دراسة تأثير موقع صمام الأمان في حماية خط الضخ من الصدمة الهيدروليكية

*أ.د عادل جرجي **شذى خلوف

الملخص

تضمن البحث وصف لظاهرة الصدمة المائية الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخات وعرض الأخطار الناتجة عنها على خطوط الضخ وشبكات المياه. كما تم توضيح مفهوم صمام الأمان وآلية عمله و دراسة تأثير موقع صمام الأمان في قيم الضغط الناتج عن الصدمة الهيدروليكية بهدف معرفة الموقع المناسب الذي يحقق أمان لشبكة المياه من قيم الضغط المرتفع وذلك بوضع عدة سيناريوهات تبين تأثير موقع الصمام على الشبكة باستخدام برنامج (Bently Hammer) وفق خط ضخ يمتد من محطة مرقية 3 باتجاه خزان القمصية في محافظة طرطوس. وتم التوصل إلى أن استخدام صمام أمان يخفض الضغط الأعظمي على مسافة 2كم تقريبا" ولكن ليس له أي تأثير إيجابي على الضغوط الدنيا المنخفضة.

كلمات مفتاحية : صدمة مائية – صمام أمان – الضغط الأعظمي

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

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

Study the effect of safety valve location on protecting the pumping line from hydraulic shock

*Adel Gorgee **Shaza Khallof

Abstract

The research included a descriptive study of the phenomenon of water shock resulting from sudden pump stoppages, and presentation the dangerous resulting from it to pumping lines and water networks the concept of the safety valve and its operation mechanism were also explained. And studying the effect of the safety valve location on the pressure values resulting from the hydraulic shock with the aim of identifying the appropriate location that ensures the safety of the water network from high pressure values by setting several scenarios that show the effect of the valve location on the network using the Bently Hammer program according to a pumping line extending from the Marqa 3 station towards the Qamsiyeh reservoir in Tartous Governorate. It was found that using a safety valve reduces the maximum pressure over a distance of approximately 2 km, but has no positive effect on the lower minimum pressures.

Keywords: Water shock – Safety valve – Maximum pressure

*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 سرعة الجريان في مقطع هذا الأنبوب، وتسير بسرعة تقارب سرعة انتشار الصوت في السائل متخامدة بفعل الاحتكاك وبعض الأجهزة الملحقة بنظام الضخ[1].

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.

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.
- ضغط منخفض جدا" يؤدي إلى:
  - تآكل الجدران الداخلية للأنبوب أو ثقب أو تطبق الأنابيب نتيجة الضغوط السالبة[2] .

الشكل (1) تطبق أنبوب ضخ ناتج عن انخفاض الضغط

- تحطم الدعائم أو انزياحها
- دخول المياه الملوثة إلى الأنابيب 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[2].

هدف البحث:

دراسة الصدمة المائية الناتجة عن توقف مفاجئ للمضخة ودراسة تأثير موقع صمام الأمان على قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية.

مواد البحث:

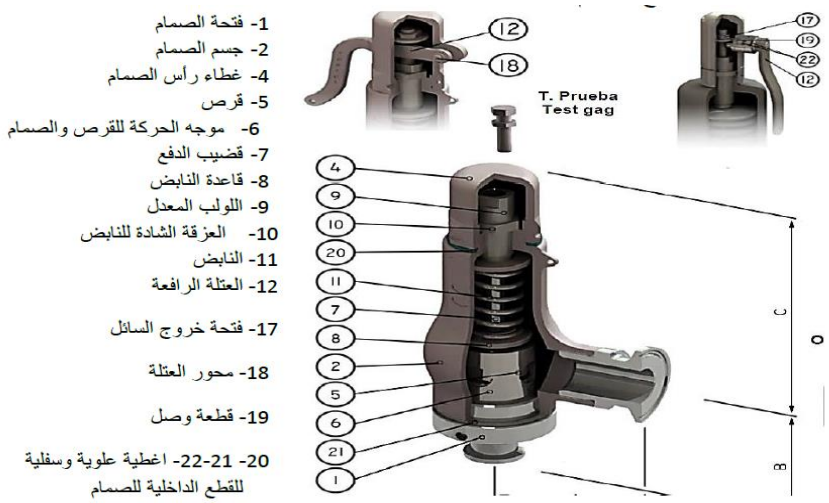
لدراسة تأثير موقع صمام الأمان سوف نستعرض في البداية شرح توضيحي بسيط لصمام الأمان.

- **صمام الأمان من الصدمة المائية :**

هو غالبا" من النوع الكوكبي أو الزاوي ، 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. 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.

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 .

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 [3].



الشكل (2) يبين صمام أمان من النوع الزاوي

الدراسات المرجعية لصمام الأمان:

1–قام كل من (Ahmed Abdel–Naby,Mostafa Abdel–Moaty,Eslam Lotfy) بدراسة بعنوان "تأثير المطرقة المائية في الأنظمة الهيدروليكية ذات الضغط المنخفض"(2025)، تناولوا فيه استراتيجيات الحماية المثلى من تأثير الصدمة المائية وذلك على أنظمة إمداد المياه في مستشفى الإسكندرية باستخدام برنامج Bentiy Hammer كما قاموا بتقييم فعالية أجهزة الحماية كصمامات الأمان وأظهرت النتائج أهمية تصميم الأنظمة بشكل مناسب لتقليل تقلبات الضغط وحماية مكونات النظام[4].

2 – قام الباحث (2021) stevan taggat بدراسة بعنوان تحسين تصميم صمام الأمان لتلبية متطلبات الأداء حيث تمكن من تطوير تقنيات ديناميكية الموائع الحسابية (CFD) والتحقق من صحتها للتنبؤ بشكل موثوق بمثل هذه التدفقات والتحقيق في كيفية استخدام التقنيات لإنتاج صمامات أمان ذات أداء أفضل.وذلك بدراسة سلوك تدفق السوائل عبر صمام الأمان وكيفية تحسين سلوك الفتح و الإغلاق وقد تم عرض النماذج الرياضية المستخدمة في هذه الدراسة و

تطوير منهجية تصميم لاستخدام صمامات تخفيف الأمان باستخدام النمذجة الرياضية والخوارزميات والطرق العددية [5].

3 – قام الباحثان جانا وباولا وآخرون من جامعة كراكوف للتكنولوجيا،(2019), بدراسة حول تحسين جودة صمام الأمان مع استخدام الدراسات العددية والتجريبية حيث تم استخدام تجارب لصمام تخفيف ضغط هيدروليكي مباشر المفعول كصمام أمان. في نظام يتكون من مضخة ذات سرعة ثابتة، صمام التحكم، أسطوانة هيدروليكية كمشغل وصمام ضغط ثانٍ في خط التحميل يستخدم كمولد حمولة للأسطوانة. تمت صياغة نظام تفاضلي عادي ثم إنشاء نموذج المحاكاة في Matlab/Simulink لقيم ضغوط مختلفة أظهرت النتائج أن صمام التنفيس المستخدم كصمام أمان يفي بالمتطلبات ويحمي النظام بدرجة كافية[6].

4– قام الباحثون(Ewan & Weil & Scanlon)،(2023) بدراسة بعنوان "دراسة أوقات استجابة صمامات الأمان تحت تأثير ضغط معين"، يهدف البحث إلى تقييم استخدام صمامات الأمان لتقليل مخاطر ارتفاع الضغط من خلال اختبار ثلاث صمامات بأحجام مختلفة تحت ضغط ديناميكي وتم التوصل إلى أن أداء الصمامات لم يتأثر بشكل كبير بتغيرات الضغط بعد الاختبارات الديناميكية كما أن أوقات استجابة الصمامات تتراوح بين 6–8 ميلي ثانية وتم التأكيد على أهمية تحسين تصميم الصمامات لتحقيق أداء أفضل في ظروف الضغط المتغيرة.[7].

