المجلة الليبية للعلوم الزراعية
المجلد (19): العددان (2،1) 2014

ورقة أصيلة

استعمال بعض المؤشرات للتنبؤ بحدوث الترسبات القشرية أو التآكل للمنظومات المائية بشمال غرب ليبيا

أحمد علي أبوزخار[1]، مها محمود بالحاج[2]

1. قسم التربة والمياه- كلية الزراعة – جامعة طرابلس
2. وزارة التربية والتعليم، ليبيا

المستخلص

في هذه الدراسة تم تجميع (53) عينة مياه من الآبار الواقعة بمناطق مختلفة من شمال غرب ليبيا، والتي تم فيها قياس درجة التفاعل (pH) والتوصيل الكهربي (EC) والكاتيونات والأنيونات الذائبة، ومن تم حساب بعض المؤشرات المستعملة في تحديد مدى تسبب هذه المياه لحدوث الترسبات القشرية أو التآكل في المنظومات المائية وتحديداً الـ pH، IL، IR .

تشير النتائج المتحصل عليها أنه حوالي 98، 100، 85 % من هذه العينات المائية وقعت في المدى الذي ينتج عنها حدوث ترسبات قشرية وبالتالي لا يحدث تآكل للمنظومات المائية عند استعمال هذه المؤشرات على الترتيب، وأن حوالي 2 ، 15 % منها وقعت في المدى الذي يشير إلى أن حدوث كل من الترسبات القشرية والتآكل غير مؤكد عند استعمال كل من pH، IR كمؤشرات للتنبؤ بحدوث هذه العمليات على الترتيب وذلك وفق الحدود الموضوعة لهذه المؤشرات.

الكلمات الدالة: الترسبات القشرية، التآكل، المنظومات المائية، المياه الجوفية، IL، IR، pH.

المقدمة

يتفاوت التركيب الكيميائي للمياه الجوفية من منطقة إلى أخرى وفقاً لتباين الصخور والمعادن المتواجدة بالتكوينات الجيولوجية للأحواض المائية الجوفية، وكأي محلول مائي فإن المياه الجوفية تحتوي على العديد من الأيونات المعدنية الذائبة من المعادن السائدة والمتمثلة في Ca، Mg، Na، K، Cl، SO_4، HCO_3 وأحياناً Fe، Mn، F، CO_3، NO_3 وبعض الأيونات المعقدة والمزدوجة بالإضافة إلى H^+ OH^- المتأينة من الماء بكميات قليلة وبعض الغازات الذائبة في الماء والتي تشمل CO_2، O_2 ، N_2 ، CH_4، H_2S والتي قد يكون مصدرها بعض العمليات الحيوية. بعض هذه الأيونات والمركبات يكون نشط كيميائياً ويساعد على حدوث التآكل؛ أي: أنها تساعد على حدوث التوصيل الكهربي من ناحية وتؤثر على التوازن الكيميائي المتحكم في تفاعلات الإذابة

للإتصال: أحمد على أبوزخار
الهاتف: 218913262378 +
قسم التربة والمياة- كلية الزراعة – جامعة طرابلس
البريد الالكتروني: prof_abuzkhar@yahoo.com
استلمت بتاريخ: 2014/10/01
أجيزت بتاريخ: 2014/12/1

والترسيب من ناحية أخرى، وبالرغم من تعقيد عمليات التآكل والترسبات القشرية وعدم وجود مؤشر واحد يمكن الاعتماد عليه كدليل للعمر المتوقع لآبار ومنظومات المياه عموما إلا أن هناك بعض المؤشرات التي يمكن الاستعانة بها والتي أثبتت جدواها في توقع ما مدى تسبب مياه معينة في الترسبات القشرية، التي قد تعمل على حماية المنظومات المائية من التآكل ولكنها تقلل من كفاءتها، ولعل أهم هذه المؤشرات هو ما يعرف بدليل التشبع أو دليل لانجلير (Langelier Index) (IL) (Langelier, 1936) ومؤشر الثبات أوالاستقرار أو مؤشر ريزنر (IR) (Ryznar Index) (Ryznar, 1944)، إن المياه المشبعة بكربونات الكالسيوم تميل إلى ترسيب القشورالتي يمكن أن تعمل على الحماية من التآكل، وبالتالي فإن درجة التشبع بكربونات الكالسيوم استعملت كمؤشر أو دليل في دراسات الترسبات القشرية والتآكل Clarke (1979) و Oddo and Tomson (1982). وفي دراسة تحليلية لمؤشر التشبع قام بها Miyamoto and Marvin (1986) أوضحوا فيها أن العمل الأصلي للانجلير(Langelier) كان يهتم بمنظومات توزيع المياه التي تستعمل أنابيب خراسانية وبالتالي فالمياه المسببة للتآكل هي المياه التي تكون في حالة ما تحت التشبع بالنسبة لكربونات الكالسيوم؛ أي: أن (IL) أقل من صفر، وهذا يعني أن هذه المياه قد لا تكون بالضرورة مسببة لتآكل الأنابيب الفولاذية.

