

## Improving the Competence of drinking water network using EPANET

Dr. Hana Slman<sup>\*</sup>  
Dr. Samia Chiban<sup>\*\*</sup>  
Maya yuosuf<sup>\*\*\*</sup>

(Received 2 / 12 / 2018. Accepted 20 / 1 / 2019)

### □ ABSTRACT □

This paper aims at improving the efficiency of the drinking water network in the region between the 8th Azar Street and the Western Corniche in the city of Latakia, which is characterized by large differences in the levels. For that, the EPANET program developed by the US Environmental Protection Agency was used for the hydraulic simulation of the network. A site plan drawing has been used for the area to know the nodes levels and lines slope. Water flow in the nodes was estimated by monitoring the water consumption in this area. Based on the data of the (Water Authority), the pattern of water consumption rates was developed throughout the day to perform the hydraulic analysis for an extended period of time using the WaterCAD program based on the mathematical model EPANET, The results showed a reduction in pressure values in almost 25% of the network nodes, which are high-level nodes, where pressures were less than 1 bar. It showed also that water velocities in the network are ranging from 3.3 m/s in the main carrier line and 0.02 m/s in branching lines with dead ends. In order to validate the results of the hydraulic model, the residual free chlorine concentrations in the network were recorded at the field. The hydraulic model showed also that the largest water age in the network is 50 hours, at which the free chlorine concentration was 0.14 mg/L, and so, chlorine decay rate in the hydraulic model was updated to 0.01 day<sup>-1</sup>. This value was derived by calibrating the model based on the field measurements. It was proposed to create an elevated tank in the highest area of the network. This scenario was checked using WaterCAD software. The model results showed a significant improvement in the pressure values (2.85-4.8) bar which still within the allowable pressure range. Also, the velocity values were improved (0.47 -2.2) m/s. and the model showed that the addition of chlorine to the source tank by 0.2 mg/L increased the free chlorine concentrations in the network, what enhances the quality of drinking water and maintains the public safety.

**Keywords:** Modeling Drinking Water network, Water Quality, chlorination, EPANET, WaterCAD.

---

<sup>\*</sup> Associate Professor, Department, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup> Assistant Professor, Higher Institute of Environmental Research, Tishreen University, Lattakia, Syria

<sup>\*\*\*</sup> Postgraduate student, Department of Environmental engineering systems Higher Institute of Environmental Research, Tishreen University, Lattakia, Syria

## تحسين كفاءة شبكة مياه الشرب باستخدام نموذج EPANET حالة الدراسة (المنطقة الواقعة بين شارعي 8-آذار والكورنيش الغربي)

د. هناء سلمان\*

د. ساميه شيبان\*\*

مايا يوسف\*\*\*

(تاريخ الإيداع 2 / 12 / 2018. قُبِلَ للنشر في 20 / 1 / 2019)

### □ ملخص □

يهدف تحسين كفاءة شبكة مياه الشرب في المنطقة الواقعة بين شارع 8 آذار والكورنيش الغربي في مدينة اللاذقية التي تتميز بفروق كبيرة في المناسيب. تم استخدام برنامج EPANET الذي وضعته وكالة الحماية البيئية الأميركية USEPA من أجل المحاكاة الهيدروليكية للشبكة. تمت الاستعانة بكروكي للمنطقة وذلك لمعرفة مناسيب العقد وميول الخطوط. تم تقدير الغزارات العقدية بناء على الاستهلاك المائي للسكان. نتيجة مراقبة الاستهلاك في المنطقة واعتمادا على معطيات مديرية المياه وضع نمط معدلات الاستهلاك المائي على مدار اليوم وذلك للقيام بالتحليل الهيدروليكي لفترة زمنية طويلة باستخدام برنامج WaterCAD الذي يعتمد على النموذج الرياضي EPANET أظهرت النتائج انخفاض قيم الضغوط في 25 % من عقد الشبكة وهي العقد ذات المناسيب العالية حيث كانت الضغوط أقل من 1bar وبالنسبة للسرعات في الأنابيب فكانت أعلى قيمة 3.3 m/s في خط الجر الرئيسي وأصغر قيمة 0.02 m/s في الخطوط المتفرعة ذات النهايات الميتة. للتحقق من نتائج المحاكاة الهيدروليكية تم اللجوء إلى تتبع تراكيز الكلور الحر المتبقي على أرض الواقع وأظهرت محاكاة نمذجة جودة المياه أن أكبر عمر للمياه في الشبكة 50 ساعة والتي يبلغ عندها تركيز الكلور الحر القيمة 0.14 mg/l. لهذه الغاية تم إدخال معامل تحلل كلور قيمته  $0.01d^{-1}$  والذي تم استنتاجه من خلال معايرة النموذج اعتمادا على القياسات الحقلية. تم اقتراح إنشاء خزان عالي وتمت محاكاة السيناريو الجديد في برنامج WaterCAD. لوحظ تحسن كبير في قيم الضغوط (2.85-4.8) bar وهي ضمن المجال المسموح. كما تحسنت قيم السرعات وأصبحت ضمن المجال من (0.47-2.2) m/s. لوحظ أن إضافة جرعة كلور إلى خزان المصدر بمقدار 0.2mg/l قد عمل على رفع تراكيز الكلور الحر المتبقي ضمن الشبكة مما يعزز جودة مياه الشرب ويحافظ على السلامة العامة.

**الكلمات المفتاحية:** نمذجة شبكات مياه الشرب، جودة المياه، التعقيم بالكلور، EPANET، WaterCAD.

\*أستاذ مساعد - قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

\*\* مدرس - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

\*\*\* طالبة ماجستير - قسم هندسة النظم البيئية - المعهد العالي لبحوث البيئة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**مقدمة:**

إن نظام توزيع المياه هو البنية التحتية الأساسية التي يتم عن طريقها إيصال المياه من المورد إلى المستهلك، وتتألف هذه المنظومة من ومورد مائي وأنابيب نقل وخزان تجميع (توازن) بالإضافة إلى صمامات مختلفة (غسيل-توزيع-تنفيس هواء-مطرقة) ومحطات ضخ. إن تزايد التعقيد المرافق لأنظمة توزيع المياه يحتاج إلى تقدير دقيق للغزارات والضواغط في مختلف أجزاء المنظومة. من هنا أتت الحاجة لطرق التحليل لإيجاد الضواغط والغزارات في شبكة المياه ككل (خليفة، 2012). يعتمد الحساب الهيدروليكي للشبكات على حساب الغزارات وضياح الحمولة في كامل الشبكة وذلك اعتماداً على طرق مختلفة بعد استيفاء الشرطين التاليين:

1- عند أي عقدة، يجب أن يكون التدفق الداخل إلى العقدة مساوياً للتدفق الخارج منها.

2- بين أي عقدتين، يكون فقد الضغط معتمداً على الطريق الذي يسلكه الماء (رفعت، 2014).

