

تحسين الجودة لشبكة الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة

م. فاطمة سلمان¹ د.م. هناء سلمان² د.م. فيروز شكور³ د.م. عادل عوض⁴

¹ طالبة دكتوراه - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

² أستاذ مساعد قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

³ مدرسة في قسم الذكاء الصناعي - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

⁴ أستاذ في قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

الملخص:

تعتبر عملية إضافة الكلور للمياه عملية رئيسية من أجل تطهير المياه والحماية في شبكة التوزيع من التلوث الجرثومي ومنع نمو الطحالب في منشآت التنقية في معظم الدول النامية، لكنه قد يشكل المنتجات الثانوية والروائح والمذاق غير المرغوب عندما تكون تراكيز الكلور الحر المتبقي (free residual chlorine) (FRC) بمستويات أعلى من الحدود المسموحة. قمنا بدراسة تغيير معامل الكلور الموحد مع الكلور المطبق خلال عام 2019 لشبكة الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة، وذلك وفق البيانات المتوفرة في مؤسسة مياه الشرب لتقييم الحالة العامة لعملية الكلورة القائمة. وفي المرحلة الثانية قمنا بدراسة تغيير معامل (Uniform Chlorine Coefficient) UCC وتراكيز الكلور الحر المتبقي في مجموعة منتقاة من نقاط القياس عند استخدام نقاط دعم إضافية للكلور المطبق في الشبكة. وتبين أن قيمة UCC المحسوبة وفق البيانات المتاحة في مؤسسة المياه محصورة ضمن المجال (0,79 - 1)، والتي تعد قيم مقبولة تعبر عن توزيع جيد لتراكيز الكلور ضمن الشبكة على مدار العام، ولكن تبين البيانات المتوفرة أن الكلور الحر المتبقي يتناقص في بعض نقاط القياس لحدود حرجة غير مقبولة. تزداد قيمة UCC عند استخدام الدعم بزيادة عدد نقاط الدعم من القيمة 0.5349 إلى القيمة 0.8564 وبالتالي فإن الحقن الإضافي هام للحفاظ على توزيع أمثل لقيم الكلور الحر

المتبقي. كما ترتفع قيمة الكلور الحر المتبقي في النقاط اللاحقة لمكان الدعم إلى حد مقبول تصل إلى 0.4 بدون زيادة كبيرة في قيمة الكلور المضاف، كما في السيناريو الأخير عند رفع القيمة إلى 0.8، والذي تبقى فيه قيمة UCC منخفضة وغير مقبولة.

كلمات مفتاحية: شبكات مياه الشرب، الكلور الحر المتبقي، معامل الكلور الموحد،

دعم الكلورة.

Improving the Quality of the Drinking Water Supply Network for Jable City

* Fatma Slman **Dr. Hana Salman ***Dr. Feroze shakor **** Dr. Adel awed

* postgraduate student in the department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

** Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Associate Professor, Department of Artificial Intelligence, Faculty of Information Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**** Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

Abstract

The process of adding chlorine to water is a key process in order to disinfect water and protect the distribution network from bacterial contamination and prevent the growth of algae in purification facilities in most developing countries, but it may form by-products, odors and undesirable taste when concentrations of free residual chlorine (FRC) to levels above permissible limits. We studied the change of the standardized chlorine factor with the chlorine applied during 2019 to the drinking water supply network for the city of Jableh, according to the data available in the Drinking Water Corporation to assess the general condition of the existing chlorination process. In the second stage, we studied the change of the Uniform Chlorine Coefficient (UCC) and the concentrations of free residual chlorine in a selected set of measurement points when using additional support points for chlorine applied in the network. It was found that the calculated UCC value according to the data available in the Water Corporation is limited to the range (0.79 - 1), which are acceptable values that reflect a good distribution of chlorine concentrations within the network throughout the year, but the available data show that the residual free chlorine decreases in some points. Critical limits are not acceptable. The value of the UCC increases when the support is used by increasing the number of points of support from the value of 0.5349 to the value of 0.8564 and therefore the additional injection is important to maintain an

optimal distribution of the residual free chlorine values. The value of the residual free chlorine in the subsequent points of the support place also increases to an acceptable extent up to 0.4 without a significant increase in the value of the added chlorine, as in the last scenario when the value is raised to 0.8, in which the UCC value remains low and unacceptable.

Keyword: water distribution networks, Free residual chlorine, Uniform chlorine coefficient, Booster chlorination.

1- مقدمة:

يعتبر تعقيم مياه الشرب أمراً هاماً لضمان جودة المياه في أنظمة الإمداد، ويعد الكلور أحد أكثر مواد التعقيم انتشاراً، نظراً لكلفته المنخفضة وثباته وفعاليتها [1]. يتحكم الكلور الحر بنمو الأحياء الممرضة، ولكنه يتفاعل أيضاً مع المادة العضوية الطبيعية الموجودة في المياه، ويشكل منتجات ثانوية قد تسبب السرطانات [2]، إضافة إلى أن تركيز الكلور يتناقص تدريجياً أثناء انتقال المياه ضمن الشبكة، لذلك من الضروري فهم العوامل التي تساهم في ضياع الكلور، وتشكيل المنتجات الثانوية للتعقيم، بهدف الحفاظ على مستويات الكلور المتبقي ضمن مستويات معينة [3].

