

المعالجة الكيميائية لعسارة المياه الجوفية

حالة دراسة: مياه الآبار في محافظة حماه / سوريا -

الدكتور درغام السلوم*

الدكتور عادل عوض**

مي النيربيه***

(قبل للنشر في 2003/12/30)

□ الملخص □

يهدف البحث إلى إيجاد أفضل الشروط الممكنة لمعالجة عسارة المياه الجوفية كيميائياً ، وذلك باستخدام محاليل كيميائية منفردة أو بشكل مجموعات منها ، في محطة معالجة مصغرة رائدة جرى تصميمها وتصنيعها لهذا الغرض.

وقد تضمنت الدراسة استخدام محاليل الكلس وكربونات الصوديوم وكلوريد الحديد والنشاء في معالجة مياه بئر في محافظة حماه. وقد أرشدت هذه الدراسة تجريبياً إلى فائدة جمع كربونات الصوديوم مع الكلس في هذه المعالجة والنسب المثلى لها ، وإمكانية الاستفادة من كلوريد الحديد والنشاء عند إضافتها إلى كربونات الصوديوم والكلس في هذه المعالجة.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

** أستاذ - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

*** طالبة دراسات عليا - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية.

Chemical Treatment of Groundwater Hardness

Case Study: Wells Water in Hama Governorate; Syria

Dr. Dergham Al Salloum*
Dr. Adel Awad**
May Al Neirabeyeh***

(Accepted 30/12/2003)

□ ABSTRACT □

This research tries to find the best conditions for the chemical treatment of the groundwater hardness, using four different chemical solutions, individually or in combinations, in a small pilot treatment plant specially designed for this purpose.

The study includes the use of solutions of lime, sodium carbonate, ferric chloride and starch in the treatment of one of the wells in Hama Governorate. It indicates experimentally that the use of a combination of lime and sodium carbonate in this treatment is advantageous, and the ideal ratios of the two chemicals are determined for the different ranges of doses. The study shows also the possibility of adding ferric chloride and starch solutions to those of lime and sodium carbonate to improve the results.

* Associate Professor - Department of Environmental Engineering- Al Baath University - Homs-Syria

** Professor - Department of Environmental Engineering- Tishreen University - Lattakia-Syria

*** Postgraduate Student - Department of Environmental Engineering- Al Baath University - Homs-Syria

مقدمة :

الحقيقة أنه لا وجود في الطبيعة لمياه نقية تماماً، فحتى بخار الماء المتكاثف يحتوي على مواد صلبة وأملاح وغازات منحلّة. تأخذ مياه الأمطار في طريقها مواد أخرى من الهواء، ثم تصبح أكثر تلوثاً عند ملامستها لسطح الأرض وجريانها عليه ثم رشحها عبر طبقات التربة نتيجة عمليات الانحلال والتبادل الشاردي، وتزال بعض الملوثات عند مرور المياه عبر التربة نتيجة لعمليات الترشيح والامتزاز والتبادل [1].

تعتبر المياه الجوفية من أهم مصادر المياه المتاحة للاستهلاك. وقد كانت هذه المياه فيما مضى من المصادر المائية الصالحة للاستخدام مباشرة دون حاجة لأي عملية معالجة. وهي لا تزال تعتبر أفضل بكثير من المياه السطحية بسبب احتواء الثانية على كمية من الملوثات العالقة بينما تخلو المياه الجوفية منها كما تقوم التربة بدور تصفية يعمل على إزالة معظم البكتريا الموجودة في الماء مما يجعل المياه الجوفية خالية من البكتريا غالباً ولكنها قد تكون طرية أو عسرة حسب الشوارد المنحلّة فيها بسبب حلها للمعادن والأملاح أثناء تحركها. وبشكل عام تعتبر نوعية المياه الجوفية جيدة ولكنها تتطلب القليل من المعالجة لإزالة الملوثات المنحلّة وتحسين مواصفاتها الكيميائية. وتشمل هذه المعالجة عادة التطرية بالترسيب الكيميائي والتعقيم والفلورة [2و3]. إن الهدف الرئيسي من معالجة المياه هو الحصول على مياه آمنة للشرب وذات كلفة مقبولة ومرضية للمستهلك.

يعتبر المطر المصدر الرئيسي لتجديد المياه الجوفية في محافظة حماه. ولكن الأمطار ليست منتظمة بصورة كافية وإن كانت تتراوح في أغلب الأحيان بين 300-400mm سنوياً، وتسقط معظم هذه الأمطار في أشهر الشتاء فقط (كانون أول - كانون ثاني - شباط) [4].

تعتبر شروط تخزين المياه الجوفية بشكل عام جيدة نسبياً في المنطقة، وإن كانت الاستفادة منها محدودة بسبب المستوى المنخفض نسبياً لهطول الأمطار. إن التركيب الرئيسي الحامل للماء في هذه المنطقة هو من العصر الكريتاسي، أو العصر الكريتاسي العلوي والبالوجيني (المكون من الصخور الكلسية الصلصالية والطين الغني بكربونات الكالسيوم)، وتلتقط المياه في هذه المنطقة بواسطة فجوات ثقبية تعتبر المصدر الرئيسي للتزود بالماء ويؤخذ الماء من ترسبات العصر السينومانيني - التورونياني على أعماق تتراوح بين 160-230 m. ولا يزال من غير المعلوم إن كان الماء يتواجد في طبقة صخرية مائية عائمة أو في طبقات مائية غير متصلة. يصل مردود الآبار بشكل متوسط إلى حوالي 4.17 l/sec، ويكون المستوى الساكن للماء عادةً عند 50-150 m فوق مستوى الطبقة الصخرية المائية [4].

يمكن بشكل عام أن تكون الطبقات الحاملة للماء من البالوجين مما يفسر عسارة المياه العالية في آبار مثل آبار السلمية والصبورة ($1800 \text{ mg/l as CaCO}_3$)، أو من توضعات من نوع كونغولوميرا (منطقة غرب حماه) حيث تكون المياه عذبة وعسارتها منخفضة مثل آبار الشهباء ($180 \text{ mg/l as CaCO}_3$)، أو من حجر كلسي مارلي فتكون العسارة مرتفعة نسبياً عن الحدود المسموح بها للشرب كما هو الحال في آبار اللطمين ومورك (580-660 mg/l as CaCO_3) [5].

إن المصادر الطبيعية الأساسية لعسارة الماء هي الشوارد المعدنية المتعددة التكافؤ المنحلّة عند تسرب المياه عبر الصخور الرسوبية أو الجريان السطحي على التربة، تتواجد الشارديتان الأساسيتان وهما الكالسيوم والمغنيزيوم في العديد من الصخور الرسوبية وخصوصاً في الحجر الكلسي والطباشير [6].

إن بداية ظهور الطعم لشاردة الكالسيوم هي بحدود 100-300mg/l ، معتمدة على الشاردة المرتبطة بها. تعتبر مستويات العسارة التي تفوق 500mg/l بشكل عام غير مقبولة، مع أن هذا المستوى جائز في بعض المجتمعات [6 و 7].

يؤدي وجود المعادن المنحلة في الماء أو عسارتها إلى صعوبات في عمل غسالات الصحون والملابس في المنازل وفي استخدام الصابون. كما تعمل الشوارد على تشكيل ترسبات داخل تمديدات المياه الساخنة وتؤثر المياه العسرة على الأقمشة مما يؤدي إلى اهترائها بشكل سريع وفقدان نعومتها، وفي مجال الصناعة تكون المشاكل الناجمة عن استخدامها أكثر خطورة خصوصاً عند استخدام المراجل لإنتاج البخار أو الحرارة حيث تتشكل رواسب على جدران الأنابيب وداخل المراجل مما يشكل حاجز عزل لانتقال الحرارة وبالتالي الحاجة إلى طاقة إضافية واستهلاك المزيد من الوقود مما يؤدي لاحتراق المرجل [1 و 3 و 8]. تعمل عملية تطرية المياه إضافة لإزالة العسارة على: (1) إزالة الحديد والمنغنيز، (2) التحكم باستقرار المياه، (3) التعقيم نتيجة قيم pH المرتفعة الناتجة عن استخدام الكلس، (4) خفض الطعم والرائحة أحياناً، (5) خفض لقليل من محتوى المواد الصلبة الكلية عند المعالجة بالكلس، (6) إزالة النشاط الإشعاعي عن طريق ترسيب العناصر المشعة [1 و 8].

في الكثير من الحالات يترك قرار تطرية المياه لحاجة المستهلكين. فالمياه القاسية لا تملك عادة أي تأثير سلبي خطير على الصحة العامة، إذ لم تثبت الأبحاث أي علاقة لعسارة المياه بأمراض القلب وتراكم بعض المعادن الثقيلة في الكبد، إنما ينحصر تأثيرها في تسببها بخشونة البشرة وفي أثرها المُسهل على الأشخاص غير المعتادين عليها [1 و 6 و 8].

تطرية المياه بالترسيب الكيميائي:

من المعروف أن طريقة الترسيب الكيميائي لا تزيل العسارة كلياً وأن القيمة الأصغرية التي يمكن الحصول عليها باستخدام الكلس ورماد الصودا هي 30-40 mg/l as CaCO₃. ولكن الحصول على قيم منخفضة يعتبر عملية غير اقتصادية وقد يؤثر سلباً على الصحة [1 و 6 و 7 و 8].

تعمل طريقة التطرية بالترسيب الكيميائي على تحويل الشوارد المسببة للعسارة من الشكل المنحل إلى الشكل غير المنحل، حيث يصبح الكالسيوم والمغنيزيوم أقل انحلالية عندما تتزايد قيمة الـ pH [8]. تتأثر عملية التطرية بعوامل عدة: (1) معدل انحلال المواد الكيميائية المستخدمة، (2) سرعة تشكل الرواسب (3) سرعة نمو الجزيئات المترسبة، (4) سرعة ترسب الندف. تعتمد سرعة تشكل راسب CaCO₃ على درجة الحرارة، ويُحفظ تدوير الوحل عملية نمو الراسب. يعتبر تدوير الوحل جزءاً متمماً لتصميم نظام حوض تماس المواد الصلبة. إن التفاعل الناتج عن إضافة الكلس للمياه الخامية بطيء جداً في غياب نوى التبلور وبالتالي فإن زمن التفاعل يتناقص ويتعزز استقرار المياه إذا تم مزج المياه مع الكلس بوجود راسب CaCO₃ [7]

1- التطرية بالكلس :

يمكن معالجة المياه الحاوية على بيكربونات الكالسيوم والمغنيزيوم (عسارة كربوناتية) إلى حد مقبول باستخدام الكلس فقط. فالكلس يتفاعل مع البيكربونات ليشكل كربونات الكالسيوم التي ستترسب (تتحول من الشكل المنحل إلى الشكل غير المنحل) عند قيم pH أعلى من 10 وكربونات المغنيزيوم التي ستبقى في المحلول. تتفاعل كربونات المغنيزيوم مع الكلس الإضافي عند قيم pH أعلى من 11 لتشكل هيدروكسيد المغنيزيوم الذي سيترسب [8].

