

## تحليل ونمذجة العوامل المؤثرة على حدوث المطرقة المائية في محطات ضخ مياه الري التابعة لمشروع ري هضبة عين البيضاء

الدكتور سامي قدسية\*

علا محمد الغدا\*\*

(تاريخ الإيداع 10 / 10 / 2016. قُبِلَ للنشر في 27 / 12 / 2016)

### □ ملخص □

يقوم البحث بدراسة آليات حدوث مشكلة المطرقة المائية التي قد تسبب تدميراً لشبكات أنابيب الري ومحطات الضخ وتجهيزاتها، التابعة لمشروع ري ناحية عين البيضاء وجوارها في شمال شرق مدينة اللاذقية، حيث يسعى المشروع إلى إرواء 5000 هكتار من الأراضي بمياه يتم جرها من بحيرة سد 16 تشرين . ويتكون المشروع من أربعة محطات ضخ بالإضافة إلى شبكات ري رئيسية و فرعية. استُخدمت في هذه المحطات أنابيب مصنوعة من الفولاذ (Steel). كما أن الخزّان الرئيسي للمشروع هو خزّان قسّمين.

تمّ في هذا البحث بمساعدة برنامج الشبكات المضغوطة Water CAD وبرنامج Water Hammer بتحديد الضغوط الأعظمية والسرعات في حاليّ الجريان المستقر وغير المستقر، وتحديد الضغوط الأعظمية في حالة الجريان غير المستقر من خلال وضع آلية لحدوث مطرقة مائية ناجمة عن الإغلاق المفاجئ لصمام التحكم، فنتجت قيم ضغوط عالية أكبر من قدرة تحمل الأنابيب والتجهيزات لها، بالإضافة إلى وضع آلية أخرى يبين تأثير عدم استخدام صمام عدم الرجوع في حدوث المطرقة المائية ودوره كوسيلة حماية جيدة منها، فنتجت قيم ضغوط عالية وخطيرة أكبر بكثير من قدرة تحمل الأنابيب والتجهيزات. كذلك استخدمنا خزان هواء مضغوط في آلية ثالث كوسيلة حماية جيدة من المطرقة المائية فوجدنا من خلال قيم الضغوط الأعظمية الناتجة أن خزان الهواء المضغوط وسيلة الحماية الأفضل؛ حيث منع أي زيادة في قيم الضغوط الأعظمية عند حدوث المطرقة المائية وحافظ على قيمها التي كانت في حالة الجريان المستقر.

**الكلمات المفتاحية:** الصدمة الهيدروليكية، الضخ، الأنابيب، خزان

\* أستاذ - قسم آلات حرارية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.  
\*\* طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم آلات حرارية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Analysis And Modeling Of Factors Affecting The Occurrence Of Water Hammer In Irrigation Water Pumping Station Of Ain Albeda Project

Dr. Sami Koudsie\*  
Oula Alghada\*\*

(Received 10 / 10 / 2016. Accepted 27 / 12 / 2016)

### □ ABSTRACT □

The research study scenarios water hammer problem that may cause the destruction of the irrigation pipes, pumping stations and equipmen and part of the irrigation project in terms Ain Beida and its environs in the north-eastern city of Latakia, where the project seeks to quench 5,000 hectares of land with water pumped from Lake Dam November 16 occurrence . It consists of four pumping stations in addition to major irrigation systems and irrigation systems subsidiary. Used in these stations pipes made of steel (Steel) , The reservoir project's main reservoir is two.

Bently and Water CAD V8 XM Edition we have in this research with the help of the CD-networking program

Modeling of these stations to save time and effort in the study, are HAMMER V8 XM Edition

Determine Adhamiya pressures and velocities in the case of runoff stable, identifying pressures Adhamiya in the case of the flow is stable through the development scenario of a water hammer caused by the sudden closure of the valve irreversibility thus leading larger than the carrying capacity of pipes and fittings have a high pressure values, and put another scenario shows the effect of non-use non-return valve in the water hammer occurs, and its role as a good protection of them Thus leading to high pressures and dangerous far greater than the carrying capacity of the pipe fittings values, and also used the compressed air reservoir in the third scenario means other protection from water hammer, and we found through Adhamiya pressures resulting values that the compressed air tank means better protection; it has to prevent any increase in pressure values Adhamiya when water hammer occurs, and kept her on the values that were in the case of steady flow.

**Keywords:** Water hummer, pumping, pipe, Tank.

---

\*Professor, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\*Postgraduate Student, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

تتم تلبية الحاجة لري الأراضي الزراعية بإنشاء محطات ضخ وشبكات مياه أنبوبية، وهي ذات كلفة عالية ومنتشرة في سوريا بشكل كبير، لما لها من ميزات عديدة كالتقليل من هدر المياه وإيصالها بشكل أفضل وأشمل للأراضي الزراعية المرتفعة والبعيدة، لكن سرعان ما تبين نتيجة التبدل المستمر لنظام عمل هذه المجموعة وبالتالي التبدل المستمر لمتغيراتها كالضغط والسرعة؛ حدوث مشكلة خطيرة في أنابيب الضخ تُدعى بالصدمة الهيدروليكية تؤدي إلى تخريب الشبكة وكافة تجهيزاتها، فالصدمة الهيدروليكية عبارة عن ضغط زائد على شكل أمواج اهتزازية ارتدادية نتيجة التغير المفاجئ في الضغط أو سرعة الجريان وذلك عند فتح أو إغلاق صمام التحكم بصورة فجائية أو نتيجة التوقف المفاجئ للمضخات عن العمل بسبب انقطاع التغذية الكهربائية، التي تنتشر بسرعة تقارب سرعة الصوت. يمكن أن تحدث الصدمة الهيدروليكية بشكل عام في أنابيب ضخ النفط أو الفيول أو الغاز وغيرها لكن عندما تحدث في أنابيب ضخ المياه تُسمى بالمطرقة المائية. تم اختيار محطات الضخ الأربعة التابعة لمشروع ري هضبة عين البيضاء، الهادف لإرواء أراضي قسمين، التربة الخابورية، كاملية، عين السديانة، ست مرخو، خرصبو، المشيرفة. وجزء من أراضي مشقيتا وعين البيضاء من بحيرة سد تشرين. 16

