

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 3

1445 هـ - 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مدير مكتب مجلة جامعة البعث

د. إبراهيم عبد الرحمن

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرقي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة . وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة . مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News , Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
32-11	د. أحمد محمود ميهوب د. ميرفت حسن حشمة	سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP)- دراسة تجريبية.
72-33	رفاه بدور د. عادل جرجي	تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية
114-73	م. غنوة إبراهيم خضور د عادل جرجي	تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية
156-115	د. طارق حسام الدين ياسر هاشم	دور محاكاة الإخلاء في اعتبارات تصميم المكتبات الجامعية

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) - دراسة تجريبية.

الدكتور: أحمد محمود ميهوب*

الدكتورة: ميرفت حسن حشمة**

□ الملخص □

استخدمت في هذا البحث قضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) في تسليح ستة جوائز بيتونية، وعلى الرغم من أن الاختلاف بين هذين النوعين من القضبان من ناحية المقاومة على الشد ومعامل المرونة والاختلاف بالوزن وقابلية الصدأ والتمايز في التماسك مع البيتون جعلت سلوك هذه الجوائز يختلف عن الجوائز المسلحة فقط اما بقضبان فولاذية أو زجاجية. في هذا البحث تم التحقق تجريبياً من سلوك مجموعتين من الجوائز في كل منها ثلاثة جوائز بيتونية مسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وزجاجية وبنسب مختلفة، وذلك تحت تأثير حمولات متزايدة وصولاً الى الانهيار. حيث حددنا لكل مجموعة قدرة التحمل القصوى، والسهم في مرحلتي ما قبل التشقق وما بعد التشقق، ونمط الانهيار وانتشار التشققات، وتزايد التشوهات في كل من قضبان التسليح والبيتون المضغوط مع تزايد الحمولات. وتم التوصل الى مجموعة من الاستنتاجات والتوصيات.

الكلمات المفتاحية: جوائز بيتونية مسلحة، السهم، قضبان من الألياف البوليميرية الزجاجية (GFRP)، قضبان فولاذية، تسليح هجين، قدرة التحمل، التشققات.

* مدرس - قسم علوم البناء والتنفيذ - كلية الهندسة المعمارية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.

** مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Behavior of concrete beams hybridly reinforced with steel bars and fiberglass bars (GFRP) - an experimental study.

Ahmad Mahmoud Mihoub^{*}
Mervat Hasan Heshmah^{**}

□ ABSTRACT □

In this research, steel bars and fiberglass bars (GFRP) were used to reinforce six concrete beams. Although the difference between these two types of bars in terms of tensile strength, modulus of elasticity, difference in weight, susceptibility to rust, and differentiation in bonding with concrete made the behavior of these beams differ. For trophies armed only, either with steel or glass bars.

The behavior of two sets of beams, each with three concrete beams reinforced hybridly with steel and glass bars in different proportions, was experimentally verified under the influence of increasing loads until they collapse. We determined for each group the maximum bearing capacity, deflections in the pre-cracking and post-cracking stages, the pattern of collapse and crack propagation, and the increasing deformations in both the reinforcement bars and the compressed concrete with increasing loads. A set of conclusions and recommendations were reached.

Keywords: Reinforced concrete beams, deflection, GFRP bars, steel bars, hybrid reinforcement, bearing capacity, cracks.

^{*} Assistant Professor, department of Construction and Implementation Sciences, faculty of Architecture, Tartous University, Tartous, Syria.