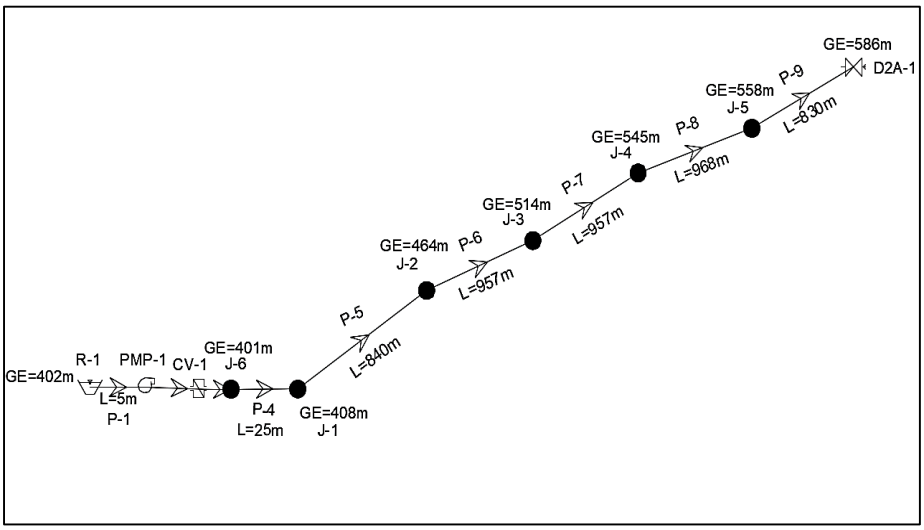
طرق البحث:

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 (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.

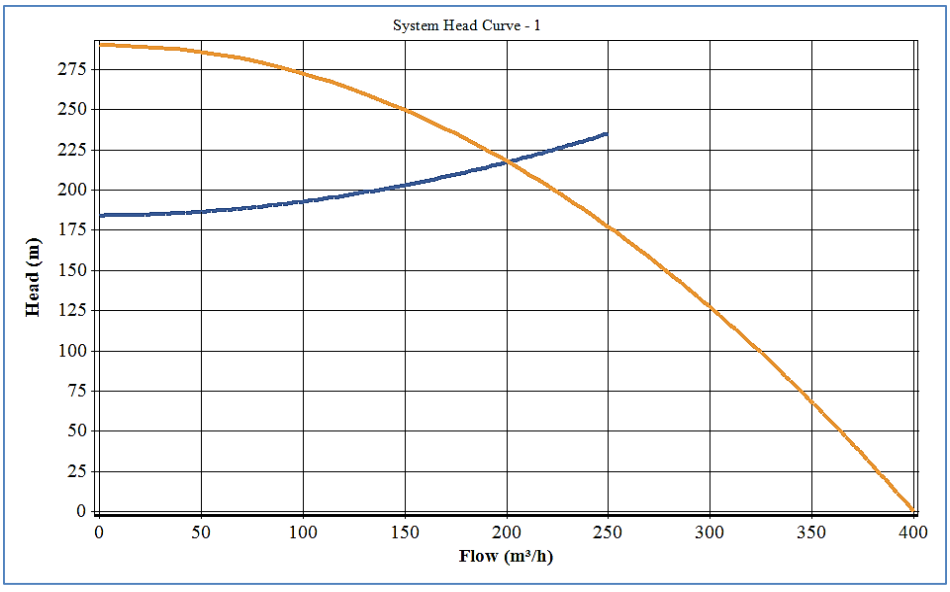
منهج البحث وإجراءاته :

سنقوم بدراسة تأثير موقع صمام الأمان في خطوط الدفع في قيم الضغط الناتج عن الصدمة الهيدروليكية، حيث قمنا باختيار خط الضخ (من المحطة الثالثة في مشروع ضخ مرقية حيث المنسوب 400م باتجاه خزان قرية القمصية حيث المنسوب 584م).والتي تبعد حوالي 35 كم شمال شرق محافظة طرطوس.هذا البحث يوضح تأثير موقع صمام الأمان في قيم الضغط (في حال تم تغيير موقعه الحالي لسبب ما).

خط الضخ يتألف من أنابيب من حديد الزهر (الفونت المرن) Ductile Iron قطر 250مم بطول 2780م وأنابيب من البولي ايتيلين عالي الكثافة ضغط اسمي 10بار قطر 250مم بطول 1800م يتم ضخ تدفق مقداره 200 متر مكعب بالساعة عن طريق مضخة عاملة وأخرى احتياطية فرق المنسوب الستاتيكي 184م.



الشكل (3) يبين البيانات المساحية لخط الضخ (طول الأنابيب ومناسيب العقد) من مؤسسة مياه طرطوس



الشكل (4) يبين نقطة العمل الناتجة عن تقاطع المنحني المميز لخط الضخ مع المنحني المميز للمضخة العاملة وذلك باستخدام برنامج (Bently Hammer)

سوف نستعرض عدة سيناريوهات تبين تأثير تغيير موقع الصمام على خط الضخ وهي :

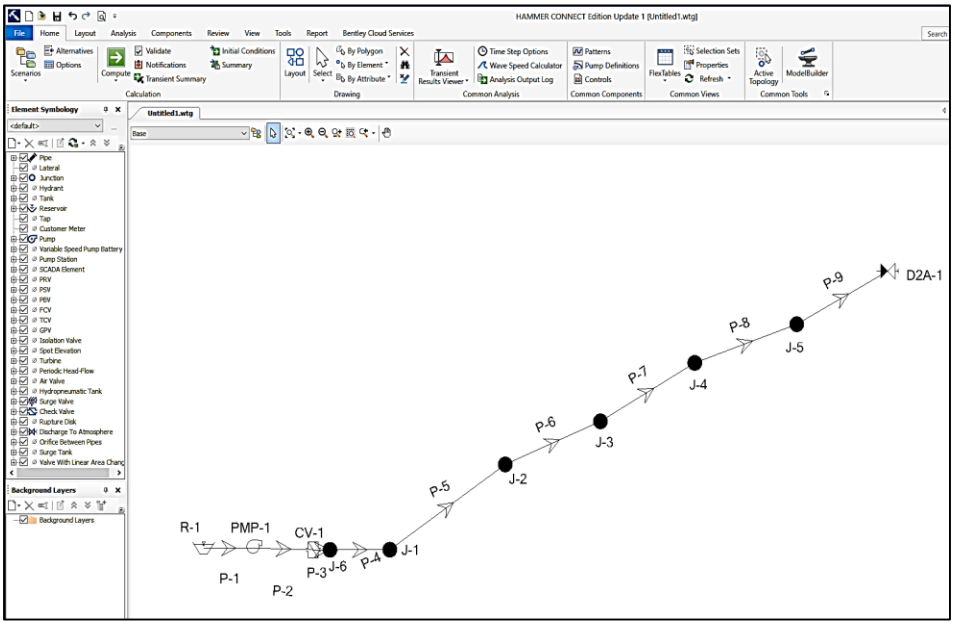
1- **السيناريو الأساس:** يمثل خط الضخ بدون أي وسيلة حماية ويعرض قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية الناتجة عن توقف عمل المضخة بشكل مفاجئ.

