إزالة عسر المياه باستخدام راتنجات التبادل الأيوني موجبة الشحنة

عبدالرحمن ابراهيم العبدالعالي
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية

المستخلص : من الطرق الشائعة الاستعمال في إزالة عسر المياه استخدام المواد الكيماوية وكذلك راتنجات التبادل الأيوني. ويلاحظ إستخدام المواد الكيماوية على نطاق واسع لتخفيض العسر في محطات تنقية المياه الجوفية بالمملكة. وتهدف هذه الدراسة الى تقييم أداء الراتنجات في إزالة العسر من المياه الجوفية في المنطقة الوسطى من المملكة . وقد تم تصميم وتركيب محطة تجريبية وتم تشغيلها في إحدى المحطات العاملة في إحدى مدن المنطقة. وقد تم اجراء ثلاثين تجربة على نوعين من الراتنجات المستخدمة في ازالة عسر المياه. وقد أوضحت النتائج أنه بالامكان إزالة العسر بنسب تتراوح ما بين ٧ر٩٦ - ١ر٩٩٪ ولمدة تشغيلية تصل في المتوسط الى ٣٢ ساعة. وقد كانت السعة التشغيلية للراتنجين عالية ولم يلاحظ أي تدني في كفاءتيهما مع الدورات التشغيلية المتتالية.

١- المقدمة

تحتوي المياه الجوفية على أملاح ذائبة تتفاوت في نوعيتها وتركيزها من مكان لآخر تبعا لجيولوجية الطبقة الحاملة للمياه. ويعتبر عسر المياه ناتج عن وجود أملاح ذائبة لمركبات ثنائية التكافؤ ، غالبا لأيونات كل من الكالسيوم والماغنيسيوم في صورة البيكربونات($Ca(HCO_3)_2$ و $Mg(HCO_3)_2$) وعند تواجد هذه الاملاح فإنها تسبب ترسبات في سخانات وأنابيب المياه وكذلك إمتناع تكون الرغوة مع الصابون. ويعتبر الماء عسراً جداً إذا زاد تركيز العسر فيه عن ٣٠٠ ملجم/لتر كربونات كالسيوم مكافئة [١]. ولكي يكون الماء صالحاً للاستخدام فإنه لا بد من خفض تركيز العسر الى الحد المقبول الذي يتروح ما بين ١٠٠ - ٥٠٠ ملجم/لتر حسب المواصفات المحلية والعالمية [٢، ٣، ٤]. وهذا يتطلب معالجة المياه الخام في محطات تنقية والتي تشمل في الغالب على عدة عمليات منها عملية إزالة العسر (التيسير) .

إن من أهم عمليات التيسير المستخدمة على نطاق واسع هي إستخدام مواد كيماوية لترسيب الأملاح المسببة للعسر في مرسبات تصمم لهذا الغرض أو بإستخدام راتنجات التبادل الأيوني التي تعمل على إزالة تلك الأملاح عن طريق إحلالها محل الصوديوم الموجود في الراتنجات الموجبة الشحنة [٥] . وفي الغالب فإنه يتم استخدام هيدروكسيد الكالسيوم (الجير) وكربونات الصوديوم (رماد الصودا) في الطريقة الأولى والتي تعمل على ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم على صورة كربونات وهيدروكسيدات .

وتعتمد عملية التيسير باستخدام المواد الكيماوية على قيمة الرقم الهيدروجيني للوسط المائي. وتمتاز هذه العملية بأنها تعطي قيماً عالية لازالة العسر إلى جانب إزالة بعض الملوثات الأخرى ولكن من عيوبها أنها معقدة نسبيا وهناك صعوبة في التحكم فيها إضافة إلى أنها تنتج مخلفات شبه سائلة تحتاج إلى التخلص منها بصورة سليمة. ويفضل إستخدام هذا النوع من عمليات التيسير في المحطات ذات السعة العالية التي يزيد إنتاجها من المياه عن ٢٠٠٠ متر٣/يوم. وبالمقارنة فإن عملية التيسير بإستخدام راتنجات التبادل الأيوني تعتبر من النظم السهلة التحكم وتعمل عند الحاجة وغير حساسة للتغيرات في معدلات تدفق المياه . كما أنه بالأمكان الحصول على أنواع مختلفة من المبادلات الأيونية تناسب الملوثات المطلوب إزالتها إضافة إلى أنه يتم إعادة إستخدامها لعدة

مرات بعد تنشيطها مع المحافظة على الإنتقائية بالنسبة للوث معين. ومن عيوب إستخدام المبادلات الأيونية في إزالة العسر زيادة تركيز الصوديوم في المياه المنتجة وكذلك إرتفاع لتراكيز الملوثات في مياه مخلفات إعادة التنشيط. وقد حددت منظمة الصحة العالمية ٢٠٠ ملجم/لتر كحد أقصى لتركيز الصوديوم في مياه الشرب [٤].

