مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٥) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (5) 2026

دراسة تأثير العمل المشترك لصمام الأمان مع صمامات الهواء وخزانات الضغط في تخفيف الصدمة المائية

أ.د عادل جرجي *

شذى خلوف **

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/١١/٦ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٦/٣/١١)

□ ملخّص □

تضمن البحث دراسة وصفية لظاهرة الصدمة المائية الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخات لما يشكل من آثار خطرة على خطوط الضخ وشبكات المياه. كما تم التعريف بأنواع الصمامات وتوضيح تأثير العمل المشترك بين كل من صمام الأمان وصمامات الهواء وخزانات الضغط في قيم الضغط الناتج عن الصدمة الهيدروليكية بهدف حماية شبكة المياه من قيم الضغط المرتفع وذلك بوضع عدة سيناريوهات تبين تأثير هذا العمل المشترك على الشبكة باستخدام برنامج (Bently Hammer) وفق خط ضخ يمتد من محطة مرقية ٣ باتجاه خزان القمصية في محافظة طرطوس. وتم التوصل إلى أن صمام الأمان لا يؤثر ولا يحسن من الضغوط الدنيا السالبة ، كما أن وجود خزان الهواء المضغوط يغني عن وجود جميع أجهزة الحماية الأخرى من صمام أمان وصمام هواء لأنه يستطيع لوحده تخفيض الضغوط العظمى .كما أن العمل المشترك لصمام الهواء وصمام الأمان يؤدي إلى حماية خط الضخ بالحد الأدنى في حال عدم إمكانية وجود خزان هواء مضغوط.

كلمات مفتاحية : صدمة مائية – صمام أمان – صمامات هواء– خزان ضغط

* أستاذ في كلية الهندسة المدنية– قسم الموارد المائية – جامعة حمص

**طالبة ماجستير– كلية الهندسة المدنية – قسم الموارد المائية – جامعة حمص

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (١٠) العدد (٥) ٢٠٢٦

Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (10) No. (5) 2026

Study the effect of combined action of safety valve with air valves and pressure tanks in mitigating water shock

Adel Gorgee*
Shaza Khallof**

(Received 6/11/2025 . Accepted 11/3/2026)

□ ABSTRACT □

The research included a descriptive study of the phenomenon of water shock resulting from sudden pump stoppages, which poses dangerous effects on pumping lines and water networks. Valve types were also defined, and the combined effect of safety valves, air valves, and pressure tanks on the pressure values resulting from hydraulic shock was explained, with the aim of protecting the water network from high pressure values. This was done by developing several scenarios that demonstrate the impact of this joint effort on the network using the(Bently Hammer) program along a pumping line extending from the Markieh pumping station 3 towards the Qamsiyeh reservoir in Tartous Governorate. It was concluded that the safety valve neither affects nor improves the minimum negative pressures. Furthermore, the presence of a compressed air tank eliminates the need for all other protective devices, such as a safety valve and an air valve, as they can alone reduce the maximum pressures. Furthermore, the combined action of the air valve and the safety valve leads to minimal protection of the pumping line in the event that a compressed air tank is not available.

Keywords: Water shock - Safety valve - Air valves - pressure tank.

*Professor-faculty of civil engineering- Water resources management-Homs Univerity.
** student - Faculty of Civil Engineering - Water Resources Management –Homs University.

مقدمة

مفهوم الصدمة المائية:

إن الصدمة المائية هي عبارة عن موجات ارتفاع أو انخفاض تطرأ على الضغط الهيدروليكي في أنبوب مضغوط، نتيجة تغير اتجاه سرعة الجريان في مقطع هذا الأنبوب، وتسير بسرعة تقارب سرعة انتشار الصوت في السائل متخامدة بفعل الاحتكاك وبعض الأجهزة الملحقة بنظام الضخ.

كما أن انضغاطية السائل وقابلية جدران الأنبوب للتشوه تكسبان الصدمة المائية صفة المرونة، وبإهمال هاتين الخاصيتين نحصل على صدمة مطلقة وهذا أمر بعيد عن الواقع(معلا،١٩٩٣).

الأخطار الناتجة عن الصدمة المائية:

إن التغير السريع والمفاجئ في الضغط ينتج عنه الأخطار التالية:

- ضغط عالي جدا" يؤدي إلى تمزق الانابيب وتضرر المضخات والصمامات ومانعات التسرب، مما يؤدي إلى تسرب السائل المنقول عبر الأنبوب إلى خارج خط الضخ ، وبالتالي يؤدي إلى تلوث بيئي وفقدان المياه.
- ضغط منخفض جدا" يؤدي إلى:

- تآكل الجدران الداخلية للأنبوب أو ثقب أو تطبق الأنابيب نتيجة الضغوط السالبة الشكل(1)



الشكل (١) تطبق أنبوب ضخ ناتج عن انخفاض الضغط

- تحطم الدعائم أو انزياحها
- دخول المياه الملوثة إلى الانابيب بسبب حصول إجهادات إضافية للأنابيب والأكواع ودخول المياه إليها من المحيط.
- حصول حادثة انفصال عمود السائل والتي تترافق مع ضغوط عالية عند تصادم جزأي عمود السائل.

- التدفق العكسي يسبب أضرارا" في مانعات التسرب في المضخة وضررا" في مكوناتها.
- سرع تدفق منخفضة جدا" تؤدي إلى ترسب الطمي والمواد الصلبة ضمن الأنبوب مما يؤدي إلى انسداده جزئيا".

ولذلك يجب على المصمم دراسة الصدمة المائية دراسة شاملة لكل نظام هيدروليكي،وإذا لم يكن بالإمكان تجنبها تصميميا" فيجب اعتماد وسائل أمان كافية للحماية منها(جرجي،ابراهيم،٢٠١٠).

هدف البحث:

دراسة الصدمة المائية الناتجة عن توقف مفاجئ للمضخة ودراسة تأثير العمل المشترك لكل من صمام الأمان وصمامات الهواء وخزان الضغط على قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية.

مواد البحث:

لدراسة تأثير موقع صمام الأمان لا بد من التعرف في البداية على أهمية الحماية من الصدمة المائية باستخدام الصمامات وخزانات الضغط وذلك باستخدام برنامج حاسوبي هو Bently Hammer.

طرق الحماية من موجة الصدمة الهيدروليكية:

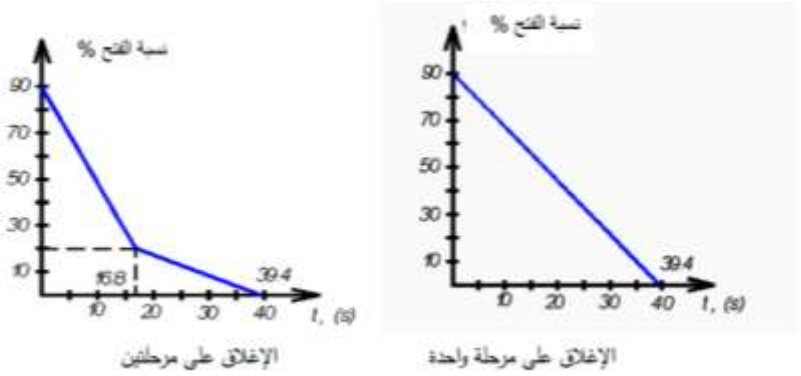
من طرق الحماية من الصدمة هي الطرق الوقائية التي تعتمد على تعديل مكونات نظام الضخ:

١- التشغيل والإيقاف الهادئ للمضخات Soft start and stop:

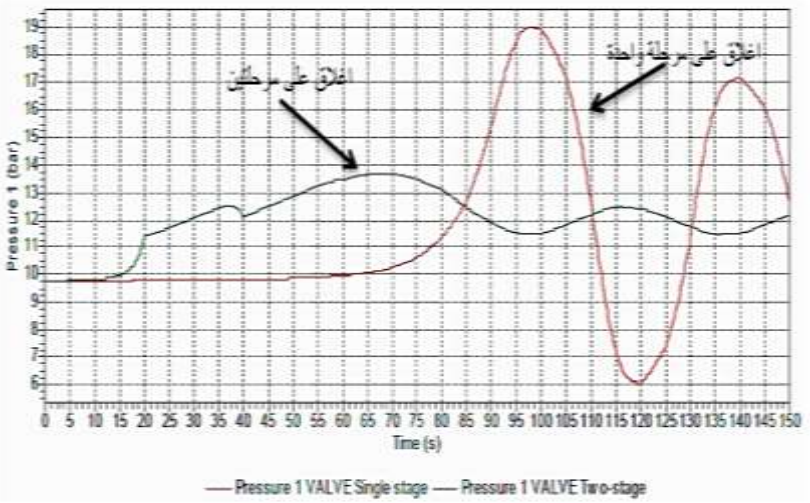
التشغيل والإيقاف الهادئ للمضخة بواسطة لوحات تحكم كهربائية متطورة سيخفف بشكل كبير من قيم الضغط الناتج عن الصدمة الهيدروليكية ولكنها لن تعمل في حال حدوث عطل مفاجئ في المضخة أو في حال انقطاع التيار الكهربائي بشكل مفاجئ(الحسين،٢٠٠٥).

