تقييم مدى فاعلية تعقيم المياه بالكلور داخل شبكات التوزيع بمدينة طرابلس-ليبيا الحالة الدراسية منطقة (أبوسليم)

م. كريمة بركة[*1]، م.ميلاد أبوكلش[2]، د.محمد علي البهيليل[3]، م.فاطمة البهيليل[4] ، م.عائشة المهدوي[5] (*)

[2،1] الشركة العامة للمياه والصرف الصحي

[3] أستاذ مشارك قسم الهندسة الكيميائية جامعة طرابلس

[5،4] هيئة العلوم والأبحاث والتكنولوجيا

ملخص البحث:

الماء يعتبر وسطاً حيوياً لتكاثر الجراثيم والطفيليات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة فقد أصبح من الواجب مراقبة ومتابعة المصادر المائية وذلك للقضاء على الأحياء الدقيقة لمنع انتشار الأوبئة ومراض السارية والمعدية، ومن هنا أصبحت عمليات تعقيم المياه خطوة أساسية

(*) Email: karimabarka2011@gmail.com

في خطوط إنتاج المياه في المحطات والمنشآت الصناعية وشبكات التوزيع وأخذت تكنولوجيا التعقيم مكانها في معالجة مياه الشرب وتطورت الأساليب والوسائل الكفيلة بتحقيق هذا الغرض من حيث فاعليته وسهولة الاستعمال والآمان والتكلفة للعديد من مواد التعقيم.

يستخدم التعقيم بالكلور على نطاق واسع في العالم لتعقيم المياه من الأحياء الدقيقة، وذلك لتميزه بانخفاض كلفته وسهولة تطبيقه وفاعليته العالية وقدرته على الاحتفاظ بها عند تعقيم المياه وحتى وصولها إلى المستهلك.

سيتم في هذا البحث دراسة تتبع تركيز الكلور المتبقي داخل شبكات توزيع المياه الصالحة للاستعمال الحضري وذلك بسحب عينات من مناطق متفرقة داخل مدينة طرابلس ودراسة مدى تأثير الكلور وفاعليته والعوامل التي تؤثر على كفاءة التعقيم بالكلور وهي (**PH** ، درجة الحرارة ، زمن التماس بين الكلور والماء ، قلوية الماء، جرعة الكلور) ومعرفة تحديد العلاقة بين كل هذه المتغيرات وسوف تتم مقارنة النتائج بالمواصفات القياسية الليبية **(82)** والمواصفات الدولية، ومعرفة مدى تأثير الزيادة أو النقصان في كمية أو تركيز الكلور على سلامة وصحة المستهلك ، ونتجت عن الدراسة هناك أثر للكلور في جميع العينات المسحوبة وعددها (24) في شهري يناير وفبراير وكانت أقل من (0.2) **ppm** ، وفي شهري نوفمبر وديسمبر كانت عدد العينات (8) ولا يوجد أثر نهائياً للكلور بالشبكة ، وأوصت الدراسة بضرورة ضخ الكلور وتعقيم المياه الداخلة إلى الشبكة العامة للمياه داخل المدينة والاستمرار في مثل هذه البحوث في المستقبل لضمان جودة المياه للمستهلك.

الكلمات المفتاحية : (شبكة المياه بمدينة طرابلس – التعقيم بالكلور – التلوث)

1. المقدمة:

1.1. تمهيد

الماء عصب الحياة وأهم مكون من مكوناتها ويحتاج الإنسان للمياه بالدرجة الأولى للبقاء على قيد الحياة وهذا بالطبع ينطبق على الكائنات الحية ويحتاجه الإنسان لأغراض أخرى مثل الصناعة والزراعة وتوليد الطاقة ومنذ منتصف القرن الماضي تزايد الاهتمام العالمي بموضوع جودة المياه الصالحة للشرب الآدمي ومحاولة وضع معايير ومؤشرات كدلائل استرشادية يمكن استخدامها كحد أدنى لحماية صحة الإنسان من المخاطر المحتملة من تلوث المياه الكيميائية والفيزيائية والحيوية وأن تكون مستساغة بكونها عديمة اللون والطعم والرائحة.

إن انتشار الأمراض المنقولة بواسطة المياه يتناسب عكسيا مع تعقيم المياه ، وتعتبر عملية تعقيم المياه من العمليات المهمة والضرورية في المعالجة الأساسية للمياه لذلك أصبح من الواجب مراقبة المصادر المائية والسيطرة على المواصفات البيولوجية ومنع انتشار الأوبئة والأمراض السارية المعدية ، ومن هنا أصبحت عملية التعقيم خطوة رئيسية في خطوط إنتاج المياه وفي المحطات والمنشآت الصناعية.[1]

إن طريقة التطهير الأكثر شيوعاً هي التعقيم بالكلور بصورة غاز الكلور أو الكلورواميناتأو ثاني اوكسيد الكلور نظرا لكونه رخيص الثمن سهل الاستعمال وفاعليته في القضاء على البكتريا وكذلك إنه يوفر كلور حر متبقي للحماية داخل شبكات التوزيع لضمان منع نمو البكتريا خلال عملية نقل وتخزين وتوزيع الماء ، ومن هنا يجب إضافة كميات كافية من الكلور في الحدود المسموح بها لضمان هذا الغرض.[2]

1.2ما هو التعقيم (Disinfection)؟

التعقيم هو عملية قتل الكائنات الحية المجهرية **(Microorganisms)** الموجودة في الماء والتي تسبب الأمراض والإصابات الخطيرة للإنسان والحيوان والزراعة فالهدف الرئيسي من التعقيم هو الحد من نمو الكائنات الحية المجهرية وتدميرها.

يوجد في الماء العديد من أنواع البكتيريا معظمها ليس لها أهمية صحية والبعض منها يعتبر دليلا على التلوث ولكنها غير مؤذية والبعض الأخر قليلة العدد ولكنها مرضية مثل بكتريا حمى التيفوذ والبارا تيفوذ والزحار والحمى المعوية والكوليرا، وبشكل طبيعي فإن المياه الجوفية لا تحتوي كثيرا من البكتريا الممرضة بسبب البيئة غير الملائمة لعيشها ولكن طرق نقلها وتخزينها دون تعقيم قد تتعرض بشكل كبير إلى هذه الكائنات الحية المجهرية[3]

1.2.1 عوامل تؤثر على عملية التعقيم:[3]

هناك عدة عواملَ تحدد سرعة ووسيلة عملية تعقيم الماء، منها:

- درجة الحرارة المستخدمة في التعقيم، إن كان الغليان هو الطريقة المستخدمة للتعقيم.
- أنواع الكائنات الدقيقة التي ستُجرى عليها عملية التعقيم.
- أحجام الكائنات الدقيقة المختلفة.
- أعمار الكائنات الدقيقة.
- أعداد الكائنات الدقيقة الموجودة في عيّنة المياه.
- درجة الحموضة والقاعدية لعينة المياه المراد تعقيمها.
- الرطوبة النسبية.

