلها إلى المرشحات. ويمكن لهذه القناة أن تتحمل زيادة في التدفق وزيادة في السرعة، ولن تسبب مشكلات لأن المياه المترسبة ومعظم الكتل المخثَّرة قد تم التخلص منها.

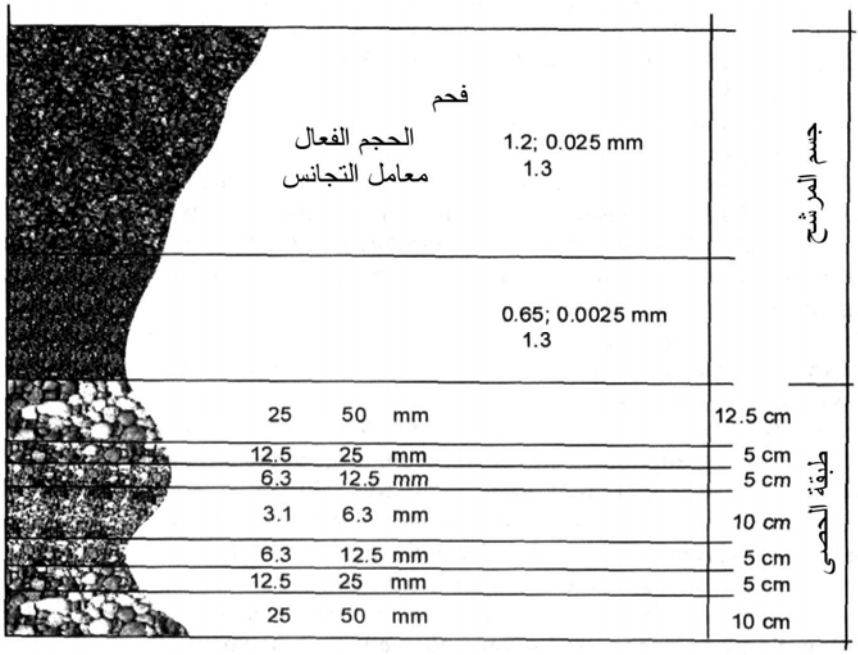
8-8 المرشحات

حتى تتلاءم المرشحات مع ظروف زيادة التدفق فلا بدّ من تغيير المرشحات من الوحدة القائمة واستعمال الفحم المحلي فوق الرمل، ويجب أن تكون مواصفات المواد المراد استخدامها تعتمد على مرشحات تجريبية أو أن تقدر بالاعتماد على الخبرة وعلى معلومات من المراجع والنشرات.

سيكون السطح العلوي للمرشح من طبقة فحم بعمق 0.45 م وحجم فعلي 1.2 ملم ومعامل تجانس ليس أكثر من 1.25. وتكون طبقة الرمل أسفل الفحم مباشرة بعمق 0.25م وبحجم فعلي 0.65 ملم ومعامل تجانس ليس أكثر من 1.15 وكلا الفحم والرمل يكونان تقريباً بحجمين متوسطين ولكن متجانسان.

جدول 8-3 مقطع الحصى الداعم في وسط المرشح (الحجم والعمق)

	حجم الحبيبات		العمق	
	ملم	إنش	سم	إنش
السطح العلوي	50 -25	2-1	12.5	5
	12.5-25	1-1/2	5	2
	12.5-6.3	1/2-1/4	5	2
	6.3-3.1	1/4-1/8	10	4
	12.5-6.3	1/2-1/4	5	2
	25-12.5	1-1/2	5	2
السطح السفلي	50 -25	2-1	10	4



شكل 8-20 مقطع لوسط المرشح والحصى الداعم الذي يتكون من حصى ذي تدرج عكسي جزئيا

وقد استخدم جزء من رمل المرشحات القائمة بعد الغسيل والتنظيف وإعادة تدرُّجه. وقد استخدم الفحم من مصادر وطنية لتجنب الكلفة العالية لاستيراد أنثراسايت، مع العلم أنه من المفضل استخدام الأنثراسايت إذا كان متوفراً. معظم الفحم الإسفلتي (bituminous coal) (الوزن النوعي 1.49 - 1.57) يكون أخف وأطرى وأقل مقاومة من أنثراسايت ذي الوزن النوعي (1.57 - 1.60)، ومع ذلك يمكن استخدامه حيث يعطي نتائج جيدة، واستبداله قد لا يحتاج إلى استيراد. إن معظم دول أمريكا اللاتينية تستعمل الفحم المحلي منذ عدة سنواتٍ، وقد وجد أنه مقبول جداً.

يجب أيضاً تعديل ترتيب الحصى الداعم للمرشح. بدلاً من أن يكون حجم الحصى متدرجاً بشكل تقليدي، فإنه يفضل أن يبدأ بالحجم الكبير من الأسفل إلى الأصغر في الأعلى، ثم إعادة زيادة الحجم مرة أخرى في الأعلى. إن عكس التدرج هذا سيساعد في مقاومة حركة الحصى، وهي مشكلة عامة في المرشحات، وتفاصيل المقطع موضحة في جدول 8-3، وتم توضيحه في شكل 8-20.

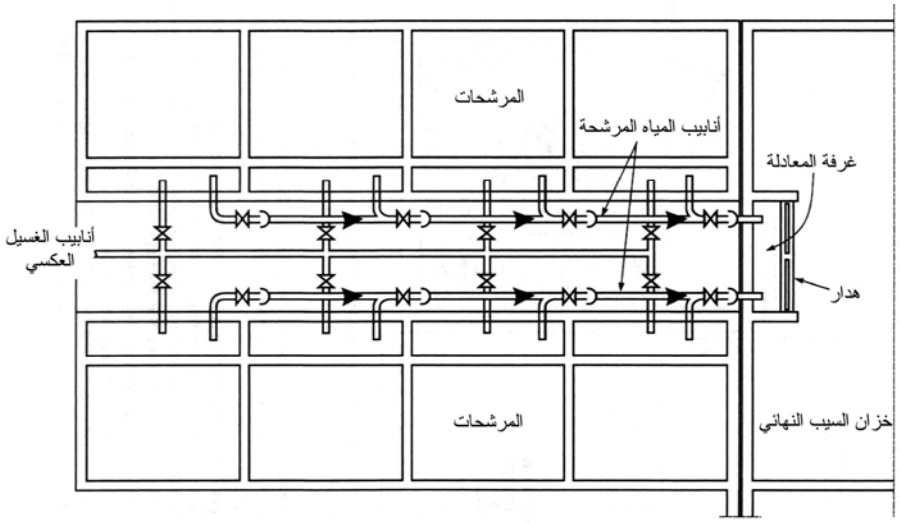
لقد تمت المحافظة على وضعية القاع الإضافي المصطنع، المُنشأ من الخرسانة مع الرشاشات كما هي، ما عدا القيام ببعض الأعمال الضرورية، وذلك بعد ما تم تفريغ المرشحات لإجراء عمليات إعادة التأهيل، فقد وجد أن هناك رشاشات مكسورة وبحاجة إلى تبديل.

يجب زيادة حجم الأنابيب التي تحمل المياه المرشحة لتلائم التعديل مع التدفق المصمم ومعدل التشريح 12.5م^3/م^2/الساعة (الأقصى حوالي 18م^3/م^2/الساعة).

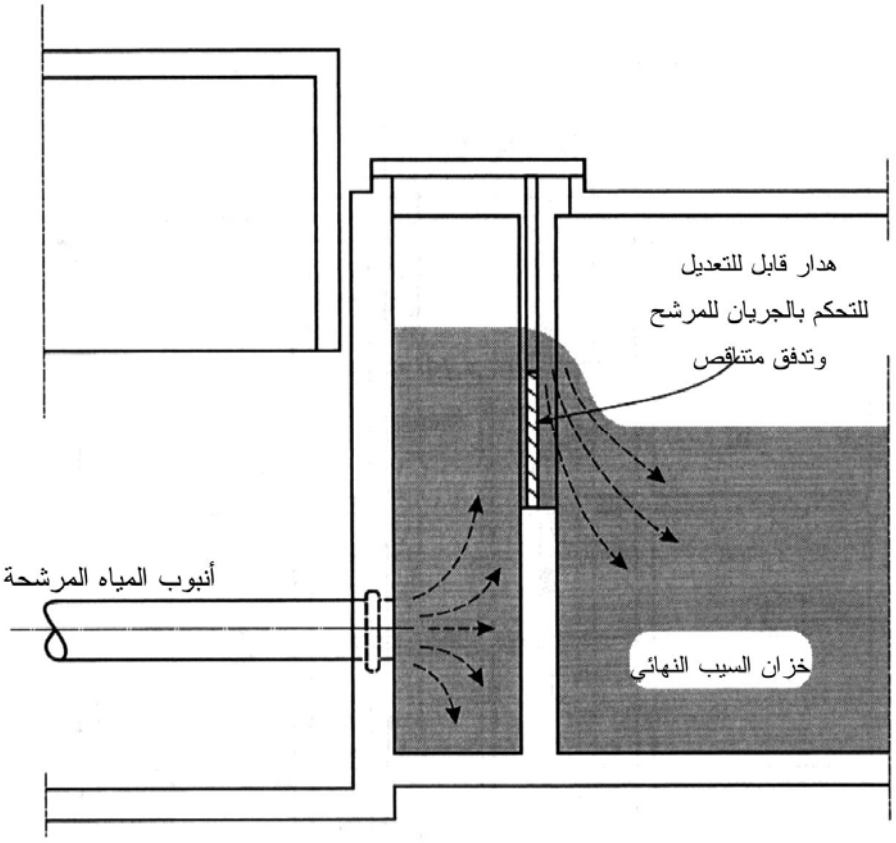
كان الخط الخارج ذا قطر 175ملم (7 إنش)، ويجب زيادته إلى 300 ملم (12 إنشاً). أما خط تجميع المياه المرشحة فيجب أن يكون قطره 400 ملم و 500 ملم. (شكل 8-21).

يجب تغيير التحكم بالمرشح إلى معدل تدفق متناقص، لذلك فإن التحكم في معدل التدفق الموجود يجب إزالته، كما يجب التحكم في جميع المرشحات عن طريق هدار ذي مستوى متغير في خزان التعادل.

(انظر الأشكال 8-21 و8-22) يمكن زيادة مستوى الماء في هذا الهدار لتقليل الضغط المتوفر، ومعدل التدفق في المحطة.



شكل 8-21 المياه المترسبة وأنابيب ميل الغسيل العكسي وغرفة المعادلة وخزان السيب النهائي

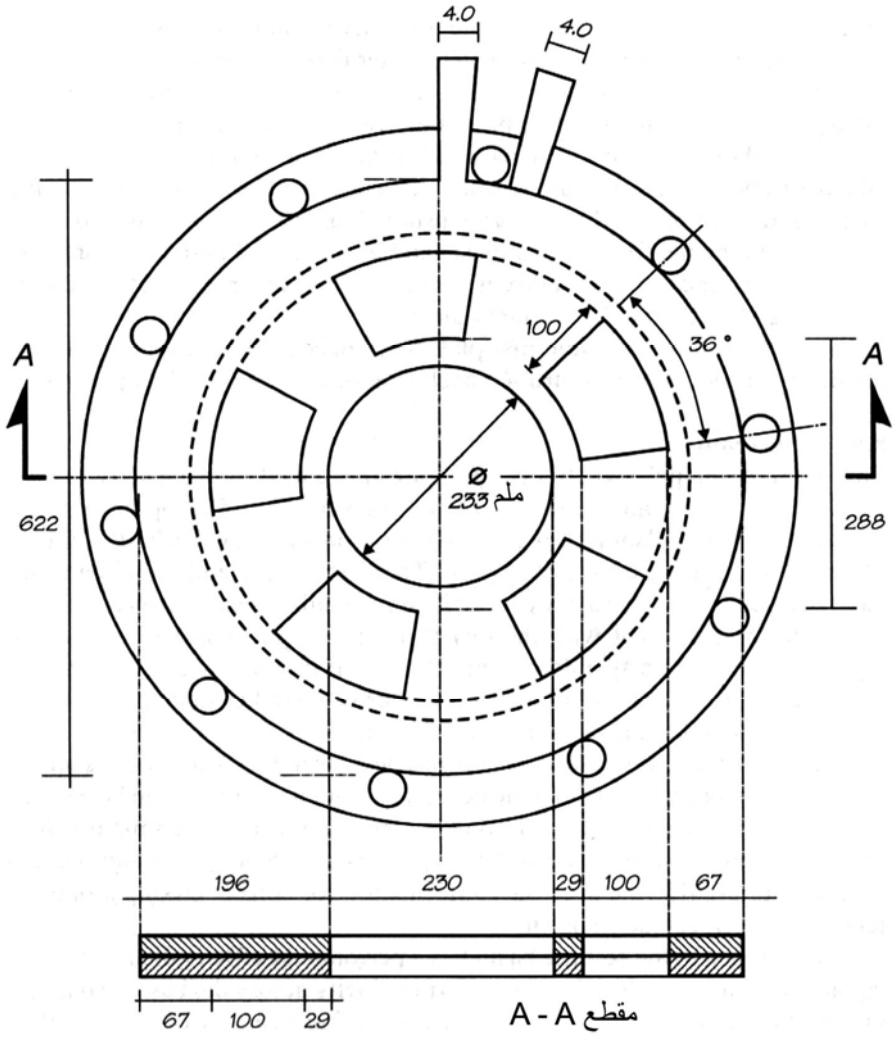


شكل 8-22 غرفة تعادل مع هدار متغير المستوى لجريان الماء للمرشح (للتحكم في التدفق المتناقص)

تم تركيب قرص مثقب على مخرج كل مرشح، وذلك للحصول على فاقد ضغط من أجل السيطرة على أعلى معدل ترشيح عندما يكون المرشح نظيفاً. وكان هناك حاجة إلى ثمانية أو تسعة ثقوب للسيطرة على تركيز الجرعة، وذلك بتقليل التذبذب في كمية التدفق. في أية لحظة يكون التذبذب خلال الثقوب ذات الأقطار الصغيرة له نفس القيمة والاتجاه، لذلك فإن النبضات السَلِسَة تكون أكثر فاعلية باستعمال عدة فتحات بدلاً من استعمال فتحة واحدة.

كان التحكم في معدل الترشيح يتم هيدروليكياً دون محابس أو فنشوري (Venturi) أو أي جهاز آخر، لأن هذه الأدوات قد تؤدي إلى تدني جودة المياه بسبب تذبذب التدفق، ولأنها مكلفة جداً وبحاجة إلى صيانة ومتابعة كافية. إن ضغط عمود الماء المتوفر في نظام التدفق المتناقص محدود، لذلك عند انسداد المرشح يزيد فاقد الضغط مما يعمل على خفض معدل الترشيح، وفي النهاية يتوقف الترشيح. وعندما لا يتوفر أي ضغط لارتفاع عمود الماء فإن المرشح يفيض. عند التشغيل الجيد تكون المرشحات قد تم غسلها قبل أن يحدث الانسداد الكامل بوقت طويل، ولكن هذا يكون مفيداً لحماية مزايا المرشح لأن سوء خزان الغسيل العكسي يؤدي فقط لضياع مياه أكثر من المياه التي تضيع عند تلف المرشح نفسه.

بوجود خزان للتعادل، وهدار متغير المستوى، لا يمكن أن ينتج المرشح أكثر من المطلوب، أو أن ينتج ضغطاً سالباً حتى عندما يكون نظيفاً. لذلك فإنه لا يوجد حاجة لِقُرص مثقَّب عند المخرج. (يوضع لزيادة عامل الأمان). في عدة محطات تنقية، يقع خزان السيب النهائي مباشرة أسفل المرشحات، ويجب تركيب قرص مثقب إلا إذا كان من المفيد عملياً أن يتم تجميع المياه المرشحة في خزان. وقد تم مناقشة تصميم كل من خزان التعادل والقرص المثقب في الفصل التاسع، والذي يصف زيادة سعة محطة التنقية إلى 1000لتر/الثانية.



شكل 8-23 صفائح مع فتحات قابلة للتعديل على شكل شبه منحرف وذلك للتحكم في أقصى انتاج للمرشح (الأبعاد مناسبة لتصريف 200 لتر/الثانية)

يظهر الشكل 8-23 صفيحة ثنائية مثّقبة على شكل قرص بوساطتها يمكن تعديل فاقد الضغط المطلوب بكل دقة، وذلك عن طريق التحكم بإغلاق خمس فتحات على شكل شبه منحرف.

8-9 ملخص

كانت هذه المحطة في ظروف سيئة، وكانت تعالج تدفق 125-150 لتر/الثانية، وهو أكبر من السعة التصميمية، وكانت جودة المياه النهائية سيئة جداً. الآن المحطة في حالة أفضل، وقد تم رفع كفاءتها الفيزيائية إلى ظروف جيدة، وتستطيع معالجة 250-270 لتر/الثانية، بحيث تنتج مياهاً ذات جودة ممتازة. وقد تم تقدير كلفة زيادة طاقتها بحوالي 30٪ من تكلفة بناء محطة بوحدات جديدة تعادل ما تنتجه المحطة الآن.

لقد تم تحسين خلط المخثر مع الماء الخام لإعطاء خلط سريع وانتشار كامل للمخثر، بوساطة إنشاء هدارين عند صندوق توزيع المياه، وبإضافة محلول المخثر مخففاً بشكل مناسب وبتركيز 0.5٪ (وليس أكبر من 20٪). علماً بأن التدفق يتم قياسه باستخدام مقياس التدفق القائم، نوع مفيض بارشال.

وقد تم تصميم خزان تندف هيدروليكي باستخدام طريقة البوابات المغمورة، لذلك فإن قيمة خط ميل السرعة الضرورية تحت السيطرة الكاملة. وتم تحسين الخزانات القديمة، للتخلص من مسارات المياه القصيرة ولإعطاء القيمة الصحيحة لمعدل تغير السرعة مع الزمن. وقبل التصميم تم استخدام المختبر للحصول على المعلومات الضرورية لتصحيح الخلط على طول خزان التندف.

إن المدخل إلى خزان الترسيب له حاجز مثقب، ليتم توزيع المياه على شكل تدفق كتلي وبسرعة متجانسة على طول مقطع الخزان. للبقاء على ترويق الماء تحت ظروف صعبة، فقد تم تركيب وحدة صفائح للترسيب بطول 2 م وتمّ إزالة الحمأة هيدروليكياً، لتقليل حجم الكتل المخثَّرة المترسبة إلى أقل من التي تم تحديدها في الاختبار قبل التصميم. والجزء العلوي والسفلي من خزان الترسيب تم تحسينه لترسيب كل من الكتل المخثَّرة الخفيفة والثقيلة، لذلك فإن المياه التي تصل إلى المرشحات ستكون ذات عكر أقل ما يمكن الحصول عليه من الناحية العملية.

لقد تم تأهيل المرشحات بعد تعرضها للحمولة الزائدة من المياه العكرة ولعدة سنوات. وتم تغيير نظام التحكم بالتدفق إلى نظام تدفق متناقص، حيث يتم التحكم به عن طريق هدار، لتصل المياه في النهاية الى المرشحات. كما تم إزالة جهاز التحكم بتدفق المياه، وتمّ تركيب بعض الخطوط الضرورية لتلائم تصميم التدفق الثنائي.

وقد تم كذلك الحفاظ على قيعان المرشحات بوضع طبقة حصى دائمة بتدرج عكسي، واستعمال وسط ثنائي في وسط المرشحات، حيث أصبح هذا الوسط يتكون من رمل وفحم من مصدر محلي. وتم تحسين بناية المواد الكيميائية ووحدات التشغيل، حتى يعمل المشغل في بيئة عمل مُحببة. كما تم إعادة تصميم برنامج لتحضير المواد الكيمائية وطريقة التغذية. وأصبحت عملية التشغيل وإمكانية السيطرة على المحطة بالكامل سهلة. في الحقيقة، لقد تم إنشاء محطة تنقية جديدة بسعة 250/لتر/الثانية تقريباً في نفس المنشآت القائمة وبتكلفة قليلة جداً.

