

أثر التغذية المتقطعة على نوعية المياه

في شبكات التوزيع

الدكتور المهندس محمد بشار المفتي

أستاذ مساعد في كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق

ملخص البحث:

يسود في سوريا نظام التغذية المتقطعة في معظم التجمعات السكانية، لكن لهذا النظام العديد من المشاكل، من أهمها مشكلة تلوث المياه. ويمكن أن يرد السبب الأساس في ذلك إلى ازدياد مدة مكث المياه ضمن الشبكة بسبب توقف الجريان خلال فترات وقف التغذية، والذي يؤدي إلى انخفاض تركيز الكلور المتبقي، وإعادة نمو البكتيريا في أنابيب الشبكة، ويمكن أن يؤدي إلى تراجع الحالة الإنشائية للأنابيب. ونتيجة لاستخدام خزانات أرضية، أو الضخ المباشر من الشبكة للحصول على المياه خلال فترة الانقطاع، يتم تفريغ أنابيب الشبكة من المياه مما يؤدي لانخفاض الضغط ضمنها، وقد يتشكل ضغط سلبي، فيزداد احتمال رشح المياه الجوفية والتي قد تكون ملوثة عبر الوصلات السيئة أو عبر ثقوب الأنابيب إلى الشبكة مما يهدد بانتشار التلوث ووصوله إلى المستهلكين. تم خلال البحث محاكاة شبكة افتراضية من أجل عدد من أنظمة التغذية المتقطعة بتغيير زمن التغذية وتكرارها، وتم دراسة أثر النظام المستخدم على عمر المياه، وعلى تركيز الكلور المتبقي. كما تم محاكاة رشح المياه الجوفية عبر ثقوب على أنبوبين ودراسة انتشار التلوث ضمنهما، والنتائج عن وجود خزانات أرضية. وقد أظهرت النتائج احتمال تشكل جيوب مائية في الأنابيب على أطراف الشبكة يرتفع فيها عمر المياه بشكل كبير، كما أظهرت ارتفاع عمر المياه في الشبكة عند التغذية لمدة ساعتين مهما كان تواتر التغذية، وتبين انخفاض تركيز الكلور المتبقي في عدد من أنابيب الشبكة إلى ما دون الحد المسموح في المواصفة السورية لنوعية مياه الشرب م.ق.س. 45:2017 وذلك عند تواتر تغذية مرة كل 48h أو أقل، كما ظهر بوضوح وجود خطر كامن لانتشار التلوث في حال وجود ثقب أو أكثر في جدران الأنابيب مهما كانت مدة التغذية ومهما كان تواترها.

الكلمات المفتاحية: التغذية المتقطعة، شبكات توزيع المياه، نوعية المياه، عمر المياه، مدة مكث المياه، EPANET2.2

The impact of intermittent supply on water quality in distribution networks

Dr. Eng. M. Bashar Al-Mofti

Damascus University, Faculty of civil Eng.

Abstract:

Intermittent water supply is prevalent among most of Syrian municipalities. However, this system has many consequences. One of the most important consequences is the water contamination, its' main reason can be attributed to the increase in the water residence time in the network due to the cessation of flow during the supply interruption period, which leads to a decrease in the residual chlorine concentration, and bacteria regrowth in the network pipes, and It can lead also to a deterioration in the structural status of the pipes. As a result of the use of underground tanks, or direct pumping from the network in order to obtain water during the interruption period, the network pipes are emptied of water, which leads to a decrease in pressure within them, and negative pressure may form, This leads to an increase in the probability of groundwater infiltration, which may be contaminated through bad connections or holes in pipes to the network, which threatens to reach consumers. In this paper, a virtual network was simulated and analyzed for a series of intermittent supply systems by changing the supply time and frequency, and the impact of the used intermittent supply on water age and residual chlorin concentration was studied. The infiltration of groundwater was also simulated through two holes due to the presence of underground reservoirs and the spread of pollution within them was studied. The results showed the possibility of the formation of water pockets in the pipes at the network sides, in which the water age increases significantly, and it was also shown a water age increasing under tow hours supply

conditions, regardless of the supply frequency. It was found that the residual chlorine concentration in a number of network pipes fell below the limit specified in the Syrian Standard for Drinking Water Quality SNS 45:2017 under the condition of the supply frequency once every 48 hours or less, It was also clearly shown that there is an underlying risk of contamination spreading in the presence of one or more holes in the walls of the pipes, regardless of the supply period or frequency.

Key words: EPNET2.2, Intermittent supply, Water age, Water quality, Water residence time, Water supply networks

1. مقدمة:

تعرف التغذية المستمرة بأنها تزويد السكان بالمياه لمدة 24 ساعة في اليوم وباستمرار دون انقطاع على مدار أيام الأسبوع، ويرمز لها (24/7)، أما التغذية المتقطعة فيقصد بها تزويد السكان بالمياه لعدد من الساعات أقل من 24 ساعة يومياً، وقد لا تتجاوز فترة التغذية الفعلية 4-2 ساعات، وقد تتم التغذية مرة واحدة يومياً أو كل يومين أو حتى بتواتر أقل من ذلك.

في حالة التغذية المستمرة تتطابق كمية المياه المرسلة في الشبكة مع الاحتياج الفعلي للسكان، وبالتالي تتطابق كمية المياه الواصلة لأي من عقد الشبكة مع احتياجات السكان فيها. أما في حالة التغذية المتقطعة فتزود الشبكة بكمية مياه أقل من احتياجات السكان الفعلية، وبالتالي قد تختلف كمية المياه الواصلة في العقد المختلفة عن احتياجات السكان تبعاً لعدد ساعات التغذية والضغط المسيطر عند كل عقدة [1].

وتسود في سوريا التغذية المتقطعة في معظم التجمعات السكانية، ويمكن أن يتم ذلك في فصول الجفاف فقط في بعض المدن كما هو الحال في مدينة دمشق، التي تتغذى بشكل مستمر في بقية أوقات السنة، أو تتم التغذية بشكل متقطع باستمرار، ويمكن أن تتم التغذية مرة واحدة كل يومين أو بتواتر أقل، ويتعلق كل من مدة وتكرار التغذية بالظروف المحلية وكمية المياه المتوفرة.

لكن مؤسسات المياه تقوم بتصميم شبكات التوزيع على حالة التغذية المستمرة 24/7 دون مراعاة طريقة التشغيل، حيث أن التغذية المتقطعة تدفع المستهلكين لسحب أكبر كمية ممكنة من المياه خلال فترة التغذية، كما يقوم العديد منهم بتركيب خزانات منزلية تجمع المياه فيها خلال فترة التغذية لاستهلاكها خلال فترة الانقطاع، لذا تنشأ العديد من المشاكل من أهمها [2] [3] [4]:

1. انخفاض الضغط.
2. التوزيع غير العادل للمياه [1] [5].
3. احتمال تلوث المياه وتشكل خطر على الصحة العامة.
4. هدر المياه [6].
5. تشكل كلف إضافية على المستهلكين [7].
6. تشكل كلف إضافية على مؤسسات المياه [7].
7. عدم دقة عدادات المياه [6].

تعد مشكلة تلوث المياه واحدة من أهم المشكلات التي قد تتعرض لها شبكات المياه بنتيجة التغذية المنقطعة [8] لأنها تهدد الصحة العامة، ويمكن أن يرد السبب الأساس في ذلك إلى ازدياد مدة مكث المياه ضمن الشبكة بسبب توقف الجريان خلال فترات وقف التغذية، والذي يؤدي إلى انخفاض تركيز الكلور المتبقي، وإعادة نمو البكتيريا في أنابيب الشبكة. كما يقوم المستهلكون بتركيب خزانات منزلية من أجل الحصول على المياه خلال فترة الانقطاع، وقد تكون الخزانات أرضية منسوبها أخفض من منسوب الشبكة، أو يقومون بضخ المياه من الشبكة مباشرة مما قد يسبب تفريغ أنابيب الشبكة من المياه وتشكل ضغط منخفض ضمنها وقد يتشكل ضغط سلبي [9]، فيزداد احتمال دخول المياه الجوفية والتي قد تكون ملوثة عبر الوصلات السيئة أو عبر تقوُّب الأنابيب إلى الشبكة مما يهدد بتلوث المياه ضمنها. كما يمكن أن تشكل خزانات المياه المنزلية مصدراً إضافياً لتلوث المياه. إضافة لذلك يؤدي تواتر الرطوبة والجفاف ضمن الأنابيب إلى تراجع حالتها الإنشائية مما يزيد من احتمال تعرضها للتقُّب.