٢- الفتح والإغلاق البطيء للصمامات Slow closing and opening valves:

الإغلاق البطيء للصمامات بأول و منتصف خطوط الضخ الطويلة يحمي من موجات الضغط المنخفض لأنه يسمح للسائل بالعبور لفترة من الزمن قبل الوصول للإغلاق التام بالتالي يخفف من القيم المتدنية للضغط وينصح باستخدام الصمامات التي تغلق على مرحلتين الأولى سريعة ويتم فيها إغلاق حوالي(٧٠-٨٠)% من مساحة فتحة الصمام والثانية طويلة الزمن ويتم بنهايتها الوصول إلى الإغلاق الكامل للصمام(الحسين،٢٠١٠). كما هو موضح في الشكلين (٢) و(٣).



الشكل (٢) زمن الإغلاق مع نسبة الإغلاق



الشكل (٣) الفرق بين شكل و قوة الضغط المؤثر على وجه الصمام عند إغلاقه باختلاف شكل الإغلاق

٣- صمامات التحكم بالمضخة Pump control valve:

يمكن تفادي موجة الضغط الناتجة عن الإقلاع السريع وتوقف المضخة باستخدام صمامات التحكم التي تفتح وتغلق بشكل يمنع حدوث موجات تذبذب كبيرة للتصريف وتتم عملية السيطرة عن طريق فتح الصمام ببطء بعد إقلاع المضخة وإغلاقه ببطء قبل إيقافها عن العمل(WYLIE,STREETER,1983).

أنواع الصمامات:

يمكن تصنيف الصمامات حسب الوظيفة إلى:

١- النوع الأول : صمامات الفتح والإغلاق بشكل كامل (0n-off function).

٢- النوع الثاني :الصمامات لأغراض خاصة مثل صمامات التخفيف من الضغط – صمامات الامان من الصدمة – صمامات تحرير الهواء – صمامات كسر الضغط السالب.

٣- النوع الثالث : الصمامات التي تسمح للتدفق باتجاه واحد Check Valves(عبد الجليل،٢٠١٦).

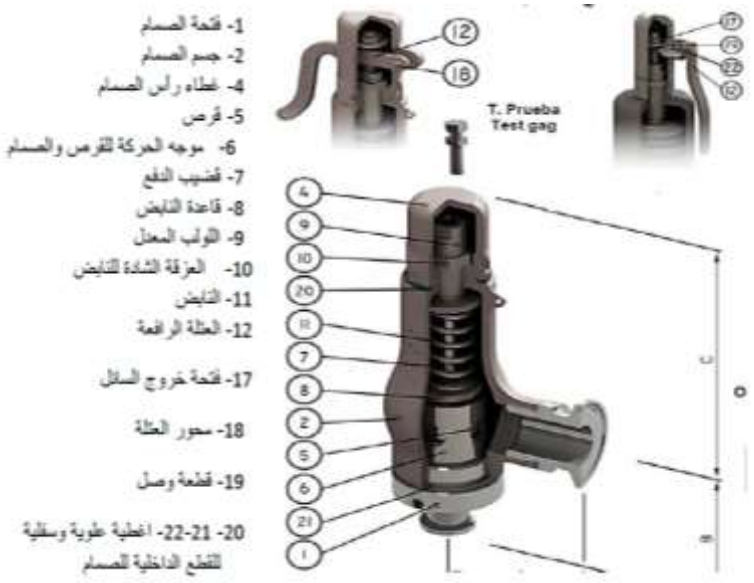
صمام الأمان من الصدمة المائية:

هو غالبا" من النوع الكوكبي أو الزاوي الشكل(٤)، في النوع الزاوي يضاف إليه نظام تحكم مكون من نابض معدل متصل بالقرص، فعندما تزيد القوة الناتجة عن ضغط السائل على القرص عن قساوة النابض يفتح الصمام،ومن الاستخدامات الشائعة لهذا الصمام تركيبه بعد المضخة على تفرع T فيقوم الصمام بتحرير السائل (تمريره خارج النظام) قبل أن تتمكن موجة الضغط العالي من التطور و يركب أيضا" بالقرب من صمامات الفصل في الحوز العلوي لصمامات الأمان، وهو مفيد خاصة" لأنابيب الدفع القصيرة وشديدة الميل حيث الجريان العكسي سيحدث بسرعة بعد توقف المضخة(الحسين،٢٠٠٥).

ولكن هذا الجهاز لا يستطيع التحكم بموجات الضغط المنخفض. ولا يستطيع تخفيف موجة الضغط المرتفع بشكل فوري لأنه لا يفتح بشكل سريع كفاية لتشتيت الموجة قبل تطورها(الحسين،٢٠٠٥).كما يحتاج لفترة زمنية لتفريغ جزء كافي من التصريف المار عبره خاصة عند حدوث انقطاع بعمود السائل وفي هذه الحالة يمكن استخدام البرامج الحاسوبية لتحديد القيمة الحقيقية للموجة وزمن عودتها، ويمكن بهذه الحالة إضافة حساس لارتفاع الضغط

ليعطي أمر بفتح الصمام قبل تطور الموجة ووصولها إلى الصمام(الحسين،٢٠٠٥).عند ارتفاع الضغط بخط الضخ فوق الضغط التصميمي للصمام فإن الحساس سيعطي إشارة للصمام بالفتح قبل تطور الموجة.

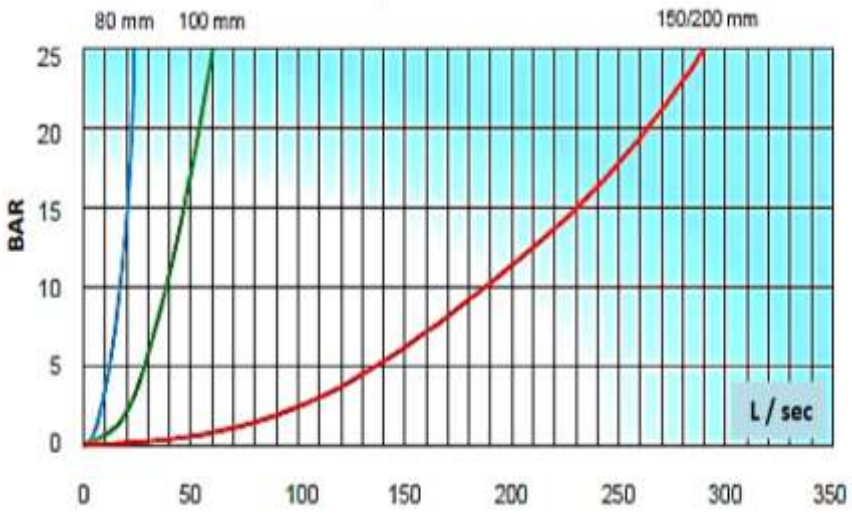
غالبا" يركب صمام الأمان بالقرب من أجهزة قياس الضغط ليتمكن من تحرير الضغط الزائد بسرعة مما يمنع حدوث أضرار محتملة كما يركب أيضا" في نهاية أنظمة الأنابيب مما يسمح له بإدارة الضغط بشكل فعال في جميع أنحاء النظام(عبد الجليل،٢٠١٦).



الشكل(4) صمام أمان من النوع الزاوي

تأثير الصمام المضاد للصدمة المائية يتأثر بطريقة تركيب الصمام،حيث يجب أن يكون الصمام قريب ما أمكن إلى الأنبوب المراد حمايته، حيث أن موجة الضغط ستقطع مسافة خلال الأنبوب الرئيسي تساوي ضعف المسافة التي تقطعها خلال الأنبوب الفرعي الواصل إلى الصمام قبل أن تصل الموجة المنعكسة من الصمام إلى العقدة(عبد الجليل،٢٠١٦).

ويبين الشكل(٥) قيم التصريف بالنسبة للضغط لعدد من صمامات الأمان.



الشكل (٥) قيم التصريف لعدد من صمامات الأمان بالنسبة لقوة الضغط المؤثر عليها(عبد الجليل،٢٠١٦)

خزانات الضغط:

خزانات الضغط هي عبارة عن وعاء يحتوي على غاز مضغوط في جزئه العلوي (هواء في الغالب) وسائل في جزئه السفلي، وغالبية استخدامه للحماية من الصدمة المائية المتشكلة نتيجة توقف المضخة(دبدوب،٢٠٢١).

تستخدم خزانات الضغط في الحالة التي لا يمكن فيها استخدام خزانات الحماية المفتوحة من الأعلى لأسباب اقتصادية أو تنفيذية. حيث يعتبر استخدام هذا النوع من الخزانات اقتصادي أكثر من استخدام خزانات الحماية المفتوحة من الأعلى، لكن يمكن أن يكون عكس ذلك عند الاضطرار إلى حجوم كبيرة منها، إضافة إلى ضرورة استبدال الهواء الموجود ضمنها بشكل دوري، كما أن أحد أضرارها هو الإغلاق القسري للسكر المتوضع بعد المضخة مباشرة (دبدوب،٢٠٢١).