يتأثر تفكك الكلور بشكل أساسي بعوامل جودة المياه كتركيز الكلور الأولي، ومحتويات المواد العضوية واللاعضوية، ودرجة الحرارة وغيرها [4]، ويتأثر أيضاً بعوامل الشبكة مثل الظروف الهيدروليكية ومواد الأنابيب وزمن التشغيل إلخ.. [5]. يمكن تقسيم مرحلة ضياع الكلور بشكل أساسي إلى تفكك كتلة الكلور والتي تتميز بمعامل التفاعل K_D وتفكك الجدار المميز بالمعامل K_W بسبب إمكانية حدوث التفاعل ضمن التدفق الكتلي ومع مادة جدار الأنبوب. يعتمد التفكك الكتلي على طبيعة مصدر المياه والمعالجة التي تلقتها بينما يعتمد معامل تفكك الجدار على مادة الأنبوب. يمكن التوصل إلى معامل التفاعل K_D عبر أخذ عدة زجاجات الاعتيان للمياه قبل دخولها الشبكة وإجراء الاختبارات ضمن المخبر. ويرتبط معامل الجدار K_W بمادة الأنبوب والظرف الفيزيائية ضمن جدار الأنبوب مثل القشرة الداخلية والتنوعات الناتجة عن التآكل. [6].

ومن الجدير بالذكر أن تعريف جودة المياه في هذا البحث يقتصر على الكلور المتبقي كمعامل مطهر رئيسي في شبكات الإمداد بالمياه.

حللت العديد من الدراسات حالات الحفاظ على تراكيز كلور متبقي ثابتة في شبكات توزيع المياه، مع الأخذ بعين الاعتبار أن عملية التنقية عند المصادر لا تستطيع توفير تركيز كلور حر متبقي FRC موحد عند كل العقد في جميع الأوقات ضمن شبكة الإمداد بالمياه، حيث يتم إضافة الكلور في طرائق التنقية التقليدية فقط عند المصادر

الرئيسية، وبالتالي يكون التركيز مرتفع في العقد القريبة من مصادر التوزيع، وينخفض مع الابتعاد عن المصدر.

إن أفضل الطرائق لضمان الحصول على FRC موحد ومستقر هي طريقة دعم الكلور Booster Chlorination، والتي تعتمد على حقن الكلور عند عدد من العقد الوسيطة بالإضافة إلى المصدر، تعمل هذه الطريقة على تخفيض درجة الانحلال، وتسمح بالحفاظ على درجات التركيز ضمن الحدود المسموحة، وبالتالي الحفاظ على توزع أكثر تساوي واستقرار عند كل العقد [7-10]. يمثل النموذج من الدرجة الأولى تفكك الكلور في المياه بطريقة مقبولة، ويعطى بالمعادلة:

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

حيث C_t تركيز الكلور في اللحظة الزمنية t (mg/l)؛ C_0 التركيز الأولي للكلور (mg/l)؛ t الزمن بالأيام؛ k يمثل ثابت التفكك، وهو متعلق بثابت معدل التفكك الكتلي، وثابت معدل تفكك الجدار، وسرعة المياه، وقطر الأنبوب، واللزوجة الحركية للمياه، وانتشار جزيئات الكلور [11]. يستخدم هذا النموذج الديناميكي ضمن برمجية EPANET، التي تستطيع أن تتبّع تراكيز الكلور مهما كان تعقيد شبكة التوزيع. ومن الجدير بالملاحظة أن ثابت انحلال الجدران مهمل في معظم الدراسات.

2- هدف البحث:

يكمن الهدف في دراسة تحلل الكلور لنظام الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة، من خلال قياس تراكيز الكلور الحر المتبقي الدورية على مدى عام 2019، والتحقق من أن التراكيز المطلوبة تصل إلى كافة عقد الشبكة، إضافة إلى بيان تأثير دعم عملية الكلورة في عدة عقد في الشبكة على معامل الكلور الموحد.

3- مواد وطرائق البحث:

3-1- معامل الكلور الموحد Uniform Chlorine Coefficient: ويعرف بأنه التعبير عن تساوي تركيز الكلور الحر المتبقي في نظام توزيع المياه بين العقد، حيث يحسب متوسط الكلور الحر المتبقي (average of free residual chlorine) AFRC في جميع العقد في جميع الأوقات ضمن شبكة توزيع المياه، ثم يحسب انحراف متوسط قيم الكلور الحر المتبقي (average divergence of FRC) ADIG في

جميع العقد في جميع الأوقات ضمن شبكة توزيع المياه، والذي يكون عادة محصور في المجال (0.2-0.5 mg/l)، لنحصل على معامل الكلور الموحد بالعلاقة التالية:

$$UCC = 1 - \frac{ADIG}{AFRC}$$

يستخدم لضمان تقارب نسب تراكيز الكلور في عقد شبكات توزيع المياه، حيث ستكون قيمة UCC تساوي الواحد عندما تكون نسب تراكيز الكلور في كل العقد ضمن المجال السابق، وسيكون ADIG صفرية عند ذلك، في حين يتباين هذا المعيار عندما تكون القيم خارج المجال المذكور [12]. وتستخدم طريقة دعم الكلور من أجل الحفاظ على نسب تراكيز الكلور ضمن الحدود المطلوبة، بحيث تعمل على تخفيض عدد المشاكل التي تتم في عمليات حقن الكلور التقليدية، ويتم الحقن عند العقد القريبة من المصدر، والعقد الحدية التي تعتبر نسب تركيز الكلور فيها صفرية تقريباً. هذا وتعتبر عقد التغذية المصدر الأفضل لدعم التركيز وبالتالي الكلورة. ويمكن استخدام نقطة ضبط داعمة من أجل الجرعة الداعمة للكلورة (دعم الانحلال) في مصدر تدفق أساسي داعم، أو مصدر كتلة داعم [13].