أثر مدة مكث المياه (عمر المياه) على نوعية المياه ضمن شبكة التوزيع:

تعرف مدة مكث المياه ضمن نظام توزيع المياه Water residence time (أو عمر المياه Water age) بأنها الزمن الذي تمضيه المياه ضمن النظام بعد خروجها من محطة المعالجة وحتى وصولها إلى المستهلك. وقد أثبتت الدراسات أنه كلما زادت هذه

المدة كلما زاد احتمال تراجع نوعية المياه وتعرضها للتلوث [10]، لذا أكدت منظمة الصحة العالمية WHO على ضرورة تخفيض مدة مكث المياه ضمن الشبكة وتجنب الضغوط والغزارات المنخفضة للحفاظ على نوعية المياه ضمنها [8].

ويرد السبب الأساس في تراجع نوعية المياه الناتج عن مدة المكث الطويلة إلى أن شبكة المياه تشكل مفاعلاً Reactor تحصل ضمنه العديد من التفاعلات المعقدة التي يمكن أن تؤدي إلى تراجع نوعية المياه الواردة من محطة التنقية من أهمها [11]:

- تؤدي تفاعلات الأكسدة سواء ضمن كتلة الماء أو على سطح التماس مع مادة الأنبوب إلى خفض تركيز الكلور المتبقي في المياه.
- يمكن أن يستمر تفاعل النواتج الجانبية لمواد التطهير - Disinfection by products (DBPs) (بشكل أساس trihalomethanes and haloacetic acids) مع الكلور المتبقي، مما يؤدي إلى خفض إضافي لتركيزه.
- بالنتيجة يمكن أن يفقد الكلور المتبقي تماماً من المياه.
- انخفاض تركيز الكلور المتبقي وطول مدة مكث المياه ضمن الشبكة يؤديان لإعادة نمو البكتريا ضمن مياه الشبكة Bacterial regrowth، وتشكيلها فيلماً بيولوجياً على جدران الأنابيب.

وقد أكدت منظمة الصحة العالمية WHO على وجوب توفر كلور متبقي في شبكات المياه في المجال 0.2-0.5mg/L ضمن الشروط العادية من أجل السيطرة على إعادة نمو البكتريا فيها [12]، وقد تبين بنتيجة القياسات المجرىة على شبكة المياه في تولوز بفرنسا أن 50% من الكلور المتبقي (ClO_2) قد زالت من المياه بعد مدة مكث أقل من خمس ساعات، أما بعد مدة مكث أكثر من خمس ساعات فقد زال الكلور المتبقي تماماً من المياه، وقد أدى ذلك إلى زيادة كبيرة في عدد البكتريا في المياه بعد مدة مكث 5-20h، كان التزايد بطيئاً في البداية، وبلغ قيمة أعظمية عند مدة مكث 10-20h، حيث

اختفى الكلور المتبقي كلياً من المياه، وكانت كمية الجزء القابل للتفكيك من الكربون العضوي المنحل BDOC في المياه الناتجة عن محطة التنقية كافياً لنمو البكتيريا (0.37mg/L) [13].

يمكن أن تؤدي إعادة نمو البكتيريا ضمن الشبكة إلى المشاكل التالية [13]:

- التأثير سلباً على المواصفات الجمالية Aesthetical quality للمياه الموزعة على المستهلكين مثل: العكارة Turbidity والطعم والرائحة واللون.
- يمكن أن يرد صدأ الأنابيب إلى نمو البكتيريا ضمن الشبكة [14].

وقد أثبتت دراسات أجريت في أتلنتا في الولايات المتحدة الأمريكية وجود علاقة مباشرة بين إصابة السكان بالأمراض المعوية Gastrointestinal illness وبين مدة مكث المياه المرتفعة في شبكة التوزيع [10]، كما أظهرت الدراسات زيادة محتوى البكتيريا ضمن مياه شبكة التوزيع مع الابتعاد عن مصدر مياه الشبكة (الخزان أو محطة التنقية) [10]. كما تبين أنه في ظروف ركود المياه ضمن شبكة المياه وضمن درجة حرارة فوق 15°C تشكلت طبقة فيلم بيولوجي على جدران أنابيب الشبكة [15]، كما أثبتت دراسات أخرى أن ذلك ممكن حتى في درجات حرارة بحدود 6°C [16]، إن هذه الدراسات تؤكد وجود خطر كبير لإعادة نمو البكتيريا ضمن أنابيب الشبكة خلال فترات انقطاع المياه. وقد تبين أن وجود بكتيريا الكوليفورم في المياه لم ينتج بالضرورة عن رشح مياه ملوثة إلى الشبكة، بل كان مصدرها الرئيس هو طبقة الفيلم البيولوجي المتشكلة على جدران الأنابيب، حيث تعد هذه الطبقة مضيئاً مفضلاً لبكتيريا الكوليفورم، خصوصاً في الأنابيب الحديدية [16].

لذا يمكن استخدام عمر المياه ضمن الشبكة كميّار لتقييم التفاعلات الهامة التي قد تتم ضمن الشبكة، والتي قد تؤدي إلى تراجع نوعية المياه ضمنها، ويمكن اعتبار عمر المياه قصيراً حتى 10 ساعات، ومتوسطاً في المجال 10-35h ومرتفعاً عندما يكون أكبر من 35h [10].

أثر انخفاض الضغط في شبكة توزيع المياه على نوعية المياه ضمنها:

يعد انخفاض الضغط ضمن شبكة المياه من أهم الأسباب المؤدية إلى انتقال التلوث إلى المياه ضمن أنابيب الشبكة، حيث يمكن أن يؤدي إلى رشح المياه الجوفية والتي قد تكون ملوثة من التربة المحيطة إلى الأنابيب عن طريق الوصلات أو الثقوب في جدران الأنابيب، و يمكن أن ينتج انخفاض الضغط عن أسباب مختلفة منها توقف التغذية بالمياه والتغير المفاجئ في استهلاكها [10]، و اللذين يمكن عدّهما من النتائج الأساس لانقطاع التغذية عند استخدام نظام التغذية المتقطعة. وقد أثبتت القياسات المجراة في ست من الولايات المتحدة الأمريكية على عينات مياه وتربة مأخوذة من محيط شبكات المياه وجود بكتريا الكوليفورم Total coliforms في 58% من عينات المياه وفي 69.7% من عينات التربة، كما تم اكتشاف بكتريا الكوليفورم الغائطي Fecal coliform Bacteria في 42.8% من عينات المياه و 50% من عينات التربة، كما تم اكتشاف الفيروسات المعوية enteric viruses في 10% من عينات المياه والتربة المأخوذة من محيط أنابيب شبكات المياه [17]. كما أظهرت العديد من الملاحظات الميدانية والمخبرية أن الكائنات الحية الدقيقة يمكن أن تهجر لمسافات كبيرة عبر التربة في كلا الاتجاهين الرأسي والأفقي، وقد تم اكتشاف هجرة بكتيرية تصل إلى 0.6 متراً في الترب الناعمة وإلى 830 متراً في الترب الرملية الخشنة وهجرة فيروسية تصل إلى 408 متراً [18]، وبالتالي فعلى الرغم من أن المواصفات الهندسية تتطلب فاصلاً لا يقل عن 0.5 متر عمودياً و 3 أمتار أفقياً بين أنابيب شبكة مياه الشرب وأنابيب شبكة الصرف الصحي، فإنه يمكن للكائنات الممرضة أن تهجر عدة أمتار في فترات زمنية قصيرة عند توفر ظروف مناسبة منها ارتفاع رطوبة التربة وتصل إلى التربة المحيطة بشبكات مياه الشرب [18]، وقد تبين بنتيجة دراسات أجريت في المخبر أن بكتريا E. coli تمكنت من العيش حتى أربعة أشهر ونصف في المياه الجوفية المحفوظة في ظروف الظلام الكامل [19]، وقد أظهرت الدراسات في أربع مدن في الهند تلوث المياه ضمن شبكة التوزيع رغم أن

نوعيتها كانت جيدة عند خروجها من محطة المعالجة، حيث انخفضت نسبة عينات بكتريا الكوليفورم الغائطي fecal coliform bacteria السلبية من 100% في المياه قبل دخولها إلى الشبكة إلى 24-73% في العينات المأخوذة من الشبكة، وتم رد ذلك إلى رشح المياه الجوفية إلى شبكات توزيع المياه عن طريق الوصلات والثقوب في جدران الأنابيب والنتاج عن انخفاض الضغط ضمن الشبكة بسبب استخدام نظام التغذية المتقطعة [20].