عملياً، تتم التطرية بكلفة أقل إذا أمكن إزالة العسارة بشكل جيد بتفاعل الكلس مع بيكربونات الكالسيوم. يسمى هذا الإجراء بالتطرية الجزئية بالكلس (بدون إزالة المغنيزيوم). وإذا كان علينا إزالة بعض المغنيزيوم، فإن ذلك يتطلب كلساً إضافياً يعمل على زيادة القلوية إلى الحد الذي يسمح فيه الهيدروكسيد الموجود في الماء للمغنيزيوم بالترسب على شكل هيدروكسيد مغنيزيوم [7 و 8].

2- التطرية بالكلس - رماد الصودا :

عندما لا نستطيع تطرية المياه إلى المستوى المطلوب بالكلس فقط، فلا بد من أن المياه تحوي عسارة لكاربوناتية. تتطلب العسارة اللاكربوناتية إضافة مركب يزيد من تركيز الكربونات فيها، يكون عادة هو رماد الصودا (كربونات الصوديوم) [1 و 7 و 8].

من محاسن استخدام طريقة الكلس - رماد الصودا في التطرية: (1) إزالة الحديد والمنغنيز، (2) خفض قيمة المواد الصلبة، (3) إزالة أو الحد من البكتريا والفيروسات نظراً لارتفاع قيمة الـ pH، (4) التحكم باستقرار المياه المعالجة بالشكل المناسب، (5) إزالة الفلوريد الفائض، (6) تعتبر عملية اقتصادية، (7) إذا استخدمنا عملية الترسيب مع المخثرات فإننا نحتاج إلى كميات أقل من المواد المخثرة [1 و 3 و 8]. بينما تنحصر الأسباب التي تحد من استخدام هذه الطريقة: (1) عدم مقدرتها على إزالة كل العسارة، (2) تحتاج إلى كوادر مدربة بشكل جيد لتحديد الكفاءة الأعظمية للكلفة ودرجة إزالة العسارة واستقرار المياه المعالجة، (3) قد تصعب عملية إزالة اللون نظراً لارتفاع قيمة pH، (4) ينتج عن هذه الطريقة كمية كبيرة من الأوحال التي يجب التعامل والتخلص منها بالطرق المناسبة [3 و 8].

3- التطرية بالصودا الكاوية:

إن البديل لطريقة الكلس - رماد الصودا هو استخدام الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم NaOH) عوضاً عن رماد الصودا. ينتج عن إضافة هذا المركب إلى المياه تحول ثاني أكسيد الكربون والعسارة الكاربوناتية إلى كربونات الصوديوم الذي يتفاعل لإزالة العسارة اللاكربوناتية. لن يحل هيدروكسيد الصوديوم محل رماد الصودا فقط بل سيحل بدلاً من جزء أو كل متطلبات الكلس لإزالة العسارة الكاربوناتية [8].

4- المعالجة المقسّمة:

عندما تحتوي المياه على قيمة مرتفعة للمغنيزيوم، نستطيع استخدام ما يعرف بالمعالجة المقسّمة. تستخدم هذه الطريقة عند المعالجة بالكلس فقط أو الكلس - رماد الصودا. في هذه الطريقة يعالج جزء من المياه (حوالي 80%) بكمية فائضة من الكلس من أجل إزالة المغنيزيوم عند قيم pH أعلى من 11. ثم تضاف المياه الخامية الباقية (الـ 20%) إلى الحوض التالي لمعادلة (خفض قيمة pH) الجزء المعالج بالكلس الفائض. تتغير النسب اعتماداً على قيم عسارة المياه ومخطط المعالجة والنتائج المطلوبة [1 و 7 و 8 و 9].

تمر عملية التطرية بالمراحل التالية:

1- **المزج:** إن أكثر استخدامات هذه العملية شيوعاً هي مزج المواد المخثرة مع المياه لمعالجتها أو مزج الكلور بغرض تعقيمها. تعتمد هذه العملية على تشكيل اضطراب شديد في الماء عن طريق توليد دوامات صغيرة الحجم واختفائها بسرعة بشكل متناوب ومستمر، مما يؤمن وسيلة للانتقال السريع للمواد المضافة إلى كل أجزاء الماء [7 و 10].

2- التخثير: لإزالة الدقائق الغروية والمعلقة خلال عملية معالجة المياه، يجب أن تُحدث خللاً باستقرار المواد الغروية بواسطة التخثير. والواقع أن درجة استقرار الدقيقة الغروية تتوقف على توازن قوتين هما القوة الكامنة للتناثر (الناتجة عن هالة الشوارد المعاكسة المحيطة بالدقيقة الغروية) وقوى تجاذب فاندرفالس. وينتج تخثر الدقائق الغروية وإخلال استقرارها عندما تتغلب قوة تجاذب فاندرفالس على قوى التناثر الكامنة [2 و 9 و 11]. إن المواد الكيميائية الشائع استخدامها للتخثير هي كبريتات الألمنيوم $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ ($x = 13 \rightarrow 18$) وكبريتات الحديد $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ وكلوريد الحديد $FeCl_3$ والكلس $Ca(OH)_2$ [1 و 6 و 7 و 9].

بسبب الصعوبات التي نواجهها غالباً في عملية الترسيب، بسبب الندف البطيئة الترسب والسهولة الانقسام بتأثير قوى القص الهيدروليكية في حوض الترسيب، نلجأ لاستخدام مساعدات التخثير. ويتم ضبط قيمة الـ pH لهذه الغاية باستخدام الأحماض (مثل حمض الكبريت وحمض الفوسفور) والقلويات (مثل الكلس ورماد الصودا) [1 و 9 و 12].

تحدد الجرعة المثالية من هذه المواد اللازمة للمعالجة على جهاز jar-test. وتتوقف الجرعة على نوع المخثر المستخدم وعاورة المياه ولونها وقيمة الـ pH ودرجة الحرارة وزمن المزج والتنديف [1 و 2 و 3 و 7].

3- التنديف: تعمل عملية الخلط البطيء أثناء عملية التنديف على تماس الجزيئات لتحفيز تكتلها وتشكل ندف ذات حجم وكثافة ومثانة جيدة لتسهيل عملية إزالتها [1 و 12].

4- الترسيب: الغاية الأساسية من عملية الترسيب هي بشكل عام إزالة المواد المعلقة والمواد المترسبة نتيجة عمليات المعالجة الكيميائية من الماء المعالج [2 و 6 و 9 و 11 و 12].

تتأثر عملية الترسيب بعدة عوامل أهمها: (1) حجم الدقائق وتصنيفها، (2) شكل الدقائق، (3) كثافة الدقائق (4) درجة حرارة الماء (المؤثرة على كثافته ولزوجته)، (5) الشحنة الكهربائية، (6) المواد المنحلة في الماء، (7) خواص تندف المواد المعلقة، (8) هيدروليكية حوض الترسيب وخصائصه التصميمية [6 و 7 و 12].

والأشكال الأكثر شيوعاً لأحواض الترسيب هي: (1) الحوض المستطيل، (2) الأحواض الدائرية والمربعة، (3) الأحواض ثنائية الطبقات، (4) المرسبات ذات المعدل العالي، (5) وحدات تماس المواد الصلبة التي تجمع عدة مراحل معالجة سوية في منشأة واحدة، حيث تتم عملية التخثير والتنديف والترسيب في حوض واحد ذو شكل إما مستطيل أو دائري [2 و 9 و 10 و 11 و 12].

5- الترشيح: تستخدم عملية الترشيح في محطات المعالجة كمرحلة تحسين لإزالة الندف الصغيرة أو الجزيئات المترسبة التي لم تتم إزالتها في عملية ترسيب المياه المخثرة أو المطراة. وتتضمن عملية الترشيح الأكثر استخداماً تمرير المياه عبر سريز ثابت من الحبيبات الذي يقوم بالتقاط المواد الصلبة. للترشيح عبر وسط حبيبي طرق عديدة منها الترشيح ذو الدفق العلوي والترشيح ثنائي التدفق والترشيح المضغوط والترشيح الخوائي (الانفراغي) ولكن التطبيق الأكثر شيوعاً هو الترشيح الثقلي باتجاه الأسفل [9 و 10 و 11 و 12].

6- إعادة الكرينة: يجب التحقق من استقرار المياه بعد تطرية المياه بالترسيب الكيميائي. ويقصد باستقرار المياه معادلة حالتها الشاردية بحيث لا تعمل على تآكل الأنابيب أو تشكل ترسبات فيها. إذ تكون المياه المطراة بالكلس - الصودا عادة مشبعة إلى حد كبير بكربونات الكالسيوم وتعتمد درجة عدم استقرار المياه وإشباعها بكربونات الكالسيوم على درجة تطرية المياه. يمكن إنجاز استقرار المياه بضغط غاز ثاني أكسيد الكربون في الماء. وتسمى

هذه العملية إعادة كربنة المياه. ويلاحظ أن استخدام الأحماض الأخرى مثل حمض الكبريت أو حمض كلور الماء لا يعطي نفس نتائج إعادة الكربنة بغاز ثاني أكسيد الكربون [1 و 7 و 8].