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن معظم أعطال شبكات الري الأنبوبية ومحطات الضخ ناجمة عن حدوث المطرقة المائية، والتي تسبب ، وأحياناً فقداً في الأرواح.(1-1) أضراراً بالغة في شبكات الأنابيب وتجهيزاتها كما هو مبين بالشك وقد شغلت هذه الظاهرة اهتمام الباحثين منذ زمن بعيد، فوجدت دراسة قديمة لظاهرة الصدمة الهيدروليكية في أعمال (JAEGER, 1977) ، (STREETER,1978) [5]، [6]. ثم نشر (CHAUDHRY,1979) نتائج الدراسات العملية للمطرقة المائية في شبكات المياه، بعدها توالى العديد من الباحثين في هذا المجال، ووضعوا العديد من المعادلات والنظريات المتعلقة بهذه المشكلة [7]. لقد قامت مجمل الدراسات السابقة بالتركيز على دراسة ظاهرة المطرقة المائية وتجهيزات الحماية منها في محطات الضخ، و تركيب هذه التجهيزات بشكل اعتيادي قرب المضخة، لكننا في دراستنا سنتبع منهجية علمية دقيقة وواضحة من خلال النمذجة ببرنامج حاسوبي يسمح بتحديد قيم ومكان نشوء الضغوط الأعظمية عند حدوث المطرقة المائية، وعند استخدام وسائل حماية منها، كما يسمح بمناقشة النتائج ومقارنتها وبالتالي اختيار الوسيلة الأمثل منها. بين (C.T. ARSEN ;A. NAGHIYEV; D. AL-DABASS,2009) أهمية استخدام النمذجة في دراسة شبكات المياه لما توفره من وقت وجهد وتكلفة [10]. بأقل جهد ووقت وتكلفة.



الشكل (1-1) صورة تظهر تحطم فلنجة وصل

### طريقة البحث:

قمنا بنمذجة محطات الضخ في حالة الجريان المستقر بالاعتماد على برنامج Water CAD الذي يستخدم طريقة هاردي-كروس لحساب التدفقات في العقد، كما يحسب الضغوط فيها. أما في حالة الجريان غير المستقر اعتمدنا بالنمذجة على برنامج Water Hammer الذي يستخدم طريقة المميزات لحل معادلتني الحركة والاستمرار. تنتج معادلة الحركة من تطبيق قانون نيوتن الثاني في الاتجاه X، والذي ينص على أن مجموع القوى المؤثرة في الجريان بالاتجاه X يساوي جداء كتلة لجسم بتسارعه في ذلك الاتجاه، وبالتبسيط وإجراء بعض التكاملات نحصل على الشكل النهائي لها [6]:

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\lambda V |V|}{2D} = 0 \dots \dots \dots (1 - 1)$$

$g$ : تسارع الجاذبية الأرضية ( $m^2/s$ ).

$D$ : قطر الأنبوب (m).

$V$ : السرعة الخطية للجريان وفق محور الأنبوب ( $m/s$ ).

$H$ : ارتفاع المنسوب (m).

$\lambda$ : معامل احتكاك السائل مع جدران الأنبوب.

$t$ : الزمن (s).

أما معادلة الاستمرار فتنتج من تطبيق مبدأ انحفاظ الكتلة ينص على أن كتلة السائل الداخلة إلى حجم محدد خلال زمن ما مطروحاً منه كتلة السائل الخارجة منه يساوي معدّل تزايد (تناقص) كتلة السائل الموجودة داخل هذا الحجم، ويفرض أن طول هذا الحجم ( $\partial x$ )، وينطبق هذا المبدأ والتعويض والاختصار نحصل على الشكل النهائي لها [6]:

$$V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} - V \sin \alpha + \frac{a^2 \partial V}{g \partial X} = 0 \dots \dots \dots (2 - 1)$$

$a$ : سرعة انتشار موجة الضغط عند حدوث المطرقة المائية ( $m/s$ ).




$\sin \alpha$  : الزاوية التي تصنعها سرعة الجريان مع محور الأنبوب عند حدوث المطرقة المائية.

إن نتائج النمذجة ستتيح لنا معرفة أماكن نشوء الضغوطات الخطيرة على الشبكة وتجهيزاتها والتي تتجاوز

القدرة العظمى لتحمل محطة الضخ وتجهيزاتها.

تم نمذجة كل محطة ضخ بمساعدة الأدوات الرسومية المتوفرة في برنامج WaterCAD فقمنا برقمنا

عناصر كل خط، وهي الخزان رمزه ، المضخة ورمزها  صمام تحكم ورمزه ، صمام عدم رجوع

ورمزه ، مجموعة العقد ويرمز للعقدة  بعدها نقوم باختيار شبكة الأنابيب ذات الرمز  والتي تقوم

بوصل جميع هذه العناصر مع بعضها، ثم قمنا بتوصيف كل عنصر وفق مربعات حوار مخصصة له، على النحو

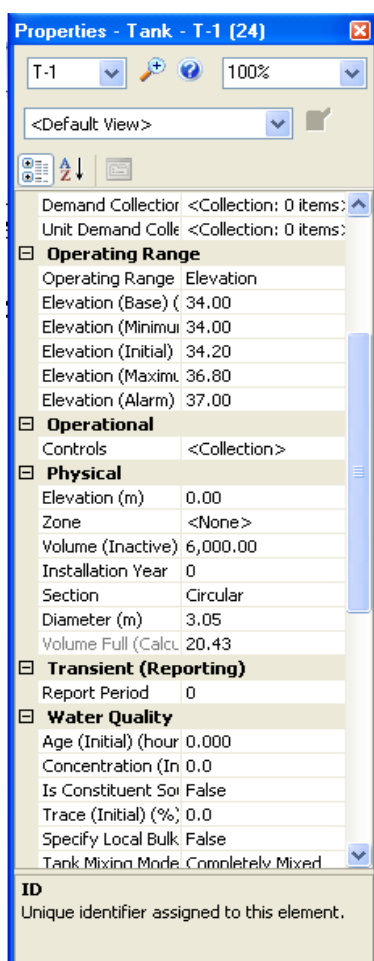
التالي:

1. الخزان: قمنا بإدخال جميع مواصفات الخزان T-1 لكل من المحطات الأربعة، كمنسوب الأرض

الطبيعية، ومنسوب قاعدة الخزان، ومنسوب المياه الأصغري، منسوب الماء الداخلي، منسوب الماء الأعظمي،