1.2.2 مواصفات مادة التعقيم المثالية :

هناك مجموعة من المواصفات التي يجب أن تتوافر في مادة التعقيم حتى تصبح صالحة لهذا الغرض منها:

- أن تكون ذات فعالية عالية في قتل الجراثيم.
- أن تكون غير سامة للإنسان والحيوان.
- أن تكون غير سامة للسماك والكائنات المائية.
- أن تكون سهلة الاستعمال وأمانة للتخزين والنقل والصرف.
- أن تكون رخيصة الثمن.
- أن تكون سهلة التحلل في الماء.
- أن تكون ذات زمن مكوث طويل نسبيا في الماء.

وبالرغم من إن المواد المستخدمة في التعقيم لا تنطبق عليها جميع المواصفات السابقة بشكل تام الآن اختيار المادة المناسبة للتعقيم أمر يقرره مدى التلوث وخطورة المادة المعقمة وتكلفة مادة التعقيم وهي معادلة يختلف حلها من حالة إلى أخرى.

في هذه الدراسة سيتم تتبع تركيز الكلور المتبقي داخل شبكات توزيع المياه الصالحة للاستعمال الحضري وذلك بسحب عينات من منطقة أبو سليم داخل مدينة طرابلس ، ودراسة مدى تأثير الكلور وفاعليته والعوامل التي تؤثر على كفاءة التعقيم بالكلور مثل (**pH** ، درجة الحرارة ، زمن التماس بين الكلور والماء ، قلوية الماء، جرعة الكلور) و تحديد العلاقة بين كل

هذه المتغيرات و مقارنة النتائج بالمواصفات القياسية الليبية (82)[4] ، ومعرفة مدى تأثير الزيادة أو النقصان في كمية أو تركيز الكلور على سلامة وصحة المستهلك.

1.2.3 طرق التعقيم:[5]

عرفت تكنولوجيا المعالجة المائية الكثير من طرق التعقيم وتنقسم إلى قسمين على النحو التالي:

أولاً الطريقة الفيزيائية :(Physical Methods)

- **التعقيم بالحرارة:**

إن تسخين الماء لدرجة حرارة تزيد عن 75 درجة مئوية ولعدة دقائق يؤدي إلى قتل الجراثيم الموجودة فيه ولكن استخدام هذه الطريقة لتعقيم كميات كبيرة من الماء غير اقتصادي ويقتصر استخدامها على تعقيم كميات محدودة من المياه.

- **التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية :(Ultra-Violet Rays (UV)**

يعتبر تعريض الماء للأشعة فوق البنفسجية المتوفرة في أشعة الشمس يؤدي إلى قتل الجراثيم الموجودة فيه ولزيادة مردود هذه الطريقة ولرفع إمكانية التحكم فيها تولد هذه الأشعة بشكل اصطناعي بواسطة مصابيح ضوئية خاصة توجه الأشعة الناتجة منها على الماء وهي طريقة غير شائعة وتستخدم نادرا في عمليات المياه الصغرى وحمامات السباحة والمياه المعبأة.

وعملية الأشعة فوق البنفسجية خيار جيد في الكثير من الحالات لأنها خالية من الكيماويات ولا يستخدم غالباً لمعالجة مصادر المياه السطحية.

ثانيا الطرق الكيميائية:

أهمها الكلور والأوزون وثاني أكسيد الكلور والكلوروامينات والبروم واليود.[5]

- **التعقيم بالأوزون: (O_3)**

الأوزون عنصر أكسدة قوي ومعقم أساسي فعال واستخدامه غير مصحوب بطعم أو رائحة وهو غاز غير قابل للذوبان في الماء بسهولة يراعي عند التعقيم بالأوزون زيادة في الكمية المضافة قليلا للتخلص من أي مواد تسبب تغيير في الطعم والرائحة ، وعيوب هذه الطريقة فإنه لا يوفر حماية طويلة لان الأوزون المتخلف لا يبقى في الماء أكثر من 30 دقيقة حيث يتحول الأوزون إلى أكسجين، يستعمل الأوزون في عمليات المياه الكبرى والصغيرة وحمامات السباحة ويستخدم لتعقيم المياه المعبأة.

- **التعقيم بثاني أكسيد الكلور:**

ثاني أكسيد الكلور فعال ضد الجيارديا والبكتريا والفيروسات وإلى حد ما ضد الكريبتوسبريديوم، وكثيرا ما يمزج مع وسائل أخرى مثل التعقيم بالكلور أو الأوزون لأنه على عكس المعالجات الأخرى، يشتهر ثاني أكسيد الكلور بأنه ينتج مواد تسبب السرطان غير أن عملية إنتاج ثاني أكسيد الكلور تتسم بالتعقيد فهي تحتاج إلى مهارة الفنيين ومراقبة حذرة.

- **التعقيم بالبروم:**

البروم هو هالوجين بني محمر غامق يوجد كسائل تحت الضغط الجوي وبالتالي فهو اسهل نقلا وتناولا من الغاز المضغوط، ويشكل البروم بانحلاله في الماء مبيدا جيدا للجراثيم ينتج البروم مع الأمونيا والنتر وجينات الثلاثية مركبات بروم الأمونيا وقد لوحظ نقطة للتكسير أثناء

الانحلال، إن البروم والبروموامين أحادي التكافؤ يملكان نفس الأثر التعقيمي وهذا الأثر يشبه الأثر التعقيمي للكلور، والتعقيم بالبروم لا يستعمل في معالجة الإمداد العام للمياه ويقتصر استعماله لتعقيم أحواض السباحة ومياه الصرف الصناعي.

- **التعقيم باليود**

اليود عبارة عن بلورات سوداء يميل لونها سوداء يميل لونها إلى الأرجوان وعندما ينحل في الماء فأنه يمكن أن يبقى بشكله الأصلي ويمكن أن يتعرض لتغيرات معقدة مختلفة وذلك حسب التركيز الابتدائي لليود المعاير واليوديد المضاف وحسب قيمة **(pH)** ودرجة الحرارة أيضاً، وتستخدم صبغة اليود لتعقيم مياه الشرب في حالات الطوارئ فقط ويستخدم لأغراض تعقيم مياه المسابح، ونحتاج إلى جرعات من اليود أكبر من الجرعات اللازمة من الكلور لكي تتحصل على الأثر التعقيمي وهو أغلى من الكلور بكثير.

- **التعقيم بالكلورومينات:**

كلوروامينات رخيص لمعالجة المياه ولكنها غير مناسبة عادة كنظام تعقيم أساسي وتعالج هذه العملية بفاعلية الكثير من البكتريا ولكن أثرها أقل ضد ملوثات أخرى، والكلوروامينات عنصر قيم للمعالجة الثانوية لأنها توفر حماية طويلة الأمد ضد الترسيبات.

وهذه المضيفات أكثر استقرارا من تلك الناجمة عن تعقيم بالكلور، ولذلك توفر حماية ممتازة وطويلة ضد إعادة العدوى بالبكتريا وهذه مسألة مهمة تؤخذ بعين الاعتبار بالنسبة للمياه التي ستخزن لفترات طويلة من الوقت وتوزع على امتداد مسافات شاسعة.