وتصنع أغلب الراتنجات في صورتين أيونيتين فعند استخدام الراتنج الموجب الشحنة يتم تبادل الأيونات الموجبة الشحنة في الماء مثل الكالسيوم والماغنيسيوم بأيون الصوديوم الموجود على الراتنج . أما بالنسبة للراتنجات سالبة الشحنة فتعمل على تبادل الأيونات السالبة مثل الفلورايد والنترات بالأيون الموجود على الراتنج مثل الكلوريد. وتقسم المبادلات موجبة الشحنة إلى نوعين قوي وضعيف الحمضية حيث تعمل الأولى في نطاق رقم هيدروجيني واسع ولكن سعتها محدودة مما يتطلب إعادة تنشيطها على فترات قصيرة بينما تعمل الثانية في نطاق رقم هيدروجيني ضيق وسعتها أعلى من الأولى [٦] .

وتتكون الدورة التشغيلية للمبادلات الأيونية من المراحل التالية : الأستنفاد ، الغسيل العكسي ، إعادة التنشيط، الغسيل البطيء ، الغسيل السريع والأعادة للخدمة. ويتم إعادة تنشيط المبادلات الأيونية موجبة الشحنة باستخدام أملاح مثل كلوريد الصوديوم بتركيز ١٠-١٥٪ وبوزن ٨٠ - ٣٢٠ كجم ملح لكل متر مكعب من الراتنج [٧]. وتقاس كفاءة الراتنجات بالسعة التشغيلية (سعة التبادل) للمادة والتي هي عبارة عن مقياس لمقدرة الراتنج على ازالة الملوثات تحت ظروف التشغيل. وتزداد هذه السعة إلى حد معين مع إرتفاع لكمية المادة المستخدمة في التنشيط .

ويتم استخدام راتنجات التبادل الأيوني لازالة العسر من المياه الجوفية في بعض المدن الصغيرة في مختلف مناطق العالم. ففي الولايات المتحدة الامريكية يوجد محطات في مدن مثل الدون ، قرينل وهولستين بولاية أيوا وكذلك هيرشر ولينوود بولاية الينوي تستخدم مبادلات ايونية لتخفيض تركيز العسر في المياه الخام والذي يتراوح ما بين ٣٧٥ الى ٩٢٠ ملجم/لتر . وتتراوح السعة الانتاجية للمحطات في تلك المدن ما بين ٣٦٠ الى ٣٧٩٠م٣ من المياه في اليوم، امكن من خلالها ازالة العسر بنسب تراوحت ما بين ٦٥ إلى ٩٨٪ [٨] . وتعتبر محطة ويماوث بجنوب كاليفورنيا من اكبر محطات التنقية التي كانت تستخدم الراتنجات في إزالة العسر لمدة ثلاثين عاما عندما اوقفت عملية التيسير فيها نظراً لخلط المياه بمصادر أخرى. وكانت سعة المحطة الانتاجية ١ر٥ مليون م٣/يوم[٥].