هناك عدة طرق لحساب شبكات مياه الشرب منها طريقة هاردي كروس (Hardy-Cross)، طريقة الأنابيب المكافئة (Equivalent Pipes)، طريقة القطاعات (Method of Sections) وطريقة التدرج (Gradient Method) والتي تعد من أهم الطرق الحديثة، وقد اقترحت في بادئ الأمر من قبل (Todini and Pilati 1988) وهي عبارة عن طريقة تكرارية لإيجاد الحلول. تعتمد بعض البرامج الحاسوبية لحساب شبكات مياه الشرب على طريقة هاردي كروس التقليدية مثل برنامج WASIDM, WASIDMPRO، بينما يعتمد نظام المحاكاة الهيدروليكي الأكثر استخداماً (EPANET) على طريقة التدرج، استخدمت نظرية "التدرج" من أجل إجراء حسابات التدفق والضياحات التي تميز الحالة الهيدروليكية للأنابيب (Todini and Pilati 1988). ونظراً لكون نظرية Todini هي الأبسط فقد تم استخدامها في برنامج EPANET. كان للمحاكاة الحاسوبية دوراً كبيراً في تحسين كفاءة شبكات مياه الشرب، ففي مجال التصميم قامت عدة دراسات بالبحث عن التصميم الأمثل لشبكات توزيع المياه منها (Naeeni, 1996)، أما في الجانب الهيدروليكي فتمت دراسة الأداء الهيدروليكي لأنظمة توزيع المياه تحت تأثير الضخ الدوري باستخدام برنامج (WaterCAD, EPANET) (Jarrar 1998; زيود 2003). كان لبرنامج EPANET دوراً فعالاً في تحسين كفاءة نظم إمدادات المياه (Ramos, 2007). تمكن الباحثون بواسطة النمذجة من اقتراح الموقع الأمثل لمكان الخزان وتحسين أداء شبكة توزيع المياه باستخدام برنامج EPANET (Henshaw and Nwaogazie 2015). تم اختبار وتقييم معادلات حركية تحلل الكلور (Chlorine decay) حاسوبياً ودراسة تأثير تحويل الشبكة من شجرية إلى عقدية على تخفيض عمر المياه بالاستعانة ببرنامج EPANET (Vasconcelos et al., 1997, Senyondo 2009). للتنبؤ بمستوى الكلور المتبقي وتحديد جرعة الكلور التي يجب إضافتها إلى محطة التنقية وتحسين الكلورة لضمان جودة عالية في شبكات توزيع تمت الاستعانة ببرنامج EPANET (Islam 2015; Ahn et al., 2012). ويهدف التحقق من عوامل سلامة المياه ثم تتبع أثر الكلور الحر المتبقي عن طريق دراسة تراكيزه في شبكة مياه الشرب (عليا، 2007; Al-Qaisey, 2005; عبيد، 2011).

إن الهدف الرئيس من هذه الدراسة، هو بيان الوضع المائي الحالي في منطقة الدراسة، وبيان مدى قدرة شبكة مياه الشرب في المنطقة المدروسة على مواجهة الطلب المتزايد على المياه من ناحية الضواغط والتدفقات والتأكد من جودة المياه من خلال تطبيق برنامج حساب هيدروليكي. ومن ثم القيام بعملية تحسين الشبكة باقتراح الحلول المثلى اقتصادياً وهيدروليكيًا واختبارها حاسوبياً.

## مشكلة البحث:

- سوء توزيع المياه و عدم كفاية الضواغط الهيدروليكية عدا عن الطبيعة الجغرافية للحي حيث يعاني من فروق كبيرة في مناسيبه; إذ تعاني الأبنية العالية من عدم وصول المياه إليها في ساعات الذروة إلا بواسطة مضخات صغيرة خاصة.
- لا يوجد خزان رئيسي خاص بشبكة مياه المنطقة المدروسة.

## أهمية البحث وأهدافه:

### أهمية البحث:

يركز البحث المقدم على دراسة مدى قدرة شبكة مياه الشرب في منطقة الدراسة الواقعة بين شارع 8 آذار والكورنيش الغربي وذلك من أجل مواجهة الطلب المتزايد على المياه وذلك من ناحية الضواغط والتدفقات والتأكد من جودة المياه من خلال تطبيق برنامج حساب هيدروليكي، واقتراح الحلول المثلى اقتصادياً وهيدروليكيًا لتحسين أداء الشبكة واختبار هذه الحلول حاسوبياً. في هذا البحث تم العمل على تحسين كفاءة شبكة مياه الشرب في المنطقة الواقعة بين شارع 8 آذار والكورنيش الغربي باستخدام نموذج EPANET الذي يعتمد على طريقة التدرج للقيام بالتحليل الهيدروليكي.

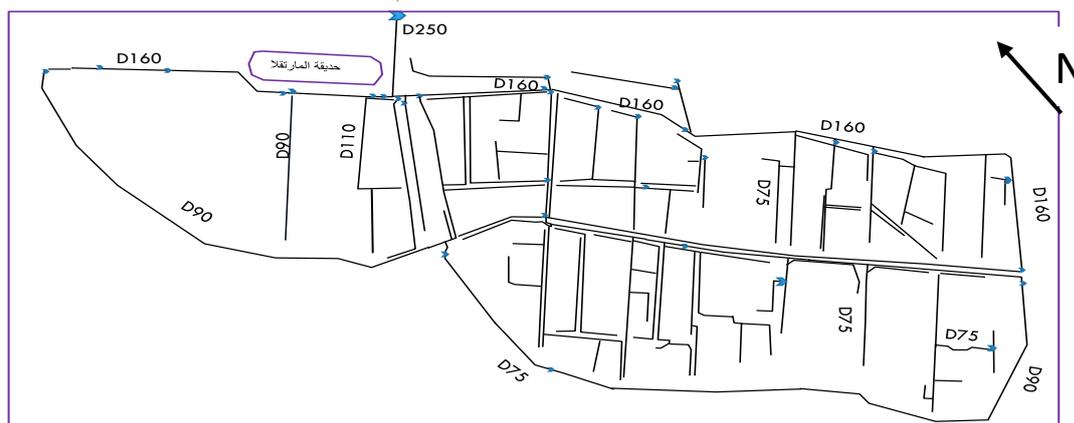
### أهداف البحث:

- بيان مدى قدرة شبكة مياه الشرب في المنطقة المدروسة على مواجهة الطلب المتزايد على المياه من ناحية الضواغط والتدفقات من خلال تطبيق برنامج حساب هيدروليكي يعتمد على نموذج EPANET.
- دراسة تحلل الكلور في هذه الشبكة الحالية وإيجاد معامل تحلل الكلور والتحقق من أن التراكيز المطلوبة من الكلور تصل إلى كل العقد في الشبكة المدروسة.
- اقتراح الحلول المثلى اقتصادياً وهيدروليكيًا لتحسين أداء الشبكة واختبار هذه الحلول حاسوبياً.

