دراسة عملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معالجة مياه الشرب

سلوى مصطفى حجار ونادیا عبد السلام عیروض

قسم البيئة، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب، سورية

الملخص:

تم في هذا البحث دراسة معالجة مياه الشرب بعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس. تعتمد هذه العملية على إضافة عملية التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس إلى حيز الماء فوق سرير المرشح الرملي. إن من ميزات هذه المعالجة هو مرونتها حيث يمكن معها تشغيل المرشح الرملي السريع بنموذجين, الأول هو الترشيح المباشر والثاني هو الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس عند اللزوم. أظهرت نتائج البحث زيادة في القيم الأعظمية التي يمكن تطبيقها لكل من عكارة المياه الخام (إلى أربعة أضعاف) والتحميل السطحي (إلى ضعفين) على المرشح وتناقصاً في عدد المرشحات إلى النصف, عند استخدام مرشحات التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس.

الكلمات الدالة: الترشيح مع التطويف، الهواء المنحل، مياه الشرب.

المقدمة:

أصبح الماء العذب في عصرنا الحالي هو الذهب الأزرق مثلما النفط هو الذهب الأسود وذلك في الاعتبارات الدولية. فالتزايد السكاني المستمر يؤدي إلى نمو احتياجات كل من ماء الشرب وماء إنتاج الغذاء وماء الصناعات. وباعتبار أن مصادر المياه محدودة وأن المعايير الدولية تشدد على تحسين مستمر لمواصفات المياه, يكون السؤال الذي يطرح نفسه بشدة هو:

كيف يمكننا إدارة هذه المصادر لتأمين المياه المناسبة ليس فقط لكل شخص بل وحتى لكل شيء حي. فقد قال جل وعلا "وجعلنا من الماء كل شيء حي أفلا يؤمنون"؟.

من هنا انطلقت الدراسات والأبحاث لجعل طرق معالجة المياه فعالة واقتصادية قدر الإمكان. حيث قامت العديد من مؤسسات المياه في العالم بتحديث عملياتها الحالية لتواكب هذه الاحتياجات الجديدة, ولتأمين المعالجة المثلى المعتمدة على معايير النوعية الأعلى بالكلفة الأدنى.

يهدف هذا البحث[1] إلى:

دراسة تأثير تغير العكارة الابتدائية وتغير معدل التحميل السطحي على المرشح الرملي السريع الذي أضفنا إليه عملية التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس والذي يعمل وفق نموذجي تشغيل هما نموذج الترشيح المباشر ونموذج الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس وذلك من خلال قياس كل من:

- زمن انسداد المرشح الرملي المباشر والمرشح الرملي مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس COCODAFF.
- كفاءة إزالة العكارة في عملية الترشيح الرملي المباشر وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس.

دراسة نظرية حول تطور مرشحات التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس:

إن التطويف هو إجراء يتم استخدامه لفصل (مواد صلبة عن سائل) أو (سائل عن سائل) وذلك من أجل جزيئات ذات كثافة أقل من السائل الموجودة فيه. حيث تترك لتطفو إلى السطح ثم تزال بالقشط (حجار، 2006). يمكن أن يقسم التطويف بشكل عام إلى ثلاثة أنواع:

- **التطويف الطبيعي:** هو التطويف الذي يستخدم عادة في العمليات الأولية لفصل الزيوت عن السائل وذلك إذا كان الفرق في الكثافة كافٍ بشكل طبيعي للفصل.
- **التطويف المدعوم:** هو التطويف الذي يتم فيه استخدام وسائل خارجية لتحفيز فصل الجزيئات ذات قابلية التطويف الطبيعية, كاستخدام المواد المروبة.

(1) تم هذا البحث في مخبر تحليل المياه في كلية الهندسة المدنية من جامعة حلب بين عامي (2010 – 2008 م).

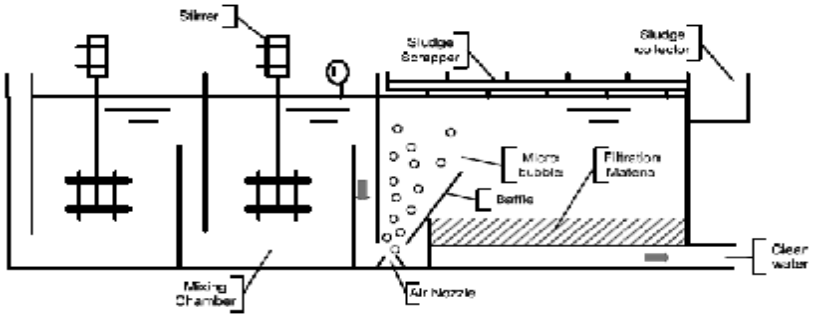
- **التطويف الاصطناعي:** هو التطويف الذي تكون فيه كثافة الجزيئات في الأصل أكبر من كثافة السائل ولكن بشكل اصطناعي نجعلها أقل. وذلك عندما تلتصق جزيئة المادة الصلبة بفقاعات الغاز (الهواء عادة) مشكلة تركيبة جزيئة – غاز ذات الكثافة الأقل من كثافة السائل الموجودة فيه (Tchobanoglous and Burton, 2004).

قطع التطويف بالهواء المنحل من أجل معالجة مياه الشرب شوطاً كبيراً منذ أول استخدام له من قبل أنظمة ADKA وSveen– Pedersen في فلندا في العشرينات من القرن الماضي. تميزت تلك العملية بأحواض تطويف ضحلة وطويلة ومعدلات تحميل هيدروليكي أقل من (5 m/h) ولم يكن الهواء المنحل مضغوطاً. شهدت أوائل الستينات دراسات في مختلف أنحاء العالم أدت إلى ظهور محطة تطويف بالهواء المنحل DAF التقليدية بتدفق مضغوط لمعالجة المياه.

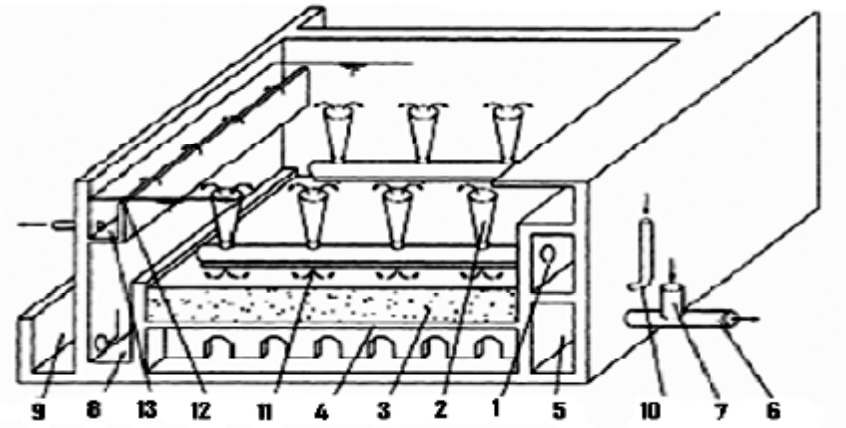
باعتبار أن التحميل السطحي لمنطقة الفصل في عملية التطويف بالهواء المنحل DAF مشابه تماماً لعملية الترشيح السريع, فسرعان ما تم دمج العمليتين في مفاعل واحد حيث تأخذ عملية التطويف مكانها في حيز الماء فوق سرير المرشح. بالإضافة إلى التوفير الواضح في مساحة المنشأة ورأس المال, كان هناك ميزة أخرى هي استقرار النمط الهيدروليكي بسبب تدفق التصريف المتساوي تماماً بين العمليتين خلال وسط الترشيح. استخدم هذا النموذج لأول مرة بالمقياس الكامل في أواخر الستينات في السويد (Kiuru, 2000) وتم تسميتها FLOFILTER، حيث يبين الشكل (1) نموذجاً تقليدياً لهذه العملية.

