تهويه وتبريد المياه

د. ناصر بن عبدالله الرشيد
أ. عبدالله المحينيف

عرفت فوائد تهوية المياه (Water Aeration) منذ عهد الرومان ، فقد كانوا يعملون الجدران الجانبيه لقنوات نقل المياه خشنة ، لكي تعمل على إثارتها وتكوين فقاعات هوائية داخلها ، فيؤدي ذلك إلى زيادة أثر الهواء في تنقيتها ، وبالتالي تحسين طعمها ورائحتها ، وتقليل التكاليف الإقتصادية لمعالجتها .

تهدف تهوية المياه في السابق إلى إزالة كبريتيد الهيدروجين الذي يعطي المياه طعماً ورائحة غير مقبولة ، فضلاً عن إزالة ثاني أكسيد الكربون مما يقلل كمية الصودا المستخدمة لإزالة عسر الماء ، أما في الوقت الحاضر فإن تهوية المياه تستخدم لإزالة الملوثات العضوية الطيارة (Volatile Organic Contaminants -VOC) مثل البنزين ورابع كلوريد الكربون ، وثنائي كلوريد البنزين والتي يعتقد أنها تسبب أضراراً صحية .

من جانب آخر تهدف عملية التبريد (Water Cooling) إلى خفض درجة حرارة مياه الآبار العميقة التي تصل درجة حرارتها إلى حوالي ٧٠ مْ لكي تصل إلى حوالي ٣٥ مْ .

حالياً تستخدم التهوية في معظم محطات معالجة المياه لإزالة بعض المواد غير المرغوبة فيها ، ويطلق على هذه العملية اسم عملية الفصل (Stripping) ، كما تستخدم التهوية لإضافة بعض المواد الموجودة في الهواء إلى الماء فيما يسمى بعملية الإمتصاص (Absorption) مثل عملية إضافة الأكسجين لأكسدة الحديد والمنجنيز ، أو إضافة الأوزون للقضاء على الكائنات الدقيقة المسببة للامراض .

الأسس العلمية للتهوية والتبريد

تُعَرَّف عملية التهوية ـ بشكل عام ـ بأنها عملية تلامس الهواء مع الماء لتسهيل عملية إنتقال الغاز من خلال السطح الفاصل بين الوسطين (السائل والغاز) .

يجب عند تطوير الأنظمة المتعلقة بعملية نقل الغاز إلى الماء الاهتمام بمعدل وكمية الإنتقال الذي يمكن إنجازه ، ولكي تتم عملية الإنتقال فإنه يجب أن يكون هناك فرق في محتوى التركيز بين السائل والهواء ، لأن هذا الفرق يعد مؤشراً على عدم الإتزان ، وبالتالي يؤدي إلى إنتقال الغاز إلى الماء .

● الإتزان

تعرف عملية الإتزان (Equilibrium) بأنها الحالة التي يتوقف عندها الانتقال بين وسطين متجاورين من خلال السطح الفاصل بينهما . وتعتمد كمية ومعدل إنتقال الغاز من وإلى الماء على قابلية ذوبانه في الماء والعوامل التي تؤثر عليها ، وذلك كما يلي:

ـ عند الإتزان لا يوجد أي إنتقال بين الوسطين.

ـ عندما يكون النظام في حالة عدم الإتزان فإن عملية الإنتقال تستمر حتى تصل إلى حالة الإتزان ، وقد يكون الوقت اللازم لوصوله إلى هذه الحالة قصيراً أو طويلاً جداً.

ـ يوجد لكل غاز عدد من حالات الإتزان ـ يمكن تمثيلها بمنحنى التوزيع ـ تعتمد على الضغط الكلي ودرجة الحرارة.

ـ تعمل الزيادة في درجة الحرارة على خفض درجة الذوبان ، بينما تعمل زيادة الضغط الكلي على ارتفاع درجة الذوبان.

وهناك آليتان أساسيتان تؤثران في قابلية الغاز على الذوبان ، هما :-

ـ التفاعل الكيميائي لبعض الغازات مع الماء ـ مثل كبريتيد الهيدروجين ، والنشادر (الأمونيا) ، والكلور ، وثاني أكسيد الكربون ـ في عملية يطلق عليها عملية التأين ، وفي هذه الحالة تعتمد قدرة الغاز في الذوبان على درجة تأينه في الوسط .