## طرائق البحث ومواده:

### 1 منطقة الدراسة:

تقع المنطقة المدروسة في الجزء الجنوبي الغربي من مدينة اللاذقية والذي يتصف بفروق كبيرة في المناسيب، يبلغ عدد سكانه ما يقارب 20632 نسمة حسب احصائيات عام 2017 ، وتبلغ مساحته حوالي 1.5 km<sup>2</sup>، وتتألف من أبنية مختلفة الارتفاعات; يتراوح ارتفاعها بين (10-30) m، يحوي على منظومة شبكة مياه مختلطة (حلقية وشجرية) كما في خطأ! لم يتم العثور على مصدر المرجع. تتغذى المنطقة من خزان يقع في القلعة يرتفع عن سطح البحر بمقدار 62m وأبعاده (30\*40) m ارتفاع الماء فيه 8m. تتصل الشبكة الرئيسية للحي بأنبوب مغذي طوله 2km وقطره . 250 mm تتراوح أقطار أنابيب الشبكة الفرعية بين (50-250) mm و الأنابيب مصنوعة من البولي إيثيلين عالي الكثافة HDPE100 وعمر الشبكة عشر سنين.



الشكل 1 منظومة شبكة مياه الشرب في منطقة الدراسة

## 2 البرمجيات والأدوات المستخدمة في البحث:

اعتمد تنفيذ البحث على استخدام البرمجيات والتجهيزات اللازمة والبيانات المُجدولة، والصور الفضائية والخرائط الطبوغرافية والمخطط التنظيمي لمنطقة المشروع، مع تنفيذ أعمال ميدانية تتضمن تنفيذ بعض القياسات، وجمع المعطيات عن الشبكة و مطابقتها للبيانات التي تم الحصول عليها من المصادر ذات الصلة، والمرتبطة بالبحث، وتسجيل الملاحظات اللازمة لعمل البرنامج. استُخدمت في الدراسة مجموعة من البرمجيات اللازمة لتحقيق الغرض المطلوب منها وهي:

### 1. برنامج WaterCAD

هو برنامج يستخدم في مجال شبكات المياه من أجل تصميم موديلات تحاكي نظام توزيع المياه ومن ثم القيام بالحساب الهيدروليكي لها وتحليل نوعية المياه وتتبع خط الكلور في الماء مع إمكانية خلق حيز مكاني مشابه للواقع وإجراء عملية التحليل والدراسة (Bentley, 2016).

### 2. برنامج AutoCAD 2D

استخدم لرسم الشبكة برنامج الاتوكاد ثم حولت إلى ملف dxf حتى يتمكن برنامج WaterCAD من التعامل معه بعد ذلك تصدّر إلى برنامج WaterCAD لبناء الموديل عليه من قائمة tool – modelBuilder. وقد استخدمت الوحدة المترية في البرنامج.

### 3. بالإضافة إلى برامج Google Earth , Civil 3D: يساعد برنامج Google Earth في تحديد الموقع الجغرافي

للسبكة لرسم مساراتها، أما برنامج Civil 3D يستخدم في إظهار خطوط التسوية والمناسيب.

### 4. حساب الشروط الحدية المطلوبة Boundary Conditions

#### ❖ حساب الغزارات المطلوبة في العقد:

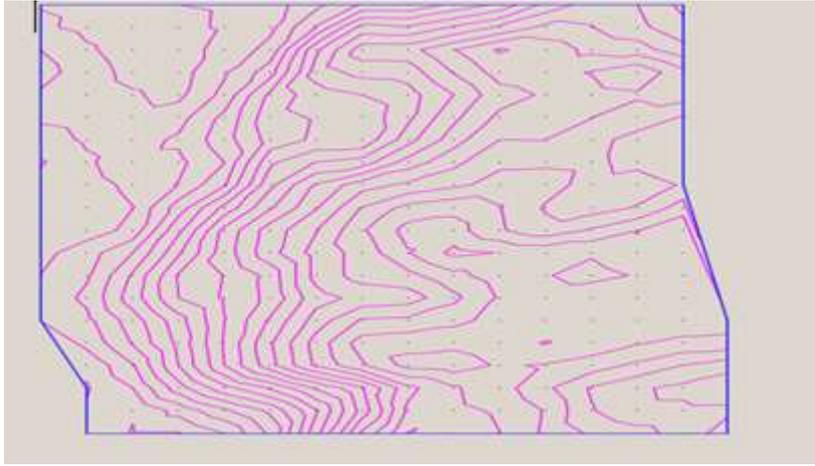
تم الاعتماد على المخطط التنظيمي لمنطقة الدراسة، وصور Google Earth، وعلى الزيارات الميدانية المتكررة، وعلى المخطط الحالي للشبكة، بإتباع الخطوات الآتية تم تحديد الغزارات في الأنابيب وفي العقد:

- 1 - تحديد نقطة التغذية من الشبكة لكل بناء سكني أو تجاري أو حكومي.
- 2 - تحديد عدد الطوابق و عدد الشقق في كل بناء سكني. بعد ذلك تم اعتبار عدد المستهلكين القاطنين في كل شقة خمسة أشخاص بشكل وسطي وتم تحديد الاستهلاك الوسطي للفرد (150 l/perso/d) حسب بيانات مكتب الإحصاء السوري و معطيات مؤسسة المياه باللاذقية، ثم جمعت هذه الاحتياجات، واعتبرت غزارة نقطية في نقطة التغذية للبناء من الشبكة. وبالتالي تم حساب الغزارة المستجرة على طول الفرع تبعاً لنقاط التغذية المتوسطة عليه.

- 3 - تم تحديد الغزارات اللازمة لري الحدائق وغسل الشوارع بناءً على قيم محددة حسب عدد السكان تم الحصول عليها من مؤسسة المياه، وقد أخذت  $30 \text{ l/perso/d}$  و تم إضافتها إلى الاستهلاك الوسطي للفرد.
- 4- حسبت الغزارة في العقد كنصف مجموع الغزارات المستجرة في كل الفروع المتصلة بالعقدة المدروسة (قصير، 1994).

#### ❖ تحديد المناسب استعانة ببرنامج Civil 3D

أدخل نموذج الارتفاع الرقمي Digital Elevation Model وباستخدام برنامج Civil 3D



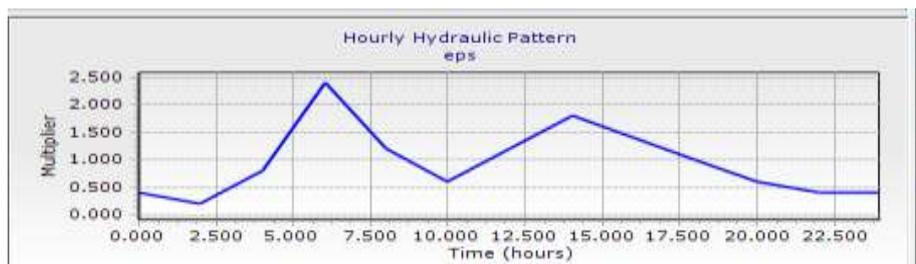
الشكل 2 خطوط تساوي المناسيب (Contours) في برنامج Civil 3D

وبعد الانتهاء من إدخال المناسيب أدخلت الأقطار بشكل يدوي من أمر Pipe Table بعد أن تمت إضافة خصائص للجدول مثل نوع الأنبوب HDPE و معامل الاحتكاك الخاص به (Hazen-Williams)، (Muranho et al., 2015) وأخيراً أدخلت الاحتياجات المائية من قائمة Unit Demand Control Center – Tools لإدخال الاحتياج المائي لكل نشاط على حدة، ثم تمت عملية الحساب الهيدروليكي للتأكد من صحة البيانات الأولية. أجري التحليل الهيدروليكي بناء على سيناريوه التحليل لفترة زمنية طويلة وفق الطريقة التالية:

حساب جدول المناوبات وهو عبارة عن معدلات الاستهلاك المتغيرة على مدار اليوم ويتم حسابها من قياسات سابقة عن طريق تركيب جهاز قياس تدفقات على محطات التغذية يوضح مقدار الاستهلاك أو عن طريق تركيب عدادات داخل المنازل وتعطي معلومات أدق عن سابقتها. تجمع قيم الاستهلاكات خلال اليوم ويحسب المتوسط ثم تقسم قيمة الاستهلاك لكل فترة زمنية على قيمة المتوسط فينتج معدل الاستهلاك لكل فترة زمنية (Multiplier) ويتم إدخاله للبرنامج بعد عمل سيناريو التحليل لفترة زمنية طويلة Extended Period Simulation (EPS) من خيار Analysis-Scenario ومن خيار components – pattern أدخل جدول المناوبات وفقاً لذلك كما في الجدول 1 كما يظهر الشكل (3) المنحني الهيدروليكي المناوبات المتغير حسب ساعات اليوم.

الجدول 1 جدول المناوبات في استهلاكات المياه خلال ساعات اليوم (مؤسسة المياه، 2018)

Time from Start (hours)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Multiplier	0.4	0.2	0.8	2.4	1.2	0.6	1.2	1.8	1.4	1	0.6	0.4	0.4



الشكل 3 المنحني الهيدروليكي لجدول المناوبات المتغير حسب ساعات اليوم في برنامج WaterCAD

### 5. أجهزة قياس الكلور الضوئية المستخدمة:

**مبدأ العمل :** لدينا مشعر ضوئي ومستقبل ضوئي ومرسل ضوئي يقيس حزمة الضوء المارة عبر الخلية من المرسل الى المستقبل حيث تتناسب القراءة طردياً مع شدة اللون فإذا كان الرقم كبير فاللون عاتم وإذا كان الرقم صغير فاللون فاتح.

#### ❖ جهاز قياس الكلور الحر والكلبي :

يقيس الجهاز محتوى الكلور الحر والكلبي في عينات الماء، ويستخدم الجهاز كاشف DPD الذي يتفاعل مع العينة عندما يضاف الكاشف إلى العينة، فإنه سيعرض لوناً وردياً، كلما زاد التركيز. يظهر الشكل (4) نوعين لجهاز قياس الكلور (جهاز قياس الكلور الحر والكلبي موديل FTC-420 المحمول ، جهاز قياس الكلور الحر والكلبي Photometer Hash) لهما نفس مبدأ العمل.



الشكل 4 جهازي الكلور الحر المستخدمين في القياس

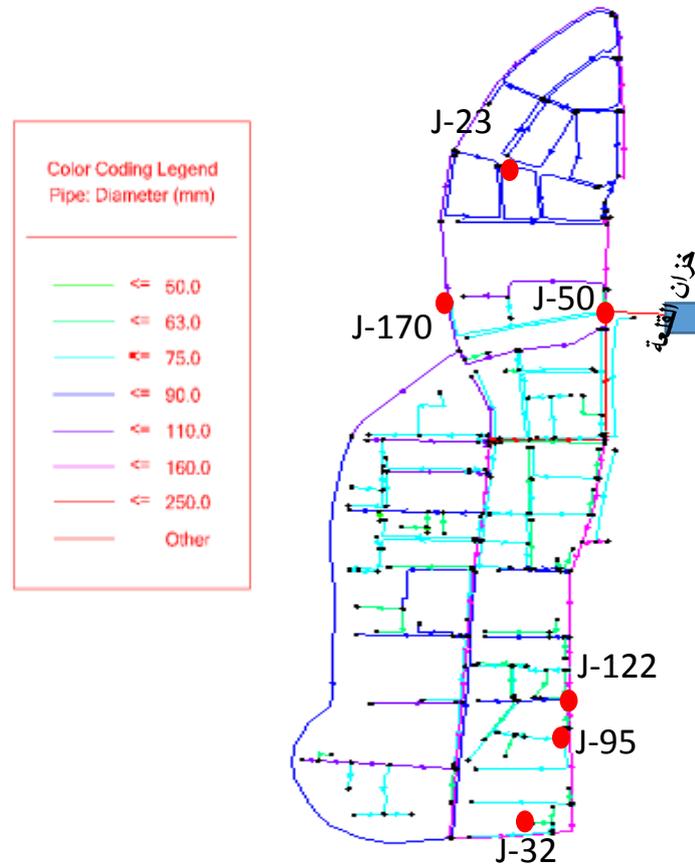
### النتائج والمناقشة:

تم القيام بعملية التحليل الهيدروليكي للشبكة يظهر الشكل (5) صورة جوية للمنطقة المدروسة مع مسارات الشبكة. أعطى التحليل قيم الميل الهيدروليكي والسرعة والتدفق والضغط خلال ساعات اليوم في جميع الأنابيب والعقد إذ تتألف الشبكة من 284 أنبوب و232 عقدة (Junction). تراوحت قيم الميل الهيدروليكي (Hydraulic Grade) ضمن المجال (35-48)m، أصغر قيمة كانت عند العقدة 64-J التي تقع تقريباً في القسم الأخير من الشبكة وأكبر قيمة عند العقدة 50-J التي هي نقطة بداية الشبكة. بالنسبة للضغط فالمجال المسموح له يقع بين 1bar إلى 2 bar في الأبنية المؤلفة من أربع طوابق ومن 2bar إلى 4 bar في الأبنية المؤلفة من خمس إلى عشر طوابق وفي الشبكة المدروسة

والتي تغذي أبنية مؤلفة غالبيتها من خمس طوابق ؛ فتراوحت قيم الضغط في فيها من bar (1.47 إلى 4) أصغر قيمة للضغط عند العقدة 95-J وهي أعلى نقطة في الشبكة يبلغ ارتفاعها 22.1m و ضمن الأنابيب الفرعية ، أما أكبر قيمة للضغط فكانت عند العقدة 170-J التي تقع في بداية الشبكة أيضا ضمن الأنابيب الفرعية ويبلغ الارتفاع عندها 7m ويعتبر صغيراً إذ تتراوح المناسب ضمن الشبكة بين (22.1- 5) m كما يظهر الشكل (6) أيضا اماكن توضع العقد (170-50). أما السرعة فكانت ضمن المجال من m/s (0.5 إلى 3.3) في الأنابيب الرئيسية أما في الأنابيب الفرعية فكانت ضمن المجال من m/s (0.02-2) القيمة الصغرى كانت في الأنبوب P-71 الذي يقع في نهاية الشبكة حدث عنده التوازن الهيدروليكي فمن الطبيعي أن تكون السرعة قريبة من الصفر. أما أكبر قيمة للسرعة فكانت 3.3m/s عند أنبوب الجر المغذي للشبكة P-196 وهي سرعة عالية نسبياً يفضل ألا تتجاوز قيمة السرعة المجال التالي (0.5-2.5) m/s. فعند السرعات الكبيرة يحدث ضياع كبير للطاقة، وعند السرعات الصغيرة يحدث ترسب للمواد الصلبة المحمولة في المياه في حال وجودها كما يمكن أن تعشش الأشنيات وغيرها مما يسبب انسداداً جزئياً أو كلياً للأنابيب.