اعتمدت أنظمة التطويف بالهواء المنحلDAF الأولى على تدفق مترافق باتجاه واحد لكل من الندف والفقاعات، حيث قدمت كل منهما في قاع منطقة التفاعل وقامت بتشكيل تكتلات أثناء صعودها نحو الطبقة الطافية. في منتصف الثمانينات، قام مصمم محطات في جنوب إفريقيا بإنشاء محطة بتدفق التيار المعاكس, حيث قدمت المياه الخام الخاضعة لتشكيل الندف في أعلى منطقة التفاعل من حوض التطويف بينما

قدم التدفق المضغوط المشبع بالهواء المنحل في الأسفل، مما يلغي الحاجة لمنطقة تفاعل منفصلة.



الشكل (1) : نموذج تقليدي لعملية FLOFILTER (THESIS 2006- 2007)



1	قناة الماء الخام	8	هدار ماء الغسيل
2	مخروط دخول الماء الخام	9	قناة خروج ماء الغسيل
3	وسط الترشيح	10	دخول التدفق المعاد المشبع بالهواء
4	أرض المرشح	11	فوهة توزيع التدفق المعاد
5	قناة الماء المعالج	12	هدار الحمأة الطافية
6	خروج الماء المعالج	13	قناة خروج الحمأة الطافية
7	أنبوب ماء الغسيل		

الشكل (2) : نموذج فراغي عام لوحدة COCODAFF (Officer *et al*., 2001)

خلال التسعينات، أخذ التطور المستقل لعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس DAFF خطوة كبيرة للأمام بعد اختباره بشكل شامل وإعادة هندسته من أجل المقياس الكامل حيث أطلق عليه اسم: Counter-Current Dissolved Air Flotation Filtration COCODAFF كما هو مبين في الشكل (2). تم استخدام العملية لأول مرة بالمقياس الكامل عام 1995 ومنذ ذلك الحين تم تطبيقها في بعض أكبر محطات المعالجة في العالم (Officer *et al*.,2001).

أدى انتشار استعمال التطويف بالهواء المنحل بالمقياس الكامل إلى العديد من التطورات العملية، التي سنذكر منها ما يلي:

- عندما تكون الأحواض المستخدمة عميقة، فإنه يتم إدخال عملية التطويف بالهواء المنحل DAF إلى حوض الترويب، يسمى هذا النظام FLOTAPUR تم تطبيقه في فلندا (Takko.,2000a) أو نظام TRIPLE– DECK المستخدم في انكلترا (Stephenson., 1997).
- في المحطات التي تستخدم الأوزون يمكن استعمال فقاعات غنية بالأوزون لتخدم عملية التطويف. تم تطوير طريقتان في فرنسا: الأولىOZOFLOT في هذه العملية يتم تحويل الفقاعات الخارجة من الناشر إلى فقاعات صغيرة بخلق اضطراب كبير فوق الناشر, الثانية عملية FLOTTAZONE والتي تطلق فقاعات من الأوزون من التدفق المضغوط باستعمال فوهات تقليدية. وقد تم استعمالها بالمقياس الكامل بنجاح عام 1995 (Baron *et al*.,1997).
- تعتبرDAF من أحسن المعالجات المسبقة من أجل زيادة فترات عمل المرشحات الدقيقة (micro filtration) في معالجة مياه الصرف (Chuang *et al*., 2005) ومياه الشرب (Van Benschoten *et al*.,2002).

الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس (Counter COCODAFF Current Dissolved Air Flotation Filtration):

يتمتع الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس بالمزايا التالية:

- يتم فيه إدخال التدفق المشبع بالهواء المنحل من الأسفل بينما يتم إدخال الماء الخام (الذي خضع لتشكيل الندف) من الأعلى بحيث تجبر كافة الندف المتحركة نحو الأسفل بتأثير وزنها الذاتي على المرور عبر بساط الفقاعات المتحرك نحو الأعلى, مما يؤدي إلى كفاءة معالجة أكبر.
- يتم استرجاع أي ندف تسقط من الحمأة الطافية (أثناء إزالتها) بواسطة بساط الفقاعات المتجدد باستمرار لتعود طافية مرة ثانية إلى السطح.
- يتم إدخال التدفق المشبع بالهواء المنحل في منطقة من حوض التطويف أخفض من منطقة تقديم التدفق الخام الحاوي على الندف، وهذا يجنبنا تضرر الندف حول منطقة القص المرتفع عند مدخل التدفق المشبع.
- يحصل المزيد من تشكيل الندف في المستويات العليا من حوض التطويف ولذلك فإنه يمكن الاكتفاء بحوض تشكيل ندف هيدروليكي ولا حاجة لأحواض تشكيل الندف الميكانيكية ذات المحركات والمحاريك.

مراحل عملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكسCOCODAFF:

تتألف هذه العملية من الخطوات الرئيسية التالية (Koivunen, 2007):

1. عملية الترويب وتشكيل الندف.
2. تقديم تيار الماء المشبع بالهواء المضغوط وتشكيل فقاعات الهواء.
3. اصطدام والتصاق فقاعات الهواء مع الندف وتشكل تراكيب فقاعة – ندفة.
4. تطويف وفصل تراكيب فقاعة – ندفة وتشكل الحمأة الطافية.
5. الترشيح وخروج الماء النقي.