3-2- نظرية جودة المياه: تعتمد المعادلات الحاكمة لبرنامج EPANET على مبدأ الحفاظ على الكتلة إلى جانب حركية التفاعل. عندما يتم إدخال الماء المكثور في نظام التوزيع، فإن الكلور المتبقي يتبدد تدريجياً، وقد يؤدي استنفاد الكلور المتبقي بعد ذلك إلى تأثيرات غير مرغوب فيها، بما في ذلك نقص التطهير البيولوجي في نظام التوزيع. وهناك ثلاثة عوامل تؤثر على استهلاك الكلور:

- التفاعل مع المواد الكيميائية العضوية وغير العضوية (مثل الأمونيا والكبريتيد، الحديدوز، أيون المنغنيز، مادة الدبالية).
- التفاعلات مع الأغشية الحيوية على جدار أنبوب التوزيع.
- عملية التآكل [11].

3-3- منطقة الدراسة Case Study: تم اختيار مدينة جبلة كحالة للدراسة، وهي مركز منطقة جبلة في محافظة اللاذقية شمال غرب سوريا. تستجر مياه الشرب لمدينة جبلة من بحيرة السن، بعد أن يتم تنقية وتعقيم المياه، يتم أخذ هذه المياه إلى قسم

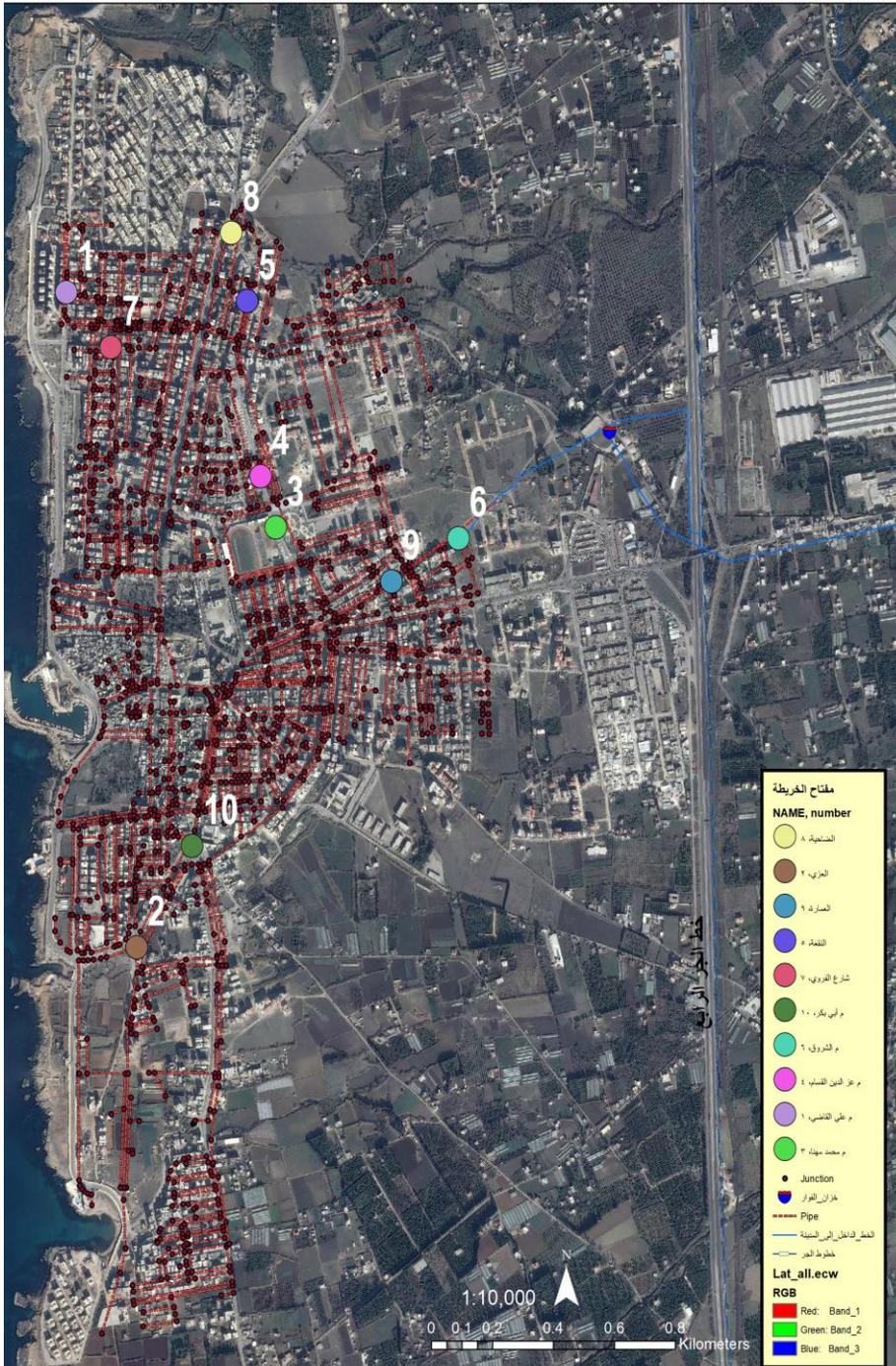
المعالجة بغاز الكلور، تتم عملية معالجة مسبقة (قبل الترشيح)، وتتم عملية تعقيم بالكلور بعد عملية الترشيح، لتعديل كمية الكلور في المياه الناتجة بحيث يتراوح تركيز الكلور (0.4-0.6 mg/l)، وبعدها تضخ المياه إلى منظومة التوزيع، التي تبدأ بأربع خزانات موجودة على جبل قرفيص، لتنتقل المياه بالإسالة من خطي الجر الثاني والرابع إلى المدينة [14]، ويوضح الشكل (1) شبكة الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة الحالية، إضافة إلى النقاط التي تمت دراسة الكلور المتبقي فيها.