الفصل التاسع

الحصول على الفائدة المثلى وتطوير محطة ذات سعة من 1 م^3/ثانية إلى 2.5 م^3/ثانية

9-1 تقييم المحطة القائمة

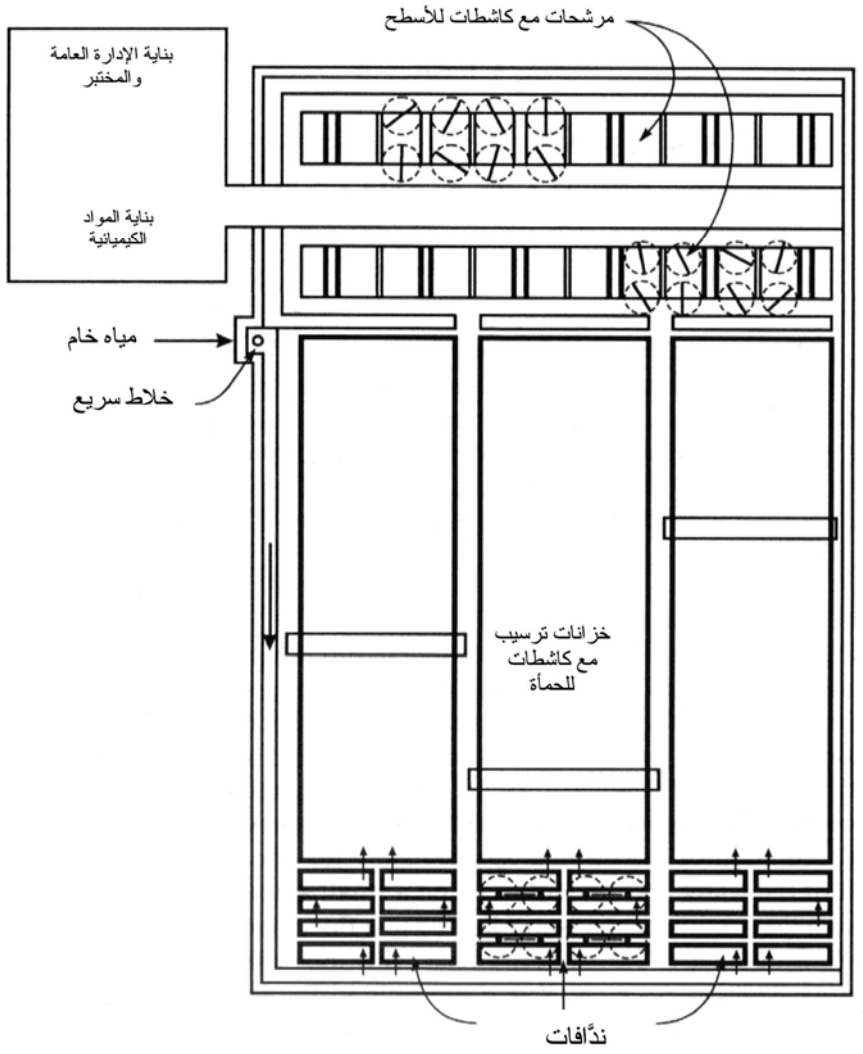
صممت هذه المحطة وأُنشِئَت لإنتاج 1م^3/الثانية (86400 م^3/اليوم). وتم تشغيلها بحمل زائد يقدر بنحو 20-30 م^3/الثانية. إن جودة المياه المعالجة بحاجة إلى تحسين، لأن قيمة عكر المياه المعالجة يكون معظم الوقت أكبرمن القيمة المشار اليها في دلائل منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب وهي خمس وحدات (NTU).

9-1-1 المخطط والأبعاد

يوضح شكل 9-1 المخطط الأصلي التفصيلي للمحطة القائمه، حيث كانت المياه الخام تدخل من خلال مقياس فنشوري لقياس تدفق 1.3- 1.4 م^3/الثانية (وكان في حالة سيئة وبحاجة إلى تبديل)، ثم تتجه المياه إلى خزان خلط سريع بأبعاد 2.75 م × 2.75 م × 4.00 م، والذي يوفر مدة مكوث حوالي 3 ثواني. كان الخلط يتم عن طريق تندف ميكانيكي وماتور كهربائي بقوة 25 حصان. وكان المخثر يضاف بشكل مركز عند نقطة في زاوية خزان الخلط، وكان دوران التوربين بطيئاً جداً، ولم يحدث انتشار جيد للمخثِّر، لذلك فإن معظم كمية المياه الخام تستقبل مخثر أقل مما يجب والجزء الآخر يستقبل كمية أكبر.

ثم يتدفق الماء من خزان الخلط إلى نظام التندف، الذي يحتوي على ست حجرات (8.5 × 8.5 × 3.5 م عمق)، وفي كل حجرة أربعة أجهزة خضخضة ميكانيكية دوَّاره، ولولا وجود مسارات قصيرة ومساحات ميتة لكان وقت التندف المكون من 25 دقيقة كافياً.

لم تكن القناة الرئيسة التي توزع الماء بين أحواض التندف مصممة لتوزيع التدفق بالتساوي، لأن أهمية ذلك لم تكن معروفة في ذلك الوقت. بناءً على ذلك، فقد لزم إعادة تصميم وتحديث هذه القناة، وكانت المياه تتدفق مباشرة من نظام التندف إلى ثلاثة خزانات للترسيب، وكل خزان من الخزانات الثلاثة (17.25 م عرض و 54 م طول ومعدل عمق 4.55 م)، كان يستقبل الماء من حجرتي تندف. كان توزيع المياه المندفة إلى خزانات الترسيب سيئاً، لذلك يجب تركيب حاجز عند مدخل كل خزان. تُزال الحمأة بكاشطات ميكانيكية، كانت بوضع جيد. وتمر المياه المترسبة من كل خزان من فوق هدار بعرض الخزان عند نهاية المخرج. لقد كان معدل التدفق عالياً، لذلك يتم جرف كميات كبيرة من الكتل المخثَّرة. وكان يتم جمع الماء بقناة في نهاية الخزانات لنقلها إلى المرشحات، كما هو موضح في الشكل 9-1. كما تم تصميم المحطة وتشغيلها بعمق حر 0.45 م، والذي يعتبر أكثر من اللازم، ويمكن استعماله في عمليات التحسين ورفع الكفاءة.



شكل 9-1 مخطط عام لمحطة تنقية لم يتم تحسينها، بسعة 100 لتر/ثانية

يوجد في المحطة اثنا عشر مرشحاً، ستة مرشحات على كل طرف من طرفي قناة تفصل بينهما، وكل مرشح يقسم إلى قسمين 3.75 م × 8.20 م، يفصل بينهما قناة رئيسة. يتكون وسط كل مرشح من طبقة رمل بعمق 0.7 م فوق حصى داعم بعمق 0.5 م. ويتكون نظام التصريف السفلي من قناة مركزية رئيسة يصب فيها أنابيب مثقبة فرعية مصنوعة من حديد سكب. كل جزء من المرشح يتم غسيله عكسياً لوحده، بمياه مضغوطة. كما يوجد كاشطات دوارة لتساعد في تنظيف الرمل خلال الغسيل العكسي، ولكن قسماً منها كان لا يعمل، وكان كل مرشح يحتوي على جهاز سيطرة على تدفق المياه، ولكن عمل هذه الأجهزه لم يكن مقبولاً.

9-1-2 سجلات المحطة وكفاءتها

سجلات هذه المحطة قليلة، ولكن بعض المعلومات متوفرة، حيث تضخ المياه الخام لهذه المحطة من نهر كبير، وتختلف نوعية مياه هذا النهر (جدول 9-1) بشكل كبير من فصل الأمطار إلى فصل الجفاف.

يبدأ سوء الكفاءة في المحطة من عملية الخلط الأولي، الذي يتم عن طريق أنبوب يحمل محلول المخثر المحضر بتركيز عالٍ (حوالي 20٪)، يضاف إلى خزان الخلط بوساطة مغذٍ تحت ضغط ثابت. وكان يضاف محلول المخثِّر بكمية قليلة في زاوية من الخزان، وتتم فيه عملية الخلط بطريقة غير فاعلة، وكان يعزى سوء نوعية المياه المترسبة إلى إضافة حجم قليل من المخثر المركز.

كانت المياه الخام المخلوطة تنقل مع مادة المخثر عبر قناة طويلة، لم تكن مصمَّمة لتوزيع المياه بالتساوي بين خزانات التندف، ولم تكن حواجز المداخل قد صممت لتوزيع المياه على مقطع الخزان بالتساوي، وكانت النتيجة عدم توزيع التدفق بالتساوي. فكانت أجزاء من المياه تغادر الخزان بسرعة، ودون مدة مكوث تذكر. احتوت الخزانات على حجرة واحدة فيها أربعة أجهزة خلط بطريقة البدّالات (Paddle-Type)، وهذا كان يشجع على زيادة المسارات القصيرة لكميات كبيرة من المياه. ونتيجة لهذا الخلل فقد كان تكوين الكتل المخثَّرة سيئاً، والترسيب غير كامل. وكان عكر المياه المترسبة يزداد سوءاً بسبب مخارج الهدارات التي كانت موضوعة على كامل طول مخرج الخزان. وكان هذا أقصر تصميم لطول الهدار، والذي يُمرر أعلى تدفق ممكن حسب التصميم. نتيجة لذلك كانت الكاشطات تحمل معها كمية كبيرة من الكتل المخثَّرة.

جدول 9-1 نوعية المياه الخام خلال فصل الأمطار وفصل الجفاف لمحطة معالجة ذات سعة أساسية تساوي 1000 لتر/الثانية

	فصل الأمطار(4 شهور)			فصل الجفاف (8 شهور)		
	أقصى قيمة	أدنى قيمة	المتوسط	أقصى قيمة	أدنى قيمة	المتوسط
العكر	500	25	48	25	15	18
اللون	50	20	25	15	10	12
القلوية (ملغم/لتر)			25			80

لعدم كفاءة المعالجة الأولية فإن عكر المياه المترسبة العالية، لم تسمح لعملية الترشيح بأن تكون ذات كفاءة عالية. وكانت المياه الخارجة ذات جودة متغيرة، ولكن قيمة عكر المياه المرشحة كانت تزيد عن القيمة المعتمدة في دلائل منظمة الصحة العالمية لمياه الشرب في معظم الأوقات وهي خمس وحدات NTU.

وكان مبنى المواد الكيميائية ومكاتب التحكم والمختبر في وضع سيىء، وبحاجة إلى تأهيل كلي.

9-1-3 تحديد معطيات زيادة الكفاءة بالاعتماد على الخبرة واختبار الجرة

بالاعتماد على اختبارات المختبر، وعلى عوامل الخبرة التي تؤثر على كفاءة المحطة، فقد تم تحديد معطيات التصميم والعمليات كما يلي:

- أفضل مخثر هو كلوريد الحديديك بجرعة مقدارها يتراوح بين 3 و3.5 ملغم/لتر.
- جميع التحضيرات الكيميائية، والتخزين، وأجهزة تغذية المخثر، يجب أن تعمل حسب تركيز المخثر المطلوب.
- ليس هناك حاجة إلى بوليمر للحصول على معالجة جيدة، والمدى الذي يمكن أن يحدث تغييراً يعتبر غير اقتصادي.
- يجب أن يتم الخلط الأولي للمخثّر والماء الخام بحيث تكون قيمة خط ميل السرعة أكبر من 1000/الثانية.
- كانت مدة التندف 30 دقيقة، وتستخدم الطاقة في خزان الندف بشكل متدرج على النحو التالي: 60-80/الثانية لمدة خمس دقائق، ثم30-40/الثانية لمدة خمس دقائق، أخرى، وأخيراً 15-20 /الثانية لمدة 20 دقيقة.
- يجب أن يكون الحمل السطحي لخزانات الترسيب 3.2سم/الدقيقة (46م^3/م^2/اليوم) للمياه الخارجة ذات عكر 4-5 وحدات (NTU).
- كانت هناك حاجة لاستعمال مرشحات ثنائية، تتكون من مادتي الرمل والفحم المحلي، مع تدفق متوسط 12.5 م/الساعة، ونحتاج إلى طبقة حصى داعم بتدرج عكسي بعمق 0.5 م. ويجب استخدام غسيل عكسي بتدفق 0.8 م^3/م^2/الدقيقة والسيطرة على المرشح يجب أن تكون بالتدفق المتناقص.
- يجب تغيير بعض البوابات والأنابيب والقنوات والفتحات مع زيادة التدفق لتجنب الاضطراب وفاقد الضغط الكبير. ويجب دراسة هذه المتطلبات كل متطلب على حده.
- الترشيح المباشر ممكن في الفصل الجاف. عندها يكون 5-3 ملغم/لتر من المخثر كافياً للحصول على عكر أقل من وحدة NTU بوساطة الترشيح لوحده.

2-9 التحسينات المطلوبة لزيادة الكفاءة

الضخ وخطوط الأنابيب:

لزيادة التدفق من 1.0 م^3/الثانية إلى 2.5 م^3/الثانية، يجب تركيب عدد أكثر من المضخات بعد تحسين محطة الضخ. ثم تركيب ثلاث مضخات جديدة سعة كل واحدة 1.25 م^3/الثانية، واحدة من هذه المضخات احتياط. وتم تأهيل المضخات القائمة لتوفير سعة إضافية أكبر. وكانت هناك حاجة لإنشاء خط أنابيب جديد (بقطر150 ملم) لنقل كمية أكبر من المياه إلى المحطة.

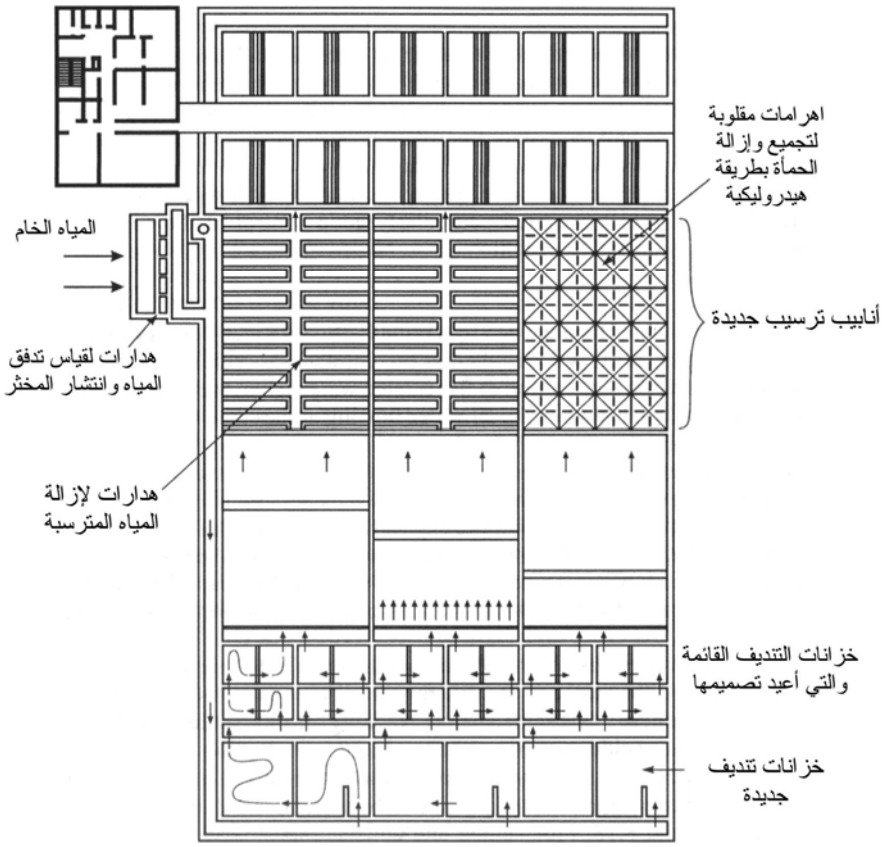
قياس التدفق والخلط الابتدائي للمخثر:

كان الهدار مهوى، وذا حافة حادة بطول 10 م، ويستعمل لقياس التدفق، (مقسم إلى خمسة مقاطع متساوية وكل مقطع 2 م، لتوفير تهوية جيدة)، كما يستعمل لانتشار المخثر المخفف. إن الأشكال 9-2 و8-7 إلى 8-9 توضح أشكال وترتيب الهدار، ونافث المخثر. وقد تم تحسين التحكم بالتدفق إلى المحطة، وخلط المخثر مع المياه الخام في البداية بطريقة أفضل في المعالجة. وتم قياس كل من التدفق وجرعة المخثر بشكل خاص، وتم السيطرة عليهما من خلال الانتشار الأولي للمخثر المخفف الذي تم تحضيره.

التندف:

عادة يكون من المحتمل الحصول على سعة أكبر لعملية التندف، وذلك بتحسين جزء من خزان الترسيب. ولكن في هذه المحطة، إن إعادة ترتيب تصريف الحمأة والكاشطات ليس مجدياً اقتصادياً. لذلك كان الاختيار الأفضل بناء سعة إضافية لعملية التندف التي تعطي الوقت الجيد والمطلوب، لتكوين كتل متخثرة جيدة.

وخلال موسم الأمطار، يوجد فترة يكون فيها العكر عالياً جداً، والمياه السطحية الجارية كبيرة، وهذا يتطلب سيطرة خاصة وجيدة بجرعة وانتشار وتندف المخثر.



شكل 9-2 مخطط عام لمحطة تنقية تم تحسينها للحصول على الفائدة العظمى بسعة 2500 لتر/الثانية. وقد تم التحسين ضمن حدود المحطة القائمة.

الترسيب:

تم تركيب حاجز مثقب جديد يسبقه حاجز مصمت، لامتصاص طاقة الحركة، (انظر شكل 8-13) عند مدخل كل خزان ترسيب، لحث المياه المندفة لتتوزع على مقطع خزان الترسيب بشكل منتظم. وتبدأ عملية الترسيب بتدفق الماء بنفس السرعة خلال الخزان. ("تدفق كتلي"أ و "تدفق حجمي").

باستخدام سرعة الترسيب التي تم الحصول عليها في اختبار الجرة، إمكن الحصول على المساحة المطلوبة لترسيب بسيط من خلال إنشاء خزانين جديدين مشابهين للخزانات القائمة. وهذا يحتاج إلى عملية تندف صعبة والخيار الأفضل هو بناء نظام تدفق عمودي بوساطة أنابيب ترسيب ذات حمل عالٍ عند مخرج كل خزان. وهذا سوف يزيد من سعة الترسيب الإضافية المطلوبة لرفع كفاءة الخارج من المحطة دون تكلفة لإنشاء خزانات ترسيب إضافية.

يتم نقل المياه المترسبة إلى المرشحات عن طريق نظام هدار مثلثي وقنوات مفتوحة، وذلك حسب المخطط الظاهر في شكل 9-2. وكانت الكتل المخثَّرة الثقيلة تترسب قبل أن تصل إلى أنابيب الترسيب، لذلك فإن الكاشطات القائمة يمكن أن يستمر استعمالها في جزء من الحوض، وكانت تُزال الحمأة من أسفل أنابيب الترسيب هيدروليكياً. فقد تم تركيب أجسام خرسانية على شكل أهرامات مقلوبة في قاع الخزان، كما هو واضح في الأشكال من 8-16 إلى 8-18، وكانت تُزال الكتل المخثَّرة والتي تم تجميعها في القاع بشكل دوري، وذلك عن طريق فتح محابس على أنابيب تصريف الحمأة.

كانت الأهرامات المعكوسة المثبتة في قاع الخزانات، ذات المقاطع الطولية، على شكل منشور مثلثي، ومساقط أفقية على شكل ثنائي السطح معكوس. وهناك منشور في وسط الخزان، مكون من خمسة مثلثات متساوية الساقين، وكل سطح يشكل مضلعاً منشورياً، كما هو موضح في شكل 8-16.

المرشحات:

يمكن استخدام منشآت المرشح دون أي تغيير، ولكن يجب تحسين وسط المرشح حتى يلائم التدفق الناتج عن زيادة تدفق المحطة.

لقد تم تحسين وسط المرشح باستعمال رمل من الوسط القائم بعد غسله وتنظيفه، ووضع فوق الرمل فحم من مصدر محلي، واستعمل حصى داعم ذو تدريج عكسي ليقاوم التحركات. وقد تم تغيير نظام التحكم في التدفق من نظام تدفق ثابت إلى نظام تدفق متناقص. وكان لا بدّ من إعادة بناء نظام التصريف ليسمح بترشيح وغسيل عكسي بكمية أكبر، ويجب زيادة كمية مياه الغسيل وخطوط مياه الترشيح.

9-3 تعديلات في التصميم.

9-3-1 تحضير المواد الكيميائية

لقد اتبع نفس الأسلوب، كما تم مناقشته في الفصل السابق، للمحطة ذات سعة 250 لتر/الثانية، (الفصل الثامن). حيث تم توزيع محاليل المواد الكيميائية إلى نقاط، وتمت إضافتها بفعل الانسياب الطبيعي. وكان المخثر (كلوريد الحديدك) يُزَّود تحت ظروف حامضية. لذلك، لا بدّ من حماية الخزانات حماية كافية عن طريق دهان لمقاومة الأحماض واستعمال أنابيب من البلاستيك.

كان أقصى تركيز لجرعة المخثر المتوقعة تعادل 35 ملغم/لتر، لذلك لا بدّ من زيادة مقدارها 25٪، أي ما يعادل 9.450 كغم/اليوم تقريباً. إن الوزن النوعي لكلوريد الحديديك التجاري يبلغ حوالي 1.3كغم/لتر. لهذا فإن تزويده وتفاعله مع المخثر يحتاج إلى حجم بمقدار 7.27 م^3/اليوم.