وصف عملية COCODAFF (Officer *et al.*, 2001 and Thesis 2006- 2007):

تدخل المياه الخام المراد معالجتها إلى حوض تشكيل الندف الهيدروليكي مجرعة بالمواد الكيميائية حسب الحاجة. ثم يخرج الماء من حوض تشكيل الندف ليدخل حوض التطويف مع الترشيح في منطقة التفاعل عبر منشأة المدخل ذات التصميم الخاص على شكل مخروط مقلوب, وإلى الأسفل منه يتم حقن التدفق المشبع بالهواء المنحل. يتم تحضير التدفق المشبع بالهواء المنحل بتمرير جزء من تدفق المحطة المعالج يتراوح بين (8 –10 %) خلال نظام إشباع ماء – هواء تحت ضغط يتراوح بين (3–6 atm) ثم بالانخفاض المفاجئ لضغط التدفق المشبع بالهواء المضغوط تتشكل الفقاعات الدقيقة على هيئة بساط فقاعات يتجه للأعلى ليقابل في طريقه الندف المتحركة بعكس اتجاهه إلى الأسفل, كما هو مبين في الشكل (2). تطفو الندف إلى السطح نتيجة التصاقها بالفقاعات عند مرورها عبر بساط الفقاعات حيث تتشكل الحمأة الطافية التي تزال إما ميكانيكياً أو هيدروليكياً عبر هدار مفيض. أثناء ذلك تنتقل المياه المعالجة بالتطويف بالجاذبية خلال سرير الترشيح, الذي يزيل الملوثات المتبقية حتى المستوى المطلوب. يتم تشغيل العملية كمرشح ذي مستوى ثابت بواسطة صمام خروج خاص. يمكن استعمال المرشح بوسط وحيد مثل الرمل أو الكربون الحبيبي المنشط أو بوسط مزدوج حسب الحاجة. يمكن إجراء الغسيل العكسي للمرشح عندما يصل ضياع الحمولة إلى قيمة معينة أو عند تدهور نوعية الماء الراشح وذلك باستعمال تقنية الغسيل العكسي التقليدية. يمكن استعادة ماء الغسيل الملوث بإعادته إلى مدخل العملية.

تم اختيار التطويف وليس الترسيب كعملية تسبق الترشيح السريع لأن التطويف يمتاز على الترسيب بما يلي (حجار 2006):

- ينتج حمأة أكثر تركيزاً.
- يمكن تطبيق معدلات تحميل سطحي أكبر.
- الزمن اللازم للتطويف أقل بكثير من الزمن اللازم للترسيب.
- لا يحتاج إلى مساحة إشغال خاصة به.

إن من أهم التحديات التي تواجه عمل المرشحات الرملية السريعة هي زيادة كمية المواد المعلقة الكلية TSS في المياه الخام أي زيادة عكارة المياه الخام مما يؤدي إلى تناقص زمن عمل المرشح وزيادة عدد مرات الغسيل العكسي. غالباً ما تكون هذه الزيادة مفاجئة وعلى فترات متقطعة من السنة كحالة حقن بودرة الكربون المنشط أو حالة المياه السطحية بعد الانفجارات الطحلبية أو بعد الهطولات المطرية. للتغلب على هذه العقبة قمنا من جهة بإضافة عملية التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس فوق سرير المرشح لتقليل كمية المواد المعلقة التي يتحملها هذا المرشح، ومن جهة أخرى جعلنا المرشح يعمل وفق نموذجي تشغيل بحسب مواصفات الماء الخام وذلك لتقليل الكلفة الاقتصادية.

وصف الجهاز المستعمل لإجراء التجارب:

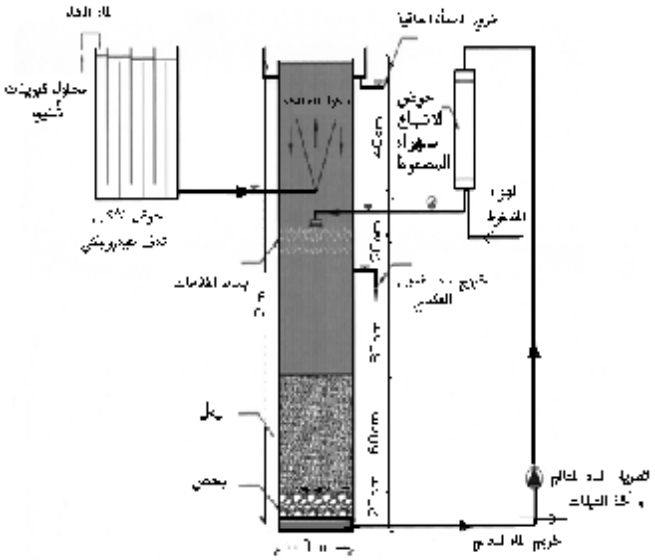
يبين الشكل (3) الجهاز المخبري المستعمل لدراسة عملية المعالجة بالترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس وهو يتألف من المكونات التالية:

- حوض تشكيل ندف هيدروليكي.
- نظام الإشباع بالهواء المنحل.
- حوض الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس.

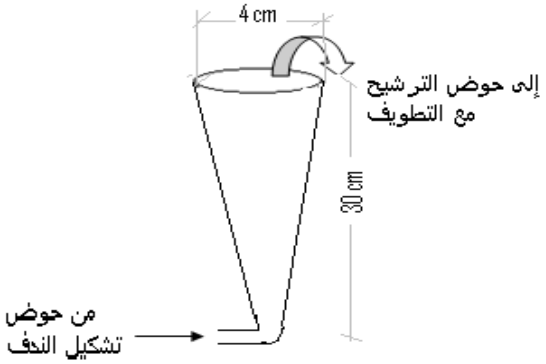
حوض تشكيل الندف الهيدروليكي:

حوض شفاف من مادة الـ PVC على شكل متوازي مستطيلات أبعاده (40 x cm 30 x 20). يحتوي على حواجز داخلية يصل بعضها لقاع الحوض بينما بعضها الآخر لا يصل (بشكل متناوب). تقسم هذه الحواجز الحوض إلى حجرات متتالية يمر عبرها الماء الخام مع المادة المروبة المضافة للحصول على تشكيل الندف اللازم.

يخرج الماء من حوض تشكيل الندف الهيدروليكي ليدخل إلى حوض الترشيح مع التطويف عبر منشأة الدخول الخاصة التي هي على شكل مخروط مقلوب يخرج الماء الخام الخاضع لتشكيل الندف من أعلاه كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل (3) : منشأة الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس المخبرية



الشكل (4) : المنشأة المخبرية لدخول الماء الخام الخاضع لتشكيل الندف إلى حوض الترشيح مع التطويف

نظام الإشباع بالهواء المنحل:

عبارة عن حوض معدني مغلق أسطواني الشكل (حوض الإشباع) بسعة (80 L) يتم تغذيته بكل من الهواء (من مضخة الهواء التي تقوم بضخ الهواء بضغط يصل حتى (4 bar) وبماء نقي هو جزء من التدفق المعالج. يحدث انحلال للهواء في الماء نتيجة الضغط المرتفع فنحصل داخل حوض الإشباع على ماء مشبع بالهواء المنحل.