بالإضافة إلى حجم الخزان (Volume) =  $600000 \text{ m}^3$  للمحطة الأولى،  $37000 \text{ m}^3$  وللثانية و  $7200 \text{ m}^3$

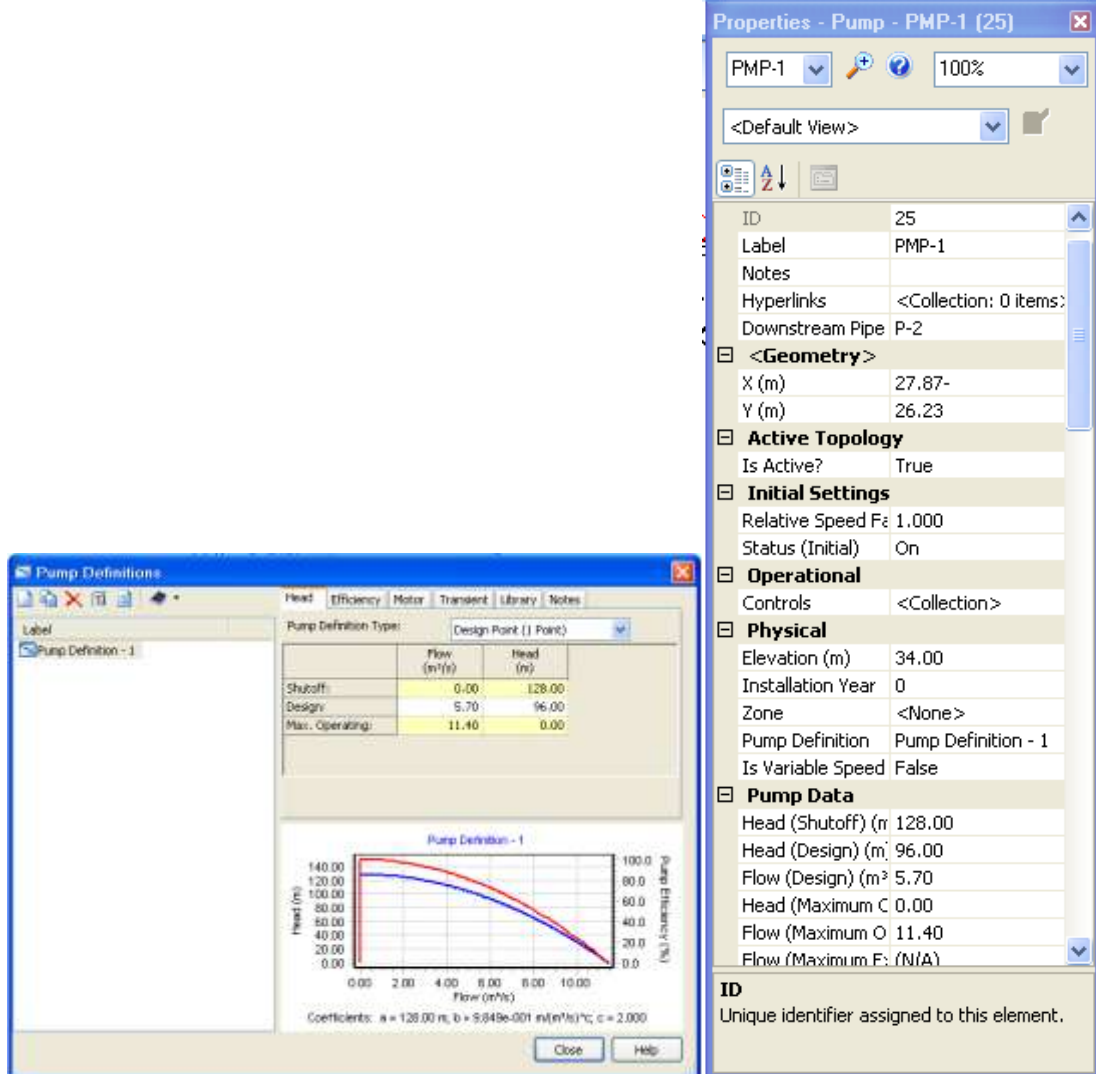
للتالثة و  $650 \text{ m}^3$  للرابعة. يبين الشكل (1-2) كيفية إدخال بيانات الخزان الأول للمحطة الأولى.