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

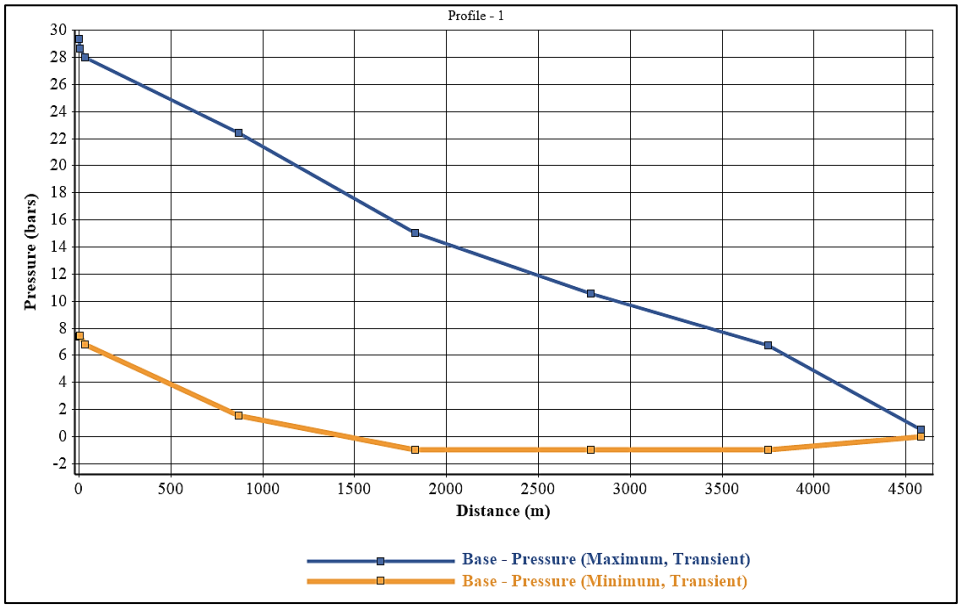
3- **السيناريو الثاني** : إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في منتصف خط الضخ وعرض قيم الضغوط الأعظمية و الأصغرية ومقارنة تأثير وضع الصمام في منصف خط الضخ مع السيناريو الأساس.

4- **السيناريو الثالث** : إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في نهاية خط الضخ وعرض قيم الضغوط الأعظمية و الأصغرية ومقارنة تأثير وضع الصمام في نهاية خط الضخ مع السيناريو الأساس.

السيناريو الأساس: (خط الضخ بدون حماية)

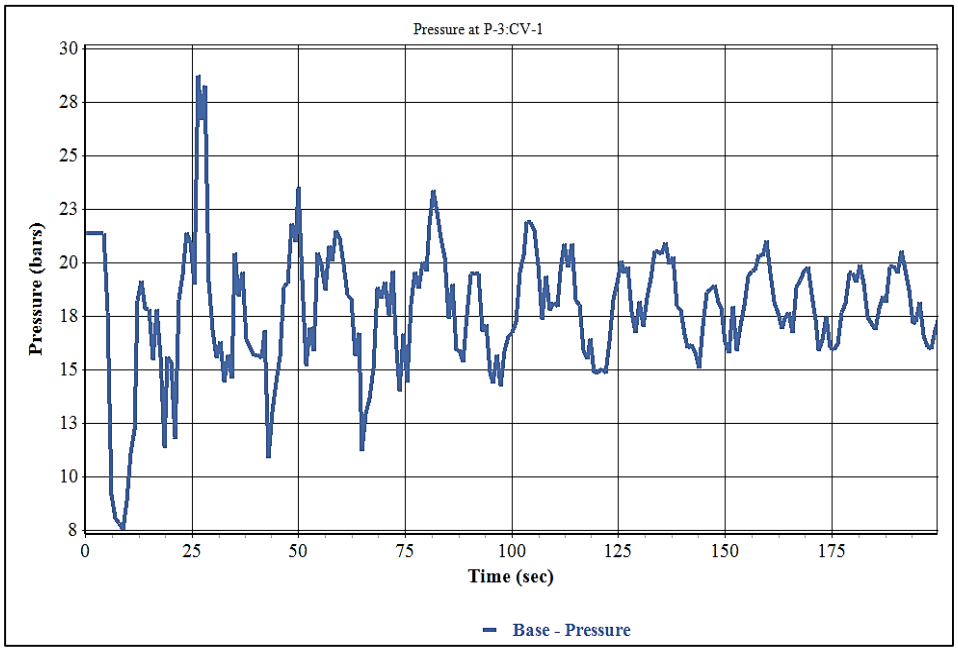


الشكل (5) يبين ادخال عناصر خط الضخ في برنامج التحليل الهيدروليكي للصدمة المائية



الشكل (6) يبين الضغط الأعظمي والأصغري خلال حالة الصدمة المائية (بدون حماية)

نلاحظ ارتفاع الضغط إلى ما يقارب 29 بار نتيجة المطرقة المائية.



الشكل (7) يبين قيم الضغط خلال حالة الصدمة المائية (السيناريو الأساس بدون حماية

من خلال المنحني نلاحظ بعد حوالي 25 ثانية وصل الضغط إلى حوالي 29 بار ولا يوجد ضغط سالب .حيث الأنبوب من نوع Iron (C25) وبالتالي لا يتحمل ضغط أكثر من 25 بار.

وبالتالي لدينا مشكلتين في هذا الخط :

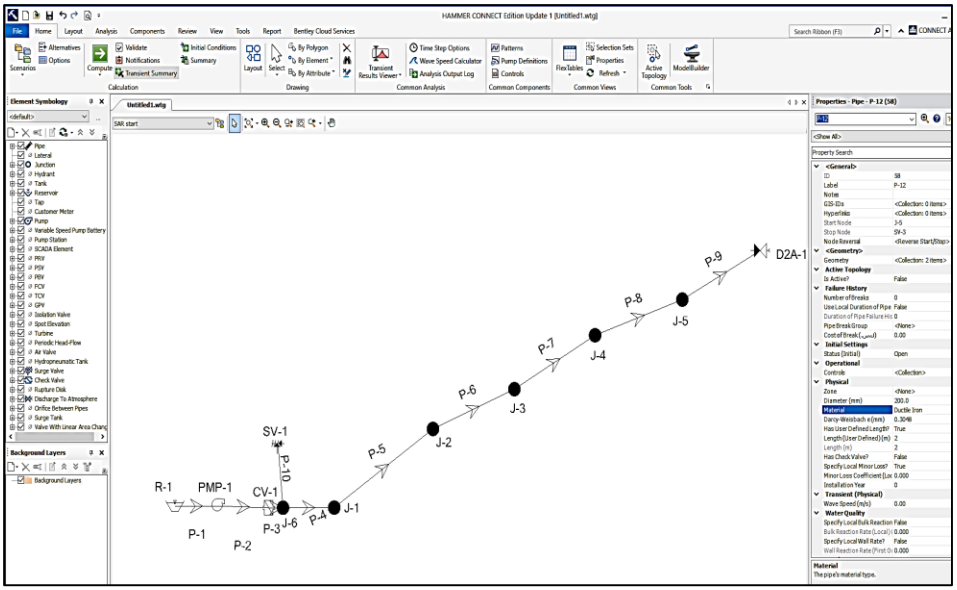
1- ضغط عال لا يتحمله الأنبوب.

2- ضغط منخفض يصل إلى حد التكهف خلال مسافة ممتدة من 1800م إلى 4500 م.

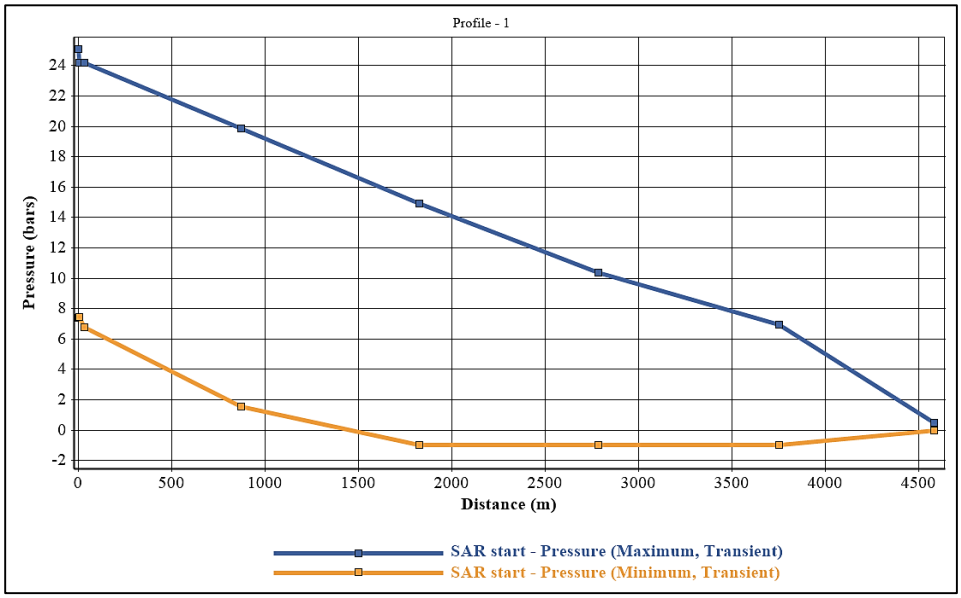
المناقشة والتحليل :