وفي المنطقة الوسطى من المملكة يعتمد إعتماداً كبيراً على المياه الجوفية في سد الأحتياجات المختلفة للمياه . وتحتوي المياه الجوفية في المنطقة على تراكيز عالية للعسر تصل في بعض الآبار إلى أكثر من ٩٠٠ ملجم/لتر [٩، ١٠]. وقد تم إنشاء محطات تنقية للمياه في أغلب مدن المنطقة بهدف معالجة المياه الجوفية وتخفيض تراكيز الأملاح والعسر. و يتم إستخدام أسلوب المعالجة الكيميائية لتخفيض تركيز العسر في جميع المحطات . ففي مدينة الرياض يوجد ست محطات لتنقية المياه الجوفية كان متوسط انتاجها اليومي عام ١٩٩٣م ٣٢٥٢٨٠ م٣ يكفي لسد حوالي ٣٥٪ من احتياجات مدينة الرياض من مياه الشرب [١١] . وقد إستخدم في عملية التيسير في ذلك العام ١٠٣٢٣ طن من مادة الجير و ١٨٤٩٦ طن من مادة رماد الصودا. أما عن إستخدام عملية التبادل الأيوني في المملكة فإن المعلومات المتوفرة محدودة جدا. حيث يتم إستخدام المبادلات الأيونية في محطة تابعة لأرامكو سعتها الانتاجية ٥٣٠٠ م٣/يوم ومحطة أخرى تابعة لبترومين في الرياض لمعالجة مياه الصرف لاستخدامها في الأغراض الصناعية سعتها الانتاجية ٢٠٠٠٠ م٣/يوم [١٠] . ويتم إستخدام المياه المنتجة من المبادلات الأيونية لتغذية الغلايات في تلك المحطتين.

وتهدف هذه الورقة إلى تقديم نتائج العمل البحثي الذي أجري لتقييم أداء الراتنجات في إزالة العسر من المياه الجوفية بالمنطقة الوسطى من المملكة.

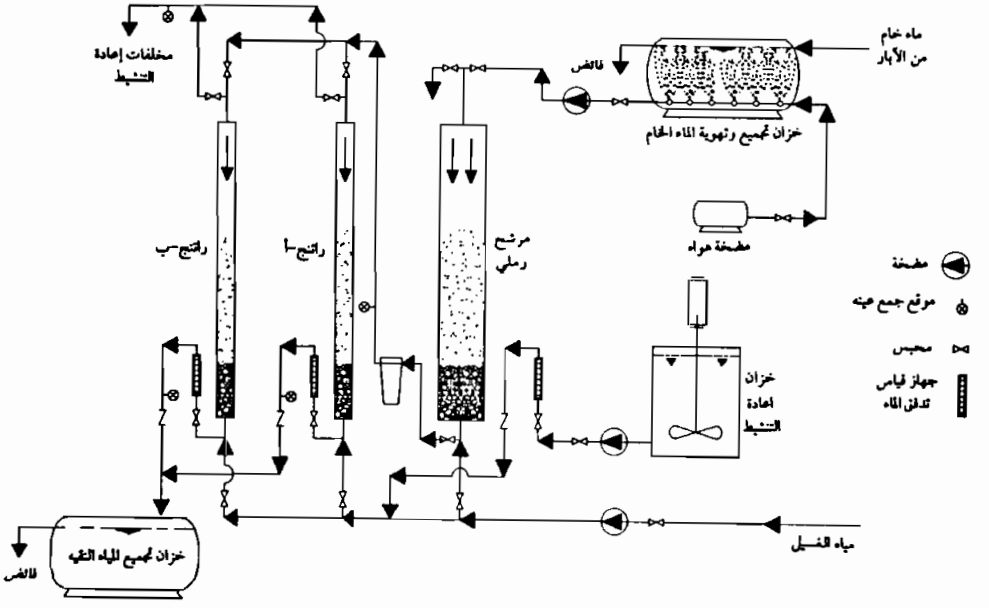
٢- تصميم التجارب وطرق الأختبار:

من أجل تقييم راتنجات التبادل الأيوني في إزالة عسر المياه الجوفية على النطاق الحقلي التجريبي فقد تم تصميم وتركيب محطة تجريبية متكاملة وتم تشغيلها في محطة تنقية مياه الشرب بمدينة عنيزة. وقد تم تغذيتها بالمياه الجوفية الخام التي تغذي المحطة الرئيسية ، ويوضح جدول (١) نتائج تحليل الماء الخام المستخدم في التجارب .