كان Langelier (1936) أول من قدم العوامل المؤثرة على ذوبانية كربونات الكالسيوم، وأقترح المؤشر الذي يستند على درجة التفاعل الفعلية للمياه وعلاقتها بدرجة تفاعل هذه المياه عندما تكون مشبعة بكربونات الكالسيوم، فعندما تكون قيمة مؤشر التشبع (مؤشر لانجلير) قيمة سالبة، يعني أنه سوف لن تتكون الترسبات القشرية، وبالتالي يمكن أن تكون المياه مسببة للتآكل، تعتمد في ذلك على عوامل أخرى، وعندما تكون قيمة المؤشر موجبة فيعني ذلك أنه يمكن أن تتكون الترسبات القشرية، والتي يمكن أن تحمي المعدن من التآكل. وهناك من الدلائل ما يشير إلى أن الأرقام الصغيرة الموجبة لمؤشر التشبع تدل على الحماية ضد التآكل، بينما الأرقام الكبيرة الموجبة يمكن أن ينتج عنها ترسبات قشرية ولكنها لا تحمي من التآكل، بل تكون مصحوبة بتآكل موضعي (Clarke, 1980)، وعند غياب البيانات عن اختبارات التآكل فإن قيمة درجة تفاعل المياه يمكن أن تستعمل كمؤشر نوعي للدلالة على شدة أو حدة تسبب المياه للتآكل أو الترسبات القشرية، فالمياه التي درجة تفاعلها أقل من 6.5 يمكن لها أن تكون مسببة للتآكل بدرجة شديدة للمواد المصنعة من الحديد وبدرجة أقل بالنسبة للمواد المصنعة من سبائك الزنك أو النحاس، أما المياه التي درجة تفاعلها أعلى من 7.5 غالباً ما تكون مسببة لتكوين الترسبات القشرية ويقل عندها التآكل أو ينعدم .

ولقد درس Kelly and Kemp (1974) العلاقة بين درجة التفاعل والعمر المتوقع للمضخات في عدد كبير من الآبار باستراليا. وأوضح Clarke (1979) أنه بالرغم من أن دليل أو مؤشر التشبع أدات توقعية ولا ترقى إلى القياسات الفعلية للتآكل، ولكنها ذات علاقة ارتباط جيدة مع الواقع والتجربة الحقلية، حيث تفيد البيانات الموثقة أن تآكل شديد حدث مع مياه ذات مؤشرات تشبع سالبة في كل

من مصر ونيجيريا، بينما حدثت ترسبات قشرية وتآكل موضعي بسيط لمياه ذات قيم صغيرة موجبة لمؤشر التشبع لهذه المياه في الباكستان والجزائر.

ووجد Kelly and Kemp (1975) أن دليل أو مؤشر التشبع من أكثر مؤشرات التآكل فائدة في دراستهم لمياه الآبار باستراليا، ونصحوا بأن يستعمل هذا المؤشر وفقاً للحدود المبينة لديهم الخاصة بتقديرالعمرالمتوقع للمضخات التوربينية. كما قام Puckorius and Brooke (1990) بمراجعة عامة لبعض المؤشرات المستعملة في توقع أو تنبؤ ظهورالترسبات القشرية ومقارنتها بمؤشر عملي قاموا بتطويره وأطلقوا عليه (Practical Scale Index) ووجدوا أنه يتفق مع مؤشر التشبع ومؤشرالثبات وخاصة في مياه التبريد. كما قام Oddo and Tomson (1994) بتطوير دليل التشبع ليشمل معامل تصحيح ذوبان ثاني أكسيد الكربون تحت درجات حرارة وضغط مختلفة. كما تناول Gordon and Miroslaw (1997) بشرح ومناقشة مفصلة ووافية لثرموداينامكية تكوين الترسبات القشرية المعدنية، وتأثير الحرارة والضغط وخاصة حالة كربونات الكالسيوم. ولقد قامRyznar (1944) بجهد كبير لتطويرمؤشر كمي، والذي سمي بمؤشر الثبات أو الاستقرار المعروف كذلك بمؤشر(Ryznar) والذي أصبح من أكثرالمؤشرات استعمالا. وقد أوضحت البيانات التجريبية لـ Ryznar بالنسبة للمياه المنزلية أن الترسبات القشرية لكربونات الكالسيوم بدأت تتكون عندما كان المؤشر بين 6 ـ 6.5 وتزداد شدتها مع انخفاض المؤشر، إلا أنه لا يوجد دليل للتآكل في هذا المدى، بينما أظهرت نفس البيانات زيادة مستمرة في التآكل مع الزيادة في المؤشرعند قيم أعلى من 7.5.