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

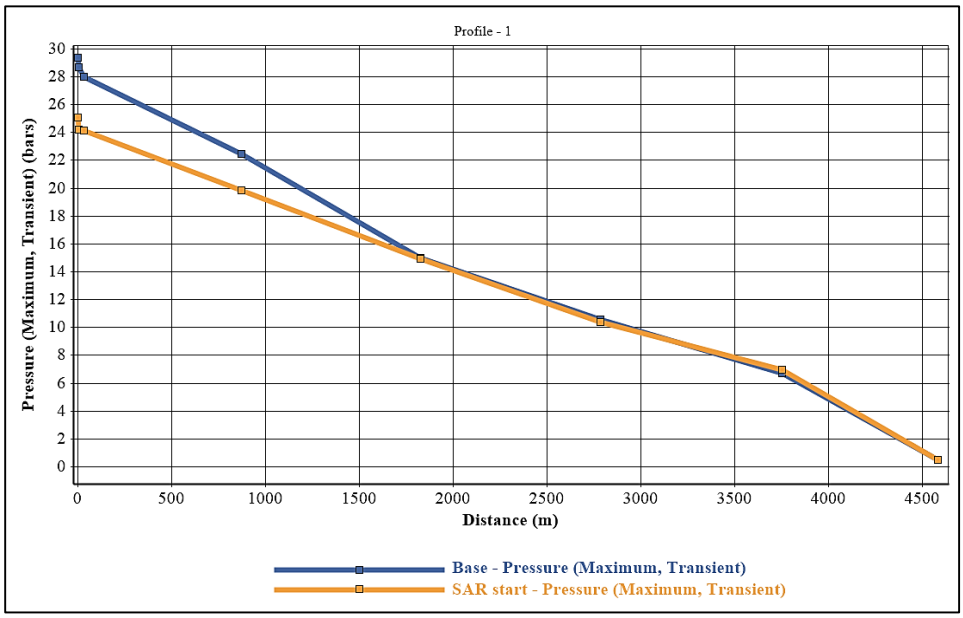
السيناريو الأول : إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ بعد صمام عدم الرجوع مباشرة



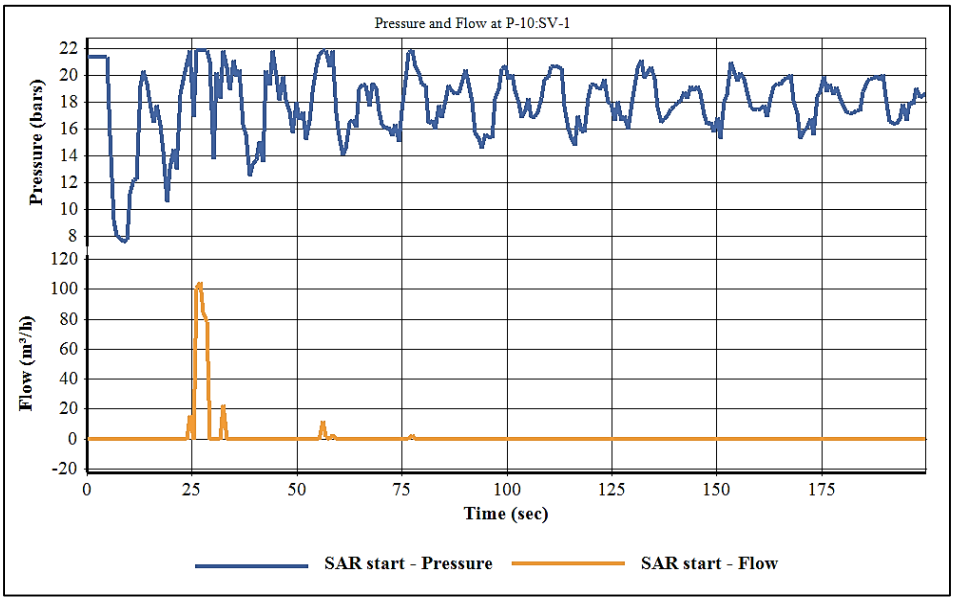
الشكل (8) يبين ادخال بيانات السيناريو الأول (جهاز حماية من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ بعد صمام عدم الرجوع)



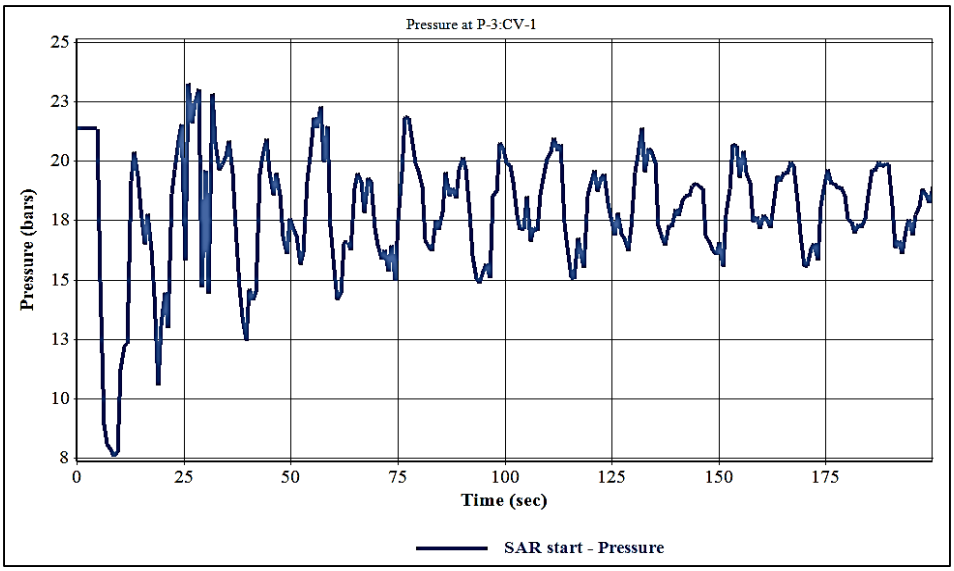
الشكل (9) يبين الضغط الأعظمي والأصغري خلال حالة الصدمة المائية (مع صمام امان في بداية خط الضخ) – السيناريو الأول–



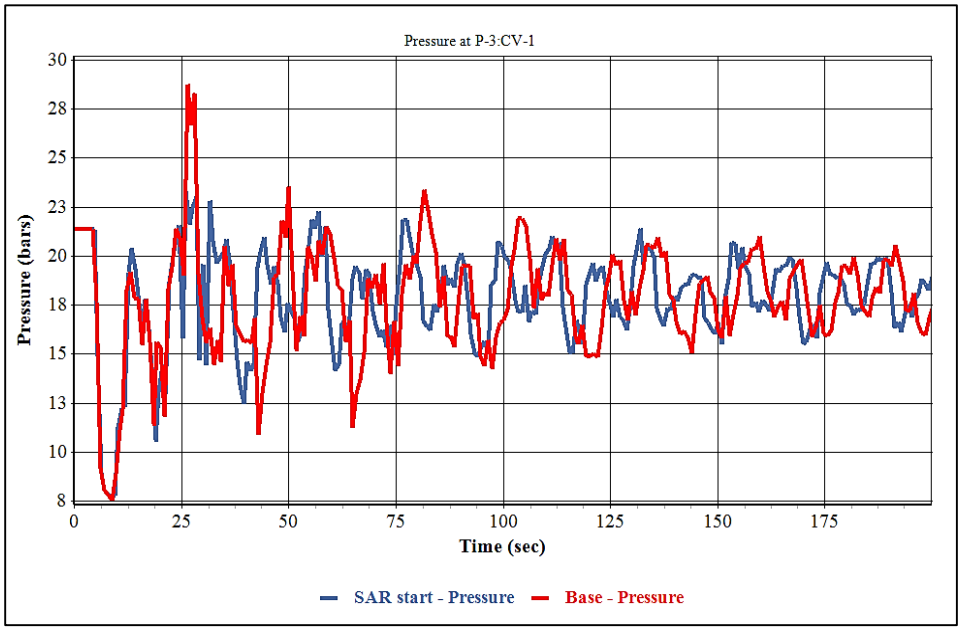
الشكل (10) يبين مقارنة بين قيم الضغط على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية وبحال إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ بعد صمام عدم الرجوع مباشرة.