مصدر التزويد يبعد حوالي 50 كم عن المحطة، والطريق كان جيداً، لذلك كان كافياً أن يتم تخزين ما يكفي لعشرين يوم في خزان بحجم 145.4 م^3 (150م^3). وقد استعمل خزانان، كل خزان بحجم 75م^3، للتخزين والتزويد، وقد استعملت في إنشاء الخزانين مواد مقاومة للتآكل. لأسباب إنشائية كانت الخزانات دائرية الشكل بقطر داخلي 5م، وعمق فعّال 4م، وكان قاع الخزان يميل نحو الخارج، وذلك لسهولة تصريف مياه التنظيف، وكانت كمية التخزين كافية لتسمح بوقف الخزان عن العمل للقيام بالصيانة وعمل التصليحات اللازمة.

9-3-2 إضافة المخثر

يضاف المخثر تحت تأثير الانسياب الطبيعي إلى النافث عند الهدار، وعند استخدامه يخفف المحلول إلى 0.5٪. وكان يصل كلوريد الحديديك إلى المحطة بتركيز حوالي 30٪، لذلك كان يستخدم حوالي 59 جزء من المياه مقابل جزء واحد من المحلول الأصلي، للحصول على التركيز المطلوب. وكانت طريقة قياس مياه التخفيف والخلط تتم عند التدفق. (في هذه المحطة 250لتر/الثانية) (الفصل الثامن).

وكان الهدار بطول 10 م مُقَسّم إلى خمسة أقسام، كل قسم بطول 2 م، كما هو مبين في شكل 9-2. وكان موقع وترتيب النافث كما هو موضح في الأشكال 8-7 إلى 9-8 تماماً.

9-3-3 القناة من مخرج الهدار

يجب الحفاظ على الجزيئات الغروانية التي تم خلخلتها نتيجة الخضخضة العالية، لتكوين كتل متخثرة كثيفة وقوية، ويجب أن يكون معدل تغير السرعة مع الزمن)خط ميل السرعة(في القناة يساوي أو أعلى بقليل من تلك التي في خزان التندف الأول. في هذه الحالة يجب أن تقل (خط ميل السرعة) عن 80/الثانية، ولحساب قيمتها هناك معادلة يمكن أن تشتق من الجمع بين معادلتين:

$$v = \left(R_H^{2/3} I^{1/3}\right)/n \quad \text{and} \quad P = \mu V G^2 = Qh\gamma$$

لتعطي

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu n}} R_H^{3/4} I^{3/4}$$

بالنسبة لقناة ذات مقطع مستطيل (العرض B و العمق H) فإن خط ميل السرعة تكون :

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu n}} \left(\frac{BH}{B+2H}\right)^{3/4} I^{3/4}$$

بالتعويض بقيمة B للقناة القائمة كما هي معلومة (1.5م) فهذا يعطي:

$$G/\left(I^{3/4} B^{3/4} \sqrt{\gamma/\mu n}\right) = A$$

لذلك يمكن تحديد قيمة H كمتغير في التصميم.

$$H = \left(A^{4/3}B\right)/\left(1.2A^{4/3}\right)$$

الحل في هذه الحالة كان H = 1.48 م.

كان عمق المياه الجارية في القناة القائمة 2.25 م، وكان العمق الحر في خزان الترسيب 0.45 م، ويمكن تقليل العمق الحر إلى 0.2-0.25 م. وهذه عملية سهلة سوف توفر الفوائد التالية:

- زيادة الحجم في خزانات التندف.
- زيادة ارتفاع سطح الماء لتركيب نظام أنابيب الترسيب.
- زيادة ارتفاع سطح الماء فوق أوساط المرشح.

بعمق حر يساوي 0.2 م، يمكن لارتفاع الماء في القناة أن يقل إلى 1.65 م (0.2 م - 1.45 م)، ويمكن الحصول على ذلك بتزويد القناة بقاع مائل، كماهو واضح في شكل 9-3.

كان متوسط سرعة الجريان في القناة 1.15 م/الثانية، وهذا يمثل 2.5 م^3/الثانية/(1.5م × 1.45م). إن الوقت الذي تستغرقه المياه لتنتقل من منشأ المدخل إلى خزان التندف 54 ثانية تقريباً، (62.2/1.15)، وذلك بسبب أن الميلان الهيدروليكي للجريان هو 0.00057 (من معادلة Manning):

$$\text{الميل} \qquad = V^2 n^2 / R^{4/3}$$

والتغير في المستوى على طول 62.2 م كان 0.036 م.

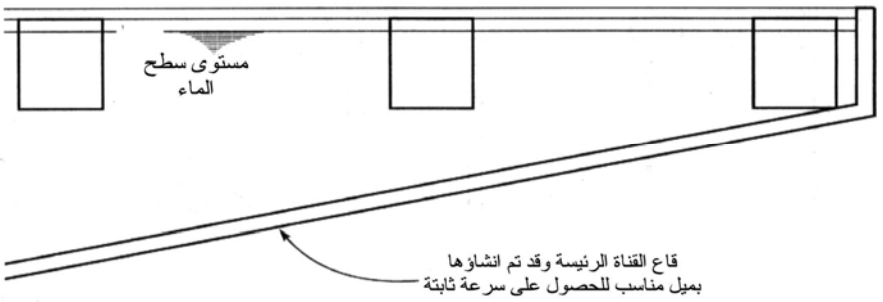
9-3-4 قناة لتوزيع التدفق بين خزانات التندف

كان الهدف الرئيس هو الحصول على توزيع متساوٍ للتدفق بين خزانات التندف الثلاثة، التي كانت محكومة بالعلاقة التربيعية النسبية للسرعة في الأنابيب الرئيسة إلى السرعة في الفروع. (شكل 8-5 يوضح التوزيع لثلاثة خزانات ترسيب). إن السرعة في الفروع ثابتة، لذلك يجب أن تكون السرعة في القناة الرئيسة ثابتة قدر الإمكان. وبما أن التدفق يقل في القناة الرئيسة بعد كل مخرج، فإن مقطع الجريان يجب أن يقل تدريجياً في القناة الرئيسة.

يجب أن يكون تصميم مداخل خزانات التندف الثلاثة بمعدل تغير سرعة (خط ميل السرعة) متناسبة مع قيمتها في الحجرة الأولى في خزان التندف، (60-80/الثانية في هذه الحالة). وفي نفس الوقت يكون فاقد الضغط ذا قيمة متوسطة. إذا كانت خط ميل السرعة تعادل 60/الثانية فإن متوسط سرعة الجريان 0.412 م/الثانية بفاقد ضغط حوالي 0.9 سم. بالنسبة لقناة ذات عرض 1.2 م وبقيمة خط ميل السرعة 60/الثانية فإن العمق 2.25 م، وإن متوسط السرعة حوالي 0.92 م/الثانية. بعد أول مخرج فرعي يقل التدفق بقيمة الثلث (1.667 م^3/الثانية). وحتى تحافظ على السرعة ثابتة فإن مقطع القناة الرئيسة يجب أن يكون 1.80 م^2. (العرض 1.2 م والعمق 1.5 م). والتدفق بعد المخرج الفرعي الثاني قلَّ إلى 0.833 م^3/الثانية، لذلك فإن مساحة المقطع العرضي للقناة الرئيسة لا بد أن تتناقص حتى تصل إلى 0.9 م^2، (عرض 1.2 م وعمق 0.75 م). إن القناة الرئيسة المتدرجة توزع التدفق بصورة جيدة بين خزانات التندف الثلاثة، حيث كان عمق القناة 2.25 م عند مخرج الفرع الأول، و0.75 م عند مخرج الفرع الثالث. (انظر شكل 9-3).

5-3-9 خزانات التندف

كان حجم خزان التندف اللازم لفترة 25 دقيقة من التندف وتدفق 2.5 م3/الثانية هو 3750 م3. عادة يضاف 10٪ للسماح بالتعويض عن المسارات القصيرة والأحجام الميتة، ولكن في هذه المحطة كان زمن الخضخضة دقيقتين تقريباً، للانتقال من مدخل الهدارات إلى خزانات التندف، وبوجود ست حجرات فإن احتمالية المسارات القصيرة قد انخفض كثيراً. (انظر الشكل 9-2)

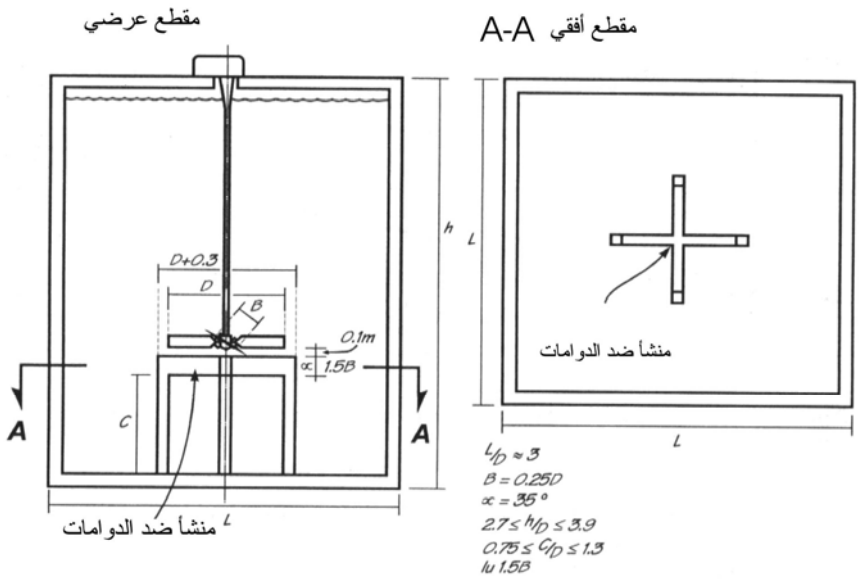


شكل 9-3 قاع قناة رئيسة ذات فتحات متتالية للحصول على سرعة ثابتة مع نقصان كمية التدفق

كانت الخزانات توفر ما سعته الإجمالية 1625.62 م3، (ستة خزانات بأبعاد 8.5 م × 8.5 × 3.75 م لكل واحد)، وكان هناك حاجة كبيرة لزيادة سعة خزانات التندف، لذلك فقد تم إنشاء ستة خزانات جديدة كما هو واضح في شكل 9-2. وقد تم استعمال الحجرات القائمة مع الحجرات في الخزانات الجديدة ليصبح هناك ست حجرات على التوالي في المقاطع الثلاث لنظام التندف. وكانت السعة الإضافية للخزانات الجديدة هي 2254.2 م3. (ست خزانات، كل خزان 8.5 م × 8.5 م × 5.2 م)، وبحجم إجمالي يبلغ 3879.81 م3 ويحقق المطلوب، وهو 3750 م3.

كان زمن المكث في كل خزان جديد حوالي 7.5 دقيقة، وهذا أطول مما تشير إليه الفحوصات. وللتعويض الجزئي فقد تم تقليل شدة الخضخضة حتى أصبحت قيمة خط ميل السرعة تعادل 60-70/الثانية في الخزان الأول و35-45/الثانية في الخزان الثاني و12-20/الثانية في الخزانات الأربعة الباقية.

لقد تم تزويد الخزانات الجديدة بخضخضة ميكانيكية بوساطة مراوح، كل مروحة تحتوي على أربع شفرات مستوية. وكان طول شفرات المروحة وعرضها قد تم تحديده بالتجربة. فكان طول شفرة المروحة (2.5 م)، وهذا يمثل حوالي ثلث الطول الجانبي للخزان، بينما كان عرض المروحة 0.625 م، وهذا يمثل ربع طولها. الشكل 9-4 يوضح أبعاد وترتيب المروحة، وقد تم وضع الشفرات بحيث كانت الزاوية بين كل واحدة والتي تليها 35°، وقد تم التوصل إلى هذا الترتيب أيضاً بتجارب هيدروليكية في خزان ترسيب.



شكل 9-4 مندف ميكانيكي مع مراوح ومنشأ ضد الدوامات

أن القوة التي يجب استخدمها في الماء لإعطاء السرعة الدورانية المطلوبة، يمكن حسابها ببساطة من:

$$P = \mu V G^2$$

حيث:

μ = اللزوجه الديناميكية أو المطلقة (1, 029 x 10 $^{-4}$ كغم/م^2 عند درجة حرارة 20 م^o).

V = الحجم (8, 5 x 8, 5 = 375, 7 م^3).

G = معدل تغير السرعة مع الزمن (70 /الثانية للخزان الأول, 45 /الثانية للخزان الثاني)

من ناحية أخرى، لكل نوع من السوائل التي تم خضخضتها في أوعية، فإن تحليل الطاقة المستخدمة تعتمد على العلاقة بين رقم القوه (N_P) وعدد رينولد (N_{Re})، والتي تعتمد على نوع الخضخضة وعلى مواصفات الأنبوب وعلى السائل.

$$N_{\mathrm{Re}} = D^2 N / v \qquad \text{and} \quad N_p = Pgc / N^3 D^5 \rho$$

حيث:

gc = ثابت دون وحدات أو معامل قانون نيوتن (كغم.م/كغم.الثانية^2) تساوي 9, 8066 م/الثانية^2

N, D = سرعة الدوران (دورة في الثانية)، القطر (م) للمروحة.

ρ = كثافة السائل (101,7917كغم/م^4/ الثانية^2 عند درجة حرارة 20م^o).

v = اللزوجة الحركية (1, 007 x10 $^{-6}$ م^2/الثانية).

بالنسبة للنظام الذي يستخدم فيه الحواجز، ويكون فيه عدد رينولد ليس أقل من 10000، فإن التجارب أظهرت أن رقم القوة (Power Number) يكون ثابتاً. وبمروحة ذات قطر 1م، وسرعة دوران 0.1 دورة/الثانية ودرجة حرارة 20°م فإن:

$$N_{\mathrm{Re}} = \left(1^2 \times 0.1\right) / \left(1.007 \times 10^{-6}\right) \approx 99{,}304 \rangle 10{,}000$$

بما أن قطر المروحة وسرعة الدوران في الثانية، تكونان دائماً أكثر من 1 م و0.1 دورة/الثانية على التوالي، فإن عدد رينولد يكون أكبر من 10000، وتكون قيمة رقم القوة دائماً ثابتاً. إن طول المراوح التي يجب استخدامها في خزانات التندف قد تم تحديدها بالتجارب، حث دلّت هذه التجارب على وجوب أن تكون 1م لذلك:

$$Pgc / N^3 D^5 \rho = \mu V G^2 gc / N^3 D^5 \rho = 1$$

بتعويض القيم المعطاة في الأعلى فإن المعادلة تعطي:

$$1.026 \times 10^{-4} \times 8.5 \times 8.5 \times 5.2 \times 9.8066 G^2 = N^3 \times 2.5^2 \times 101.7917$$

لذلك فإن العلاقة بين G^2 ، N^3 أو N ، $G^{2/3}$ تسمح بتحديد سرعة دوران المروحة N ، (دورة في الدقيقة) لأية قيمة من قيم G حيث يمكن حسابها كالتالي:

$$N_{rpm} = 9.6299 \ G^{2/3} \text{ or } N = 0.1605 \, G^{2/3} \text{ or } G^2 = 241.8737 \, N^3$$

تُحَدِد القوة المستخدمة مواصفات المحركات التي سوف تستخدم لتحريك المراوح في كل مُدخَل من مدخلات الطاقة بالتدريج. ومرة أخرى فإن القيم لهذه المحطة يمكن تعويضها في معادلة الطاقة للحصول على P المطلوبة لـ G كما هو موضح بالأسفل :

$$P = \mu V G^2 = 1.021 \times 10^{-4} \times 8.5 \times 8.5 \times 5.2 \times G^2 = 0.0384 G^2$$

بتعويض قيم مختلفة لـ خط ميل السرعة تكون نتيجة قيم الطاقة المقابلة لها P والتي يجب استخدامها للماء كما يلي:

خط ميل السرعة (/ثانية)	P (كغم/الثانية)	HP
70	187.96	2.50
60	138.10	1.84
45	77.66	1.04
40	61.37	0.82
35	46.99	0.63
30	34.50	0.46
20	15.30	0.20
15	8.60	0.11

لأخذ جميع العوامل التي تؤثر على الطاقة الإجمالية المطلوبة بعين الاعتبار، على سبيل المثال عزم البداية واحتكاك الجير (Gear) والحافظات، فقد تم زيادة الطاقة المحسوبة نظرياً 4-6 أضعاف. بمعنى آخر، إن محرك الحوض الأول يعطي قيمة خط ميل السرعة بمقدار 70/الثانية. لذا يجب أن

يستعمل قوة 10-15 حصاناً. وللتأكد من الكفاءة فالأكثر احتمالية هو استخدام قوة 15 حصان. وهذه النسبة نفسها تم استخدامها للمحركات المتتابعة لخزانات التندف الأخرى.

6-3-9 خزان الترسيب

تمتلك خزانات الترسيب مساحة إجمالية فعالة للترسيب 27945 م^2، (ثلاثة خزانات، مساحة كل خزان 17.25 م×54 م)، وكما تمتلك قدرة تحميل سطحي لزيادة سعة التدفق إلى 2.5 م^3/الثانية، بدلاً من 5.37 سم/الدقيقة، والذي يعتبر عالياً جداً للحصول على ترويق جيد ومجال أمان معقول. وكان متوسط السرعة الأفقية 0.604 م/الثانية، وهي أيضاً عالية جداً بوجود التدفق الجديد.

أحد الحلول لهذه المشكلة ببساطة، هو بناء عدد من خزانات ترسيب. للوصول إلى إزالة الكتل المخثَّرة بسرعة ترسيب 3.2 سم/الدقيقة. المساحة المطلوبة هي 4.6975 م^2، وهذا يعني أن هناك حاجة لخزانين جديدين، لإعطاء المساحة الإضافية المطلوبة لخزان ترسيب تقدر بحوالي 1893 م^2، لكن تركيب أنابيب ترسيب في الخزانات القائمة لإعطاء سعة إضافية للترويق هو أمر أجدى اقتصادياً.

من الخبرة السابقة فإن عملية الترسيب المناسبة، تتم بأنابيب ذات مقاطع عرضية مربعة، طول ضلعها 5 سم، وتبلغ السرعة فيها 15 سم/الدقيقة. وقد تم إنشاء الأنابيب في مجموعات بعرض 0.75 م وعمق 0.54 م وطول يتراوح بين 3.0 و3.6 م. وكل مجموعة من هذه المجموعات تكونت من عدد متتالٍ من الأنابيب في صفوف. والاختيار الآخر، هو استخدام صفوف مائلة في الاتجاه المعاكس (تعمل على شكل X)، وتم ربطها معاً بحيث تعطي دعماً لبعضها البعض، لتكون المجموعة قوية في تركيبها. كانت جدران الأنابيب أقل من 1 ملم وبقي انشاؤها خفيفاً تقريباً ولكن قوياً.

بلغت أقصى مسافة ترسيب في هذه الأنابيب 10 سم (5 سم/ جتا 60°)، وكانت سرعة ترسيب الجزيئات المراد التخلص منها 3.2 م/الدقيقة. والمعادلة العامة لحساب مسار جريان الجزئيات المعلقة في الأنبوب هي المعادلة المبينة أدناه (معادلة Yao)، التي فيها متوسط سرعة الجريان المطلوبة في أنابيب الترسيب (V_0) وجدت بأنها 0.6153 م/الدقيقة.

$$V_S\,(\mathrm{Sin}\theta + L\,\mathrm{Cos}\theta)/V_0 = S_C$$

حيث :

V_S = سرعة الكتل المخثَّرة المراد إزالتها (0.032م/الدقيقة من اختبار الجرة).

θ = زاوية ميلان الأنابيب عن الأفقي (60°).

S_C = 8/11 معطيات الأنابيب المربعة.

V_0 = سرعة التدفق في الأنابيب (استعمال نفس الوحدات كما هي في V_S).

L = الطول النسبي (γ/d = 12.47) أي أن الطول γ= 0.54م/ جا60°

والعرض d يساوي 0.05 م. كانت مساحة الترسيب 1047.49 م^2 التي تحدد تصريفات إجمالية بقيمة 150 م^3/الدقيقة (2.5 م^3/الثانية)، بالقسمة على المركبة العمودية السرعة التدفق (0.1432جا60°=0.1432م^3/الثانية). وبسبب وجود ثلاثة خزانات مساحة مقطع كل واحد 349.16م^2 لتسمح 10-12.5٪ بالنسبة لجدران الأنابيب وإنشاء الحيز للتجميع والمجموع الكلي المطلوب كان يتراوح من384 الى 393 م^2.