توجد العديد من الدراسات لمتابعة المؤشرات في مياه بحيرة السن وتحديدًا عند مأخذ محطة التنقية لمياه شرب اللاذقية وجميعها ضمن المواصفات القياسية السورية لمياه الشرب المسموحة [15]، ولم يثبت وجود تعديلات على شبكة الإمداد بمياه الشرب أو تلوثها بمياه الصرف للقيام بالتحقق من بقاء هذه المؤشرات ضمن الحدود

3-4-البيانات المخبرية: تم الاعتماد على القياسات الدورية التي تجريها وحدة مياه جبلة لتراكيز الكلور الحر المتبقي في عدة مواقع من الشبكة وعلى مدار عام 2019. وتعتمد مؤسسة المياه في إجراء القياسات على جهاز (HACH-DR-100) لقياس تراكيز الكلور الحر المتبقي [16]، وقد تم توقيح القراءات التي تم الحصول عليها على خارطة شبكة الإمداد لمياه الشرب. ويوضح الجدول (1) أماكن أخذ العينات التي تم الاعتماد على نتائجها، وبعدها عن مكان الكلورة في الخزان الرئيسي.

الجدول (1): أماكن أخذ العينات وبعدها عن الخزان.

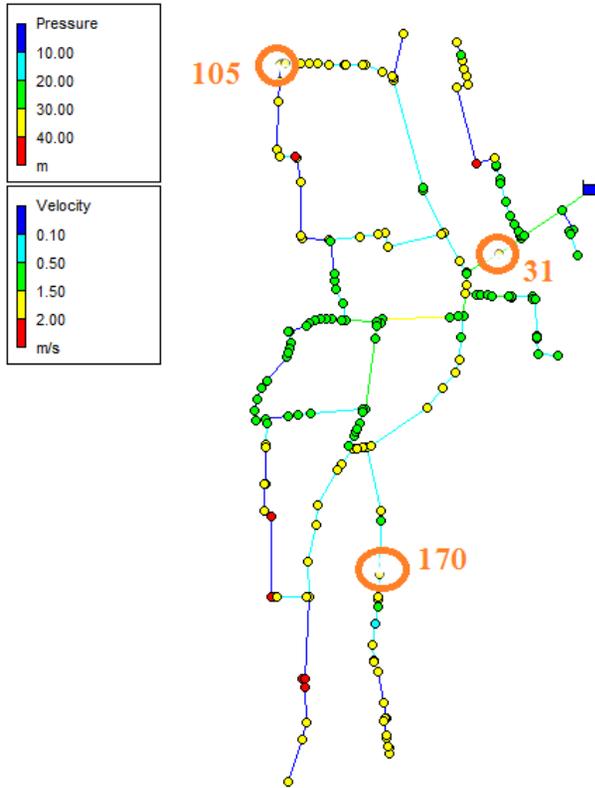
رقم النقطة	اسم الموقع	البعد عن الخزان (m)
1	م علي القاضي	15543
2	العزي	15121
3	م محمد مهنا	14162
4	م عز الدين القسام	14314
5	النقعة	14858
6	م الشروق	13325
7	شارع القروي	15245
8	الضاحية	15161
9	العمارة	13596
10	م أبي بكر	14840



الشكل (1) شبكة الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة ونقاط أخذ عينات الكلور.

3-5- القسم التطبيقي:

قمنا في البداية بدراسة تغيير معامل الكلور الموحد مع الكلور المطبق خلال عام 2019، وذلك وفق البيانات المتوفرة في مؤسسة مياه الشرب لتقييم الحالة العامة لعملية الكلورة القائمة. وفي المرحلة الثانية قمنا بدراسة تغيير معامل UCC وتراخيص الكلور الحر المتبقي في مجموعة منتقاة من نقاط القياس عند استخدام نقاط دعم إضافية للكلور المطبق في الشبكة، وهنا تم اعتماد نموذج شبكة الإمداد الرئيسية لمدينة جبلة بعد الهيكلة لتقييم عملية دعم الكلورة باستخدام UCC، حيث تمتلك الشبكة المنمذجة مصدر تغذية، و 190 عقدة، و 191 أنبوب، وتتم تغذية الشبكة باستخدام الإرسالة، ويوضح الشكل (2) النموذج الهيدروليكي المعتمد للشبكة.