الشكل (11) يبين الضغط عند صمام الأمان وتدفق الماء الخارج منه (السيناريو الأول)



الشكل (12) يبين الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع بعد إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في بداية خط الضخ

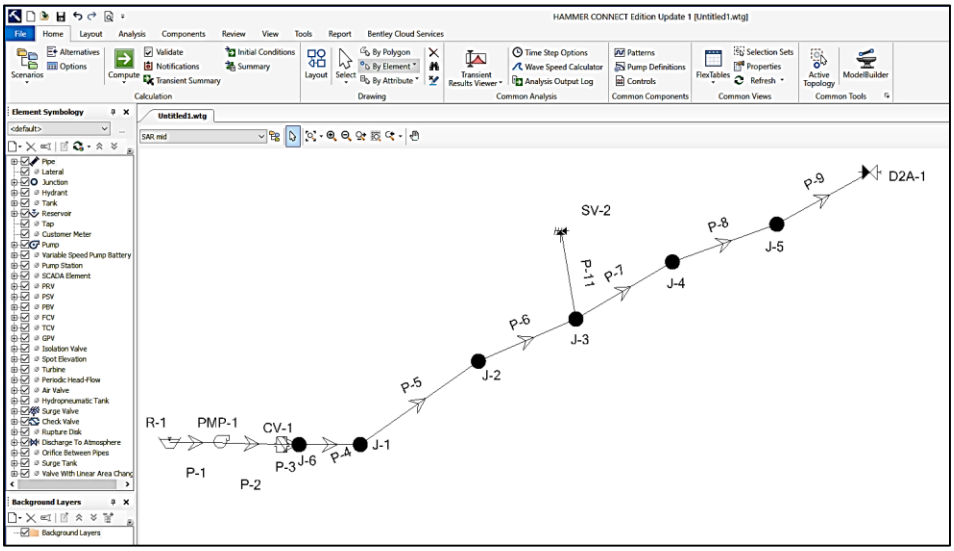


الشكل (13) يبين مقارنة بين الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع (السيناريو الأساس والسيناريو الأول مع حماية بصمام امان في بداية خط الضخ)

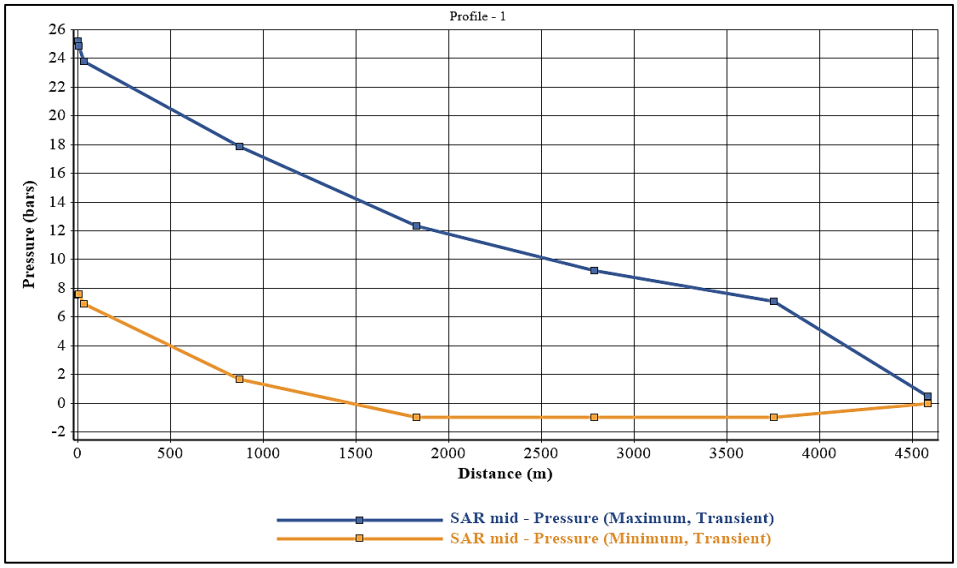
- **نتائج السيناريو الأول:**

نلاحظ من الشكل (9)أن الصمام استطاع تخفيض الضغط الأعظمي بشكل واضح إلى ما يقارب 24 بار بينما الضغط الأصغري بقي على حاله لم يتغير .من خلال الشكل(10) نلاحظ أن تأثير صمام الأمان امتد على مسافة حوالي 1800 م ويتغير هذا التأثير وقيمته وطوله حسب خط الضخ فكلما كان خط الضخ أفقي أكثر كان التأثير أكبر. تمت معايرة صمام الأمان بضغط فتح 22 بار ،أي أنه عند الضغط 22 بار يخرج حجم من الماء كما في الشكل(11).بينما عند صمام عدم الرجوع تكون قيمة الضغط تقريبا" 23.5 بار كما في الشكل(12).

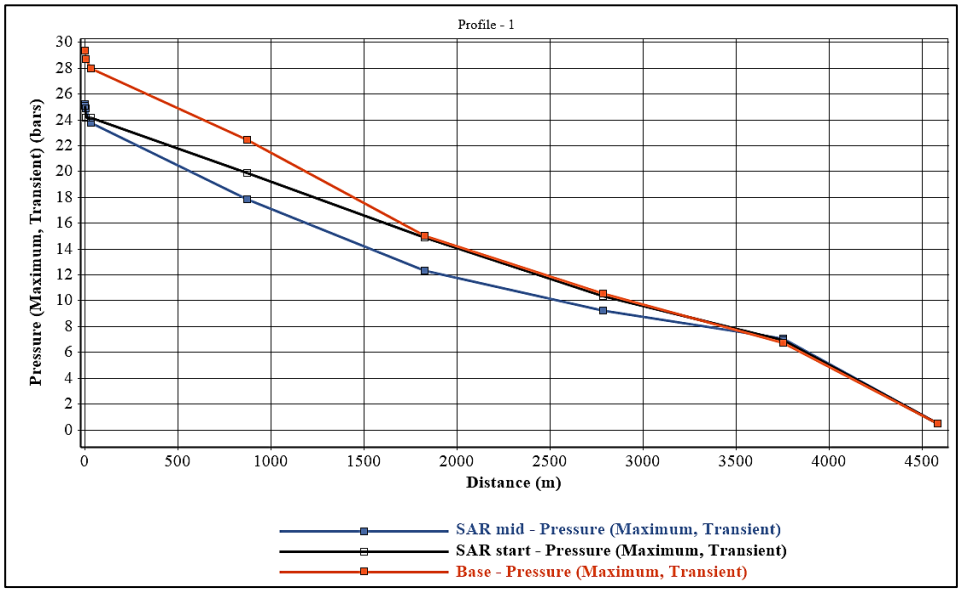
السيناريو الثاني: إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في منتصف خط الضخ