استخدام نماذج المحطات المصغرة :

عندما تكون خصائص المياه المعالجة غير عادية، أو عند تجربة طريقة حديثة في المعالجة، أو لتحسين الأداء أو خفض الكلفة ، فإنه قد تم تطوير دراسات المحطة المصغرة لمعالجة المياه (المفاعل التجريبي) للحصول على مؤشرات تساعد في تحقيق عملية المعالجة الأصلية. وتشمل العملية إنشاء محطة ذات حجم مصغر للتعرف على الأداء والحصول على خبرات في التشغيل ولتقدير اقتصادية أو جدوى عملية المعالجة وتصميم المحطة التي ستقام. كما يستفاد منها عند الرغبة في تطبيق عملية معالجة جديدة، أو للمقارنة بين طريقتي معالجة لاختيار الأنسب بينهما ، أو عندما تكون الظروف التشغيلية المتوقعة خارج نطاق العمليات المعتادة ، أو عند الحاجة لنمذجة الظروف التشغيلية المعتادة ، أو عندما نريد تحديد الظروف التشغيلية المثالية [10]. وقد كانت هذه الطريقة هي محور هذا البحث لمعالجة المياه الجوفية كيميائياً .

تصميم المحطة المصغرة:

فيما يلي ذكر لأبعاد المفاعل التجريبي (المحطة المصغرة) الذي صممناه من أجل البحث المراد دراسته:

1- تصميم حيز الخلط في المفاعل:

بفرض سرعة الدخول $v_1 = 0.9 \text{ m/sec}$ وقطر فوهة الدخول $d_1 = 3/8$ ، زمن مكوث الماء في الخلاط هو $t = 2 \text{ min}$ وقطر فوهة الخروج $d_2 = 7.5$.

اعتمدنا خلاطاً حجمه $V = 7.7 \text{ l}$ وارتفاعه $h = 0.77 \text{ m}$ وسرعة الدخول إليه $v_1 = 0.9 \text{ m/sec}$ وقطر الفتحة $d_1 = 3/8$ وسرعة الخروج منه $v_2 = 2.25 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$ وقطر الفتحة $d_2 = 7.5$ وزمن مكث مقداره $t = 2 \text{ min}$

2- تصميم حيز تشكل الندف في المفاعل:

من أجل زمن مكث مفترض مقداره $t = 18 \text{ min}$.

نعتمد حيز تشكل للندف قطره $D = 30 \text{ cm}$ وارتفاعه $h = 100 \text{ cm}$ وسرعة الدخول إليه $v = 1.52 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$ والخروج منه $v = 0.9 \times 10^{-3} \text{ m/sec}$.

3- تصميم حيز الترسيب في المفاعل:

بفرض زمن المكث في حجرة الترسيب $t = 2h$.

سنعتمد حيزاً للترسيب قطره $D = 0.85 \text{ m}$ وارتفاعه $H = 0.9 \text{ m}$ يتوضع أسفله مخروط مقلوب يميل على الأفق بزاوية مقدارها 45° ارتفاعه $h = 0.42 \text{ m}$ لجمع الرواسب الناتجة عن عملية المعالجة حيث سيتم تصريفها بأنبوب قطره 2 ، وهو القطر الأصغري المسموح به لتصريف الرواسب منعاً لانسداده. كما يتم جمع المياه عبر 30 هداراً قائمي الزاوية متوضعة على محيط حيز الترسيب ارتفاعه 4 cm والمسافة بين محوري كل هدارين متجاورين 8.9 cm وارتفاع الماء عبرها هو 0.45 cm .

4- تصميم أقينية جمع المياه من المفاعل :

نفرض أن سرعة المياه في أقينية الجمع المحيطية هي 0.6m/sec وعرض القناة 1.5cm فيكون ارتفاع الماء فيها $h = 0.713\text{cm}$. يوضح الشكلان (1) و(2) مخططات تفصيلية لهذه المحطة

تحضير محاليل المواد الكيميائية المجرعة:

- الكلس: من المعروف أن الكلس مادة ضعيفة الانحلال فلا تتجاوز انحلاليتها 1.6 gr/l [13]. لذا لجأنا إلى تحضير محلول رائق مشبع بالكلس.

- كربونات الصوديوم Na_2CO_3 : كنا نحصل على هذه المادة بشكل مسحوق (بودرة) أبيض اللون. ونحضر محلولاً تركيزه 4% (وزن/حجم) وهو ما كنا نجرعه للمحطة.

- كلوريد الحديد FeCl_3 : كنا نحصل على هذه المادة بشكل صلب يسهل بدرجات الحرارة المرتفعة. وقد تم تقسيم هذه المادة إلى أجزاء صغيرة لحفظها في أكياس معزولة وكنا نقوم بتحضير محلول تركيزه 0.66% (وزن/حجم) لتجريبه للمحطة.

- النشأ: كنا نحضر محلولاً للنشأ ذو المنشأ الطبيعي بتركيز 0.25% (وزن/حجم) ونقوم بتجريبه للمحطة.

آلية عمل المحطة المصغرة :

عند تشغيل المحطة كنا نقوم بدايةً بضبط الجرعات المدخلة للمحطة بواسطة قياس الحجم المجرع خلال الزمن الذي يتم قياسه بواسطة ميقاتية دقيقة ، ومن ثم نقيس التدفق الخارج من المحطة ونحاول ضبطه وفقاً للتدفق التصميمي ، وبعد مرور ساعتين ونصف، وهو الزمن اللازم للمياه للخروج من المحطة وفقاً لتصميم المحطة ، كنا نأخذ عينات بين الحين والآخر ونقوم بترشيحها ومزجها مع بعضها للحصول على العينة النهائية (عينة مركبة) وكان يتفاوت زمن تشغيل المحطة من 5 إلى 8 ساعات تبعاً للظروف المتاحة في العمل. لقد حاولنا أثناء التجارب دراسة تأثير بعض المواد كل منها على حدة أو بجمع اثنتين منها أو أكثر. وكنا نقوم بعد جمع العينات بإجراء التحاليل اللازمة على المياه الخامية والمياه الناتجة بالسرعة الممكنة.

خصائص المياه الخامية :

تقع مياه البئر الخاص التي أجرينا عليها الاختبارات في قرية جبرين شمال شرق مدينة حماه وهي مياه تحوي على كبريتيد الهيدروجين بكمية صغيرة جداً تزول بمجرد تعرض المياه للهواء الجوي. وقد أثبتت مجموعة تحاليل أنها تتمتع وسطيّاً بالموصفات التالية :

| | |
|--|---|
| العسارة $[\text{mg}/\ell \text{ as } \text{CaCO}_3]$: 690 | الكبريتات $[\text{mg}/\ell]$: 485 |
| القلوية $[\text{mg}/\ell \text{ as } \text{CaCO}_3]$: 0 | القلوية العامة $[\text{mg}/\ell \text{ as } \text{CaCO}_3]$: 388 |
| الحديد $[\text{mg}/\ell]$: 0 | الأملاح الصلبة المنحلة TDS $[\text{mg}/\ell]$: 750 |
| pH: 6.5 | درجة الحرارة $[\text{°C}]$: 33 |

النتائج والمناقشة :

1- مقارنة بين تأثير كربونات الصوديوم أو الكلس أو كليهما على عسارة المياه المعالجة: (الشكل رقم 3)

1-1- المعالجة بالكلس فقط :

الجدول رقم (1) يلخص نتائج هذه المعالجة.

نلاحظ عند إضافة الكلس فقط انخفاضاً واضحاً في قيمة العسارة وبشكل شبه خطي (الشكل رقم 3).

1-2- المعالجة بكربونات الصوديوم فقط :

الجدول رقم (2) يلخص نتائج هذه المعالجة.

عند المعالجة بكربونات الصوديوم فقط نلاحظ تحسناً في النتائج عن الحالة السابقة (الشكل رقم 3). ويكون ذلك واضحاً في البداية ثم يتناقص تأثير الكميات المضافة تدريجياً حتى نحصل على خط مستقيم قليل الميل على الأفق. ونرى إذن بسهولة أن كربونات الصوديوم تتميز عن الكلس بشدة التأثير على العسارة.

1-3- المعالجة بكربونات الصوديوم والكلس :

الجدول رقم (3) يلخص نتائج هذه المعالجة.

أجريت تجارب عديدة على تأثير كربونات الصوديوم والكلس مجتمعين على عسارة المياه المعالجة ، وقد دلت جميعها على أن جمع المادتين في إزالة عسارة المياه مفيد أياً كانت نسبة جرعة كربونات الصوديوم إلى جرعة الكلس (الشكل رقم 3).

لقد لجأنا إلى طريقة تجريبية استقرائية للتعرف على النسب المثلى المضافة من المادتين وذلك بأخذ النقاط الممثلة للتأثير الأفضل لكربونات الصوديوم والكلس مجتمعين على عسارة المياه على طول خط مجموع جرعتيهما في الشكل الممثل للعلاقة بين مجموع جرعتي المادتين والعسارة ، ورسمنا خطأً بيانياً لها أخذت نفس شكل الخط البياني لتأثير كربونات الصوديوم بمفردها ولكن تحته. وقد كان وجود عدد كبير من الجرعات المختلفة عاملاً مساعداً لنا ، أوضح أن نسبة كربونات الصوديوم إلى الكلس تكون حوالي 1.5 إلى 1 من أجل القيم المنخفضة لمجموع جرعتي المادتين (حوالي 150 mg/l) حيث انخفضت قيمة عسارة المياه عند هذه القيمة بنسبة 33%. وترتفع نسبة كربونات الصوديوم إلى الكلس لتصبح 2.4 إلى 1 من أجل قيمة أكبر لمجموع جرعتي المادتين (بحدود 375 mg/l) وانخفضت عندها العسارة بنسبة 54% ، ثم تصبح النسبة 3.2 إلى 1 من أجل مجموع للجرعتين يساوي 820 mg/l وانخفضت عندها العسارة بنسبة 66%. ولكن النسبة الأكبر التي حصلنا عليها كانت 4.4 إلى 1 من أجل مجموع لجرعتي كربونات الصوديوم والكلس قدره 1915 mg/l وقد انخفضت العسارة من أجله بنسبة 75%.

تمثل النقاط 1، 2، 3، 4 على الخط الأمثل للمعالجة بكربونات الصوديوم والتي تعبر عن نتائج معالجة العينات 1 و 3 و 8 و 15 في الجدول (3). ويمكن اعتباراً من هذه النقاط تحديد الكميات المثلى من كل من كربونات الصوديوم والكلس والعسارة الناشئة عنها على كل نقطة من الخط الأمثل بأخذ المسافة بينها وبين النقطتين المجاورتين لها من بين النقاط الأربعة 1، 2، 3، 4 واعتماد مبدأ النسبة والتناسب في تحديد النسبة المثالية لهذه النقطة ومن ثم الكميات المثلى لكل من كربونات الصوديوم والكلس والعسارة الناتجة عنها.