- **التعقيم بالكلور:**

الكلور هو عبارة عن غاز سام أثقل من الهواء بمقدار **(2.5)** مرة ويتواجد في الحالات الثلاث حسب درجة الحرارة و الضغط وفي درجة الحرارة و الضغط العاديين يكون غازا لونه اصفر مخضر ورائحة كريهة وفي درجة حرارة اقل من **(33.6 –)** م° وضغط عادي أو في درجة حرارة عادية وضغط من (7– 8 بار) يتحول الكلور إلى سائل في درجة حرارة اقل من**(102 –)** م °يتحول الكلور إلى الحالة الصلبة ويكون على شكل بلورات ذات لون برتقالي غامق.

الكلور السائل قليل الذوبان في الماء لذلك يجب عند تعقيم المياه بالكلور تحويله إلى الحالة الغازية وإلا فان الكلور السائل لا يؤدي الغرض من استخدامه بشكل فعال بالإضافة إلى خطورته على العاملين وتسببه في تأكل الأنابيب ، و عندما يضاف غاز الكلور إلى الماء يتحلل حسب التفاعل التالي:

$$Cl_2 + HO \rightleftarrows HOCl + H^+ + Cl$$

الناتج الرئيسي من تفاعل التحلل هو **(HOCl)** وهو ما يسمى بحامض الهيبوكلورس **(hypochlorous acid)**هذا الحامض اقل تطايرا من الكلور بمائة ألف مرة ، يتحلل حامض الهيبوكلورس من جديد وتحت ظروف حموضة و حرارة معينة إلى ايون الهيبوكلورايت حسب التفاعل التالي:

$$HOCl \rightleftarrows H^+ + OCl$$

إن ضبط درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني مهمة جدا للحصول على اعلي تركيز من حامض الهيبوكلورس والذي يعزي إليه عملية التعقيم.

وفي حالة إضافة الكلور إلى الماء المحتوي على المركبات العضوية والغير عضوية و بما إن الكلور عامل مؤكسد قوي فان المركبات الغير عضوية تختزل الجرعة الأولى من الكلور وتحوله إلى ايون الكلورايد **(Cl^-)** و الذي ليس له فاعلية تعقيم كبيرة، والجرعة الثانية من الكلور تختزل بواسطة الأمونيا الموجودة في المخلفات العضوية وتحويلها إلى مجموعة الكلورو أمينات، والجرعة الإضافية وبعد استهلاك الأمونيا والعوامل المختزلة الأخرى يعود الكلور للتحول إلى **(OCl^-)** أو **(HOCl)** .

إن جرعة الكلور التي تم إضافتها إلى الماء تسمى الكلور الكلي **(Total Chlorine)** بينما يسمى الكلور الذي اتحد مع الأمونيا بالكلور المتبقي المتحد **(Combined Chlorine Residual)** ويسمى الكلور الذي تحلل إلى **(OCl^-)** او **(HOCl)** بالكلور الحر المتبقي **(Free Residual Chlorine)**.[2]

إن الهدف الرئيسي في التعقيم بالكلور هي ضمان بقاء كميات من الكلور الحر لأطول فترة ممكنة لضمان منع نمو البكتيريا خلال عملية نقل وتخزين وتوزيع الماء .ومن هنا يجب إضافة كمية من الكلور كافية لتحقيق هذا الغرض.

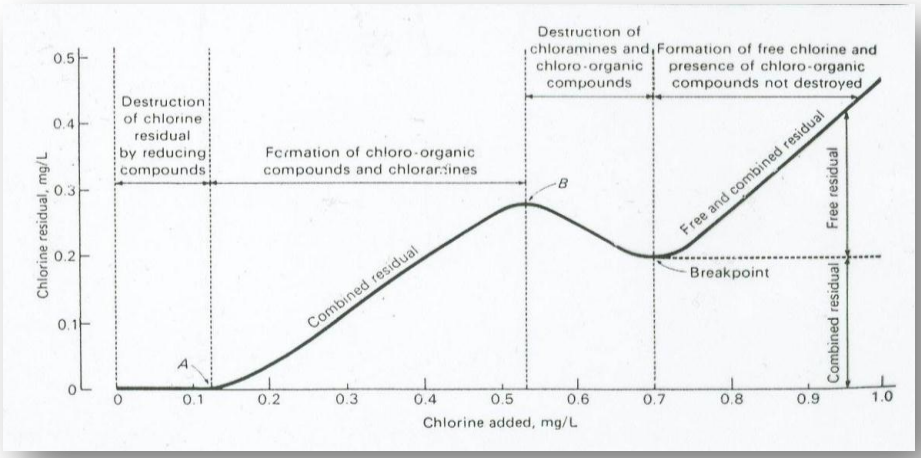
ومع إضافة كمية إضافية من الكلور يبدأ تركيز الكلور الحر بالارتفاع مجددا مما يدل على استهلاك الأمونيا تماما والنقطة التي يبدأ عندها تكون الكلور الحر من جديد تسمى نقطة الكسر **(Break Point)** كما موضحة بالشكل رقم (1) ، ويجب ان تكون جرعة الكلور أعلى من نقطة الكسر لضمان بقاء الكلور فترة أطول في الماء.[2]

ترتبط انحلالية غاز الكلورين مع درجة الحرارة بعلاقة عكسية فكلما زادت درجة الحرارة قلت ذوبانية الكلور في الماء، إذا وجد في الماء نسبة من الامونيا فان الكلورين يتحد معها حسب التفاعلات التالية:

$$NH_3 + HOCl \longrightarrow H_2O + NH_2Cl$$ (كلورامين احادي)

$$NH_2Cl + HOCl \longrightarrow H_2O + NHCl_2$$ (كلورامين ثنائي)

$$NHCl_2 + HOCl \longrightarrow H_2O + NCl_3$$ (كلورامين ثلاثي)



الشكل (1): نقطة الانكسار أثناء عملية التعقيم

إذن تتكون مجموعة الكلورو امينات (Chloramines) وهي عوامل معقمة أضعف من حامض الهيبوكلورس والهيبوكلورايت لكن فترة مكوثها في الماء اطول من حامض (HOCl) أو (OCl) وهي صفة جيدة في الكلورو أمينات.

إن مركب الكلور آمين الاحادي له طعم مستساغ بينما يسبب الكلور وآمين الثنائي رائحة وطعم مستساغين أما الكلور وآمين الثلاثي فهو مركب غير ثابت، إجمالا يجب ضبط تركيز الكلورو أمينات في الماء غير كونه سام للحياة البحرية.

تكمن خطورة استخدام الكلور في التعقيم من الناحية الصحية في اتحاده مع بعض المواد العضوية مما يؤدي لتكون مواد تسمى بالهالوميثانات الثلاثية (Trihalomethanes) وتختصر هكذا (THMs) وهي مركبات قد تسبب أمراض سرطانية.