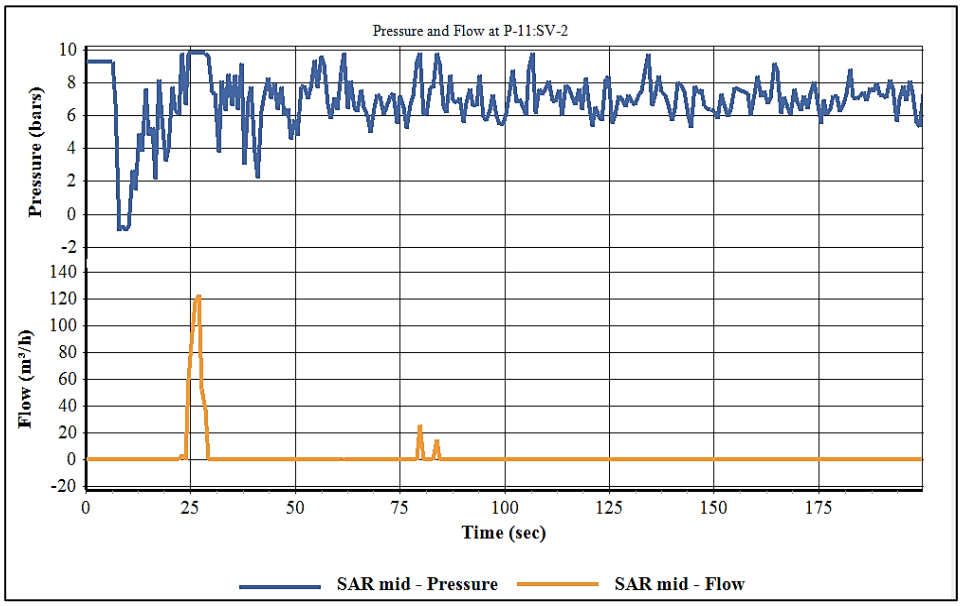
الشكل (14) يبين ادخال بيانات السيناريو الثاني (جهاز حماية من ارتفاع الضغط في منتصف خط الضخ)



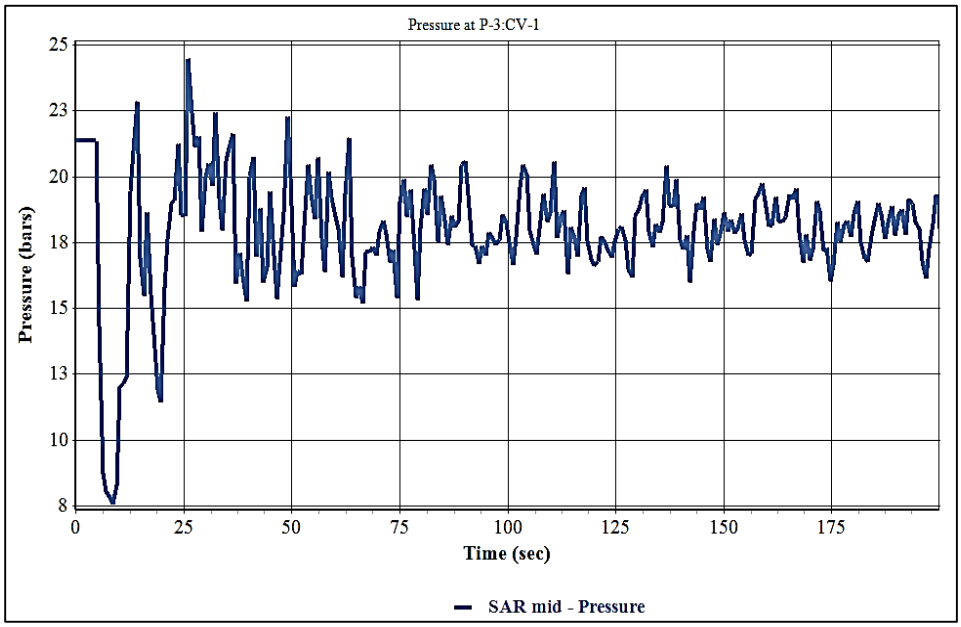
الشكل (15) يبين الضغط الأعظمي والأصغري خلال حالة الصدمة المائية (مع صمام أمان في منتصف خط الضخ) –السيناريو الثاني–



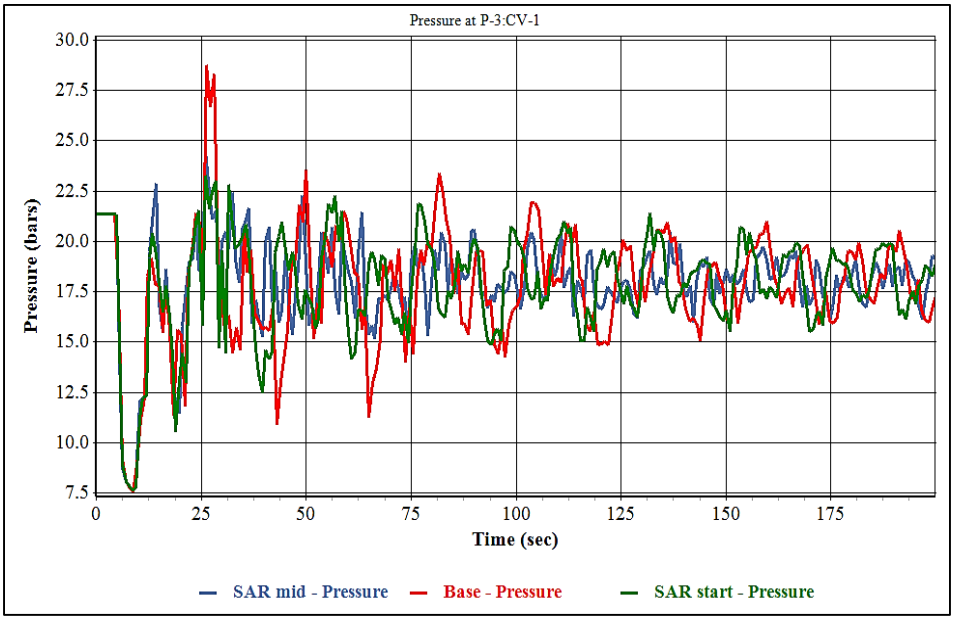
الشكل (16) يبين مقارنة بين قيم الضغط على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية وبحال إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في بداية وفي منتصف خط الضخ.



الشكل (17) يبين الضغط عند صمام الأمان وتدفق الماء الخارج منه (السيناريو الثاني)



الشكل (18) يبين الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع بعد إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في منتصف خط الضخ.

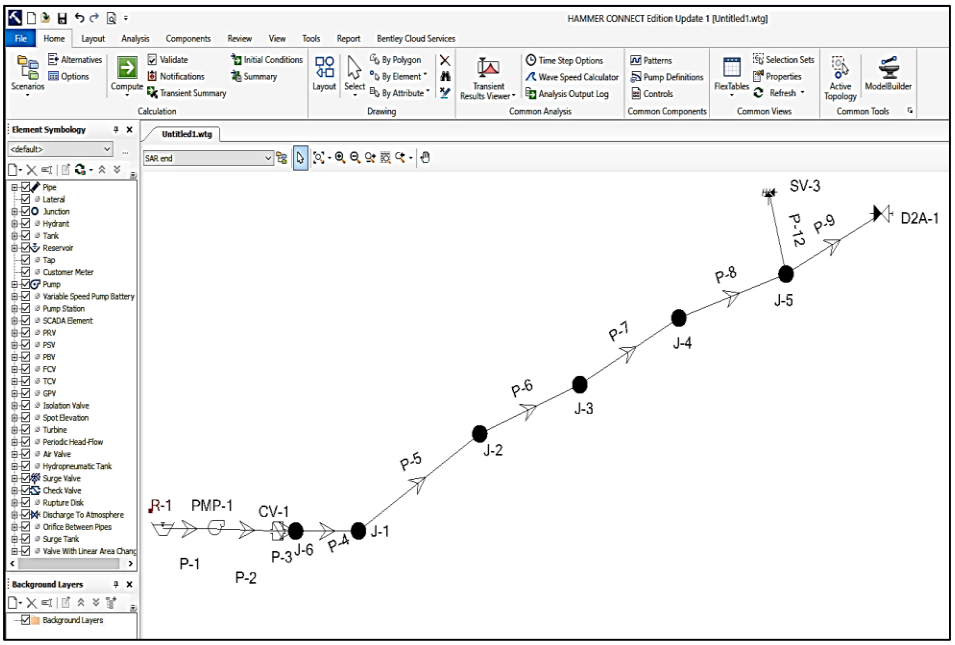


الشكل (19) يبين مقارنة بين الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع (السيناريو الأساس والسيناريو الأول مع حماية بصمام امان في بداية خط الضخ والسيناريو الثاني صمام امام في منتصف خط الضخ).

