

استخدام التهوية في إعادة الكربنة للماء بعد عملية التيسير بالجير ورماد الصودا

ليث عبد العليم العناز

قسم الهندسة المدنية - جامعة الموصل

الخلاصة

جرى في البحث التركيز على استخدام التهوية كوسيلة جديدة لإعادة الكربنة للمياه بعد عملية التيسير بالجير ورماد الصودا. أظهرت النتائج فاعلية التهوية في تحقيق إعادة الكربنة لثلاثة نماذج من المياه ذات خصائص نوعية متباينة. فبعد أن ارتفعت قيم الـ (pH) إلى (10.54,10.39,10.08) للنماذج الثلاثة على التوالي بفعل عملية التيسير بالجير ورماد الصودا جرى خفض قيم الـ (pH) إلى (8.23,8.36,8.26) للنماذج الثلاثة على التوالي خلال (60) دقيقة من عملية التهوية. وقد كان هذا الانخفاض مرتبطاً بتحول قاعدية النماذج من الهيدروكسيدات والكربونات إلى البيكربونات بفعل غاز CO_2 الذي امتصته النماذج من فقاعات الهواء المارة خلالها وقد كانت كفاءة للامتصاص للنماذج الثلاثة على التوالي (24.7,31.0,30.9)%. كما جرى في البحث إيجاد قيم الـ (pH) التي يكون عندها النموذج بعد عملية التيسير مشبعاً بكربونات الكالسيوم وهذه القيم هي (8.44,8.39,8.30) للنماذج الثلاثة على التوالي. لذلك فقد كان مؤشر لانكليس للنماذج الثلاثة موجب القيمة مما يثبت أن كربونات الكالسيوم للنماذج هو فوق مستوى الإشباع لذا فقد تم تحديد فترة التهوية اللازمة لإيصال كل نموذج إلى حالة الإشباع التي يكون عندها النموذج مستقراً وقد كانت (55.2,9.1,58.8) دقيقة للنماذج الثلاثة على التوالي.

الكلمات الدالة: طول إعادة الكربنة التهوية التيسير بالجير ورماد الصودا مؤشر لانكليس.

الكربونيك.

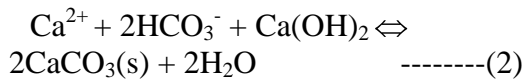
k's: ثابت الذوبان لكربونات الكالسيوم.
A1 : كمية الغاز الممتص من قبل الماء.
A2 : كمية الغاز الملامس للماء.
 γ_d : معامل الفاعلية الايونية الثنائية.
k'w : ثابت التحلل للماء
 γ_m : معامل الفاعلية الايونية الأحادية

قائمة الرموز

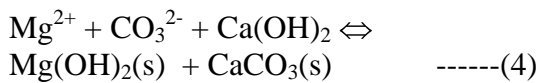
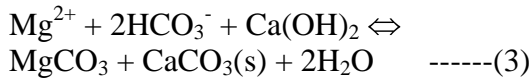
pHs :الرقم الهيدروجيني الذي يكون عنده الماء مشبعاً بـ $CaCO_3$.
pHn :الرقم الهيدروجيني للماء بعد عملية التيسير .
C: ثابت الثنائي الكهربائي للماء.
C: درجة الحرارة (درجة مئوية).
T : درجة الحرارة (كلفن).
 μ : الشدة الايونية.
k'2 : ثابت التحلل الثاني لـ $CaCO_3$

المقدمة

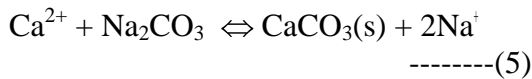
2- إزالة العسرة الكربونية الناتجة من الكالسيوم :



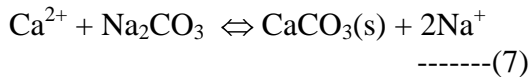
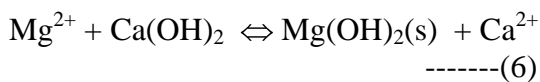
3- إزالة العسرة الكربونية الناتجة من المغنيسيوم :



4- إزالة العسرة اللاكربونية الناتجة من الكالسيوم :



5- إزالة العسرة اللاكربونية الناتجة من المغنيسيوم :



عملية إعادة الكربنة (Recarbonation)

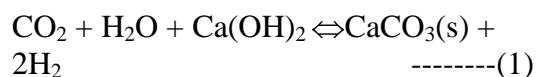
إن المياه الناتجة من عملية التيسير بالجير تعاني من تدني نوعيتها في جانبين: الأول يتمثل في بقاء قسم من كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم بشكل ذائب في الماء، ويكون كل من المركبين بحالة فوق مستوى الإشباع (supersaturation). فعند عدم إزالة هذين المركبين فإنهما سوف يترسبان فيما بعد ويعملان على تكوين ترسبات ضارة وعكورة غير مرغوبة في الماء. والجانب الثاني يتمثل في الارتفاع العالي للـ (pH) والذي قد يصل إلى (11.0). ويتم التغلب على هاتين المشكلتين من خلال عملية إعادة الكربنة

تبرز الحاجة إلى إجراء عملية التيسير نظرا للآثار السيئة الناجمة من استخدام المياه العسرة كزيادة استهلاك الصوابين وتكوين التكلسات في الأواني والمراجل البخارية وما يرافق ذلك من زيادة في استهلاك الطاقة علاوة على (أن العسرة بتركيز أكثر من (200) ملغرام/لتر قد تسبب حدوث ترسبات كلسية في أنابيب التوزيع)^[1] ويعد الكالسيوم والمغنيسيوم المسببان الرئيسيان للعسرة إذ يمثل حاصل جمع تركيزهما العسرة الكلية التي يجرى على أساسها تصنيف المياه إذ تصنف المياه حسب تركيز العسرة فيها إلى أربعة أصناف كما هو مبين في الجدول (1) .

ويوجد نوعان أساسيان من العسرة : العسرة الكربونية والعسرة اللاكربونية فعند ارتباط الكالسيوم والمغنيسيوم بالكربونات أو البيكربونات يتكون ما يعرف بالعسرة الكربونية وعند ارتباطهما مع أيون آخر كالنترات أو الكبريتات يتكون ما يعرف بالعسرة اللاكربونية^[3] . ويستخدم الجير (مع أو بدون رماد الصودا) في عملية إزالة العسرة كما يستفاد من هذه العملية في إزالة المواد العضوية الطبيعية وفي تقليل النواتج العرضية لعملية التعقيم^[4].