واستنتج Mogg (1972) من خلال الدراسات والخبرة بآبار المياه في الولايات المتحدة أنه لا يحدث تآكل شديد ولا ترسبات قشرية جيرية شديدة عندما يتراوح مؤشرالثبات بين 7 ـ 9 ولكن أعلى أو أقل من هذا المدى وجد مشاكل متزايدة من التآكل والترسبات القشرية على الترتيب.

لخص Clarke (1980) نتائج العديد من الدراسات التي أُقيمت في كل من مصر ونيجيريا وتونس والجزائر والباكستان، ووجد أن هناك اتفاق كبير بين قياسات التآكل واستنتاجات Mogg (1972)، وأوضح أن هناك تآكل وترسبات قشرية متوسطة عندما كان المؤشر أقل من 7.3 في كل من الباكستان وشمال الصحراء، وتآكل شديد جداً في مصر ونيجيريا عندما زاد المؤشرعن (8.5). وفي دراسة قام بها مركز البحوث الصناعية (1993) لبعض الآبار في منطقة طرابلس، تبين أن المياه الجوفية تحتوي على نسبة لا بأس بها من بيكربونات الكالسيوم، حيث أن هذه الأملاح عادة ما ينتج عنها تآكل، إضافة إلى أن درجة حرارة الآبار في حدود (30-40) درجة مئوية ودرجة التفاعل (pH) في حدود (6) وبهذا يكون تآكل المواسير مرتبط ارتباطاً وثيقاً بتراكيز الأيونات الذائبة والغازات بالإضافة إلى درجة الحرارة ودرجة التفاعل. وأوضحت الدراسة التي قامت بها الهيئة العامة للمياه (2003) بالمنطقة الوسطى في دراسة مشاكل التآكل بمنطقة الجفرة، حيث صنفت الدراسة نوعية المياه على أنها مياه تآكلية ، وهي في الغالب ذات درجة حرارة عالية وتركيز مرتفع للأملاح الذائبة .

كما أوضح مسعود (2006) أن انخفاض تركيز أيون الهيدروجين يؤدي لتحول حامض الكربونيك والبيكربونات إلى كربونات وبالتالي حدوث

الترسبات القشرية ومن تم انخفاض حدوث التآكل. وفي دراسة الحاجي (2008) تم فيها اختبار20 مصدراً من المياه بمنطقة شمال غرب ليبيا تم الحصول على نتائج التحاليل الكيميائية لها من الهيئة العامة للمياه حيث تم تصنيف هذه المياه وفق المؤشرات المستعملة pH ، IL ، IR،CO3 / Cl-)log(-(2 في تحديد ما اذا كانت المياه مسببة لتآكل المنظومات المائية أو في تكوين الترسبات القشرية فيها. كما قامت بالحاج (2010) بتطوير نموذج حسابي للتنبؤ بترسب الجير أو الجبس، وقارنت النتائج المتحصل عليها من هذا النموذج وبعض المؤشرات الأخرى لبعض المياه بشمال غرب ليبيا ووجدت أن هناك تطابق وأتفاق كبير جداً. ولغرض مقارنة نتائج حساب بعض المؤشرات المستعملة في هذه الدراسة للتنبوء بحدوث الترسبات القشرية أو التآكل وتحديداً pH، IR،IL للتعرف على مدى تشبع بعض مياه الآبار بمناطق شمال غرب ليبيا بالجير، فقد أجريت هذه الدراسة.

المواد وطرائق البحث

أولاً- المواد والتحاليل:

تم تجميع عينات المياه من مجموعة آبار جوفية لحوض سهل الجفارة خلال صيف (2008) من عدة مناطق، وهي: (ترهونة- القره بولي- تاجوراء- طرابلس- قصر بن غشير- العزيزية- جنزور- الزهراء- غريان- الزاوية- صبراتة- صرمان- يفرن)، كان عدد الوحدات التجريبية أو العينات المائية (53) وحدة تجريبية تم تجميعها وحفظها وفق الطرق المتعارف عليها في هذا المجال، ومن تم أجريت عليها مجموعة من التحاليل الكيميائية وهي:

التوصيل الكهربي (EC) بواسطة جهاز (EC-meter) ودرجة التفاعل (pH) بواسطة جهاز(pH-meter). كما تم قياس الأيونات الكلية الذائبة والتعبير عن تراكيزها بالمليمكافي لكل لتر(meq/L) وهي: (NO3، Cl ، SO4 ، HCO3 ، CO3 ، K ، Na ، Mg ، Ca) حيث تم قياس الكالسيوم والمغنيسيوم عن طريق المعايرة بواسطة محلول (EDTA)، أما الصوديوم والبوتاسيوم تم قياسهما بواسطة جهاز اللهب (Flame Photometer)، بينما الكربونات والبيكربونات تم قياسهما بالمعايرة بحامض (0.005M H2SO4) والكبريتات تم ترسيبها على هيئة كبريتات باريوم، ثم قيست بالمعايرة بواسطة (EDTA) في حين أن الكلوريدات قيست بالمعايرة بمحلول نترات الفضة (AgNO3)، والنترات قيست بواسطة جهاز(Spectro Photometer). وقد تم اتباع طرق التحليل وفق ما ورد في (Black *et al.,* 1965).

ثانيا- درجة التفاعل (pH):

في حالة غياب البيانات الفعلية المعملية حول التآكل، فإن قيمة درجة التفاعل (pH) للمياه يمكن أن تستعمل لمعرفة الشدة المحتملة لحدوث التآكل ، وكذلك كدليل على ميل المياه لإحداث التغطية بالترسبات القشرية الصلدة على الأنابيب أو المضخات أو الخزانات أو الغلايات وغيرها. فالمياه ذات درجة التفاعل أقل من 6.5 يمكن أن تكون مسببة للتآكل والمياه ذات درجة تفاعل أعلى من 7.5 تكون آمنة ضد التآكل، وهناك امكانية لظهور الترسبات القشرية التي قد توفرالحماية من التآكل ولكنها قد تسبب أنسداد جزئي أو كلي للأنابيب وخاصة الصغيرة منها. أما المدى ما بين

هاتين الدرجتين فيكون غير مؤكد لحدوث التآكل وكذلك الترسيب.

ثالثا- مؤشر التشبع بالكربونات (IL) Langelier Index:

نظرا لأن الماء المشبع بكربونات الكالسيوم CaCO3 يميل لترسيب قشور صلدة توفر الحماية للمعدن من التآكل؛ ولذا فإن درجة التشبع اعتبرت منذ زمن طويل كمؤشر مفيد في دراسات التآكل وتكون القشرة الصلدة. فالعوامل التي تتحكم في ذوبانية كربونات الكالسيوم كان أول من قدمها الباحث (Langelier,1936)من خلال العلاقة التالية:

IL= pHa-pHc

حيث: IL = مؤشرلانجليروالذي يمكن أن يكون رقماً موجباً أوسالباً.

و(pHa) = درجة التفاعل الفعلية للمياه

و (pHc) = يتم حسابها وفق المعادلة التالية (Bower *et al.*, 1965)

$pHc = (pK_2 - pKc) + P(Ca + Mg) + PAlk$

حيث:

pK_2 = اللوغارثم السالب لثابت التأين لأيون البيكربونات.

pKc = اللوغارثم السالب لناتج ذوبانية كربونات الكالسيوم.

P(Ca + Mg) = اللوغارثم السالب للتركيزالمولاري لمجموع تركيزالكالسيوم والمغنسيوم في المياه معبراً عنه بملجم/لترأو جزء بالمليون (ppm).

PAlk = اللوغارثم السالب للتركيزالمولاري لمجموع تركيزالكربونات والبيكربونات في المياه معبراً عنها بملجم/لتر أو جزء بالمليون (ppm).

وتجدر الإشارة إلى أن هناك جداول خاصة لحساب pHc بسهولة عند توفير البيانات والتحاليل اللازمة للمياه وهي كالسيوم، ماغنيسيوم، صوديوم، بوتاسيوم، بيكربونات، كربونات.

عندما يكون مؤشر التشبع IL رقماً سالباً أقل من (-2) لا تتكون القشور الصلبة ويحدث تآكل ويعتمد ذلك على عدة عوامل أخرى .

وعندما يكون مؤشر التشبع IL موجباً أعلى من (0) فمن المحتمل أن تترسب القشور ويمكنها أن تحمي المعدن من التآكل.

والمدى ما بين هاتين القيمتين يكون غير مؤكد لحدوث التآكل وكذلك الترسيب.