انحصرت بقية قيم العسارة الناتجة وهي عديدة جداً بين الخط الناتج عن المعالجة بـ كربونات الصوديوم فقط والخط الأمثل (الاستقرائي) الناتج عن المعالجة بـ كربونات الصوديوم والكلس ، وهذا يدعم الفكرة المطروحة سابقاً بشكل واضح.

2- تأثير إضافة كلوريد الحديد على عسارة المياه المعالجة في عملية المعالجة بـ كربونات الصوديوم أو بـ كربونات الصوديوم والكلس :

2-1- المعالجة بكلوريد الحديد وكربونات الصوديوم:

الجدول رقم (4) يلخص نتائج هذه المعالجة.

عند تحديد النقاط الناتجة عن هذه العملية يتمثل العلاقة بين قيمة جرعة كربونات الصوديوم والعسارة الناتجة ومقارنتها بعملية المعالجة بـ كربونات الصوديوم (الشكل رقم 4) نجد أن الجرعات المعتدلة أو المنخفضة من كلوريد الحديد لا تغير تقريباً من قيمة العسارة الناتجة ، وبالتالي نستنتج أن إضافة كلوريد الحديد إلى كربونات الصوديوم من أجل معالجة العسارة لا تفيد كثيراً.

2-2- المعالجة بكلوريد الحديد وكربونات الصوديوم والكلس:

الجدول رقم (5) يلخص نتائج هذه المعالجة.

عند تحديد النقاط الممثلة للعسارة الناتجة عن تجارب المعالجة بالمواد الثلاثة مقارنة بمجموع جرعتي كربونات الصوديوم والكلس (الشكل رقم 5) قمنا أولاً بتحديد نقاط على الشكل كانت ستنتج لو أننا أضفنا كربونات الصوديوم والكلس بدون كلوريد الحديد ليتم المقارنة بها وقد اعتبرنا لإنجاز ذلك أن هذه النقاط ستقع ما بين الخط الأمثل لتأثير كربونات الصوديوم والكلس (التأثير الأعظمي) وخط كربونات الصوديوم تبعاً لنسبة كربونات الصوديوم إلى الكلس وستقع على خط المعالجة بـ كربونات الصوديوم والكلس إذا تساوت نسبة كربونات الصوديوم إلى الكلس في التجربة مع النسبة المثلى على النقطة المقابلة في ذلك الخط ، أو ستقع في أسوأ الأحوال على خط المعالجة بـ كربونات الصوديوم فقط عندما تصل كمية الكلس المضافة إلى ما يقارب الصفر. وهكذا فعند كل نقطة تمثل مجموع كربونات الصوديوم والكلس على المحور الأفقي في الشكل رقم (5) حددت الكميات المثلى من كل من كربونات الصوديوم والكلس والعسارة الناتجة عنها بالطريقة التي تم شرحها في الفقرة (1-3)، ورفع خط شاقولي من هذه النقطة ووضعنا نقطة التجربة على هذا الخط الشاقولي بين نقطة التقاطع مع خط المعالجة المثلى (جرعة الكلس المثلى) ونقطة التقاطع مع خط المعالجة بـ كربونات الصوديوم فقط (كمية الكلس معدومة) تبعاً لكمية الكلس الفعلية المضافة مع كربونات الصوديوم (بافتراض عدم وجود كلوريد الحديد) كما يوضح المثال الحسابي المعطى في نهاية هذه الفقرة. وبعد ذلك تم وضع النقطة الممثلة للعسارة في التجربة الفعلية للمعالجة بالمواد الثلاث على نفس الخط الشاقولي كما وردت في الجدول (5) ، وتم ملاحظة إن كانت النقطة الفعلية فوق (عسارة أعلى) أو تحت (عسارة أدنى وأفضل) النقطة النظرية الحسابية الممثلة لمجموع جرعتي كربونات الصوديوم والكلس. وبهذه الطريقة في المقارنة التفصيلية لجميع الحالات التجريبية المدروسة تبين أنه في أغلب الحالات كان هناك تحسن في نقصان العسارة عند إضافة كلوريد الحديد ، إذا كانت نسبته إلى مجموع جرعتي كربونات الصوديوم والكلس مناسبة حيث سجلت أفضل النتائج عندما كانت هذه النسبة بين 5 و 9% (العينات 1 ، 4 ، 6) ، بينما لوحظ أن التأثير يصبح غالباً سلبياً إذا كانت نسبة كلوريد الحديد أعلى من هذا المجال (العينات 2 ، 3 ، 5) ، على كل حال لم يكن

التحسن الملحوظ لكلوريد الحديد عند إضافته لوحده إلى كربونات الصوديوم والكلس كبيراً ، وهذا ما دفعنا إلى الاستعانة بالنشاء كمساعد تخثير في إنقاص العسارة.

مثال توضيحي لطريقة تحديد العسارة الحسابية: من أجل تحديد العسارة الحسابية للعينة 3 في الجدول (5) مثلاً، نحدد النسبة المثلى من كربونات الصوديوم (x) المقابلة لمقدار 1 من الكلس على الخط الأمثل للمعالجة بكربونات الصوديوم والكلس فقط ، المقابلة لمجموع جرعتي المادتين البالغ 543 mg/l ، باعتماد مبدأ النسبة والتناسب مع النقطتين 2 (حيث النسبة المثلى لكربونات الصوديوم إلى الكلس هي 1:2.4) و3 (حيث النسبة المثلى 1:3.2) على نفس الخط في الشكل (5) :

$$x = \frac{(3.2-2.4)(543-375)}{(820-375)}$$

لأجل هذه النسبة من كربونات الصوديوم إلى الكلس (1:2.7) تكون قيمة جرعة الكلس:

$$\frac{543 \times 1}{2.7 + 1} = 147 \text{ mg/l}$$

ولكن في التجربة المجراة نجد أن جرعة الكلس المضافة تساوي 110 mg/l وهي تساوي نسبة مقدارها 110/147 = 0.75 من جرعة الكلس المثلى.

نجد من المخطط (الشكل 5) أن قيمة العسارة الناشئة عن إضافة كربونات الصوديوم فقط (النقطة الناتجة عن تقاطع الخط الشاقولي المرسوم من أجل مجموع جرعتي المادتين البالغ 543 mg/l مع الخط الناتج عن المعالجة بكربونات الصوديوم فقط) تساوي 347 mg/l as CaCO₃ ، بينما تبلغ قيمة العسارة الناتجة عن المعالجة بنفس مجموع جرعتي المادتين ولكن بالنسبة المثلى من كربونات الصوديوم والكلس 1:2.7 التي تم حسابها أعلاه (نقطة تقاطع نفس الخط الشاقولي مع الخط الأمثل للمعالجة بكربونات الصوديوم والكلس فقط) 277 mg/l as CaCO₃. وعند استخدام طريقة النسبة والتناسب من جديد ، مع نقطتي التقاطع مع الخط الشاقولي ، نجد أن العسارة الحسابية للعينة 3 عند استخدام جرعتي كربونات الصوديوم والكلس فقط وبنسبة من الكلس إلى القيمة المثلى تبلغ 0.75 تساوي :

$$347 - 0.75 (347 - 277) \approx 295 \text{ mg/l as CaCO}_3$$

وهي القيمة المدونة في الجدول (5).

3- تأثير إضافة النشاء إلى عملية المعالجة بكربونات الصوديوم والكلس على عسارة المياه الناتجة:

الجدول رقم (6) يلخص نتائج هذه المعالجة بإضافة النشاء.

أدت إضافة النشاء إلى كربونات الصوديوم والكلس في معالجة عسارة المياه في أغلب الحالات إلى رفع قيمة العسارة للمياه الناتجة بنسب متفاوتة فوق القيم الحسابية للمعالجة بكربونات الصوديوم والكلس وكان الاستثناء الوحيد التجربة 7 التي أعطت تحسناً طفيفاً نتيجة إضافة النشاء. ويلاحظ من قيم الجدول (6) أن ارتفاع العسارة يكون أكبر عندما تكون جرعة النشاء عالية. ويبدو أن إضافة النشاء لوحده إلى كربونات الصوديوم والكلس دون المخثر (كلوريد الحديد) لا يفيد في إنقاص العسارة.

4- تأثير إضافة كلوريد الحديد والنشاء إلى عملية المعالجة بكاربونات الصوديوم والكلس على عسارة المياه الناتجة:

الجدول رقم (7) يلخص نتائج هذه المعالجة بإضافة كلوريد الحديد والنشاء. أجريت تجارب عديدة على تأثير المواد الأربع معاً على عسارة المياه ، وكان الكثير منها قد أجري في المراحل الأولى لهذه الدراسة بهدف التعرف العشوائي للنسب المختلفة من المواد الأربع (الشكل رقم 7). يمكن ملاحظة أنه في حالات عديدة تم الحصول على نتائج جيدة من إضافة كلوريد الحديد والنشاء إلى كاربونات الصوديوم والكلس في معالجة عسارة المياه. وقد ظهرت أفضل النتائج عند مراعاة أن تكون نسبة كلوريد الحديد إلى مجموع جرعتي كاربونات الصوديوم بين 5% و9% وعند استخدام كمية محدودة من النشاء تتراوح بين 5 و15mg/l (العينات 8 ، 9 ، 12 وغيرها). ومن ناحية أخرى حصلنا على نتائج سلبية أو يظهر فيها تحسن محدود من إضافة كلوريد الحديد والنشاء عند استخدام نسبة عالية من كلوريد الحديد ، حيث قام هذا الملح حينها بدوره المعروف في زيادة العسارة (العينات 1 ، 5 ، 6 ، 16 وغيرها) أو عند استخدام كمية كبيرة من النشاء تتجاوز 20mg/l ، حيث أن ذلك أدى فيما يبدو إلى ظهور دور زيادة العسارة الذي رأيناه عند المعالجة بكاربونات الصوديوم والكلس والنشاء دون كلوريد الحديد.

الاستنتاجات والتوصيات :

تظهر دراسة نتائج البحث وتحليلها ومناقشتها مايلي :

1- يمكن إجراء معالجة عسارة المياه قيد الدراسة بالكلس لوحده أو بشكل أفضل بكاربونات الصوديوم لوحدها حيث تنقص عسارة المياه بنسبة 32% عند معالجتها بـ 404 mg/l من الكلس وبنسبة 55% عند معالجتها بـ 763 mg/l من كاربونات الصوديوم ، ولكن زيادة النسبة السابقة بشكل محسوس يتطلب جرعة غير اقتصادية.