كانت مجموعات أنابيب الترسيب بطول 3.44 م وعرض 0.75 م، وقد تم تثبيت خمس مجموعات في كل خزان، مع السماح بترك فراغ بمقدار 5 سم وذلك لعدم انتظام الأنابيب، ولسهولة وضع

المجموعات في كل خزان. تحتوي المجموعات الخمسة على 30 صفاً، وكانت مساحة الترسيب الإجمالية حوالي 387 م^2، بالإضافة لمساحة إضافية نتيجة عدم الانتظام وتثبيت المجموعات في مكانها، والذي كان كافياً لتحقيق المطلوب.

بعد إنشاء أنابيب الترسيب عند المخرج النهائي للخزان، تبيّن أن 28.15 م من طول الخزان يحدث فيه ترسيب طبيعي، وكانت الكتل المختَّرة الثقيلة تترسب قبل أن تصل إلى أنابيب الترسيب. وكانت أجهزة إزالة الحمأة تعمل بشكل مستمر في الجزء الأول من الخزان.

يتم ترسيب كمية كبيرة من الكتل المختَّرة الأقل ثقلاً في مقاطع الأنابيب، وتُزال هذه الحمأة هيدروليكياً بعد أن تتجمع في قاع الأهرامات المقلوبة. إن هذه الأهرامات مصنوعة من خرسانة مسبقة الصب، يتم تثبيتها في قاع الخزان كما هو واضح في الشكل 8-16. إن هذا القاع تم تصميمه للقيام بوظيفتين: تجميع الحمأة في قاع الهرم المقلوب، وتوزيع المياه المُندفة على سطح المساحة أسفل أنابيب الترسيب بالتساوي. وقد تم عمل ثلاثة نتوءات على طول قاع الخزان، وتم بناء فتحات المخارج في بلاطات مسبقة الصب لتصريف المياه المندفة في قناة ذات مقطع مثلثي.

كانت السرعة قليلة بعض الشيء، لذلك لم يتوقع حدوث أية مشكلات مع أن بعض الكتل المختَّرة قد تترسب، وكان القاع بالكامل بحاجة إلى غسيل مرة أو مرتين في السنة.

يتم تجميع المياه المترسبة في قنوات خرسانية مسبقة الصب فوق مقاطع أنابيب الترسيب. وقد شكلت هذه القنوات بعض الاضطراب في توزيع التدفق في أنابيب الترسيب، ولكن تم عمل عدة توصيات لتقليل تأثيرها وهي:

- أن شكل هذه القنوات يجب أن يكون قدر الإمكان هيدروديناميكياً.
- يجب أن تكون حافة مخرج الهدارات أعلى من منسوب أنابيب الترسيب بمتر واحد على الأقل.
- يجب أن تكون المسافة الأفقية بين القنوات أقل من ثلاثة أضعاف المسافة العمودية بين أعلى نقطة في أنابيب الترسيب وقاع القنوات.
- مع أن قاع القنوات تم تصميمه على شكل مثلثات، إلا أنه تم احتساب القنوات لتدفق متغير مع مخارج جانبية على شكل مستطيل بمقطع أفقي دون الاحتكاك الناتج عن الميل.

كما هو موضح في شكل 9-2 فإن هذه المحطة لها ثلاثة خزانات ترسيب مع قناة تجميع مركزية، وثماني قنوات تجميع على الجوانب، تتباعد حسب المعايير التي ذكرت سابقاً. وكانت القناة المركزية بعرض 1 م، وجدران بسماكة 0.15 م، وكل قناة مستعرضة كانت بطول 7.975 م. وكان التدفق الطبيعي 0.0521 م^3/الثانية، وأقصى تدفق متوقع حدوثه عندما يكون أحد خزانات الترسيب خارج الخدمة يبلغ 0.0781 م^3/الثانية. بذلك تكون معادلة مقطع الجريان كما يلي:

$$(x/1)^2 = \left(1 + 1/2F^2\right)y/y_\circ - 1/2F^2(y/y_\circ)^3$$

حيث :

$x =$ المسافة من المركز (م).

$y, y_\circ =$ ارتفاع الماء عند X وعند المخرج (م).

$l, b =$ طول وعرض القناة (م).

$F =$ عدد فرود.

g = التسارع نتيجة الجاذبية الأرضية.

q = معدل التدفق الداخل بوحدة طول القناة (م3/الثانية/م).

إذا كان تدفق المياه من القنوات الفرعية إلى القناة الرئيسة يحدث بسقوط حر، فإن عدد فرود يكون واحد، بذلك يكون مقطع الجريان هو:

$$(x/1)^2 = 1.5(y/y_o) - 0.5(y/y_o)$$

ولكن عندما يكون المخرج مغموراً فإن العمق y_o يمثل مستوى سطح الماء أو عمقه عند المخرج. في تصميم قناة التدفق، والذي يبلغ عرضها في هذه المحطة 0.25 م بذلك تكون معطيات F^2 كاقتران مع y هو:

$$F^2 = 0.0521^2 / \left(9.8066 \times 0.25^2 \ y_o^3\right) = 0.0044/y_o^3$$

لذلك تكون المعادلة التي تمثل مقطع الجريان هي:

$$(x/1)^2 = \left[1 + \left(y_o^3/(2 \times 0.0044)\right)\right] y/y_o - y_o^3/(2 \times 0.0044) \times (y/y_o)^3$$

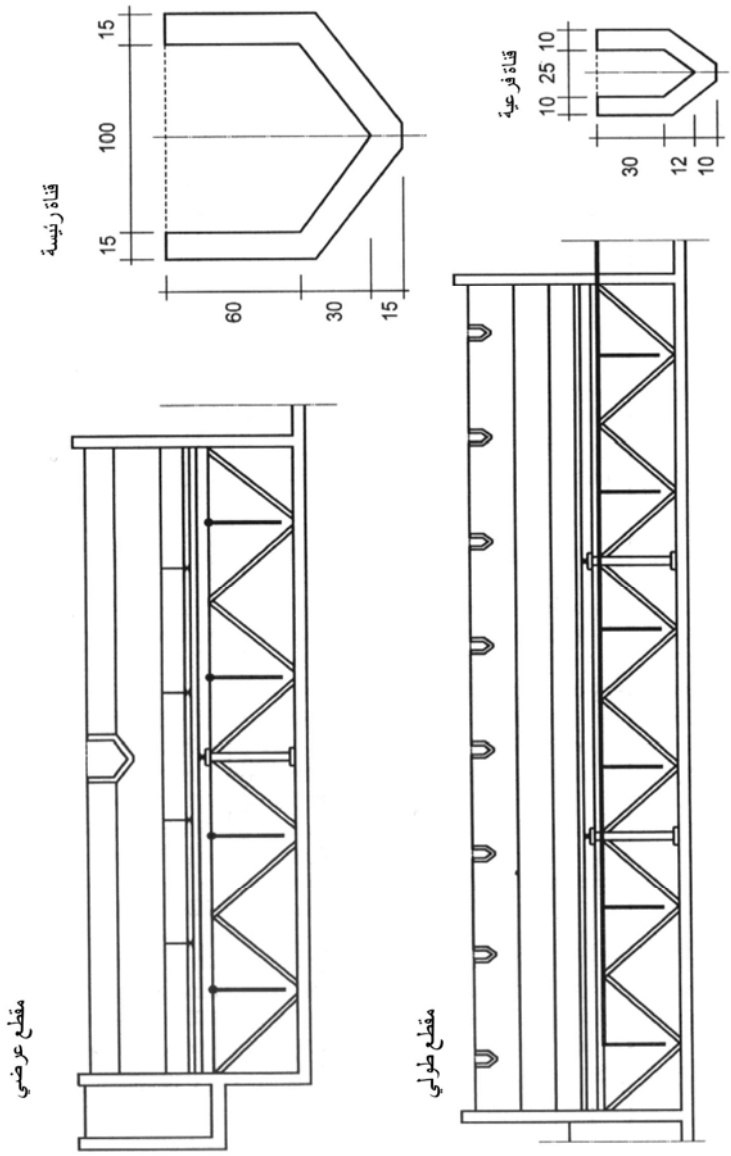
عند الطرف النهائي في بداية القناة (X = 0) يمكن أن توضع المعادلة الخيرة بشكل أكثر سهولة للحصول على قيمة Y بالنسبة إلى y_o كما يلي :

$$y^2 = \left(y_o^3 + 2 \times 0.0044\right)/y_o$$

إذا كانت قيمة y_o تساوي 0.2 م فإن y تكون عند بداية القناة حوالي 0.29 م، ولذلك فمن الواضح أن القناة ذات الأبعاد 0.30 م × 0.25 م لا يمكن أن تفيض عند استقبالها كمية التدفق الأقصى من خزان الترسيب.

يوضح الشكلان 9-5 و9-6 مقطع القناة. إن السعة الإضافية في مقطع القناة v (زيادة على الكمية التي تم حسابها سابقاً) لن يؤدي إلى الفيضان بكل تأكيد، ولو حدث لتسبب بتغييركامل في ظروف تدفق المياه في قنوات الترسيب.

بالنسبة لقناة التجميع الرئيسة فإن بداية المقطع الطولي لجريان المياه عند النهاية العلوية يكون عبارة عن مستوى سطح الماء عند أول فرع، أو عند الفرع العلوي الذي يغذي القناة بمياه التصريف. وكما تم توضيحه سابقاً فإن فاقد الضغط في الفروع يبلغ 0.09 م، لذلك فإن مستوى جريان الماء (حوالي 0.11 م) أقل من مستوى الجريان بالأعلى.



شكل 9-5 تجميع المياه المترسبة: مقاطع طولية خلال قنوات فرعية ومقاطع عرضية خلال قنوات التجميع الرئيسة

ولتحديد المقطع الطولي لجريان الماء في قناة التجميع الرئيسة، لا بدّ من تحديد فاقد الضغط لقناة التجميع الرئيسة: ميل الاحتكاك الذي يحدد باستخدام معادلة Manning، ويمكن إهماله عادة، وفاقد الضغط عند التقاء جريان الماء تُحدده المعادلة التالية:

$$K\left(v^2/2g\right)$$

حيث:

v = السرعة في القناة أسفل التصريف من الفروع (م/الثانية).

g = التسارع نتيجة الجاذبية الأرضية : 9.81م/الثانية2.

K = معامل يعتمد على تدفق نتيجة التقاء جريان الماء.

ويمكن حساب K بالمعادلة أدناه:

$$K = 1 + (Q_u/Q_d)^2 - (Q_u/Q_d)^2 \left[[1 + (Q_u/Q_d)] / [0.75 + .25(Q_u/Q_d)]^2 \right]$$

حيث:

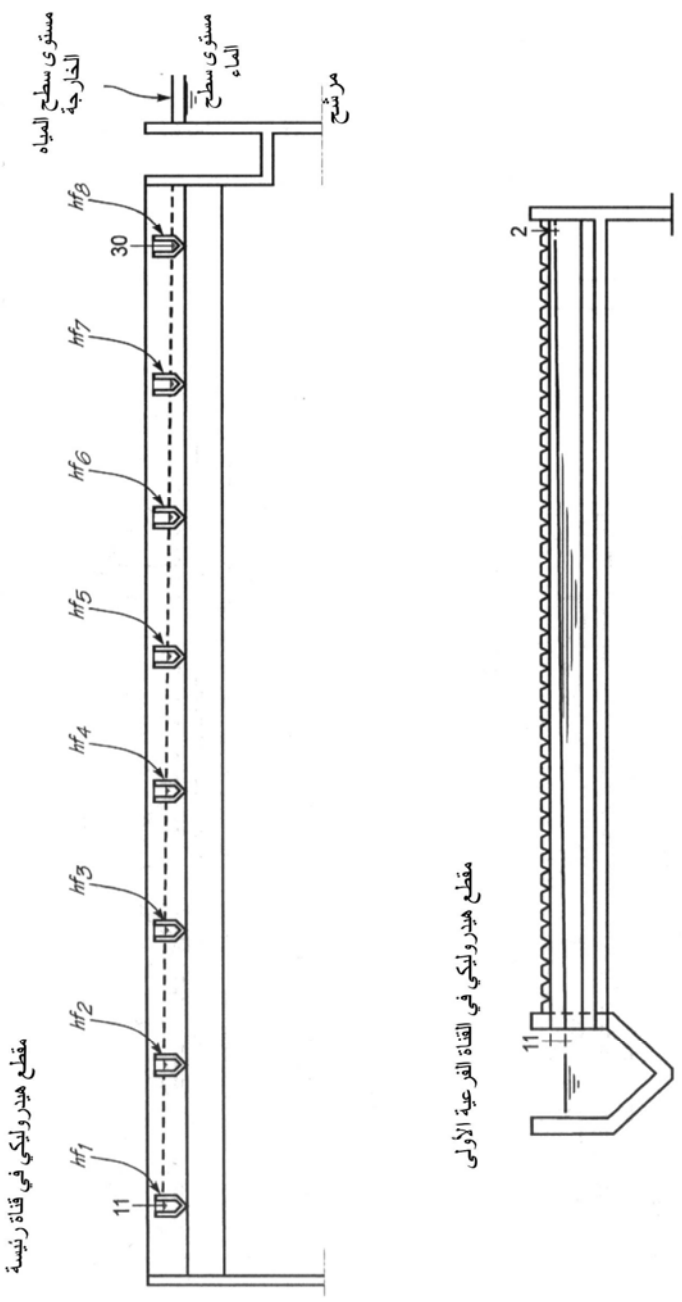
Q_u = التدفق في القناة الرئيسة أعلى نقطة الالتقاء (م3/الثانية).

Q_d = التدفق في القناة الرئيسة أسفل نقطة الالتقاء (م3/الثانية).

كان عرض قناة التجميع الرئيسة يبلغ 1.0 م، وعمقها 0.60 م، وكان قاع القناة على شكل V. في النهاية العليا للقناة كان مستوى سطح الماء حوالي 0.11 م أسفل طرفها العلوي، وكانت مساحة المقطع العرضي 0.74 م2، ولم يحدث فيضان من أطراف القناة. وعندما كان أحد خزانات الترسيب غير مُستخدم كان التدفق في القنوات الفرعية يساوي 0.0781 م3/الثانية.

كانت السرعة بعد الجزء العلوي من منقطة التقاء جريان الماء 0.211 م/الثانية، لأن التصريف كان 0.1562 م3/الثانية (0.0781 × 2) يمر من خلال مقطع بمساحة 0.74 م2. ولم يكن هناك تدفق أعلى هذه النقطة (التقاء جريان الماء الأول)، لذلك كان Q_u = صفر، ونتيجة لذلك فإن، K = 1، ويكون فاقد الضغط h_f يساوي:

$$hf = \left(1 \times 0.211^2\right) / \left(2 \times 9.81\right) = 0.0023m$$



شكل 9-6 تجميع المياه المترسبة: مقطع هيدروليكي في القناة الرئيسة والقنوات الفرعية

بالنسبة للمخرج الثاني من القناة الرئيسة، فإن التصريف بعد هذ المخرج سيكون يساوي 4×0.00791 =0.3125 م^3/الثانية، والتصريف قبلها يساوي 0.0791 × 2 = 0.1563 م^3/الثانية، لـذلك فإن $Q_u/Q_d = 0.5$ وعليه فإن:

$$K = 1 + \left(0.1563/0.3125^{2}\right)^2 - \left(0.1563/0.3125\right)^2$$
$$\left[\left[1 + \left(0.1563/0.3125\right)\right]/0.75 + 0.25 \times \left[\left(0.1563/0.3125\right)\right]^2\right]$$
$$= 1.25 - 0.4898$$
$$= 0.76$$

بما أن السرعة بعد نقطة التقاء الجريان تعتمد على فاقد الضغط، فإن المعلومات قبلها قد استخدمت كتقريب أولي، لذلك فإن السرعة 2 × 0.211 = 0.422 م/الثانية، وعليه فإن فاقد الضغط كان:

$$h_f = (0.76 \times 0.4222)/(2 \times 9.81) = 0.007 \ \ m$$

بعد ذلك يمكن إيجاد سرعة التدفق في ذلك المقطع من خلال جمع فاقد الضغط الناتج عن النقطتين، وكما تم تحديده سابقاً (0.007 + 0.0023 = 0.01)، وذلك لاستخدامه في إعادة حساب فاقد الضغط التقريبي. ومساحة المقطع قد انخفضت إلى 0.73 م^2، ولذلك فإن متوسط سرعة التدفق 0.428 م/الثانية. وتعويض هذه القيمة في المعادلة العليا لا يعطي نتيجة ذات فرق كبير عن قيمة فاقد الضغط الذي تم حسابه بالتقريب (0.007 م)، ولذلك كان مستوى الماء في القناة الرئيسة حوالي 0.12 م، أسفل أعلى القناة. وبالنسبة إلى نقطة التقاء الجريان الثالثة وباستعمال نفس الطريقة كان مستوى سطح الماء 0.132 م أسفل طرف القناة العلوي، لأن فاقد الضغط كان حوالي 0.012 م. أما بالنسبة إلى نقطة التقاء الجريان الرابعة فكان فاقد الضغط حوالي 0.017 م، وبذلك يكون مستوى سطح الماء 0.15 م أسفل أعلى جزء من القناة الرئيسة. وبالاستمرار في إجراء الحسابات لنقاط التقاء الجريان الباقية فإن مستوى سطح الماء بعد آخر نقطة التقاء للجريان وهي الثامنة سيكون 0.31 م أسفل أعلى نقطة من القناة.

إن مدى علاقة مستوى سطح الماء الذي تم تحديده مع تجنب الفيضان (ومدى معرفة ما إذا كانت أنابيب الترسيب سوف تعمل بشكل طبيعي) ليس واضحاً دون معرفة مسبقة وخبرة في هذا المجال. فيلاحظ عادة فيضان قنوات تصريف مياه الغسيل العكسي، لأن المصمم لم يكن يفهم الطرق الهيدروليكية التي تستخدم في تصريف مياه الغسيل العكسي. وكانت النتيجة سيئة في غسيل المرشحات وانسداد المرشحات وتدني جودة المياه المرشحة. وبالتأكيد سوف تظهر مشكلات في المرشحات، وسوف تصبح جودة المياه سيئة بالتدريج تحت مثل هذه الظروف.

فاقد الضغط في هذه القناة الرئيسة كبير نوعاً ما. ولو لم تكن هذه القناة قادرة على استيعاب تدفق المياه الموسمي للمحطة، فإن الحل هو بناء قناتي تجميع، مما يخفض فاقد الضغط إلى الربع تقريباً في قناة واحدة (8-7سم)، ولكن تكلفة الإنشاء ستكون كبيرة.

كان نظام إزالة الحمأة هيدروليكياً مشابهاً لذلك الذي استخدم في محطة 250 لتر/الثانية، والذي تم مناقشته في الفصل الثامن. وكانت الأبعاد والفراغات مختلفة لكن طريقة التصميم كانت نفسها.

تنـزلق الحمأة في أنابيب أو صفائح الترسيب للأسفل علىسطح الصفائح على شكل كتل، لأن الكتل المخثَّرة المترسبة تتجمع معاً حتى تكون كتلاً متجمعة ذات وزن كبير، بحيث تكون كافية لتتغلب على قوة الاحتكاك، وتبدأ بالانزلاق في الاتجاه السفلي، وتقوم بتجميع جزيئات أكثر في طريقها للأسفل. في نفس الوقت الذي تترسب فيها كتل الحمأة الكبيرة للأسفل لتترسب، وترتفع الكتل المعلقة للأعلى. لكن الحمأة المترسبة يتعلق بها بعض الكتل المعلقة، وبذلك تزداد فعالية الترويق. وهذه الحركة تشبه حركة ارتفاع جزيئات الكتل المخثَّرة التي تمر من خلال الحمأة المتجمعة في وحدات التجميع.

7-3-9 المرشحات

في تأهيل مرشحات قديمة، أو تصميم مرشحات جديدة، فإنه من الضروري جداً الأخذ بعين الاعتبار الغسيل العكسي، الذي يحتاج إلى تدفق أكبر. وله أهمية تكنولوجية في عملية الترشيح. فقد كان هناك خلل واضح في تصميم الغسيل العكسي في معظم المرشحات القديمة. عند مراقبة الغسيل العكسي للمرشح فإنك في معظم الحالات ترى أن جزءاً من المرشح يُغسَل أكثر من الآخر، وذلك لسوء توزيع مياه الغسيل العكسي، والخطأ الآخر المهم في المحطات القديمة أن معدل تدفق مياه الغسيل العكسي قليل جداً.

كان معدل الغسيل العكسي في المرشحات المؤهلة تعتمد على تدفق 0.80 م^3/م^2/الدقيقة، وكانت دورة الغسيل تعادل عشر دقائق. وكانت مساحة سطح كل مرشح من وسط المرشحين هو 30.75 م^2 (3.75 ×8.20)، لذلك فإن غسل كل مرشح يحتاج إلى 492 م^3 من مياه الغسيل العكسي، ويتم الغسيل باستخدام محبسين، واحد بعد الآخر وبالتتابع المباشر.