والشكل (٧) يبين خزان الضغط.

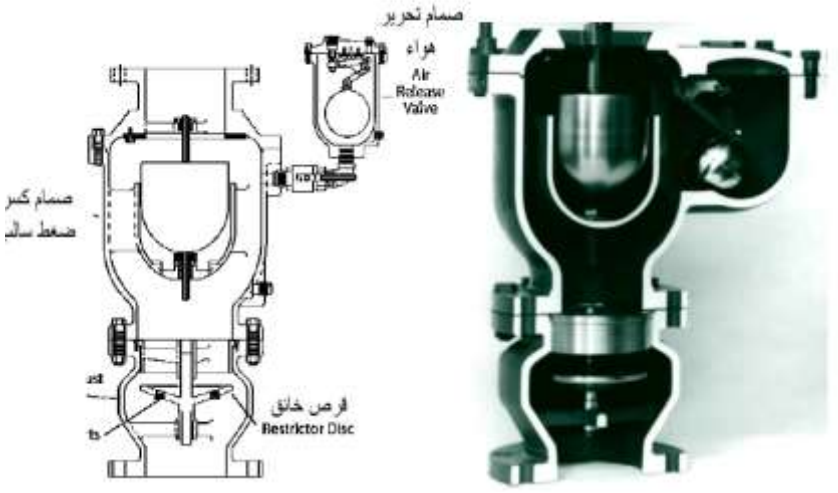


الشكل (7) صورة لخزان ضغط

صمامات الهواء:

تلعب هذه الصمامات دورا" كبيرا" في حماية الأنابيب من الضغوط العالية الناتجة عن الصدمة الهيدروليكية. هذه الضغوط الكبيرة تنتج بسبب التغير المفاجئ بالسرعة والتي تحصل عادة" أثناء ملء الأنابيب وإقلاع المضخات بالإضافة لقدرتها على التخفيف وإزالة الضغوط السالبة، التي يمكن أن تؤدي إلى انهيار الأنبوب أثناء توقف المضخات. بالإضافة إلى أن كل أنظمة ضخ المياه تحتوي على الهواء المنحل ضمن السائل، التغيرات في الحرارة والسرعة والضغط يمكن أن تزيد حجم هذا الهواء وتدفعه للانفصال عن السائل وتشكيل جيوب هوائية التي تقلل من كفاءة الضخ وتؤدي إلى ضغوط عالية أو إعاقة للجريان. وأي حركة مفاجئة لهذه الجيوب أو ضغطها ستنتج موجات ضغط عالية تؤدي لأضرار بالأنابيب والتجهيزات الملحقة من أكواع و صمامات وغيرها(LINGIREDY,KROON,2004).

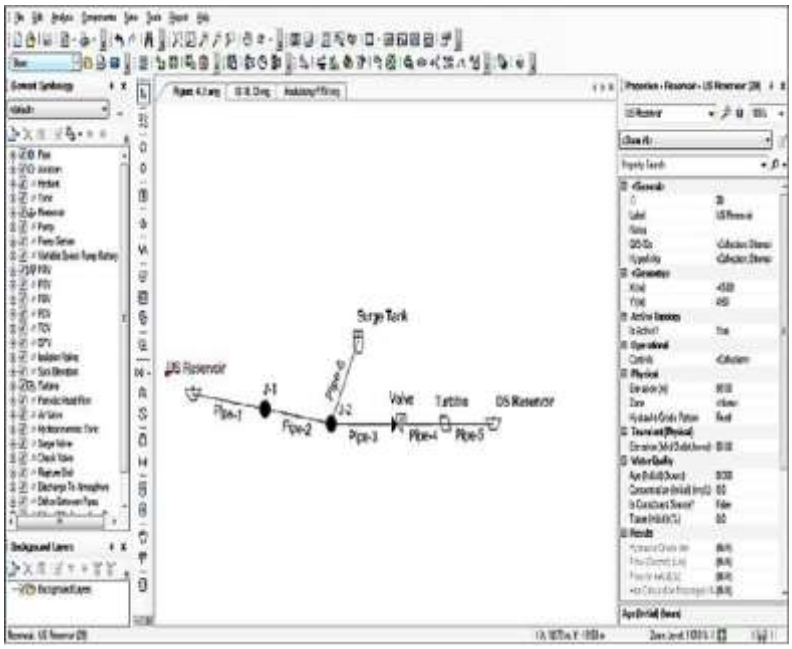
ويبين الشكل(٦) هذا النوع من الصمامات.



الشكل (6) صمام الهواء للسيطرة على الصدمة المائية

طرائق البحث:

تم نمذجة خط الضخ باستخدام برنامج Bently Hammer ، وهو برنامج تخطيطي حسابي فعال لمحاكاة جريان السوائل المضغوطة، داخل شبكات الانابيب لدراسة الحالة المستقرة(Steady) والحالة العابرة أو الانتقالية (Transient) ، حيث يقوم بتبسيط العملية المعقدة لبناء نموذج للصدمة المائية، فمن خلال البرنامج يمكن تجنب الآثار الكارثية المحتملة للصدمة عن طريق تحديد الحالة الأسوأ التي يمكن أن يؤثر على النظام(دبدوب،٢٠٢١). وهو يستخدم طريقة نيوتن رافسون (Newton–Raphson) لحل المعادلات الأساسية للجريان المتعلقة بتوازن الكتلة وكمية الحركة. يقوم البرنامج باستخدام طريقة المميزات(Method of Characteristics) لحل وحساب الصدمة الهيدروليكية. والشكل (٨) يبين الواجهة الرئيسية للبرنامج تحوي شبكة ضخ مؤلفة من أنابيب pipes وعقد وصل joints وخزان هواء بين الأنبوبين الثاني والثالث على سبيل المثال.



الشكل (8) يبين الواجهة الرئيسية لبرنامجBently Hamme (Version 8i,2016)

خصائص البرنامج(Version 8i,2016):

١- يمكن المستخدم من اتخاذ التدابير اللازمة للتخفيف من خطر الصدمة المائية من خلال النتائج التي يتوصل اليها البرنامج.

٢- يمكّننا البرنامج ملاحظة آثار الظواهر الانتقالية على كل عنصر من عناصر النظام مما يتيح تعزيز الأجزاء الضعيفة، وبالتالي زيادة العمر الإنتاجي إلى حده الأقصى.

٣- هناك العديد من أجهزة الحماية التي يمكن نمذجتها باستخدام هذا البرنامج ، لذلك من الممكن مقارنة النتائج وتحديد طريقة الحماية الأكثر فعالية من حيث التكلفة واستراتيجية الحماية من الصدمة.

ميزات البرنامج(Version 8i,2016):

يستخدم هذا البرنامج لتشكيل نماذج عديدة ومختلفة لموجة الصدمة في أنظمة الأنابيب تتضمن ما يلي:

١- موجة الصدمة في حال فتح أو إغلاق الصمام.

٢- موجة الصدمة في حال أنظمة الشبكات دون عدد محدد من الحلقات.

٣- موجة الصدمة عبر صمام تحكم بالضغط أو بالتدفق.

٤- موجة الصدمة عبر المضخة.

٥- إمكانية دراسة شبكات الأنابيب أو أنظمة الضح عند حدوث تغيير في لزوجة السائل وكثافته.

٦- حالات تصميم متعددة باستخدام أجهزة حماية متعددة (خزان توازن، خزان هواء مضغوط، صمامات).

إمكانيات البرنامج(Version 8i,2016):

١- التعبير عن الشروط الحدية كمعادلات جبرية أو معادلات تفاضلية بناء على خصائصها الفيزيائية (يتم إدخال الخصائص الفيزيائية التي تخص كل عنصر هيدروليكي في النظام).

٢- دراسة التكهف وانهيار فجوات البخار.

٣- يحتوي البرنامج على طرق عديدة لحساب الاحتكاك

(Wilams – Weisbach – Hazen – Darcy).

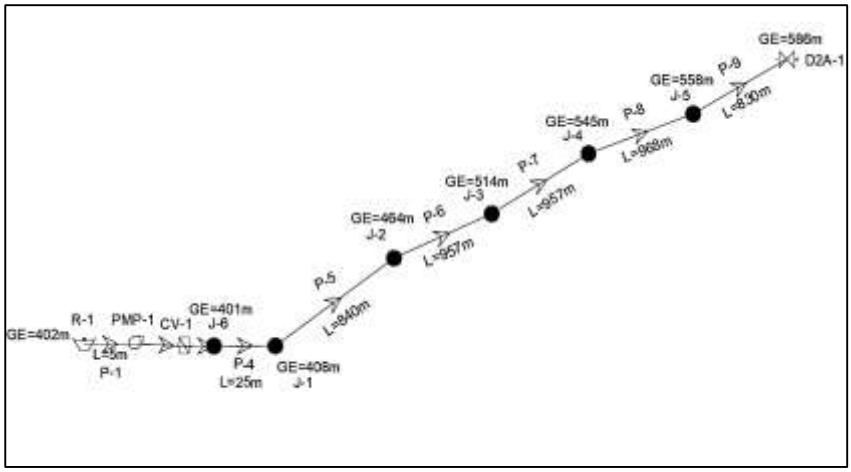
٤- يقوم البرنامج تلقائيا" بتعيين خطوة زمنية مثالية لتقديم تقرير للحسابات بناء على طول الأنبوب وسرعة الموجة والحجم الكلي للنظام من أجل تحقيق نتائج النموذج بشكل أسرع.