ومن الأمثلة على هذه المركبات مادة الكلوروفورم و البروموفورم و البرومو ثنائي كلوروميثان و ثنائي بروموكلورو ميثان، يتم تفادي هذه المشكلة الخطيرة من خلال استخدام الكربون المنشط الذي يعمل على امتزاز المركبات العضوية قبل عمليات التعقيم.

1.4 مواصفات مياه النهر الداخلة في شبكة التوزيع:[6]

- يتراوح تركيز الكلور الحر المتبقي في هذه المياه عند وصولها للمستهلك بين (0.2 – 0.5) ppm بعد مدة تلامس 30 دقيقة كحد أدنى عند رقم هيدروجيني أقل من 8.
- أن تكون خالية من مجموعة بكتيريا القولون في كل (100 مل) من العينة المختبرة.
- أن تكون خالية من بكتيريا القولون الغائطية في كل (100 مل) من العينة المختبرة.
- ألا يزيد عدد مجموعة بكتيريا القولون على (3 مستعمرة بكتيرية / 100 مل) من العينة.

2. منهجية البحث:

في هذه الدراسة سيتم تتبع تركيز الكلور المتبقي داخل شبكات توزيع المياه الصالحة للاستعمال الحضري وذلك بسحب (32) عينة من منطقة أبو سليم داخل مدينة طرابلس ، ودراسة

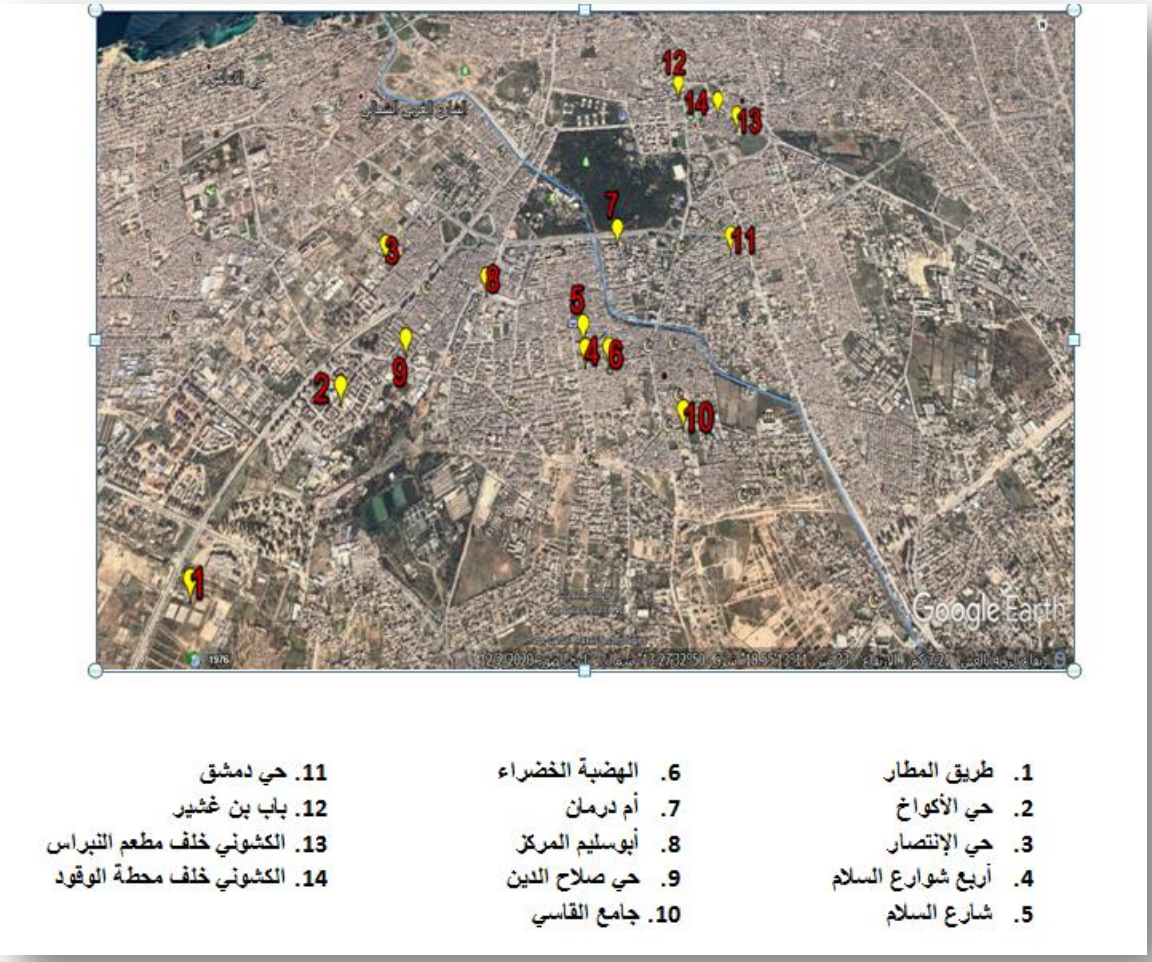
مدى تأثير الكلور وفاعليته والعوامل التي تؤثر على كفاءة التعقيم مثل (pH ، درجة الحرارة ، زمن التماس بين الكلور والماء ، قلوية الماء، جرعة الكلور) و تحديد العلاقة بين كل هذه المتغيرات و مقارنة النتائج بالمواصفات القياسية الليبية (82)[4]

2.1 منطقة الدراسة وجمع العينات:

جمعت العينات من مدينة طرابلس بالتحديد بلدية أبو سليم في مواقع مختلفة من بداية الخط للبلدية حتى نهايته كما هو موضح بالشكل الجغرافي المرفق رقم (2).

2.2 جمع العينات:

وجمعت (24) عينة في شهري يناير وفبراير لسنة 2020 قبل دخول منطقة الدراسة دائرة الاشتباكات ، ومن شهر مارس إلى أغسطس كانت المنطقة داخل دائرة الاشتباكات بحيث لم يتمكن الباحثين من جمع العينات، أما شهري سبتمبر وأكتوبر انقطعت المياه عن مدينة طرابلس بالكامل ، وتم جمع (8) عينات لشهري نوفمبر وديسمبر لنفس السنة بعد نهاية الاشتباكات داخل المنطقة ، حيث جمعت العينات من محطات رئيسية ومنازل و تم قياس بعض المواصفات الفيزيائية للعينات المدروسة حقليا بعد الجمع مباشرة لتجنب عملية التطاير وبقية القياسات تمت بالمعمل.