يجب أن تكون سعة أنابيب الغسيل العكسي 25 م^3/الدقيقة (0.417 م^3/الثانية)، ولفترة تصل بمجموعها إلى 20 دقيقة، ويجب عدم زيادة السرعة على 2.8 م/الثانية. ويجب أن تكون مساحة مقطع الأنبوب على الأقل 0.1489 م^2 (0.417/2.9)، وهذا يعادل أنبوباً بقطر 0.435 م. قد يتوفر أنابيب بقطر 450 ملم، ولكن استخدام قطر 500 ملم سيكون مناسباً.

قد تكون سرعة 2.8 م/الثانية عالية، وهي فعلاً كذلك، ولكن لفترة قصيرة نوعاً ما، بالإضافة إلى ذلك يجب عدم إغلاق المحابس بسرعة كبيرة لتجنب حدوث مشكلة الطّرق المائي (water hammer).

يكون هناك حاجة في المرشحات ثنائية الوسط إلى مساعدة في الغسيل العكسي، وذلك للحفاظ على وسط المرشح في ظروف جيدة. في مثل هذه المحطة كانت الكاشطات موجودة بالأصل، ولذلك تم الحفاظ عليها، وتم تبديل ما كان بحاجة إلى إصلاح. وكان ضغط الماء المطلوب لتشغيلها بشكل مناسب هو 55 م عند الفتحات (nozzels). وعند الترشيح كانت الكاشطات أعلى من مستوى وسط المرشح بحوالي 8 سم، ولكن خلال الغسيل العكسي كانت الكاشطات تعمل داخل طبقة الفحم بعد تمدد وسط المرشح.

وكان يجب أن يكون حجم القناة المركزية كافياً لاستقبال 0.417 م^3/الثانية خلال الغسيل العكسي. أمّا معادلة التصريف فهي :

$$Q = 1.376 b h_o^{3/2}$$

يمكن إعادة ترتيبها لحساب ارتفاع الماء h_o

حيث:

Q = التدفق الإجمالي (م3/الثانية).

b = عرض القناة (م).

h = ارتفاع الماء عند النهاية العليا (م).

بالنسبة إلى قناة بعرض 0.75 م وتدفق إجمالي 0.417 م^3/الثانية، فإن ارتفاع الماء عند نهاية القناة العلوية تم حسابه بإعادة ترتيب المعادلة كما يلي:

$$h_o = (Q/1.376b)^{2/3} = [0.417/(1.376 \times 0.75)]^{2/3} = 0.55 \ m$$

لذلك فإن ارتفاع الماء في النهاية العليا للقناة حوالي 0.55 م، وارتفاع القناة عند هذه النقطة يجب أن يكون 0.65 م، لذلك يجب أن يكون الميل حوالي 5٪ حتى تعطي سرعة كافية لإبقاء جميع المواد الصلبة متعلقة بالماء للمحافظة على القناة نظيفة.

كما يجب أن تكون بوابة الدخول إلى قناة التصريف الرئيسة واسعة بشكل كافٍ، وذلك لتجنب فيضان القنوات، والذي عادة يكون السبب في سوء الغسيل العكسي. وإذا تم افتراض أن أقصى عمق فوق البوابة هو 0.5م فإن مساحة البوابة يمكن حسابها كالتالي:

$$Q = C_u A \sqrt{2gh} \Rightarrow A = Q / C_u \sqrt{2gh}$$

Q = التدفق الإجمالي (0, 417 م3/الثانية).

C_u = معامل التصريف (0, 6).

A = مساحة البوابة ($\pi D^2/4$ (m)) م2.

g = التسارع نتيجة الجاذبية الأرضية (9, 8066 م/الثانية2).

h = ارتفاع سطح الماء فوق البوابة (0, 50 م).

$$Q = (2/3) m l \sqrt{2g} \left[\left[h_2 + \left(V_o^2 / 2g \right) \right]^{3/2} - \left[h_1 + \left(V_o^2 / 2g \right) \right]^{3/2} \right]$$

Q = التدفق (0.513م3/الثانية).

m = معامل (0.6).

l = جانب المربع (1.05 - h_1).

g = التسارع نتيجة الجاذبية الأرضية (9.80066±م/الثانية2).

h_1 = ضغط عمود الماء عند النهاية العليا (م).

h_2 = ضغط عمود الماء عند النهاية السفلى (م).

V_o = سرعة تقدم الماء = (1.05 x 0.70)/0.513 = 0.698 م/الثانية.

يمكن التعويض بالقيم وإعادة ترتيب المعادلات لإعطاء معادلة في h_1 كما هو موضح أدناه، والذي يحقق تقريباً قيمة $h_1 = \pm 0.60m$.

$$0.513 = (2/3) 0.60 (1.05 - h_1) \sqrt{2 \times 9.81} \times$$
$$\left[\left[1.05 + \left[0.698^2 / (2 \times 9.81) \right] \right]^{3/2} - \left[h_1 \left[0.698^2 / (2 \times 9.81) \right] \right]^{3/2} \right]$$

أو

$$(1.05 - h_1) \left[1.1143 - (h_1 + 0.0248)^{3/2} \right] = 0.2896$$

$$h_1 = \pm 0.60$$

كانت أبعاد الفتحة المناسبة بطول 0.45 م (0.6- 1.05 م) على ألأقل، (وهذا مكافئ للحجم التجاري 18× 8 إنش). لأن المرشح ومعدل الغسيل سوف تتم زيادتهما في المستقبل، فقد تم اختيار 0.5× 0.5م والذي كان نفس أبعاد المدخل إلى قناة التصريف الرئيسة.

إن هذه الحسابات قد تكون غامضة، ولكن يمكن الحصول على النتيجة نفسها باستعمال المعادلات الهيدروليكية الكلاسيكية. للحصول على معادلة لحساب مساحة البوابة A بالمتر المربع وعمق الماء في وسط البوابة h:

$$Q = KA\sqrt{2gh}$$

لكمية تدفق Q = 0.513م3/الثانية و المعامل K = 0.6

لذلك

$$A\sqrt{h} = 0.513/\left(0.6\sqrt{2\times 9.81}\right) = 0.1931$$

يحاول هذا الحل إيجاد قيمة لـ A، لإيجاد قيمة h، باستعمال أحجام بوابات موجودة تجارياً، فعلى سبيل المثال، إذا كان طول البوابة الجانبي يساوي 0.4 م، فإن h تساوي 0.85 م (لأن 0.85 = 1.5 - (0.4 ÷ 2))، باستخدام هذه القيم يتحقق ما يلي:

$$A\sqrt{h} = 0.A^2\sqrt{0.85} = 0.1475 < 0.1931$$

وهذه القيمة صغيرة جداً. لكن لبوابة ذات طول جانبي يساوي 0.5م:

$$A\sqrt{h} = 0.5^2 = 0.2236 > 0.1931$$

وهذا يعتبر مقبولاً (وهو متطابق مع الحسابات السابقة).

أثناء التصميم روعي إن يكون متوسط التدفق للمياه المترسبة التي تمر من خلال البوابة إلى المرشحات يعادل 0.21 م3/الثانية (12 بوابة وبتدفق إجمالي 2.5 م3/الثانية)، لكن على البوابات استيعاب التدفق بحده الأعلى، والذي قد يصل إلى 1.5 ضعف المتوسط. وبسبب احتمال أن يكون دائماً معدل الترشيح أعلى ففي هذا المثال استعمل 2.5 ضعف متوسط التدفق (0.521 م3/الثانية لكل بوابة). والمعادلة الهيدروليكية تعتمد على ما إذا كانت البوابة مغمورة كلياً أو جزيئاً.

إن العلاقة المستعملة في حال كون البوابة مغمورة كلياً موضحة بالأسفل، والتي فيها V_2 و V_1 يمثلان متوسط سرعة الاقتراب قبل البوابة وبعدها:

$$Q = KA\sqrt{V_2 + \sqrt{2gh + Y_1^2 - Y_2^2}}$$

أما بالنسبة للبوابة المغمورة جزيئاً، فإن العلاقة أكثر تعقيداً، وموضحة بالأسفل، حيث أن المعاملين K1 K2 = 0.6، وb عبارة عن العرض، و h3، h2، h1 تشير إلى ارتفاع الماء عند البوابة، وعند مخرج البوابة، وبعد البوابة على التوالي، (كما هو موضح في شكل 9-7).

$$Q = K_1 b\left(h_2 - h_3\right)\sqrt{2gh_3} + 2/3\,K_2 b\sqrt{2g}\left(h_3^{3/2} - h_1^{3/2}\right)$$

من الشائع استعمال بوابة منـزلقة لهذا النوع من التحكم. على افتراض أن فاقد الضغط $h_3 = 0.05$م و $h_1 = 0$ بالتعويض في معادلة البوابة المغمورة جزئياً:

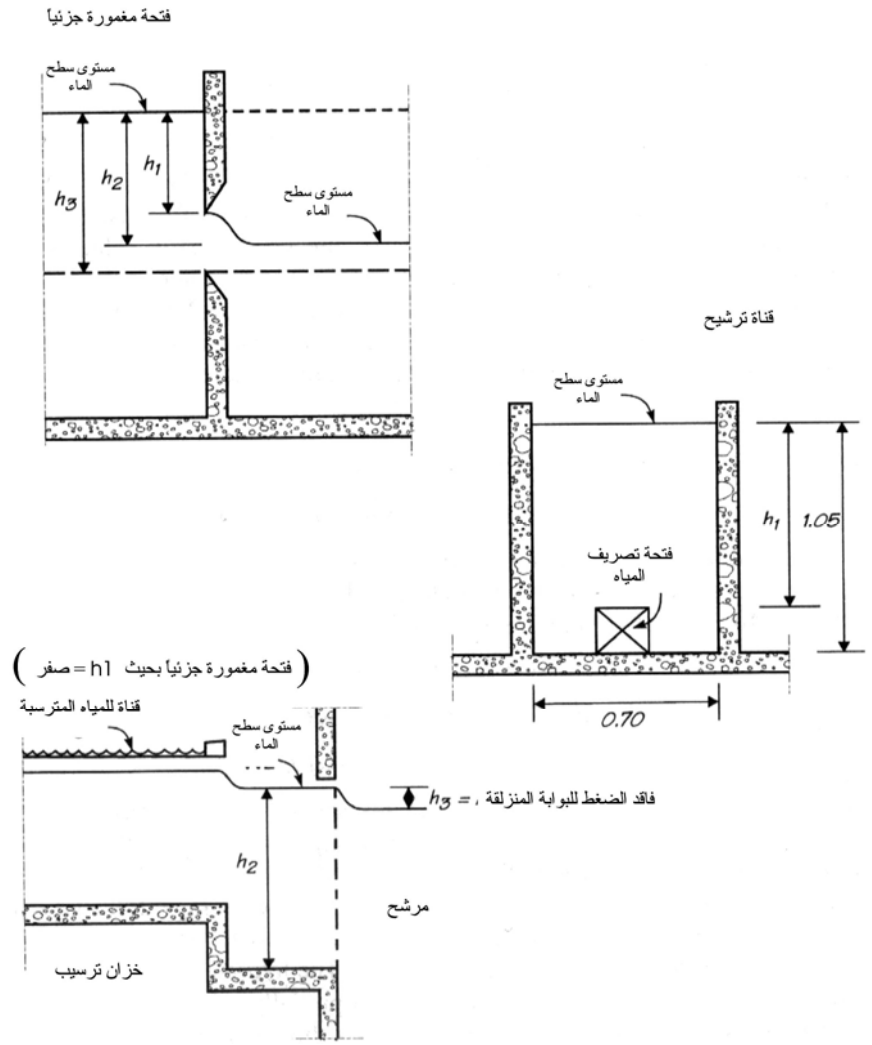
$$Flow = 2.3(2.5/12) = 0.521 \ \ m^3 s^{-1}$$

$$0.521 = 0.6b(h_2 - 0.05)\sqrt{2g0.05} + 2/3 \times 0.06 \times b\sqrt{2g}\left(0.05^{3/2} - 0.0^{3/2}\right)$$

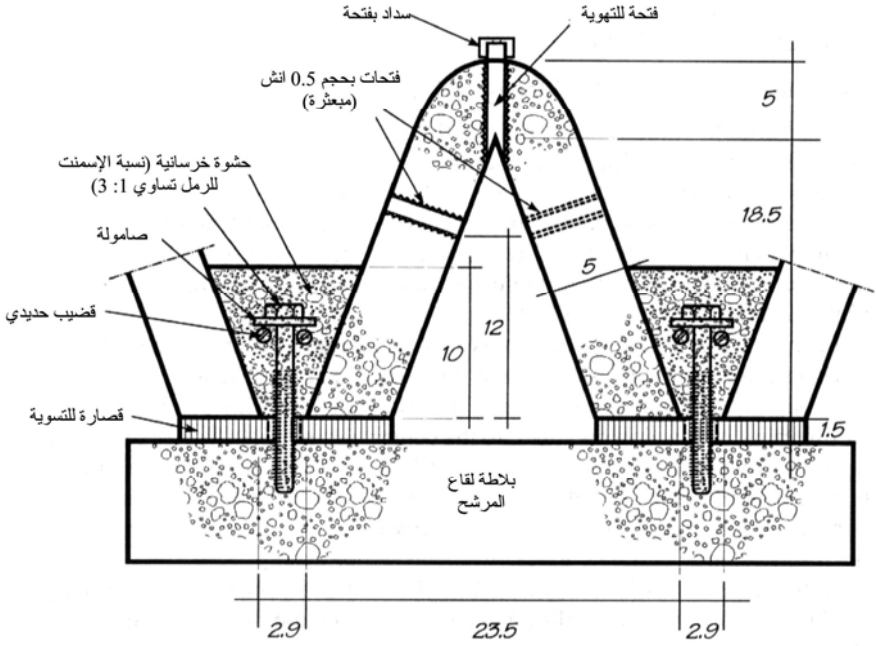
بالنسبة للمرشح الذي يعمل بتدفق متغير فإن أفضل بوابة، هي الأكثر عمقاً لدخول الماء إلى المرشحات، لذلك فإن البوابة التي يتم اختيارها هي ذات نفس عمق قناة تجميع المياه المترسبة. باستعمال هذا العمق فإن قيمة b تكون معلومة. بالنسبة للقناة الموجودة وبتقليل العمق الحر، فإن عمق الماء يكون 1.2 م، ويـعطي0.74 م = b. إن القناة القائمة ذات عرض 0.70 م فقط، وهذا أكبر ما يمكن أن نستعمله. ونتيجة لذلك فإن فاقد الضغط نتيجة المرور من البوابة يكون أعلى قليلاً.

عادة ما يكون عدم الانتظام وسط المرشح ناتج عن سرعة دخول المياه المترسبة بعد الانتهاء من الغسيل العكسي، ولذلك فإن طاقة الحركة الكبيرة يجب أن تضيع دون أن تؤثر عى انتظام سطح المرشح. ويمكن أن نحصل على ذلك بتوجيه المياه الداخلة إلى الأسفل فوق قناة تصريف مركزية، ومنها سوف يفيض الماء وسط المرشح بعد امتلائها، ولكن مع خطورة قليلة لعدم انتظام السطح من هذه العملية، لأن مستوى سطح الماء في المرشح يكون قريباً من حافة القناة. إن الطاقة متناسبة مع مربع السرعة ($mv^2/2$) مما يشجع إنشاء فتحات أو بوابات واسعة.

يجب تبديل قيعان المرشحات في هذه المحطة كلياً، لأن القيعان القديمة في حالة سيئة، ولتكون قادرة على تحمل زيادة الجريان. وقد استخدم لهذا الغرض نظام الخرسانة مسبقة الصب على شكل قاع متموج (Corrugated)، ويمكن أن يصب في الموقع، ومن ثم تركيبه في المُنشأ الذي تم تحضيره لاستقبال القنوات. جميع هذه المواضيع تم توضيحها في الأشكال 7-3 و 9-8 و 9-9. وكما تم شرحه، فإن هذه القنوات المثلثية يمكن أن تصمم للغسيل بالماء والهواء. في هذه الحالة تم الاحتفاظ بالكاشطات كما هي للمساعدة في نظام الغسيل العكسي، وتم تصميم القيعان فقط للغسيل بالماء.



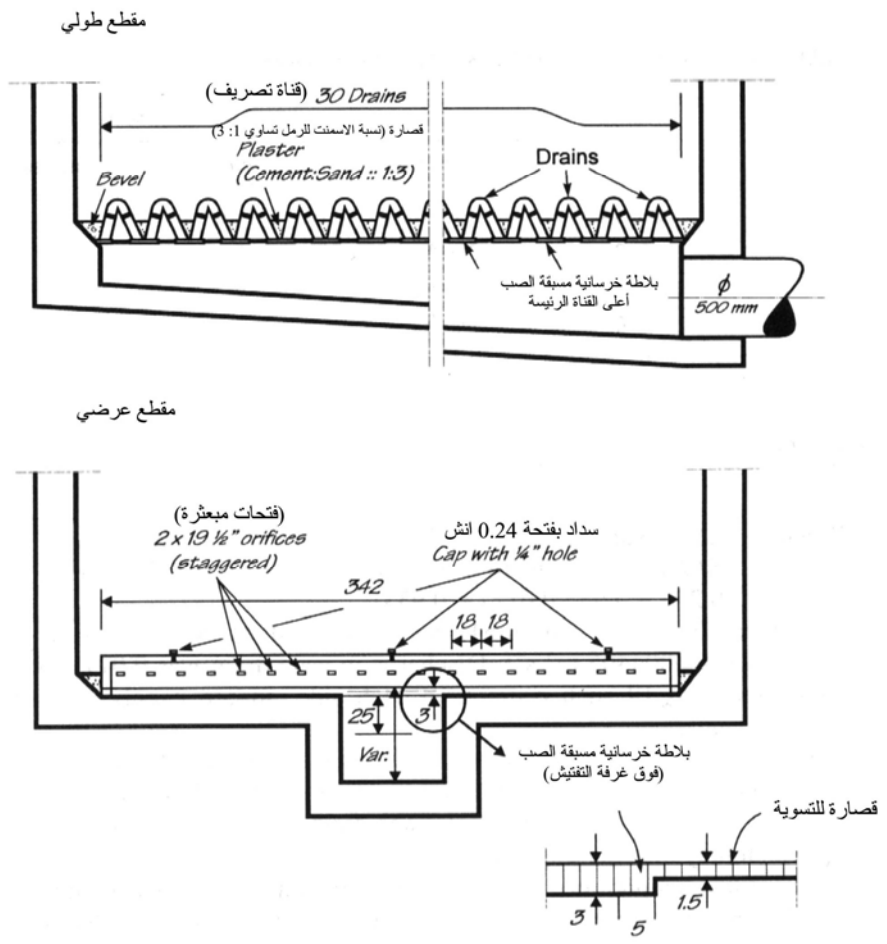
شكل 9-7 صفات هيدروليكية مهمة، مع رموز لفتحة مغمورة وقناة ترشيح مع القياسات وبوابة منزلقة لمحطة تحت الدراسة



شكل 9-8 مقطع عرضي في جزء واحد من قاع مرشح متموج

إن عرض القناة المركزية، وكما هو موضح في شكل 9-9 ثابت، 0.6 م، والعمق متغير من 0.6 م عند المدخل إلى 0.25 م عند النهاية. طول مقطع الخرسانة مسبقة الصب 7.93 م الذي يساوي { (2√ 0.15-.015) 2-8.2 } وعرضها 3.49 م الذي يساوي { 2√ 0.15-0.015) 2-3.75 }

الهدف الأساس من الغسيل العكسي هو إزالة الكتل المخثَّرة المترسبة والجزيئات التي تسبب العكر. وفعاليته تعتمد بالأساس على سحب هذه الجزيئات والكتل المخثَّرة بوساطة تدفق المياه فوق الرمل والفحم. تُمثل قوة السحب هذه بمصطلح قوة احتكاك، وتختلف هذه القوة حسب حجم مكونات المرشح، وحسب الوزن النوعي (Specific gravity)، وحسب لزوجة مياه الغسيل، وحسب تمدد وسط المرشح. من الناحية العملية إن قوة الاحتكاك تتحول إلى سرعة لمياه الغسيل العكسي، وأن سرعة 0.8 - 1.0م/الدقيقة تكون ذات معدل مناسب لتنظيف المرشح، بينما تبقى طبقات الوسط الثنائي مع اختلاط قليل بين الرمل والفحم. وهذه المعدلات تكفي لرمل ذي حجم فعَّال يعادل 0.65 ملم عند درجة حرارة 14-21°م، والفحم عادة أخف من الرمل، لذلك لن يسبب أية مشكلة خاصة.



شكل 9-9 مقطع طولي وآخر عرضي لقاع متموج مسبق الصب

لقد تم تلخيص أبعاد قاع تصريف المرشح المثلثي المسبق الصب لاحقاً. لتدفق مياه غسيل عكسي بمعدل يقارب 1.0 م/دقيقة، كما أن التدفق الإجمالي من خلال كل مرشح هو 0.513 م^3/الثانية.