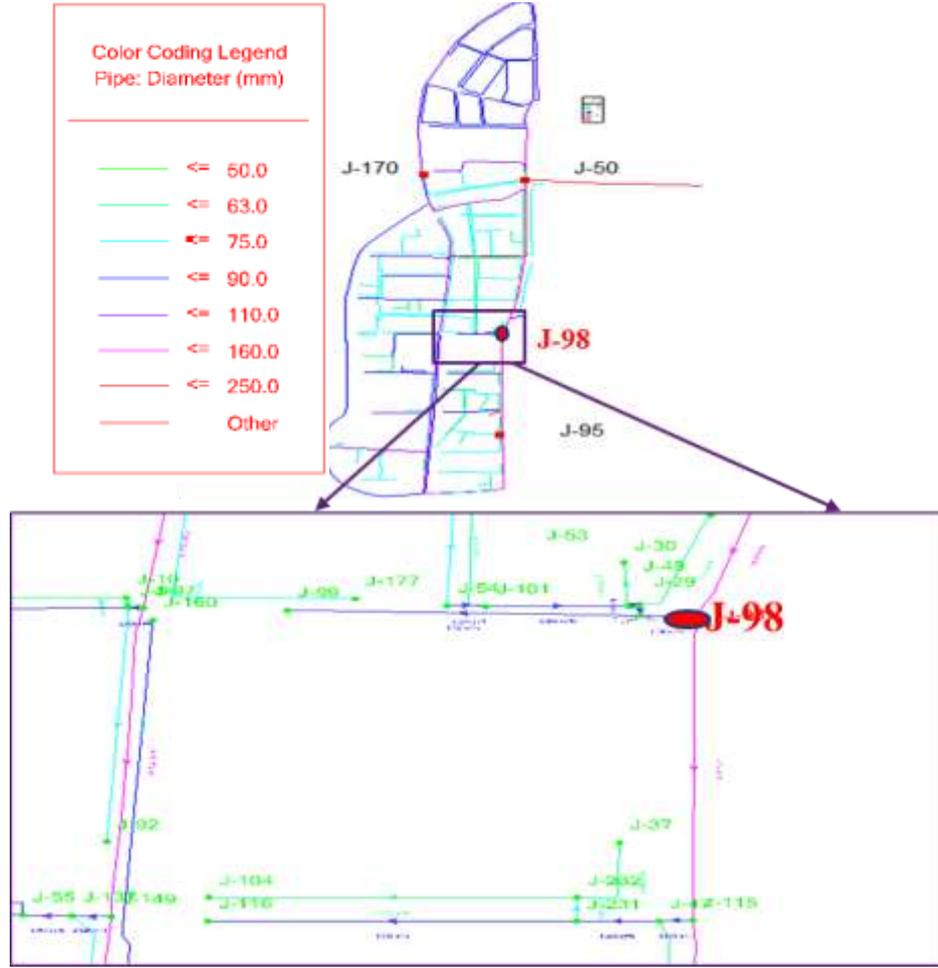


الشكل (5) صورة جوية للمنطقة المدروسة مع مسارات الشبكة.



الشكل 6 النموذج الهيدروليكي للشبكة بعد إجراء التحليل مع أماكن توضع العقد المميزة وخزان القلعة

لوحظ مما سبق أن هناك انخفاضاً في قيم الضغط في بعض الأنابيب وتباين كبير في قيم السرعة ومن هنا يبرز دور تحسين كفاءة الشبكة بالبحث عن حلول لرفع قيم الضغط والسرعة. بناء على الدراسات المرجعية كان الحل المقترح هو تصميم خزان عالي في المنطقة التي تحوي أعلى مناسيب في الشبكة وأخفض ضغوط مع مراعاة الموقع الجغرافي وحقوق الملكية وإمكانية وضع خزان فيه كما أوضح Walski et al., 2003، من خلال المخطط العقاري وجد أن أفضل مكان للخزان تتحقق فيه الشروط السابقة العقدة J-98 بجانب مبنى الأوقاف حيث بلغت قيمة الضغط فيها 2.13 bar ومنسوبها 17m ضمن حيز المناسيب العالية في الشبكة كما في الشكل (7).



الشكل 7 مكان توضع الخزان في العقدة J-98 التي تعد من أعلى النقاط ارتفاعا في الشبكة المدروسة

تم حساب أبعاد الخزان من خلال حساب غزارته بالاعتماد على المعدل الوسطي للندفق على مدار اليوم (FA Flow (AVG) وطرحه من الاحتياج المائي (FD Flow Demanded) عند كل فترة زمنية فنتج مجموعة قيم سالبة وموجبة تجمع فقط القيم الموجبة فينتج الحجم الابتدائي للخزان كما في المعادلة 1 (Casey Walski et al., 2003; 1992; تادفي، 1992):

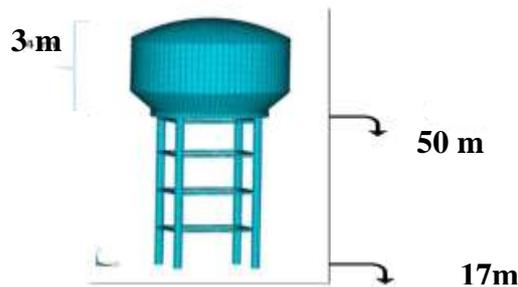
$$V_o = \sum_{I=1}^{24} FD - \sum_{I=1}^{24} FA \text{ when } (\sum FD - \sum FA) > 0$$

عند تصميم الخزان يجب مراعاة تحقق الشرطين التاليين أولا التوازن أي مدى قدرة الخزان على التزويد بالمياه بفترات الاستهلاك العالية ثانيا حالة الطوارئ عند قطع المياه لإجراء صيانة في الشبكة فتضاف هذه الشروط إلى الحجم الابتدائي لينتج الحجم الكلي للخزان ثم تحسب نسبة الامتلاء الابتدائية  $Lo$  كما في المعادلة 2:

$$Lo = 1 - \left( \frac{V_o}{V_{TOTAL}} \right) * 100$$

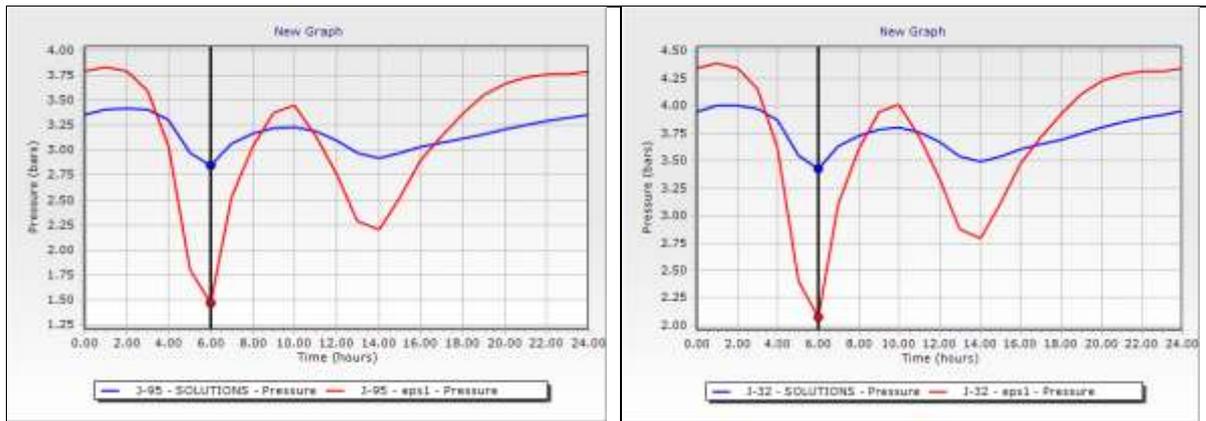
بتطبيق ما سبق ذكره كان الحجم الابتدائي  $V_0 = 540 \text{ m}^3$ ، الحجم الكلي  $V_{\text{TOTAL}} = 900 \text{ m}^3$ ، نسبة الامتلاء 60%، بالتالي أبعاد الخزان المثلى هي  $300 \text{ m}^2$  لمساحة القاعدة 3m ارتفاع للخزان و 1.8 m ارتفاع الماء في الخزان و ارتفاع حلة الخزان 3.3 m.

أما أنبوب الجر الواصل للخزان اختير من مادة البولي إيثيلين العالي الكثافة فهي ذات مقاومة عالية. يؤخذ قطر الأنابيب على أساس أقصى تدفق ناتج من طرح المعدل الوسطي للتدفق على مدار اليوم و من الاحتياج المائي عند كل فترة زمنية كانت قيمة أقصى تدفق تساوي 0.0838 متر مكعب بالثانية باعتبار أن السرعة مساوية ل 2 m/s فكان القطر الموافق هو 250mm سرعة الماء فيه 2 m/s كما يظهر الشكل (8).



الشكل 8 خزان التوازن (Elevation tank) المقترح مع أبعاده

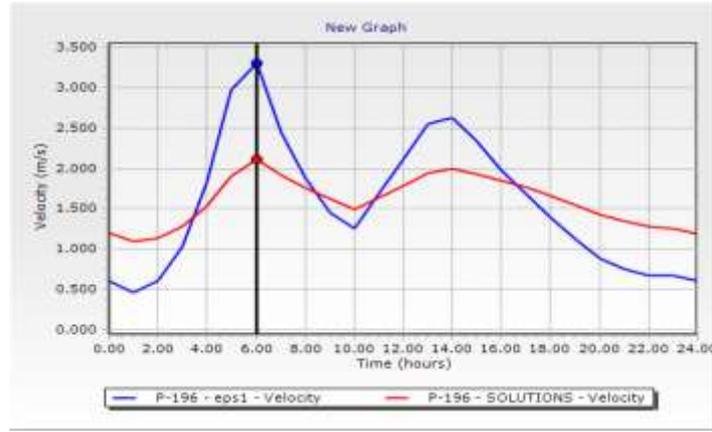
لوحظ تحسن كبير في مخطط الضغط مع الزمن وارتفاع قيم الضغط بعد إضافة الخزان فأصبحت الضغوط ضمن المجال (2.85-4.8)bar وهي ضمن المجال المسموح، أصغر قيمة للضغط كانت 1.47 bar عند العقدة J-95 أصبحت 2.85 bar كما يبين الشكل (9).



الشكل 9 سلوك مخطط الضغط مع الزمن قبل وبعد إضافة الخزان الخط الأحمر يدل على مخطط الضغط قبل التحسين الخط الأزرق يدل على مخطط الضغط بعد التحسين (إضافة الخزان) في العقدتين J95 و J32.

أيضا في العقدة J-32 الشكل (6) التي تقع في نهاية الشبكة في الأنابيب الثانوية والتي كانت قيمة الضغط فيها 2 bar ارتفعت بشكل ملحوظ بعد إضافة الخزان لتصبح 3.42 bar كما يبين الشكل (9).

هناك تحسن ملحوظ في قيم السرعات بعد إضافة الخزان، حيث حدث توازن في السرعات فقد انخفضت السرعات العالية نسبياً وارتفعت السرعات المنخفضة لتصبح ضمن المجال المحدد (2-0.47) m/s، أما بالنسبة للشبكة الرئيسية والتي أقطار أنابيبها (110-160-250) mm كانت جميع سرعاتها محققة باستثناء الخط p-88 والذي قطره 160 mm الواقع ضمن الحلقة الرئيسية سبب سرعته الضعيفة هو أن الغزارة المارة فيه تساوي 3 m<sup>3</sup>/h حيث أن الماء يأتيه من اتجاهين متعاكسين أي الغرض من هذا الأنبوب إكمال الحلقة وإجراء التوازن الهيدروليكي وتميرير المياه في حال الأعطال المفاجئة في أحد الأنابيب، أصبحت أكبر قيمة للسرعة 2.2 m/s بعد أن كانت 3.3 m/s في الأنبوب الرئيسي P-196 كما يبين الشكل (10) حيث أن الخط الأزرق مخطط السرعة خلال ساعات اليوم قبل التحسين والاحمر بعد التحسين. أما في الشبكة الفرعية هناك سرعات قريبة من الصفر في بعض أنابيبها عند التقاء أحد هذه الأنابيب مع خطوط أخرى سببها هو أن غزراتها قليلة فالغاية من هذه الأنابيب عناصر مناورة تمرر الماء في حال إجراء صيانة في الخطوط الأخرى.



الشكل 10 مخطط السرعة في أنبوب الجر قبل وبعد إضافة الخزان الخط الأزرق يدل على مخطط السرعة قبل التحسين الخط الاحمر يدل على مخطط السرعة بعد التحسين (إضافة الخزان)

#### ❖ حساب عمر المياه:

تم حساب عمر المياه بدءاً من المصدر (خزان القلعة) حتى آخر نقطة في الشبكة عن طريق صنع سيناريو جديد باسم (Analysis-Scenarios-Age Age)، مع الأخذ بعين الاعتبار أن العمر الابتدائي للمياه لحظة خروجها من الخزان المصدر و دخولها في الشبكة تأخذ القيمة صفر علماً أن عمر المياه لحظة دخولها الخزان المصدر هو 31 ساعة ونتيجة التحليل على مدار ساعات اليوم كانت أكبر قيمة للعمر في شبكة المياه هي 50 ساعة في عدة نقاط واقعة في نهاية الخطوط الفرعية وهي تشكل نهايات ميتة كما يظهر الشكل (11) مخطط عمر المياه عند أحد هذه النقاط الحرجة العقدة J-32 ولكن هذا العمر ضمن المجال المسموح وبالتالي لا يوجد ركود كبير للمياه إذ أن العمر الحرج للمياه هو ثلاثة أيام لتتمو عنده الأشنيات (Senyondo,2009).