شكل رقم (2): يوضح مواقع أخذ العينات من بلدية ابو سليم (طرابلس)

1.2 طرق القياس والأجهزة المستخدمة:

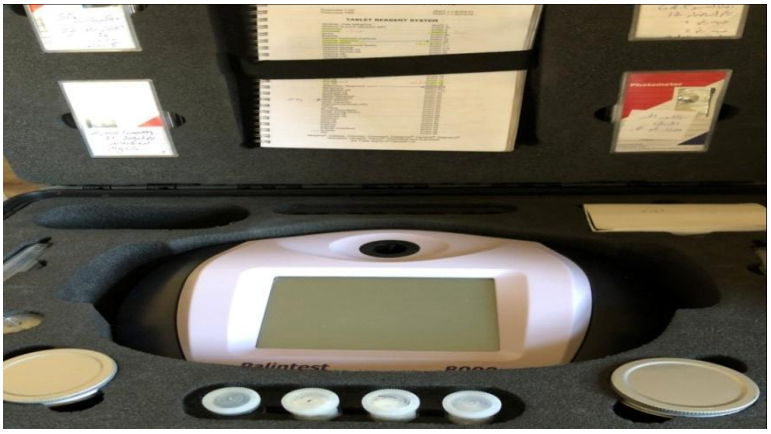
تم قياس عدد من خواص المياه حقليا باستخدام الأجهزة الحقلية لإجراء تلك القياسات منها الرقم الهيدروجيني (pH) ودرجة الحرارة (T)، العكارة (TU) والموصلية الكهربائية (EC) الموضحة بالشكل رقم (3) حيث تم استخدام جهاز (pH meter) لقياس الرقم الهيدروجيني وجهاز (Conductivity meter) لقياس الموصلية الكهربائية ودرجة الحرارة ، ولقياس الكلور الحر والكلور المتبقي استخدم المقياس اللوني (DPD Tablets).

وتم استخدام جهاز (Wagtech a palintest brand) المحمول لإجراء التحاليل المكروبيولوجية والموضح بالشكل (4) ، بما في ذلك تجهيز العينات الجرثومية من مرحلة أخذ العينة وترشيحها وصولا إلى وضعها في الحضانة حقليا.

شكل رقم (3): أجهزة قياس الاختبارات الفيزيائية

شكل رقم (4): جهاز قياس الاختبارات الميكروبيولجي

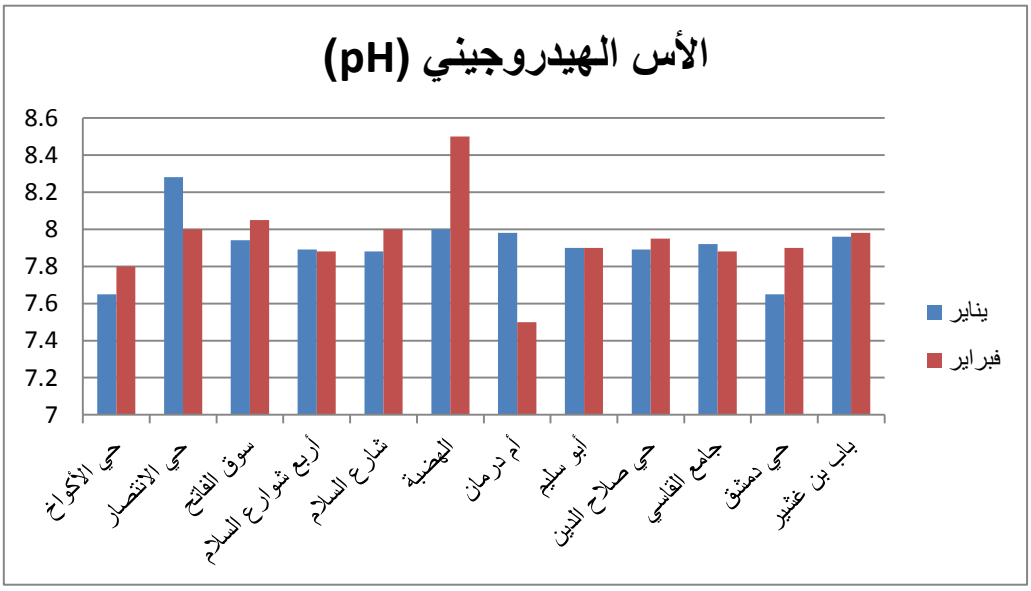
ولاختبار العناصر الكيميائية استخدم جهاز (Palin test –Spectrophotometer 8000) المحمول كما بالشكل (5).



شكل رقم (5): جهاز قياس الاختبارات الكيميائية

2.2 النتائج والمناقشة:

نتجة التحاليل والقياسات التي أجريت على (24) عينة ومتمثلة في الجدول (1) والجدول (2) الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه، وأشارت نتائج التحاليل لشهري يناير وفبراير بحيث تراوحت درجة الحرارة بين (14، 20) م° والرقم الهيدروجيني يتراوح بين (8.28 – 7.65) و (8.50 – 7.50) للشهرين على التوالي وهو يعتبر داخل نطاق الحدود المسموح بها كما موضح بالشكل (6).



شكل رقم (6): الأس الهيدروجيني (pH) لشهري يناير وفبراير

جدول (1): نتائج تحاليل عينات شهر يناير

ت	مكان أخذ العينة	التحاليل الفيزيائية			التحاليل الكيميائية						
		pH	TDS (ppm)	TUR (NTU)	CL المتبقي (ppm)	CL الحر (ppm)	Mg (ppm)	Ca_2 (ppm)	SO_4 (ppm)	NO_3 (ppm)	NO2 (ppm)	T.H (ppm)
1	حي الأكواخ	7.65	947	0	0.010	0.02	40.24	126	280	39.85	0.013	480
2	حي الانتصار	8.28	956	0	0.011	0.04	40.24	118	–	–	–	460
3	سوق الفاتح	7.94	926	0	0.000	0.00	43.90	116	–	–	–	470
4	أربع شوارع السلام	7.89	1004	0	0.000	0.01	41.46	128	–	–	–	490
5	شارع السلام	7.88	1033	0	0.012	0.08	35.37	116	–	–	–	435
6	الهضبة	8.00	1050	0	0.011	0.03	50.00	140	–	–	–	555
7	أم درمان	7.98	904	0	0.010	0.02	45.12	104	–	–	–	445
8	أبو سليم	7.90	720	0	0.010	0.02	31.71	122	–	–	–	435
9	حي صلاح الدين	7.89	760	0	0.011	0.04	39.02	120	–	–	–	460