يجري خلال عملية التيسير إزالة كل من الكالسيوم والمغنيسيوم بتكوين كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم غير الذائبين في الماء إذ يجري فصلهما فيما بعد بعملية الترسيب وتوضح المعادلات الكيميائية التالية ما يحدث من تفاعلات أساسية عند إزالة العسرة بالجير ورماد الصودا^[5]:

1- التفاعل مع ثاني أوكسيد الكربون الذائب في الماء (يحدث في البداية قبل إزالة أي عسرة):



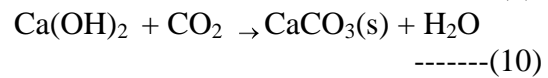
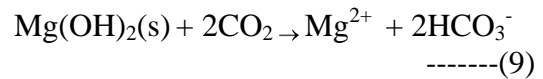
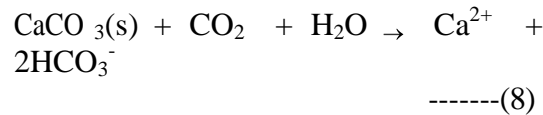
إن الطريقة الأولى تمتاز بصعوبة السيطرة عليها وتتطلب مهارة في التشغيل وتحتاج إلى صيانة عالية في حين تتطلب الطريقة الثانية اتخاذ وسائل الأمان اللازمة سواء في حاويات ثاني أكسيد الكربون نفسها (تجنباً لتسربه منها أو تعرضها للانفجار) أو في أماكن الخزن نظراً للأضرار التي يسببها ثاني أكسيد الكربون على صحة الإنسان لذلك فإن هذا البحث يهدف إلى تطبيق أسلوب جديد لعملية إعادة الكربنة وهو توفير ثاني أكسيد الكربون بعملية التهوية (aeration) وذلك لتجاوز مساوئ كل من الطريقتين واللجوء إلى مصدر أقل كلفة من غازات الاحتراق ومن ثاني أكسيد الكربون النقي ألا وهو الهواء.

إن الاستخدام الأكثر شيوعاً للتهوية في مجال معالجة مياه الفضلات هو توفير الأوكسجين للحمأة المنشطة في وحدة التهوية في حين تستخدم التهوية في مجال معالجة المياه في أغراض عديدة منها إزالة أنواعاً معينة من المواد العضوية المسببة للطعم والرائحة^[9] وفي السيطرة على التآكل بفعل الرصاص والنحاس في المياه الجوفية إذ تعد كوسيلة سهلة وغير مكلفة بدلاً من المعالجة الكيميائية^[10] كما تستخدم في إزالة الغاز المشع (الرادون) من المياه^[11] وفي إزالة الحديد والمنغنيز من المياه^[12].

أهداف البحث

- 1- التعرف على مدى إمكانية عملية التهوية في خفض قيم الـ (pH) للماء الميسر بالجير. 2- تحديد قيم الـ (pH) التي ينبغي الوصول إليها بعملية التهوية لكي يكون الماء مستقراً.
- 3- تحديد فترة التهوية المناسبة لكل نموذج للوصول إلى حالة الاستقرار.
- 4- حساب كفاءة امتصاص ثاني أكسيد الكربون من قبل النموذج.

التي يجري فيها إحداث فقاعات لغاز ثاني أكسيد الكربون في الماء إذ يعمل هذا الغاز على معادلة (OH-) الزائد وتحويل كاربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم إلى حالة البيكاربونات الذائبة لهما كما في المعادلات الكيميائية التالية^[6]:



ويتم إمرار الماء في أحواض إعادة الكربنة لفترة زمنية مناسبة يتعرض خلالها الماء إلى فقاعات ثاني أكسيد الكربون التي تنتشر في الماء بعد انبعائها من فتحات الأنابيب المتقبة المغمورة في الحوض. أما ثاني أكسيد الكربون اللازم لعملية إعادة الكربنة فيتم توفيره في محطة المعالجة بطريقتين هما :

1- توليد ثاني أكسيد الكربون موضعياً في المحطة المعالجة وذلك بحرق الغاز الطبيعي أو زيت الغاز أو البيوتان أو البروبان في محرقة خاصة أحد صورها هو حجرة للحرق يتم إنشاؤها أسفل حوض إعادة الكربنة (underwater burner) إذ يجري في هذه الحجرة حرق مزيج من الغاز والهواء الذي يتم دفعه بواسطة ضاغط لأمرار غازات الاحتراق خلال الحوض^[8].

2- تجهيز المحطة بأسطوانات أو خزانات خاصة معبأ فيها ثاني أكسيد الكربون بحالة نقية إذ يجري إيصاله إلى حوض إعادة الكربنة أما بشكل سائل أو بشكل غاز بواسطة وحدة للتغذية تقوم بتنظيم ضغط وتصريف ثاني أكسيد الكربون الداخل إلى الحوض.

مواد وطرق البحث

جرى في البحث جمع ثلاثة نماذج من المياه :
نموذج (1) مياه إسالة من مدينة الموصل
نموذج (2) مياه جوفية من ناحية بعشيقه نموذج (3)
مياه جوفية من ناحية برطلة وجرى تعريض كل
نموذج إلى عملية التيسير بالجير (هيدروكسيد
الكالسيوم) ورماد الصودا (كربونات الصوديوم)
وذلك بتطبيق مراحل المعالجة الكيميائية المعروفة
باستخدام جهاز فحص الجرة (Jar-test) .

وقد اشتملت عملية التيسير على: (عملية مزج
سريع لمدة خمس دقائق بعد إضافة المخثر وذلك
لإذابته بشكل كامل ونشره في جميع أجزاء الجسم
المائي لتبدأ التفاعلات الكيميائية ثم عملية مزج بطيء
لمدة 40 دقيقة لإكمال التفاعلات الكيميائية وتكوين
اللبادات القابلة للتسريب ثم ترك النموذج لمدة
ساعتين لتترسب خلالها اللبادات المتكونة^[13] . بعد
ذلك تم أخذ الجزء الرائق من النموذج وسكبه في
اسطوانة زجاجية وتعريضه لعملية التهوية من خلال
ناشر (diffuser) في أسفلها تنبعث فقاعات الهواء
منه لتمر عبر النموذج. والناشر عبارة عن كرة
اصطناعية مسامية تتصل بأنبوبة بلاستيكية تتصل
بدورها بضغط للهواء يقوم بدفع الهواء إلى الناشر.
وقد تم إجراء الفحوصات المختبرية (درجة الحرارة -
pH -القاعدية -العسرة الكلية -عسرة الكالسيوم -
عسرة المغنيسيوم -CO₂) لكل نموذج قبل عملية
التيسير وبعدها وخلال كل (30) دقيقة من
عملية التهوية وفقا للإجراءات المعتمدة في
(الطرق القياسية)^[14] .

حساب جرعة الجير ورماد الصودا في عملية التيسير:

إن جرعة الجير ورماد الصودا التي إن جرعة
الجير ورماد الصودا التي ينبغي إضافتها في عملية
التيسير إلى الماء العسر يتم حسابها وفقا للمعادلات

الكيميائية من (1) إلى (7) المبينة في مقدمة البحث
ويمكن تلخيص طريقة حساب الجرعة في الخطوات
التالية^[15]:

أولاً: قياس تركيز ثاني أوكسيد الكربون
والبيكاربونات والعسرة الكلية وعسرة المغنيسيوم
في النموذج وتحويلها إلى مايكافوها من كربونات
الكالسيوم (CaCO₃) .

ثانياً: حساب جرعة الجير وتساوي حاصل جمع
تركيز كل من ثاني أوكسيد الكربون
والبيكاربونات والمغنيسيوم الزائد عن الـ (40)
ملغرام/لتر كـ (CaCO₃) .

ثالثاً: إضافة جرعة زائدة من الجير بمقدار يعتمد
على تركيز المغنيسيوم في النموذج كما في
الجدول (2) .

رابعاً: إيجاد العسرة اللاكاربونية وذلك بطرح
العسرة الكربونية التي تمثل تركيز البيكاربونات
من العسرة الكلية.