^{**} Assistant Professor, department of structural engineering, faculty of civil engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

ان الفكرة الاساسية لاستخدام التسليح الهجين (فولاذ +زجاج) في تسليح الجوائز البيتونية المسلحة هي الاستفادة القصوى من ميزات كل من المادتين المختلفتين في الكثير من الخصائص، فالقضبان الزجاجية لها معامل مرونة منخفض وقدرة شد عالية [1]، وغير مقاومة للحريق [6]، وسلوكها خطي الى لحظة الانهيار. ويتعلق تماسكها مع البيتون بشكل سطح القضبان، بينما القضبان الفولاذية ذات معامل مرونة مرتفع وقدرة شد أقل ولها اجهاد خضوع وتماسكها مع البيتون جيد بفضل وجود الحلزنة على سطحها. وقد كثرت الدراسات المتعلقة بسلوك العناصر البيتونية المسلحة بشكل هجين (فولاذ +FRP) في الآونة الأخيرة، وقد تبين أن القضبان الفولاذية تساهم في زيادة القدرة على الانحناء في الجوائز المسلحة بشكل هجين [7]، كما بينت بعض الدراسات أن السهم وعرض الشق يكون أصغر في العناصر المسلحة بشكل هجين عما هو عليه في العناصر المسلحة بال FRP لوحده [9]. وفي بحث آخر [4] تبين أن التسليح الهجين للجوائز أدى الى تحسين السلوك الإنعطافي للجوائز من ناحية السهم والتشوه والتشققات مقارنة مع الجوائز المسلحة بال GFRP فقط. وفي بحث آخر [3] تمت مقارنة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بالفولاذ مع سلوك الجوائز المسلحة بشكل هجين (فولاذ + FRP) ليخلص الى نتيجة أنه يمكن زيادة مرونة الجوائز المسلحة بشكل هجين اذا كانت نسبة التسليح بال FRP الى نسبة التسليح الفولاذي صغيرة أي $\frac{A_f}{A_s}$. وبينت الدراسات السابقة أيضاً أنه مع زيادة نسبة التسليح الهجين $\frac{A_f}{A_s}$ فان تحديد ليونة الجوائز سيكون أكثر تعقيداً لان موضوع خضوع الفولاذ فيها غير واضح [8]. وعلى الرغم من أن العديد من الباحثين السابقين قد قاموا بالتحقيق في العديد من سمات انعطاف الجوائز الهجينة التسليح، الا أن بعض ميزات أداء هذه العتبات لا تزال غير واضحة [8]. وتشمل قضبان البوليمر المقواة بالألياف المتاحة تجارياً قضبان من (الألياف الزجاجية GFRP - أو الألياف الكربونية CFRP - أو الألياف الأراميدية AFRP - أو الألياف البازلتية BFRP) وتبدي هذه القضبان خواص ميكانيكية مختلفة تبعاً لعامل مرونتها، وتنتج الصناعات الحديثة سطوح مختلفة

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP)- دراسة تجريبية.

لهذه القضبان، لناعية زيادة التماسك بينها وبين البيتون، وهناك حاجة إلى الكثير من الأبحاث لدراستها في المستقبل.

في العقود الأخيرة تم إجراء الكثير من الأبحاث التجريبية لدراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان FRP فقط وقد بينت أن هذه الجوائز تحقق سهواً كبيرة وعرض الشقوق فيها أكبر مقارنة بمثيلاتها المسلحة بقضبان فولاذية فقط [5]. و يُنسب هذا إلى معامل المرونة المنخفض لهذه القضبان كما هو موثق في إرشادات الكود ACI 440.1R-12 لتصميم العناصر الخرسانية المسلحة بقضبان FRP [2].

تم تنفيذ العمل البحثي الحالي للتحقيق تجريبياً في سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة بشكل هجين بقضبان (فولاذية + زجاجية) والعاملة على الانعطاف تحت تأثير التحميل الستاتيكي المتزايد، وتم رصد قدرة التحميل القصوى، والسهم لكل خطوة تحميل، وتطور عرض الشق في مجموعتين من الجوائز في كل منها ثلاث عينات متماثلة من الجوائز وقد اختلفت فيها نسبة التسليح بال FRP الى نسبة التسليح الفولاذي $\frac{A_f}{A_s}$ ، وتم فحص الاستجابة الكلية لهذه الجوائز ووضعت مقارنات للنتائج التجريبية المقاسة، وتم عرضها والتعليق عليها في هذه الدراسة.