الشكل (1-2) بيانات الخزان الأول للمحطة الأولى

## 2. المضخة :

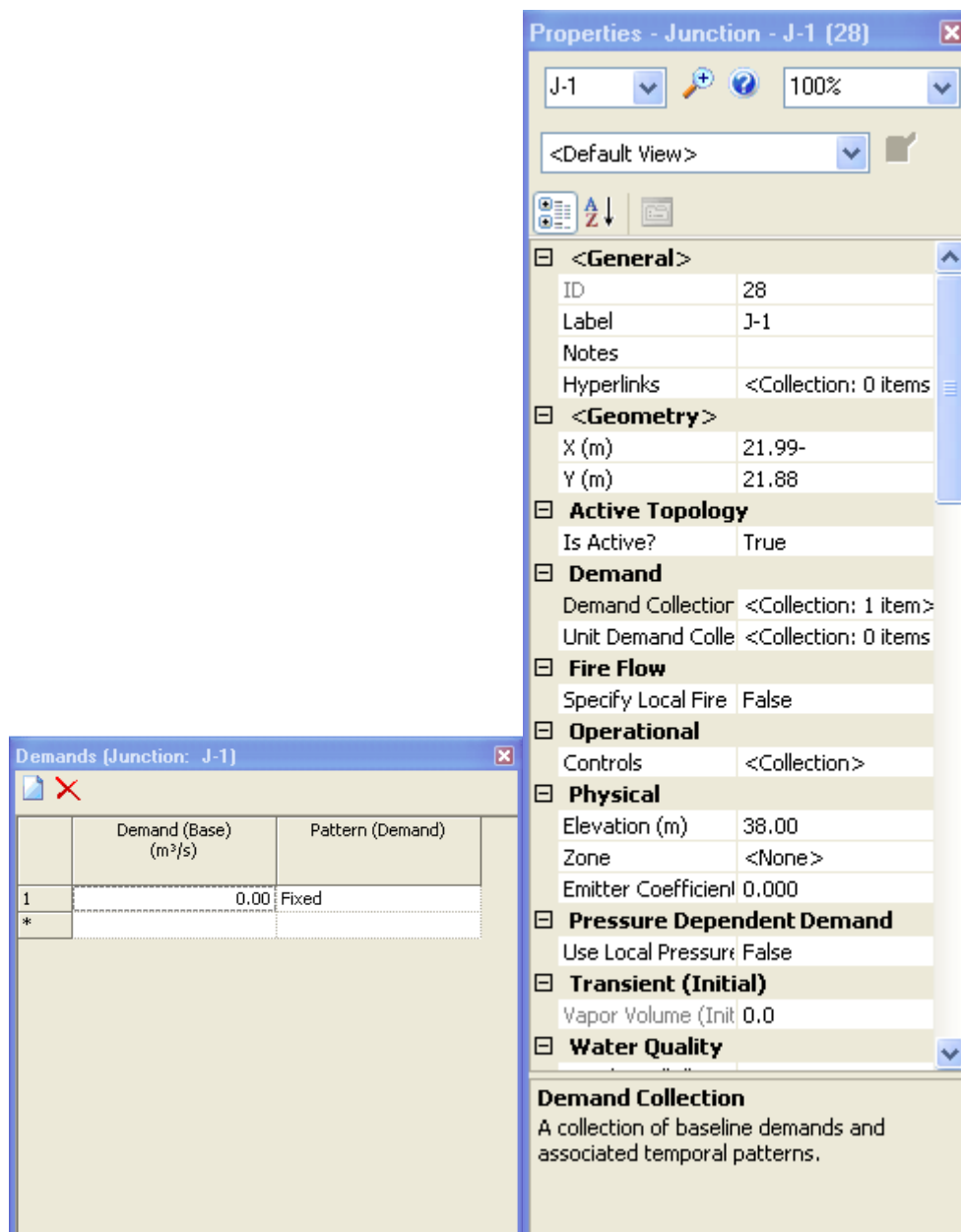
قمنا بإدخال جميع خصائص المضخة لكل من المحطات الأربعة، كما في الشكل (3-1) التابع للمحطة الأولى، كمنسوب المضخة، والغزارة الذي تعطيه المضخة، بالإضافة إلى الإرتفاع الذي تعطيه المضخة.



الشكل (3-1) بيانات مضخة من مضخات المحطة الأولى

## 3. العقد :

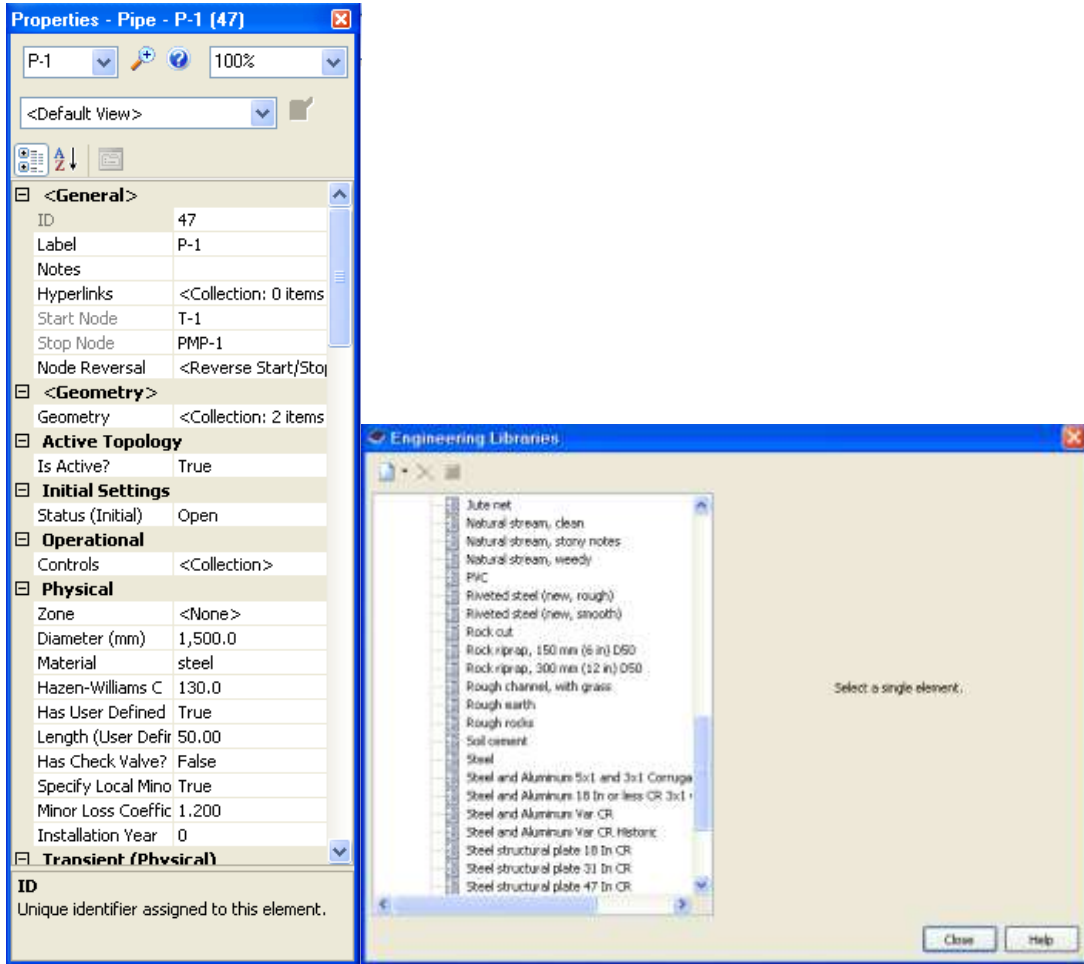
قمنا بإدخال بيانات العقد، كالتدفق الخارج من العقد، ومنسوبها، على النحو التالي كما في الشكل (4-1):



الشكل (4-1) بيانات العقدة J-1 لخط الضخ الخاص بالمحطة الأولى

#### 4. الأنبوب

تتضمن بيانات مربع الحوار الخاص بالأنبوب: نوع مادة الأنبوب، ومعامل دارسي ويسباخ، وقطر الأنبوب (Diameter) = 1500 mm للمحطة الأولى والثانية، 426 mm للمحطة الثالثة، 270 mm للمحطة الرابعة. بالإضافة إلى طول الأنبوب = 1150 m للمحطة الأولى، 1500 m للمحطة الثانية، 500 m للمحطة الثالثة، 260 m للمحطة الرابعة. كما هو مبين في الشكل (5-1) بيانات أنبوب الضخ للمحطة الأولى:



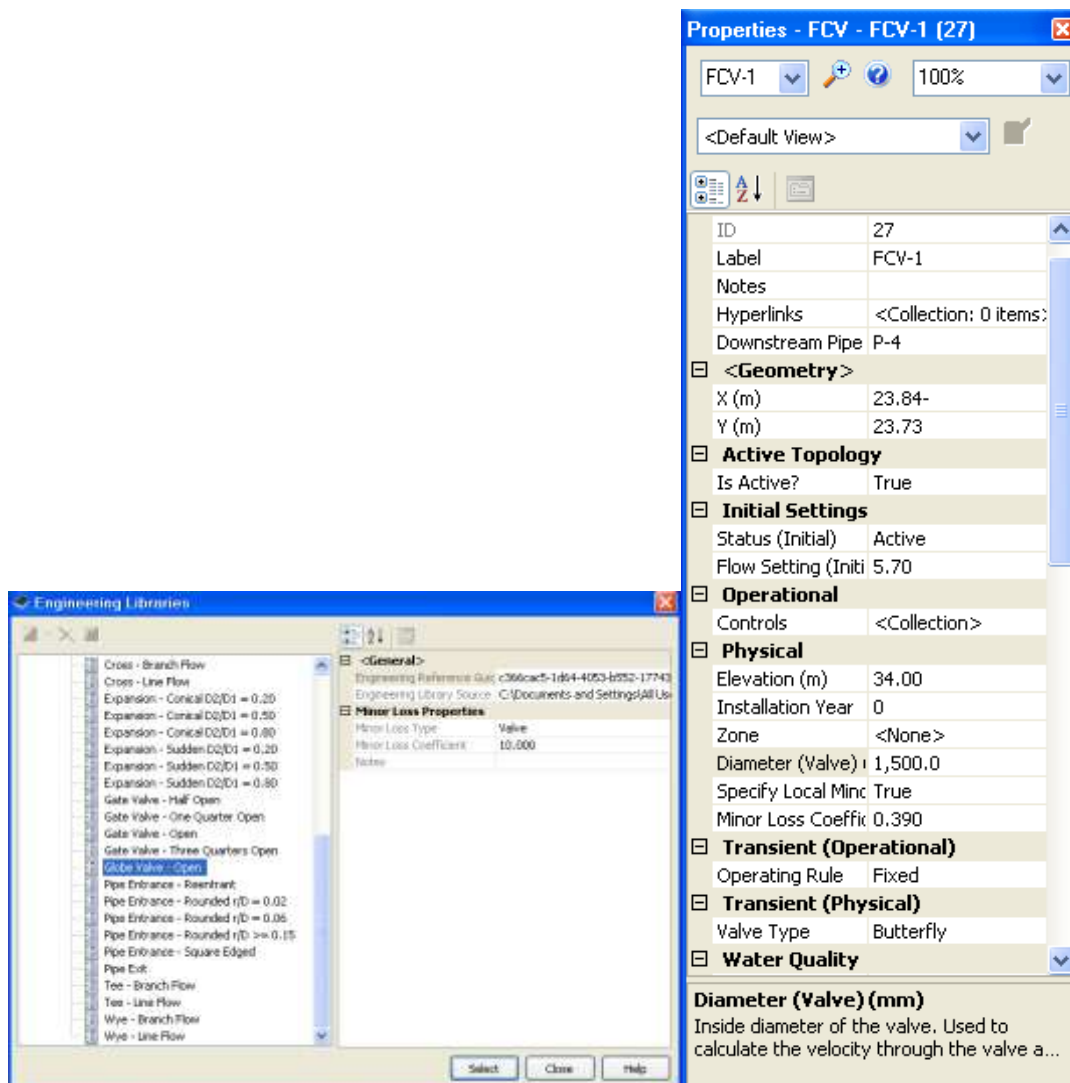
الشكل (5-1) بيانات أنبوب الضخ للمحطة الأولى

## 5. صمام التحكم

يظهر الشكل (6-1) بيانات صمام التحكم للمحطة الأولى وهي منسوب وقطر الصمام، بالإضافة معامل

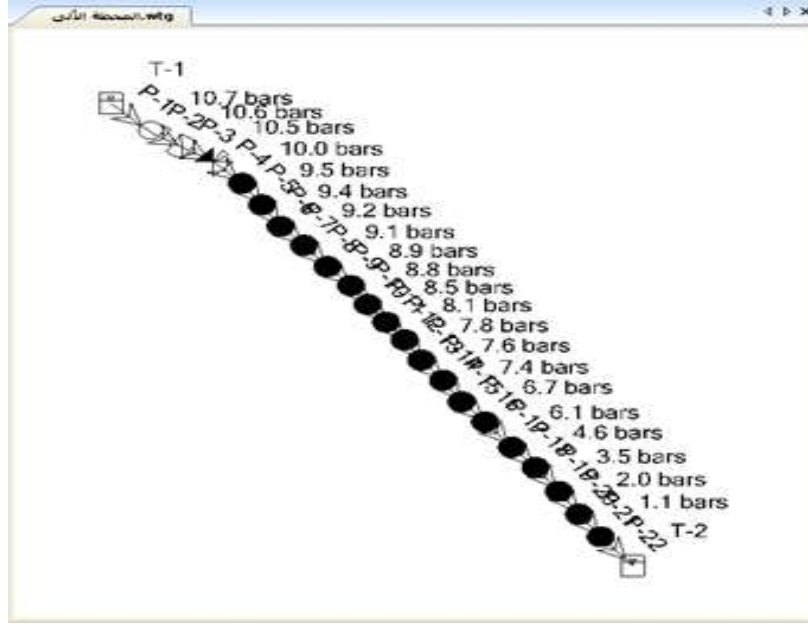
الضياح المحلي، وتتابع بنفس الطريقة لباقي الصمامات.