خامساً: حساب جرعة رماد الصودا فهي تساوي
العسرة اللاكاربونية مطروحا منها ما يمكن
إبقائه منها فعملية التيسير لايمكنها إزالة العسرة
بشكل كامل من الماء العسر إذ عادة ما يتبقى
جزء منها في الماء والذي يقدر بـ (40)
ملغرام/لتر كـ (CaCO₃) . فإذا كان من المرغوب
فيه خفض العسرة الكلية إلى (80) ملغرام/لتر
كـ (CaCO₃) فإن نصف هذا التركيز هو المتبقي
في الماء بعد عملية التيسير أما النصف الآخر
فيمكن إبقائه وعدم إزالته من العسرة اللاكاربونية.

سادساً: تحويل جرعة الجير ورماد الصودا من
التركيز المكافئ للـ (CaCO₃) .

سابعاً: تثبيت مقدار جرعة الجير التي ينبغي إضافتها
بقسمة القيمة المحسوبة من الخطوة السابقة على
نسبة ما يمثل الجير Ca(OH)₂ فعليا من المادة
المضافة وكذلك الحال بالنسبة لرماد الصودا.

حساب قيمة مؤشر الإشباع

(Saturation index) :

إن التفاعلات المبينة في المعادلات الكيميائية من (1) إلى (7) تجعل من تركيز كاربونات الكالسيوم في الماء بعد عملية التيسير فوق مستوى الإشباع مما يعرض الأنابيب الناقلة لهذه المياه إلى نقصان الحجم الفعال لها واحتمال انسدادها بسبب قابلية كاربونات الكالسيوم على الترسيب. وقد وجد لانكلير طريقة تبين مدى قابلية الماء على ترسيب أو إذابة كاربونات الكالسيوم وذلك من معرفة قيمة مؤشر يتم حسابه يسمى بمؤشر لانكلير للإشباع (Langelier Saturation index) ويرمز له (SI).

إن الماء الحاوي على الكالسيوم والبيكاربونات يكون مشبعًا بكاربونات الكالسيوم عند قيمة تسمى بـ (pH) الإشباع ويرمز لها (pHs) ويمثل مؤشر لانكلير للإشباع قيمة الـ (pH) الفعلية للماء مطروحا منه قيمة الـ (pHs) فإذا كان مقدار المؤشر سالبا فإن ذلك يشير إلى ميل الماء على إذابة كاربونات الكالسيوم وإذا كان موجبا فإنه يشير إلى ميل الماء على ترسيب كاربونات الكالسيوم. وتكون القيمة الموجبة القليلة للمؤشر مترافقة مع ظروف عدم التآكل إذ تترسب عندها طبقة رقيقة من كاربونات الكالسيوم تحمي الأنبوب من التآكل في حين تدل القيمة السالبة على إمكانية حدوث تآكل للأنبوب^[16].

يتم إيجاد قيمة الـ (pHs) للنموذج بعد عملية التيسير بالجير ورماد الصودا بتطبيق المعادلات الرياضية [من (11) إلى (21)] التالية إذ يتم قياس كل من (القاعدية الكلية - الكالسيوم - pH - درجة الحرارة - المواد الصلبة الذائبة الكلية) للنموذج ثم يتم حساب ثابت التحلل للماء (k'w) وثابت التحلل الثاني لحامض الكربونيك

(k's) وثابت الذوبان لكاربونات الكالسيوم (k'2)^[16]:

$$e = 60954 / (C + 389) - 68.937 \quad \text{---(11)}$$

$$A = 1.825 * 10^6 (e * T)^{-1.5} \quad \text{---(12)}$$

$$\log(\gamma_m) = -A * (\mu^{0.5} / (1 + \mu^{0.5}) - 0.2 * \mu) \quad \text{---(13)}$$

$$\log(\gamma_d) = 4 * \log(\gamma_m) \quad \text{---(14)}$$

$$\log(k'w) = 6.0846 - 4471.33 / T - 0.017053 * T - 2 * \log(\gamma_m) \quad \text{---(15)}$$

$$\log(k'2) = 6.498 - 2902.39 / T - 0.02379 * T - \log(\gamma_d) \quad \text{---(16)}$$

$$\log(k's) = 13.87 - 3059 / T - 0.04035 * T - 2 * \log(\gamma_d) \quad \text{---(17)}$$

وعند الـ (pHs) يكون :

$$k's = k'2 [Ca] * [HCO_3] / [Hs] \quad \text{---(18)}$$

إن تركيز البيكاربونات هو دالة للـ (pH) والقاعدية:

$$[HCO_3] = ([Alk] - [OH] + [Hs]) / (1 + 2 * k'2 / [Hs]) \quad \text{---(19)}$$

ومن ربط المعادلتين (18) و (19) واستخدام طريقة المحاولة والخطأ يمكن إيجاد [Hs] فيصبح بالإمكان عندئذ إيجاد pHs من المعادلة:

$$pHs = -\log [Hs] - \log(\gamma_m) \quad \text{---(20)}$$

وأخيرا يحسب مؤشر لانكلير للإشباع من المعادلة:

$$SI = pHn - pHs \quad \text{---(21)}$$

اذ يمثل ال (pHn) الرقم الهيدروجيني للنموذج بعد عملية التيسير .

النتائج والمناقشة

تباينت الخصائص النوعية للنماذج التي شملها البحث فقيم الـ (pH) وتركيز كل من القاعدية وعسرة الكالسيوم والمغنيسيوم والمواد الصلبة الكلية اختلفت من نموذج إلى آخر إلا أن العسرة الكلية لكل نموذج من النماذج الثلاثة كانت بمستوى تطلب الأمر معه إجراء عملية التيسير عليه لتحويله إلى ماء يسر أو معتدل العسرة فالنموذج (1) من النوع (العسر) والنموذجين الآخرين من النوع (العسر جدا). ويبين الجدول (3) الخصائص النوعية للنماذج الثلاثة من المياه.

وقد أدى التباين في الصفات النوعية للنماذج إلى اختلاف جرعة الجير وجرعة رماد الصودا اللتان جرى أضافتهما إلى النماذج الثلاثة وكما مبين في الجدول (4) إذ تم حساب الجرعة (وفقاً للخطوات المبينة سابقاً) لتحقيق عملية التيسير. ويمكن توضيح تطبيق هذه الخطوات من خلال اخذ النموذج (1) كمثال.

أولاً: تحديد تركيز كل من (CO_2) و (HCO_3^-) و (Mg^{+2}) للنموذج .

ثانياً: جرعة الجير = تركيز (CO_2) + تركيز (HCO_3^-) + تركيز (Mg^{+2}) الزائد عن (40) ملغرام/لتر كـ $(CaCO_3)$.

جرعة الجير = $10 + 115.28 + 136.28 = 261.56$ ملغرام/لتر كـ $(CaCO_3)$.

ثالثاً: جرعة الجير الزائدة (جدول 2) = 20 ملغرام/لتر كـ $(CaCO_3)$.

رابعاً: العسرة اللاكاربونية = العسرة الكلية - العسرة الكربونية التي تمثل تركيز (HCO_3^-) .

العسرة اللاكاربونية = $160 - 115.28 = 44.72$ ملغرام/لتر كـ $(CaCO_3)$.

خامساً: جرعة رماد الصودا = العسرة اللاكاربونية - العسرة الممكن إبقاؤه منها .

سادساً: تحويل الجرعة من التركيز المكافئ للـ $(CaCO_3)$ فتصبح:

جرعة الجير الكلية = 115.64 ملغرام/لتر .
جرعة رماد الصودا = 5 ملغرام/لتر .

سابعاً: إن نسبة مايمثله الجير فعلياً من المادة المضافة (0.774) لذا فإن الجرعة المضافة إلى النموذج (1) هي (149.41) ملغرام/لتر.