٥- يمكن إنشاء العديد من النماذج باستخدام ملف مشروع واحد ومقارنة النتائج مباشرة.

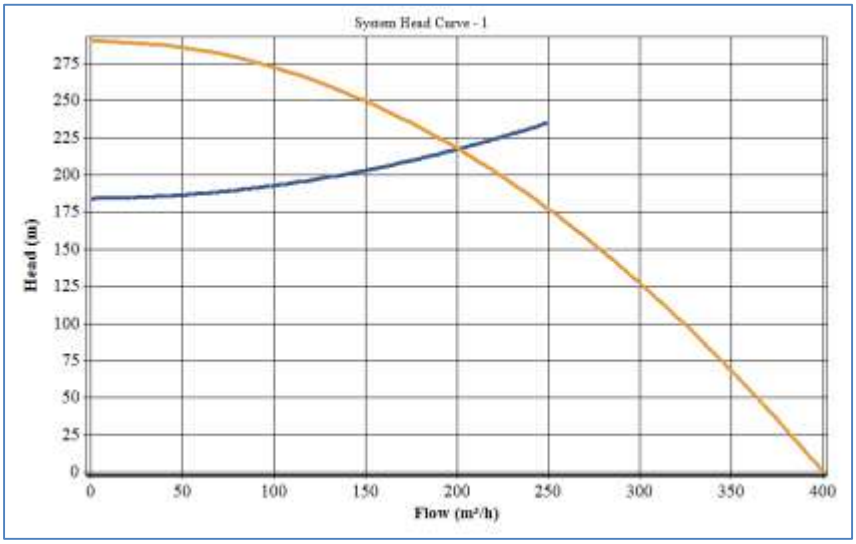
٦- يمكن إنشاء سيناريوهات جديدة دون الحاجة إلى إدخال بيانات جديدة.

منهج البحث وإجراءاته:

خط الضخ يتألف من أنابيب من حديد الزهر (الفونت المرن) Ductile Iron قطر ٢٥٠مم بطول ٢٧٨٠م وأنابيب من البولي ايثيلين عالي الكثافة ضغط ١٠بار قطر ٢٥٠مم بطول ١٨٠٠م يتم ضخ تدفق مقداره ٢٠٠ متر مكعب بالساعة عن طريق مضخة عاملة وأخرى احتياطية. فرق المنسوب الستاتيكي ١٨٤م.والشكل (٩) يوضح تمثيل تخطيطي للمشروع كما يوضح الشكل (١٠) نقطة التشغيل لمجموعة الضخ المستخدمة في المشروع.



الشكل (9) البيانات المساحية لخط الضخ (طول الأنابيب ومناسيب العقد)



الشكل (10) نقطة التشغيل الناتجة عن تقاطع المنحني المميز لخط الضخ مع المنحني المميز للمضخة العاملة

لمعرفة تأثير عمل كل من صمام الأمان وصمام الهواء وخزان الضغط في تخفيف الصدمة المائية لابد من القيام بعدة سيناريوهات تبين هذا التأثير على خط الضخ ونتائجه في التخفيف من حدوث الصدمة المائية وهي:

١- **السيناريو الأساس:** يمثل خط الضخ بدون أي وسيلة حماية ويعرض قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية الناتجة عن توقف عمل المضخة بشكل مفاجئ.

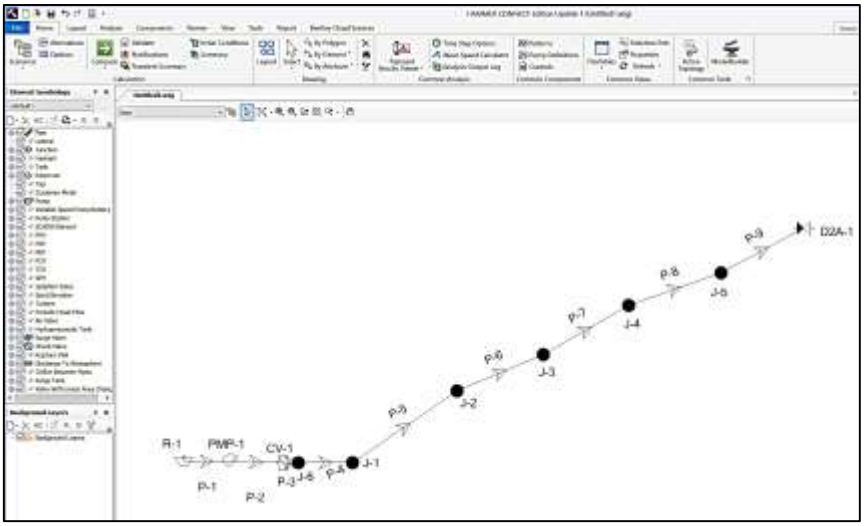
٢- **السيناريو الأول:** إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في بداية ونهاية خط الضخ. وعرض قيم الضغوط الأعظمية و الأصغرية ومقارنة تأثير وضع الصمام في بداية ونهاية خط الضخ مع السيناريو الأساس.

٣- **السيناريو الثاني:** إضافة خزان هواء مضغوط بحجم $2\ m^3$ وعرض قيم الضغوط الأعظمية و الأصغرية ومقارنة تأثير وضع خزان الهواء مع السيناريو الأساس.

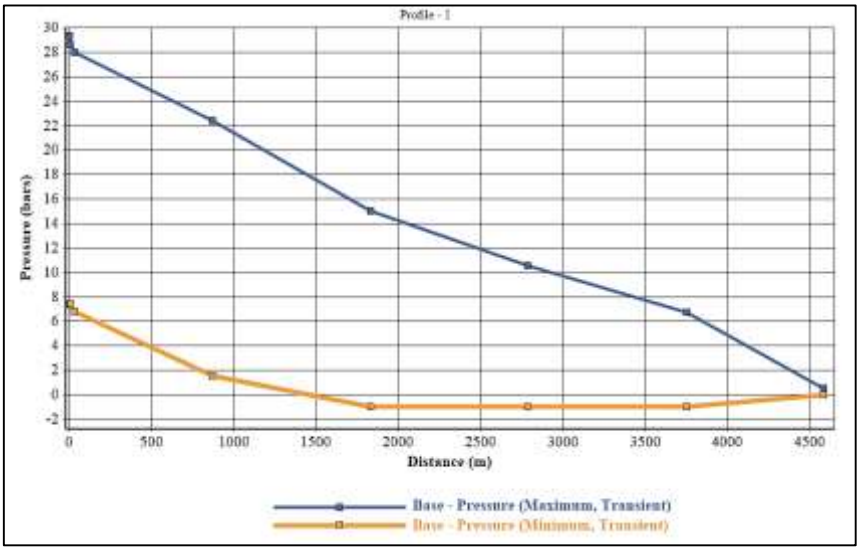
٤- **السيناريو الثالث:** إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ و صمام هواء مزدوج في نهايته وعرض قيم الضغوط الأعظمية و الأصغرية ومقارنة تأثير وضع صمام الأمان وصمام الهواء مع السيناريو الأساس.

السيناريو الأساس:(خط الضخ بدون حماية)

كما يبين الشكل (١١)

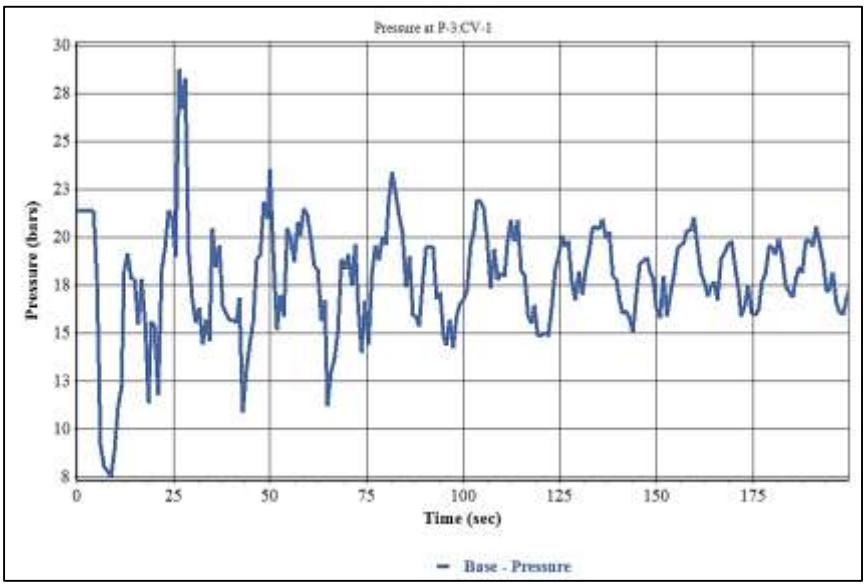


الشكل (11) ادخال عناصر خط الضخ في برنامج التحليل الهيدروليكي للصدمة المائية



الشكل (12) الضغط الأعظمي والأصغري خلال حالة الصدمة المائية (بدون حماية)

نلاحظ ارتفاع الضغط إلى ما يقارب ٢٩ بار نتيجة الصدمة المائية كما هو موضح في الشكل (١٣).