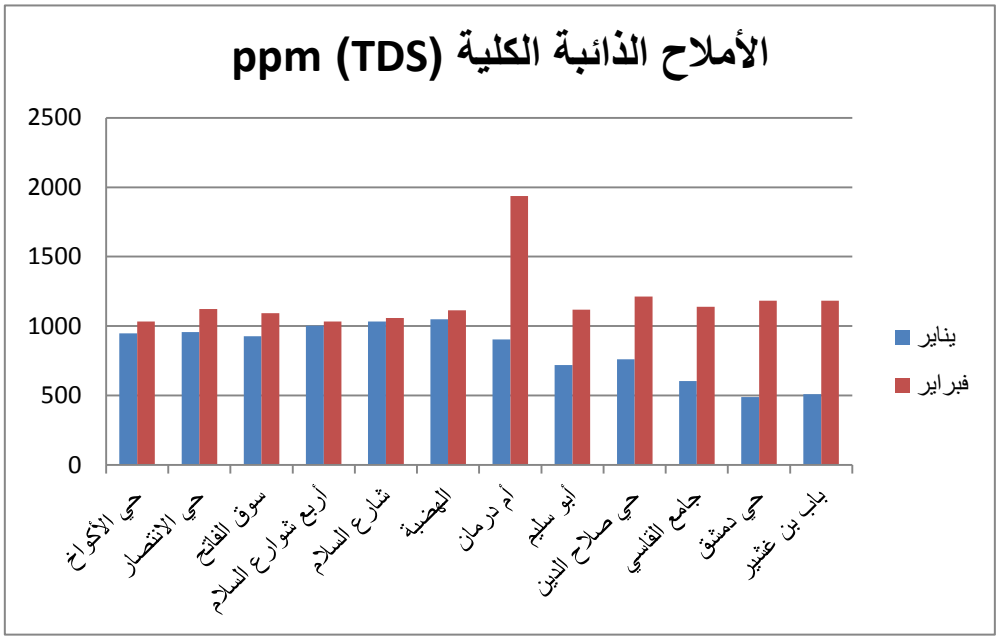
ت	مكان أخذ العينة	التحاليل الفيزيائية			التحاليل الكيميائية						
		pH	TDS (ppm)	TUR (NTU)	CL المتبقي (ppm)	CL الحر (ppm)	Mg (ppm)	Ca_2 (ppm)	SO_4 (ppm)	NO_3 (ppm)	NO2 (ppm)	T.H (ppm)
10	جامع القاسي	7.92	604	0	0.010	0.02	47.56	130	–	–	–	520
11	حي دمشق	7.65	490	0	0.000	0.00	36.58	128	–	–	–	470
12	باب بن غشير	7.96	510	0	0.014	0.09	43.90	120	270	59.34	0.023	480

جدول (2): نتائج تحاليل عينات شهر فبراير

ت	مكان أخذ العينة	التحاليل الفيزيائية			التحاليل الكيميائية							
		pH	TDS (ppm)	TUR (NTU)	CL المتبقي (ppm)	CL الحر (ppm)	Mg (ppm)	Ca_2 (ppm)	SO_4 (ppm)	NO_3 (ppm)	NO2 (ppm)	T.H (ppm)
1	حي الأكواخ	7.80	1034	0	0.01>	0.01>	40.24	126	270	62.44	0.0164	480
2	حي الانتصار	8.00	1122	0	0.01>	0.01>	39.02	118	–	–	–	455
3	سوق الفاتح	8.05	1094	0	0.02	0.04	35.36	120	–	–	–	445
4	أربع شوارع السلام	7.88	1034	0	0.01>	0.01>	30.48	128	–	–	–	445
5	شارع السلام	8.00	1058	0	0.01>	0.01>	45.12	118	–	–	–	480
6	الهضبة	8.50	1114	0	0.01>	0.00	75.60	94	–	–	–	545
7	أم درمان	7.50	1936	0	0.02	0.07	30.48	120	–	–	–	425
8	أبو سليم	7.90	1118	0	0.01>	0.01	36.58	120	–	–	–	450
9	حي صلاح الدين	7.95	1212	0	0.01>	0.01>	43.90	118	–	–	–	475
10	جامع القاسي	7.88	1138	0	0.01>	0.00	52.43	122	–	–	–	520
11	حي دمشق	7.90	1184	0	0.02	0.05	42.68	130	–	–	–	500
12	باب بن غشير	7.98	1183	0	0.01>	0.01>	31.70	128	270	52.69	0.0197	450

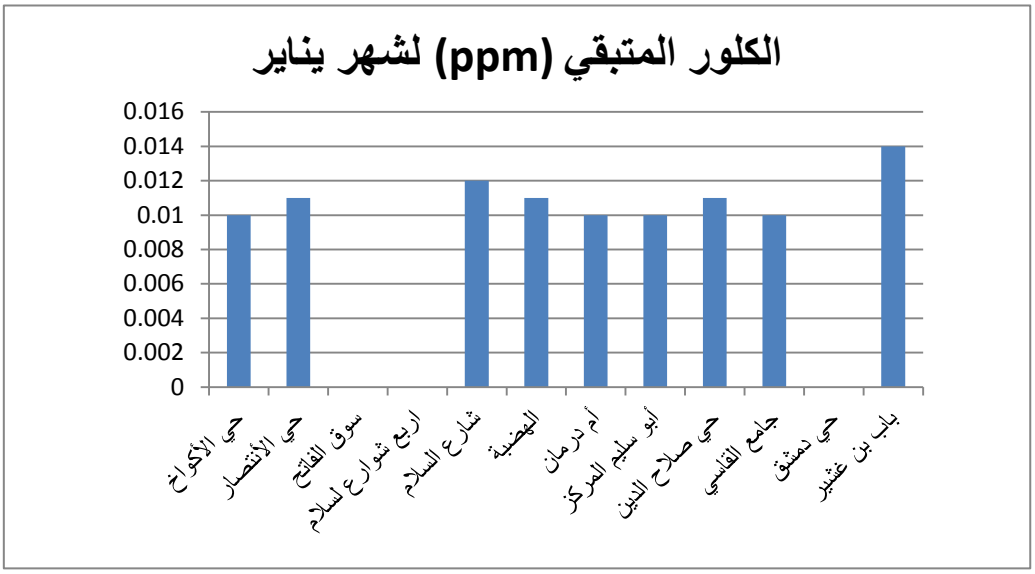
ومن خلال الجدولين (1) و(2) كانت توضح نتائج التحاليل للعناصر الفيزيائية والكيميائية لجميع العينات فيما عدا العناصر التالية (الكبريتات – النترات – النيتريت) بحيث تم إجراء التحليل على العينة رقم (1) حي الأكواخ وهي بداية خط شبكة المياه والعينة رقم (2) باب بن غشير وهي نهاية الخط لبلدية ابوسليم ولم يتم إجراء التحاليل لباقي العينات وذلك للتكلفة العالية في ذلك الوقت.

الأملاح الذائبة الكلية (TDS) كانت بين (490–1050) و (1936 – 1034) ppm فكانت نتائج العينات داخل نطاق الحدود المسموح بها في ما عدا منطقة أم درمان فتجاوزت الحد المسموح به كما موضح بالشكل (7).