يخرج التدفق المشبع بالهواء المنحل من حوض الإشباع ليمر عبر كاسر الضغط والذي يخفض الضغط من (4 bar) إلى (2 bar) ومن ثم يدخل التدفق المشبع بالهواء المنحل وذو الضغط (2 bar) إلى حوض الترشيح مع التطويف حيث ينخفض الضغط إلى الضغط الجوي عبر منشأة دخول خاصة والتي تؤمن تحرر الهواء (الذي كان منحلاً في الماء) ويكون هذا التحرر على شكل فقاعات ذات أقطار تتراوح بين (10 – 70 µm) (Kiuru, 2000). يكون تحرر فقاعات الهواء في مستوي أفقي (تبعاً لمنشأة الدخول المصممة خصيصاً لهذا الغرض) ليشكل بساطاً من الفقاعات يمتد على كامل مقطع حوض الترشيح مع التطويف ويتحرك نحو الأعلى. إن نسبة التدفق المشبع بالهواء المنحل هي 10٪ من التدفق الكلي الداخل إلى حوض الترشيح مع التطويف أما الـ % 90 المتبقية فهي التدفق القادم من حوض تشكيل الندف الهيدروليكي.

حوض الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس:

وهو عبارة عن حوض أسطواني من مادة PVC الشفافة بقطر(8 cm) وارتفاع (2m) ينتهي في الأعلى بهدار مفيض يحيط به حوض مربع القاعدة طول ضلعه (30 cm) وارتفاعه (30 cm) ومن أسفله يوجد مخرج الحمأة الطافية، يحتوي الحوض الأسطواني في جزئه السفلي على سرير الترشيح المؤلف من طبقة حاملة في الأسفل من البحص المتدرج بين القطرين (0,3-1,5 cm) وبسماكة (20 cm)، يعلوه طبقة بسماكة (60 cm) من الرمل البحري من الساحل السوري بقطر وسطي d = 0,89 mm وبمسامية P = 0,41 ، وبتركيب حبي حجز بين منخلين (1 mm) و(0,8 mm) حيث تم حساب القطر المكافئ من العلاقة:

$$d = \sqrt{d_1 * d_2}$$

d: القطر المكافئ.

d_1: القطر الأعظمي لحبات الرمل.

d_2: القطر الأصغري لحبات الرمل.

يحوي حوض الترشيح مع التطويف المآخذ ومنشآت التغذية التالية:

- مأخذ تصريف الحمأة الطافية المتجمعة خلف هدار المفيض.
- مأخذ تصريف المياه المعالجة النقية في أسفل الحوض.
- مأخذ تصريف مياه الغسيل العكسي.
- منشأة دخول الماء الخام الخاضع لتشكيل الندف.
- منشأة دخول التدفق المشبع بالهواء المنحل.

يبين الشكل (3) توضع الأجزاء المذكورة في منشأة الترشيح مع التطويف المخبرية.

وصف المياه المستخدمة:

لقد تم تركيب المياه الخام المستخدمة مخبرياً بمزج كميات متفاوتة من طين الكاؤلين مع مياه نقية لإحداث مياه بعكارات مختلفة تتراوح بين[2] 10 NTU وحتى 100 NTU. وطين الكاؤلين نوع من أنواع الطين الأبيض اللون, وهو من المعادن التي تنتمي إلى مجموعة سيليكات الألمنيوم يشار إليه عادة بالطين الصيني. تم استخدام كبريتات الألمنيوم كمادة مروبة بجرعات مناسبة حسب عكارة المياه الخام وفق الجدول (1).

الجدول (1)

كمية كبريتات الألمنيوم المضافة للماء الخام تبعاً لعكارة الماء الخام

عكارة المياه الخام NTU	10	15	20	30	40	50	60	80	100
كمية كبريتات الألمنيوم المضافة mg/L	5	8	11	18	23	29	33	45	58

(2) (NTU Nephelometric Turbidity Unit) الوحدة القياسية للعكارة وتكافئ لمعلق (1) ملغ من السيليكا (SiO_2) في ليتر من الماء وهي وحدة القياس في جهاز قياس العكارة (spectrophotometer DR/4000) المستخدم.

طريقة المعالجة:

تمت المعالجة في المرشح الرملي السريع وذلك وفق طريقتي تشغيل مختلفين، الأولى الترشيح المباشر، والثانية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس، وذلك من أجل نوعية ثابتة للمياه الخام في كلا الطريقتين. وذلك وفق طريقة العمل التالية:

نموذج الترشيح المباشر:

يدخل الماء الخام حوض تشكيل الندف الهيدروليكي مجرعاً بمحلول كبريتات الألمنيوم حسب الحاجة, ومن ثم يدخل إلى حوض الترشيح من منشأة دخول الماء الخام. يتابع الماء الخام طريقه عبر وسط الترشيح حيث تتم تنقيته ليخرج من مأخذ خروج الماء المعالج. في هذه الحالة تكون منشأة التطويف مع ما يلحق بها من مآخذ متوقفة.

نموذج الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس:

يدخل الماء الخام حوض تشكيل الندف الهيدروليكي مجرعاً بمحلول كبريتات الألمنيوم حسب الحاجة, ومن ثم يدخل إلى حوض الترشيح مع التطويف من منشأة دخول الماء الخام وذلك بنسبة 90% من تدفق التغذية، أما الـ 10% المتبقية فهي الماء المشبع بالهواء المنحل الذي يدخل من مأخذ التدفق المشبع بالهواء المنحل. نتيجة انخفاض ضغط التدفق المشبع من(4bar) إلى ضغط (2bar) باستعمال كاسر الضغط ثم إلى ما يزيد عن الضغط الجوي بقليل في حوض الترشيح مع التطويف,فتتحرر فقاعات هواء صغيرة جداً من رتبة (Kiuru, 2000) (10- 70 µm) تتحرك نحو الأعلى مشكلة بساطاً من الفقاعات. يلتقي بساط الفقاعات هذا أثناء حركته نحو الأعلى بندف المياه الخام مع كبريتات الألمنيوم المتحركة نحو الأسفل (بتأثير وزنها الذاتي) فتلتصق الندف بالفقاعات مشكلة تراكيب ندفة – فقاعة ذات الكثافة الأقل من الماء فتطفو إلى السطح لإعطاء حمأة طافية يتم إزالتها عبر هدار المفيض. أما الماء الذي تخلص من قسمه الأكبر من الندف فيتابع طريقه عبر سرير المرشح لتنخفض ملوثاته إلى الحد المطلوب.