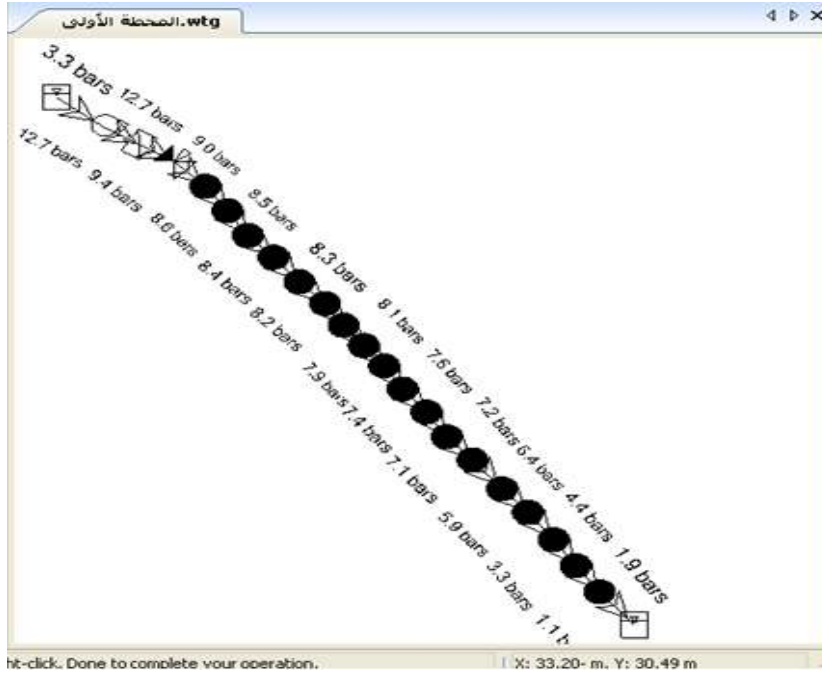
الشكل (1-6) بيانات صمام التجكم للمحطة الأولى

يقوم البرنامج بعدها بحساب الضغوط الأعظمية الناتجة في الحالة المستقرة على كل عنصر وتابعا للحساب بنفس الطريقة لبقية المحطات. يظهر في الشكل (1-7) تغيرات الضغط للمحطة الأولى.



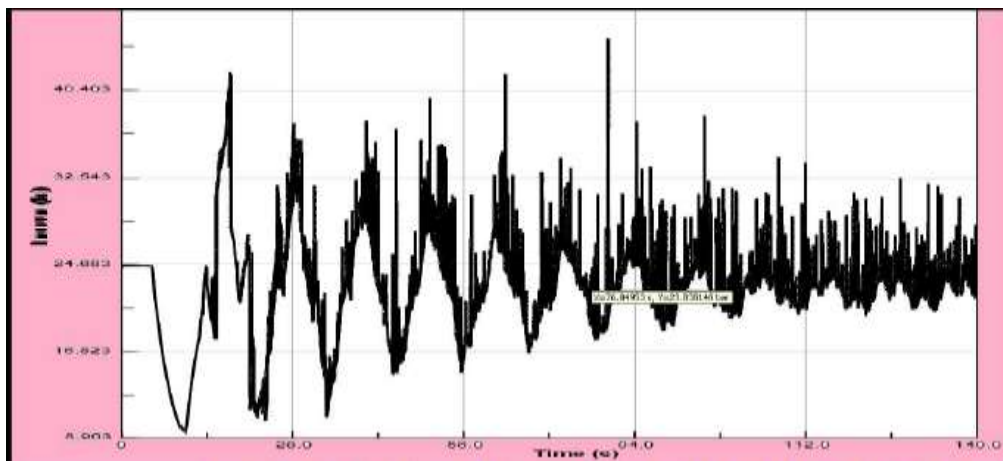
الشكل (7-1) تغيرات الضغط على عناصر الضخ للمحطة الأولى

ثم صدرنا الملف السابق إلى برنامج Water Hammer وأحدثنا مطرقة مائية نتيجة الإغلاق المفاجئ لصمام التحكم وقمنا بحساب هذا النموذج كما يظهر في الشكل (8-1)، وتابعنا الحساب بنفس الطريقة لباقي المحطات.



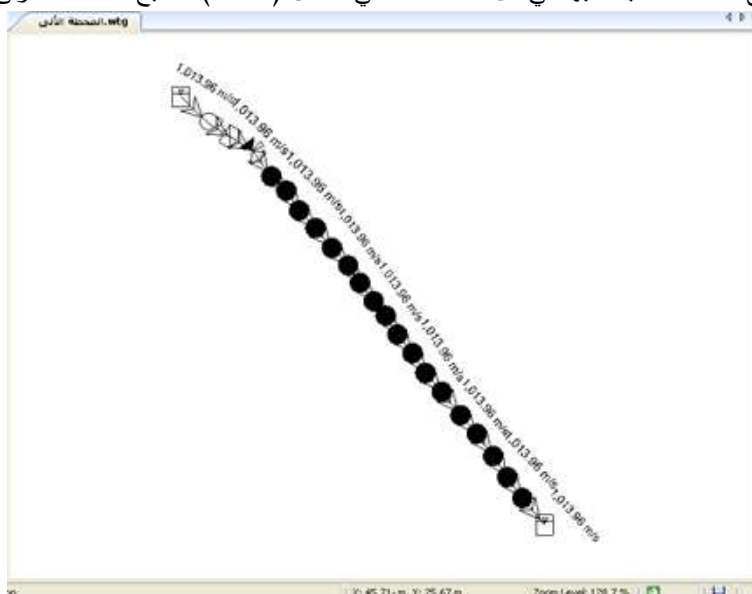
الشكل (8-1) تغيرات الضغط في المحطة الأولى عند الإغلاق المفاجئ لصمام التحكم

يتيح لنا هذا البرنامج رسم المنحني المميز لتغيرات الضغط الحاصلة نتيجة حدوث المطرقة المائية، كما في المنحني التالي العائد للمحطة الأولى، وكررنا ذلك لبقية المحطات.