رابعاً- مؤشر الثبات (IR) Ryznar -Index:

IR = 2 pHc -pHa

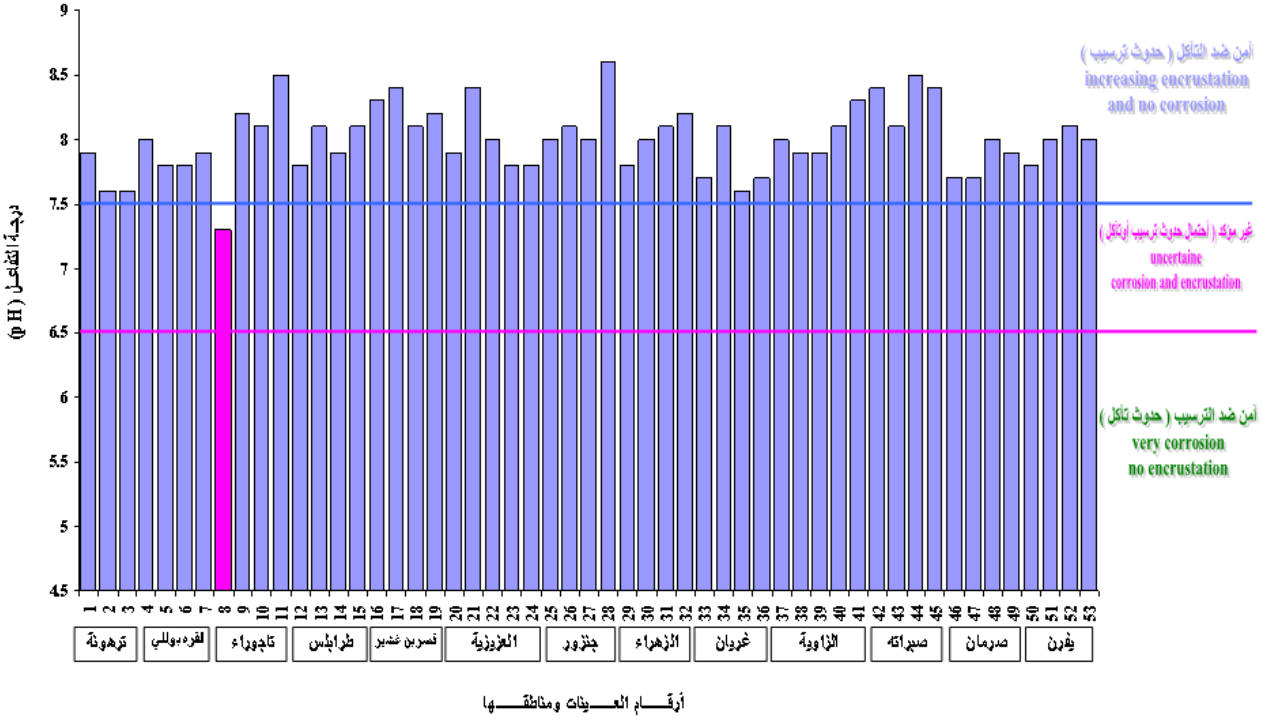
حيث IR = مؤشر ريزنر ، pHc = درجة التفاعل التي يتم حسابها وذلك لنفس الماء كما تمت الإشارة إليها سابقا.

pHa = درجة التفاعل الفعلية لعينة الماء.

يحدث تكون للطبقة القشرية من كربونات الكالسيوم بصورة متزايدة عندما تكون قيمة المؤشر أقل من (6.5) التي قد تحمي المعدن من التآكل. بينما إذا كانت قيمة المؤشر أعلى من 8.5 فلا يوجد ترسب لكربونات الكالسيوم مما قد يؤدي لحدوث تآكل. أما المدى الواقع ما بين هاتين القيمتين فهو غير مؤكد؛ أي: احتمال حدوث تآكل أو ربما ترسيب.