ويزداد احتمال تشكل الثقوب والتشققات في جدران الأنابيب القديمة حيث تتراكم نواتج الصدأ مع الرواسب ضمن الأنابيب بشكل درنات تسبب انخفاض قدرتها على إمرار المياه وبالتالي ينخفض الضغط ضمنها مما يسرع في تشكل عدد من الثقوب المتجاورة، ويمكن أن ينشأ الرشح أيضاً عن سوء تنفيذ الأنابيب أو عن تداخل الحلقات المطاطية في وصلات الأنابيب مع الزمن بسبب التغيرات المتتالية للضغط ضمن أنابيب الشبكة [21]. وبما أنه من الصعب تحديد ودراسة ثقوب الشبكة، فقد تم اللجوء إلى دراسة ضياعات المياه من الشبكة عن طريق تحديد المياه غير ذات عائد None Revenue Water NRW، وقد أظهرت دراسات في أربع مدن في الهند زيادة NRW بين 19.5% إلى 77.8% عند استخدام نظام التغذية المتقطعة، مما يدل ضمن عوامل أخرى على رشح كبير من الشبكة ناتج عن تشكل ثقوب في جدران الأنابيب [20].

وأظهرت دراسات أجريت في نيقوسيا في قبرص [22] بعد سنتين من استخدامها نظام التغذية المتقطعة بين عامي (2008-2010) تسجيل حوالي 12000 شكوى تتعلق برشح المياه من الشبكة خلال السنة الأولى فقط، ازدادت بعد ذلك إلى معدل 70-80 شكوى يومياً، بزيادة قدرها 28% مقارنة بعدد الشكاوى خلال فترة التغذية المستمرة، وقد بينت الدراسة أن رشح المياه قد تركز في أنابيب الشبكة ذات الأقطار الصغيرة والوصلات المنزلية، مما يدل على تعرضها لتشكيل ثقوب، وقد ازداد عامل الخطورة في أنابيب الشبكة الحاوية على الكربون مثل أنابيب البولي إيثيلين السوداء MDPE Black مقارنة مع بقية

أنواع الأنابيب المستخدمة (مثل MDPE blue)، وأكدت هذه النتائج دراسات أجريت على شبكة التغذية في مدينة ليماسول التي تستخدم التغذية المتقطعة أيضاً، ويمكن أن يرد ذلك إلى تشكل طبقة بكتريا على الجدار الداخلي للأنابيب تستخدم مادة الانابيب كمصدر للكربون [22].

2. الهدف من البحث:

دراسة أثر التغذية المتقطعة على مدة مكث المياه وعلى تركيز الكلور المتبقي في شبكات توزيع المياه، كما سيتعرض البحث لدراسة التلوث الناتج عن رشح المياه الجوفية إلى الشبكة بنتيجة تشكل ثقب أو أكثر في أنابيب الشبكة.

3. مواد وطريقة البحث:

بسبب صعوبة القيام بقياسات فعلية، فسيتم اللجوء إلى المحاكاة باستخدام برنامج 2.2.0 EPANET [23] لمحاكاة مدة مكث المياه، وتركيز الكلور المتبقي، وانتشار التلوث ضمن شبكة توزيع افتراضية والناتج عن رشح المياه الجوفية عبر ثقب في جدران الأنابيب.

دراسة انتشار التلوث باستخدام برنامج 2.2 EPANET [23]:

قامت وكالة حماية البيئة الأمريكية USEPA بتطوير برنامج EPANET أساساً لفهم عمليات نقل ومصير الملوثات في أنظمة توزيع مياه الشرب بشكل أفضل. يعمل محرك نوعية المياه في البرنامج على أساس مبدأ مصونية الكتلة conservation of mass مقترناً بحركية التفاعلات reaction kinetics، يتم تمثيل انتقال المواد عبر أنبوب باستخدام المعادلة:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + r(C_i)$$

حيث:

C_i : التركيز في الأنبوب i كتابع للمسافة x والزمن t

u_i : سرعة الجريان في الأنبوب i

r : سرعة التفاعل كتابع للتركيز C

يميز البرنامج بين نوعين من الملوثات، ملوثات تنتقل بالانتشار Diffusion ولا تتعرض لتفاعلات كيميائية خلال عبورها للأنابيب، هذ المواد يتغير تركيزها خلال عبورها بسبب التمديد Dilution، ومواد يتغير تركيزها بسبب خضوعها لتفاعلات خلال عبورها للأنابيب، ويمكن التمييز بين نوعين من التفاعلات:

تفاعلات ضمن كتلة الماء Bulk Flow Reactions، يعبر عنها بالمعادلة:

$$r = K_b \cdot C^n$$

حيث:

K_b : ثابت تفاعلات الكتلة

n : أس التفاعل reaction order، يمكن أن يكون التفاعل بسيطاً من الأس الأول First-Order، وهو يمثل تآكل المواد المعقمة ضمن الأنابيب، أو من الأس الثاني Second Order، ويمكن أن يكون بأس صفري Zero-Order، ويستخدم لحساب عمر المياه ضمن الأنابيب.

تفاعلات مع جدران الأنابيب Pipe Wall Reactions، يعبر عنها بالمعادلة:

$$r = \frac{2k_w k_f C}{R(k_w + k_f)}$$

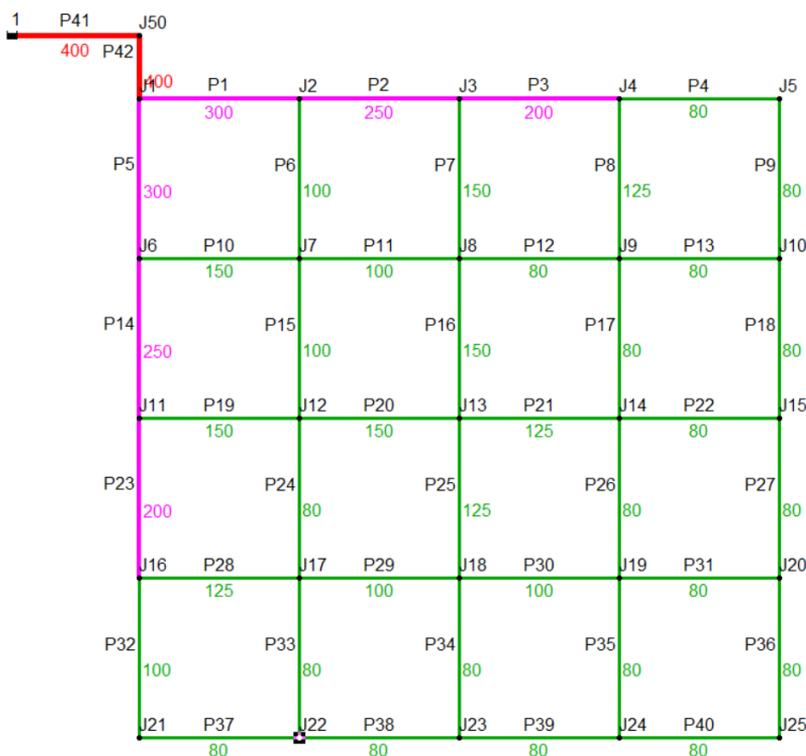
حيث:

k_w : ثابت سرعة التفاعل مع الجدار wall reaction rate constant

k_f : معامل انتقال الكتلة

R : نصف قطر الأنبوب

سيتم في المحاكاة نمذجة شبكة توزيع مياه افتراضية مؤلفة من 16 حلقة والظاهرة في الشكل (1). طول كل من أنابيب الشبكة 125 m، تخدم ضاحية سكنية تحوي على 312 بناء، مساحة البناء 600 m^2 ، مقام على أرض مساحتها 800 m^2 ، كل بناء مؤلف من خمسة طوابق في كل منها 4 شقق، شقتين بمساحة 140 m^2 لكل شقة، وشقتين بمساحة 100 m^2 لكل شقة، بعدد سكان إجمالي $P = 31200$ وكثافة سكانية 1248 p/ha . وقد اعتبرت الشبكة أفقية تماماً بهدف إلغاء أثر فروق المناسيب على أداء الشبكة. تم التحليل باستخدام معادلة دارسي-فايسباخ مع اعتبار الخشونة $k=1.0 \text{ mm}$. [24]، مع استخدام طريقة التحليل المعتمد على الضاغط (PDA) [25].