إن نسبة مايمثله رماد الصودا فعلياً من المادة المضافة (0.88) لذا فإن الجرعة المضافة إلى النموذج (1) هي (5.68) ملغرام/لتر.

لقد ارتفعت قيم الـ (pH) لكل نموذج بعد عملية التيسير إلى أكثر من (10) إذ بلغت (10.08) للنموذج (1) و (10.39) للنموذج (2) و (10.54) للنموذج (3) . ومن هذه القيم يلاحظ ارتفاع قيمة الـ (pH) للنماذج مع زيادة جرعة الجير المضافة إلا أن ذلك لا يرتبط بالتحديد مع تركيز العسرة الكلية للنموذج قبل التيسير فالعسرة الكلية للنموذج (3) كان أقل مما هو عليه للنموذج (2) ومع ذلك فإن جرعة الجير المضافة للنموذج (3) كانت أكثر من الجرعة المضافة للنموذج (2) وبالتالي كانت قيمة الـ (pH) بعد عملية التيسير للنموذج (3) أعلى من قيمة الـ (pH) للنموذج (2). إن سبب ذلك يعزى إلى أن قاعدية البيكاربونات للنموذج (3) كانت أعلى مما هي عليه للنموذج (2) وكذلك فإن عسرة المغنيسيوم للنموذج (3) أعلى من تلك للنموذج (2) إذ يزداد استهلاك الجير في عملية التيسير مع زيادة البيكاربونات والمغنيسيوم في الماء كما موضح في المعادلات الكيميائية لإزالة العسرة في مقدمة البحث.

ومعامل الفاعلية الايونية الثنائية (γ_d) وثابت التحلل للماء ($k'w$) وثابت التحلل الثاني لحامض الكربونيك ($k'2$) وثابت الذوبان لكاربونات الكالسيوم ($k's$) وفقا للمعادلات الرياضية من (11) إلى (17). وفيما يلي توضيح لكيفية إجراء الحسابات من خلال اخذ النموذج الأول كمثال ويبين الجدول (5) نتائج الحسابات للنماذج الثلاثة.

النموذج الأول كانت خصائصه بعد عملية التيسير كالآتي: درجة الحرارة = 29.2 درجة مئوية المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) = 196 ملغرام/لتر القاعدية (هيدروكسيد) = 2.64 ملغرام/لتر CaCO_3 و كاربونات = 57.76 ملغرام/لتر CaCO_3 والكالسيوم Ca^{+2} = 44.6 ملغرام/لتر CaCO_3 .

$$\epsilon = 60954 / (C + 389) - 68.937 \quad \text{-----} (11)$$

$$\epsilon = 60954 / (29.2 + 389) - 68.937 = 76.816$$

$$A = 1.825 * 10^6 (\epsilon * T)^{-1.5} \quad \text{-----} (12)$$

$$A = 1.825 * 10^6 (76.816 * (29.2 + 273))^{-1.5} = 0.516$$

$$\mu = \text{TDS} * 0.000025 = 196 * 0.000025 = 0.0049$$

$$\log(\gamma_m) = -A * (\mu^{0.5} / (1 + \mu^{0.5}) - 0.2 * \mu) \quad \text{-----} (13)$$

$$\log(\gamma_m) = -0.516 * ((0.0049)^{0.5} / (1 + (0.0049)^{0.5}) - 0.2 * (0.0049)) = -0.0332$$

$$\log(\gamma_d) = 4 * \log(\gamma_m) = 4 * (-0.0332) = -0.1328 \quad \text{-----} (14)$$

$$\log(k'w) = 6.0846 - 4471.33 / T - 0.017053 * T - 2 * \log(\gamma_m) \quad \text{-----} (15)$$

$$\log(k'w) = 6.0846 - 4471.33 / (29.2 + 273) - 0.017053 * (29.2 + 273) - 2 * (-0.0332) = -13.798$$

منتظمة من عملية التهوية إن هنالك تغاير في مكونات القاعدية مع تقدم عملية التهوية ويمكن ملاحظة ذلك من خلال الأشكال من (2) إلى (4) التي تبين تغاير نسب مكونات القاعدية الكلية مع استمرار عملية التهوية إذ يتضح منها ارتفاع نسبة الكاربونات على حساب انخفاض نسبة الهيدروكسيدات وارتفاع نسبة البيكاربونات على حساب انخفاض نسبة الكاربونات أي أن الهيدروكسيدات تتحول إلى الكاربونات مع تقدم عملية التهوية في حين تتحول الكاربونات إلى البيكاربونات.

إن انخفاض نسبة الهيدروكسيدات والكاربونات مع ارتفاع نسبة البيكاربونات بفعل عملية التهوية ومارافق ذلك من هبوط في قيم الـ (pH) يدل على حدوث التفاعلات الكيميائية (8) و (9) و (10) المتعلقة بتحول كاربونات الكالسيوم وهيدروكسيد المغنيسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم إلى بيكاربونات الكالسيوم وبما إن هذه التفاعلات لا تحصل إلا بوجود ثاني أوكسيد الكربون فمعنى ذلك إن ثاني أوكسيد الكربون قد انتقل من هواء الفقاعات المارة بالماء إلى الجسم المائي ليشترك في هذه التفاعلات وهذا ما يثبت فاعلية التهوية في إعادة الكربنة للماء بعد عملية التيسير بالجير ورماد الصودا من خلال خفضها لقيم الـ (pH) وتحقيق التفاعلات الضرورية لذلك.

إيجاد مؤشر الإشباع

كما سبق ذكره فإن مؤشر لانكلير للإشباع يعد الوسيلة التي يمكن من خلالها معرفة مدى قابلية الماء بعد عملية التيسير على ترسيب كاربونات الكالسيوم لذا فقد جرى حساب قيمة هذا المؤشر لكل نموذج وفقا للطريقة المبينة في بداية البحث إذ تم حساب : ثابت الثنائي الكهربائي (ϵ) والثابت (A) ومعامل الفاعلية الايونية الأحادية (γ_m)

$$SI = 10.08 - 8.303 = 1.77$$

إذ يمثل الـ (pHs) قيمة الرقم الهيدروجيني الذي يكون عنده النموذج حاوياً على الكالسيوم والبيكاربونات ومشبعاً بكاربونات الكالسيوم في حين يمثل الـ (pHn) الرقم الهيدروجيني للنموذج بعد عملية التيسير ويبين الجدول (6) نتائج المعادلات الرياضية الأخيرة إذ يظهر منه القيمة الموجبة لمؤشر لانكلير مما يثبت أن كاربونات الكالسيوم للنماذج الثلاثة هي فوق مستوى الإشباع [17].