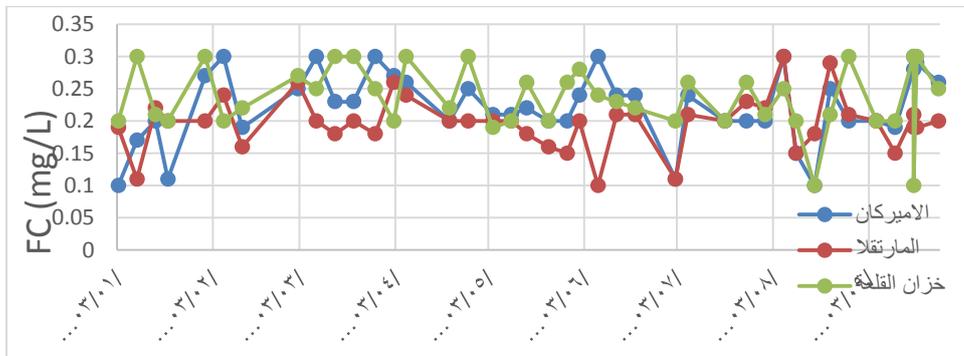
الشكل 11 مخطط عمر المياه خلال ساعات اليوم عند العقدة J-32

#### ❖ تتبع أثر الكلور

وفقاً للمواصفة القياسية السورية رقم 45 المراجعة الثانية عام 2007 يكون تركيز الكلور الحر المتبقي بنهاية شبكة المياه من  $(0.1-0.5) \text{ mg/l}$ ، بداية الضخ  $2 \text{ mg/l}$  في بداية الشبكة على أن يكون تركيز الكلور في نهاية الشبكة يتراوح بين  $(0.1-0.5) \text{ mg/l}$  شرط أن لا يزيد تركيز البداية عن  $2 \text{ mg/l}$ .

#### ❖ قطف العينات بالتعاون مع مؤسسة المياه:

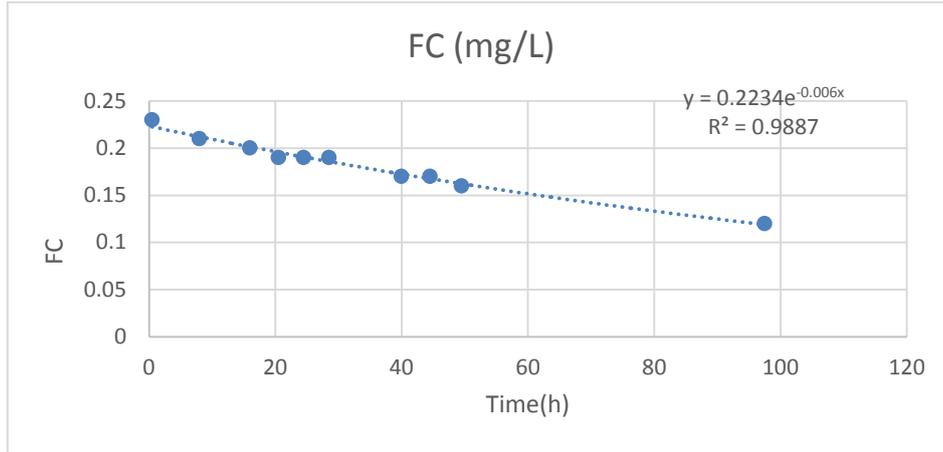
تم أخذ عينات مياه بشكل دوري من ثلاث نقاط رئيسية من الشبكة واقعة في الأميركان والمارتقلا وخزان القلعة بالعودة إلى الشكل (6)، تم قياس تركيز الكلور الحر من شهر كانون الأول إلى شهر أيلول لعام 2017 كانت قيم الكلور الحر في جميع النقاط المدروسة ضمن المجال  $(0.1-0.3) \text{ mg/l}$  الشكل (15).



الشكل 12 مخطط تراكيز الكلور الحر في النقاط المأخوذة من (الأميركان-المارتقلا-خزان القلعة)

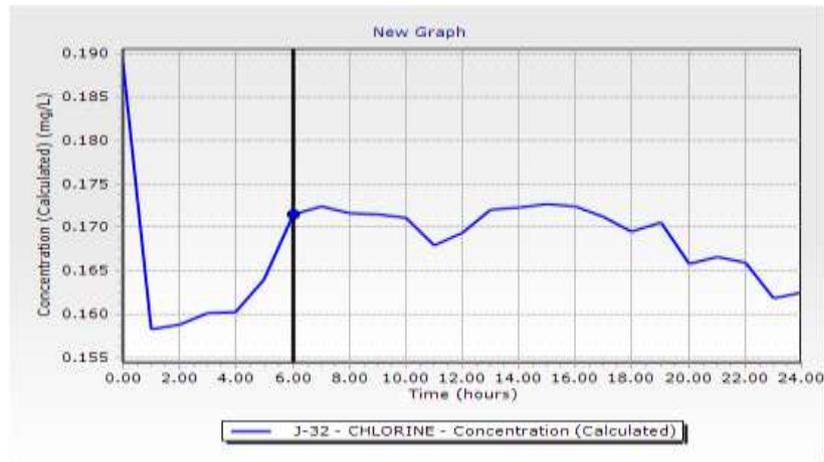
من شهر كانون الثاني إلى شهر أيلول عام 2017

لحساب قيمة معامل التحلل  $K$  وفق المعادلة 1 (معادلة التحلل من المرتبة الأولى)، (Hallam 2002). تم أخذ عشر عينات من نقطة واحدة تقع في بداية الشبكة المدروسة (جانبا حديقة المارتقلا) الشكل (13) وضعت العينات في مكان مظلم وجاف. ثم قيس الكلور الحر والكلبي لكل عينة وفق فترات زمنية محددة خلال عدة أيام وفق طريقة (Bentley, 2017) تراوحت تراكيز الكلور للعينات العشرة بين  $(0.12 \text{ إلى } 0.23) \text{ mg/l}$  وتم رسم منحنى بياني الشكل (5-20) يربط القيم السابقة مع الزمن وفق تم الحصول على قيمة  $K$  تساوي  $0.006$  أي يساوي تقريبا  $(d^{-1})$  وقيمة التركيز الابتدائي للكلور الحر  $C_0$  تساوي  $0.2234 \text{ mg/l}$ .



الشكل 13 منحنى يربط بين تراكيز الكلور المقاسة بالمعادلة  $y$

تم تتبع أثر الكلور الحر (Free Chlorine) في جميع نقاط الشبكة عن طريق سناريو Scenarios- Analysis- Chlorine، باعتبار أن قيمة الكلور في الخزان المصدر عند الزمن صفر هي 0.2 mg/l والتي تم التأكد منها من خلال القياسات الحقلية المتكررة فكانت قيم الكلور في جميع العقد متراوحه ضمن المجال (0.14-0.2) mg/l خلال ساعات اليوم أي أنها جميعها ضمن المجال المسموح حسب المواصفة القياسية السورية المجال المسموح من mg/l (0.5-0.1)، أكبر قيمة كانت عند العقدة J-50 لأنها بداية الشبكة وأصغر قيمة كانت عند العقدة J-23 نهاية أنبوب ثانوي متفرع وصغر هذه القيمة بالنسبة لباقي النقاط بسببه أنها نهاية مينة يحصل فيها ركود للماء والتي بلغ عندها عمر المياه 50 ساعة. هناك عدة نقاط تحوي على نسب منخفضة من الكلور بسبب أنها نهايات مينة كالعقدة J-32 بلغت قيمة الكلور فيها 0.185 mg/l كما في الشكل (14).