الشكل (1): مخطط الشبكة الافتراضية

تم تصميم الشبكة على حالة التغذية المستمرة 24/7 وحالة الاستقرار Steady-State مع اعتماد الفرضيات التالية: الضاغط الأدنى اللازم لإيصال المياه للطابق الخامس 34m بحيث يتشكل ضاغط أدنى على الجهاز الصحي الأسوأ هيدروليكيًا لا يقل عن 10m،

فواقد مجموعة العداد مع فواقد الوصلة المنزلية 8.5m وفقاً للكود الأوروبي BS-EN- 805:2000 [26]، الاحتياج المائي للفرد $1/P.d = 125$ ، عوامل الذروة المستخدمة في التصميم $Pf_{h,max} = 3.18$ ، $Pf_{d,max} = 1.72$ محسوبة على أساس الغزارة اليومية الوسطية $Q_{d,av}$ [27]. ثم تم حساب الغزارات في العقد باستخدام الطريقة التحليلية [24]، وقد

لخصت قيم الاحتياج المائي الواجب توفره في عقد الشبكة حسب موقعها في الجدول (1).

ويبين الشكل (1) أقطار أنابيب الشبكة، وتراوحت سرعة جريان المياه بين 0.22 m/s في الأنابيب بقطر 80 mm وهو القطر الأدنى الذي تم اعتماده في التصميم و 1.14 m/s، وتراوحت الضواغط ضمن عقد الشبكة بين 34.0m عند العقدة الطرفية J25، و 45.57m عند عقدة المدخل J1، ارتفاع الخزان 46.2m.

الجدول (1): توزيع الاحتياج المائي في عقد الشبكة حسب موقعها

العقدة	$Q_{d,av}$ l/sec	$Q_{d,max}$ l/s	$Q_{h,max}$ l/sec
زاوية	0.71	1.21	2.26
طرفية	1.41	2.43	4.48
وسطية	2.82	4.85	8.97

تم في البحث محاكاة الشبكة لحالة التغذية المتقطعة من أجل عدد ساعات تغذية مختلف حسب مرحلة الدراسة، وتم إدخال المعلومات التالية للنموذج:
الاحتياج المائي في العقد: وهو احتياج السكان الواجب توفره، وقد أخذت قيم الاحتياج اليومي الأعظمي $Q_{d,max}$ من الجدول (1) مع استخدام معامل الذروة اليومي الأعظمي $P_{f,d,max}=1.72$ ، وأخذت عوامل الذروة الساعية الأعظمية حسب عدد ساعات التغذية والتي حسبت من العلاقة (1) [9]:

$$P_f = \frac{24}{N} \quad (1)$$

الضاغط الأدنى المطلوب H_{min} : وهو الضاغط الأدنى اللازم لإيصال المياه إلى خزانات التغذية، وقد أعطى دليل إمداد المياه في الهند القيم الواردة في الجدول (2) للضاغط الأدنى اللازم حسب عدد طوابق المبنى [9]. وقد تم استخدام الضاغط الأدنى $H_{min}=27$

m اللازم لإيصال المياه إلى الخزان العلوي من أجل المباني بارتفاع خمسة طوابق المستخدمة في نموذج البحث.

الجدول(2): الضاغط الأدنى اللازم لإيصال المياه لخزانات التغذية [9]

عدد الطوابق	ارتفاع الخزان (m)
طابق واحد	7
طابقين	12
ثلاثة طوابق	17
أربعة طوابق	22
خمسة طوابق	27

الضاغط الأعظمي H_{max} : هو الضاغط اللازم للوصول الاحتياج الفعلي إلى العقدة، وقد أخذ في الحساب $H_{max}=32$ m بإضافة 5 m الضاغط الواجب توفره عند صمام الفواشة.

لدراسة انتشار الملوثات ضمن الشبكة والنتاج عن رشح مياه ملوثة عبر ثقب أو أكثر في أنابيب الشبكة، تم تمثيل الثقب بقاذف Emitter تتعلق الغزارة المارة عبره بالضاغط المسيطر [28].

يمكن حساب الرشح من ثقب في أنبوب باستخدام معادلة غريللي Greeley's Equation [29]:

$$Q = \frac{43767}{1440} \times A \times \sqrt{P} \times 2.23 \quad (2)$$

حيث:

Q: غزارة المياه الراشحة من الثقب l/min

A: مساحة مقطع الثقب cm^2

P: ضغط المياه المطبق على الثقب bar

ويعرف القاذف في البرنامج عن طريق معامل القاذف K Emitter coefficient والذي يمكن حسابه من العلاقة (3) [28]:

$$K = \frac{Q}{\sqrt{P}} \quad (3)$$

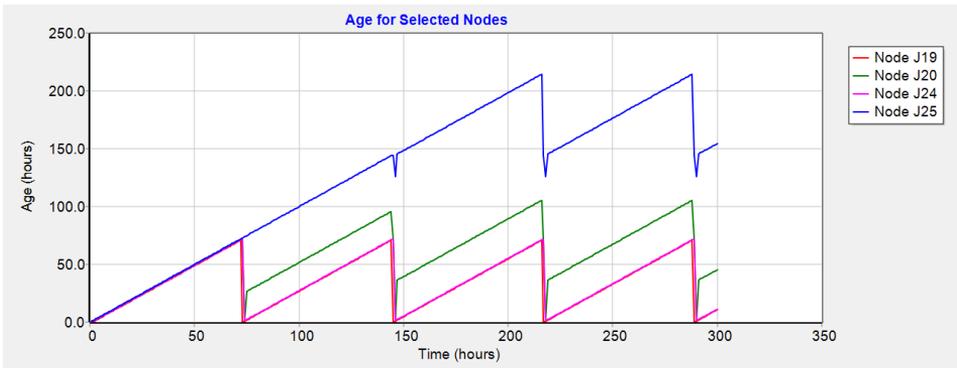
تحسب الغزارة الخارجة من الثقب ولضغوط مختلفة من العلاقة (2)، ثم يحسب K للقاذف الممثل للثقب في نموذج الشبكة من العلاقة (3).

يمكن تمثيل وجود طبقة مياه جوفية محيطة بالشبكة بمصدر مائي Reservoir منسوب المياه فيه Total head هو منسوب المياه الجوفية في التربة المحيطة بالأنابيب. يتم وصل المصدر المائي مع الثقب عن طريق أنبوب بقطر وطول مناسبين [28].

4. النتائج ومناقشتها:

تم نمذجة الشبكة لمدد تغذية مختلفة بالمياه وبحيث تتم التغذية مرة واحدة كل 24 ساعة ثم كل 48 ساعة ثم كل 72 ساعة لكل مدة تغذية، وبحيث يقوم النموذج بمحاكاة عمل الشبكة خلال فترة زمنية قدرها 300 ساعة أي ما يعادل 12.5 يوم، وتم العمل على ثلاثة مراحل.