جدول ١- خصائص الماء الخام في محطة تنقية مياه الشرب بمدينة عنيزة

العنصر	التركيز	العنصر	التركيز
درجة الحرارة ، م°	٣١	صوديوم، ملجم/لتر	١٢١
الرقم الهيدروجيني	٦٫٩٢	كالسيوم، ملجم/لتر	٨٩
مجموع الاملاح الذائبة ملجم/لتر	٦٧٠	ماغنيسيوم ، ملجم/لتر	٢٠
العسر الكلي، ملجم/لتر	٣٠٤	كلوريدات ، ملجم/لتر	١٦٥
القلوية ملجم/لتر	١٤٠	كبريتات، ملجم/لتر	١٥٣
حديد، ملجم/لتر	٠٫١٦	نترات ، ملجم/لتر	٢٩

تتكون المحطة التجريبية من أربعة أجزاء رئيسية (شكل ١) ففي الجزء الأول يتم تهوية الماء الخام في خزان سعته ١م٣ بهدف أكسدة الحديد الذائب. وفي الجزء الثاني والذي هو عبارة عن عملية ترشيح يتم استخدام مرشح بقطر ٣٠ سم وارتفاع مترين يحتوي على رمال السيليكا بعمق متر واحد وأحجام ٠٫٤ - ٠٫٨ مم محملة فوق طبقة من البحص بعمق ٣٠سم. والهدف الرئيسي من عملية الترشيح هو إزالة الشوائب والحديد المترسب. ويمثل الجزء الثالث عملية التبادل الأيوني وهي عبارة عن أعمدة زجاجية قطر الواحد منها ١٠ سم وبإرتفاع ١٨٠سم . أما عمق الراتنج فهو ٧٦ سم محمل فوق طبقة من البحص عمقها ٢٥ سم. أما الجزء الرابع فهو نظام إعادة تنشيط الراتنجات وهو عبارة عن خزان بسعة ٢٠ لتر لاذابة وخلط كلورايد الصوديوم ومضخة وجهاز قياس التدفق. ويتم التحكم بكمية المياه التي تمر من خلال أعمدة الراتنجات بواسطة أجهزة قياس تدفق دقيقة.



شكل ١ : مخطط المحطة التجريبية

لقد تم إستخدام راتنجين لهما استخدامات واسعة في مجال المياه من نوع (Amberlite IR-120 plus) و (Amberlite 200) من الشركة الامريكية (Rohm and Hass) ، ويختلف الاثنان من حيث النفاذية وكذلك سعة التبادل للعسر ولكن كلاهما من النوع الموجب قوي الحمضية في شكل الصوديوم. وحسب المعلومات الفنية الخاصة بالراتنجين فإن سعة Amberlite IR-120 plus تتراوح ما بين ٤٠ الى ٧٩ كجم كربونات الكالسيوم لكل متر مكعب من الراتنج عند استخدام كمية من ملح كلورايد الصوديوم في عملية إعادة التنشيط تتراوح ما بين ٨٠ إلى ٤٨٠ كجم لكل متر مكعب من الراتنج. وبالنسبة للراتنج Amberlite 200 فإن السعة تتراوح ما بين ٣٥ – ٦٦ كجم كربونات كالسيوم لكل متر مكعب من الراتنج عند إستخدام ٦٤ – ٣٢٠ كجم من ملح كلورايد الصوديوم لكل متر مكعب من الراتنج في عملية إعادة التنشيط.

وقد تم اجراء ثلاثين تجربة (دوره) مدة كل واحدة ٧٢ ساعة تم جمع عينات كل ٨ ساعات من المياه الداخلة للمبادلات الأيونية (بعد عملية الترشيح) وكل ٤ ساعات من المياه الخارجة منها. وقد تم استخدام معدل تدفق للمياه من خلال الراتنجات بواقع ٨ر٠ لتر/دقيقة. وهذا يعطي مدة تلامس قدرها ٧ر٧ دقيقة وحجم مكافيء (Bed volume) قدره ٨ر٧ في الساعة . وبعد الانتهاء من التجربة يتم إعادة تنشيط الراتنج وفق الخطوات التالية :

١- غسيل عكسي بمياه نقية لمدة ١٥ دقيقة حيث يتم تمرير المياه من الجزء السفلي ليحدث تمدد حوالي ٥٠٪ لطبقة الراتنج.
٢- إعادة تنشيط لمدة ٤٠ دقيقة يتم إستخدام ملح كلوريد الصوديوم حيث يتم إذابة ٥ر٢ كجم من الملح النقي في ١٦ لتر من الماء (يعادل ٣١٠ كجم ملح/متر٣ راتنج). ثم تمريره من أسفل عمود الراتنج وبمعدل تدفق ٤ر٠ لتر/دقيقة.
٣- غسيل بطيء وسريع يتم غسل الراتنجات بتمرير مياه نقية لمدة ٤٠ دقيقة وبمعدل ٤ر٠ لتر/دقيقة يتبعه تمرير المياه لمدة ١٥ دقيقة وبمعدل ٢ر١ لتر/دقيقة.