وبشكل عام ينجم عن تفاعل بعض الغازات مع الماء تحللها (الغازات) كلية إلى أيونات ، وفي هذه الحالة يمكن إعتبار ذوبان الغازات بأنه ذوبان كلي .

ـ عدم تفاعل بعض الغازات مع الماء مثل : الأكسجين ، والميثان ، والكلوروفورم ، وفي هذه الحالة يتأثر الذوبان بما يسمى بمعامل الطاقة غير المستفادة في النظام الديناميكي الحراري المعروف بالانتروبيا (Entropy) ، لأن الانتشار والذوبان يتم عند زيادة الانتروبيا للنظام مقارنة بمكوناته (الأكسجين والماء مثلاً) كل على إنفراد .

يذوب الغاز في الماء عندما تكون قوى التجاذب بين الماء وجزيئات الغاز أقوى من قوة التجاذب بين جزيئات الماء نفسه ، فمثلاً بالرغم من تشابه الإيثلين (C_2H_4) مع الإيثان (C_2H_6) تقريباً من حيث التركيب ، إلا أن الإيثلين يتمتع بدرجة ذوبان في الماء تبلغ ضعف درجة ذوبان الأيثان ، وذلك بسبب الإختلاف في التركيب البنائي لكل منهما وقدرتهما على كسر الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء ، فجزيء الإيثان يحتوي على روابط أحادية بينما يحتوي جزيء الإيثلين على روابط ثنائية ، ونظراً لأن الروابط الثنائية تحتوي على إليكترونات زائدة فإنها تميل إلى جذب النهايات الموجبة لجزيء الماء ، مما ينتج عنه قوى تجاذب بين جزيئات الماء والإيثلين تؤدي ـ بدرجة عالية ـ إلى ذوبان الإيثلين في الماء .

ومن الأمثلة الأخرى يعد الأكسجين

أكثر قابلية للذوبان في الماء من النيتروجين ، رغم أن كليهما يحتوي على قطبية خفيفة في الماء ، ويعزى ذلك لاحتواء ذرة الأكسجين على اليكترونات مفردة (Unpaired electrons) تتميز بأنها أكثر قابلية للإنجذاب نحو جزيئات الماء .

● إنتقال الكتلة

تحدد درجة إنحراف نظام الماء والغاز عن نقطة الاتزان بالقوة المحركة لعملية الإنتشار مع الأخذ في الإعتبار الوضع الذي ينتشر فيه الغاز من الهواء إلى الماء . ولكي يحدث ذلك يجب أن ينشأ فرق في تركيز المواد وهو ما يحدد إتجاه الإنتقال .

يعبر عن معدل إنتقال الكتلة (Mass Transfer) بمصطلح التدفق (Flux) ، وهو معدل التدفق خلال وحدة زمنية معينة من خلال وحدة مساحة معينة تحت تأثير القوة المحركة . وتُعَرَّف القوة المحركة بأنها الفرق بين التركيز الكلي وتركيز السطح الفاصل بين الوسطين (السائل والغاز) . ويعد الإنتقال منتظماً عندما تتساوى كمية الغاز التي تصل إلى السطح الفاصل بين الهواء والماء مع كمية الغاز التي تنطلق منه وتدخل إلى الماء .

طـرق التهـوية

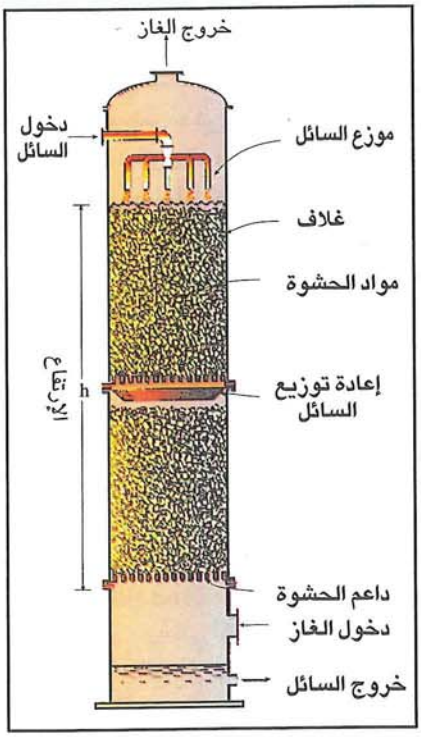
تتم تهوية المياه بعدة طرق منها :