إن إعادة الكربنة تجعل الماء المعامل بالجبر مستقراً وتقلل من قابليته الكامنة على تكوين الترسبات الكلسية [17] أي أن الماء الناتج من عملية التيسير يتم تحويله إلى حالة الاستقرار وذلك بتحويله من حالة فوق الإشباع بكاربونات الكالسيوم إلى حالة الإشباع بكاربونات الكالسيوم بحيث لا تكون للماء القدرة على ترسيب هذا المركب لذا يجب أن تكون قيمة مؤشر لانكلير للإشباع مساوية للصفر (أو أعلى بقليل من الصفر لإحداث ترسيب بسيط على السطح الداخلي للأنبوب لحمايته من التآكل) وكما يظهر من معادلة (21) فإنه لا يمكن تحقيق ذلك إلا بجعل قيمة الـ (pHn) مساوية لقيمة الـ (pHs) لذلك فإن عملية التهوية يجب أن تستمر إلى أن تنخفض قيمة الـ (pHn) للنموذج بحيث تصبح مساوية لقيمة الـ (pHs) له. ويمكن تحديد الفترة الزمنية اللازمة لتحقيق ذلك من تسقيط قيمة الـ (pHs) لكل نموذج على الخط المستقيم الذي يربط العلاقة بين قيم الـ (pH) للنموذج مع فترة التهوية (المحصورة بين 30 و 60 دقيقة) [شكل (1)] وقد كانت فترة التهوية المحددة للوصول إلى قيمة حد الإشباع (pHs) للنماذج (1) و (2) و (3) على التوالي هي (58.8) و (59.2) و (55.2) دقيقة.

$$\log(k'2) = 6.498 - 2902.39/T - 0.02379 \cdot T - \log(\gamma d) \quad \text{-----(16)}$$

$$\log(k'2) = 6.498 - 2902.39/(29.2+273) - 0.02379 \cdot (29.2+273) - (-0.1328) = -10.162$$

$$\log(k's) = 13.87 - 3059/T - 0.04035 \cdot T - 2 \cdot \log(\gamma d) \quad \text{-----(17)}$$

$$\log(k's) = 13.87 - 3059/(29.2+273) - 0.04035 \cdot (29.2+273) - 2 \cdot (-0.1328) = -8.180$$

بعد ذلك تم كتابة المعادلة (18) بدلالة $[HCO_3]$ ثم مساواتها مع المعادلة (19) وحساب قيمة $[Hs]$ بطريقة المحاولة والخطأ :

$$k's = k'2 [Ca] \cdot [HCO_3] / [Hs] \quad \text{-----(18)}$$

$$\begin{aligned} [HCO_3] &= k's \cdot [Hs] / k'2 \cdot [Ca] \\ [HCO_3] &= ([Alk] - [OH] + [Hs]) / (1 + 2 \cdot k'2 / [Hs]) \quad \text{-----(19)} \end{aligned}$$

بالنسبة للنموذج الأول فإن:

$$\begin{aligned} & \frac{(6.607 \cdot 10^{-9}) \cdot [Hs]}{(4.46 \cdot 10^{-4}) \cdot (6.886 \cdot 10^{-11})} = \\ & \frac{1.188 \cdot 10^{-3} - (1.592 \cdot 10^{-14}) / [Hs] + [Hs]}{1 + 2 \cdot (6.886 \cdot 10^{-11}) / [Hs]} \end{aligned}$$

$$[Hs] = 5.37 \cdot 10^{-9} \text{ mol/liter}$$

ثم جرى حساب قيمة (pHs) من المعادلة (20) أما مقدار مؤشر لانكلير للإشباع (SI) فقد تم إيجاده من المعادلة (21):

$$pHs = \log[Hs] - \log(\gamma m) \quad \text{--- -----(20)}$$

$$pHs = -\log(5.37 \cdot 10^{-9}) - (-0.0332) = 8.303$$

$$SI = pHn - pHs \quad \text{-----(21)}$$

كفاءة الامتصاص

إن كفاءة الامتصاص (absorption efficiency) أو كفاءة الانتقال (transfer efficiency) تمثل مايمتصه الماء من غاز معين نسبة إلى الغاز الملامس للماء^[7] :

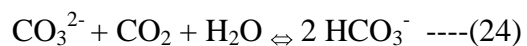
$$\text{كفاءة الامتصاص} = \frac{A_1}{A_2} * 100 \text{ ---- (22)}$$

A1 : كمية الغاز الممتص من قبل الماء .

A2 : كمية الغاز الملامس للماء .

ويتضح من المعادلة (22) أن كفاءة الامتصاص تعكس قابلية الماء على امتصاص الغاز من الحيز الهوائي الذي يتعرض له وكلما كانت كفاءة الامتصاص أعلى كلما كانت كمية الغاز المنتقل إلى الجسم المائي أكثر إذ يساهم الغاز بعد هذا الانتقال في تحقيق الغاية المرجوة منه.

ويمكن إيجاد مقدار ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل النموذج خلال فترة التهوية المحددة له وذلك من معرفة تراكيز أشكال القاعدة للنموذج بعد عملية التيسير وكذلك عند قيمة الـ (pHs) للنموذج إذ يستهلك النموذج (وكما سبق ذكره) ثاني أكسيد الكربون في تحويل الهيدروكسيدات والكربونات إلى بيكربونات إذ يمكن كتابة معادلتى التحويل بالصيغتين (23) و (24) التاليتين إذ يظهر منهما أن كل واحد ملغرام/لتر من الهيدروكسيد (كـ CaCO_3) يحتاج إلى (0.88) ملغرام/لتر CO_2 كي يتحول إلى البيكربونات في حين يحتاج كل واحد ملغرام/لتر من الكربونات (كـ CaCO_3) إلى (0.44) ملغرام/لتر CO_2 لكي يتحول إلى البيكربونات . ويبين الجدول (7) تركيز ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل كل نموذج خلال الفترة المحددة للتهوية.



كما يلاحظ من الجدول (7) بقاء جزء من الكربونات في الماء عند قيمة الـ (pHs) لأن إعادة الكربنة لا تهدف إلى تحويل الكربونات إلى بيكربونات إلا إلى الحد الذي يصبح عنده الماء متوازناً كما يلاحظ من الجدول أيضاً أن كمية ثاني أكسيد الكربون الممتص تعتمد على تركيز القاعدة الكلية المتخلفة في النموذج بعد عملية التيسير إذ تنخفض بانخفاضها وتعتمد أيضاً على مكونات هذه القاعدة فالقاعدة الكلية للنموذج (3) كانت الأقل بين النماذج الثلاثة لذلك فقد كان ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل هذا النموذج هو الأقل بين النماذج الثلاثة وعلى الرغم من أن القاعدة الكلية المتخلفة في النموذج (1) هي أعلى من القاعدة الكلية المتخلفة في النموذج (2) إلا أن تركيز ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل النموذجين متساوي تقريباً ويرجع سبب ذلك إلى التركيز العالي نسبياً للهيدروكسيد في النموذج (2) قياساً إلى تركيز الهيدروكسيد في النموذج (1) إذ يحتاج الهيدروكسيد كما ذكر أنفاً إلى ضعف ماتحتاجه الكربونات من ثاني أكسيد الكربون كي يتحول إلى بيكربونات .

أما الغاز الملامس للماء فيمثل وزن

ثاني أكسيد الكربون المار خلال النموذج أثناء فترة التهوية المحددة له ويتم إيجاده بإتباع الخطوات التالية:

1- تحديد تصريف الهواء الملامس أو المار بالنموذج : إن تصريف الهواء المار بكل نموذج هو (2248) مللتر/دقيقة وقد جرى قياسه بواسطة جهاز مختبري خاص يتم ربطه بضغط الهواء الذي يدفع الهواء إلى النموذج وبما أن حجم النموذج هو و ³⁶ لذا فإن حجم الهواء بالمت

ويتم ضخ الهواء بضغط كافي لأمراة
خلال مياه الحوض بواسطة ضاغط للهواء
(compressor) إذ يدفع الضاغط الهواء ليمر
عبر شبكة من الأنابيب تنتهي بأنابيب متقبة أو
ناشرات (diffusers) تثبت في قعر الحوض أو في
جانبه على عمق مناسب لإحداث حركة حلزونية
للماء داخل الحوض لزيادة تماس الماء مع الفقاعات
الهوائية .