- عدد قنوات التصريف ثلاثون، وكل واحدة بعرض 0.235 م، ويفضل أن يكون بينهما مسافة بمقدار 0.03 م. (شكل 9-8).
- التدفق في كل قناة تصريف 0.0171 م^3/الثانية (0.513÷ 30). ولذلك يكون التدفق في كل جهة 0.0086 م^3/الثانية.
- مساحة كل مقطع من قنوات التصريف 0.0122 م^2.
- السرعة في كل قناة تصريف 0.70 م/الثانية.

- زاوية ميلان القاعدة مع الأفقي 70°.
- سُمك جدار قناة التصريف 0.05 م، وسمك القاعدة 0.053 م (0.05 ÷ جا 70 °).
- أبعاد القاعدة 0.129 م (0.235 - 2 × 0.053).
- القاعدة الصغيرة 0.03 م وارتفاع 0.133 م.

إن ارتفاع المقطع المثلثي 0.177 م (0.129/(2ظا 20)) وقاعدة وارتفاع قناة التصريف المثلثية 0.235 م لكل منهم، والذي أعطى مساحة جريان 0.0119 م^2 (0.1286 × 0.185)/2.
بعد تحديد حجم قنوات التصريف مباشرة فإنه من الضروري حساب حجم وتوزيع الفتحات الجانبية على طول القنوات. لذلك، وحتى يكون توزيع مياه الغسيل العكسي متجانساً قدر الإمكان ويمكن الحصول على ذلك عندما يكون فاقد الضغط كبيراً في كل فتحة. من خواص المياه أنها تبحث عن أقصر الطرق، لكن عندما يكون فاقد الضغط كبيراً في كل فتحة فلن يكون هناك مخرج سهل. وبذلك يكون التوزيع جيداً.

تم إنشاء الفتحات (orifices) باستعمال أقل حجم من المواسير البلاستيكية PVC المعيارية بقطر 0.0127 م، بذلك تكون مساحة كل فتحة 0.0001267 م^2، وطول الفتحة (سماكة جدار قناة التصريف) 0.05 م، وفاقد الضغط للفتحة كان 1.5 م، والتصريف من خلال كل فتحة يمكن حسابه:

$$C_d = 1/\sqrt{\sum C_1 + \sum f(L/d)} \quad \text{where} \quad Q = C_d A\sqrt{2gh}$$

$\sum C_1$ = مجموع الفاقد المحلي للمداخل والمخارج ... الخ.

$\sum f(L/d)$ = الفاقد نتيجة الجريان في الأنابيب حيث $f \approx 0.237$

إذا فرض أن المعامل C_d يساوي 0.641، وأن مقدار التصريف المحسوب خلال كل فتحة 0.0004405 م^3/الثانية، بذلك يكون التصريف في كل قناة 0.0171 م^3/الثانية، وهذا يتطلب 19 فتحة في كل جنب والمسافة بين كل مركز فتحة ومركز الأخرى يعادل 0.18 م.

يوضح الشكلان 9-8 و9-9 كيفية تثبيت قنوات التصريف على قاع المرشح. يثبت البرغي في بلاطة القناة، وتوضع القناة في مكانها، ويتم تثبيتها بخرسانة تصب فوق برغي مثبت في مكانه بحديد التسليح، وكل قناة تحتوي على ثلاث فتحات للتهوية ليخرج منها الهواء الذي قد ينحصر في الداخل.

إن الحصى الداعم في المرشح متدرج بشكل عكسي، ويحتل نحو 0.525 م في سبع طبقات (جدول 9-2). لقد تم غسيل وتنظيف وإعادة تدرج الرمل الموجود في المرشحات القائمة، والذي يحمل حجماً فعالاً مقداره 0.65 ملم، وله معامل تجانس 1.15، لعمل طبقة جديدة من الرمل بعمق 25 سم، وطبقة الفحم بعمق 45 سم وبحجم فعَّال 1.2 ملم، ومعامل تجانس 1.25. وتم الاعتماد على هذه المواصفات بناءً على الخبرة الطويلة في المرشحات ثنائية الوسط. كما تم اختيار الحجم للمناطق الأقل تطوراً التي لا تتوفر فيها المصادر لتشغيل مرشحات معقدة بشكل دائم. وكان وسط المرشحات يوفر سعة ممتازة لتخزين الكتل المختَّرة التي تنفذ على طول المرشح، بينما يحافظ على جودة المياه المرشحة، مثل أن يكون العكر عادة أقل من 0.5 وحدة NTU، وقد تم توضيح ووصف طريقة وضع وسط المرشحات بشكل مفصل في جزء 5-4.

تم تشغيل هذه المرشحات بطريقة التدفق المتناقص، وقد استعمل قرص مثقب عند مخرج خط المرشح الذي يحدد كمية الجريان في المرشح ليصل إلى أقصى تدفق، بناء على ما تم تحديده لسعة المحطة التصميمي. إن متوسط التدفق المطلوب مروره في هذه المرشحات يعادل 12.36م^3/م^2/الساعة. مباشرة بعد الغسيل العكسي تم ترشيح 18.54 م/الساعة (0.0052 م^3/الثانية). إن تحديد التدفق يتم عن طريق القرص المثقب، والذي يتناقص إلى 6.18 م/الساعة خلال دورة التشغيل. ويمكن حساب مساحة الفتحات في القرص كما يلي:

$$Q = KA\sqrt{2gh} \Rightarrow \text{A} = 0.0052/1.5 \text{ x } 5.86 = 0.0006\text{m}^2$$

حيث :

Q = التصريف المسموح به (0.0052م^3/الثانية).

g = التسارع الناتج عن الجاذبية الأرضية.

h = ارتفاع سطح الماء عن أعلى نقطة في وسط المرشح (1.75م).

C_d = معامل التعريف (1.5م في هذه الحالة).

كان من الممكن أن يتم توفير خمسة ثقوب باستعمال أنابيب بلاستيكية معيارية ذات قطر 1.27 سم، لإعطاء المساحة المطلوبة 0.00059 م^2، أو لربما بعمل تسعة ثقوب في أنبوب 3/8 إنش. وكان هناك اختيار لحل المشكلة بتركيب قرص يمكن تعديل الفتحات فيه، كما هو موضح في شكل 8-23.

الوحدة التاسعة

مؤهلات المشغلين

1-9 مقدمة

تزداد أهمية الحاجة إلى مختصين مؤهلين لتشغيل وصيانة نظم إمداد المياه نظرا لازدياد تعقيد الأنظمة والتعليمات والتي تتطلب تحسينا على نوعية المياه.

يجب أن يلم موظفو نظام إمداد المياه بالمعلومات حول أي تدنٍ لنوعية المياه بدءا من المصدر وحتى صنبور المستهلك، وكذلك يجب عليهم معرفة أية تغييرات مطلوب تصويبها، وأن يكونوا على استعداد لتطبيق التغييرات اللازمة خلال فترة قصيرة.

الهدف العام لنظام إمداد المياه هو توفير كمية كافية من المياه الآمنة للمستهلك وبضغط مناسب. وللوصول إلى هذا الهدف والتحديات المتلازمة معه، يجب أن يتوفر التدريب الكافي للعاملين في نظم إمداد المياه السطحية. وبالنسبة للمشغلين يجب أن يلموا بالمعلومات النظرية وتلك المتأتية عن التجربة العملية في آن واحد.

يجب على المفتش خلال عملية التفتيش طرح الأسئلة المتعلقة بجميع جوانب التشغيل والصيانة على المشغلين، ويمكن للمفتش من خلال تلك الأسئلة أن يقيم ما إذا كان المشغلون قد تلقوا التدريب المناسب على نظام إمداد المياه.

يمكن للمفتش ملاحظة إذا كان النظام مشغلا ومصانا بطريقة جيدة، وبشكل عام إذا كان النظام مصانا ومشغلا بطريقة جيدة فإن المشغلين يكونون مؤهلين، ويعرفون ما هو المطلوب وكيفية تشغيل النظام بصورة صحيحة.

2-9 كفاءة المشغلين

تعتبر المعايير التالية المرتبطة ببند التزام المشغل بالمتطلبات القانونية من التفتيش الصحي ذات أولوية عالية، نظرا لإحتمالية تأثيرها على الصحة العامة.

كفاءة المشغلين: يعتبر وجود المشغلين الأكفاء أساسيا لحسن عمل وتشغيل وصيانة نظام إمداد المياه. حيث يقوم المشغلون بالتشغيل والصيانة واتخاذ القرارات الإدارية التي تؤثر على أداء المحطة وموثوقية النظام.

ومثل معظم المهن، يعرف بعض الأشخاص جميع الإجابات الصحيحة اعتمادا على كتيبات التشغيل والصيانة بينما يعرفها البعض الآخر اعتمادا على الخبرة العملية. يجب أن يلم المشغلون بالاثنتين معا.

يجب أن يسأل المفتش خلال التفتيش المشغلين عن الأمور المختلفة لتشغيل وصيانة النظام. وخلال طرح هذه الأسئلة يستطيع المفتش أن يقرر ما إذا ما كان قد تم تدريب موظفي النظام بشكل كاف وتعريفهم بالنظام .

يمكن للمفتش أن يشاهد أيضا مدى حسن تشغيل وصيانة النظام . وعموما فإنه إذا كان النظام عاملا ومصانا بصورة جيدة يكون المشغلون أكفاء ويعلمون ما هو المطلوب لتشغيل النظام بطريقة صحيحة.

الفصل العاشر

الحصول على الفائدة المثلى وتطوير محطة ذات سعة من 20 لتر/الثانية إلى 50 لتر/الثانية

10-1 تقييم المحطة الأصلية

تعتبر هذه المحطة مثالاً لمحطة صغيرة تم بناؤها قبل ثلاثين سنة، كانت المياه الخام تحوَّل إليها من جدول ماء يجري خلال منطقة جبلية مليئة بالأشجار. مع أن جريان الماء قد يتغير بشكل كبير، إلا أن وجود أعشاب كثيفة يقلل من احتمال ارتفاع عكر المياه. تدخل المياه الخام للمحطة بفعل الأنسياب الطبيعي من مأخذ يبعد 2 كم عن أعلى المحطة. يوفر التصميم الأصلي معالجة لحوالي 20 لتر/الثانية، ويسمح لحمل زائد بمقدار 20٪، (25 لتر/الثانية كأقصى حد)، لكن القرية التي تخدمها هذه المحطة توسعت، وأصبحت حاجتها للمياه بكميات أكثر من السابق، إن منشآت المحطة الأصلية موضحة في شكل 10-1، كما يأتي لاحقاً.

10-1-1 خطوط الأنابيب بالانسياب الطبيعي لغرفة المأخذ

يبلغ قطر خط الأنابيب الداخل للمحطة من المأخذ 200 ملم، وتبلغ سعته فقط 25-30 لتر/الثانية، وكانت غرفة المأخذ عبارة عن صندوق مربع من الخرسانة بمساحة 1.10 م^2، وعمق 2.5 م، وتدخل المياه هذا الصندوق من خلال كوع علوي بزاوية 90°، ثم تجري هذه المياه، من خلال مفيض بارشال، عندها يقاس عمق الماء بمقياس مدرج مثبت على الجدار، حيث يمكن معايرته إلى لتر/الثانية. وكان المخثِّر المستعمل هو مادة الشب، التي يتم إضافتها بتركيز حوالي 20٪ تقريباً على شكل جدول ماء رفيع عند مدخل الصندوق.

10-1-2 التخثير

يجري الماء من المفيض إلى خزان تندف هيدروليكي بعرض 20 م وطول 9.6 م وعمق 1.9 م. والسرعة عند دورانها حول تسعة عشر حاجزاً تتغير من 0.45 م/الثانية إلى 0.20 م/الثانية. ثم تتابع المياه جريانها إلى خزان ترسيب من خلال قناة قصيرة بعرض 0.5 م وعمق 0.8 م وعمق حر يبلغ 0.3 م.

10-1-3 خزانات الترسيب

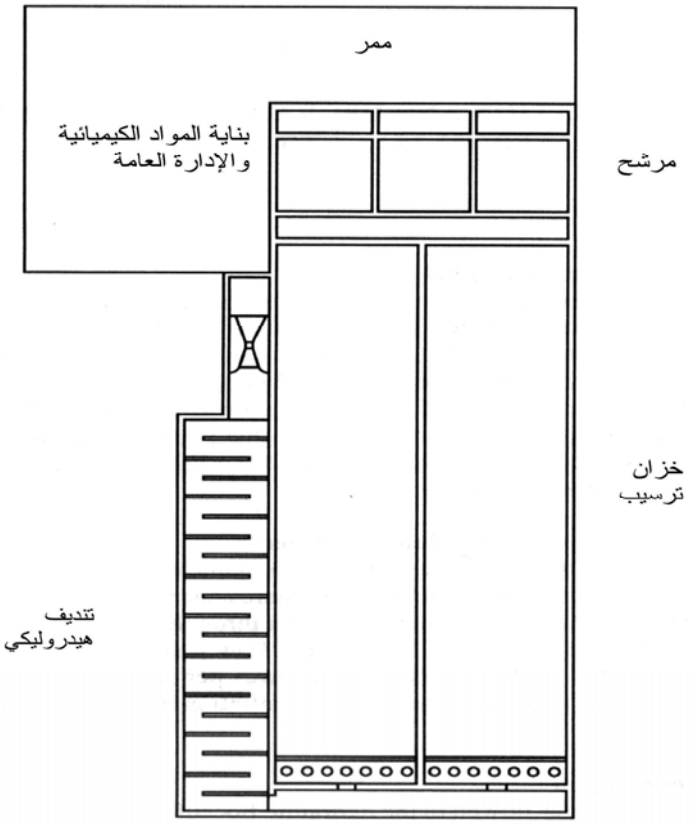
يوجد خزانان لترسيب المياه المندفة بعرض 3.5 م وطول 14.00 م وعمق يختلف من 3.5 م عند المدخل إلى 4.00 م عند تصريف الحمأة، و 3.00 م عند مخرج الخزان. وكان المدخل لكل خزان عن طريق بوابة بعرض 0.25 م وعمق 0.5 م إلى صندوق مستطيل له مخارج على شكل فتحات دائرية في قاع الخزانات (انظر شكل 9-6).

وكانت مدة المكث في الخزانات أربع ساعات. وكانت المياه المترسبة تخرج من نهاية مخرج الخزان عن طريق هدار، ثم تُجمع المياه المترسبة في قناة بعرض 0.69 م وعمق 0.8 م، حيث تذهب المياه بعدها إلى المرشحات من خلال بوابات منـزلقة بقطر 0.20 م.

4-1-10 المرشحات

يوجد ثلاثة مرشحات مساحة كل مرشح 2.20 م × 2.25 م، وكل مرشح يحتوي على طبقة رمل ذات سماكة مقدارها 0.70 م، وطبقة حصى داعم بعمق 0.45 م. وكان نظام التصريف يعتمد على قناة مركزية رئيسة من الخرسانة مربعة الشكل 0.25 م، وكان على كل جهة ستة فروع من مادة الإسمنت الإسبستي. وبوجود ثقوب بقطر 75ملم للسماح بدخول المياه المرشحة، وتوزيع مياه الغسيل العكسي. ولم تكن توجد قنوات لمياه الغسيل. وكان يوجد قناة 0.70 × 1.00 م في نهاية المرشح لتجميع مياه الغسيل العكسي.

كانت المرشحات تُزوَّد بمياه الغسيل العكسي من خزان مرفوع عن سطح الأرض من خلال أنبوب من حديد السكب قطره 700ملم. وكان هذا الخزان لا يحتوي على حواجز لمنع تكون الدوامات، وهذا يعني أن الهواء يدخل في مياه الغسيل العكسي أثناء الفترة الأخيرة من الغسيل.



شكل 10-1 مسقط أفقي لمحطة ذات سعة تصميمية 20 لتر/الثانية

جدول 10-1 نوعية المياه الخام خلال فصل الأمطار وفصل الجفاف لمحطة تنقية ذات سعة أساسية تساوي 20 لتر/الثانية.

	فصل الأمطار			فصل الجفاف		
	أقصى قيمة	أدنى قيمة	المتوسط	أقصى قيمة	أدنى قيمة	المتوسط
العكر (NTU)	100	30	55	25	15	18
اللون (TCU)	47	25	35	18	7	12
القلوية (ملغم/لتر)			15			21
الأس الهيدروجيني			5.8			6.2
درجة الحرارة			10			28
تلوث الجراثيم	قليل جداً					

وكان كل خزان يحتوي على جهاز للسيطرة على كمية جريان المياه، ولكن لم تكن هذه الأجهزه تعمل بشكل مناسب، وكان معدل الترشيح التقليدي حوالي 5.00 م^3/م^2/الدقيقة.

10-1-5 بناية المواد الكيميائية

بناية المواد الكيميائية مكون من ثلاث ادوار توفر حيزاً لتخزين المواد الكيميائية والمغذيات وخزانات لتحضير المخثر بشكل يومي، وخدمات الجير ومغذيات الجير، وأسطوانات الكلورين وأجهزة الكلورة. كما تحتوي هذه البناية على خزان مرفوع لتخزين مياه الغسيل العكسي، وهو منشأ على سطح هذه البناية.

وكانت أيضاً خدمات المشغلين موجودة في هذه البناية (مختبر ومكاتب ومطبخ وحمام وغرفة تغيير ملابس وغرفة جلوس) وكل من هذه الخدمات كانت صغيرة الحجم.

10-1-6 المياه الخام

تختلف مواصفات المياه الخام من الموسم الممطر إلى الموسم الجاف (جدول 10-1).

10-2 كفاءة المحطة

إن تصميم هذه المحطة قد أثر سلباً على كفاءتها، ولكن تشغيلها كان أيضاً غير مقبول، وقد كان المشغلون يملكون معرفة محدودة في الأساسيات، ولم يتدربوا تدريبات خاصة لتشغيل المحطة، ولم يقّدروا أهمية السيطرة على جودة المياه أو فحوص المختبر للحصول على الفائدة المثلى. والأكثر من ذلك وجود أجهزة مختبر محدودة، ولا تعمل بشكل جيد. كانت القرية نفسها صغيرة وذات موارد محدودة لتدفع للمشغلين مستحقاتهم وكلفة تدريبهم.

كان الجير يضاف دون تخفيف من الخزان اليومي بتركيز 20٪ تقريباً، ويضاف إلى المياه الخام على شكل جدول صغير (رفيع) قبل مفيض بارشال، وكانت النتيجة عدم انتظام الجرعة للمياه الخام، فكان جزء قليل منه يستقبل معظم الجير بينما الجزء الأكبر كان يستقبل أقل من الجرعة المطلوبة.

وكانت عملية التندف غير كاملة، لأن النظام يوفر الخلط فقط عند نهاية الحواجز (مدخل الطاقة كان يتم باستخدام قيمة كبيرة لـ خط ميل السرعة). ولم يكن هناك اضطراب في جريان الماء، لذلك فإن عملية الخلط نادرة الحدوث، وتتم أثناء جريان الماء في القناة. وكانت العينات التي جمعت قبل وبعد

هذه الوحدة قد تمّ تندفها في المختبر، وقد أعطت نتائج مبهرة في تكوين الكتل المخثَّرة عن العينات التي أخذت من مخرج المحطة دون معالجة إضافية. وهذا دليل واضح علىخلل في عمليات التندف القائمة.

وكانت خزانات الترسيب تعمل بكفاءة متدنية جداً، لأن عملية الانتشار الأولية للجير غير كاملة، وعملية التندف كذلك. إن تصميم الخزانات نفسها يمكن تحسينها. ومنشآت المداخل تسمح بحدوث مسارات قصيرة، لذلك لا يوجد وقت كافٍ لتترسب الكتل المخثَّرة. وكان طول الهدار قصيراً في نهاية الخزان، وسرعة المياه الخارجة عالية جداً مما يجعل تيارات المياه تحمل الكتل المخثَّرة الزائدة من على الهدار. إن جميع هذه المشكلات تشارك في عكر المياه المترسبة والتي كانت دائماً عالية جداً في حدود 12-20 وحدة NTU.

سببت الزيادة العالية في عكر المياه المترسبة بشكل عام خللاً في عمل المرشحات، حيث ظهرت تشققات بنسبة عالية في تجمعات طينية. وكانت مياه الغسيل العكسي غير منتظمة على مقطع مساحة سطح المرشحات، مما يجعل احتمال وجود نحت في قيعان المرشحات. وكان عكر المياه المرشحة عادة أعلى من القيمة المذكورة في دلائل منظمة الصحة العالمية التي تبلغ قيمتها القصوى خمس وحدات NTU. حيث كان عكر المياه بحدود 10-15 وحدة NTU.