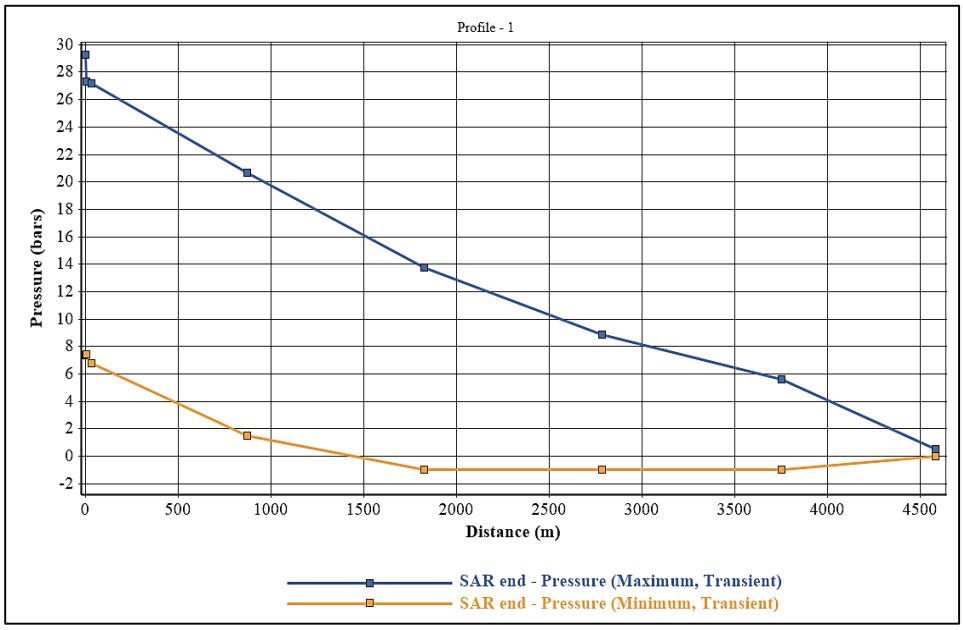
- **نتائج السيناريو الثاني:**

من الشكل(15) نلاحظ أن وجود صمام الأمان في منتصف خط الضخ أدى إلى تخفيض الضغوط بشكل عام بينما الضغوط السالبة بقيت على حالها ولم تتغير. الشكل (16) يوضح لنا أن تأثير وجود صمام الامان في منتصف خط الضخ أعطى تأثير ممتد على مسافة أكبر مما هي عليه في السيناريو الأول (تقريبا" على مسافة 3.5 كم) . تمت معايرة صمام الأمان في منتصف خط الضخ على ضغط فتح 10 بار لأن الضغط الذي يصل إليه 93م (9.3 بار) بينما قيمة الضغط عند صمام عدم الرجوع وصلت إلى قيمة أقل من 25 بار كما في الشكلين (17) و(18).

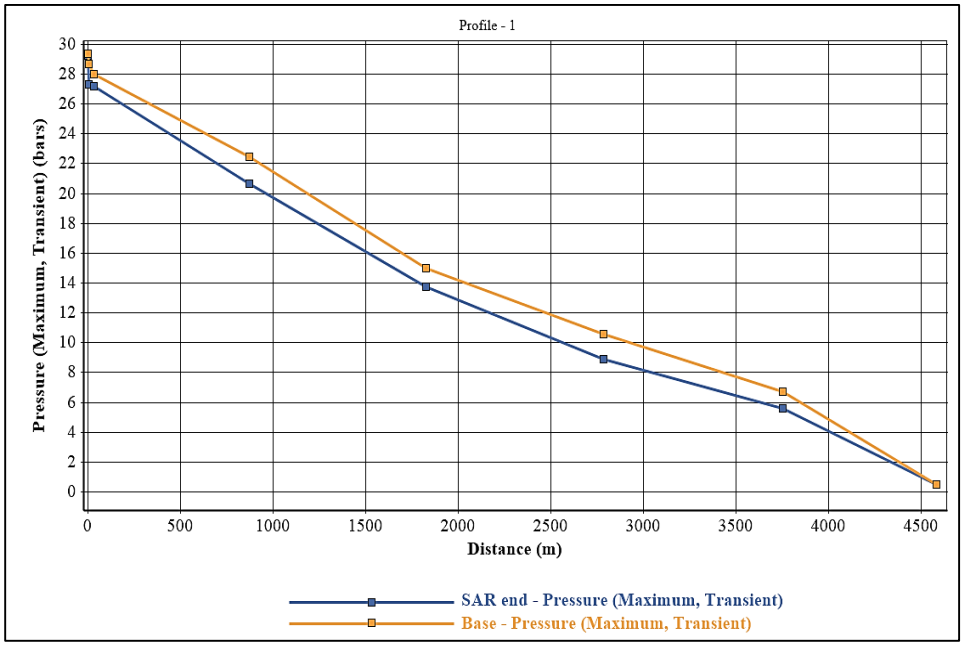
السيناريو الثالث : إضافة صمام أمان من ارتفاع الضغط في نهاية خط الضخ



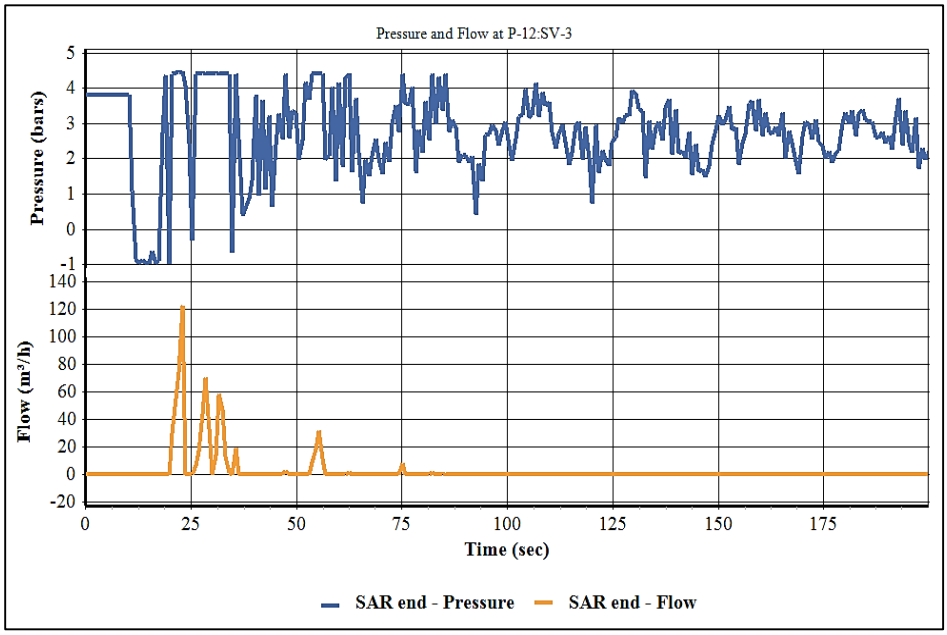
الشكل (20) يبين إدخال بيانات السيناريو الثالث (جهاز حماية من ارتفاع الضغط في نهاية خط الضخ)