تم اعتبار زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل هو الزمن الذي تصبح فيه عكارة المياه المعالجة الخارجة من المرشح أكبر من 1.5 NTU أو يصبح ضياع الحمولة عبر طبقة الترشيح أكبر من 1.5m وهذا يعني تغيراً في قيمة التدفق المعالج الخارج من حوض الترشيح مع التطويف حيث يصبح أقل من التدفق الداخل مسبباً ارتفاع منسوب الماء في حوض الترشيح مع التطويف وتبدأ المياه بالخروج فوق هدار المفيض لتهرب مع الحمأة الطافية, مما يزيد من كمية الماء في الحمأة الطافية, وبالتالي يزداد حجم الحمأة الطافية الناتجة عن المعالجة, أي عند وصول قيمة حجم الحمأة الناتجة من عملية التطويف إلى 0.5% من تدفق التغذية. بالاعتماد على أحد المؤشرات السابقة الثلاثة يتم إيقاف المرشح لإجراء عملية الغسيل العكسي الاعتيادية وذلك بإمرار تيار من الماء النقي من أسفل المرشح إلى أعلاه، إذ تدخل أثناء الغسيل العكسي المياه النقية من مأخذ خروج الماء المعالج تدريجياً وذلك لمنع إزاحة البحص بواسطة الهواء المحصور وتخرج من سكر خروج ماء الغسيل العكسي. وعندما يصبح الماء فوق طبقة الرمل صافياً يغلق سكر إمداد مياه الغسيل، ثم يغلق سكر تصريف مياه الغسيل الملوثة, ثم يفتح سكر التدفق الداخل ببطء وسكر التدفق الخارج ويكون المرشح قد عاد إلى الخدمة. تستمر عملية الغسيل بحدود (5min) بحيث لا تتجاوز كمية ماء الغسيل (2%) من الكمية الكلية للمياه الراشحة. تتمدد طبقة الرمل أثناء عملية الغسيل العكسي بنسبة حوالي (130%)، ويعطى ماء الغسيل بمعدل (0.25 L/ sec) (حجار، 2006).

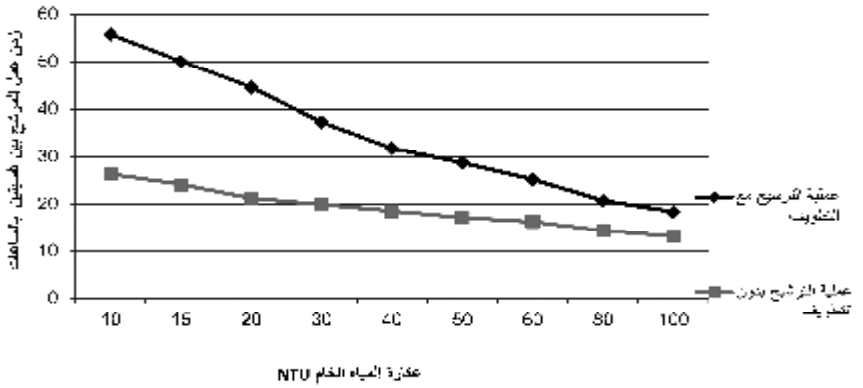
النتائج:

- السلسلة الأولى من أجل معدل تحميل سطحي (5 m/hr) وعكارة مياه خام متغيرة أظهرت المعالجة القيم التالية لزمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل ولعكارة المياه المعالجة:

الجدول (2)

زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل وكفاءة إزالة العكارة، من أجل كل من عملية الترشيح الرملي المباشر وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس، من أجل درجة حرارة للمياه الخام (15^{o} C) ومن أجل معدل تحميل سطحي (5 m/ hr)

العملية	عكارة المياه الخام NTU	10	15	20	30	40	50	60	80	100
ترشيح فقط	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	26,3	24,1	21,2	19,9	18,5	17,1	16,2	14,3	13,1
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح NTU	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,3	1,3	1,5
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح ٪	95	95,33	96	97,3	97,7	97,8	97,8	98,3	98,5
ترشيح مع تطويف	زمن عمل المرشح بين غسيلينhr	55,8	50,1	44,6	37,3	31,8	28,7	25,2	20,7	18,3
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح مع التطويفNTU	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	1	1,2
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح مع التطويف%	96	96	97	98	98,2	98,4	98,6	98,7	98,8



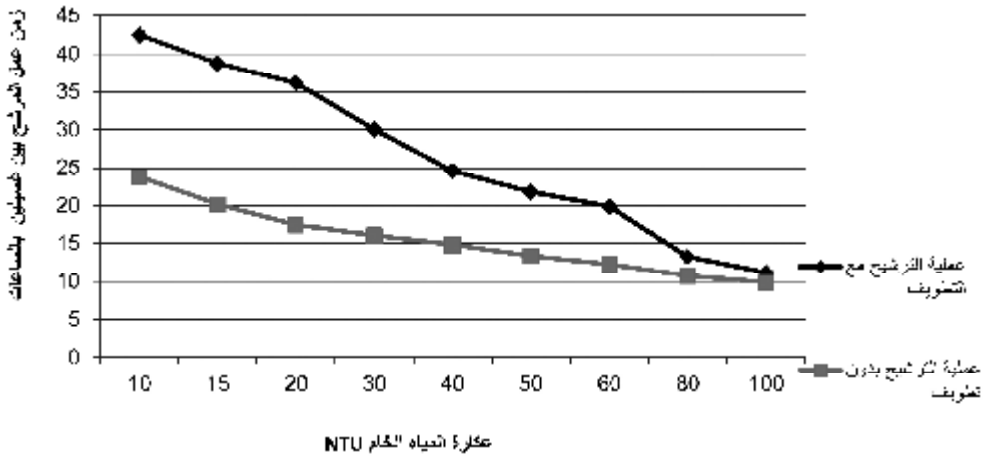
الشكل (5) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل مع عكارة المياه الخام في المرشح الرملي المباشر وفي مرشح التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معدل تحميل سطحي (5 m/hr)

- السلسلة الثانية من أجل معدل تحميل سطحي 7m/hr)) وعكارة مياه خام متغيرة أظهرت المعالجة القيم التالية لزمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل ولعكارة المياه المعالجة:

الجدول (3)

زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل وكفاءة إزالة العكارة، من أجل كل من عملية الترشيح الرملي المباشر، وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس، من أجل درجة حرارة للمياه الخام (15 ^{o} C) ومن أجل معدل تحميل سطحي (7 hr /m)

العملية	عكارة المياه الخام NTU	10	15	20	30	40	50	60	80	100
ترشيح فقط	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	23,8	20,2	17,5	16,1	14,9	13,4	12,3	10,8	9,9
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح NTU	0,6	0,8	1	1,1	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح٪	94	94,66	95	96,33	97	97,2	97,66	98,13	98,5
ترشيح مع تطويف	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	42,5	38,8	36,2	30,1	24,6	21,8	19,9	13,3	11,2
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح مع التطويف NTU	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1,2
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح مع التطويف٪	94	96	97	97,33	98	98,4	98,66	98,75	98,8



الشكل (6) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل مع عكارة المياه الخام في المرشح الرملي المباشر وفي مرشح التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معدل تحميل سطحي(7 m / hr)

- السلسلة الثالثة من أجل معدل تحميل سطحي 10m/hr)) وعكارة مياه خام متغيرة أظهرت المعالجة القيم التالية لزمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل ولعكارة المياه المعالجة:

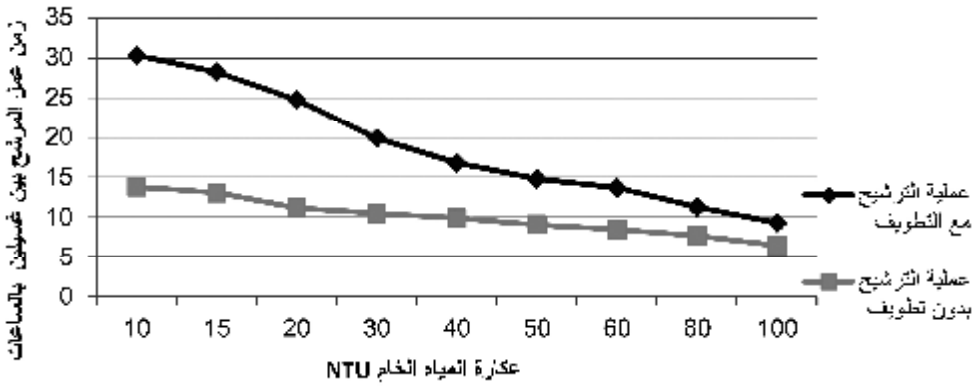
الجدول (4)

زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل وكفاءة إزالة العكارة، من أجل كل من عملية الترشيح الرملي المباشر وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس، من أجل درجة حرارة للمياه الخام (15 ^{o}C) ومن أجل معدل تحميل سطحي (10 m/ hr)

العملية	عكارة المياه الخام NTU	10	15	20	30	40	50	60	80	100
ترشيح فقط	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	13,8	13,1	11,2	10,5	9,9	9,1	8,5	7,7	6,5
	عكارة المياه المعالجة بالترشيحNTU	0,8	0,8	1	1,1	1,2	1,4	1.4	1,5	1,5

تابع جدول(4)

	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح ٪	92	94,66	95	96,33	97	97,2	97,66	98,13	98,5
ترشيح مع تطويف	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	30,3	28,2	24,7	19,9	16,8	14,8	13,7	11,3	9,3
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح مع التطويف NTU	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1	1,3
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح مع التطويف٪	94	96	97	97,33	98	98,4	98,66	98,75	98,7



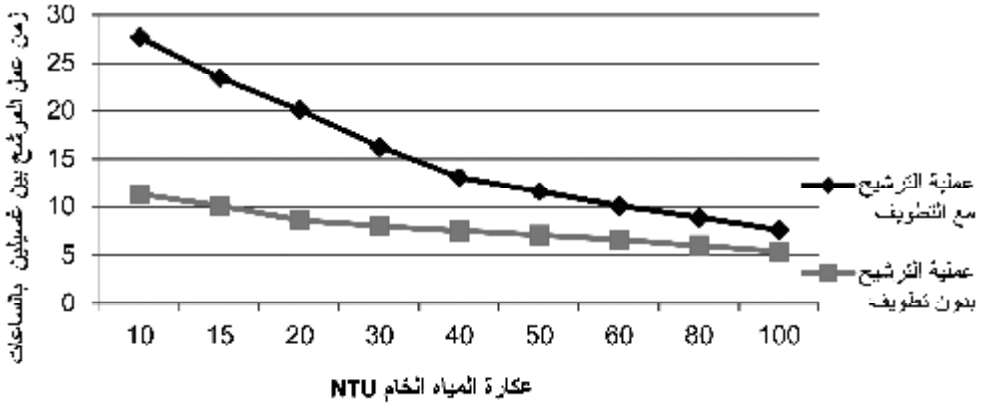
الشكل (7) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل مع عكارة المياه الخام في المرشح الرملي المباشر وفي مرشح التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معدل تحميل سطحي (10 m / hr)

- السلسلة الرابعة من أجل معدل تحميل سطحي (12 m/hr) وعكارة مياه خام متغيرة أظهرت المعالجة القيم التالية لزمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل ولعكارة المياه المعالجة:

الجدول (5)

زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل وكفاءة إزالة العكارة من أجل كل من عملية الترشيح الرملي المباشر وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل درجة حرارة للمياه الخام (15^{o} C) ومن أجل معدل تحميل سطحي (12 m/ hr)

العملية	عكارة المياه الخام NTU	10	15	20	30	40	50	60	80	100
ترشيح فقط	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	11,3	10,1	8,6	8	7,5	7,1	6,6	6	5,4
	عكارة المياه المعالجة بالترشيحNTU	0,9	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح ٪	91	93,3	94	95,66	96,5	97	97,5	98,13	98,5
ترشيح مع تطويف	زمن عمل المرشح بين غسيلينhr	27,7	23,5	20,1	16,3	13,1	11,6	10,1	8,9	7,6
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح مع التطويفNTU	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,4
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح مع التطويف٪	94	96	97	97,33	98	98,2	98,5	98,63	98,6



الشكل (8) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل مع عكارة المياه الخام في المرشح الرملي المباشر وفي مرشح التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معدل تحميل سطحي (12 m / hr)

- السلسلة الخامسة من أجل معدل تحميل سطحي (15 m/hr) وعكارة مياه خام متغيرة أظهرت المعالجة القيم التالية لزمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل ولعكارة المياه المعالجة:

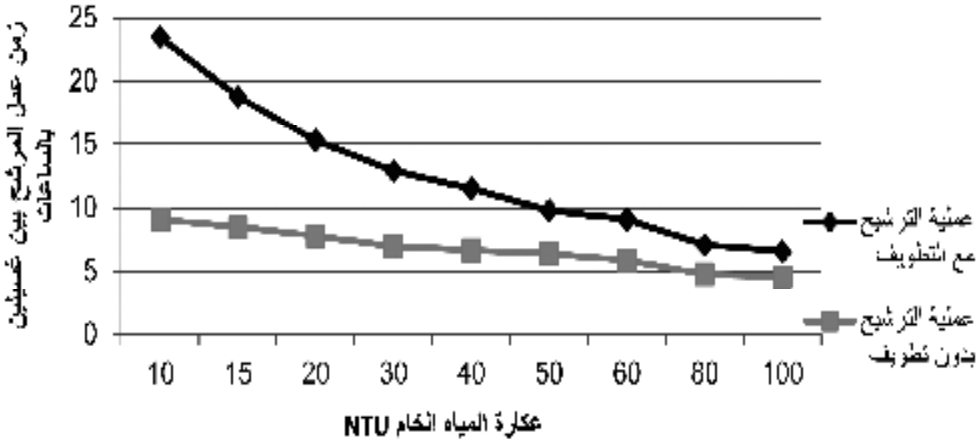
الجدول (6)

زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل وكفاءة إزالة العكارة من أجل كل من عملية الترشيح الرملي المباشر وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس، من أجل درجة حرارة للمياه الخام (15 ^{o}C) ومن أجل معدل تحميل سطحي (15 m/ hr)

العملية	عكارة المياه الخام NTU	10	15	20	30	40	50	60	80	100
ترشيح فقط	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	9,1	8,5	7,8	7	6,7	6,4	5,9	4,8	4,6
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح NTU	1	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

تابع جدول(6)