2- بالمقابل فإن المعالجة بالمادتين (الكلس - كاربونات الصوديوم) معاً وينسب معينة يعطي مردوداً أفضل وبشكل واضح في إنقاص عسارة المياه حيث يمكن مثلاً إنقاصها بنسبة 62% عند المعالجة بـ 589mg/l من كاربونات الصوديوم و 182 mg/l من الكلس أي بمجموع قدره 771 mg/l من المادتين معاً. ويمكن إيجاد النسب المثلى للمادتين في المجالات المختلفة لقيم الجرعات ، اعتماداً على الخط الأمثل للمعالجة بالمادتين (كاربونات الصوديوم والكلس) في الشكل (3).

3- لا يلاحظ انخفاض للكبريتات بنسبة كبيرة في الحالات السابقة إذ تراوحت بين 7% و10%. ولزيادة هذه النسبة بشكل واضح كان من الضروري استخدام جرعات أعلى أقل اقتصادية. فمثلاً عند المعالجة بـ 954 mg/l من كاربونات الصوديوم و 309 mg/l من الكلس (أي بمجموع قدره 1263 mg/l) يلاحظ نقصان للكبريتات بنسبة 37% مع أن الزيادة في نقصان العسارة لم يكن كبيراً إذ أصبحت نسبة نقصان العسارة في هذه الحالة 67%. ويلاحظ في هذه الحالة ارتفاع القلوية العامة للمياه إلى 544 mg/l والـ TDS إلى 1152 mg/l. مما يجعل هذه الطريقة في إنقاص الكبريتات غير ملائمة.

4- لم يلاحظ أي استفادة محسوسة من إضافة كلوريد الحديد كمخثر في المعالجة بكاربونات الصوديوم لوحدها أو بكاربونات الصوديوم والكلس معاً ، أو من إضافة النشاء كمساعد تخثير وعند زيادة جرعة كلوريد الحديد أو

النشاء كانت العسارة ترتفع. ولكن عند استخدام كلوريد الحديد والنشاء معاً وينسب معينة ظهر في حالات عدة تحسن واضح في نسب نقص عسارة المياه ، وخصوصاً في مجال الجرعة الاقتصادية لكربونات الصوديوم والكلس ، أما بالنسبة للكبريتات فالنقصان الواضح في نسبتها لم يكن ممكناً دون استخدام جرعات كبيرة غير اقتصادية من كربونات الصوديوم والكلس ، كما هو الحال في غياب كلوريد الحديد والنشاء.

5- إن الاختيار بين المواد المستخدمة للمعالجة وبين الجرعة سيكون بالتالي متعلقاً بالهدف من المعالجة ولدينا الخياران التاليان :

- إذا كنا نهدف إلى معالجة عسارة المياه دون المخاطرة بإدخال الحديد إلى المياه الخالية منها ، فإن الحل المثالي يكمن في استخدام كربونات الصوديوم والكلس لوحدهما حيث يتيح ذلك الحصول على مياه عسارتها في حدود 250-300 mg/ℓ بواسطة جرعة اقتصادية من المادتين.
- وإذا كان الهدف الحصول على عسارة أقل وكبريتات أقل دون زيادة القلوية أو الأملاح المنحلة بصورة كبيرة ، فإن المعالجة يجب أن تتم بالمواد الأربعة (كربونات الصوديوم - الكلس - كلوريد الحديد - النشاء) بنسب معينة منها. ونقترح هنا استخدام جرعات من كربونات الصوديوم والكلس مجموعهما بحدود 650-900 mg/ℓ ونسبة بينهما تتراوح بين 2.5-3 كربونات الصوديوم إلى 1 كلس. أما جرعة كلوريد الحديد فيجب أن تقل عن 10% من مجموع جرعتي المادتين ويفضل أن تكون بحدود 30-50 mg/ℓ ، في حين يقترح في الحدود المذكورة أعلاه للمواد الثلاث وفي الظروف التشغيلية المستخدمة أن تكون جرعة النشاء بحدود بين 5-15 mg/ℓ. حيث يمكن في مثل هذه الظروف الحصول على نقصان للعسارة بنسبة تصل إلى 75% وللكبريتات بنسبة تصل إلى 29% ولكن الحديد سيظهر في المياه المعالجة بقيمة تتراوح بين 0.04 و 0.1 mg/ℓ.

جدول (1) نتائج تجارب إزالة عسارة المياه باستخدام الكلس

| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/ℓ] | الحديد [mg/ℓ] | الكبريتات [mg/ℓ] | القلوية العامة [mg/ℓ as CaCO ₃] | العسارة | | خصائص المياه الخامية وسطياً | | | | | |
|----------------------|---------------------|--|------------------|---------------------|--|------------------------------|---|--------------------------------|------------------|---------------|-----|--|--|
| | | | | | | [mg/ℓ as CaCO ₃] | [mg/ℓ as CaCO ₃] | | | | | | |
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | | 690 | | | | | | |
| | | جرع المواد الكيميائية [mg/ℓ] | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | | | | |
| العينة رقم | كربونات الصوديوم | مجموع الكلس وكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/ℓ as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/ℓ as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/ℓ] | الحديد [mg/ℓ] | TDS [mg/ℓ] | | | |
| 1 | - | 75 | 75 | - | - | 644 | 7 | 328 | 469 | 0 | 748 | | |
| 2 | - | 185 | 185 | - | - | 580 | 7.5 | 350 | 460 | 0 | 725 | | |
| 3 | - | 280 | 280 | - | - | 530 | 8 | - | - | - | - | | |
| 4 | - | 404 | 404 | - | - | 470 | 9 | 360 | 451 | 0 | 690 | | |

جدول (2) نتائج تجارب إزالة العسارة باستخدام كربونات الصوديوم

| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/l] | الحديد [mg/l] | الكبريتات [mg/l] | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | خصائص المياه الخامية وسطياً | | | |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|--|---|---|------------------|---------------|------------|
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | 690 | | | | |
| | جرع المواد الكيميائية [mg/l] | | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | |
| العينة رقم | كربونات الصوديوم | مجموع الكلوكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/l] | الحديد [mg/l] | TDS [mg/l] |
| 1 | 74 | - | 74 | - | - | 594 | 7.5 | 388 | - | - |
| 2 | 237 | - | 237 | - | - | 453 | 7.5 | 412 | 460 | 0 |
| 3 | 368 | - | 368 | - | - | 424 | 8 | - | 450 | 0 |
| 4 | 763 | - | 763 | - | - | 306 | 9 | 732 | 440 | 0 |
| 5 | 1480 | - | 1480 | - | - | 275 | 10 | 792 | 400 | 0 |
| 6 | 1526 | - | 1526 | - | - | 266 | 10 | 801 | 388 | 0 |

جدول (3) نتائج تجارب إزالة عسارة المياه باستخدام كربونات الصوديوم والكلس

| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/l] | الحديد [mg/l] | الكبريتات [mg/l] | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | خصائص المياه الخامية وسطياً | | | |
|----------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|--|--------------------------------------|---|------------------|---------------|------------|
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | 690 | | | | |
| | جرع المواد الكيميائية [mg/l] | | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | |
| العينة رقم | كربونات الصوديوم | مجموع الكلوكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/l] | الحديد [mg/l] | TDS [mg/l] |
| 1 | 92 | 60 | 152 | - | - | 460 | 7.5 | 308 | - | 0 |
| 2 | 242 | 101 | 343 | - | - | 332 | 8 | 336 | 457 | 0 |
| 3 | 235 | 142 | 377 | - | - | 316 | 8 | 320 | 453 | 0 |
| 4 | 462 | 144 | 606 | - | - | 296 | 9 | 296 | 450 | 0 |
| 5 | 448 | 224 | 672 | - | - | 290 | 9 | 246 | 440 | 0 |
| 6 | 536 | 144 | 689 | - | - | 272 | 9 | 304 | 441 | 0 |
| 7 | 589 | 182 | 771 | - | - | 264 | 9.5 | 300 | 435 | 0 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|------|---|---|-----|------|-----|-----|---|------|
| 8 | 624 | 194 | 818 | - | - | 228 | 9.5 | 315 | - | 0 | 865 |
| 9 | 821 | 67 | 888 | - | - | 282 | 9 | 456 | 332 | 0 | 1053 |
| 10 | 717 | 184 | 901 | - | - | 256 | 10 | 324 | 414 | 0 | 898 |
| 11 | 855 | 241 | 1096 | - | - | 250 | 10 | - | 380 | 0 | 1003 |
| 12 | 971 | 248 | 1219 | - | - | 228 | 10 | - | - | 0 | 1124 |
| 13 | 954 | 309 | 1263 | - | - | 226 | 9.5 | 544 | 303 | 0 | 1152 |
| 14 | 1503 | 234 | 1737 | - | - | 252 | 9 | - | 355 | 0 | 983 |
| 15 | 1559 | 356 | 1915 | - | - | 170 | 10.5 | - | 377 | 0 | - |

جدول (4) نتائج تجارب إزالة عسارة المياه باستخدام كربونات الصوديوم وكلوريد الحديد

| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/l] | الحديد [mg/l] | الكبريتات [mg/l] | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | خصائص المياه الخامية وسطياً | | | | |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|------------------------|--|---|---|------------------|---------------|------------|------|
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | 690 | | | | | |
| جرع المواد الكيميائية [mg/l] | | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | | | |
| رقم العينة | كربونات الصوديوم | مجموع الكلوكس وكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/l] | الحديد [mg/l] | TDS [mg/l] | |
| 1 | 408 | - | 408 | 30 | - | 350 | 7 | 568 | 468 | 0.05 | 900 |
| 2 | 938 | - | 938 | 67 | - | 286 | 9 | 900 | 424 | 0.12 | 1104 |
| 3 | 1225 | - | 1225 | 169 | - | 266 | 9.5 | 1164 | 433 | 0.17 | 1277 |

جدول (5) نتائج تجارب إزالة عسارة المياه باستخدام كربونات الصوديوم والكلوكس وكلوريد الحديد

| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/l] | الحديد [mg/l] | الكبريتات [mg/l] | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | خصائص المياه الخامية وسطياً | | | |
|------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------|------------------------|--|---|---|------------------|---------------|------------|
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | 690 | | | | |
| جرع المواد الكيميائية [mg/l] | | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | | |
| رقم العينة | كربونات الصوديوم | مجموع الكلوكس وكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/l] | الحديد [mg/l] | TDS [mg/l] |
| 1 | 210 | 80 | 290 | 22 | - | 355 | 8 | - | - | - |