الشكل (9-1) المنحني المميز لتغيرات الضغط في المحطة الأولى عند الإغلاق المفاجئ لصمام التحكم

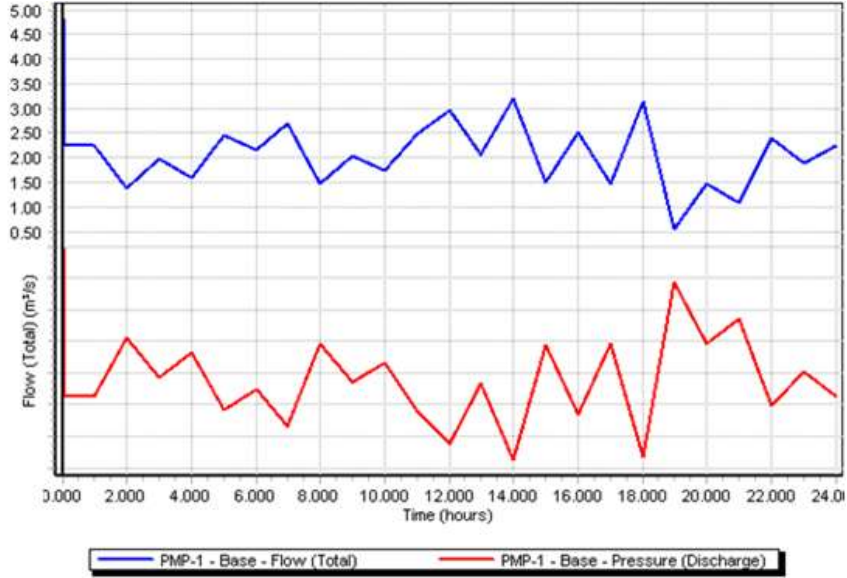
كما يسمح لنا بحساب سرعة انتشار موجة الضغط في الأنابيب، بعد تحديد نوع المعدن للأنابيب وسماكة جدرانها، ومعامل بواسون ومعامل يونغ للماء. قمنا بحسابها في كل محطة كما في الشكل (10-1) التابع للمحطة الأولى.



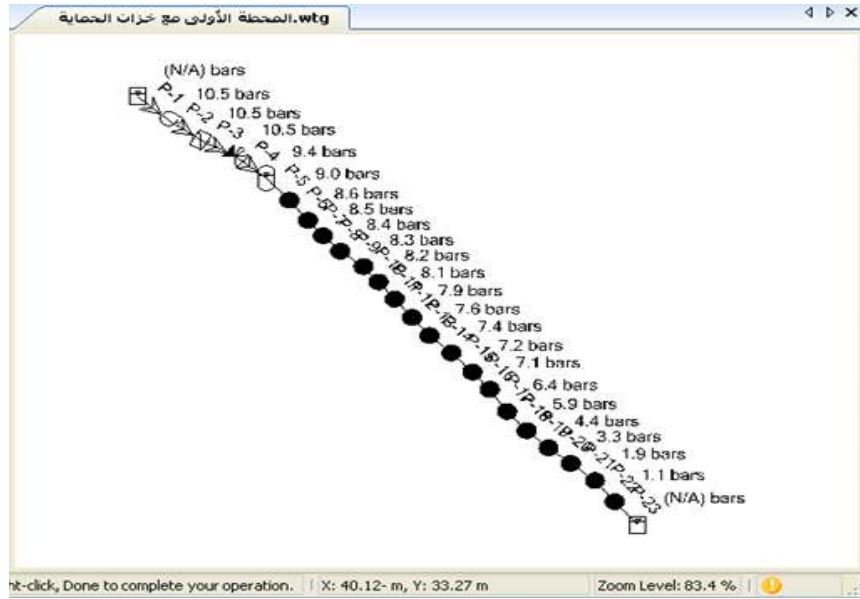
الشكل (10-1) سرعة انتشار موجة الضغط المحسوبة في أنابيب المحطة الأولى

بعد ذلك افترضنا عدم وجود صمام عدم رجوع أثناء حدوث المطرقة المائية في المحطة الأول لنبين أهميته كوسيلة ضرورية للحماية من المطرقة المائية . فقد بين (B.KARNEY;A.SIMPSON,2007) أهمية استخدام صمام عدم الرجوع أثناء حدوث الصدمة الهيدروليكية لاستخدامه، والذي يكون فعالاً من الناحية الهيدروليكية، والاقتصادية في السيطرة على الصدمة الهيدروليكية في خط الأنابيب [ 9]. وقمنا بحساب النموذج ، وكررنا ذلك على باقي المحطات وحصلنا على النتائج .

كما يمكننا هذا البرنامج من رسم منحنيات تغير التدفق والسرعة لكل عنصر، ففي الشكل ( 11-1) منحني تغيرات الضغط والتدفق في المحطة الأولى وكررنا ذلك لباقي المحطات .



الشكل (11-1) منحنيات تغيرات الضغط والتدفق في المحطة الأولى في حال عدم وجود صمام عدم رجوع وفي آلية آخر للحماية من المطرقة المائية قمنا بوضع خزان الهواء المضغوط لكل محطة وقمنا بحساب كل نموذج أثناء حدوث المطرقة المائية وحصلنا على النتائج كما في الشكل التالي:



الشكل (12-1) تغيرات الضغظ للمحطة الأولى مع وجود خزان الهواء المضغوط

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات

#### أ - استنتاجات تخص المطرقة المائية

1. بيّنت نتائج نمذجة المحطات الأربعة باستخدام برنامج Water CAD V8 XM Edition، أن جميع الضغوط مقبولة ولا يوجد خطر على المعدات والتجهيزات في الحالة المستقرة، حيث كان أكبر ضغظ عند

مضخة المحطة الأولى 10.7 bar، والثانية 10.6 bar، والثالثة 9.1 bar، والرابعة 5 bar وهو أقل من قدرة تحمل التجهيزات والأنابيب العظمى 12 bar.

2. إن حدوث المطرقة المائية في أنابيب المحطات الأربعة نتيجة الإغلاق المفاجئ لصمام التحكم سوف يسبب ضغوطاً خطيرة، وخاصة في الجزء القريب من المضخة؛ ففي المحطة الأولى كانت قيمة الضغظ الناجم عن الصدمة الهيدروليكية عند صمام عدم الرجوع 12.7 bar، و 12.6 bar في الثانية و 12.4 bar في الثالثة و 12.3 bar في الرابعة، وهي جميعها أكبر من قدرة تحمل التجهيزات والأنابيب العظمى 12 bar.

3. إن حدوث المطرقة المائية بغياب وجود صمام عدم الرجوع، سوف يسبب ضغوطاً خطيرة ومدمرة، فقد نتجت ضغوطاً عالية 22.8 bar عند المضخة وصمام التحكم في المحطة الأولى، و 19.5 bar في الثانية و 18.3 bar في الثالثة و 12.4 bar في الرابعة، وهي جميعها أكبر بكثير من قدرة تحمل التجهيزات والأنابيب العظمى 12 bar، وبالتالي صمام عدم الرجوع وسيلة حماية جيدة ومهمة.