المرحلة الأولى: تم في هذه المرحلة دراسة أثر التغذية المتقطعة على عمر المياه (مدة مكث المياه) في الشبكة، وقد تبين أن عمر المياه عند تغذية 72/2 (ساعتين كل ثلاثة أيام) هو الأطول في العقدتين الطرفيتين J20 و J25، حيث تجاوز عمر المياه 200h في العقدة J25 كما يظهر في الشكل (2)، وهو عمر طويل. وقد تم تلخيص القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في عقد مختارة في الجدول (3)، علماً بأن التغذية 72/2 شائعة في بلدات كل من ريفي دمشق ودرعا.

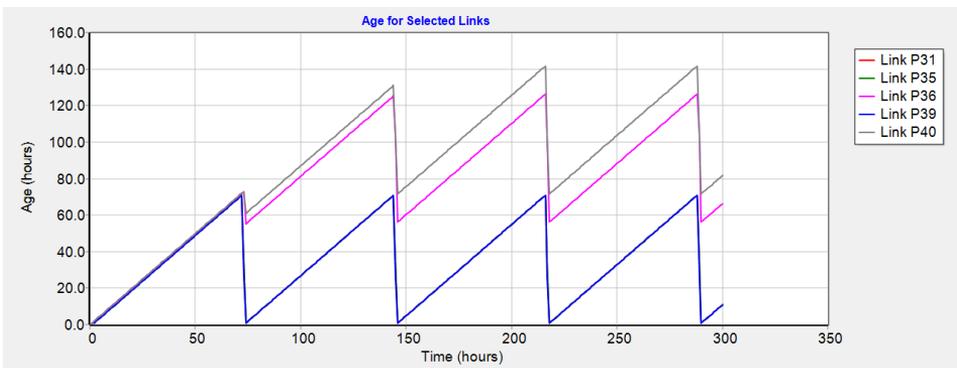


الشكل (2): عمر المياه في عقد مختارة عند تغذية 2/72

الجدول (3): القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في عقد مختارة من الشبكة عند تغذية

72/2

العقدة	الساعة	عمر المياه الأعظمي (ساعة)	عمر المياه الأدنى (ساعة)
J25	216	214	125
	146		
J20	145	144	1.44
	72		
بقية العقد	72	70-71.34	



الشكل (3): عمر المياه في أنابيب مختارة عند تغذية 2/72

وبدراسة عمر المياه في الأنابيب لوحظ أن قيمته قد حققت قيمها الأعظمية في الأنبوبين الطرفيين P36 و P40، حيث تجاوزت قيمته 100h في الأنبوبين كما يظهر في الشكل

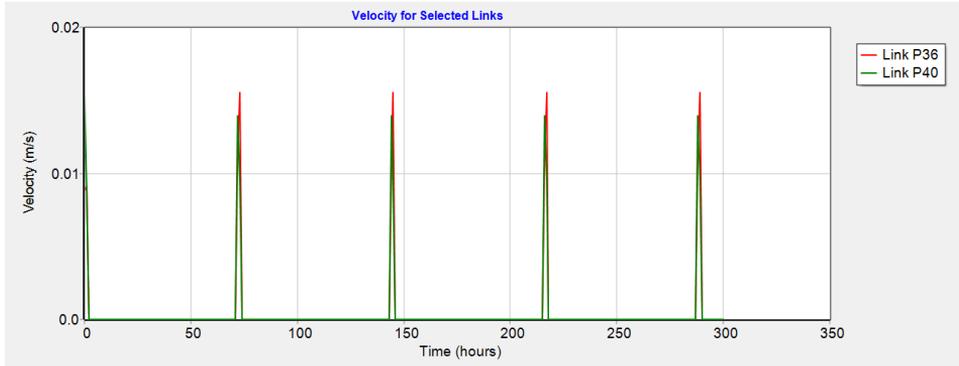
(3) وهو عمر طويل، وقد تم تلخيص القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في أنابيب مختارة في الجدول (4).

يتبين مما سبق تشكل جيب على طرف الشبكة تركد المياه ضمنه (عمر المياه طويل أكبر من 35 h) مما يهدد بتشكل طبقة فيلم بيولوجي على جدران الأنابيب وتراجع نوعية المياه ضمن هذا الجيب، وقد تبين أن سرعة جريان المياه في الأنابيب P36 و P40 لم تتجاوز 0.02 m/s خلال كامل فترة المحاكاة كما يظهر في الشكل (4)، وبالتالي لا تتوفر السرعة الكافية لكشط طبقة الفيلم البيولوجي، مما يهدد بزيادة سماكتها.

الجدول (4): القيم العظمى والدنيا لعمر المياه في أنابيب مختارة من الشبكة عند تغذية

2/72

الأنبوب	الساعة	عمر المياه الأعظمي (ساعة)	عمر المياه الأدنى (ساعة)
P40	216	141.69	
	72		71.96
P36	145	103.48	
	72		71.96
بقية العقد	72	70-70.96	

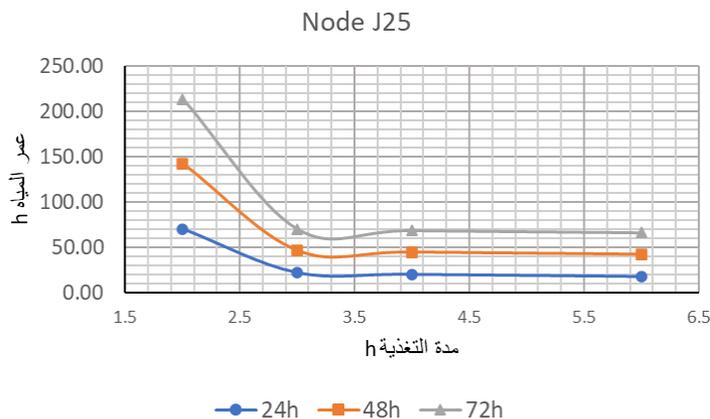


الشكل (4): تغير سرعة جريان المياه في الأنابيب P36 و P40 عند تغذية 2/72

وقد أظهرت دراسات أجريت على شبكات مياه في نيوجرسي في الولايات المتحدة الأمريكية عودة تشكل طبقة الفيلم مجدداً خلال فترة أسبوع بعد كشطها وتنظيف الأنابيب

ولنفس وضعها قبل الغسيل، كما تبين أن المحافظة على تركيز كلور حر متبقي بمقدار 1.0 mg/L لم يكن كافياً لإزالة طبقة الفيلم [16].

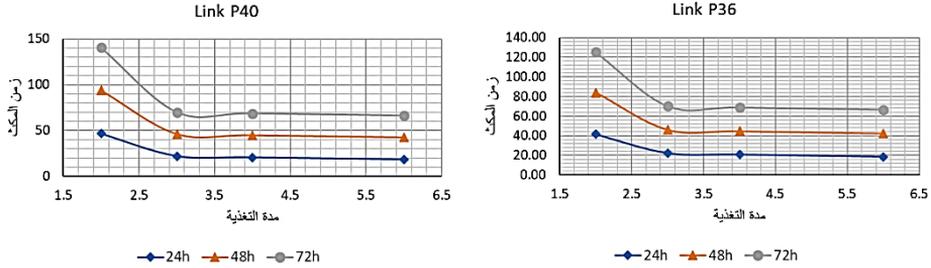
ويظهر الشكل (5) عمر المياه الأعظمي في العقدة J25 من أجل مدد تغذية 2 و3 و4 و6 ساعات ومن أجل تكرار مرة واحدة كل 24 و48 و72 ساعة، حيث يلاحظ أن مدة ساعتی تغذية قد أدت لعمر مياه طويل زاد على 50h مهما كان تكرار التغذية، أما عند التغذية مرة كل 24 ساعة فقد أدت مدة تغذية 3 ساعات أو أكثر إلى عمر مياه أقل من 23 ساعة، وعند التغذية مرة كل 48 ساعة فقد كان عمر المياه أكبر من 40 ساعة مهما كان عدد ساعات التغذية.