وقد تم جمع عينات خلال المراحل المختلفة لإعادة التنشيط بواقع عينة كل ثلاث دقائق.

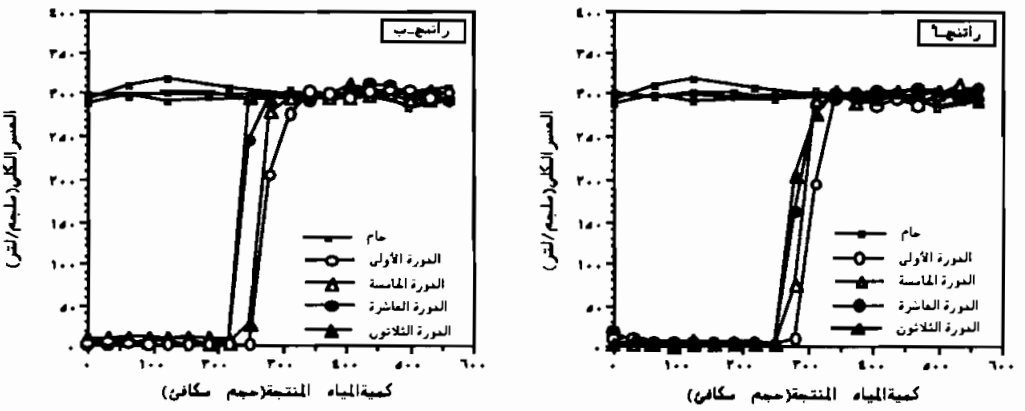
وقد تم تحليل العينات التي تم جمعها للعسر الكلي، الصوديوم ، الكالسيوم ، الماغنيسيوم ومجموع الاملاح الذائبة وفق الطرق الموضحة في الطرق القياسية[١٢]. ونظراً لضخامة العمل وعدم توقع إختلافات جذرية بين الدورات المتتالية فقد تم اختيار بعض التجارب لتحليل العينات الخاصة بها حيث تم التحليل للعينات التي جمعت من الدورات الأولى ، الخامسة ، العاشرة والثلاثين.

٣- النتائج والمناقشة .

من أجل التسهيل فإنه ومن وخلال عرض النتائج والمناقشة فسوف يتم استخدام الرمز راتنج-أ وراتنج -ب للراتنجين (Amberlite IR-120 plus) و (Amberlite 200) على التوالي.

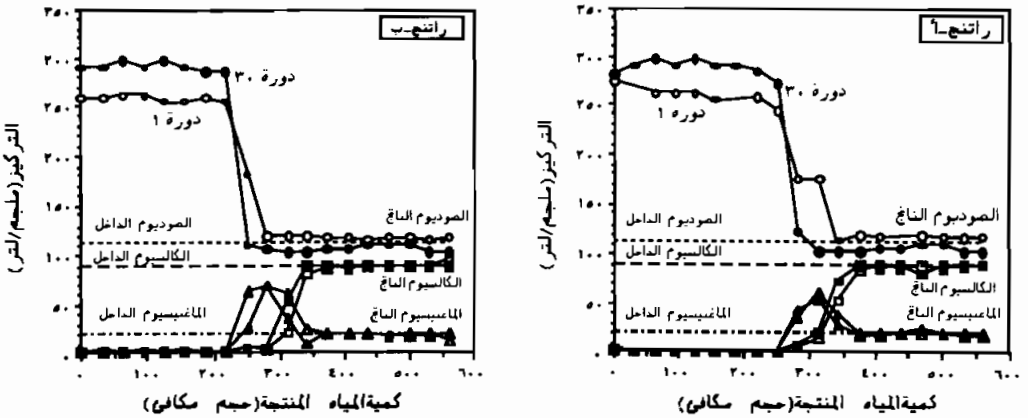
يوضح الشكل (٢) نتائج التحاليل للعسر الكلي للعينات التي تم جمعها من المياه الداخلة (خام) والخارجة من أعمدة الراتنجين . وكما هو ملاحظ فإن الراتنج -أ وصل إلى مرحلة الاستنفاد الكامل (تساوي تركيز العسر في المياه المنتجة والخام) عند حوالي ٣٤٠ حجم مكافيء في الدورة الأولى . وهذا يعادل ٤٤ ساعة من التشغيل المستمر أو انتاج ٢١١٢ لتر من المياه النقية . وبالمقارنة فإن راتنج -ب وصل إلى *مرحلة الاستنفاد الكامل* عند ٣٣٠ حجم مكافيء أو ما يعادل ٤٢ ساعة من التشغيل . أما في الدورة الخامسة فان الاستنفاد الكامل حصل عند حجم مكافيء ٣٢٠ و ٣٠٠ بالنسبة للراتنج -أ والراتنج - ب على التوالي . ولم يحصل أي انخفاض لكفاءة الراتنجين بعد تلك الدورة . ويلاحظ أن الاستنفاد يكون سريعاً بعد الوصول إلى فترة زمنية معينة من التشغيل يكون تركيز العسر خلالها في حدود ١٠ ملجم /لتر إلا أنها تختلف حسب نوع الراتنج المستخدم . ويعود سبب ظهور العسر بالتراكيز