● التهويه بالأبراج المحشوة

يعد إستخدام الابراج المحشوة (Packed Towers) لأنظمة تلامس السائل مع الغاز حديث نسبياً في صناعة معالجة المياه . ففي الماضي كانت عمليات الإزالة تتعامل مع الملوثات شديدة التطاير مثل كبريتيد الهيدروجين ، وكانت تلك الأجهزة البسيطة نسبياً ملائمة لتوفير التلامس الضروري بين الماء والغاز .

أما مجموعة المواد الكيميائية المعروفة بالملوثات العضوية المتطايرة (VOC) ومثيلاتها من المركبات مثل ثلاثي هالوجينات الميثان (Trihalomethane -THM) فإنها تكون أقل تطايراً ، لذا فهي تتطلب إستخدام أجهزة تلامس أكثر تعقيداً ليتم إزالتها بصورة جيدة .

تتكون الأبراج المحشوه النموذجية ، شكل (١) ، من غلاف أسطواني يحتوي على قاعدة داعمة لحمل مادة الحشو ،وهي عبارة عن قطع بلاستيكية مفردة ملقاة عشوائياً في العمود . وتوجد أحياناً حشوة ثابته (Fixed Packed) على شكل شرائح سابقة الصنع توضع داخل البرج بعناية فائقة . وتدار الأبراج بطريقة إعتيادية بإستخدام نموذج التيار المعاكس (Countercurrent) بحيث يهبط الماء إلى أسفل بينما يصعد تيار الهواء إلى أعلى ، كذلك يمكن أن تصمم الأبراج بحيث تلائم التيارات المترافقة(Cocurrents) أو التيارات المتقاطعة (Cross-Currents) .



شكل (١) جهاز الأبراج المحشوة لتهوية المياه

● التهوية بالإنتشار

التهوية بالإنتشار (Diffused Aeration) هي مصطلح يستخدم – بشكل عام – في المجال البيئي ، وهي تشير إلى الطريقة التي يمكن بواسطتها جعل الفقاعات الهوائية تتلامس مع الماء ، ولذا يمرر الهواء إلى قاع الجهاز المحتوي على الماء ، فيؤدي ذلك إلى تكوين فقاعات هوائية . تهدف هذه العملية إلى توزيع الهواء بطريقة منتظمة ، وللحصول على حجم مناسب من الفقاعات الهوائية .

لم تجد هذه الطريقة الإنتشار الواسع في مجال معالجة المياه إلا أنها إستخدمت لتهوية خزانات إمداد المياه وفي أحيان قليلة إستخدمت لإزالة الملوثات العضوية الطيارة (VOCs) ، وذلك راجع إلى تكلفتها العالية في إستهلاك الطاقة مقارنة بإستخدام أبراج الإزالة بالتهوية خصوصاً عند إزالة الملوثات العضوية الطيارة ، ولهذا السبب فإنها تستخدم - بشكل عام - في حالة وجود خزانات جاهزة ، مما يوفر كثيراً من تكاليف إنشاء الأبراج المخصصة لهذا الغرض . أما إذا كانت الحاجة للتهوية موسمية فقط ، مثل إزالة (THM) في فصل الصيف ، فإن الجدوى الإقتصادية تأتي إلى جانب إستخدام التهوية بالإنتشار خصوصاً في الآبار الجاهزة .

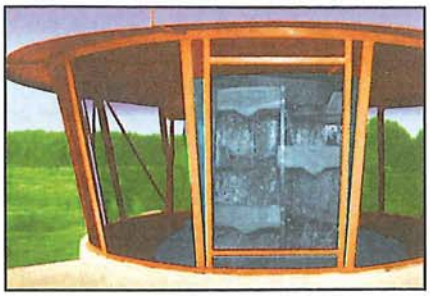
● التهوية بالرذاذ ومهويات الأطباق

إستخدمت خراطيم الرذاذ (Spray Nozzels) ومهويات الأطباق (Tray Aerators) كأجهزة تلامس مع الهواء مند عدة سنوات في مجال معالجة المياه ، وقد تمثل إستخدامها في إضافة الأكسجين اللازم لأكسدة مركبات الحديد والمنجنيز الذائبة في الماء ، وإزالة ثاني أكسيد الكربون ، وكبريتيد الهيدروجين من الماء ، كذلك إستخدمت في إزالة المركبات العضوية المسببة للطعم والرائحة غير المقبولة .