الشكل (5): عمر المياه الأعظمي في العقدة J25 من أجل قيم مختلفة لمدد وتكرار التغذية

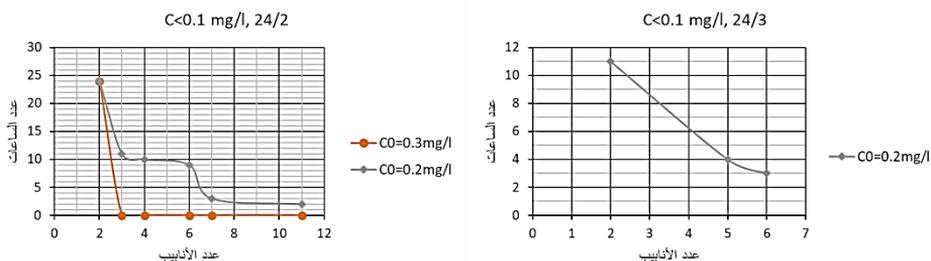
كذلك الوضع بالنسبة للشكل-6 الذي يظهر عمر المياه الأعظمي في الأنبوبين P-36 و P-40، حيث يتبين أن مدة تغذية ساعتين تتسبب في عمر مياه أكثر من 40 ساعة، مهما كان تكرار التغذية، أما عند تكرار التغذية مرة كل 24 ساعة ولمدة ثلاث ساعات أو أكثر فيبقى عمر المياه قريباً من 20 ساعة في الأنبوبين، وعند تكرار التغذية كل 48h

و72h فيبقى عمر المياه أكبر من 40h و60h على الترتيب مهما كان عدد ساعات التغذية.



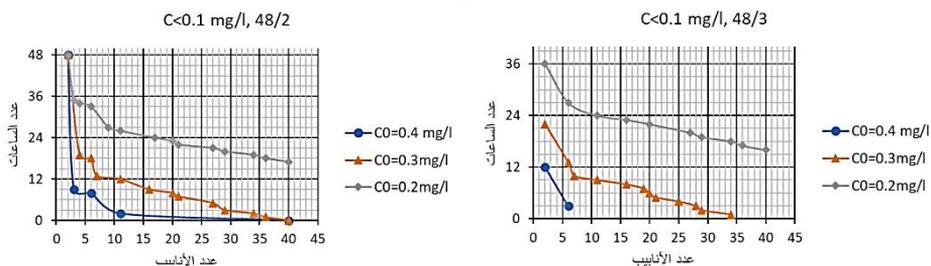
الشكل (6): عمر المياه الأعظمي في الأنابيب P40 و P36 من أجل قيم مختلفة لمدد وتكرار التغذية

المرحلة الثانية: تم في هذه المرحلة إجراء المحاكاة لدراسة تآكل الكلور ضمن أنابيب الشبكة، تمت دراسة الشبكة من أجل تغذية لمدة 2h و3h بتواتر كل 24 و48 و72 ساعة لكل من مدتي التغذية، واستخدام تركيز كلور أولي 0.2mg/L و0.3mg/L و0.4mg/L و0.5mg/L، وتم تحديد الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى مادون 0.1mg/L، وهو الحد الأدنى المسموح لتركيز الكلور المتبقي في شبكات المياه في المواصفة السورية لنوعية مياه الشرب م.ق.س. 45:2017 [30]. تم تمثيل تآكل الكلور بتابع من الدرجة الأولى [31]، وبسبب عدم توفر قيم مقاسة مخبرياً فقد اختير عند النمذجة قيم مرجعية لمعاملي تآكل الكلور، حيث تم استخدام معامل تآكل الكلور ضمن كتلة الماء $K_b=0.55d^{-1}$ bulk decay constant، وقيمة معامل تآكل الكلور على جدار الأنابيب $K_w=0.3d^{-1}$ wall decay constant [32]. وتظهر الأشكال: 7 و8 و9 عدد الأنابيب التي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى مادون 0.1mg/L والزمن الذي ينخفض خلاله التركيز ضمن أنابيب الشبكة لكل من مدد المكث وتواتر التغذية والتراكيز المستخدمة.



الشكل (7): الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى $Cl < 0.1 \text{ mg/L}$ ضمن عدد محدد من الأتاييب

يلاحظ من الشكل (7) أنه مع استخدام كلور بتركيز أولي 0.3 mg/L عند بداية الشبكة يبقى هناك أنبوبين ينخفض فيهما تركيز الكلور المتبقي إلى مادون 0.1 mg/L لمدة 24 ساعة وذلك من أجل تغذية 24/2، وبالتالي يلزم استخدام كلور بتركيز أولي أكثر من 0.4 mg/L للمحافظة على تركيز الكلور المتبقي ضمن الحد المقبول حتى فترة التغذية التالية. أما من أجل تغذية 24/3 فيكفي تركيز كلور أولي أكبر من 0.3 mg/L للمحافظة على الكلور المتبقي، حيث لا يوجد أي أنبوب ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي عن 0.1 mg/L .

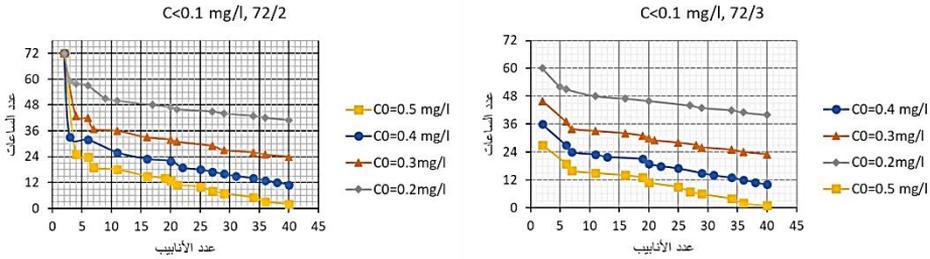


الشكل (8): الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى $Cl < 0.1 \text{ mg/L}$ ضمن عدد محدد من الأتاييب من أجل تكرار تغذية كل 48h ولمدة تغذية ساعتين وثلاث ساعات من أجل تراكيز أولية مختلفة

أثر التغذية المتقطعة على نوعية المياه في شبكات التوزيع

وبلاحظ من الشكل (8) أنه يلزم استخدام كلور بتركيز أولي 0.5mg/L عند بداية الشبكة للمحافظة على تركيز الكلور المتبقي أكبر من 0.1mg/L طبقاً للمواصفة السورية م.ق.س. 45:2017 [30] لحالتي التغذية $48/2$ و $48/3$ ، حيث تبين أنه عند استخدام نظام تغذية $48/2$ واستخدام تركيز أولي 0.4mg/L وجود 11 أنبوب انخفاض فيها تركيز الكلور المتبقي دون الحد المسموح لمدة 3 ساعات، وعند استخدام نظام التغذية $48/3$ واستخدام تركيز أولي 0.4mg/L يوجد 6 أنابيب انخفاض فيها تركيز الكلور المتبقي لمدة 3 ساعات، ولم يلاحظ وجود أي أنبوب ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي عن القيمة الدنيا المسموحة عند استخدام تركيز أولي عند بداية الشبكة 0.5mg/L .

وبلاحظ من الشكل (9) أنه من الصعب المحافظة على كلور متبقي بتركيز فعال أكبر من 0.1 mg/L عند تكرار التغذية كل 72h حتى مع استخدام تركيز أولي 0.5 mg/L ، مما يؤكد على ضرورة عدم استخدام تكرار تغذية أكبر من مرة كل يومين.