اختيار أسلوب إعادة الكربنة

لعل من أهم العوامل التي تلعب دورا في اختيار
الأسلوب الأفضل لإعادة الكربنة هو الكلفة فكل
أسلوب كلفته الخاصة به التي تشمل المادة المعنية
بإعادة الكربنة وكلف الإنشاء والتشغيل والصيانة
كما ترتبط هذه الكلف بتصريف المياه المراد
معاملتها ومستوى القاعدية فيها. فإعادة الكربنة بثاني
أكسيد الكربون المجهز بالاسطوانات أو إعادة
الكربنة بثاني أكسيد الكربون الناتج من الحرق
الموقعي يتضمن تطبيق أي منهما كلف عديدة منها:

1- كلفة المادة اللازمة لإعادة الكربنة (ثاني أكسيد
الكربون المجهز أو وقود الحرق).

2- كلفة نقل المادة.

3- كلفة موقع خزن المادة.

4- كلف تدابير السلامة والأمان في موقع الخزن
أو في حاويات المادة فالوقود سريع الاشتعال
وثاني أكسيد الكربون ذو أضرار صحية.

كما تتغير الكلف الأنفة الذكر من بلد إلى
آخر ومن موقع إلى آخر ومن محطة إلى أخرى
فكلفة المادة في البلد المنتج لها تكون اقل من كلفتها
في البلد الذي يستوردها وكلف نقل المادة لمحطة
صغيرة قريبة من موقع إنتاج المادة اقل بكثير من
كلف النقل لمحطة كبيرة بعيدة عن موقع إنتاج
المادة وتختلف كلفة الأرض اللازمة لإنشاء موقع
خزن المادة باختلاف حجم المحطة وبعدها عن

المكعب المار خلال متر مكعب من النموذج في
الساعة الواحدة هو (134.8) م³/م³.ساعة.

2- إيجاد حجم الهواء المار بالنموذج (حجم النموذج
واحد لتر) بضرب تصريف الهواء المار
بالنموذج في فترة التهوية المحددة .

3- إيجاد حجم ثاني أكسيد الكربون المار بالنموذج
بضرب حجم الهواء في (0.000373) (إذ أن
تركيز ثاني أكسيد في الهواء الجوي يساوي
373 جزء بالمليون (ppm))^[19] .

4- إيجاد عدد مولات ثاني أكسيد الكربون من
قانون الغاز المثالي^[20] .

5- إيجاد وزن ثاني أكسيد الكربون بضرب عدد
مولاته في الوزن الجزيئي.

$$\text{عدد مولات الغاز} = \frac{\text{حجم الغاز (لتر)} * \text{الضغط المطلق (kPa)}}{\text{درجة الحرارة (K)} * 101.31 * 0.082} \quad (25)-----$$

إن كمية ثاني أكسيد الكربون المار بالنموذج خلال
الفترة المحددة للتهوية مبينة بالجدول (8) كما يبين
الجدول (8) أيضا كفاءة الامتصاص الذي جرى
حسابه من تطبيق المعادلة الرياضية (22) إذ يظهر
حدوث امتصاص لاقل من ثلث ثاني أكسيد
الكربون المار بالنموذج.

أما حوض إعادة الكربنة فعادة ما يكون
بعمق من (3) إلى (5) م^[13] وهو يماثل عمق
حوض التهوية الذي يعتمد على نشر الهواء داخل
الحوض عن طريق توليد الفقاعات الهوائية^[21]
أما طول الحوض فيكون كافيا لمكوث الماء به خلال
فترة التهوية المحددة له إذ أن حجم الحوض =
تصريف الماء المار بالحوض x فترة مكوث الماء
بالحوض (فترة التهوية).

2- كانت نسبة CO_2 الممتص أو المنتقل من الفقاعات الهوائية إلى النموذج اقل من ثلث CO_2 المار خلال النموذج فقد كانت كفاءة الامتصاص للنماذج الثلاثة على التوالي (24.7,31.0,30.9) %.

3- تم حساب قيمة حد الإشباع بكاربونات الكالسيوم (pHs) لكل نموذج بعد عملية التيسير وهو الحد الذي يكون الماء عنده في حالة استقرار وتوازن بكاربونات الكالسيوم وهذه القيم هي (8.44,8.39,8.30) للنماذج الثلاثة على التوالي.

4- كان مؤشر لانكلير للنماذج الثلاثة موجب القيمة مما يثبت أن كاربونات الكالسيوم للنماذج هو فوق مستوى الإشباع.

5- لجعل كل نموذج مستقرا بحيث يكون مؤشر لانكلير مساويا للصفر فيجب أن تستمر عملية التهوية إلى أن يتم الوصول إلى قيمة حد الإشباع للنموذج وقد تم تحديد فترة التهوية اللازمة لإيصال النماذج الثلاثة إلى حالة الاستقرار ب (55.2,59.1,58.8) دقيقة على التوالي.

6- إن كمية ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل الماء أثناء عملية التهوية تعتمد على تركيز القاعدية الكلية المتخلفة في الماء بعد عملية التيسير إذ تنخفض بانخفاضها وتعتمد أيضا على مكونات هذه القاعدية وخصوصا الهيدروكسيد إذ يحتاج الهيدروكسيد إلى ضعف ماتحتاجه الكاربونات من ثاني أكسيد الكربون كي يتحول إلى بيكاربونات .

التوصيات

1- إن اختيار الأسلوب الأمثل لإعادة الكربنة يعتمد بالدرجة الأساس على كلفة الأسلوب ويمكن أن تكون التهوية هي البديل المناسب عن أسلوب حرق الوقود أو أسلوب تجهيز CO_2 النقي نظرا لتوفر الهواء وعدم حاجته إلى نقل أو أماكن خزن أو وسائل أمان.

المواقع الحضرية. وعلاوة على ذلك فإن هنالك ضياع لجزء من المادة ناتج عن تسرب قسم من ثاني أكسيد الكربون بعد مروره بالماء بسبب عدم امتصاصه بشكل كامل باستثناء حالة ثاني أكسيد الكربون السائل.

أما أسلوب إعادة الكربنة بالتهوية فلا تتضمن مفردات كلفه الفقرات المذكورة أعلاه فالهواء متوفر في كل مكان وبدون ثمن ولا يحتاج إلى نقل أو أماكن خزن أو وسائل أمان لكن عملية التهوية في الوقت نفسه تحتاج إلى بقاء الماء في حوض التهوية فترة زمنية أطول من تلك التي يتطلبها الأسلوبين الآخرين وبالتالي تحتاج إلى حوض أكبر . لذا ينبغي دراسة كل أسلوب على حده قبل اتخاذ القرار باختيار الأسلوب الأفضل اقتصاديا على ضوء الإمكانيات المادية المتوفرة وبما يعمل على رفع المستوى النوعي للمياه بعد عملية التيسير بالجبر وذلك لتجاوز المشاكل التي تسببها في الأنابيب فضلا عن القيم المرتفعة للـ (pH) والتي تحد من استخدام المياه للأغراض المختلفة المنزلية والصناعية والزراعية.