	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح ٪	90	92,7	94	95,3	96,3	97	97,5	98,1	98,5
ترشيح مع تطويف	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	23,5	18,8	15,3	12,9	11,5	9,8	9,1	7,1	6,6
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح مع التطويف NTU	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1	1,1	1,4
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح مع التطويف ٪	94	96	96,5	97,3	98	98,2	98,3	98,6	98,6



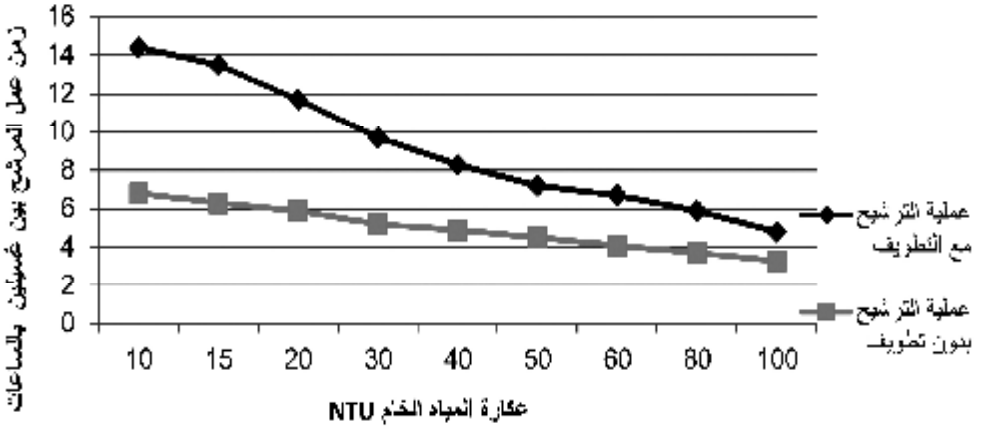
الشكل (9) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل مع عكارة المياه الخام في المرشح الرملي المباشر وفي مرشح التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معدل تحميل سطحي(15 m/hr)

- السلسلة السادسة من أجل معدل تحميل سطحي (20 m/hr) وعكارة مياه خام متغيرة أظهرت المعالجة القيم التالية لزمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل ولعكارة المياه المعالجة:

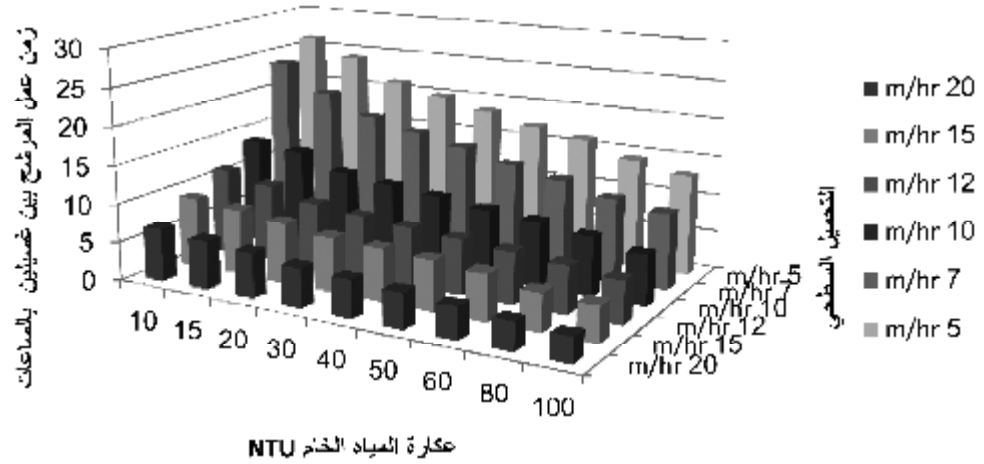
الجدول (7)

زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل وكفاءة إزالة العكارة من أجل كل من عملية الترشيح الرملي المباشر وعملية الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس، من أجل درجة حرارة للمياه الخام (15 ^{o} C) ومن أجل معدل تحميل سطحي (20 m/hr)

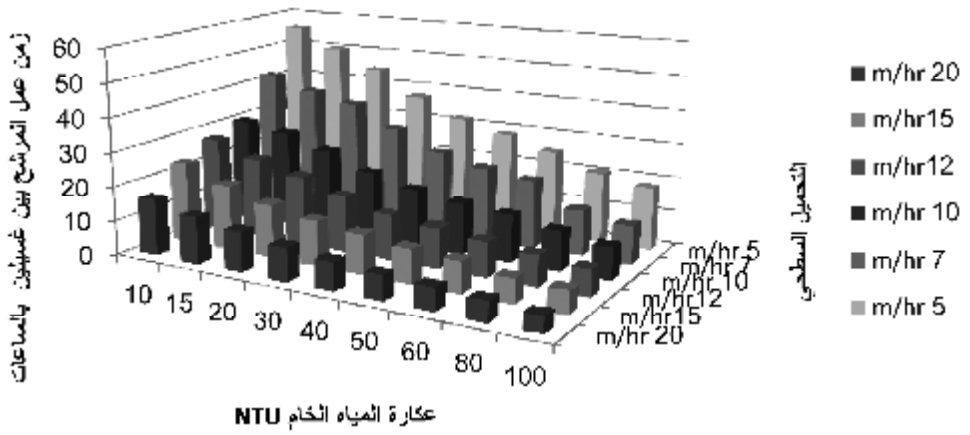
العملية	عكارة المياه الخام NTU	100	15	20	30	40	50	60	80	100
ترشيح فقط	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	6,8	6,3	5,9	5,2	4,9	4,5	4,1	3,7	3,3
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح NTU	1,1	1,2	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح ٪	89,9	92	93	95	96,3	97	97,5	98,1	98,5
ترشيح مع تطويف	زمن عمل المرشح بين غسيلين hr	12.4	13,5	11,7	9,7	8,3	7,2	6,7	5,9	4,8
	عكارة المياه المعالجة بالترشيح مع التطويف NTU	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1	1,1	1,3	1,5
	كفاءة إزالة العكارة بالترشيح مع التطويف ٪	93	95,3	96	97	97,8	98	98,1	98,3	98,5



الشكل (10) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل مع عكارة المياه الخام في المرشح الرملي المباشر وفي مرشح التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس من أجل معدل تحميل سطحي (m/hr20)



الشكل (11) : علاقة زمن عمل المرشح بين عمليتي غسيل بدون التطويف مع تغير عكارة المياه الخام وتغير معدل التحميل السطحي



الشكل (12): علاقة زمن عمل المرشح مع التطويف بين عمليتي غسيل مع تغير عكارة المياه الخام وتغير معدل التحميل السطحي

مناقشة النتائج:

تبين الجداول (2, 3, 4, 5, 6, 7) والأشكال (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12) ما يلي:

بشكل عام: أنه من أجل نفس قيم عكارة المياه الخام (10 – 15 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 – 70 – 80 – 90 – 100) والتحميل السطحي (5 – 7 – 10 – 12 – 15 – 20) المطبقة على كلا نموذجي الترشيح, أعطت التجارب مدة أطول لعمل المرشح عند استخدام نموذج COCODAFF, فعند إضافة عملية التطويف إلى حيز الماء فوق سرير المرشح ازداد زمن عمل المرشح بين غسيلين متتاليين إلى ما يتراوح بين2– 1.5 مرة تقريباً.