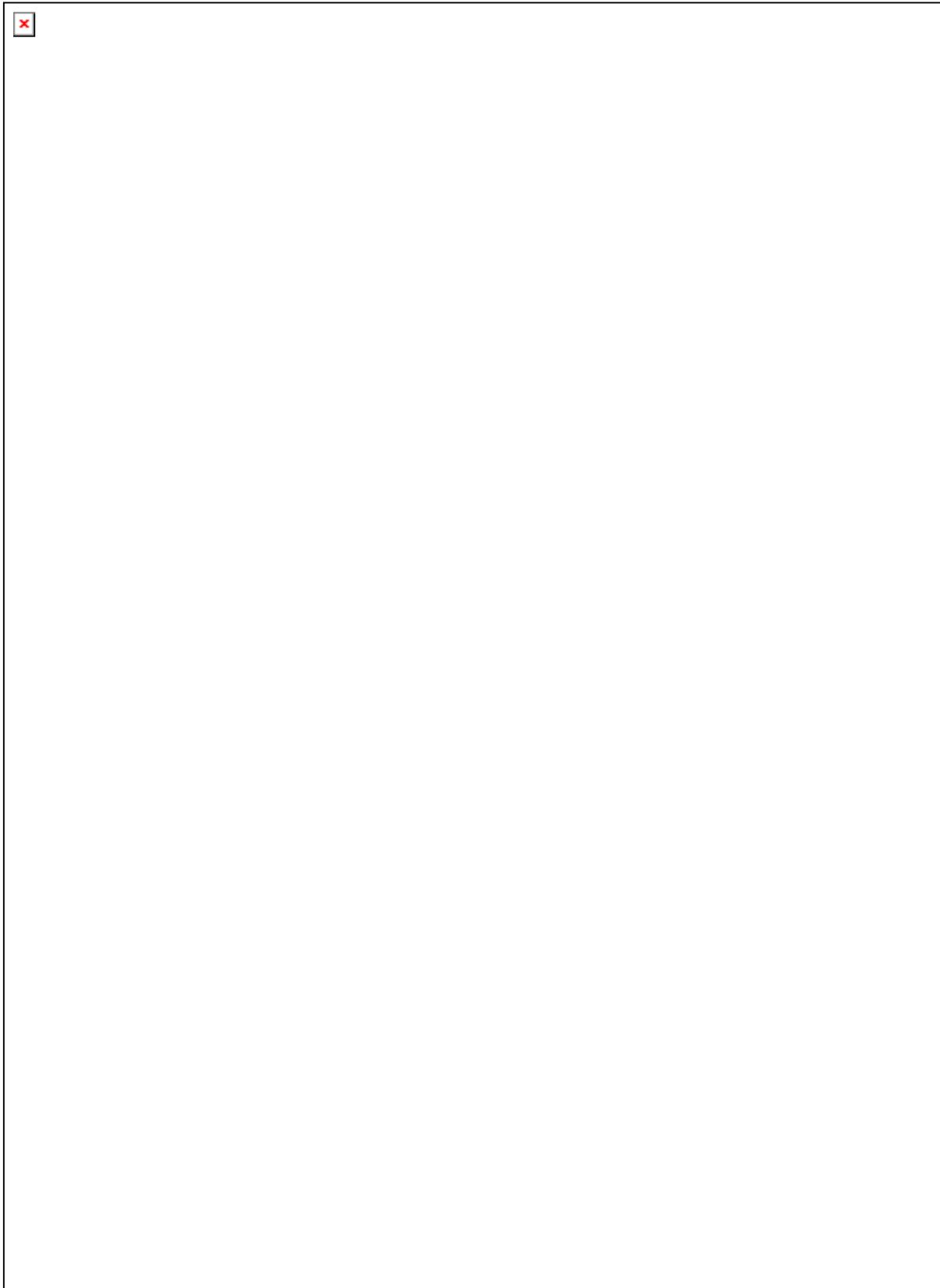
| | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|------|-----|---|-----|-----|-----|------|-----|-------|------|
| 2 | 346 | 85 | 431 | 49 | - | 410 | 317 | 8.5 | 268 | 443 | 0.2 | 833 |
| 3 | 433 | 110 | 543 | 182 | - | 320 | 295 | 9 | 684 | 411 | 0.157 | 1008 |
| 4 | 462 | 182 | 644 | 40 | - | 230 | 249 | 9 | 530 | 445 | 0.18 | 914 |
| 5 | 755 | 126 | 881 | 103 | - | 300 | 262 | 9 | 450 | 405 | 0.1 | 955 |
| 6 | 717 | 265 | 982 | 60 | - | 201 | 215 | 9 | 412 | 425 | 0.05 | 1005 |
| 7 | 957 | 76 | 1033 | 35 | - | 256 | 276 | 10 | 360 | 395 | 0.08 | 971 |
| 8 | 1056 | 282 | 1338 | 108 | - | 180 | 195 | 9.5 | 620 | 337 | 0.08 | 1313 |
| 9 | 1322 | 127 | 1449 | 15 | - | 242 | 249 | 10 | 600 | 386 | 0.04 | 1305 |
| 10 | 1445 | 75 | 1520 | 297 | - | 222 | 267 | 10 | 1412 | 344 | 0.13 | 1200 |
| 11 | 1688 | 207 | 1895 | 25 | - | 192 | 224 | 11 | 788 | 310 | 0.06 | 1649 |

جدول (6) نتائج تجارب إزالة عسارة المياه باستخدام كربونات الصوديوم والكلس والنشاء

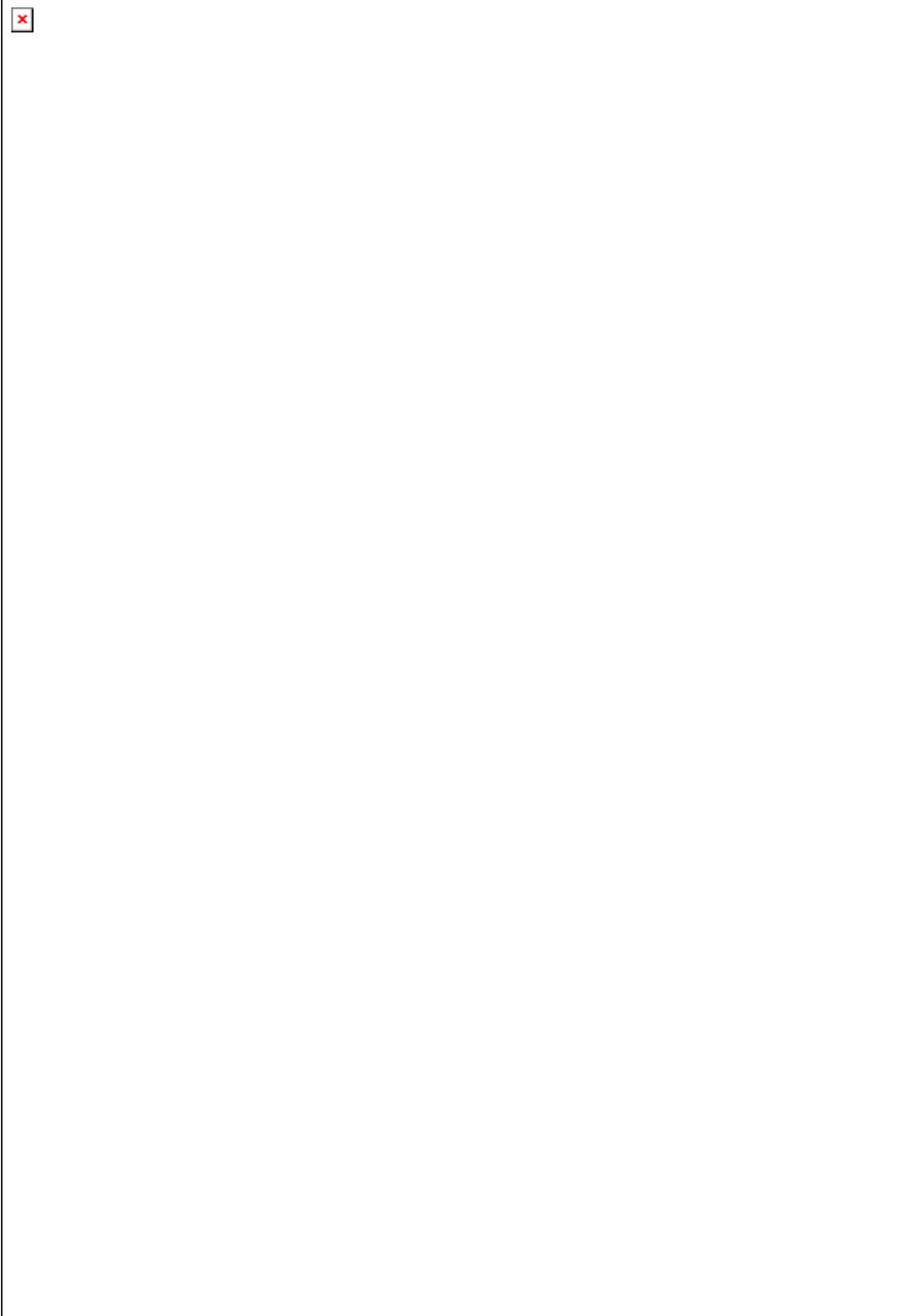
| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/l] | الحديد [mg/l] | الكبريتات [mg/l] | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | خصائص المياه الخامية وسطيًا | | | | | |
|-------------------|------------------------------|------------|--------------------------------------|------------------|---|--------------------------------------|---|-----|---|------------------|---------------|------------|
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | 690 | | | | | | |
| رقم العينة | جرع المواد الكيميائية [mg/l] | | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | | | |
| | كربونات الصوديوم | الكلس | مجموع كلوريد الكلس وكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/l as CaCO ₃] | العسارة الحسابية [mg/l as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/l as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/l] | الحديد [mg/l] | TDS [mg/l] |
| 1 | 410 | 97 | 507 | - | 33 | 352 | 307 | 8 | 302 | - | - | - |
| 2 | 410 | 249 | 656 | - | 33 | 284 | 246 | 8.5 | 160 | - | 0 | 757 |
| 3 | 619 | 199 | 818 | - | 5 | 241 | 228 | 9 | 192 | - | 0 | 823 |
| 4 | 703 | 156 | 859 | - | 6 | 266 | 248 | 9 | 136 | 319 | 0 | 803 |
| 5 | 723 | 213 | 936 | - | 25 | 260 | 223 | 9 | 176 | - | - | 843 |
| 6 | 751 | 230 | 981 | - | 62 | 324 | 216 | 8 | 208 | 490 | 0 | 817 |
| 7 | 1087 | 82 | 1169 | - | 32 | 262 | 270 | 9.5 | 580 | 256 | 0 | 1233 |