الاستنتاجات

1- أثبتت التهوية فاعليتها في إعادة الكربنة للمياه بعد عملية التيسير فقد جرى خفض قيم الـ (pH) لثلاث نماذج ذات خصائص نوعية متباينة إلى (8.23,8.36,8.26) وذلك خلال (60) دقيقة من عملية التهوية بعد أن ارتفعت قيم الـ (pH) إلى (10.54,10.39,10.08) للنماذج الثلاثة على التوالي بفعل عملية التيسير بالجبر ورماد الصودا كما كان ذلك مترافقا مع تحول الهيدروكسيدات والكاربونات إلى بيكاربونات مما دل على انتقال CO_2 من هواء الفقاعات المارة بالنموذج إلى الجسم المائي ليشترك في تفاعلات التحول هذه.

المصادر

- 1- World Health Organization, 2004, Guidelines for Drinking – water quality, vol. 1, Recommendations, 3rd ed., World Health Organization, Geneva .
- 2- Kiely G., 1997, Environmental Engineering, McGraw - Hill International (UK) Limited .
- 3- Sincero A. and Sincero G., 1996, Environmental Engineering : A Design Approach, Prentice-Hall, New Jersey.
- 4- Roalson R. et al., 2003, Enhanced Softening; Effects of Lime Dose and Chemical Additions, J. American Water Work Association, vol. 95, November, Iss. 11.
- 5- Davis M. and Masten S., 2004, Principles of Environmental Engineering and Science, McGraw-Hill, New York.
- 6- Manahan S., 2005, Environmental Chemistry, 8th ed., CRC Press .
- 7- Viessman W. and Hammer M., 1985, Water Supply and Pollution Control, Happer and Row Publishers, New York .
- 8- Steel E. and McGhee T., 1979, Water Supply and Sewerage, 5th ed., McGraw-Hill, Kogakusha, Tokyo .

- 2- يجب خفض قيمة الـ(pH) للماء بعد عملية التيسير بالجير لأنها تحد من استخدامات الماء للأغراض المختلفة كما أنها تكون فوق مستوى الإشباع بكاربونات الكالسيوم.
- 3 - ينبغي تحديد حد الإشباع (pHs) للماء بعد عملية التيسير بالجير وذلك لخفض قيمة الـ(pH) إليه إذ تتسبب القيمة الأدنى من حد الإشباع في حدوث تآكل في الأنابيب والأعلى في حدوث ترسب وانسداد في الأنابيب.
- 4 - دراسة السبل الكفيلة لرفع فاعلية عملية التيسير بالجير في خفض عسرة الكالسيوم والمغنيسيوم.
- 5 - يجب أن يكون هواء التهوية نقي وخالي من الشوائب والدقائق العالقة كي لا يتسبب في تلوث الماء المار به لذا يوصى بامرار الهواء خلال مرشح قبل ضخه إلى حوض إعادة الكربنة.
- 6-يوصى بإنشاء نموذج لمحطة معالجة (pilot plant) تتضمن وحدات التيسير وإعادة الكربنة بالتهوية لدراسة تأثير تغاير تصريف الهواء المار وكذلك عمق ناشرات الهواء على كفاءة امتصاص ثاني اوكسيد الكربون من قبل الماء الميسر .

- 9- Gullick W. et al., 2000, Occurrence of MTBE in Drinking Water Sources, J. American Water Work Association, vol. 92, January, Iss. 1.
- 10- Shock R. et al., 2002, California's First Aeration Plants for Corrosion Control, J. American Water Work Association, vol. 94, March, Iss. 3.
- 11- Dixon L. et al., 1991, Evaluating Aeration Technology for Radon Removal, J. American Water Work Association, vol. 83, April, Iss. 4.
- 12- Darshan S., 2006, Water Treatment Made Simple for Operators, John Wiley & Sons, New Jersey.
- 13- American Water Works Association, 1971, Water Quality and Treatment, 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
- 14- APHA, AWWA and WPCF, 2005, Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 20th ed., American Public Health Association, Washington, D.C.
- 15- Davis M. and Cornwell D., 1991, Introduction to Environmental Engineering, 2nd ed., McGraw-Hill, New York.
- 16- APHA, AWWA and WPCF, 1985, Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater, 16th ed., American Public Health Association, Washington, D.C.
- 17- Metcalf and Eddy, Inc., 2004, Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, 4th ed., McGraw-Hill, New York .
- 18- Hammer J. and Hammer J., 2004, Water and Wastewater Technology, 5th ed., Prentice-Hall, New Jersey .
- 19- Baird C. and Cann M., 2005, Environmental Chemistry, 3th ed., W. H. Freeman and Company, New York.
- 20- Brady J. and Senese F., 2004, Chemistry: Matter and Its Changes, 4th ed., John Wiley and Sons, New York .
- 21- McGhee J., 1991, Water Supply and Sewerage, 6th ed., McGraw-Hill, New York .

جدول (1): تصانيف المياه حسب تركيز العسرة فيها^[2]

درجة العسرة	تركيز العسرة (ملغرام/لتر كـCaCO ₃)
يسر	0 - 75
معتدل العسرة	75 - 150
عسر	150 - 300
عسر جدا	أكثر من 300

جدول (2) : جرع الجير الزائدة المضافة في عملية التيسير.

الجرعة الزائدة (ملغرام/لتر كـ CaCO ₃)	تركيز المغنيسيوم (ملغرام/لتر كـCaCO ₃)
20	أقل من 60
تركيز المغنيسيوم مطروحا منه 40	أكثر من 60 وأقل من 80
40	أكثر من 80

جدول (3): الخصائص النوعية للنماذج الثلاثة التي شملها البحث.

النموذج الخاصية *	نموذج (1)	نموذج (2)	نموذج (3)
pH	8.05	7.05	7.23
TDS	242	1876	2114
عسرة كلية	160	1288	1027
عسرة الكالسيوم	109	804	440
عسرة المغنيسيوم	51	484	587
قاعدية البيكربونات (القاعدية الكلية)	115.28	287	360
CO ₂	10	34.8	

تركيز TDS بـ (ملغم/لتر) و الباقي بـ (ملغم/لتر كـ CaCO₃ عدا الـ (pH)

بدون وحدة

جدول (4): جرعة كل من الجير ورماد الصودا المضافة إلى كل نموذج.

النموذج	نموذج (1)	نموذج (2)	نموذج (3)
جرعة الجير (ملغرام/لتر)	149.41	770.4	905.53
جرعة رماد الصودا (ملغرام/لتر)	5.68	1158	675

جدول (5): نتائج المعادلات الرياضية من (11) إلى (17) المطبقة على النماذج الثلاثة بعد عملية التيسير.

النموذج	معادلة (11) ϵ	A معادلة (12)	$\log(\gamma m)$ معادلة (13)	$\log(\gamma d)$ معادلة (14)	$\log(k'w)$ معادلة (15)	$\log(k'2)$ معادلة (16)	$\log(k's)$ معادلة (17)
1	76.816	0.516	-0.0332	-0.1328	-13.798	-10.162	-8.180
2	76.295	0.517	-0.0944	-0.3778	-13.628	-9.906	-7.701
3	76.29	0.517	-0.0834	-0.333	-13.65	-9.95	-7.789

جدول (6): قيم حد الإشباع ومؤشر الإشباع للنماذج.