يوجد نوعان لأنظمة خراطيم الرذاذ المضغوط المستخدمة في معالجة المياه هما : خراطيم مخروطية كاملة ، وخراطيم مخروطية مجوفة . يؤدي إستخدام الخراطيم المخروطية الكاملة إلى تغطية منتظمة لمساحة محدودة في شكل دائري أو مربع أو مستطيل ، أما الخراطيم المخروطية المجوفة فتعطي إطاراً من الرذاذ يتركز حول المحيط ويتجنب - تقريباً - الرش في المركز ، وبشكل عام فإن الخراطيم المخروطية المجوفة تعطي نسبياً قطرات صغيرة جداً ، ولكن ذلك يتطلب ضغط أكبر .

إستخدمت مهويات الأطباق ، شكل (٢) ، لتهوية مياه المصادر (Source Waters) ، وفي هذه الطريقة يحدث إنتقال شامل من خلال تهوية السطح داخل الطبق وفي شرائح العزل الساقطة ، يجب أن تصمم هذه الأجهزة بناءً على تجارب سابقة مشابهة وتوصيات المصنعين .

يقتصر إستخدام خراطيم الرذاذ وأطباق التهوية أساساً على إزالة ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين



شكل (٢) جهاز تهوية الأطباق المستخدم في تهوية المياه.

وإضافة الأكسجين، وتتراوح كفاءة هذه الانظمة من ٥٠ إلى ٨٠ ٪.

معالجة الغازات المتصاعدة

تعد طريقة الإزالة بالتهوية (Stripping) من أفضل الطرق لإزالة الملوثات العضوية الطيارة (VOC) من الماء، إلا أن التساؤلات بدأت تثار حول أثر الغازات الناتجة عن تلك العمليات على البيئة، خصوصاً وأنه يصعب حساب تراكيزها في الهواء وبالذات عند إستخدام نظم خراطيم الرذاذ ومهويات الأطباق، ولكن يمكن حساب معدل تحررها بالنسبة للوقت فقط، إما بالنسبة لأبراج الأزالة بالتهوية فإن معدل سريان الهواء يمكن التحكم فيه، كما يمكن حساب تراكيز الملوثات الطيارة في الغاز المتصاعد.

تبريد المياه

تعد مرحلة تبريد المياه أول المراحل الهامة والأساسية في معالجة المياه خاصة مياه الآبار العميقة التي تتراوح درجة حرارتها ما بين (٥٠-٧٠)مْ، لذلك تمر على أبراج التبريد لتخفيض درجة حرارتها لتصبح ما بين (٣٠-٣٥)مْ، وبعد ذلك تتم معالجتها بالمواد الكيميائية المناسبة، كما أن عملية التبريد لها فوائد أخرى تتمثل فيما يلي:

- إزالة الغازات المذابة في الماء مثل ثاني أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين وغاز الميثان.
- أكسدة وترسيب بعض الملوثات مثل الحديد والمنجنيز.
- تعديل الرقم الهيدروجيني للماء، جدول (١).
- ترسيب بعض العوالق.