جدول (7) نتائج تجارب إزالة عسارة المياه باستخدام كربونات الصوديوم والكلس وكلوريد الحديد والنشاء

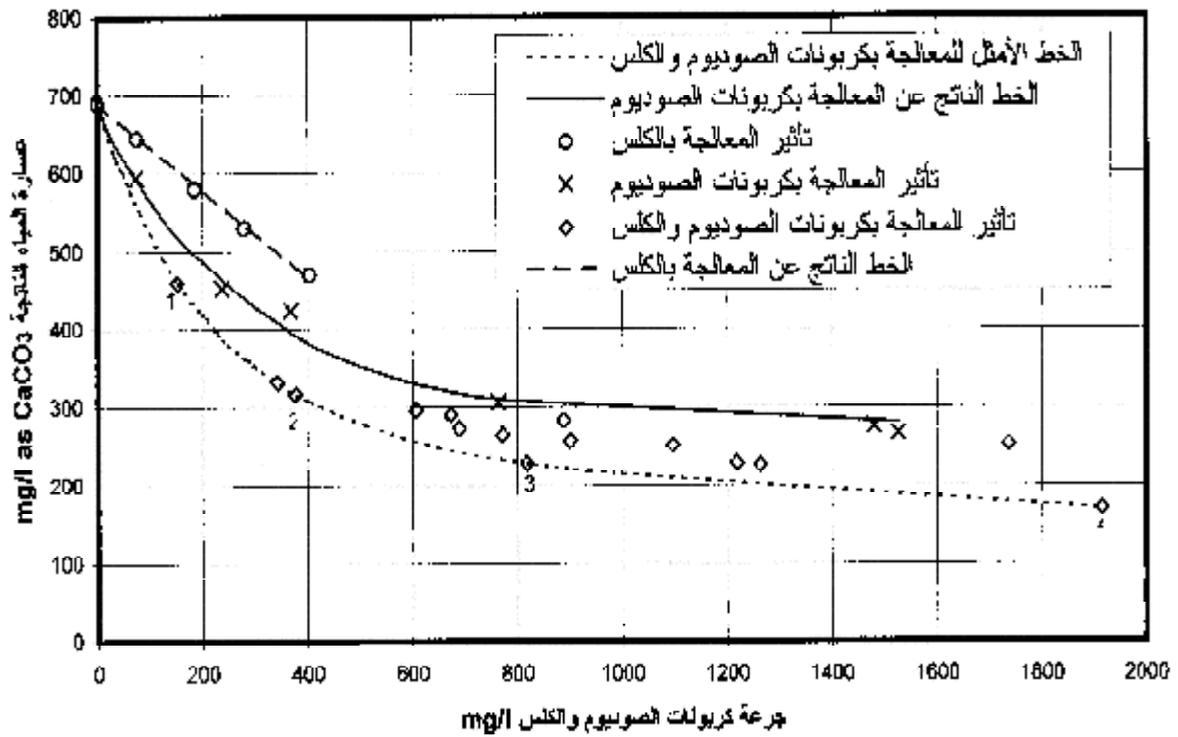
| درجة الحرارة [°C] | pH | TDS [mg/ℓ] | الحديد [mg/ℓ] | الكبريتات [mg/ℓ] | القلوية العامة [mg/ℓ as CaCO ₃] | العسارة [mg/ℓ as CaCO ₃] | خصائص المياه الخامية وسطياً | | | | | |
|-------------------|------------------------------|------------|-------------------------------|------------------|---|--------------------------------------|---|-----|---|------------------|---------------|------------|
| 33 | 6.5 | 750 | 0 | 485 | 388 | 690 | | | | | | |
| رقم العينة | جرع المواد الكيميائية [mg/ℓ] | | | | | | مواصفات المياه الناتجة | | | | | |
| | كربونات الصوديوم | الكلس | مجموع الكلس وكربونات الصوديوم | كلوريد الحديد | النشاء | العسارة [mg/ℓ as CaCO ₃] | العسارة الحسابية [mg/ℓ as CaCO ₃] | pH | القلوية العامة [mg/ℓ as CaCO ₃] | الكبريتات [mg/ℓ] | الحديد [mg/ℓ] | TDS [mg/ℓ] |
| 1 | 159 | 104 | 263 | 135 | 7 | 464 | 404 | 7 | 416 | 470 | 0.21 | 811 |
| 2 | 260 | 45 | 305 | 40 | 9 | 484 | 402 | 8 | 368 | 464 | 0.12 | 866 |
| 3 | 280 | 130 | 410 | 31 | 7 | 285 | 304 | - | - | - | - | - |
| 4 | 280 | 195 | 475 | 28 | 23 | 300 | 286 | 8.5 | 328 | 392 | 0.05 | 765 |
| 5 | 433 | 64 | 497 | 202 | 10 | 424 | 327 | 7.5 | 620 | 441 | 0.24 | 938 |
| 6 | 462 | 98 | 560 | 94 | 9 | 390 | 298 | 8 | 216 | 400 | 0.12 | 920 |
| 7 | 367 | 209 | 576 | 36 | 23 | 270 | 260 | 8 | 348 | 352 | 0.04 | 794 |
| 8 | 542 | 93 | 635 | 50 | 15 | 185 | 288 | 9 | 254 | 373 | 0.08 | 828 |
| 9 | 566 | 93 | 659 | 68 | 5 | 190 | 285 | 9 | 290 | 365 | 0.15 | 841 |
| 10 | 612 | 198 | 810 | 35 | 5 | 170 | 229 | - | - | - | - | - |
| 11 | 624 | 204 | 828 | 24 | 56 | 292 | 227 | 9.5 | 284 | 410 | 0.1 | 817 |
| 12 | 772 | 74 | 846 | 36 | 14 | 180 | 281 | 9 | - | 345 | 0.05 | 834 |
| 13 | 780 | 75 | 855 | 47 | 3 | 240 | 269 | 9 | 399 | 323 | 0.07 | 886 |
| 14 | 763 | 107 | 870 | 86 | 4 | 272 | 266 | 9 | 388 | 414 | 0.1 | 884 |
| 15 | 747 | 139 | 886 | 15 | 12 | 256 | 255 | 9 | 254 | 383 | 0.07 | 864 |
| 16 | 982 | 14 | 996 | 358 | 8 | 324 | 294 | 8 | 968 | 416 | 0.54 | 1153 |
| 17 | 982 | 94 | 1076 | 13 | 5 | 220 | 292 | 9.5 | 480 | 346 | 0.04 | 794 |
| 18 | 1133 | 74 | 1207 | 29 | 17 | 230 | 271 | 8 | - | 371 | 0.04 | 894 |
| 19 | 1214 | 157 | 1371 | 175 | 16 | 196 | 247 | 10 | 624 | 389 | 0.148 | 837 |
| 20 | 1503 | 85 | 1588 | 209 | 8 | 246 | 255 | 10 | 776 | 355 | 0.19 | 1506 |
| 21 | 1574 | 138 | 1712 | 147 | 11 | 236 | 236 | 10 | 688 | 274 | 0.1 | 1416 |
| 22 | 1642 | 246 | 1888 | 45 | 37 | 190 | 197 | 10 | 816 | 270 | 0.04 | 1684 |



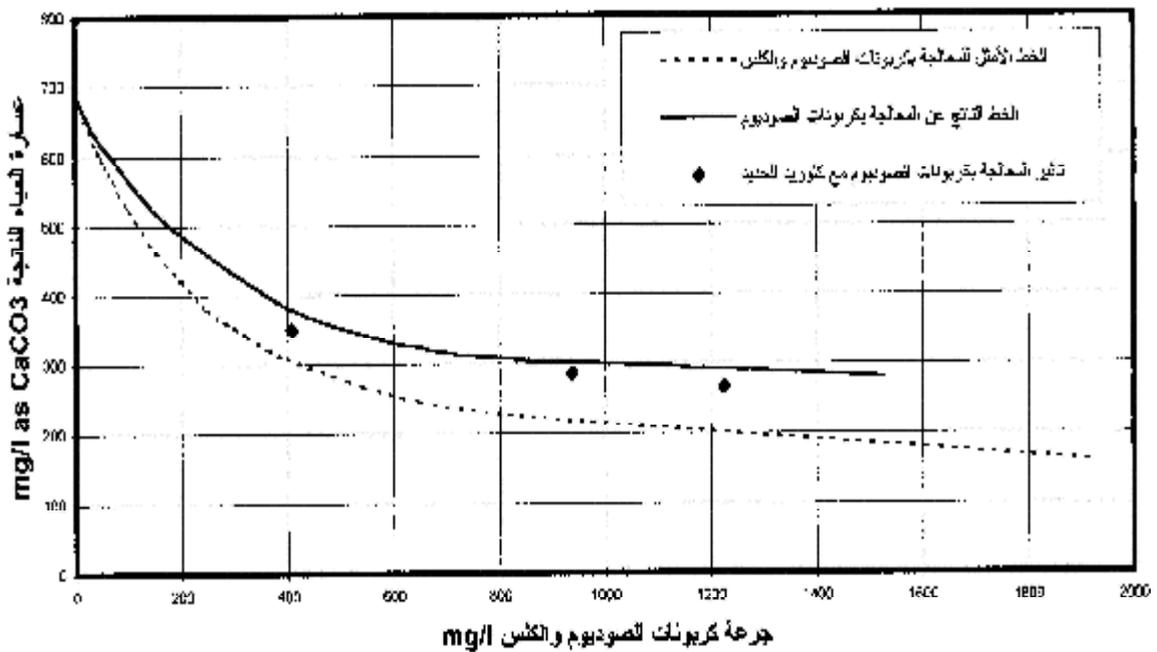
الشكل (1) - مخطط تفصيلي للمحطة التجريبية لمعالجة عسارة المياه كيميائياً