الشكل (2): النموذج الرقمي لشبكة الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة بعد الهيكلة.

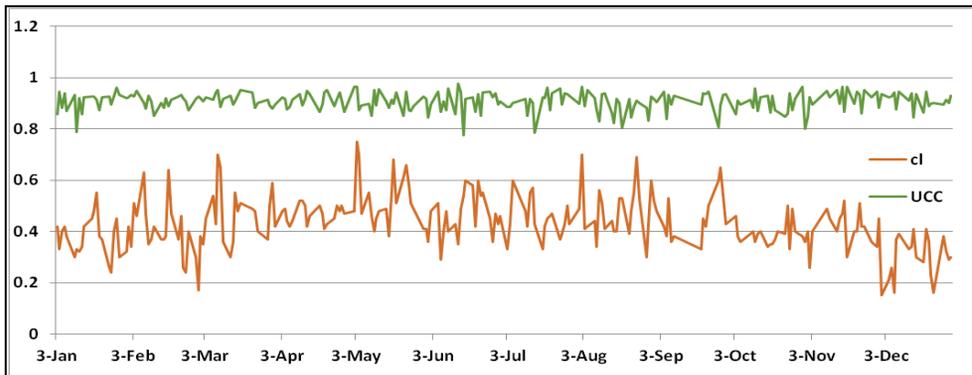
4- النتائج ومناقشتها:

4-1- تغيير معامل الكلور الموحد مع الكلور المطبق خلال عام 2019:

بداية تم حساب AFRC و ADIG باستخدام برنامج Excel لبعض النقاط الموضحة بالجدول (1) اعتمادا على القياسات الدورية خلال عام 2019. ويبين الجدول (2) عينة توضيحية ليومين فقط من تغيير معامل الكلور الموحد والنسبة AFRC /ADIG مع الكلور المطبق في 3 و 4 شباط، علما أن الشكل (3) يوضح تغيير معامل الكلور الموحد والنسبة AFRC /ADIG مع الكلور المطبق على مدى عام كامل، وقد تبين أن قيمة UCC المحسوبة وفق البيانات المتاحة محصورة ضمن المجال (1 - 0,79)، والتي تعد قيم مقبولة تعبر عن توزيع جيد لتراكيز الكلور ضمن الشبكة على مدار العام.

الجدول (2): تغيير معامل الكلور الموحد والنسبة AFRC /ADIG مع الكلور المطبق.

UCC	ADIG/ AFRC	ADIG	AFRC	نسبة الكلور الحر المتبقى مغ / ل	مكان أخذ العينة	الكلور المطبق cl	date
0.85763	0.14237	0.04499	0.316	0.29	العزي	0.42	3-Jan
				0.28	الجبيبات الشرقية		
				0.36	م محمد مهنا		
				0.38	الفوار		
				0.27	روضة دار الكرم		
0.94447	0.05553	0.01855	0.334	0.31	الصليب	0.38	4-Jan
				0.33	م جميلة بو حريد		
				0.35	النقعة		
				0.36	الفوار		
				0.32	روضة دار النور		



الشكل (3): تغيير معامل الكلور الموحد مع الكلور المطبق خلال عام 2019.

تبين البيانات المتوفرة أن الكلور الحر المتبقي يتناقص في بعض نقاط القياس لحدود حرجة (منطقة محمد مهنا (0,19) والفوار وروضة الحسون (0.2) وذلك بتاريخ 25 آذار على سبيل المثال لا الحصر) لذلك كان لابد لنا من دراسة تأثير نقاط داعمة لعملية الكلورة.

وننوه إلى أن القياسات غطت كامل أنحاء الشبكة، مما يعطي تصور حقيقي عن نسبة الكلور الحر المتبقي في مياه الشرب في هذه المدينة، وذلك بحسب القياسات المتوفرة من مؤسسة المياه.

4-2- تقييم تأثير دعم الكلورة في معامل UCC خلال 24 ساعة:

من أجل تقييم تأثير دعم الكلورة على معامل UCC تم اعتماد خمسة سيناريوهات على برنامج EBANET وفق النموذج المعتمد للشبكة، وتم انتقاء الدعم في النقاط 9 و 4 و 10 من أجل السيناريوهات المختلفة، لنقوم بعدها بحساب معامل UCC من خلال أخذ تراكيز الكلور عند جميع العقد ضمن فترة 24 ساعة يومياً. السيناريو الأول حيث تركيز الكلور في المصدر بقيمة (0.6mg/l) وكانت قيمة UCC تساوي (0.5349). أما السيناريو الثاني والذي تم فيه وضع تركيز المصدر بمقدار (0.6mg/l) وتركيز في النقطة 9 بمقدار (0.2mg/l) لتكون قيمة UCC تساوي (0.6775). وفي السيناريو الثالث تم تغذية المصدر والنقطة 9 بنفس القيم بالإضافة إلى للنقطة 4 بمقدار (0.2mg/l)، فكانت النتيجة قيمة UCC تساوي (0.7562). وفي السيناريو الرابع تم تزويد المصدر بـ (0.6mg/l) وعند النقاط 4,9 بالقيمة (0.2mg/l) وعند النقطة 10 بالقيمة (0.2mg/l)، وكانت UCC بقيمة (0.8564). والسيناريو الخامس والذي تم فيه زيادة الجرعة في المصدر فقط للقيمة (0.8mg/l) لتكون قيمة UCC تساوي (0.5982)، وأخيراً السيناريو السادس والذي تم فيه زيادة الجرعة في المصدر فقط للقيمة (1mg/l) لتكون قيمة UCC تساوي (0.6237)، ويوضح الجدول (3) التراكيز الرئيسية في كل سيناريو وقيم UCC الناتجة.