الشكل (13) قيم الضغط خلال حالة الصدمة المائية (السيناريو الأساس بدون حماية)

من خلال المنحني نلاحظ بعد حوالي ٢٥ ثانية وصل الضغط إلى حوالي ٢٩ بار ولا يوجد ضغط سالب،حيث أن الأنبوب من نوع Iron (C25) وبالتالي لا يتحمل ضغط أكثر من ٢٥ بار.

وبالتالي لدينا مشكلتين في هذا الخط:

١- ضغط عال لا يتحمله الأنبوب.

٢- ضغط منخفض يصل إلى حد التكهف خلال مسافة ممتدة من ١٨٠٠م إلى ٤٥٠٠ م

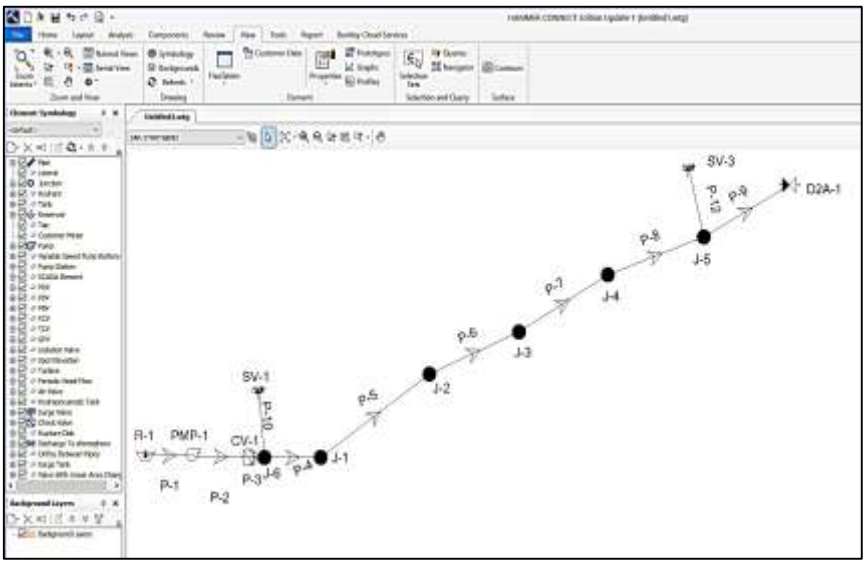
كما هو مبين في الشكل (١٢) الذي يوضح أن الضغط السالب يصل إلى ما يقارب القيمة (-١).

المناقشة والتحليل:

للتخلص من هاتين المشكلتين لدينا مجموعة من الحلول تتمثل بالسيناريوهات التالية:

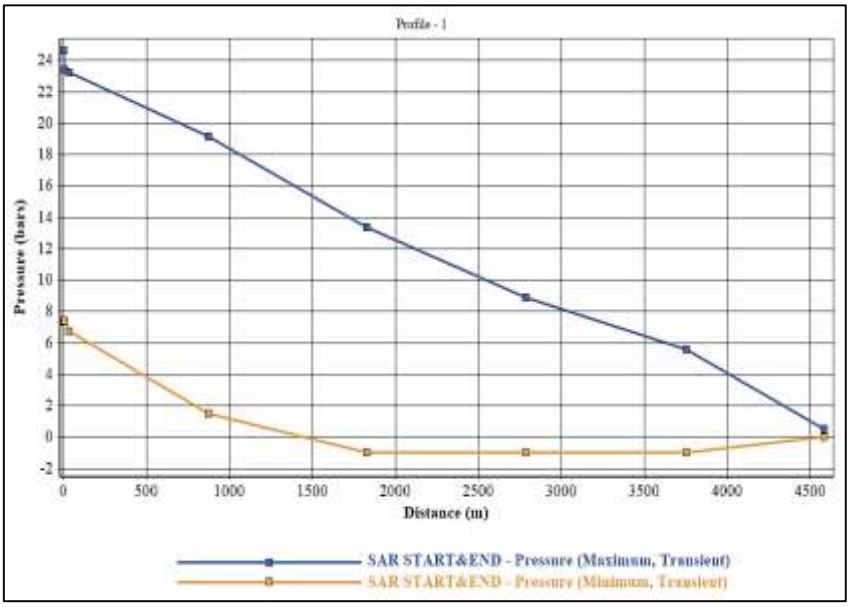
السيناريو الأول:صمام أمان من ارتفاع الضغط في بداية ونهاية خط الضخ .

كما يظهر في الشكل (١٤).



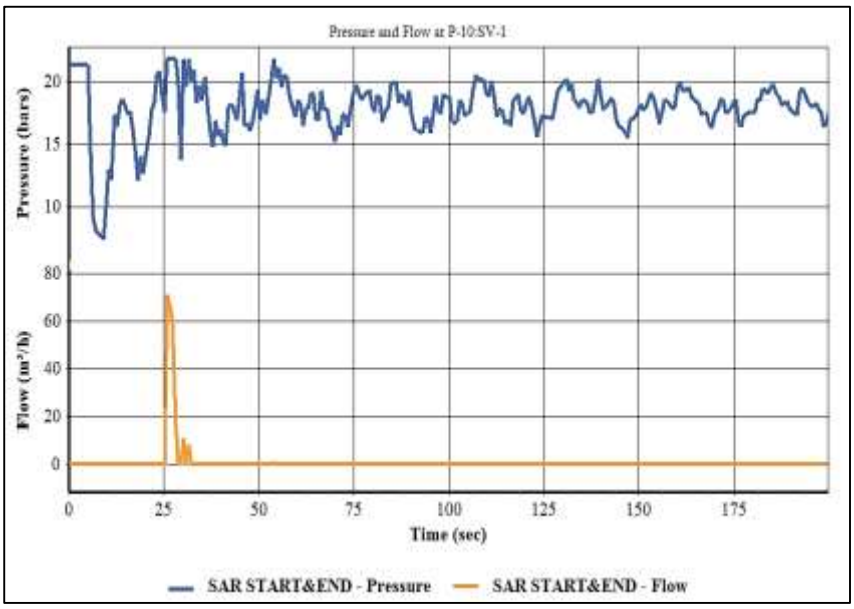
الشكل (14) نموذج السيناريو الأول(جهاز حماية من ارتفاع الضغط في بداية ونهاية خط الضخ)

وقمنا بتمثيل النتائج على الشكل (١٥) .



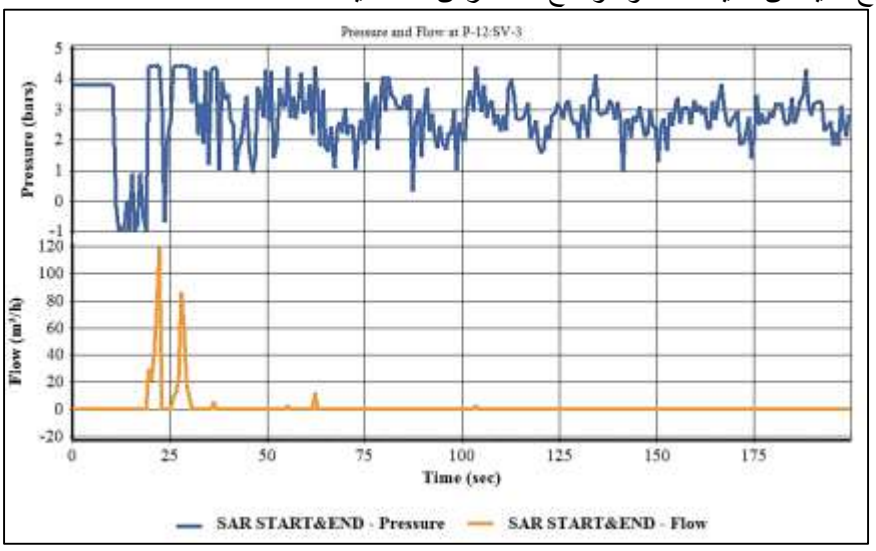
الشكل (15) الضغط الأعظمي و الأصغري خلال حالة الصدمة المائية (مع صمام أمان في بداية و نهاية خط الضخ) – السيناريو الأول–

هذا الحل يخفض الضغط في بداية ونهاية خط الضخ وهذا حل جيد. كما يظهر في الشكلين (١٦) و(١٧).