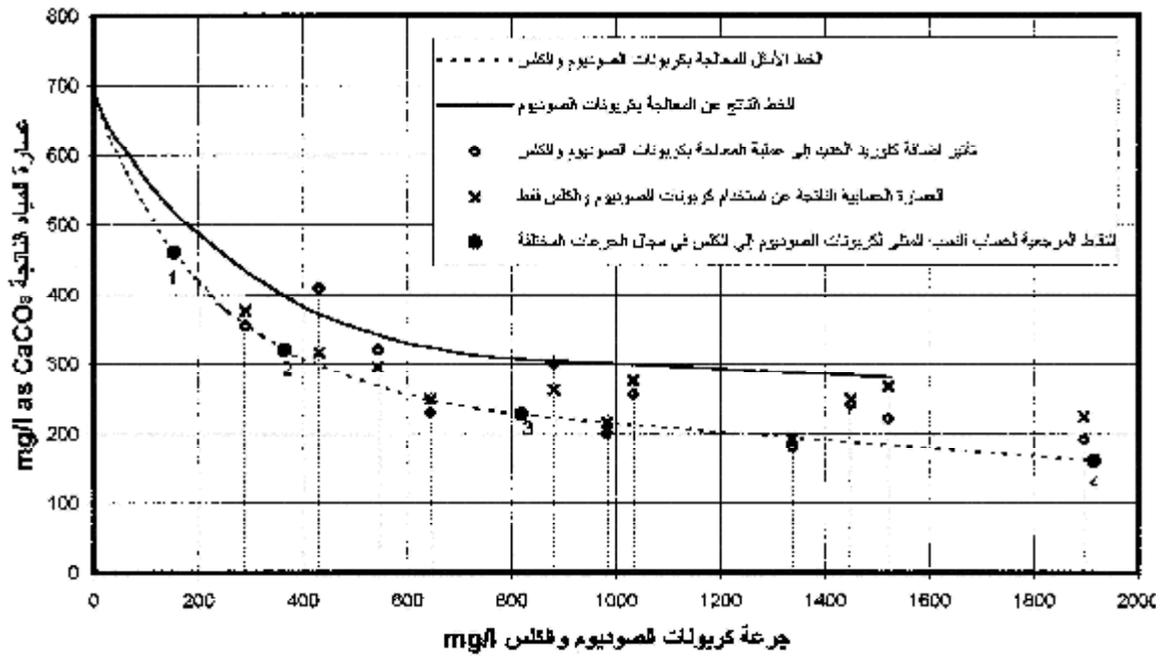
الشكل (2) - مقاطع في المحطة التجريبية لمعالجة عسارة المياه كيميائياً



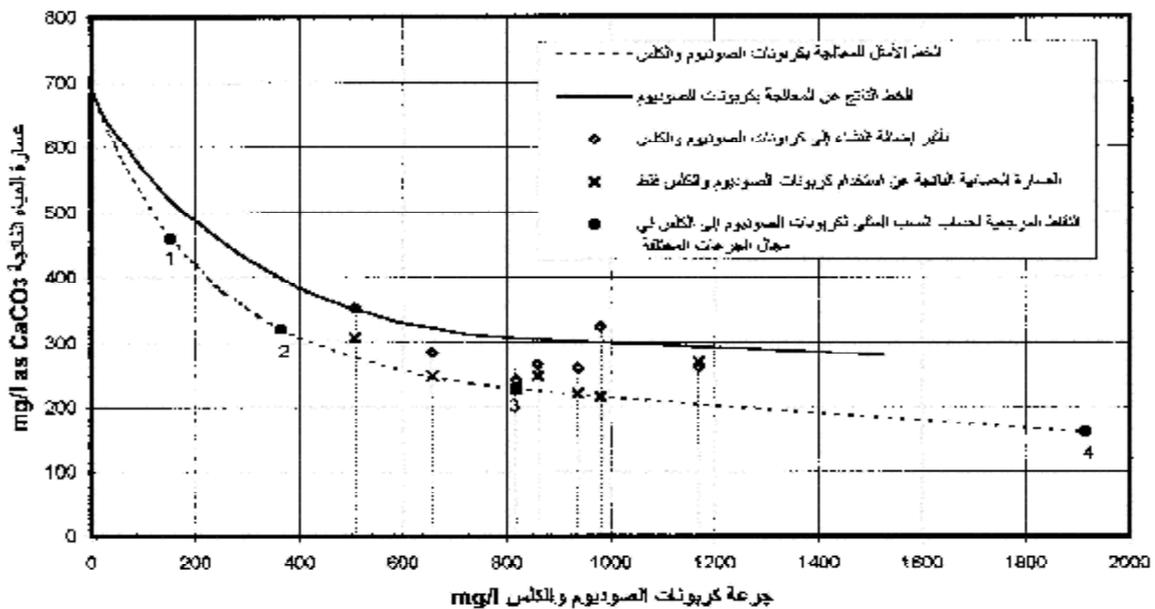
الشكل رقم 3 - تأثير إضافة الكلس أو كربونات الصوديوم أو كليهما على عسارة المياه



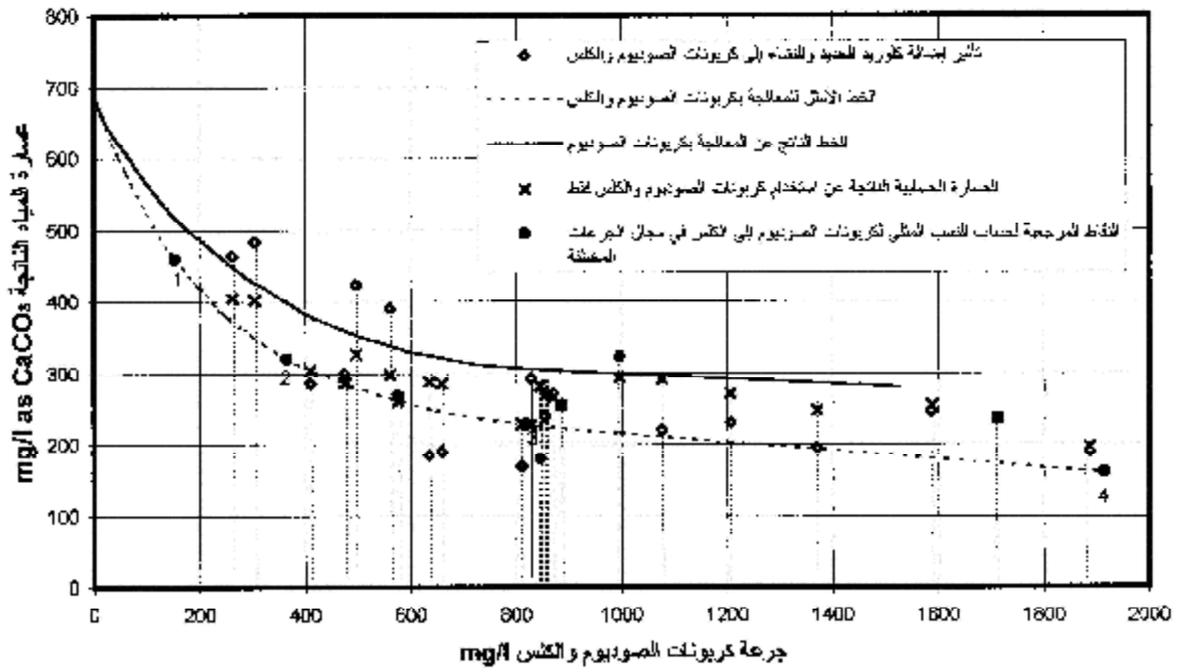
شكل رقم 4 - تأثير إضافة كلوريد الحديد إلى كربونات الصوديوم على عسارة المياه



شكل رقم 5 - تأثير إضافة كلوريد الحديد إلى الكلس و كاربونات الصوديوم على عسارة المياه



شكل رقم 6 - تأثير إضافة النشاء إلى الكلس و كاربونات الصوديوم على عسارة المياه



شكل رقم 7 - تأثير إضافة كلوريد الحديد والنشأ إلى الكلس وكربونات الصوديوم على عسارة المياه

المراجع:

-
- 1- TERENCE J.MCGHEE – **Water Supply And Sewerage**. McGraw-Hill, sixth edition, 575P.
 - 2- MARK J.HAMMER,1977 – **Water And Wastewater Technology**. John Wiley and Sons, Canada.
 - 3- G.S.BIRDIE, 1986 – **Water Supply And Sanitary Engineering**. Dhanpat Rai and Sons, Third edition, Delhi, 859P.
 - 4- V.N.SHATSKY and V.G.KAZMIN and V.V.KULAKOV,1966 - **The Geological Map of Syria –Sheets I-37-XIX,I-36-XXIV**. Ministry of Industry, Damascus.
 - 5 - ك.انتصار مارديني ، 1989 - **حالة دراسية حول القساوة الكلية لمياه الشرب في سوريا**. مسابقة جائزة باسل الأسد للبحوث العلمية الصحية.
 - 6- WHO World Health Organization ,1997- **Guidelines for Drinking-water Quality**. second edition. CEHA, Amman.
 - 7- ROBERT A.CORBITT, 1989 – **standard Handbook Of Environmental Engineering**. McGraw-Hill, Singapore.
 - 8- KENNETH D.KERRI ,1998 – **Water Treatment Plant Operation vol II**. Third edition - A field study prepared by California State University and Sacramento School of Engineering and Computer Science, California State University – Sacramento Foundation, 757P.
 - 9- ARCADIO P.SINCERO and GREGORIA A.SINCERO,1996 – **Environmental Engineering A design approach**. Prentice Hall, New Jersey, 783P.
 - 10- GEORGE TCHOBANOGLIOUS and EDWARD D.SCHROEDER, 1987 – **Water Quality**. Addison-Wesley, Canada. 750P.
 - 11- HOWARD S.PEAVY and DONALD R.ROWE and GEORGE TCHOBANOGLIOUS,1985 – **Environmental Engineering**. McGraw-Hill, Singapore ,696P.
 - 12- KENNETH D.KERRI ,1999 – **Water Treatment Plant Operation vol I**. fourth edition - A field study prepared by California State University and Sacramento School of Engineering and Computer Science, California State University – Sacramento Foundation, 673P.
 - 13- DEGRAMONT, 1991- **Water Treatment Handbook**. sixth edition, La Voisier, France.