المنخفضة إلى ما يعرف بظاهرة التسرب[١٣]. وقد تراوحت نسبة إزالة العسر حتى بداية الاستنفاد الكامل للدورات الأربع ما بين ٦ر٩٧٪ إلى ١ر٩٩٪ للراتنج -أ . وكانت النسب للراتنج -ب ٧ر٩٦٪ إلى ١ر٩٩٪.



شكل ٢ : نتائج التحاليل للعسر الكلي من المياه الداخلة للراتنجين والخارجة منها

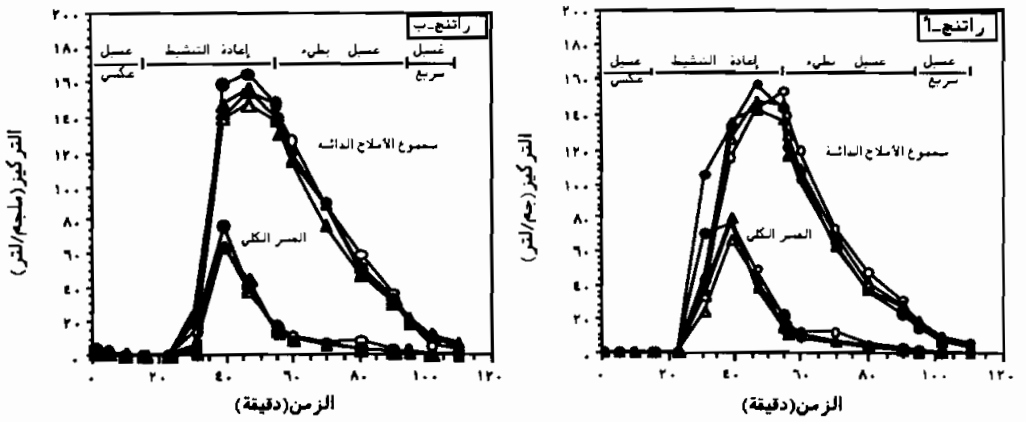
يوضح شكل (٣) نتائج التحاليل للصوديوم والكالسيوم والماغنيسيوم للدورتين الأولى والثلاثين. وكما يلاحظ فإن تركيز الصوديوم في المياه المنتجة وصل إلى حوالي ٣٠٠ ملجم/لتر عند بداية التشغيل في الدورة الثلاثين ثم انخفض مع التشغيل الى نفس مستوى تركيزه في المياه الخام. وهذا التركيز يعادل ٢ر٦ أضعاف متوسط تركيز ذلك العنصر في المياه الخام. ويعود سبب زيادة تركيز الصوديوم في المياه المنتجة الى احلال العسر محل الصوديوم في المواقع المختلفة من الراتنج. وعند إحلال العسر محل جميع مواقع الصوديوم فإنه يلاحظ الاستنفاد الكامل للراتنج. وبالنسبة لعنصر الماغنيسيوم فإن تركيزه كان منخفضاً جداً إلى وقت بدأ الاستنفاد الكامل ثم بعد ذلك إرتفع إلى حوالي ٣ أضعاف تركيزه في الماء الخام تلى ذلك انخفاض الى نفس مستوى تركيزه في الماء الخام. أما بالنسبة لعنصر الكالسيوم فإن تركيزه بدأ بالارتفاع بعد مضي بعض من الوقت من زيادة تركيز الماغنيسيوم. وهذه الظاهرة سببها العملية الاختيارية التي لها علاقة بامتصاص الراتنجات للأيونات المختلفة[٥، ١٣]. وقد لوحظ إرتفاع لمجموع الأملاح الذائبة في المياه المنتجة بنسب تراوحت ما بين ٦ر٥٪ إلى ٧ر٦٪ ليرتفع بذلك متوسط تركيزه من ٦٧٠ ملجم/لتر إلى ٧٠٨ - ٧١٥ ملجم/لتر .