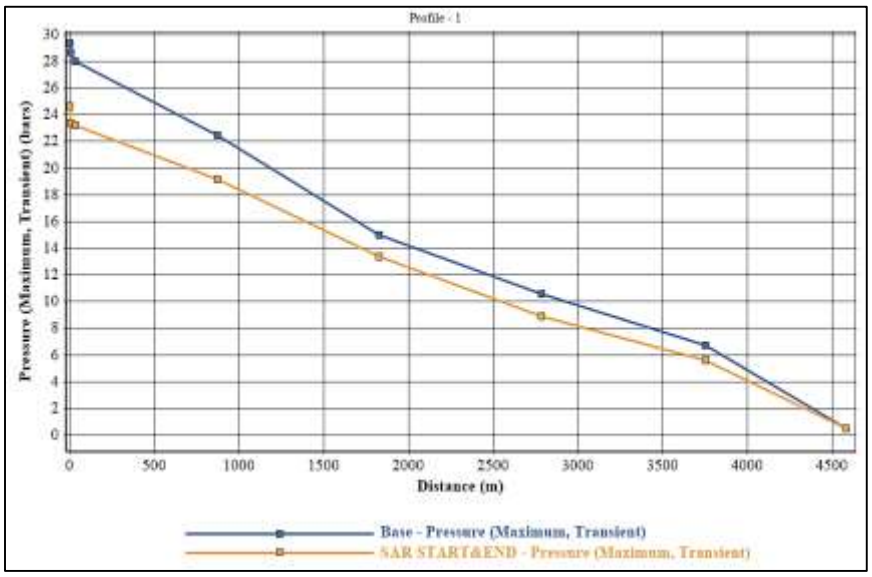
الشكل (16) الضغط عند صمام الأمان الأول عند صمام عدم الرجوع وتدفق الماء الخارج منه (السيناريو الرابع)

نلاحظ من الشكل(١٦) أنه كلما وصل الضغط عند صمام الأمان الأول في بداية خط الضخ إلى القيمة ٢١ بار تخرج كمية من المياه كما هو موضح عند الزمن ٢٥ ثانية.



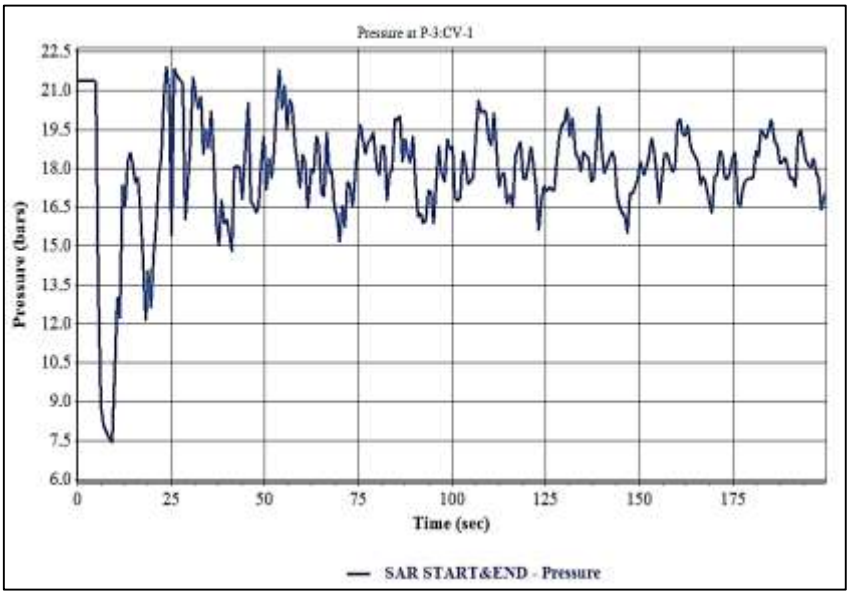
الشكل (17) الضغط عند صمام الأمان في نهاية خط الضخ وتدفق الماء الخارج منه (السيناريو الأول)

نلاحظ من الشكل (١٧) أنه كلما وصلت قيمة الضغط عند صمام الأمان في نهاية خط الضخ إلى ٤,٥ بار تقريبا" خرجت كمية من المياه لتخفيف الضغط.



الشكل (18) مقارنة بين قيم الضغط على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية وبحال إضافة صمام امان (السيناريو الأساس) من ارتفاع الضغط في بداية ونهاية خط الضخ (السيناريو الأول).

نلاحظ من الشكل(١٨) أن تأثير انخفاض الضغط يستمر على طول خط الضخ وهذا حل جيد، حيث كانت قيمة الضغط في بداية الضخ وبدون وجود حماية (السيناريو الأساس) حوالي ٢٩ بار وانخفضت هذه القيمة بعد تركيب صمام أمان في بداية ونهاية الشبكة إلى القيمة ٢٥ بار تقريبا".

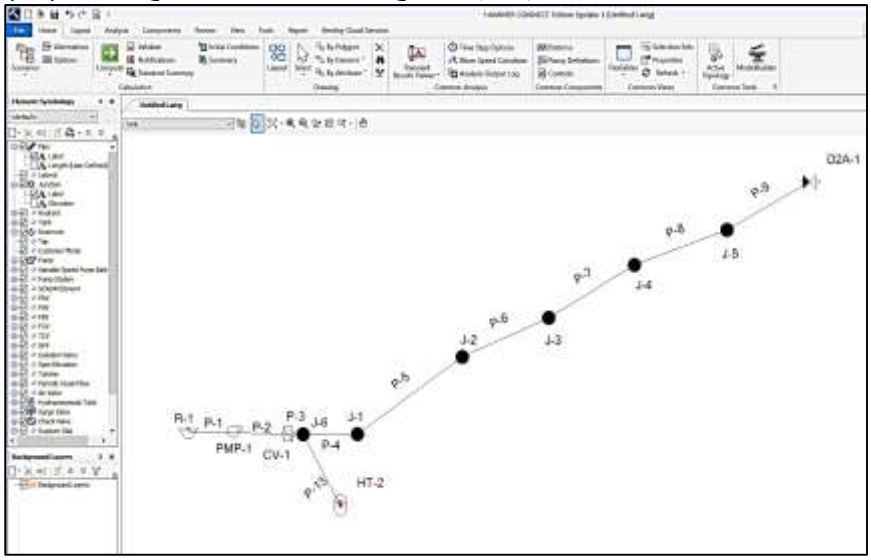


الشكل (19) الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع بعد إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في بداية ونهاية خط الضخ (السيناريو الأول).

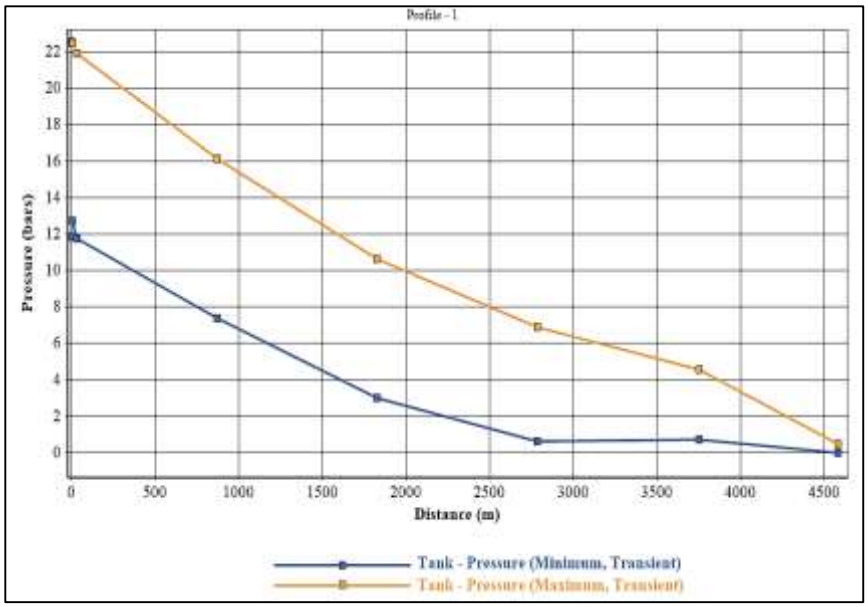
نلاحظ من الشكل(١٩) أن منحني تغير الضغط ثابت تقريبا"على طول خط الضخ وذلك بسبب وجود صمام الأمان في بداية خط الضخ الذي ساعد بدوره على حماية خط الضخ من تذبذبات الضغط الناتجة عن الصدمة المائية.

السيناريو الثاني:إضافة خزان هواء مضغوط حجم $2\ m^3$.

قمنا بإضافة خزان هواء بعد صمام عدم الرجوع مباشرة" كما هو موضح بالشكل (٢٠).