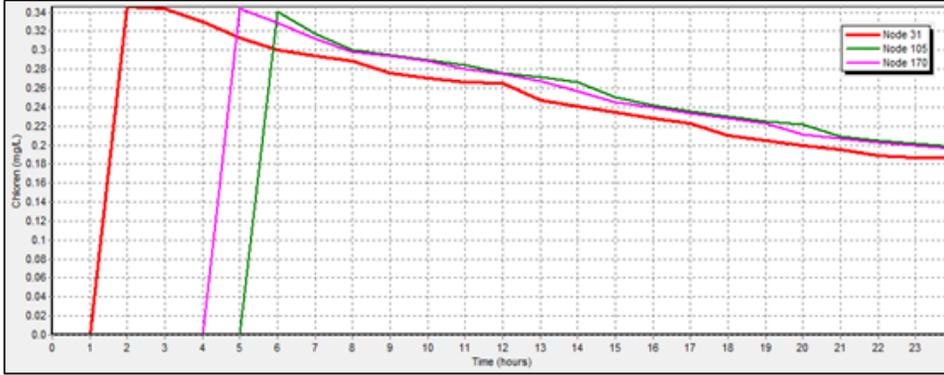
تم الاعتماد على عدة عقد حيث تتوضع العقدة 31 بالقرب من النقطة 9 والعقدة 105 في منتصف الشبكة وقريبة من النقطة 4 والعقدة 170 أبعد ما يمكن عن المصدر وقريبة من النقطة 10 من أجل ملاحظة تأثير كلورة الدعم على تراكيز الكلور.

الجدول (3) التراكيز الرئيسية في كل سيناريو وقيم UCC الناتجة

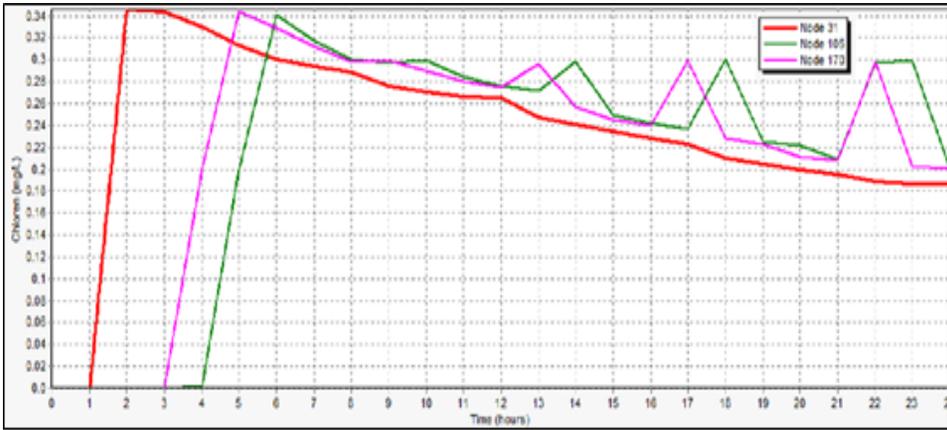
UCC	الكلورة الداعمة Mg/l	الكلور المطبق في الخزان Mg/l	رقم السيناريو
0.5349	----	0.6	1
0.6775	النقطة 9 الجرعة 0.2	0.6	2
0.7562	النقطة 9 الجرعة 0.2 والنقطة 4 الجرعة 0.2	0.6	3
0.8564	النقطة 9 الجرعة 0.2 والنقطة 4 الجرعة 0.2 والنقطة 10 الجرعة 0.2	0.6	4
0.5982	-----	0.8	5
0.6237	-----	1	6

توضح الأشكال التالية قيم التراكيز في العقد المعتبرة للسيناريوهات الخمسة. نلاحظ من الأشكال انخفاض التراكيز في السيناريوهات الأولى والأخير بدون وجود دعم الكلورة بخلاف باقي الحالات التي تتضمن عمليات دعم للتراكيز. حيث يوضح الشكل (4) أن قيمة الكلور المتبقي تبدأ في نقاط المراقبة من القيمة 0.34 وتنتهي عند القيمة 0.19 تقريبا بتناقص مطرد وثابت تقريبا.