كانت عملية تحضير الجير في الخزانات يومياً عملاً منتظماً، وكان المشغلون يحضرون كمية الجير التي يجب إضافتها لكل خزان ماء، مما ينتج بشكل متكرر تركيز 20٪. ولكن العمليات بعد ذلك تكون خاطئة لأن أجهزة التغذية تعمل بشكل سيىء في معظم الأوقات، لأن المياه الخام تكون قد استقبلت جرعة أقل من المطلوب، وبعض الأوقات تكون أعلى من المطلوب، وهذا يؤثر على التكلفة من ناحية الجودة، ومن الناحية الاقتصادية.

3-10 تحسين المعاملات التي تم تجديدها بوساطة اختبار الجرة

إن كلاً من الشب وكلوريد الحديديك كانا ذوي كفاءة جيدة، وقد تم اختيار الشب لأن مشغلي المحطة يعرفونها أكثر، وطريقة التزود والتعامل به أكثر سهولة. وكانت الحاجة إلى معدل تغير سرعة مع الزمن بقيمة تعادل حوالي 1000/الثانية لخلط المخثر مع الماء الخام. وقد تم إضافة المخثر المطلوب على شكل محلول مخفف جداً، حيث كان التركيز لا يزيد عن 0.5٪. خلال الموسم الممطر. كانت هناك حاجة إلى 16-14 ملغم/لتر من الشب و 3-3.5 ملغم/لتر من الجير، وكان الترشيح المباشر خلال الفصل الجاف ممكناً، وذلك باستعمال 1.5-2.0 ملغم/لتر من الشب من أجل إعادة المعادلة (Destabilization).

كانت فترة التندف المثلى خلال الموسم الممطر 25 دقيقة، وكان مدخل الطاقة متدرجاً لفترة خمس دقائق بقيمة خط ميل السرعة 60-70/الثانية، ثم سبع دقائق بقيمة تعادل 35-45/الثانية، ثم ثلاث عشرة دقيقة بقيمة تعادل 15-20/الثانية، أما في الفصل الجاف فالخلط لمدة تتراوح بين خمس وسبع دقائق بقيمة لـ خط ميل السرعة تعادل 60-70/الثانية يكون مقبولاً مع ترشيح مباشر، ويكون وقت التندف هو نفس وقت الترسيب في الموسم الممطر.

إن التحميل السطحي المطلوب لإزالة 90-95٪ من العكر في الموسم الجاف هو 2.5 سم/الدقيقة بالمعالجة التقليدية، أما في الموسم الممطر فإن التحميل السطحي كان 3.2 سم/الثانية لإزالة نفس النسبة.

تعديل الأس الهيدروجيني (pH) له ضرورة دائمة وذلك للحصول على تندف كامل يعتمد على المعالجة الأولية، ولكن ليس بحاجة إليه إذا تم استخدام إعادة المعادلة واستخدام الترشيح المباشر في الفصل الجاف.

قد استخدمت أوراق ترشيح واتمان رقم 40 لمعرفة مدى احتمالية استعمال الترشيح المباشر في الفصل الجاف بعد جرعة من مادة الشب. فكانت تتم إضافة جرعة بمقدار 1.5-2.0 ملغم/لتر يتم إضافتها للحصول على مياه مرشحة ذات عكر أقل من 1.0 وحدة (NTU).

10-4 تعديلات تصميمية للحصول على الفائدة المثلى وتطوير المحطة

كان الغرض من التعديلات التصميمية هو الحصول على سعة معالجة 50 لتر/الثانية، ولتحسين جودة المياه المعالجة، وللمحافظة على أقل كلفة ممكنة، وللسيطرة على عمليات المعالجة بطرق سهلة، ولتقليل تكلفة المعالجة لكل متر مكعب من الماء.

10-4-1 الانتشار الأولي (الابتدائي) للمخثر

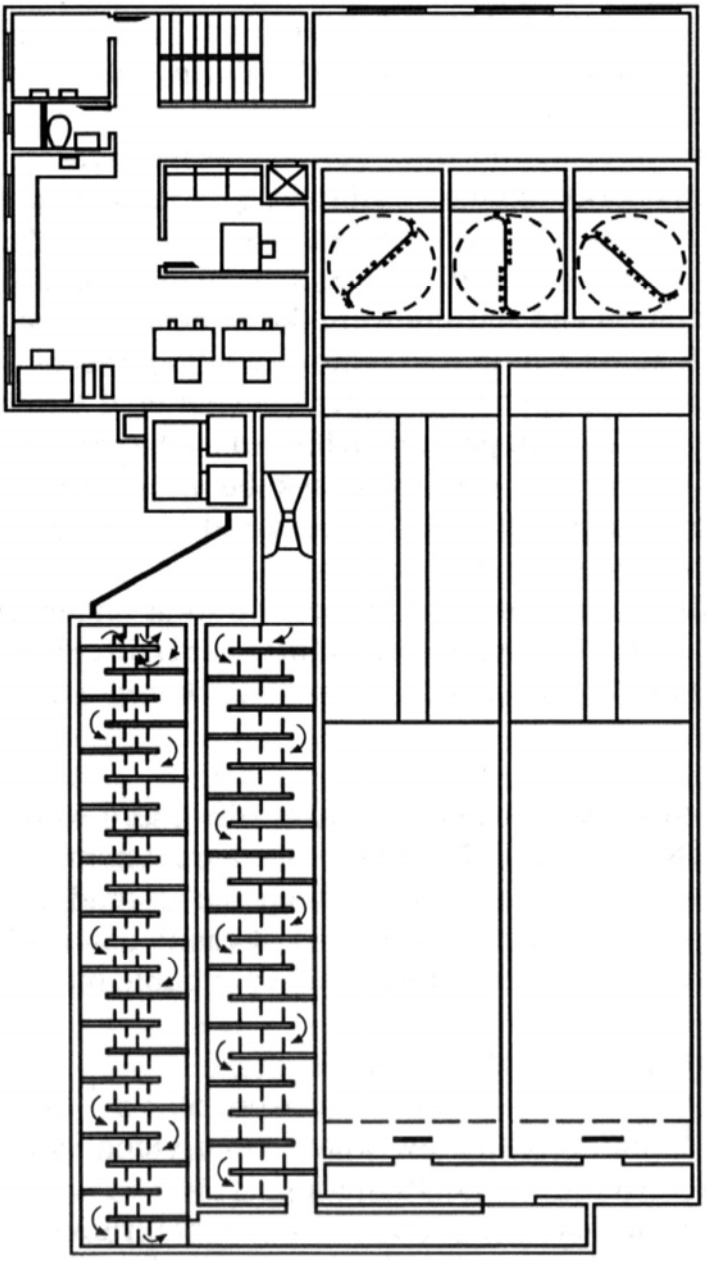
كان المفيض القائم ذا حجم صغير لقياس 50 لتر/الثانية، ومع ذلك يمكنه قياس 25 لتر/الثانية بكل دقة، لذلك فقد تم تقسيم المياه الخام بصندوق تقسيم، واستعمال هدارين بحواف حادة، كل منهما بطول ضلع 0.4 م.

تذهب المياه من الهدار الأول إلى القناة ثم إلى مفيض بارشال لقياس كمية التدفق، والهدار الآخر يؤدي إلى خزان التندف الجديد والذي يقع بالقرب من الخزان القائم وموازٍ له. ويتم إضافة المخثر عند الهدارات الجديدة في صندوق التوزيع للحصول على انتشار جيد. وكان عمق الماء الساقط من فوق الهدار أكثر بقليل من 0.10 م، للتأكد من أن قيمة خط ميل السرعة أكثر من 1000/الثانية.

10-4-2 التندف

تم تصميم خزان تندف جديد ليوفر نصف المياه المطلوبة بقيمة خط ميل السرعة التي تم الحصول عليها من نتائج اختبار الجرة، وتم كذلك تعديل الخزان القائم ليوفر نفس مدخل الطاقة للجزء المتبقي من المياه. وتعديل آخر تم تركيبه وهو (زعانف) أو نتوءات عمودية على الحواجز كما هو موضح في الأشكال 8-11 و8-12، حيث تعمل الزعانف على إيجاد اضطراب على طول الحواجز. وهذا يزيد من فعالية الخلط مما يعمل على تقليل الفرق بين قيمة خط ميل السرعة العالية عند المنحنيات وقيمة خط ميل السرعة المنخفضة على طول الحاجز.

يوفر كلا الخزانين فترة تندف حوالي 25-26 دقيقة، وكل خزان يحتوي على تسعة عشرحاجزاً (شكل 10-2) بتغيير حجم الفتحات في نهاية الحواجز، مما يمكّن المصمم من تحديد السرعة، للحصول على السرعة الزاوية المرغوب فيها، فسرعة 0.15 م/الثانية عند الحواجز الثلاث الأولى (يعطي قيمة خط ميل السرعة حوالي 65/الثانية) وسرعة 0.105 م/الثانية عند الحواجز الثلاثة التالية (تكون قيمة خط ميل السرعة حوالي 40/الثانية) ثم سرعة 0.065 م/الثانية في الجزء المتبقي (تكون قيمة خط ميل السرعة حوالي 20/الثانية).



شكل 10-2 مخطط عام لتحسين كفاءة محطة تنقية من 20 إلى 50 لتر/الثانية

10-4-3 خزانات الترسيب

لقد تم تصميم خزانات الترسيب لإزالة الكتل المخثَّرة التي لها سرعة ترسيب معينة، والتي تم تحديدها باختبار الجرة، والتي تساوي في هذه الحالة 2.5 سم/الدقيقة (36 م^3/م^2/اليوم).

لا يوجد لزيادة زمن المكوث علاقة مباشرة مع عمليات الترويق. إن الكتل المخثَّرة الثقيلة وذات الكثافة العالية تترسب بدقائق، لكن الكتل المخثَّرة الخفيفة والسيئة التخثير قد تبقى مستعلقة لساعات بسبب شدة التيارات المحفزة بالحرارة أو الرياح. لذلك يعتمد تحميل الخزان على تكوُّن كتل متخثرة سريعة الترسب من خلال الانتشار المناسب للمخثر المُخَفَّ ووجود تندف جيد.

التحميل السطحي هو من المعطيات الأكثر أهمية لترسيب جيد ، لكن يجب تحديد السرعة الأفقية أيضاً لمنع انجراف أو حمل الكتل المخثَّرة التي تم ترسيبها خلال الخزان. بالنسبة لحمأة الشب في خزانات الترسيب المستطيلة التقليدية تكون نسبة السرعة الأفقية إلى سرعة الترسيب $(8k/f)^{1/2}$، حيث أن k عبارة عن عامل لقياس شكل الجزيئات، و f عبارة عن عامل الاحتكاك في معادلة Weishech-Darcy. وهذه القيمة تقع بين 8-18، وبما أن مساحة السطح الإجمالية هي 98 م^2 (خزانا ترسيب مساحة كل واحد 3.5 × 14.00م)، فإن سرعة الجريان الأفقي المسموح بها تتراوح بين 0.2 م/الدقيقة و 0.45 م/الدقيقة. وإذا فرضنا أن التندف يبلغ 50 لتر/الثانية، فإن متوسط السرعة الأفقية خلال الخزانات في المقطع الحالي هو 0.136 م/الدقيقة. وهذا يعني وجود بعض الحمأة المتراكمة، فمساحة المقطع تكون كافية لتتعاطى مع زيادة سرعة الجريان المرغوب فيها التي تبلغ 0.2-0.45 م/الدقيقة تقريباً.

لقد تم تركيب صفائح ترسيب في مسارات أفقية في آخر5.1 م من الخزان، لزيادة مساحة سطح الترسيب (إلى 120 م^2)، وهذا سوف يحسن من عملية الترويق. وكذلك فقد تم تركيب حواجز مثقبة بين صفائح الترسيب والمخرج لإعطاء فاقد ضغط كبير (حوالي 20 سم)، لإعطاء توزيع منتظم للتدفق خلال الصفائح. الأشكال من 8-15 إلى 8-18 توضح نظام صفائح الترسيب مع الأبعاد المناسبة ومخطط توضحي.

سيعمل جزء من مدخل الخزان على توفير ظروف مناسبة لترسيب الكتل المترسبة الثقيلة دون أية مساعدة، بينما الجزئيات الخفيفة يمكن إزالتها باستعمال صفائح الترسيب.

يوضح الشكل 10-2 التغيرات في مخرج خزان التندف ومداخل خزانات الترسيب، ويتم تفريغ كلا خزاني التندف في قناة جديدة، تغذي بدورها خزانات الترسيب. يجب توسيع فتحات المدخلين، كما يجب توسيعهما لتمرير كمية تدفق جديدة دون إحداث اضطراب في جريان الماء، ويجب عدم تفتيت الكتل المخثَّرة. إن هذه البوابات الجديدة بحاجة إلى مقاطع بمساحة 0.5 م^2 تقريباً لكل باب تقريباً.

10-4-4 المرشحات

توفر المرشحات الثلاثة مساحة 14.85 م^2 (3.00 × 2.25 × 2.2 م)، وإن معدل الترشيح تحت الظروف الحالية كانت 117-150 م/اليوم (5-6 م/الساعة)، وهذا يعتمد على الحمل الزائد. بالنسبة للسرعة الجديدة فإن السرعة الحالية في المرشحات هي 291 م/اليوم (12.12 م/الساعة) والتي تعادل أكثر من ضعف المعدل الأصلي، ولكنها تقع ضمن قدرة تحمل المحطة.

من الممكن باستعمال المرشحات الجيدة مع معالجة أولية فاعلة للمياه تحميل المحطة أكثر من المعتاد عليه تقليدياً، والحصول على نتائج مقبولة. وهناك عدة محطات في الولايات المتحدة الأمريكية تشتغل بثلاثة إلى خمسة أضعاف المعدل الاعتيادي، وهو 5 م/الساعة، ومع ذلك فإن الكفاءة كانت جيدة جداً،

وجميع المرشحات ذات الحمل الثقيل يستعمل فيها وسط ثنائي أنثراسايت ورمل. إن المرشحات في هذه المحطة تتكون من طبقة من الحصى الداعم بعمق 0.45 م، وطبقة من الفحم المحلي فوق طبقة من الرمل بسماكة 0.25 م، وطبقة من الحصى الداعم بعمق حوالي 0.45 م، بتدرج حجمي عكسي. إن المساحات والمقاطع مع الأبعاد موضحة في شكل 8-20.

يتم التحكم بالمرشحات بطريقة التدفق المتناقص، وفي المرشحات الثلاثة يتم التحكم بجريان الماء من صندوق تحكم واحد، وهذه الترتيبات موضحة مع الأبعاد في الأشكال 8-21 و 8-22، بوجود هذا النظام الجديد فلا بد من التخلص من نظام التحكم القائم.

قد تبدو فكرة التدفق المتناقص جديدة لبعض المهندسين، ولكنها ليست معقدة جداً. في المرشحات النظيفة يتم تحديد أقصى معدل للترشيح عن طريق تحديد ارتفاع سطح الماء فوق الهدار في صندوق التحكم، بالإضافة إلى فاقد الضغط في المرشحات بتمديد الأنابيب بارتفاع ضغط ماء متوفر وفاقد ضغط ثابت، ويجب تشغيل المرشح ضمن هذه الحدود. وعند بدء الانسداد فإن معدل التدفق ينقص، لأن ترسب الكتل المختَّرة في فراغات وسط المرشح يمنع جريان الماء بحرية. ويستمر تناقص الترشيح حتى يستهلك ضغط ارتفاع الماء المتوفر، مما يسبب طفح الماء ومن الواضح أنه يجب على المشغل عدم السماح بالوصول إلى الحالة النهائية، لذلك يجب غسل المرشحات على فترات منتظمة، وذلك عندما ينقص معدل الترشيح إلى النقطة التي يكون فيها مجموع كمية المياه المرشحة أقل من الكمية التي يجب أن تعالج.

يجب على الاختبارات التجريبية للمرشحات في الظروف المثالية أن تحدد متطلبات وسط الترشيح لضغط عمود الماء، وجودة المياه المرغوب تزويد السكان بها. وإن لم تكن مثل هذه الدراسات قد تمت، فيجب أن يتم الغسيل العكسي عند تجاوز ضغط عمود الماء المتوفر أو تجاوز معايير جودة المياه. وقد تحتاج المرشحات إلى الغسيل كل 24 أو 36 أو 40 ساعة من تشغيل المرشح. تظهر الخبرة الطريقة المناسبة للغسيل. إن أوساط المرشحات الثلاثة في هذه المحطة بحاجة لغسلها بناءً على برنامج محدد، تكون المرشحات الأخرى في مراحل مختلفة من دور الترشيح، فأحدها يكون مغسولاً حديثاً، والثاني يكون في وسط الدورة، والأخير يكون تقريباً في نهاية دورته. عند تنظيم هذا الوضع يتوجب على المشغل أن يعلم بدقة متى يغسل كل مرشح. (وهذا مرهون باستقرار جودة المياه الناتجة عن المعالجة الأولية).

إن المرشحات بحاجة إلى إعادة بناء بشكل كلي، وذلك بسبب الأخطار الصحية المتعلقة بالإسبستوس، حيث أن الفروع القديمة من الإسمنت الإسبستي لم تعد مقبولة للمياه التي تستخدم في المنازل، لذا يجب أن تستبدل بأنابيب بلاستيكية (PVC). كانت أقطار الأنابيب الفرعية 125 ملم لتوفير معدل تدفق عالٍ للغسيل العكسي، والذي قد يصل إلى 1.00 م^3/م^2/الدقيقة. إن التفاصيل والأبعاد لقاع المرشح مع قناة رئيسة وفروع، قد تم توضيحها في الأشكال 9-8 و9-9.

كان كل مرشح مزوداً بكاشط دوار مع أذرع مروحية، لتوفير الحركة الدورانية. إن المساعدة في التنظيف خلال الغسيل العكسي ضرورية لتفتيت (تفكيك) القطع الكبيرة من الكتل المختَّرة التي تجمعت في طبقة الفحم وكونت كرات من الطين بسرعة كبيرة دون أية مساعدة في الخضخضة.

كذلك يجب عمل تمديدات جديدة للأنابيب لتناسب التدفق العالي للمرشح، والتدفق للغسيل العكسي، كما تم مناقشته في الفصل الثامن (تبين الأشكال 8-21 و8-22 مخطط الأنابيب).

10-4-5 تخزين المواد الكيميائية والتعامل معها

يجب بناء خزانين جديدين لتحضير محلول الشب فوق سطح بناء المواد الكيميائية، حتى نتمكن من تغذية الشب بفعل الانسياب الطبيعي. كل خزان له سعة 1000 لتر من محلول الشب بتركيز 10٪،

(100 كغم مادة شب جافة تضاف إلى 900 كغم من الماء). هناك حاجة لبعض الزيادة الإضافية إذا لم يذب جزء من الشب، على سبيل المثال، إذا افترض أن 5٪ من الشب غير قابل للذوبان فيجب إضافة 105 كغم من الشب بدلاً من 100 كغم. إن محلول الشب يجري للأسفل بفعل الانسياب الطبيعي، حتى يصل إلى فاقد ضغط ثابت. يمكن معايرة جهاز التحكم الطافي لتغذية الشب لإعطاء جرعة من الشب ضمن المجال المسموح به.

تقترح اختبارات الجرة بأن تكون أقصى جرعة هي 16 ملغم/لتر، لكن لتقليل المشكلات المستقبلية فإنه ينصح بأن تسمح حتى 25 ملغم/لتر. عندما يبلغ تدفق المياه الخام التصميمي 3000لتر/الدقيقة (50 لتر/الثانية). لذلك هناك حاجة قد تصل إلى 75000 ملغم/الدقيقة، بما أن 10 ٪ من محلول الشب في الخزانات اليومية تحتوي على 100 ملغم/لتر فإن أقصى تدفق يمكن أن يمرره المغذي 750 مللتر/الدقيقة. تشير تجارب المعالجة بطريقة الترشيح المباشر خلال فصل الجفاف بأن تكون جرعة الشب تتراوح بين 1.5 و2.0 ملغم/لتر، ويجب على المغذي أن يكون قادراً على تزويد كمية قليلة بدقة تصل إلى 45-60 مللتر/الدقيقة.

من الضروري المحافظة على دقة جرعة المخثر في عمليات المعالجة. حث يوجد مغذيان للشب ومغذيان للجير، وذلك للمحافظة على تزويد الكمية اللازمة من المخثر من احدهما في حالة عطل الآخر. وحتى تكتمل أهميتها يجب أن يوفر نظام احتياط ونظام صيانة بمعايير عالية.