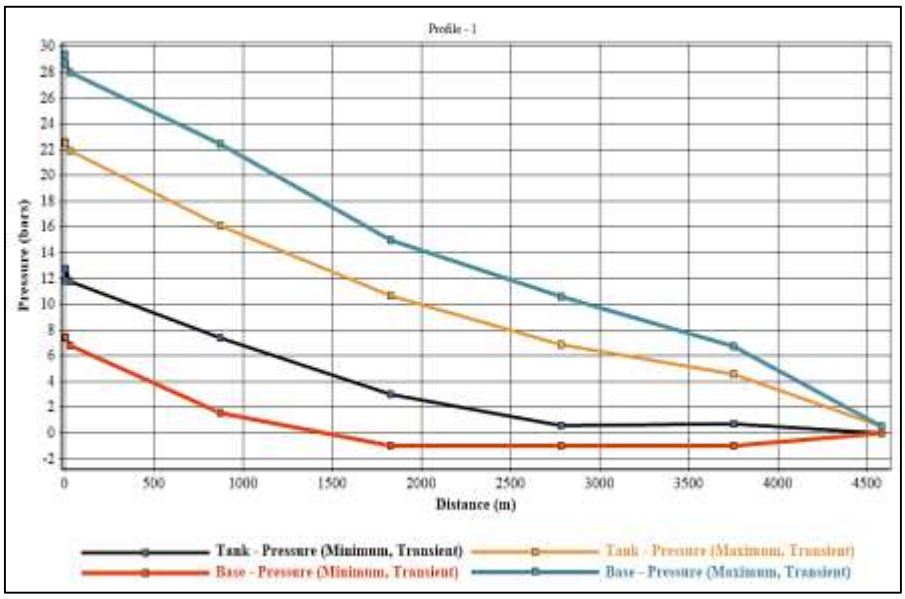


الشكل (20) نموذج السيناريو السابع (خزان هواء مضغوط حجم 2m3)



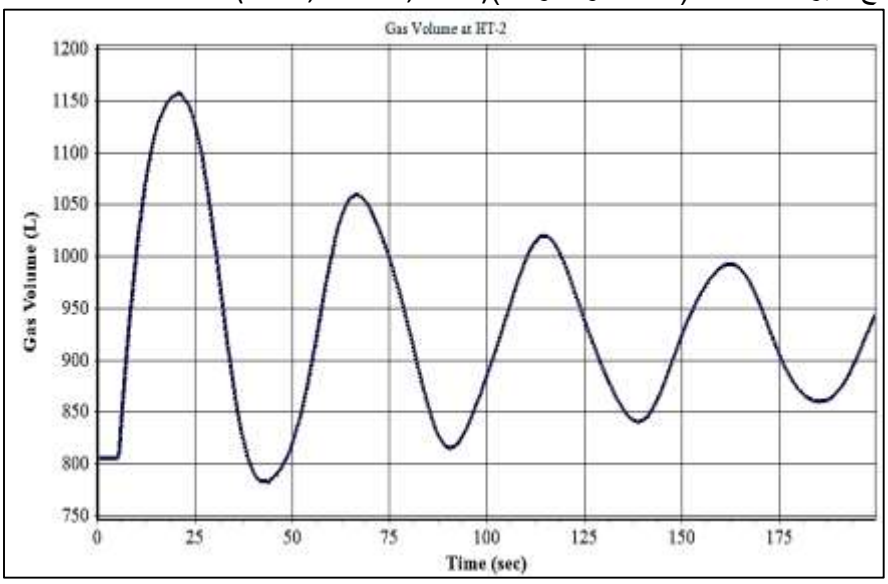
الشكل (21) الضغط الأعظمي و الأصغري خلال حالة الصدمة المائية (خزان هواء مضغوط) –السيناريو الثاني–

نلاحظ من الشكل (٢١) أن الضغط الأصغري موجب دوما" (أي لا يوجد ضغط سالب)، والضغط الاعظمي يقترب من ٢٣ بار وذلك بسبب وجود خزان الهواء.



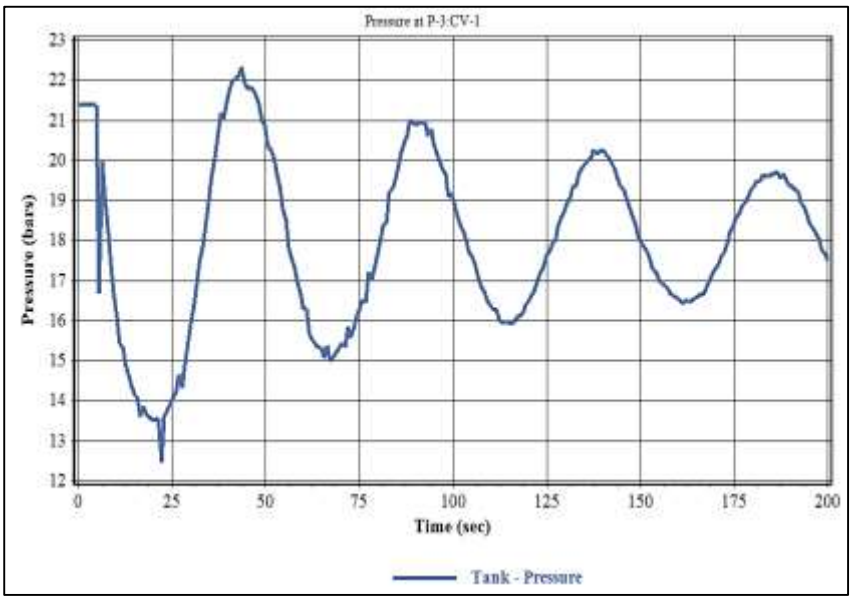
الشكل (22) مقارنة بين قيم الضغط على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية(السيناريو الأساس) وبحال إضافة خزان هواء مضغوط (السيناريو الثاني).

نلاحظ من الشكل (٢٢) أن خزان الهواء استطاع تخفيض الضغط الأعظمي من ٢٩ بار إلى ما يقارب ٢٣ بار أي بمقدار (٦ بار) تقريبا" على طول خط الضخ كما استطاع التخلص من الضغوط السالبة وأصبح الضغط الأصغري موجب دوما" على طول خط الضخ وذلك بفضل خصائصه المرنة التي تمكنه من امتصاص وتخفيف الضغوط السالبة تدريجيا" وبالتالي يعتبر خزان الهواء المضغوط أفضل من صمام الأمان من حيث قدرته على التفاعل مع تغيرات الضغط (السالبة أو الموجبة)(SOM,GUPTA,2021).



الشكل(23) حجم الهواء ضمن خزان الهواء المضغوط (السيناريو الثاني)

نلاحظ من الشكل(٢٣) أن أكبر حجم ١١٥٠ وأصغر حجم ٨٠٥ تقريبا".

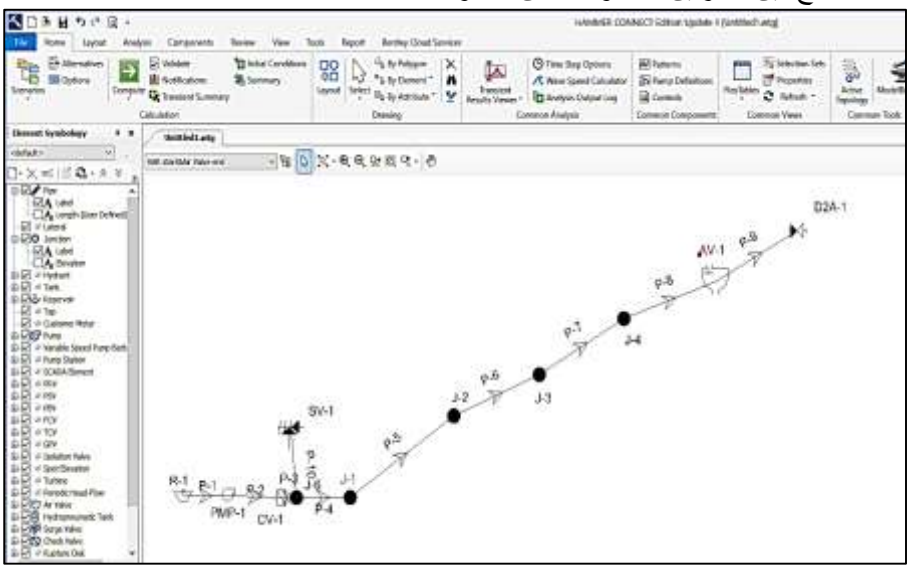


الشكل (24) الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع بعد إضافة خزان الهواء المضغوط (السيناريو الثاني)

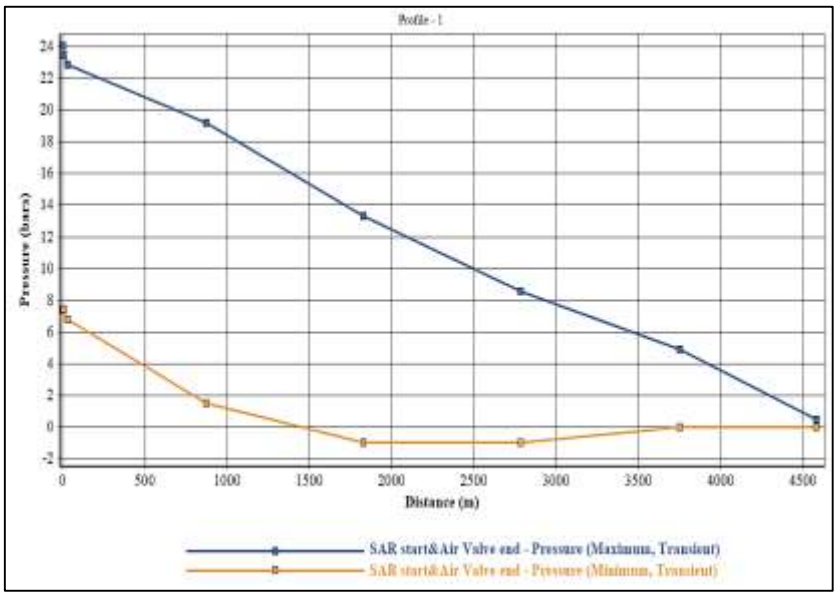
نلاحظ من الشكل(٢٤) أن الضغط كلما يصل إلى قيمة ٢٢ بار يعود ويتخامد وهذا حل مناسب جدا" للحماية من آثار الصدمة المائية.