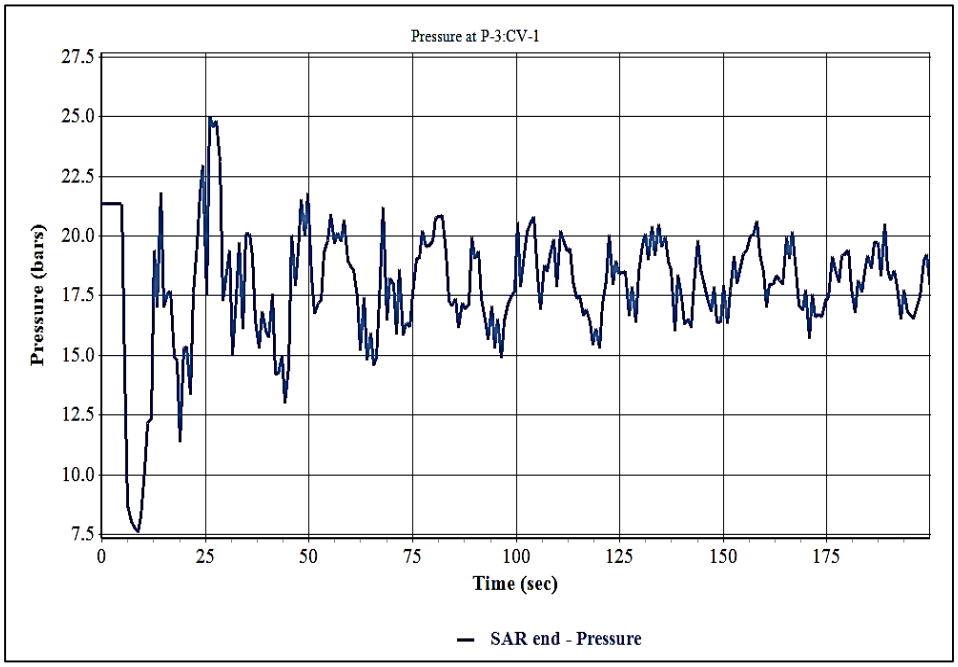
الشكل (21) يبين الضغط الأعظمي والأصغري خلال حالة الصدمة المائية (مع صمام أمان في نهاية خط الضخ) – السيناريو الثالث–



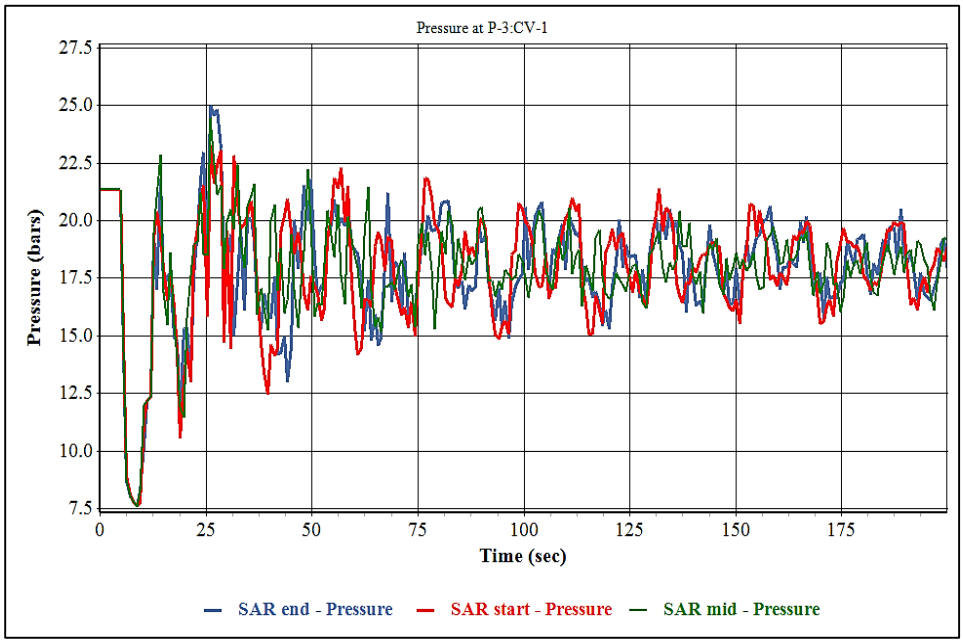
الشكل (22) يبين مقارنة بين قيم الضغط على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية وبحال إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في نهاية خط الضخ.



الشكل (23) يبين الضغط عند صمام الأمان وتدفق الماء الخارج منه (السيناريو الثالث)



الشكل (24) يبين الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع بعد إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في نهاية خط الضخ (السناريو الثالث)



الشكل (25) يبين مقارنة بين الضغط عند الحوز السفلي لصمام عدم الرجوع (السيناريو الأول مع حماية بصمام امان في بداية خط الضخ والسيناريو الثاني صمام امام في منتصف خط الضخ والسيناريو الثالث مع صمام امان في نهاية خط الضخ)

- **نتائج السيناريو الثالث:**

يبين الشكل(21) عدم تأثير الصمام في بداية خط الضخ في قيم الضغط ولكن يؤثر بشكل بسيط في انخفاض الضغط على باقي طول خط الضخ. نلاحظ من خلال المقارنة بين قيم الضغط على طول خط الضخ بحال عدم وجود حماية وبحال إضافة صمام امان من ارتفاع الضغط في نهاية خط الضخ الشكل(22) أن انتشار تأثير هذا الصمام استمر على طول خط الضخ بالنسبة للضغط الأعظمي بينما الضغط الأصغري لم يتغير .معايرة صمام الأمان تمت على ضغط فتح 4.5 بار حيث تخرج كمية من الماء تمنع ارتفاع الضغط إلى قيمة أعلى من النقطة المدروسة كما في الشكل (23).

الاستنتاجات :

1- استخدام صمام أمان في بداية خط الضخ أدى إلى تخفيض الضغط الأعظمي وعلى مسافة جيدة تقترب من 2 كم إلى ما دون الضغط الاسمي للحديد الزهر أو الفونت المرن.

2- إن صمام الأمان لا يؤدي إلى حماية خط الضخ على طوله خاصة" خطوط الضخ الطويلة فتأثيره محدود ب 1-2 كم .

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

التوصيات :

1- نوصي باستخدام صمام الأمان على طول خط الضخ ليس فقط في بداية أو منتصف أو نهاية خط الضخ .
2- نوصي باستخدام أنابيب البولي إيتيلين على كامل خط الضخ إن أمكن ذلك لما ينتج عنه من سرعة جريان منخفضة التي تؤدي إلى ضغوط صدمة مائية أقل وبالتالي تجهيزات الحماية أقل و بأحجام أصغر وبالتالي كلفة اقتصادية أقل .
3- نوصي بتركيب صمامات الأمان مع صمامات الهواء(مثلا") لتعمل عملا" مشتركا" للحماية من الضغوط المرتفعة (صمامات الأمان) وللحماية من الضغوط المنخفضة (صمامات هواء).

المراجع :

[1]- جرجي، عادل ، ابراهيم ،غسان 2010، **محطات الضخ** ، كتاب جامعي ،جامعة حمص ،ص111-123.

[2] - معلا، وائل،1993، **الجريان غير المستقر في الأنابيب** ، كتاب جامعي، جامعة دمشق،ص89-93

[3] -عبد الجليل ، ابراهيم 2016، **دراسة موقع الصمامات ونوعها المؤثرة في قيم الضغط الناتج عن الصدمة المائية** ، رسالة ماجستير، ص64-67.

[4]- Ahmed A Abdel-Naby,Mostafa A Abdel-Moaty,Eslam R Lotfy,2025-**Optimal Water Hammer Protection Strategies for Low-head Hydraulic System**.

[5]-Stevan,Taggat,2021- **Improving the design of the safety valve to meet performance requirements**,P146-150

[6]-Jana & Pawla, 2019- **Improving the quality of the safety valve using numerical and experimental studies** .2019.Krakowf university of technology. Polanda,P103-109.

[7] –B C R Ewan,C Weil,M Scanlon, 2023- **A Study of Pressure Safety Valve Response Times under Transient Overpressure**,P99-105.