شكل ٣: نتائج التحاليل للصوديوم، الكالسيوم والماغنيسيوم من المياه الداخلة للراتنجين والخارجة منها

وقد تم حساب السعة التشغيلية للراتنجين وتم التوصل إلى قيمة ٨٢ر٧ و ٧٣ر٨ كجم كربونات كالسيوم للمتر المكعب من راتنج –أ وراتنج –ب على التوالي وذلك للدورة التشغيلية الأولى وتعتبر السعة التشغيلية للراتنج–أ أعلى من السعة المعلنه من قبل الشركة الصانعة لنفس الراتنج والتي في حدود ٧٤كجم/متر٣ عند إستخدام نفس كمية كلورايد الصوديوم ولكن ماء الخام يحتوي على ٥٠٠ ملجم/لتر عسر بدلاً من الماء الخام المستخدم في الدراسة الحالية والذي يحتوي على عسر بمتوسط تركيز ٢٩٧ ملجم/لتر .أما بالنسبة للدورات الأخرى فإن القيم أصبحت شبه ثابتة وانخفضت إلى حوالي ٧٤ و ٦٨ كجم كربونات كالسيوم للمتر المكعب من راتنج –أ وراتنج–ب على التوالي. وهذه القيم توضح الفروقات بين السعة التشغيلية للراتنجين ، كما أنها توضح كفاءة عملية إعادة التنشيط. وربما يكون لنوعية المياه الخام المستخدم (خاصة انخفاض تركيز مجموع الأملاح الذائبة) دور في إرتفاع السعة التشغيلية للراتنجين المستخدمين.

وبالنسبة لتحليل العينات التي تم جمعها خلال عملية إعادة التنشيط فإن شكل (٤) يوضح نتائج التحليل لمجموع الأملاح الذائبة والعسر الكلي. وقد كان أعلى تركيز لمجموع الأملاح الذائبة حوالي ١٥٣ جم/لتر في العينات التي جمعت من عملية إعادة تنشيط الدورة الأولى للراتنجين. وبالنسبة للعسر الكلي فإن أعلى تركيز وصل إلى حوالي ٧٧ و ٧٦ جم/لتر للراتنجين أ ، ب على التوالي. ولم يلاحظ وجود اختلافات كبيرة في التراكيز لذلك العنصرين باختلاف الدورات التشغيلية . أما بالنسبة لمتوسط تركيز مجموع الأملاح الذائبة والعسر الكلي في كامل مخلفات عملية إعادة التنشيط للدورة الأولى للراتنج–أ فقد كان حوالي ٢٥ و ٨ جم/لتر على التوالي. وكما يلاحظ من شكل (٤) فإن أعلى تركيز للأملاح الذائبة يحدث بعد فترة زمنية تصل الى ١٠ دقائق من وصول العسر الكلي إلى أعلى تركيز له ، مما يوحي بأن الكمية المستخدمة من كلورايد الصوديوم ربما تكون أعلى من المطلوب .



شكل ٤ : نتائج تحليل العينات لمجموع الأملاح الذائبة والعسر الكلي خلال عملية إعادة تنشيط الراتنجين

وفي التطبيقات الفعلية لراتنجات التبادل الأيوني فإن حوالي ١٠ – ٥٠٪ من المياه الخام يتم خلطها مع المياه المنتجة من المبادلات الأيونية،[٥]. والهدف من ذلك هو رفع تركيز العسر في المياه إلى درجة مقبولة وبالتالي تخفيض تكاليف التنقية. وهذا الاجراء يؤدي الى تخفيض تركيز الصوديوم الذي – عادة – يرتفع عند إستخدام راتنجات موجبة الشحنه من نوع الحمض القوي كما هو ملاحظ من خلال نتائج هذه الدراسة . كما أن وجود كربونات الكالسيوم في المياه يساعد على وجود طبقة حامية في خطوط نقل المياه.