الشكل (9): الزمن الذي ينخفض فيه تركيز الكلور المتبقي إلى $C < 0.1\text{mg/L}$ ضمن عدد محدد من الأنابيب من أجل تكرار تغذية كل 72h ولمدة تغذية ساعتين وثلاث ساعات من أجل تراكيز أولية مختلفة

المرحلة الثالثة: تم في هذه المرحلة إجراء المحاكاة لدراسة انتشار الملوثات ضمن شبكة المياه والناجمة عن رشح مياه ملوثة عبر ثقب أو أكثر في أنابيبها، وقد اعتبر خلال المحاكاة أن تغذية الأبنية في ثلاث من العقد الطرفية يتم عبر خزانات أرضية بمقطع

دائري بسبب انخفاض الضغط، منسوب قاع الخزانات ينخفض عن منسوب أنابيب الشبكة بمقدار 2.0m، وتم حساب حجم الخزانات لاستيعاب احتياجات السكان في عقدة التغذية ليوم كامل ($Q_{d,max}$)، ثم تم حساب الطول المكافئ هيدروليكيًا لأنبوب وصل كل من الخزانات الثلاث إلى الشبكة، من أجل ذلك حسبت الغزارة اللازمة للبناء الواحد مع اعتبار تجهيز صحي بالحد الأدنى للشقة الواحدة واعتبار قطر أنبوب التغذية لكل بناء 40mm، $K=1.0mm$ ، وذلك باستخدام طريقة الحساب المبسطة للكود الأوروبي BS-EN-806-3 [33]، فكانت الغزارة 2.25l/s، ويلخص الجدول (5) مواصفات الخزانات وأنابيب الوصل المكافئة المستخدمة.

تم إضافة تقبين على الشبكة في الأنبوبين الطرفين P-4 و P-7، قطر الثقب 2.0mm، وتم تمثيل طبقة المياه الجوفية بخزان Reservoir منسوب المياه فيه أعلى من منسوب الشبكة بـ 2.0mm واحد، تم وصل الخزانتين إلى كل من تقبي الشبكة عبر أنبوب قطره 2.0mm (مساوٍ لقطر الثقب)، وطوله 4.4mm مساوٍ لسماكة أنبوب الشبكة من الفونت المرن بقطر 80mm وفقاً للمواصفة BS ISO 2531:2009 [34]، و $K=1.0mm$.

الجدول (5): مواصفات الخزانات وأنابيب الوصل

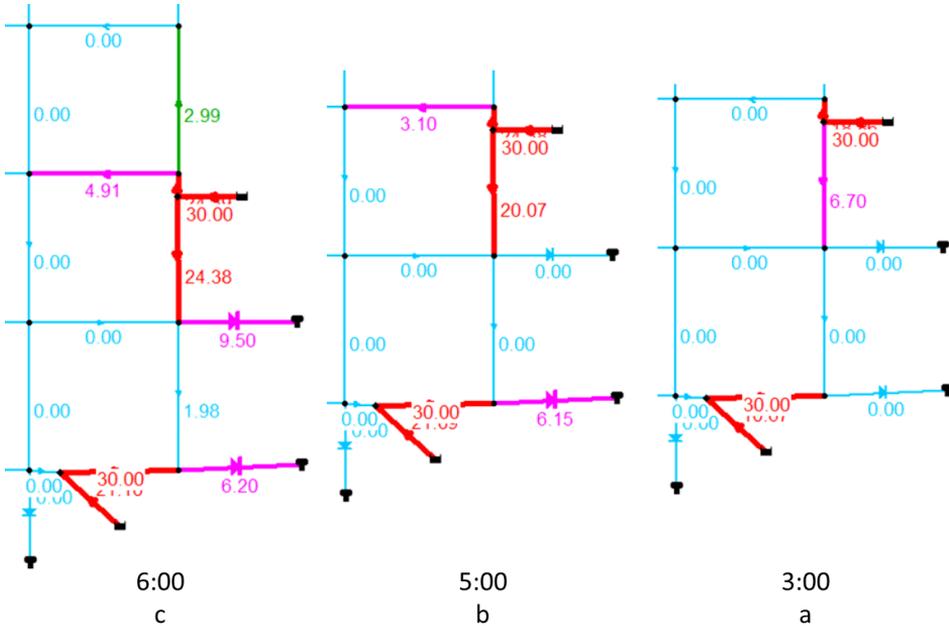
العقدة	الخزان Tank						
	الرقم	الحجم m ³	القطر m	الارتفاع m	الغزارة l/s	الأنبوب المكافئ القطر mm	الطول m
J20	T2	209.63	11.55	2	4.49	50	5.05
J24	T3	209.63	11.55	2	4.49	50	5.05
J25	T1	104.81	8.71	2	2.24	40	6.08

وقد تم اختيار مكان التقبين محققاً لشرتين، صغر قطر أنبوب الشبكة (80mm)، ووقوعهما في منطقة عمر المياه الطويل كما تم استعراضه سابقاً، ويمكن أن يكون كل من التقبين واقعاً على جدار الأنبوب مباشرة أو في منطقة اتصال وصلة منزلية.

تم حساب غزارة الرشح للتقبين لضغوط مختلفة باستخدام العلاقة (2)، ثم تم حساب معامل القاذف K من العلاقة (3)، فكانت $K=0.0112$ وتم تعويضها في البرنامج.

واعتبرت طبقة المياه الجوفية ملوثة بمياه الصرف الصحي بتركيز $COD=30 \text{ mg/L}$. وتم خلال المحاكاة دراسة انتشار الملوث diffusion ضمن أنابيب الشبكة مع إهمال تأثير التفاعلات التي قد تجري ضمنها.

تم في البداية محاكاة التغذية بنظام 24/2، بعد 3 ساعات من بداية المحاكاة، ونتيجة لتشكيل ضغوط سلبية ضمن الشبكة بدأ دخول المياه الملوثة عبر التقنين باتجاه الخزائين إلى يمين الشبكة كما يظهر في الشكل (a-10)، حيث يعطي الشكل الضغوط في العقد وتركيز COD في أنابيب الشبكة. أما الشكلين b-10 و c-10 فيظهران تطور انتشار التلوث في أنابيب وعقد الشبكة بعد 5 و6 ساعات من بداية المحاكاة على الترتيب.



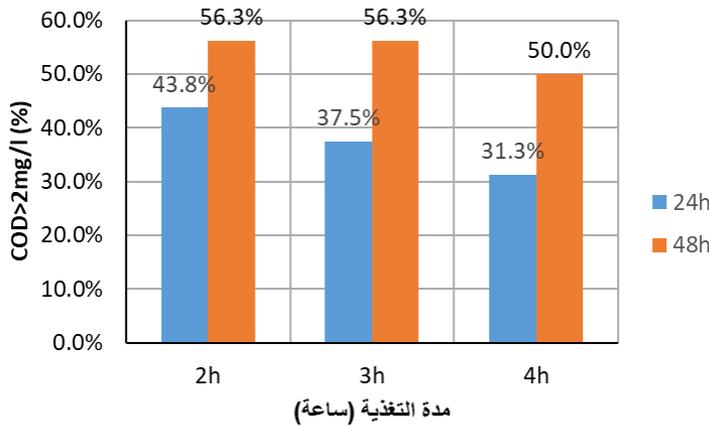
الشكل (10): تركيز COD أنابيب الشبكة لمدة تغذية 24/2

a: بعد 3 ساعات، b: بعد 5 ساعات c: بعد 6 ساعات من بداية المحاكاة

ويظهر الشكل (1) تركيز COD في نهاية فترة المحاكاة في عقد وأنابيب الشبكة لنظام تغذية 24/2. يلاحظ من الشكلين السابقين تجاوز قيمة COD القيمة المسموحة وفقاً

وتجاوزت القيمة المسموحة في أكثر من 30% من الأنابيب ووصلت إلى ما يقارب 40% من الأنابيب عند تكرار التغذية كل 24h حسب مدة التغذية.

وبالنتيجة فهناك خطر كامن لانتشار التلوث في أنابيب شبكة توزيع المياه ووصوله إلى خزانات الأبنية عند استخدام نظام التغذية المتقطعة، إذا استخدم السكان خزانات أرضية أو قاموا بالضخ مباشرة من الشبكة بسبب تشكل ضغوط سلبية، مما يشكل تهديداً واضحاً للصحة العامة.



الشكل (12): النسبة المئوية للأنابيب التي فيها $COD > 2mg/L$ ، من أجل مدد تغذية مختلفة وتكرار تغذية مرة كل 24h وكل 48h

5. الاستنتاجات:

يمكن تلخيص نتائج البحث كالتالي:

1. قد يؤدي استخدام نظام التغذية المتقطعة إلى تشكل جيوب على أطراف الشبكة لاتتجدد المياه ضمنها، مما يتسبب بتراجع نوعية المياه، وتراجع الحالة الإنشائية للأنابيب مهما كان نوعها بسبب الصدأ والنشاط البكتيري.