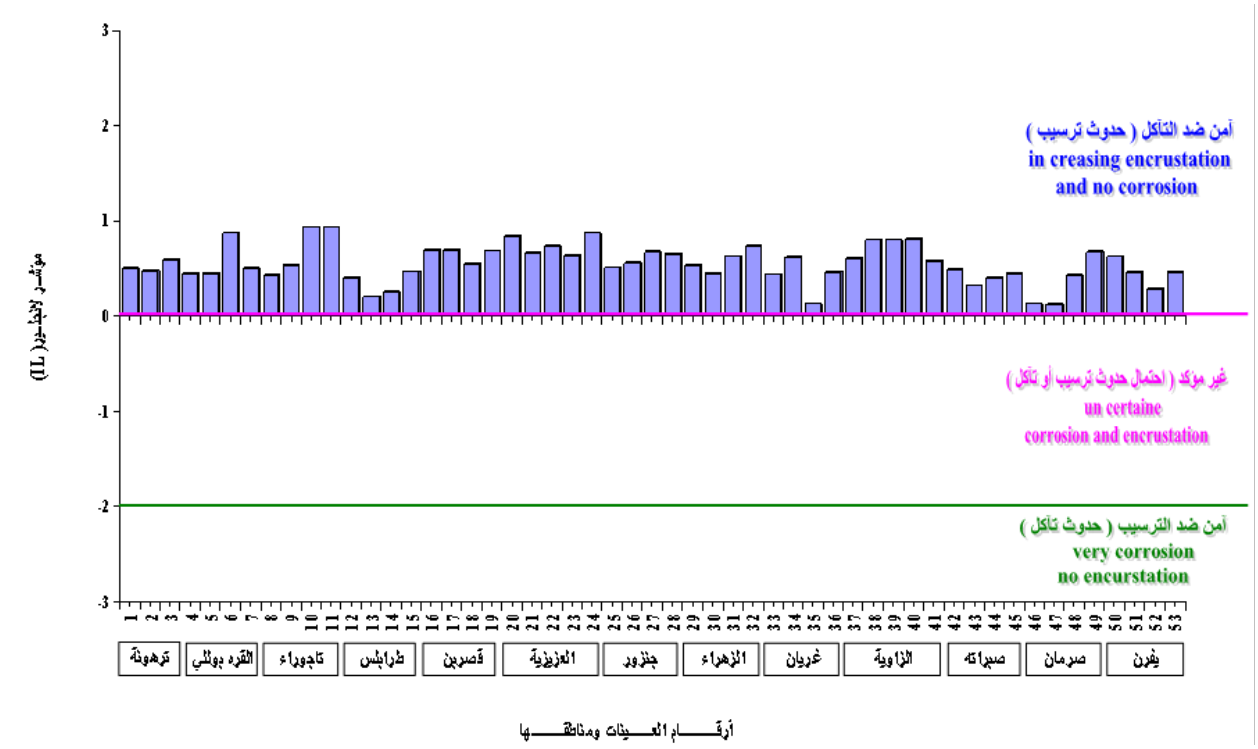
النتائج والمناقشة

عند استعمال مؤشر درجة التفاعل والموضح في الشكل (1) تبين أنه حوالي 98% من العينات المائية وقعت في المدى الذي يشير إلى حدوث ترسبات قشرية، وأنها آمنة ضد التآكل في حين أن 2% من تلك العينات وقعت في المدى غير المؤكد لحدوث الترسبات القشرية أو التآكل، حيث كانت هذه العينة تقع في منطقة تاجوراء (بالأشهر). وبالنظر