الشكل 14 مخطط الكلور الحر المتبقي في العقدة J-32 خلال ساعات اليوم

## الاستنتاجات والتوصيات:

### ❖ الاستنتاجات:

نتيجة نمذجة شبكة المياه المختلطة (حلقية في الأنابيب الرئيسية ومتفرعة في الأنابيب الثانوية) في المنطقة الواقعة بين شارع 8 آذار والكورنيش الغربي في مدينة اللاذقية باستخدام برنامج WaterCAD الذي يعتمد على البرنامج الحاسوبي EPANET تبين أن :

1. من خلال النمذجة الحاسوبية المتضمنة التحليل الهيدروليكي للشبكة وجد أن مناطق الضغط المنخفض كانت في النقاط ذات المناسيب العالية مع وجود نقاط ذات ضغط أصغر من المجال المسموح بسبب ارتفاعها العالي بالنسبة للشبكة وكان هناك تباين كبير في قيم السرعة.

2. تمت دراسة حقلية للكلور وإيجاد قيمة معامل تحلل الكلور (k) حيث بلغت قيمته  $0.01(d^{-1})$

3. تم إيجاد عمر المياه وتراكيز الكلور حيث كان أكبر عمر للمياه يقع في النقطة الأبعد من الشبكة في النهاية الميتة.

4. تم اقتراح إنشاء خزان عالي في النقطة الأكثر ارتفاعاً بحجم  $900 m^3$  وارتفاع 3m وارتفاع حلة الخزان عن منسوب الأرض الطبيعية 33m، وجد تحسن كبير للضغوط بعد إضافة الخزان حاسوبياً فأصبحت جميع قيم الضغط في الشبكة واقعة ضمن المجال المسموح كما تحسنت قيم السرعة حيث ارتفعت في بعض الأنابيب التي كانت أصغر من المجال المسموح وانخفضت في الأنابيب التي كانت أكبر من المجال المسموح فقد حقق الخزان توازن في السرعة .

### ❖ التوصيات:

1. اعتبار هذا البحث مساهمة في المحاكاة الهيدروليكية لشبكة مياه اللاذقية ككل لفائدة هذه المحاكاة في الأرشفة الالكترونية مما يسهل إجراء الصيانة والتحسين وغيرها.

2. التأكيد على المراقبة الدورية للكلور الحر في أكثر نقاط الشبكة حساسية وخاصة التي يكون فيها عمر المياه هو الأكبر والتي نستنتجها من عملية المحاكاة.

3. بناء خزان عالي في النقطة الأكثر ارتفاعاً لتحسين الضغوط والسرعات.

4. وضع جرعة كلور إضافية في الخزان المصدر لتحسين تراكيز الكلور ضمن الشبكة .

## المراجع:

1. تادفي ،م س. خزانات المياه العالية و الأرضية ، الطبعة الثانية، 1992، 287.
2. خليفة، حسين محمد. الحل الامثل لتوزيع المياه باستخدام تقنية الخوارزميات الجينية، أطروحة ماجستيركلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين2012، 124.
3. رفعت، أحمد ،تصميم شبكات المياه مركز إتمام الممكلة للتدريب والتطوير،2014، 108.
4. زيود، شاهر حسني عبد الرزاق. الأداء الهيدروليكي لشبكات توزيع المياه في فلسطين، أطروحة ماجستير، كلية الهندسة المياه والبيئة في فلسطين، 2003، 181.

5. قصير، أحمد حبيب. الإمداد بمياه الشرب (1)، منشورات جامعة تشرين، 1994، 278.

1. AHN, J. C., LEE, S. W., CHOI, K. Y. and KOO, J. Y. *Application Of EPANET For The Determination Of Chlorine Dose And Prediction Of THMs In A Water Distribution System*, Sustain. Environ. Res., 22(1), 2012, 31-38 .
2. Al- QAISEY, R. J. *Residual Chlorine Concentration in Baghdad water supplies*, MSC Thesis, University of Technology, Iraq, 2005.
3. BENTLEY. *Evaluation Of Hydraulic Models Using WaterGEMS*, <https://youtu.be/V1lulyJIX8>, 2016, accessed 16/11/2018.
4. BENTLEY. *IntroducionToWater Quality Modeling*, <https://youtu.be/5APhhjuALII>, 2017, accessed 16/11/2018.
5. CASEY,T.J. *Water and wastewater engineering hydraulics*,BOOK, Oxford University Press, 1992.
6. HALLAM , N.B, WEST, J.R , FORSTER , C.F, POWELL , G.C, CPENCER, I. *The decay of chlorine associated whith pipe wall in water distribution systems*, water research 36, 2002, 3479-3488.
7. HENSHAW, T., and NWAOGAZIE, I.L. *Improving Water Distribution Network Performanc*, PENCIL Publication of Physical Sciences and Engineering, 1(2), 2015,21-33.
8. ISLAM,N. *Water Quality Management In Small To Medium Sized Distribution Networks: Optimizing Chlorine Disinfection Strategies*, A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of
9. JARRAR H. *Evaluation of The Hydraulic Performance of Water Distribution Systems Under The Action of Cyclic Pumping*, M.SC. Thesis, An-Najah National University,1998
10. MURANHO, J., FERREIRA, A., SOUSA, J., GOMES, A. and SÁ MARQUES, A. *Convergence issues in the EPANET solver*, 13th Computer Control for Water Industry Conference, CCWI 2015 , Procedia Engineering 119 , 2015, 700 – 709.
11. NAEENI, S. *Optimizations of Water Distribution Networks*, Journal of Hydraulic Research, Vol.34, 1996, No.5.
12. SENYONDO, S. N. *Using EPANET To Optimize Operation Of The Rural Water Distribution System At Braggs*, Oklahoma Master Of Science thesis, Oklahoma State University, 2009,86 pages.
13. *The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy, Civil Engineering, The University Of British, Columbia*,2015.
14. TODINI E. & PILATI S. *A Gradient Algorithm For The Analysis Of Pipe Networks*, In B. Coulbeck And C.H. Orr (Eds) *Computer Applications In Water Supply*, Volume 1 (System Analysis And Simulation), John Wiley & Sons, London, pp, 1988, 1-20.

15. VASCONCELOS, J.J., A.L. ROSSMAN, W.M. GRAYMAN, F.P. BOULOS and CLARK, M.R. *Kinetics Of Chlorine Decay*, J. Am. Water Works Ass., 89(11), 1997, 54-65.
16. WALSKI, M., CHASE, D. V., SAVIC, D. A., WALTER, G., STEPHEN, B., KOELLE, E. *Advanced Water Distribution Modeling And Management*, Bentley Institute Press, 2003, 800 p.
17. RAMOS, J. M. F. M. S. *Water Supply Systems Efficiency Application Of Renewable Energy Sources*, Thesis To Obtain The Master Degree In Civil Engineering, 2007.