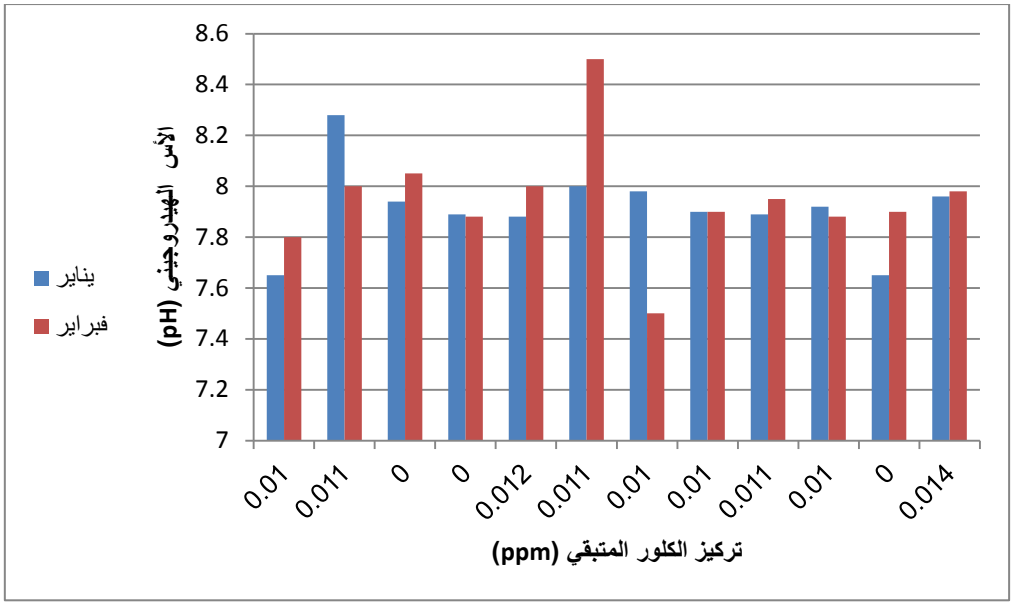
شكل رقم (7): الأملاح الذائبة الكلية (ppm TDS) لشهري يناير وفبراير

أما بالنسبة للكلور فكانت تركيز الكلور المتبقي قليلة جدا و أقل من المعايير المسموح بها (0.2) ppm طبقاً للمواصفات القياسية الليبية (82) مما يرجح بأن الجرعة المضافة للمياه كانت قليلة جدا ولا تكفي لتعقيم كامل الشبكة مع العلم بأن المنطقة التي تمت عليها الدراسة هي المنطقة الأولى لدخول المياه إليها وأول نقطة هي طريق المطار كما مبين في الشكل (8).



الشكل (8):الكلور المتبقي (ppm) لشهر يناير

والشكل (9) يوضح العلاقة بين تركيز الكلور المتبقي والأسس الهيدروجيني لشهري يناير وفبراير.



شكل رقم (9): العلاقة بين تركيز الكلور المتبقي (ppm) والأس الهيدروجيني

وهذا يدل بأن الكلور سوف يتلاشى وينعدم كليا قبل وصوله إلى نهاية الشبكة، علماً بأن شبكة المياه متهالكة مما يجعل المياه عرضة لأي نوع من أنواع التلوث يمكن أن يحدث.

وبالنسبة إلى باقي العناصر الكيميائية التي تم إجراء التحاليل عليها كانت في الحدود المسموح بها وفق المواصفات الليبية (82) فيما عدا النترات فقد لوحظ ارتفاع في نسبة النترات في نهاية الأنابيب لهذه المنطقة ويصل إلى (59.34) ppm لشهر يناير وفبراير كانت (66.44) ppm وقد يرجح ارتفاع هذه النسبة إلى تهالك الشبكة أو تداخل المياه داخل الشبكة مع مياه الصرف الصحي.[1]

وفي شهر فبراير كان هناك وجود أثر للكلور ولكنها كمية قليلة جدا ولا تكفي للتعقيم مما يجعل الشبكة عرضة للتلوث، مع العلم بأنه في السابق عملية التعقيم تتم من جهاز النهر ويسلم

المياه بنسبة كلور متبقي (0.2) ppm ولا تقوم الشركة العامة للمياه بعملية التعقيم ويتم ضخها مباشرة داخل الشبكة مع العلم بأن في هذه الفترة العاملين بجهاز النهر لم يتمكنوا من الوصل إلى مقر الجهاز النهر الواقع داخل منطقة الاشتباكات.

وفي شهري نوفمبر وديسمبر وبعد انتهاء دائرة الاشتباكات في المنطقة كانت النتائج لعدد (8) عينات كما مبينة في الجدول (3) بحيث تتراوح درجة الحرارة بين (20–28) م° و الرقم الهيدروجيني (7.6 –8.7) والأملاح الذائبة الكلية (1201–1023) ppm وتعتبر هذه القيم مقبولة إلى حد ما.

جدول (3): نتائج تحاليل الفيزيائية والكيميائية لشهري نوفمبر وديسمبر.

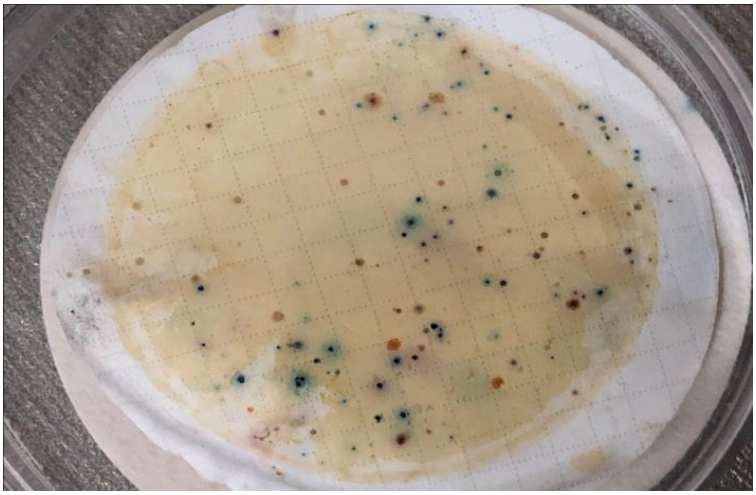
ت	مكان أخذ العينة	التاريخ	التحاليل الفيزيائية				التحاليل الكيميائية								
			pH	TDS (ppm)	TUR (NTU)	E.c (µ/cm)	CL_2 (ppm)	Mg (ppm)	Ca_2 (ppm)	$CaCo_3$ (ppm)	SO_2 (ppm)	NO_3 (ppm)	Fe (ppm)	NH_3 (ppm)	NO_2 (ppm)
1	محطة طريق المطار	2020/11/10	7.6	1024	5 >	1547	0	50	78	197	205	39	0.03	0	0.007
2	محطة طريق المطار	2020/12/3	7.7	1023	5 >	1556	0	65	173	182	200	39.200	0.02	0	0.007
3	حي الأكواخ	2020/12/3	7.7	1054	5 >	1569	0	55	76	189	225	32	0.15	0	0.007
4	حي الإنتصار	2020/12/3	7.7	1057	5 >	1578	0	45	276	190	205	38	0.02	0	0.016
5	الكشوني (1)	2020/12/3	7.8	1051	7	1652	0	30	164	159	205	38.3	0.03	0	0.010
6	الكشوني (2)	2020/12/3	8.7	1049	7	1589	0	35	293	232	205	44	0.01	0	0.036
7	جامع البخاري (1)	2020/12/3	8.1	1054	5 >	1823	0	60	286	215	275	32.450	0.03	0	0.0013
8	جامع البخاري (2)	2020/12/3	8.1	1201	5 >	1817	0	65	290	224	235	38.700	0.01	0	0

وإما الكلور لا يوجد له أي أثر من بداية نقطة دخول المياه للشبكة وهي محطة طريق المطار وحتى نهاية الشبكة بهذه المنطقة وهي قرية الكشوني (نادي الإتحاد) ، مما أذى إلى سحب عينات تحاليل بيولوجية عشوائية من الشبكة وكانت النتائج كما مبين بالجدول (4).