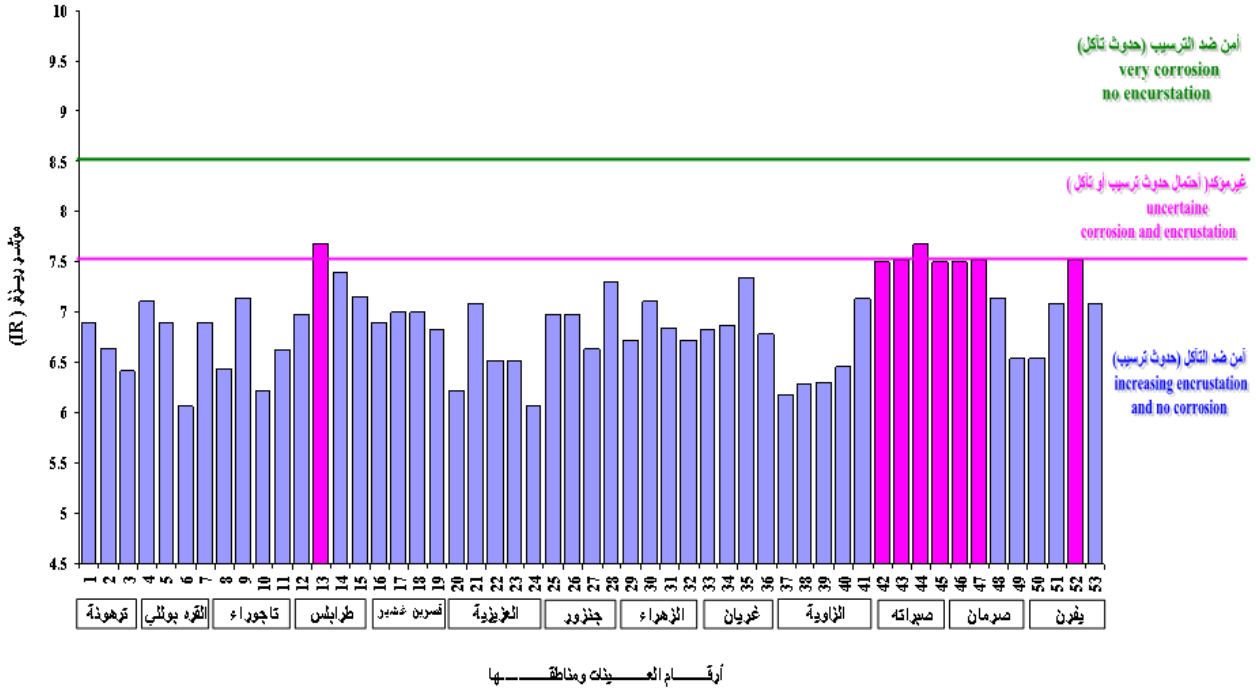


شكل 1. درجة التفاعل لبعض مصادر المياه الجوفية بليبيا ومدى تسببها للتآكل أو الترسبات القشرية.

إلى نتائج التحاليل كانت درجة تفاعل هذه المياه (pH = 7.3) ودرجة التوصيل الكهربي كانت (EC=5.19mS/cm)، وأن عمق البئر لهذه العينة (12 متراً) ويقتصر استخدام هذه المياه على الاستعمال المنزلي لأغراض التنظيف فقط .ويؤكد مالك هذا البئر على وجود ترسبات قشرية وخصوصا في منظومات تسخين المياه، في حين أن هذه العينة وقعت في المدى غير المؤكد لحدوث الترسبات، ويمكن تفسير هذا الأمر بأن درجة التفاعل قريبة من القيمة التي تدل على وجود ترسبات وهي (7.5) فأعلى. أما قيمة درجة التوصيل الكهربي العالية فارتفاعها راجع للارتفاع في نسبة الأملاح، حيث لوحظ ارتفاع أيون الكلوريد 1292.2(ppm) أو ما يعادل (36.4×310 mol/L) مما يدل على أن الأملاح الموجودة في هذه المياه هي من النوع المتعادل مثل كلوريدات Ca و Na والاحتمال الأقرب هو وجود ملح NaCl بنسبة عالية ، نتيجة حدوث تداخل مع مياه البحر، أما الترسبات القشرية فهي راجعة لوجود CaSO4، أما عند استخدام مؤشر لانجلير(مؤشر التشبع IL) وذلك من خلال الشكل (2) اتضح أن جميع عينات المياه وقعت في المدى الآمن ضد التآكل؛ أي: أن جميعها مسببة لحدوث ترسبات قشرية، ويظهر ذلك جلياً في كثير من العينات والتي من بينها تلك الواقعة في منطقة العزيزية. حيث يؤكد مُلاك الآبار على وجود ترسبات بصورة واضحة ، فمالك المزرعة الواقعة في محلة الشرقية والبالغ مساحتها (30 هكتاراً) وعمق البئر بها (180متراً) يؤكد على وجود الجبس في مياه هذا البئر، وأنها تستخدم للزراعة فقط، بينما مالك المزرعة البالغ مساحتها (1.5 هكتار) والواقعة في منطقة بئر الجديد يؤكد على وجود ترسبات



شكل2. مؤشر لانجلير (Langelier) لبعض مصادر المياه الجوفية بليبيا ومدى تسببها للتآكل أو الترسبات القشرية.



شكل 3.مؤشر ريزنر (Ryznar) لبعض مصادر المياه الجوفية بليبيا ومدى تسببها للتآكل أو الترسبات القشرية.

عالية، وأن المياه تستخدم للزراعة فقط. وبالرجوع إلى مؤشر درجة التفاعل (pH) يتأكد صحة حدوث الترسبات القشرية. كذلك العينات الواقعة في منطقة تاجوراء تدل على وجود ترسبات قشرية كما يلاحظ ذلك في منطقة الزاوية وهي العينات الواقعة في منطقة بئر ترفاس وجدايم والتي تستخدم للزراعة فقط، حيث لوحظ وجود هذه الترسبات على نظام الري بالرش المستخدم في المزرعتين، ولوحظ - أيضا - انسداد فتحات أنابيب نظام الري بالتنقيط المستخدم في المزرعة.