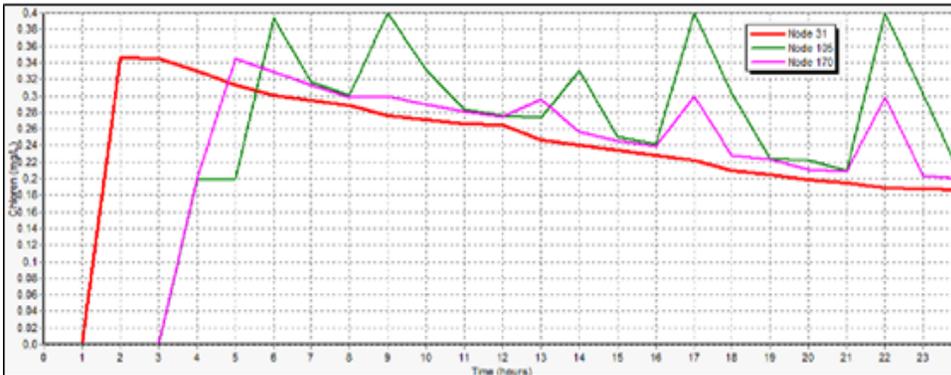
تحسين الجودة لشبكة الإمداد بمياه الشرب لمدينة جبلة



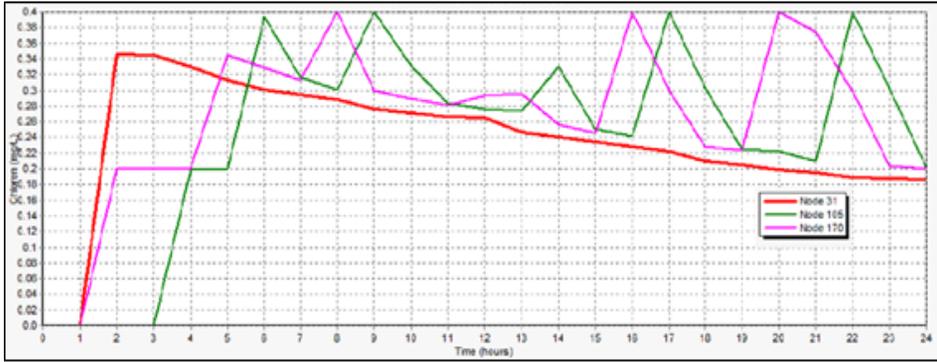
الشكل (4) تغييرات تراكيز الكلور عند العقد 31 ، 105 ، 170 للسيناريو الأول.



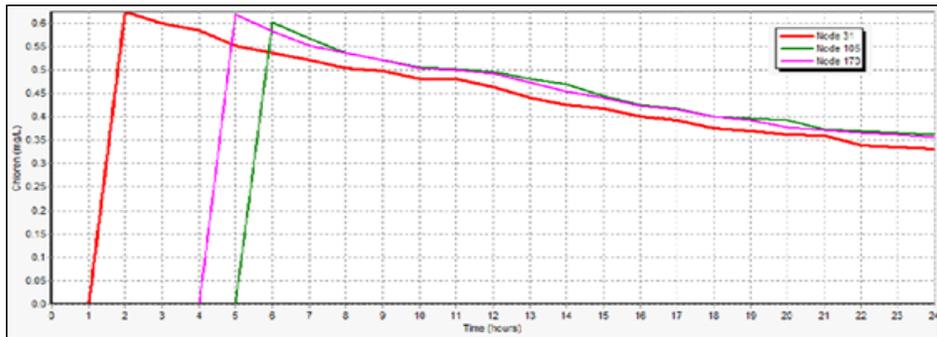
الشكل (5) تغييرات تراكيز الكلور عند العقد 31 ، 105 ، 170 للسيناريو الثاني.



الشكل (6) تغييرات تراكيز الكلور عند العقد 31 ، 105 ، 170 للسيناريو الثالث.



الشكل (7) تغييرات تراكيز الكلور عند العقد 31 ، 105 ، 170 للسيناريو الرابع.



الشكل (8) تغييرات تراكيز الكلور عند العقد 31 ، 105 ، 170 للسيناريو الخامس.

أما في الشكل (5) يتبين يتناقص تركيز الكلور بشكل مضطرب بالنسبة لنقطتي المراقبة 105؛ 170 حيث تتزايد التراكيز في الساعة 14؛ 17؛ 22؛ إلى القيمة 0.3 بعد انخفاضها مما يدل على التأثير الإيجابي لنقاط الحقن المختارة. وفي الشكل (6) تتزايد القيم بشكل مماثل للحالة السابقة ولكن تصل لقيم أعلى حيث تلامس 0.4 في الساعة 6؛ 9؛ 17؛ 22 بالنسبة لنقطة المراقبة 105، وبقية أقل بالنسبة لنقطة المراقبة 170. وأخيرا يوضح الشكل (7) قيمة جيدة جدا تلامس 0.4 في نقطتي المراقبة 105؛ 170 ويتواتر أكبر من سابقتها، وبالتالي يعد السيناريو الرابع هو الأمثل بين السيناريوهات المختارة. ولكن عند زيادة نسبة الكلور إلى 0.8 في الخزان وبدون الدعم في عقد إضافية نلاحظ سلوك مشابه للسيناريو الأول حيث تبدأ القيمة من 0.63 وتنتهي عند 0.35 تقريبا في جميع نقاط المراقبة مع اختلاف التوقيت الزمني لها. ومن الملاحظ

أيضا اختلاف ساعة الوصول للتركيز بحسب السيناريوهات المختلفة ويعد السيناريو الرابع أيضاً الأفضل بين السيناريوهات المقترحة.