٤- الخلاصة :

يعتبر إزالة العسر من المياه الجوفية أمر ضروري إذا زاد تركيزه عن حد قد يؤثر على إستخدامات المياه. ومن الطرق الشائعة لإزالة العسر إستخدام الكيماويات أو المبادلات الأيونية . وتستخدم الطريقة الأولى على نطاق واسع في تنقية المياه الجوفية بالمملكة. ومن خلال هذه الدراسة تم إستخدام نوعين من المبادلات الأيونية لإزالة العسر من المياه الخام في إحدى المحطات العاملة في المنطقة الوسطى من المملكة. وقد أمكن تخفيض تركيز العسر من متوسط قيمة ٢٩٧ ملجم/لتر إلى حوالي ١٠ ملجم / لتر ولفترة تشغيلية وصلت في المتوسط إلى ٣٢ ساعة. ومن خلال ثلاثين دورة من الاستنفاد وإعادة التنشيط للراتنجين فإنه لم يلاحظ إنخفاض كبير في كفاءتيهما في إزالة العسر. وعلى ضوء ذلك فإنه يقترح النظر في هذا النوع من التقنية كبديل لعملية إستخدام الكيماويات في إزالة العسر خاصة على المستوى المتوسط والصغير من محطات التنقية، وفي المناطق التي تحتوي مصادر مياهها الخام على تراكيز منخفضة من الأملاح الذائبة.

ومن الأهمية بمكان اجراء دراسات مكثفة وتفصيلية حول تأثير المتغيرات على عملية إستخدام المبادلات الأيونية وذلك بهدف الوصول إلى الوضع الأمثل لهذه التقنية في المملكة .

الشكر

يشكر المؤلف مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية على دعمها المالي وتهيئتها جميع الامكانيات لاجراء هذه الدراسة. كما يشكر وزارة الزراعة والمياه على التعاون في تركيب المحطة التجريبية واجراء التجارب .

المراجع :

[1] Sawyer, C.N. and Mc Carty, P.L. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw-Hill Book Co. New York, NY,U.S.A, 1978.
[2] Saudi Arabia Standards Organization, 1984, Bottled and non bottled Drinking Water Standards, SASO: 1-9.
[3] US EPA Office of Water Supply, Sept. 1976, National Interim Primary Drinking water Regulations, EPA-570/9-76-003; US GPO, Washington, D.C.
[4] World Health Organization, Guidelines for Drinking Water Quality, Geneva, 1984.
[5] Pontius, F.W. Water Quality and Treatment : A Handbook of Community Water Supplies. MC Graw-Hill, Inc. New York, NY, U.S.A. (4th ed 1990).
[6] Kunin, R. Ion Exchange Resins. R.E. Krieger Publishing Co., Malabar, Florida, U.S.A. 1990.
[7] Sanks, R.L. Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer. Butterworth Publishers, Ann Arbor, MI , U.S.A. , 1978.
[8] Brink, W.L.; Schliekelman, R.J.; Bennett, D.L.; Bell, C.R. and Markwood, I.M. " Radium-Removal Efficiencies in Water Treatment Processes. "Jour. AWWA, Vol. 70, No. 1, 31 - 35 . 1978.
[9] Alabdula'aly , A.I. and Chammem , A.A., " Groundwater Treatment in the Central Region of Saudi Arabia " Desalination, Vol. 96, 203 - 214 , 1994.
[10] El-Rehaili, A.M. "Reverse Osmosis Applications in Saudi Arabia." Jour. AWWA Vol. 83, No. 6, 72 - 79, 1991.
[11] Riyadh Region Water & Sewage Authority " 1993 Annual Report.
[12] Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA and WPCF, Washington, D.C. (17th ed), 1989.
[13] Snoeyink V.L., Chambers, C.C. and pfeffer, J.L. "Strong- Acid Ion Exchange for Removing Barium, Radium, and Hardness . "Jour, AWWA, Vol. 79 No. 8, 66-72, 1987.