جدول (4) : نتائج تحاليل البيولوجية.

ت	مكان أخذ العينة	التاريخ	E. coli	Coli form	ملاحظات
1	طريق المطار	2020/11/10	✓	✓	بداية عودة المياه
2	طريق المطار	2020/12/3	✓	✓	المياه ضعيفة
3	طريق المطار	2020/12/23	–	–	المياه ضعيفة
4	حي الأكواخ	2020/12/8	–	✓	شبكة متهالكة
5	حي الأكواخ	2020/12/23	–	–	شبكة متهالكة
6	حي الانتصار	2020/12/8	✓	✓	شبكة متهالكة
7	الكشوني خلف النبراس	2020/12/7	✓	✓	شبكة متهالكة
8	الكشوني خلف النبراس	2020/12/23	–	✓	شبكة متهالكة
9	الكشوني خلف النبراس	2020/12/23	–	✓	شبكة متهالكة
10	الكشوني خلف محطة الوقود	2020/12/7	✓	✓	شبكة متهالكة (حديد)
11	الكشوني خلف محطة الوقود	2020/12/23	✓	✓	شبكة متهالكة (حديد)
12	الكشوني خلف محطة الوقود	2020/12/23	✓	✓	شبكة متهالكة (حديد)
13	جامع القاسي (الهضبة)	2020/12/23	–	–	شبكة متهالكة
14	جامع البخاري (الهضبة)	2020/12/7	✓	✓	شبكة متهالكة

وبعد التحاليل كانت النتيجة وجود مجموعة من أنواع البكتريا ومن أهمها البكتريا القولونية الغائطية (أيشيريشياكولاي) (E-Coli) ومجموعات من البكتريا القولونية (Total Coliform) وهذا له دلالة على وجود تلوث في بعض العينات والشكل رقم (10) يوضح عينة تتواجد بها أنواع البكتريا المذكورة.



شكل رقم (10): عينة يوجد بها تلوث بأنواع البكتريا

الاستنتاج:

من خلال نتائج التحاليل لمياه الشبكة العامة ومقارنتها بالمواصفات القياسية الليبية (82) ومواصفات مياه النهر المستلمة من قبل الشركة العامة للمياه والصرف الصحي تبين الآتي:

- هناك عدم تطابق في مواصفات المياه ويرجع ذلك إلى تهالك الشبكة العامة وتأكلها وفي بعض المناطق على سبيل المثال منطقة الكشوني خلف محطة الوقود هناك تداخل مياه الصرف الصحي داخل الشبكة العامة وحدوث تلوث الميكروبي.
- تهالك الشبكة العامة قد تسبب في ارتفاع العناصر الكيميائية والأملاح للمياه على سبيل المثال في منطقة أم درمان كانت الأملاح الذائبة الكلية (TDS) مرتفعة تصل إلى (1936) ppm وهي أعلى من الحد المسموح به ، وكذلك ارتفاع تركيز النترات يصل إلى (59.34) ppm في منطقة باب بن غشير.

- أشارت النتائج إلى انخفاض تركيز الكلور المتبقي منذ بداية نقطة استلام المياه وأحياناً لا يوجد أثر للكلور في بعض المناطق ويرجع ذلك إلى جرعة الكلور المضافة غير كافية لتعقيم الشبكة مع العلم بأن الشركة تستلم المياه من جهاز النهر (منظومة الحساونة سهل جفارة) تحتوي على نسبة كلور متبقي (0.2) ppm والشركة لا تقوم بالتعقيم بعد ذلك من خلال المحطات بمدينة طرابلس.
- عدم تعقيم المياه بمادة الكلور من قبل جهاز النهر فيما بعد فترة الاشتباكات تسبب في العديد من المشاكل وأهمها وجود تلوث بيولوجي في بعض العينات واضح كما في منطقة الكشوني (باب بن غشير) وجدت في العينة مجموعات من البكتريا القولونية الغائطية ومجموعات من البكتريا القولونية وهذا غير مطابق للمواصفات مما ينذر بحدوث كارثة إنسانية.

التوصيات

1. العمل على إنشاء شبكة جديدة داخل مدينة طرابلس مع العلم بأن العمر الافتراضي للشبكة منتهي ومتهالك.
2. وضع آلية لتتبع الكلور مثل (إجراء التحاليل اليومية ، توفير المواد التشغيلية ، وضبط الجرعة اللازمة) من بداية الضخ وحتى نهاية الشبكة بشكل دوري.
3. دراسة علمية على المياه الداخلة للشبكة وتحديد الجرعة ونقاط الحقن اللازمة لضمان وصل نسبة الكلور المتبقي في الحدود المسموح بها طبقا للمواصفات القياسية الليبية والعالمية.

4. تشغيل منظومات الكلور الرئيسية داخل نقاط استلام المياه من جهاز النهر .
5. العمل على تشغيل منظومات الكلور الفرعية لمحطات المياه داخل المدينة ودراسة وضع منظومات حقن صغيرة داخل الشبكة حتى نضمن التعقيم في جميع الشبكة.
6. العمل على تسهيل وتوريد اسطوانات غاز الكلور بشكل دوري بحيث نمنع توقف المنظومات عن العمل.
7. العمل المشترك بين الشركة العامة للمياه والصرف الصحي وجهاز النهر والتنسيق في وضع آلية لتتبع الكلور فيما بينهما من بداية الضخ من الآبار حتى وصول المياه إلى المستهلك.
8. إعداد وتأهيل فنيين كلور للتعامل مع المنظومات والإسطوانات وتوفير المعدات الخاصة للسلامة المهنية.

المراجع

1. أحمد رمضان – كمال ندا – بان جاسم ، تغاير تراكيز الكلور المتبقي في بعض مناطق الرصافة ، دائرة البيئة والمياه ، وزارة العلوم والتكنولوجيا ، بغداد ، المجلة العراقية للعلوم 2016.
2. منظمة الصحة العالمي ، دليل تطهير مياه الشرب ، المكتب الأقليمي للشرق الأوسط ، عمان 2004.
3. جمال عبد الله ،تعقيم مياه الشرب ، معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية ،مؤسسة التدريب المهني ، المملكة الأردنية الهاشمية ، 2004.

4. المواصفات القياسية الليبية (82) الخاصة بمياه الشرب ، اللجنة العليا للمركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية ، لسنة 2019.
5. عفاف جدعان عبيد ، تراكيز الكلور المتبقي في شبكة ماء تكريت ،كلية الهندسة ، جامعة تكريت ، 2011.
6. تقارير الشركة العامة للمياه والصرف الصحي ، لسنة 2010