● مكونات وحدات التبريد

تتكون وحدات التبريد من نوع النثر بالترشيش (Splash pack-Type)، وهي

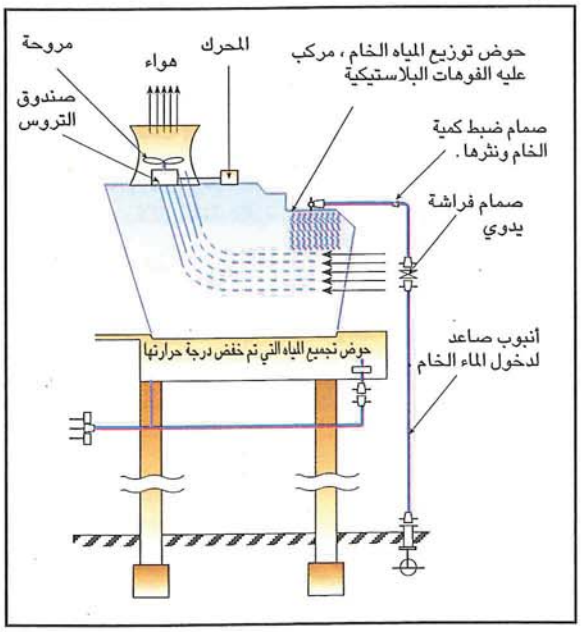
الخاصية	قبل التبريد	بعد التبريد
الرقم الهيدروجيني	٦,٢ - ٧	٧,٦ - ٨,٢
ثاني أكسيد الكربون*	٢٠ - ٣٠*	١,٥ - ٣
الحديد	١,٧ - ٢,٠*	٠,٧ - ١,٠

* جزء من المليون

جدول (١) أثر التبريد على بعض صفات مياه الشرب.

منشأة من الأخشاب المعالجة كيميائياً ومغطاة بألواح الأسبستوس الأسمنتي المتعرج، وتكون الوحدات مفصوله عن بعضها البعض بواسطة جدران من الألواح المعالجة كيميائياً، وتتكون وحدة التبريد كما في الشكل (٣) مما يلي:

- أنابيب صاعدة بقطر ٢٠سم مصنوعة من الحديد الصلب غير القابل للصدأ. لدخول الماء الخام إلى المبردات.
- حوض توزيع المياه مركب عليه فوهات بلاستيكية دقيقة لنثر وترذيذ المياه.
- شرائح خشبية وبلاستيكية أفقية يتم عليها ترسيب أملاح الحديد والمنجنيز.
- حوض تجميع المياه التي تم خفض درجة حرارتها.
- مروحة سحب الهواء لتمريره على الماء المنثور، وهي تعمل بمحرك كهربائي عن طريق صندوق تروس للتحكم في سرعة المروحة.



شكل (٣) وحدة تبريد من نوع النثر بالترشيش

- صمام فراشة يدوي.
- صمام لضبط كمية المياه ونثرها.

*** طريقة عمل وحدة التبريد**

تندفع مياه الآبار العميقة إلى المبردات من خلال الأنابيب الصاعدة، لتصل إلى حوض التوزيع بأعلى المبرد، ويتم توزيع المياه بالتساوي عبر الفوهات البلاستيكية المركبة على سقف حوض التوزيع، حيث يتم نثر المياه وترذيذها إلى قطرات صغيرة، وذلك لجعل مساحة تعرض المياه مع الهواء أكبر ما يمكن للحصول على أعلى كفاءة لخفض درجة الحرارة وإزالة بعض الغازات المذابة، وكذلك إذابة الأكسجين لأكسدة أملاح الحديد والمنجنيز وترسيبها في أحواض تجميع المياه التي تم خفض درجة حرارتها بأسفل المبردات، يتم تجميع المياه من جميع المبردات وإرسالها إلى المرسبات «المروقات» عن طريق قناة خرسانية تسمى (Parchall Flume). تتوقف سعة وحدات التبريد على كمية المياه التي يراد تبريدها، وعلى حالة الفوهات البلاستيكية. ويفقد خلال هذه العملية حوالي (٤-٥ ٪) من كمية المياه الداخلة للمبرد بسبب التبخير والرذاذ المحمول مع هواء التبريد.

قبل تشغيل المبرد يجب أخذ الإحتياطات التالية:

- تفقد حوض التوزيع والفوهات البلاستيكية والتأكد من نظافتها.
- تفقد الشرائح الخشبية والبلاستيكية وحوض تجميع المياه التي يتم خفض درجة حرارتها والتأكد من نظافتها.
- تفقد مستوى الزيت بصندوق التروس والتأكد من أنه عند المستوى الصحيح.
- تدوير المروحة باليد للتأكد من أنها سهلة الحركة وأن جميع الأجزاء مركبة.
- التأكد من أن صمام التصريف مغلق.
- تشغيل المروحة لفترة قصيرة للتأكد من دوران المروحة عكس عقارب الساعة.