SI معادلة (21)	pHs معادلة (20)	pHn	[Hs] معادلة (18) و (19)	نموذج
+1.77	8.303	10.08	5.37×10^{-9}	(1)
+1.99	8.395	10.39	5.00×10^{-9}	(2)
+2.09	8.448	10.54	4.32×10^{-9}	(3)

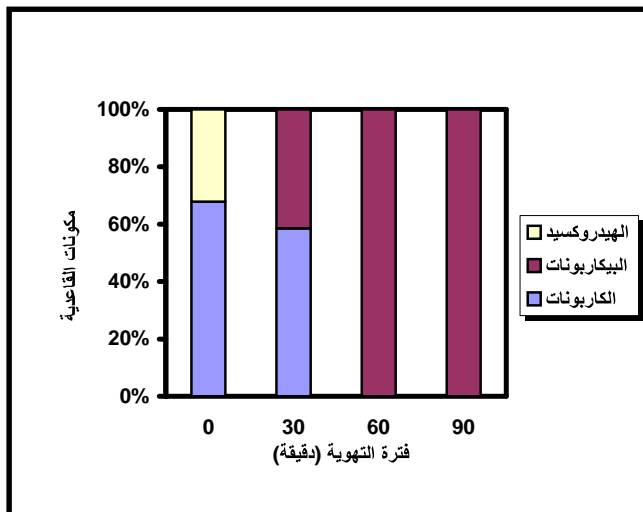
جدول (7): تركيز ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل كل نموذج خلال الفترة المحددة

للتهوية مع تراكيز القاعدية قبل التهوية وعند الـ (pHs) لكل نموذج.

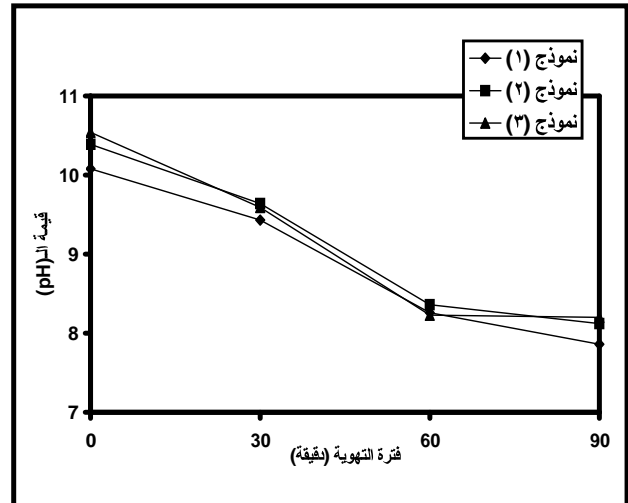
تركيز القاعدية الكلية قبل التهوية (ملغرام/لتر) CaCO_3	تركيز مكونات القاعدية قبل التهوية (ملغرام/لتر) CaCO_3	تركيز مكونات القاعدية عند قيمة الـ (pHs) (ملغرام/لتر) CaCO_3	ثاني أكسيد الكربون الممتص من قبل النموذج (ملغرام/لتر) [A1]	نموذج
	CO_3^{2-} و OH^-	HCO_3^- و CO_3^{2-}		
59.4	2.64	1.60	26.59	(1)
47.96	15.4	2.51	26.77	(2)
43.56	3.96	2.41	19.85	(3)

جدول (8) : ثاني اوكسيد الكربون المار بكل نموذج خلال الفترة المحددة للتهوية مع كفاءة الامتصاص.

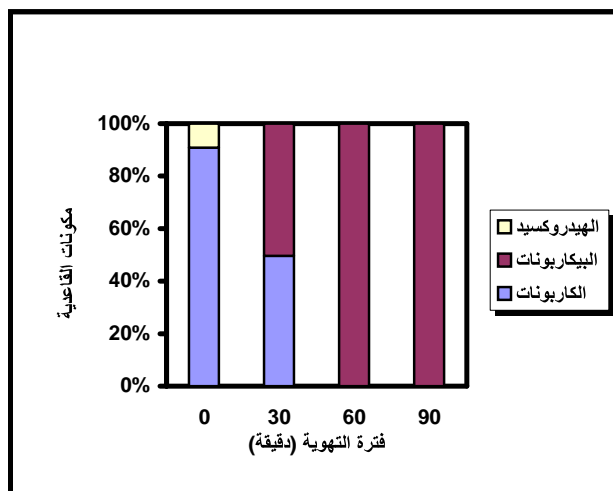
النموذج	تصريف الهواء (م ³ /ساعة) المسط على (م ³ من الماء (م ³ /م ³ ساعة)	حجم الهواء (لتر) المار بلتر ماء خلال فترة التهوية المحددة (لتر/لتر)	CO ₂ المار بالنموذج (ملغرام/لتر) [A2]	كفاءة الامتصاص (%) 100×(A1/A2)
(1)	134.8	132.18	83.16	31.9
(2)	134.8	133.08	83.24	32.1
(3)	134.8	124.08	77.57	25.5



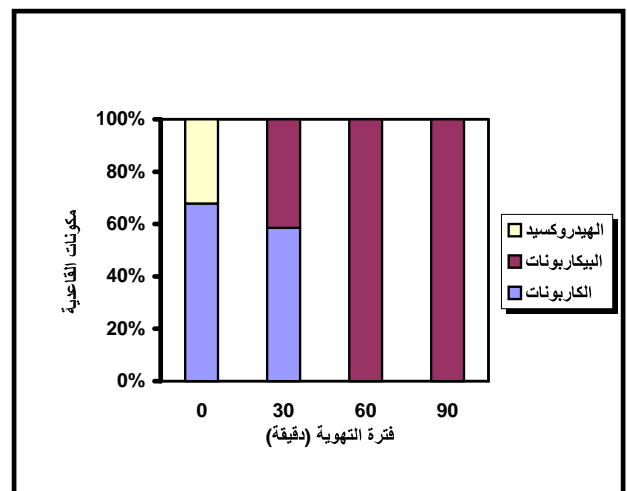
شكل (2): تأثير التهوية على نسب مكونات القاعدية الكلية (نموذج 1)



شكل (1): تأثير فترة التهوية على قيم الـ pH (لنماذج الماء الثلاث)



شكل (4): تأثير التهوية على نسب مكونات القاعدية الكلية (نموذج 3)



شكل (3): تأثير التهوية على نسب مكونات القاعدية الكلية (نموذج 2)

USING AERATION FOR RECARBONATION OF WATER AFTER SOFTENING BY LIME-SODA ASH

Layth Abdul-Aleem Alannaz
Civil Eng. Dept.- University Mosul

ABSTRACT

The research focus on using the aeration process as means for water recarbonation after lime-soda softening. The results indicated that aeration efficient for recarbonation of three water samples with different characteristics. The lime-soda softening increased the (pH) values of the three samples to reach (10.08,10.39,10.54) respectively. The aeration decreased these (pH) values to (8.26,8.36,8.23) respectively within (60)minutes. The depression was related to the convert of the hydroxide and carbonate of the sample to the bicarbonate form by CO₂ gas absorbed from the air bubbles. The absorption efficiencies were (30.9,31.0,24.7)% for the three samples respectively. The research also determined the value of (pH) at which the softened sample is saturated with calcium carbonate . These values for the three samples were (8.30,8.39,8.44) respectively. Accordingly the Langer saturation index for each sample have a positive value. The samples is at supersaturation condition with calcium carbonate for all samples. Therefore the aeration period needed to obtain the saturation state at which the sample is stable was determined to be (58.8,59.1,55.2)minutes for the three samples respectively.

KEY WORDS

Recarbonation, Aeration, Lime-Soda Softening, Langelier Index

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.