5- الاستنتاجات والتوصيات:

✓ تبين أن قيمة UCC المحسوبة وفق البيانات المتاحة في مؤسسة المياه محصورة ضمن المجال (0,79 - 1)، والتي تعد قيم مقبولة تعبر عن توزيع جيد لتركيز الكلور ضمن الشبكة على مدار العام 2019، ولكن تبين في البيانات المتوفرة أن الكلور الحر المتبقي يتناقص في بعض نقاط القياس لحدود حرجة (منطقة محمد مهنا (0,19) والفوار وروضة الحسون (0.2) وذلك بتاريخ 25 آذار على سبيل المثال لا الحصر).

✓ تزداد قيمة UCC عند استخدام الدعم بزيادة عدد نقاط الدعم من القيمة 0.5349 إلى القيمة 0.8564 وبالتالي فإن الحقن الإضافي هام للحفاظ على توزيع أمثل لقيم الكلور الحر المتبقي.

✓ ترتفع قيمة الكلور الحر المتبقي في النقاط اللاحقة لمكان الدعم إلى حد مقبول تصل إلى 0.4 بدون زيادة كبيرة في قيمة الكلور المضاف والذي قد يؤثر سلباً كما هو في السيناريو الأخير عند رفع القيمة إلى 0.8، والذي تبقى فيه قيمة UCC منخفضة. مما سبق نوصي بما يلي:

✓ استخدام تقنية نقاط دعم التركيز في عملية الكلورة.

✓ دراسة اختيار نقاط الدعم بطريقة مثلى باستخدام طرائق البحث الإرشادية.

✓ دراسة اختيار جرع الدعم بطريقة مثلى باستخدام طرائق البحث الإرشادية (meta-heuristic).

6- المراجع: References

1. WHO (World Health Organization) (2004). Guidelines for drinking-water quality, Geneva.
2. Wang, H.; Hu, C.; Hu, X.; Yang, M.; Qu, J. Effects of disinfectant and biofilm on the corrosion of cast iron pipes in a reclaimed water distribution system. *Water Res.* 2011, 46, 1070–1078.
3. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) (2005) “Economic analysis for the final stage 2 disinfectants and disinfection byproducts rule.” 815-R-05-010, Washington, DC.
4. Nilufar Islam, Rehan Sadiq, Manuel J. Rodriguez “Optimizing Locations for Chlorine Booster Stations in Small Water Distribution Networks” *J. Water Resour. Plann. Manage ASCE*, Vol.143, No7, 2017, pp. 04017021-1-15.
5. Al-Jasser, A. Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution systems: Pipe service age effect. *Water Res.* 2007, 41, 87–396.
6. James C. Powell, John R. West, Nicholas B. Hallam, Christopher F. Forster, John Simms “Performance of Various Kinetic Models for Chlorine Decay” *J. Water Resour. Plann. Manage. ASCE*, Vol.126, No.1, 2000, pp. 13-20.
7. Pecci, F.; Stoianov, I.; Ostfeld, A. Relax-tighten-round algorithm for optimal placement and control of valves and chlorine boosters in water networks. *Eur. J. Oper. Res.* 2021, 295, 690–698.
8. Tryby, M.E.; Boccelli, D.L.; Koechling, M.T.; Uber, J.G.; Summers, R.S.; Rossman, L.A. Booster chlorination for managing disinfectant residuals. *Am. Water Work. Assoc.* 1999, 91, 95–108.

9. Propato, M.; Uber, J.G. Linear Least-Squares Formulation for Operation of Booster Disinfection Systems. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 2004, 130, 53–62.
10. Islam, N.; Sadiq, R.; Rodriguez, M.J. Optimizing Locations for Chlorine Booster Stations in Small Water Distribution Networks. *J. Water Resour. Plan. Manag.* 2017, 143, 04017021.
11. Robert M. Clark, Lewis A. Rossman, Larry J. Wymer “Modelling Distribution System Water Quality: Regulatory Implications” *J. Water Resour. Plann. Manage. ASCE*, Vol.121, No.6, 1995, pp. 423-428.
12. M.S.D.Hima bindu, Dr. K.Rajasekhara Reddy, Dr.G.V.K.S.V. Prasad “Evaluation Of Variations In Quality Of Water In Distribution Networks Using Epanet” *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Vol.9, No.4, 2018, pp. 1246-1252.
13. Cervantes, D.H.; Rodríguez, J.M.; Galván, X.D.; Medel, J.O.; Magaña, M.R.J. Optimal use of chlorine in water distribution networks based on specific locations of booster chlorination: Analyzing conditions in Mexico. *Water Supply* 2016, 16, 493–505.
14. Tamim Alia A Study of Free Chlorine Residual in the Drinking Water Distribution System: a Case study of Al- Ramil Al-Shimali Quarter-Lattakia City, *Tishreen University Journal - Engineering Sciences Series*, Vol. 29 No. 2 (2007): In Arabic .
15. Adel-Awad.; Ahmad Wazan.; Mahmoud Aboud.; Using Fuzzy Logic Index to Determine Water Quality Index of SIN Lake, *Tishreen University Journal -Engineering Sciences Series*, Vol. 39 No. 6 (2017): In Arabic.
16. المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي - وحدة مياه جبلة 2019.