وحتى وقت قريب لم تكن عملية الانتشار الابتدائي للمخثر في المياه الخام ذات أهمية، ولم تكن مفهومة بشكل جيد. ومن الواضح الآن أن محاليل الكيمياء لأيونات المخثر في السوائل هي محاليل معقدة، وذلك لكل من أيونات الألمنيوم وأيونات الحديديك، حيث تقوم بسلسلة من التفاعلات مع المياه المتحدة مع التربة محدثة مواد بولمرية خلال ثوان. في الظروف المثالية إن كل مادة المخثر تنتشر في جميع أجزاء المياه الخام مباشرة، وهذه العملية مستحيلة من الناحية الفيزيائية إذا كانت الكمية كبيرة جداً. ولكن هناك طرق مختلفة يمكن أن نحصل بها على انتشار سريع جداً.

يتم نشر المياه الخام فوق الهدار حيث يكون عمق الماء فوق حافة الهدار أقل من 10 سم. باستعمال نافث وكما هو موضح في الشكلين 8-8 و8-9، فإنه يمكن إضافة محلول مُخَفَّف من المخثر عند هذه النقطة التي تحتوي على اضطراب في جريان المياه. ويجب إضافة محلول المخثر في أقل تركيز يمكن الحصول عليه، أي بتركيز 0.2 الى 0.3 ٪ أو 0.5 ٪ على الأكثر. إن هذا النظام يعطي أفضل الظروف لانتشار المخثر في جميع أجزاء المياه الخام خلال أجزاء من الثانية.

يجب تخفيف تركيز محلول الشب من 10٪ إلى 0.5٪، قبل إضافة المحلول مباشرة من خلال النافث عند الهدار، وهذا بحاجة إلى كمية مياه كبيرة تقدر كحد أقصى بحوالي 15 لتر/الدقيقة لتخفيف التركيز، مع تحكم بالتدفق بوساطة صندوق عليه هدار مثلثي. تسمح المعايرة على جانب الهدار للمشغل بتعديل كمية المياه المُخَفَّفة التي سوف تضاف إلى الجرعة المضافة. توضح الأشكال 8-10 إلى 8-8 كيفية تحضير المواد الكيميائية وتغذية المخفف والجرعة النافثة.

قائمة المصطلحات العلمية

شب: كبريتات الألمنيوم والتي تُعدّ المخثر الأكثر استعمالا في جميع أنحاء العالم.

نهاية الخلط الدائري: قناة تمر فيها المياه حول نهايات الحواجز على فترات متباعدة.

حاجز أعمى (ثابت): جدار صلب يقام لامتصاص طاقة الماء عند مدخل الخزان.

مياه مخثَّرة: هي المياه الخام بعد إضافة المواد الكيميائية إليها لإزالة معادلتها عن طريق إزالة الشحنات الكهربائية من الجزيئات المسببة للعكر وتسمح لها بالتجمع معاً، وتكوين كتل أكبر.

قنوات مجمعة: هي القنوات التي تستقبل المياه من خزانات أو أنابيب متتالية لتنقلها إلى وحدة المعالجة التالية أو التصريف النهائي.

تدفق متناقص: يتم تحقيق ذلك باستعمال صفيحة يمكن تعديل مستواها عند مخرج المرشح للتحكم بأقصى معدل تدفق والذي يتناقص كلما انسد المرشح وكان بحاجة إلى غسيل. يعد استعمال هذا النمط من التدفق الأسهل والأجدى اقتصادياً، والأكثر انتشاراً.

مرشح عميق: وسط أحادي من الفحم بعمق 1,3-1 م وحجم فعال يتراوح ما بين 3,5 و 1,3 ملم ومنتظم بشكل كبير (حوالي 1,2 متجانس) وهو فعال جداً.

ترشيح مباشر: استخدام المياه للترشيح بوساطة مرشح مباشرة بعد عملية التخثّير مع أو دون تنديف وترسيب. وهي طريقة اقتصادية جداً إذا كان من الممكن تطبيقها.

مياه مطهَّرة: مياه مرشحة أُضيف إليها مادة كيميائية للتطهير، وعادة يكون الكلورين، ويبقى في المدى الحامضي لفترة (30) دقيقة في حوض يحتوي على حواجز للتحكم في المسارات القصيرة.

قنوات توزيع: تقوم هذه القنوات بتوزيع الماء من قناة فرعية أو قناة رئيسة إلى أحواض متتالية أو أنابيب.

قيعان مرشح مصطنع إضافي بفتحات (بثقوب): ثقوب بلاستيكية محسوبة الحجم والعدد.

كلوريد الحديديك: مخثّر فعَّال على مدى واسع من الرقم الهيدروجيني وينتج كتلاً متلبدة أثقل من الشب.

وسط المرشح: الرمل هو الوسط الأكثر استعمالاً في الدول النامية. وعادة يكون بعمق 60-70 سم، ويتراوح الحجم الفعّال بين 0.6 و0.8 ملم، لكن كلاً من العمق والحجم يمكن أن يتغير بشكل كبير. الوسط الثنائي من مواد مختلفة الوزن النوعي تستخدم في الدول الصناعية، وعادة ما تتكون من طبقة من فحم الأنثراسايت الذي يغطي الرمل. وهذا الجمع بين الوسطين يمكن أن يأخذ حملاً عالياً جداً يبلغ أربعة أضعاف أو أكثر من الحمل التقليدي القديم.

داعم المرشح: يكون وسط المرشح مدعوماً بطبقة من الحجارة الملساء دون حواف حادة يتراوح حجم الصغير منها بين 2 و3 ملم وحجم الكبير بين 25 و50 ملم تقريباً، وتكون الحجارة الكبيرة في الأسفل والحجارة الصغيرة في الأعلى.

مياه مرشحه: المياه المترسبة التي مرَّت من خلال وسط ذي نفاذية، وبتدفق متحكم فيه. وقد يكون الوسط رملاً أو فحماً أو كليهما معاً.

مياه مندفة: هو خلط المياه المتخثّرة لتوفير فرصه للجزيئات لتتجمع معاً، وتكوّن كتلاً متخثّرة قابلة للترسيب. وتكون الطاقة المُستهلكة كبيرة في البداية وقليلة في نهاية عملية التندف.

بوابات: فتحات في قنوات أو خزانات تسمح للمياه بالجريان إلى الداخل أو إلى الخارج.

جاذبية أرضية: الطاقة الناتجة عن اختلاف فرق الارتفاع.

قنوات صغيرة: قناة على طول جانب المرشح إما لتوزيع المياه المترسبة على المرشح أو لاستقبال مياه

الغسيل العكسي لتصريفها والتخلص منها.

تنديف هيدروليكي: طاقة الخلط المستعملة عندما تكون ناتجة عن الجاذبية الأرضية في قناة أو خزانات لها حواجز جدارية.

خلط مروحي: هو عملية دفع الماء من المركز إلى جدار الخزان مما يسبب عدم انتظام توزيع المياه . يكون الخلط عالياً عند نهايات شفرات المروحة، ومنخفضاً في مركز الدوران .

طوب ليوبولد البلاستيكي: مرشح مصنع مسبقاً، ومصمّم لإستعمال الهواء والماء الراجع من الغسيل العكسي.

جير: المادة القلوية الأكثر استعمالاً لتثبيت الماء قبل التوزيع، ويوجد على ثلاثة أشكال: كربونات الكالسيوم وأكسيد الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم، إن هيدروكسيد الكالسيوم هو الأكثر استعمالا في تثبيت المياه.

قناة رئيسة: القناة الرئيسة التي توزع تدفقاً متساوياً إلى القنوات الفرعية.

طاقة ميكانيكية: الطاقة التي يتم توفيرها عن طريق تشغيل أجهزة ميكانيكية.

تنديف ميكانيكي: الخلط باستعمال الطاقة الميكانيكية.

خلط أكثر وأقل من المطلوب: قناة ذات حواجز جدارية يمر فيها الماء بالتتابع مرة من فوق الحاجز ومرة من أسفله.

حاجز مثقب: حاجز يحتوي على عدة ثقوب محسوبة من حيث العدد والحجم للحصول على فاقد ضغط معين والذي يهدف إلى توزيع الماء بانتظام على مساحة مقطع مدخل الخزان، ومخرجه.

قاع المرشح المموج مسبق الصب: القاع الذي يصمم لتمرير تدفق معين من الماء و الهواء و يمكن تركيبه في موقع الإنشاء.

خلط بالمروحة: هو استعمال الطاقة في خزان الماء باستعمال طريقة التدفق المحوري للحصول على توزيع جيد للمياه.

جهاز التحكم في التدفق: هو الجهاز الذي يحقق تدفقاً ثابتاً خلال دورة الترشيح ويحافظ على هذا الوضع ، عادة ما يستخدم هذا النظام في المحطات القديمة .

مياه خام: المياه التي تدخل المحطة من المصدر الرئيس سواء أكان نهراً أم بحيرة ام خزاناً.

تدرج عكسي داعم: هي طبقة إضافية فوق طبقة المرشح الداعمة، ويكون تدرج الحصى فيها عكسياً من الحجم الصغير إلى الحجم الكبير، وهذا النوع من الدعم يكون شديد المقاومة للقوى المفاجئة وقوى الحركة.

مياه مترسبة: مياه مُندَفه تم التخلص من الكتل المتخثرة فيها عن طريق الترسب في أحواض مناسبة.

بوابة منزلقة: بوابة تحتوي على قطعة من المعدن تنزلق للأعلى أو للأسفل لفتح أو إغلاق البوابة للتحكم بجريان المياه.

صودا: مادة كيميائية تستخدم لتثبيت المياه قبل توزيعها.

مياه مثبتة: هي المياه التي تم تطهيرها وتم تعديل الأس الهيدروجيني لها إلى المدى القلوي لتوفير ظروف منع التآكل.

قناة: قناة منشأة على المرشح من الأعلى، إما لتوزيع المياه المترسبة إلى المرشح أو لاستقبال مياه الراجعة من الغسيل العكسي خلال قنوات صغيرة للتخلص منها.

قائمة المفردات المستخدمة في التعريب

Total Dissolved Solids	**اجمالي المواد الصلبة الذائبة**
Total Suspended Solids	**اجمالي المواد الصلبة المعلقة**
Gauges	**أجهزة القياس**
Friction	**احتكاك**
pH	**أس هيدروجيني**
Destabilization	**اعادة المعادلة**
Rehabilitation	**اعادة تأهيل**
Water Supplies	**امدادات المياه**
PVC Pipes	**انابيب بلاستيكية**
Pipe	**انبوب**
Header	**انبوب رئيس**
Dispersion	**انتشار**
Gravity Flow	**الانسياب الطبيعي**
Sudden reduction	**إنقـــاص مفاجـــئ**
Inward projecting	**بارز للداخل**
Gate flanged	**بوابة بفلنجة**
Gate screwed	**بوابه مسنن**
Corrosion	**التآكل**
Sequence	**تتابع**
Flocculation	**تخثر**
Housekeeping	**تدبير**
Flow	**تدفق**
Plug Flow	**تدفق كتلي**
Sedimentation	**ترسيب**
Operation	**تشغيل**
Disinfection	**تطهير**
Upgrading	**تطوير**
Sudden enlargement	**تكبيـــر مفاجـــئ**
Coagulation	**تندف**

Tee- line flow flanged	**تي بفلنجة - جريان بإتجاه واحد**
Tee- branch flow flanged	**تي بفلنجة - جريان متفرع**
Tee- line flow screwed	**تي مسنن - جريان بإتجاه واحد**
Tee- branch flow screwed	**تي مسنن - جريان متفرع**
Chlorinator	**جهاز الكلورة**
Water Quality	**جودة المياه**
Lime	**جير**
Baffle	**حاجز**
Injector	**حاقن**
Gravel	**حصى**
Sludge	**حمأة**
Load	**حمل**
Entrance Baffles	**حواجز المدخل**
Concrete	**خرسانة**
Tank	**خزان**
Settling basin	**خزان الترسيب**
Clear Well	**خزان السيب النهائي**
Agitation	**خضخضة**
Vortex	**دوامة**
Odor	**رائحة**
Sand	**رمل**
Angle flanged	**زاوية بفلنجة**
Angle screwed	**زاوية مسنن**
Records	**سجلات**
Pipette	**سحاحة**
Plug flanged	**سدادة بفلنجة**
Plug screwed	**سدادة مسنن**
Alum	**شب**
Soda Ash	**صودا كاوية**
Maintenance	**صيانة**
Taste	**طعم**
Clay	**طين**

Flashing Vaporization	**ظاهرة التبخرالومضي**
Flashing Gasification	**ظاهرة الغازية الومضية**
Hardness	**عسر**
Turbidity	**عكر**
Sample	**عينة**
Inlet Chamber	**غرفة المدخل**
Backwash	**الغسيل العكسي**
diaphragm	**غشائي**
Head loss	**فاقد الضغط**
Jar Test	**فحص الجرة**
Bituminous Coal	**فحم اسفلتي**
Alkalinity	**قاعدية**
Channel	**قناة**
Sweep	**كاشطة**
Rotary Sweep	**كاشطة دوارة**
Globe flanged	**كرة بفلنجة**
Globe screwed	**كرة مسنن**
Ball flanged	**كروي بفلنجة**
Ball screwed	**كروي مسنن**
Residual Chlorine	**كلور متبقي**
Chlorination	**كلورة**
Bend 90º flanged	**كوع 90^{o} مع فلنجة**
Bend 45º long radius, flanged	**كوع فاتح 45^{o} مع فلنجة**
Bend 90º long radius	**كوع فاتح 90^{o}**
Bend 45º screwed	**كوع مسنن 45^{o}**
Elbow standard screwed	**كوع عادي مسنن**
Kinetic Viscosity	**لزوجة ميكانيكية**
Color	**لون**
Raw Water	**ماء خام**
Intake	**مأخذ**
Evaporator	**مبخر**
Valve	**محبس**

Valve in open position	**محبـس مفتـوح**
Pilot Plants	**محطات تجريبية**
Water Treatment Plant	**محطة تنقية المياه**
Coagulant	**مخثر**
Outlet	**مخرج**
Inlet	**مدخـــل**
Filter	**مرشح**
Impeller	**مروحة**
Short Circuit	**مسار قصير**
Flush with wall	**مستو مع الحائط**
Pump	**مضخة**
Stabilization	**معادلة، تثبيت**
Pretreatment	**معالجة أولية**
Calibration	**معايرة**
Parameters	**معايير**
Diffuser	**نافث**
Horizontal Flow System	**نظام تدفق أفقي**
Weir	**هدار**
Specific Weight	**وزن نوعي**

قائمة المراجع

APHA 1998 *Standard Methods of the Examination of Water and Wastewater.* 20th Edition, American Public Health Association, Washington DC.

ASCE 1969–1972 Proceedings published in *Journal of the Sanitary Engineering Division* and *Journal of the Environmental Engineering Division.* American Society of Civil Engineers, New York.

AWWA 1974 *Upgrading Existing Water Treatment Plants.* American Water Works Association Seminar Proceedings, Annual Conference, Boston, MS, June 15–16, 1974.

AWWA (American Water Works Association) 1990 *Water Quality and Treatment — A Handbook of Community Water Supplies.* F.W. Pontius [Ed.] 4th Edition, McGraw-Hill, New York.

AWWA 1991 *Criteria for the Renovation or Replacement of Water Treatment Plants.* American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.

AWWA 1992 *Operational Control of Coagulation and Flocculation Processes.* Manual of Water Supply Practices No. M37, American Water Works Association, Denver, CO.

AWWA 1997 *Simplified Procedures for Water Examination (Manual M12).* American Water Works Association, Denver, company

AWWA (American Water Works Association) and ASCE (American Society of Civil Engineers) 1998 *Water Treatment Plant Design.* 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 806 pp.

Babbitt, H.E, Doland, J.J. and Cleasby, J.L. 1962 *Water Supply Engineering.* 6th Edition, McGraw-Hill series in Sanitary Engineering and Science, McGraw-Hill, New York, 672 pp.

Brikké, F. 1993 *Management of Operation and Maintenance in Rural Drinking Water Supply and Sanitation: A Resource Training Package.* World Health Organization, Geneva.

Chadwick, A. and Morfett, J. 1993 *Hydraulics in Civil Engineering.* 2nd Edition, E&FN Spon, London.

Cheremisinoff, N.P. and Cheremisinoff, P.N. 1993 *Water Treatment and Waste Recovery—Advanced Technology and Application.* Prentice Hall Series in Process Pollution and Control Equipment, PTR Prentice Hall, New Jersey.

Craum, G.F. [Ed.] 1993 *Safety of Water Disinfection: Balancing Chemical & Microbial Risks*. Ilsi Press, Washington, D.C.

Culp, J.L. and Culp, R.L. 1974 *New Concepts in Water Purification*. Van Nostrand Reinhold Environmental Series, New York.

EPA 1990 *Technologies for Upgrading Existing or Designing New Water Treatment Plant Facilities*. Technology Transfer Manual No. EPA/625/4-89, Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

EPA 1991 Optimizing Water Treatment Plant Performance Using the Composite Correction Programme. Technology Transfer Manual No. EPA/625/6-91/027, Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH.

Fair, G.M., Geyer, J.C. and Okun, D.A. 1966 *Water and Wastewater Engineering. Volume 1 Water Supply and Wastewater Removal*. Wiley, New York.

Fair, G.M., Geyer, J.C. and Okun, D.A. 1968 *Water and Wastewater Engineering. Volume 2 Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*. Wiley, New York.

Hall, T. [Ed.] 1997 *Water Treatment Processes and Practices*. 2nd Edition, Water Research Centre, Swindon.

Hudson, Jr., H.E. 1981 *Water Clarification Processes — Practical Design and Evaluation*. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series, Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Hutton, L.G. 1983 *Field Testing of Water in Developing Countries*. Water Research Centre, Swindon.

James M. Montgomery, Consulting Engineers Inc. 1985 *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons, New York.

Jordan, J.K. 1990 *Maintenance Management*. American Water Works Association, Denver, CO.

Kawamura, S. 2000 *Integrated Design and Operation of Water Treatment Plants*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc, New York.

Kay, M. 1998 *Practical Hydraulics*. E&FN Spon, London.

Kerri, K.D. 1994 *Water Treatment Plant Operation — A Field Study Training Program*. 3rd Edition (2 volumes), California State University, Sacramento.

Kerri, K.D. 1999 *Small Water System Operation and Maintenance — A Field Study Training Program*. 4th Edition, California State University, Sacramento.

Letterman, R.D. 1991 *Filtration Strategies to Meet Surface Water Treatment Rule*. American Water Works Association, Denver, CO.

Mallevialle, J. *et al.* [Eds] 1992 *Influence and Removal of Organics in Drinking Water*. Lewis Publishers.

McNown, J.S. 1954 Mechanics of manifold flow. Paper No. 2714, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. **119**.

Najm, I.N. *et al.* 1991 *Control of Organic Compounds with Powered Activated Carbon.* Subject Area: Water Treatment and Operation, American Water Works Association Research Foundation, Denver, CO.

Schulz, C. and Okun, D. 1984 *Surface Water Treatment for Communities in Developing Countries.* Intermediate Technology Publications, London.

Stenquist and Kaufman SERL Report-72-2, University of California, Berkeley.

Summers, S.S. *et al.* 1992 *Standardized Protocol for the Evaluation of GAC.* AWWA Research Foundation, Subject Area: Water Treatment, American Water Works Association, Denver, CO.

Tebbutt, T.H.Y. 1998 *Principles of Water Quality Control.* 5th Edition, Butterworth Heinemann, Oxford.

Twort, A.C., Ratnayaka, D.D. and Brandt, M.J. 2000 *Water Supply.* 5th Edition, Arnold, London.

van Duuren, F.A. [Ed.] 1997 *Water Purification Works Design.* Water Research Centre, Pretoria.

Vrale and Jordan 1971 Initial mixing of coagulant in raw water. *Journal of AWWA*, 63–52.

Weber, Jr., W.J. 1972 *Physicochemical Processes for Water Quality Control.* Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, New York.

White, G.C. 1999 *Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants.* 4th Edition, John Wiley, New York, 1569 pp.

WHO 1993 *Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 1 Recommendations.* 2nd Edition (plus addendum, 1998), World Health Organization, Geneva.

WHO 1994 *Operation and Maintenance of Urban Water Supply and Sanitation Systems — A Guide for Managers.* World Health Organization, Geneva.

WHO 1996 *Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 2 Health Criteria and Other Supporting Information.* 2nd Edition, World Health Organization, Geneva.

WHO 1997 *Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 3 Surveillance and Control of Community Supplies.* 2nd Edition, World Health Organization, Geneva.

WHO 2000 *Tools for Assessing the O&M Status of Water Supply and Sanitation in Developing Countries.* World Health Organization, Geneva, In press.

Wyatt, A. 1989 *Guidelines for Maintenance Management in Water and Sanitation Utilities in Developing Countries.* US Agency for International Development (WASH), Washington DC.

Yao, K.M. 1972 Hydraulic control for flow distribution. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, **98**:(SA2), 275–285.

Yao, K.M. 1970 Theoretical study of high-rate sedimentation. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, **42**, 218.