السيناريو الثالث:إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ و صمام هواء مزدوج في نهايته.

كما هو مبين بالشكل (٢٥) تم إضافة صمام أمان بعد صمام عدم الرجوع مباشرة وصمام هواء مزدوج في نهاية خط الضخ بين الجزأين P8 و P9 من الأنبوب.

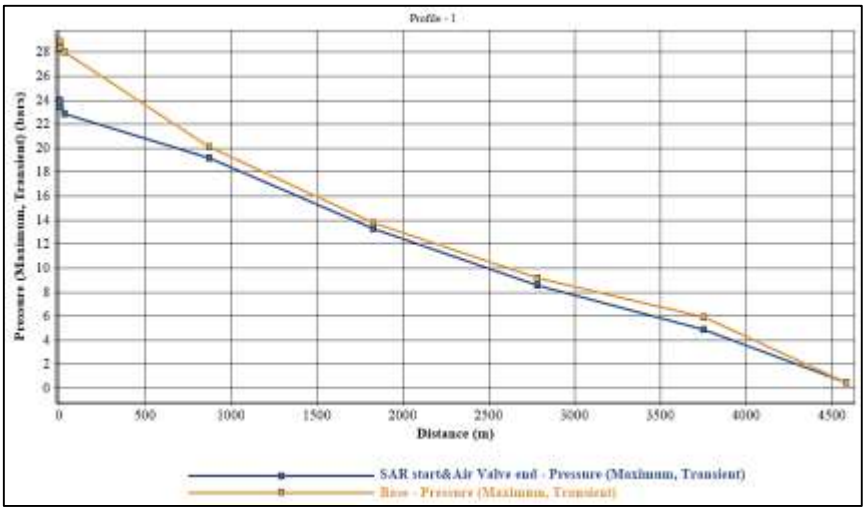


الشكل (25) نموذج السيناريو الثالث صمام امان في بداية خط الضخ مع صمام هواء في نهاية خط الضخ



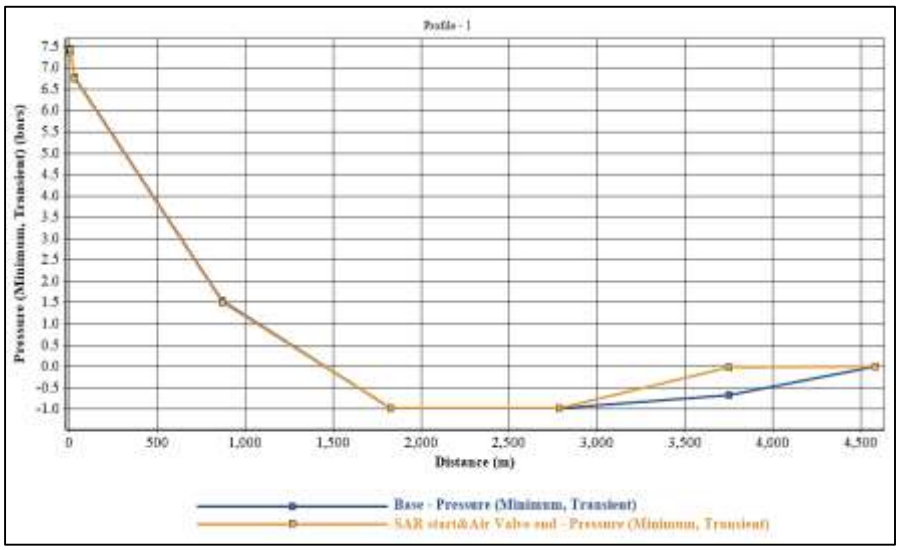
الشكل (26) قيم الضغط على طول خط الضخ بعد إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ مع صمام هواء مزدوج في نهايته (السيناريو الثالث).

نلاحظ من الشكل (٢٦) أن الضغط الأعظمي نفسه بوجود صمام أمان فقط ولكن الضغط الأصغري ارتفع في نقطة معينة ليصبح مقاربا" للصفر على مسافة ٥٠٠ م تقريبا" بالتالي استطاع وجود صمام هواء في نهاية الخط أن يخفض من تأثير مشكلة الصدمة المائية.



الشكل (27) مقارنة بين قيم الضغط الاعظمي على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية (السيناريو الاساس) وبحال إضافة صمام أمان مع صمام هواء مزدوج (السيناريو الثالث).

نلاحظ من الشكل(٢٧) أنه في البداية يوجد فرق كبير في الضغط وهذا الفرق يستمر على طول خط الضخ والسبب في ذلك أنه يوجد ضغط إضافي عن ضغط الصدمة المائية ناتج عن تشكل بخار الماء وانصعاقه وبالتالي فإن تركيب صمام هواء في النهاية أدى إلى تخفيض حجم بخار الماء.



الشكل (28) مقارنة بين قيم الضغط الأصغري على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية (السيناريو الاساس) وبحال إضافة صمام أمان مع صمام هواء مزدوج (السيناريو الثالث).

نلاحظ من الشكل(٢٨) أن الضغوط الأصغرية تحسنت على مسافة جيدة حوالي (١٥٠٠ م) على الرغم من أنها سالبة ولكن أقل من حد التكهف وهو (-١).

الاستنتاجات:

١- إن صمام الأمان لا يؤدي إلى حماية خط الضخ على طوله خاصة" خطوط الضخ الطويلة فتأثيره محدود ب ١-٢ كم.

٢- إن صمام الأمان لا يؤثر ولا يحسن من الضغوط الدنيا السالبة، ففي حال حدوث ضغط سالب أو تكهف لا يكون له تأثير إيجابي عليه.

٣- وجود خزان الهواء المضغوط يغني عن وجود جميع أجهزة الحماية الأخرى من صمام أمان وصمام هواء لأنه يستطيع لوحده تخفيض الضغوط العظمى ومنع حدوث ضغوط دنيا سالبة بشكل تام عند اختياره بالحجم المناسب.

٤- إن العمل المشترك لصمام الهواء وصمام الأمان يؤدي إلى حماية خط الضخ بالحد الأدنى في حال عدم إمكانية وجود خزان هواء مضغوط.

التوصيات:

١- نوصي باستخدام صمام الأمان على طول خط الضخ ليس فقط في بداية ونهاية خط الضخ.

٢- نوصي بتركيب صمامات الأمان مع صمامات الهواء لتعمل عملا" مشتركا" للحماية من الضغوط المرتفعة (صمامات الأمان) وللحماية من الضغوط المنخفضة (صمامات هواء).

٣- نوصي في حال توفر خزان هواء مضغوط بعدم إضافة صمام أمان إلا كجهاز للطوارئ فقط لأن خزان الهواء المضغوط يستطيع حماية خط الضخ بشكل تام ويلغي تأثير صمام الأمان.

٤- نوصي بأن يتم تحديد أماكن ومواصفات كل من صمام الامان وصمامات الهواء بعد التحليل الهيدروليكي لحالة الجريان غير المستقر بأحدث البرمجيات المعتمدة عالميا".

المراجع:

١- معلا، وائل،١٩٩٣، *الجريان غير المستقر في الأنابيب*، كتاب جامعي، جامعة دمشق،٢٠٨ص.

٢- جرجي، عادل ، ابراهيم ،غسان ٢٠١٠، *محطات الضخ* ، كتاب جامعي ،جامعة حمص ،٤٢٥ص.

٣- الحسين ، أحمد ٢٠٠٥، *دراسة الصدمة المائية في محطات الضخ*، دبلوم دراسات عليا،١٨٠ ص.

٤- عبد الجليل ، ابراهيم ٢٠١٦، *دراسة موقع الصمامات ونوعها المؤثرة في قيم الضغط الناتج عن الصدمة المائية*، رسالة ماجستير، ٢٥٠ ص.

٥- دبدوب، نور، ٢٠٢١، *الحماية من الصدمة المائية عن طريق تغيير الضغط السابق في الوسادة الهوائية لخزان الضغط الغشائي*، رسالة ماجستير، جامعة حمص، ٣٢٠ص.

6- WYLIE, E.B, STREETER, V.L, *Fluid Transients*, FEB P RESS, Ann Arbor, MI.1983.

7- LINGIREDY, KROON, *Fluid Transient in Pipeling System* 2004,

8- Help,Bently Hammer,Vergion 8i.

9- SOM, S.K , GUPTA, B.P, *Fluid Mechanics and Machinery*,2021.