أما عند استعمال مؤشر الثبات (IR) في شكل (3)، فكانت حوالي 84.9% من العينات المائية تقع في المدى الذي يؤكد على حدوث ترسبات قشرية بصورة متزايدة، وهي آمنة ضد التآكل وكان ذلك واضح بصورة كبيرة في منطقة الزاوية للعينات الواقعة في بئر ترفاس وبئر الغنم وجدايم، بالإضافة للزاوية الجديدة، وهذا ما تم تأكيده عند استعمال مؤشر لانجلير، ثم تأتي منطقة العزيزية حيث كان الترسيب واضحاً للعينة الواقعة في محلة الشرقية، كما تبين معنا في المؤشرات السابقة، أما في منطقة تاجوراء فكان الترسيب ظاهر في العينة الواقعة في منطقة بالأشهر، بالإضافة للعينة الواقعة في تاجوراء المركز، وأخيراً كان الترسيب واضحاً في منطقة القره بولي تحديدًا في الرواجح، كذلك في منطقة الزهراء ويفرن وصرمان حيث تؤكد الزيارة الميدانية مطابقة النتائج بالواقع، وهذا ما دلت عليه المؤشرات السابقة. في حين أن 15% من العينات تشير لحدوث ترسبات قشرية لكربونات الكالسيوم مع تآكل بصورة قليلة وضعيفة؛ أي: أنها وقعت في المدى غير المؤكد.

مما تقدم يتضح أن هناك اتفاق وتطابق كبير بين هذه المؤشرات في التنبؤ بما إذا كانت هذه المياه مسببة للتآكل أو الترسبات القشرية أم لا حيث أن حوالي 85، 98، 100% من هذه المياه وقعت في المدى الذي يشير بحدوث ترسبات قشرية والتي قد تحمي المنظومات المائية من التآكل عند استعمال كل من pH ، IL ، IR على الترتيب. كما تشير النتائج إلى أن حوالي 2 ،15 % من هذه المياه وقعت في المدى غير المؤكد لحدوث الترسبات القشرية أو التآكل عند استعمال مؤشرات الـ pH،IR على الترتيب.

المراجع

1. الهيئة العامة للمياه. فرع المنطقة الوسطى. 2003. دراسة تآكل الأنابيب في منطقة الجفرة.
2. أنيسة ابو بكر الحاجي .2008. تحديد درجة التآكلية الكيميائية للمياه بمنطقة سهل الجفارة. رسالة ماجستير. أكاديمية الدراسات العليا - طرابلس.
3. بغني عيسى مسعود.2006. أساسيات هندسة التآكل. المكتب الوطني للبحث والتطوير.
4. مركز البحوث الصناعية. 1993. دراسة تآكل الأنابيب في منطقة طرابلس.
5. مها محمود بالحاج. 2010. دراسة مدى تشبع بعض المياه الجوفية في ليبيا بالجير والجبس . رسالة ماجستير . كلية الزراعة - جامعة طرابلس .
6. Black C.A., Evans D.D., Ensminger L.E., White J.L. and Clark F.E. 1965. Methods of soil analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, No 9 in Series Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
7. Bower C.A., Wilcox L.V., Akin G.W. and Keyes M.G. 1965. An index of the tendency of CaCO3 to precipitate from irrigation waters. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:91-92.
8. Clarke F.E. 1979. The Corrosive Water Wells of Egypt's Western Desert. U.S. Geol. Survey Water Supply Paper 1757- 0.
9. Clarke F.E. 1980. Corrosion and Encrustation in Water Wells A Field Guide for Assessment, Prediction and Control. FAO Irrigation and Drainage Paper. No34.
10. Gordon A. and Miroslaw M. 1997. The Chemistry of Scale Prediction. Journal of Petroleum Science and Engineering. 17:113-121.

11. Kelly G. J. and Kemp R.G. 1974. The Corrosion of ground water pumping equipment .Australian water Resources Council Project Report 72R 5 appendices.

12. Kelly G.J. and Kemp R.G.1975. Guidelines for the selection of turbine pump materials for use in ground waters, Australian Water Resources Council Technical Paper. No14.49P.

13. Langelier W.F. 1936. the Analytical control of anticorrosion water treatment. J. Amer. Water Works Assoc. 28: 1500.

14. Miyamoto H.K. and Marvin D.S. 1986. A New Approach to The Langelier Stability Index. J. Chemical Engineering, (Material Eng.) April.

15. Mogg J.L. 1972. Practical corrosion and encrustation guide for water wells. Ground Water 10 (2) March-April 28:89-92.

16. Oddo J.E. and Tomson M.B. 1982. Simplified Calculation of CaCO3 Saturation at high temperature and pressures in brine solutions. JPT, 1583.

17. Oddo J.E and Tomson M.B. 1994. Why Scale Forms and How to Predict It. Society of Petroleum Engineers Production and Facilities, February. P47-54.

18. Puckorius P.R. and Brook J.M. 1990. A New Practical Index for Calcium Carbonate Scale Prediction in Cooling Tower Systems,Corrosion 90 , 99:1-12.

19. Ryznar W.J. 1944. A new Index for determining amount of calcium carbonate Scale formed by Water. J. Amer. Water Works Assoc. 35: 472 – 486.