أ- إن كفاءة إزالة العكارة في المرشحات مع التطويف هي أكبر بقليل من كفاءة إزالة العكارة في المرشحات بدون تطويف من أجل جميع قيم عكارة المياه الخام والتحميل السطحي المطبقة.

ب- نلاحظ زيادة كفاءة إزالة العكارة مع زيادة عكارة الماء الخام في كلا نموذجي عمل المرشح ومن أجل جميع قيم معدل التحميل السطحي المطبقة.

ت- نلاحظ تناقص كفاءة إزالة العكارة مع زيادة التحميل السطحي في كلا نموذجي عمل المرشح ومن أجل جميع قيم عكارة الماء الخام المطبقة.

ث- من أجل مدة عمل المرشح hr 24 (وهي قيمة تستخدم عادة في الحياة العملية) نلاحظ أنه:

- **في حال الترشيح المباشر:** كانت قيمة العكارة الأعظمية للمياه الخام التي يمكن تطبيقها هي 15 NTU لقيمة معدل تحميل سطحي m/hr 5. وكانت قيمة معدل التحميل السطحي الأعظمي الذي يمكن تطبيقه هو m/hr 7 بشرط أن لا تتجاوز عكارة المياه الخام 10 NTU.
- **في حال الترشيح مع التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس:** كانت قيمة العكارة الأعظمية للمياه الخام التي يمكن تطبيقها هي NTU 60 لقيمة معدل التحميل السطحي m/ hr 5. وكانت قيمة معدل التحميل السطحي الأعظمي الذي يمكن تطبيقه هو m/hr 15 بشرط أن لا تتجاوز عكارة المياه الخام 10 NTU.

نلاحظ مما سبق أن عكارة المياه الخام الأعظمية التي يمكن تطبيقها على مرشحات التطويف بالهواء المنحل هي أربعة أضعاف العكارة الأعظمية الممكن تطبيقها على المرشحات المباشرة.

كما أن معدل التحميل السطحي الأعظمي الذي يمكن تطبيقه على مرشحات التطويف هو تقريباً ضعف معدل التحميل السطحي الأعظمي الممكن تطبيقه على المرشحات المباشرة. لم نستطع أن نحصل على أربعة أضعاف معدل التحميل السطحي كما هو الحال في العكارة بسبب الأفعال الهيدروديناميكية على حبيبات رمل المرشح التي تترافق مع زيادة معدل التحميل السطحي.

ج- إن إمكانية زيادة التحميل السطحي على المرشحات من (7 m/hr) إلى (15 m/hr) مع إدخال عملية التطويف إلى حيز الماء فوق سرير المرشح يؤدي إلى استخدام نصف مساحات الترشيح تقريباً بالمقارنة مع المساحات اللازمة بدون عملية

التطويف، وبهذا يتم تصغير مساحات المرشحات مع إقلال أطوال الأنابيب وتخفيف التجهيزات والطاقة اللازمة لعملية الترشيح والغسيل مع تخفيض عدد المرشحات المطلوبة.

التوصيات:

1. نوصي بإدخال عملية التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس إلى أحواض الترشيح الرملي السريع لما لها من دور واضح في إطالة زمن عمل المرشح وزيادة كفاءة الإزالة.
2. نوصي بدراسة تأثير نسبة التدفق المشبع بالهواء المنحل على عملية التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس.
3. نوصي بدراسة تأثير مواد مروبة مختلفة على عملية التطويف بالهواء المنحل وبالتيار المعاكس.

المراجع:

1. سلوى حجار, 2006"معالجة مياه الشرب" جامعة حلب مديرية الكتب والمطبوعات ص341–349.
2. Baron, J., Ionescu, N.M., and Bacquet, G. (1997) Combining flotation and ozonation – the FLOTTAZONE® process. In Dissolved Air Flotation, CIWEM, London.
3. Chuang,S.H.,Chang,T.C.,You,S.J., and Ouyang,C.F.(2005)Evaluation of wastewater reclamation processes in a high-tech industrial park. Desalination 175(5), 143-152.
4. Kiuru, H.J. (2000) Development of dissolved air flotation technology from the 1st generation to the newest or 3rd one (very thick micro-bubble bed) with high flow-rates (DAF in turbulent flow conditions). Proceedings 4th International Conference on Flotation, Helsinki, 2000.
5. Koivunen Jari.(2007) Effects of Conventional Treatment, Tertiary Treatment and Disinfection Processes on Hygienic and Physico-Chemical Quality of Municipal Wastewaters.pp 46-47-55-58. Doctoral dissertation Department of Environmental Science University of Kuopio Finland. Kuopio University publications C. Natural and Environmental Sciences 215.
6. Officer, J.,Ostrowski, J.A.,Woollard P.J. (2001)The design and operation of conventional and novel flotation systems on a number of impounded water types. Wat. Sci. Tech, Vol.1,No. 1,pp. 63-69, 2001.Copyright IWA 2001.
7. Stephenson, D. (1997) Triple deck DAF – a compact design. (1997) In Dissolved Air Flotation, CIWEM, London.
8. Takko, P. (2000) Experiences since the 1970's as system supplier and engineering consultant for flotation and integrated treatment systems. Proceedings 4th International Conference on Flotation, Helsinki, 2000.
9. Tchobanoglous,G., Burton,FL. 2004 "Waste water Engineering treatment, Disposal and Reuse" 4 th. Ed.McGraw – Hill,Inc.
10. Thesis.(2006- 2007). Using glass micro beads to aid algae removal in dissolved air flotation.pp16. Master of Science dissertation,Cranfield University Centre for Water Science (2007), P Buckingham.
11. Van Benschoten, J., Martin, C., Schaefer, J., Xu, L., and Franceschini, S. (2002) Evaluation of dissolved air flotation and membrane filtration for drinking water treatment. Proceedings Joint 2002 CSCE/ASCE International Conference of Environmental Engineering, 3-17.

Study of Counter Current Dissolved Air Flotation/Filtration COCODAFF Process in Treating Drinking Water

Salwa Hajjar and Nadia Airoud

Department of Environmental Engineering,
Faculty of Civil Engineering, University of Aleppo

Abstract:

In this research it was experimented water treatment process called Counter Current Dissolved Air Flotation Filtration COCODAFF. This new method relies on adding dissolved air flotation process to the water above the filter bed. The advantage of this process is flexibility; thus, it can use direct filtration mode, and the COCODAFF mode.

Research has shown an increase in the maximum raw water turbidity value (four times) and the maximum surface loading value (tow times) that can be applied, in COCODAFF units. The results indicate that it could reduce the number of filtration units by about 50% when using the new COCODAFF units.

Key Words: COCODAFF; flotation; drinking water; dissolved air.