4. إن استخدام خزان هواء مضغوط في المحطات الأربعة عند حدوث المطرقة المائية، حافظ على قيم الضغوط بحالتها الطبيعية ومنع أي زيادة في قيمتها، وبالتالي هو وسيلة الحماية الأكثر ملائمة في المحطات الأربعة

ب - استنتاجات تخص العوامل المؤثرة على حدوث المطرقة المائية

#### 1- قطر الأنبوب

من خلال معادلة سرعة انتشار موجة الضغظ. في الأنابيب

$$Cp = \frac{\sqrt{\frac{Ew}{\rho}}}{\sqrt{\frac{Ew \cdot D}{E_R \cdot S} + 1}} \dots \dots \dots (3-1)$$

$Cp$  - سرعة انتشار موجة الضغظ (m/s)،  $D$  - قطر الأنبوب (m)،  $S$  - ثخانة الأنبوب (m)،  $Ew$  - عامل مرونة الماء ويقدر ب  $(pa) 2.07 \cdot 10^9$ ،  $\rho$  - الكتلة النوعية للماء وتؤخذ تقريبا  $(kg/m^3) 1000$  -  $E_R$  - عامل مرونة الأنبوب.

نرى أن قطر الأنبوب يوجد في مخرج المعادلة (3-1)، وبالتالي فسوف تزداد قيمة الضغظ الأعظمي الناجم عن المطرقة المائية والعكس صحيح. وهذا ما تؤكده دراستنا كما هو مبين في الجدول (1-1).

#### 2- ثخانة جدار الأنبوب

يتضح من المعادلة (3-1) أن زيادة ثخانة جدار الأنبوب  $S$  يرافقه زيادة في سرعة موجة الضغظ  $Cp$  وكذلك زيادة في قيم الضغوط الأعظمية الناجمة عن المطرقة المائية. وهذا ما وجدناه فعلاً من نتائج النمذجة للمحطات الأربعة كما هو مبين في الجدول (1-1).

#### 3- مرونة جدار الأنبوب

بالعودة إلى المعادلة (3-1)، التي تأخذ معامل مرونة جدار الأنبوب أو ما يسمى معامل يونغ  $Ew$  بعين الحسبان نرى أنه كلما قل معامل مرونة جدار الأنبوب، قلت سرعة انتشار موجة الضغظ وبالتالي فسوف تقل قيم الضغوط الأعظمية الناجمة عن المطرقة المائية.

#### 4- فرق المنسوب

كلما زاد فرق المنسوب بين الخزان العلوي والسفلي فسوف تزيد معه قيمة الصَّغَط الناجم عن المطرقة المائية، بالعودة إلى نتائج نمذجة كل من المحطات الأربعة المبينة كما هو مبين في الجدول (1-1) نجد أن هذا مطابق لما حصلنا عليه.

الجدول (1-1) نتائج نمذجة المحطات الأربعة

المحطة	الضغط المستمر بbar	الضغط الأعظمي بbar	السرعة m/s	قطر الأنبوب mm	تخانة الأنبوب mm	فرق المنسوب m
الأولى	10.7	22.8	1013	1500	14	97
الثانية	10.6	19.5	1032	1500	14	93
الثالثة	9.1	18.3	1119	426	6	90
الرابعة	5	12.4	1216	261	6	48

#### التوصيات

1. ضرورة دراسة محطات ضخ مياه الري و شبكات أنابيبها، بحالتها المستقرة باستخدام برنامج Water CAD V8 XM Edition، لما يتمتع به من إمكانيات هائلة في إدخال البيانات، وتحليل النتائج وعرضها بشكل جداول ومخططات.
2. ضرورة إجراء دراسة تفصيلية لمحطات ضخ مياه الري و شبكات أنابيبها في حال حدوث المطرقة المائية وفق برنامج Bentley HAMMER V8 XM Edition، الذي يتيح تحديد مكان و قيمة أكبر ضغط ناتج، وبالتالي يساعد في تجنب وتخفيف نتائج حدوثها قدر الإمكان.
3. ضرورة التوسع في إدخال البرمجيات الحاسوبية لما توفره من وقت وجهد وتكلفة في وضع آليات لأكثر من وسيلة حماية من المطرقة المائية ومناقشة النتائج باستخدام برنامج Bentley HAMMER V8 XM Edition وبالتالي اختيار الوسيلة الأفضل منها بشكل أوضح وأدق وأسرع.

## المراجع

1. قدسية، سامي. نتائج التجارب العملية لدراسة تأثير وجود الهواء في الماء على متغيرات الصدمة الهيدروليكية في أنابيب المياه. مجلة جامعة تشرين، اللاذقية، المجلد 24، العدد 11، 2002، 145-157.
2. معلا، وائل. نمذجة انتشار العناصر غير المحافظة في شبكات توزيع مياه الشرب. مجلة جامعة دمشق، اللاذقية، المجلد 18، العدد 11، 2002، 1-40.
3. الوحدة المهنية للدراسات والاستشارات الهندسية، الدكتور المهندس حسام صبوح . المرحلة الرابعة، الدراسة التنفيذية لمشروع إرواء مجموعة قرى في جرد القدموس /بانياس/. 2005، 33.
4. قدسية، سامي. عن النمذجة الفيزيائية للمطرقة المائية في الجمل الهيدروليكية المغلقة. مجلة جامعة تشرين، اللاذقية، المجلد 30، العدد 3، 2008، 9-16.
5. JAEGER, C. *Fluid transients*. First published, Glasgow: Blackie @ Son, London, 1977, 413.
6. STREETER, V.L.; WYLIE, E.B. *Fluid transients*. McGraw-Hill Inc, United States, 1978, 379.
7. CHAUDHRY, M.H. *Applied hydraulic transient*. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1979, 503.
9. KARNEY, B; SIMPSON, A. *In-line check valves for water hammer control*. Journal of Hydraulic Research. Vol. 45, No. 4 , 2007, pp. 547-554.
10. ARSENE, C.T; NAGHIYEV, A; AL-DABASS, D. *MODELLING AND SIMULATION OF WATER SYSTEMS BASED ON LOOP EQUATIONS* School of Computing and Technology The Nottingham Trent University, Vol. 5, No. 1, 2009, 61-72.