2. يجب في حالة التغذية المتقطعة الانتباه لتراكيز الكلور المضاف عند بداية الشبكة والتأكد باستمرار من عدم انخفاض تركيز الكلور المتبقي على أطراف الشبكة عن القيمة الدنيا المسموحة، خصوصاً عند أي تغيير في تواتر التغذية أو عدد ساعاتها.
 3. إن تشكل ثقب أو تشققات على جدران الأنابيب ولو كانت صغيرة يؤدي عند استخدام نظام التغذية المتقطعة إلى وجود خطر كامن لانتشار سريع للتلوث ضمن أنابيب الشبكة مهما كان تواتر التغذية، خصوصاً عند استخدام عدد ساعات تغذية منخفض (أقل من أربع ساعات)، مما يهدد الصحة العامة.
 4. من وجهة نظر نوعية المياه، يفضل تجنب استخدام نظام التغذية المتقطعة كلما أمكن ذلك، لما له من آثار سلبية، تم إظهارها بشكل واضح من خلال البحث.
6. التوصيات:
1. ينصح بعدم استخدام مدة تغذية ساعتين لأنها تؤدي إلى ارتفاع عمر المياه على أطراف الشبكة.
 2. عند استخدام مدة تغذية ساعتين ينصح بإضافة تراكيز عالية من الكلور عند بداية الشبكة من أجل المحافظة على تركيز الكلور المتبقي أعلى من القيمة الدنيا المسموحة.
 3. لا ينصح باستخدام تواتر تغذية مرة كل 48h أو أكثر لأنه يؤدي بشكل عام إلى زيادة عمر المياه في الشبكة، ويهدد بتراجع نوعية المياه وتراجع الحالة الإنشائية للأنابيب وزيادة احتمال تعرضها للتقرب.
 4. عند استخدام تواتر تغذية مرة كل 48h أو أكثر ينصح بإضافة تراكيز عالية من الكلور عند بداية الشبكة للمحافظة على تركيز كلور متبقي أعلى من القيمة المسموحة.

.7 .المراجع:

- .1 Mohammed, A.B. and A.A. Sahabo, *Water Supply and distribution problems in developing countries: A case study of Jimeta–Yola, Nigeria*. Int. J. Sci. Eng. Appl. Sci, 2015. **1**: p. 473–483.
- .2 Vairavamoorthy, K., et al. *Design of sustainable water distribution systems in developing countries*. in *Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges*. 2001.
- .3 Fontanazza, C., G. Freni, and G. La Loggia, *Analysis of intermittent supply systems in water scarcity conditions and evaluation of the resource distribution equity indices*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2007. **103**.
- .4 Vairavamoorthy, K., S.D. Gorantiwar, and S. Mohan, *Intermittent water supply under water scarcity situations*. Water International, 2007. **32** : (1)p. 121–132.
- .5 Mohapatra, S., A. Sargaonkar, and P.K. Labhasetwar, *Distribution network assessment using EPANET for intermittent and continuous water supply*. Water resources management, 2014. **28**(11): p. 3745–3759.
- .6 Totsuka, N., N. Trifunovic, and K. Vairavamoorthy, *Intermittent urban water supply under water starving situations*. 2004.

- .7 McIntosh, A., *Asian water supplies: reaching the urban poor*. 2003: Asian Development Bank.
- .8 Ainsworth, R.G., *Safe piped water*. 2004: Iwa Publishing.
- .9 Batish, R. *A new approach to the design of intermittent water supply networks*. in *World Water & Environmental Resources Congress 2003*. 2003.
- .10 Tinker, S.C., et al., *Drinking water residence time in distribution networks and emergency department visits for gastrointestinal illness in Metro Atlanta, Georgia*. *Journal of water and health*, 2009. 7(2): p. 332–343.
- .11 DiGiano, F.A., W. Zhang, and A. Travaglia, *Calculation of the mean residence time in distribution systems from tracer studies and models*. *Journal of Water Supply: Research and Technology—Aqua*, 2005. 54(1): p. 1–14.
- .12 Lee, E.J. and K.J. Schwab, *Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries*. *Journal of water and health*, 2005. 3(2): p. 109–127.
- .13 Servais, P., P. Laurent, and G. Randon, *Comparison of the bacterial dynamics in various French distribution systems*. *AQUA—LONDON THEN OXFORD—JOURNAL OF THE INTERNATIONAL WATER SUPPLY ASSOCIATION—*, 1995. 44: p. 10–10.
- .14 LeChevallier, M.W., et al., *Examining the relationship between iron corrosion and the disinfection of biofilm*

- bacteria*. Journal- American Water Works Association, 1993. **85**(7): p. 111–123.
- .15 Schmidt, W., et al., *Biofilmbildung an modifizierten SiO₂-Schutzschichte*. Vom Wasser, 2002. **98**: p. 177–192.
- .16 LeChevallier, M.W., T.M. Babcock, and R.G. Lee, *Examination and characterization of distribution system biofilms*. Applied and environmental microbiology, 1987. **53**(12): p. 2714–2724.
- .17 Karim, M.R., M. Abbaszadegan, and M. LeChevallier, *Potential for pathogen intrusion during pressure transients*. Journal- American Water Works Association, 2003. **95**(5): p. 134–146.
- .18 Abu–Ashour, J., et al., *Transport of microorganisms through soil*. Water, Air, and Soil Pollution, 1994. **75**(1): p. 141–158.
- .19 Gerba, C.P., J.L. Melnick, and C. Wallis, *Fate of wastewater bacteria and viruses in soil*. Journal of the irrigation and drainage division, 1975. **101**(3): p. 157–174.
- .20 Andey, S.P. and P.S. Kelkar, *Performance of water distribution systems during intermittent versus continuous water supply*. Journal- American Water Works Association, 2007. **99**(8): p. 99–106.
- .21 Morgan, K.C., *Managing Water Main Breaks: Field Guide*. 2012: American Water Works Association.

- .22 Christodoulou, S. and A. Agathokleous, *A study on the effects of intermittent water supply on the vulnerability of urban water distribution networks*. Water Science and Technology: Water Supply, 2012. **12**(4): p. 523–530.
- .23 Rossman, L.A., et al., *EPANET 2.2 users manual*. 2020: U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-20/133, 2020.
- .24 Trifunovic, N., *Introduction to urban water distribution*. Second Edition ed. Unesco–IHE lecture note series. Vol. 1. 2020: CRC Press.
- .25 Al–Mofti, M.B., *Using of pressure–driven analysis (PDA) for the evaluation of the water distribution networks performance during intermittent supply*. Journal of Al–Baath University, Syria, Homs, 2021. **43**.
- .26 Standard, E., *BS EN 805:2000, Water supply Requirements for systems and components outside buildings, English version*. 2000, BSI. p. 70.
- .27 Baur, A., et al., *Mutschmann/Stimmelmayer Taschenbuch der Wasserversorgung*. 2019: Springer–Verlag.
- .28 Walski, T.M., et al., *Advanced water distribution modeling and management*. First Edition ed. 2007: Bentley Institute Press.
- .29 Association, A.W.W., *AWWA Water Operator Field Guide*. Denver: American Water Works Association.[Google Scholar], 2004.

- .30 SASMO, T.S.A.O.F.S.M., *Drinking water quality SNS 45:2017*. 2017: Damascus, Syria.
- .31 Simard, A., G. Pelletier, and M. Rodriguez, *Water residence time in a distribution system and its impact on disinfectant residuals and trihalomethanes*. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, 2011. **60(6)**: p. 375–390.
- .32 Rossman, L.A., R.M. Clark, and W.M. Grayman, *Modeling chlorine residuals in drinking–water distribution systems*. *Journal of environmental engineering*, 1994. **120(4)**: p. 803–820.
- .33 Standards, B., *BS-EN-806-3:2006*, in *Part 3: Pipe sizing — Simplified method*. 2006, BSi. p. 18.
- .34 (ISO), I.O.f.S., *BS ISO 2531:2009*, in *Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water applications*. 2011, BRITISH STANDARD. p. 82.