أهمية البحث وأهدافه:

تتميز القضبان الزجاجية بقدرة عالية على الشد وانخفاض في معامل المرونة مقارنة مع القضبان الفولاذية كما أن هناك اختلاف من ناحية التماسك مع البيتون ما يجعل سلوك العناصر المسلحة بشكل هجين (بقضبان زجاجية وأخرى فولاذية) سلوكاً مختلفاً عن نظيراتها المسلحة بالفولاذ لوحده أو الزجاج لوحده، وهنا تكمن أهمية هذا البحث في تسليط الضوء على سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين (بقضبان زجاجية وأخرى فولاذية)، من خلال رصد قدرة تحملها وآلية انهيارها وانتشار التشققات فيها وقيم السهوم فيها والتشوهات النسبية في قضبان التسليح والبيتون المضغوط وصولاً الى لحظة الانهيار.

طرائق البحث ومواده:

استخدمنا الطريقة التجريبية في دراسة سلوك مجموعتين من الجوائز في كل منها ثلاثة جوائز بيتونية مسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية والفولاذية وهي متماثلة من حيث الأبعاد الهندسية وتختلف من حيث نسب التسليح ونوعه (فالمجموعة الأولى مسلحة بقضيب زجاجي قطر 12 ملم مع قضيبين فولاذيين قطر 12 ملم، والمجموعة الثانية مسلحة بقضيب فولاذي زجاجي قطر 12 ملم مع قضيبين زجاجيين قطر 12 ملم)، وفي الجوائز المختبرة أخذت القيم الوسطية لقيم السهوم ولقيم قدرات التحمل وعدد التشققات وعرضها وقيم التشوهات النسبية في قضبان الـ GFRP والقضبان الفولاذية والبيتون المضغوط، وقد توصلنا إلى استنتاجات وتوصيات عرضت في نهاية هذا البحث.

1. العمل التجريبي:

تم تنفيذ المشروع التجريبي للتحقيق في سلوك مجموعتين من الجوائز البيتونية المعرضة للانحناء والمسلحة بشكل هجين بقضبان GFRP وقضبان فولاذية تحت تأثير التحميل الستاتيكي المتزايد وتمت مراقبة سلوك هذه الجوائز من بداية التحميل وصولاً إلى لحظة الانهيار، حيث قمنا بتحضير هذه الجوائز واختبارها في مخبر جامعة روستوف الحكومية للهندسة المدنية في روسيا الاتحادية خلال العام الدراسي 2012.

1.1. توصيف العينات المختبرة:

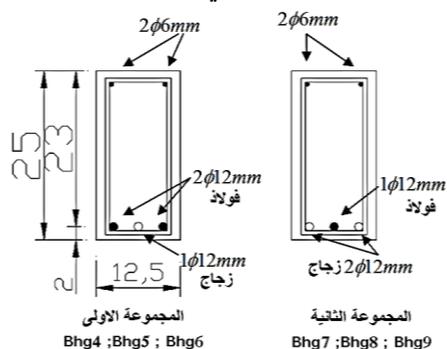
تم صب مجموعتين من الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين في كل منها ثلاثة جوائز متماثلة من ناحية الأبعاد والتسليح السفلي عبارة عن 3 قضبان قطر 12 ملم وهي كما يلي: (المجموعة الأولى (Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6) مسلحة بقضيب زجاجي قطر 12 ملم مع قضيبين فولاذيين قطر 12 ملم، والمجموعة الثانية (; Bhg7 ; Bhg8) Bhg9 مسلحة بقضيبين زجاجيين قطر 12 ملم مع قضيب فولاذي قطر 12 ملم. واختبرت تجريبياً تحت تأثير حملتين مركزتين (نظام تحميل في أربع نقاط four-point loading). حيث B للدلالة على الجائز Beam، و g للدلالة على التسليح بالزجاج Glass، و h للدلالة على التسليح الهجين hybrid.

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) - دراسة تجريبية.

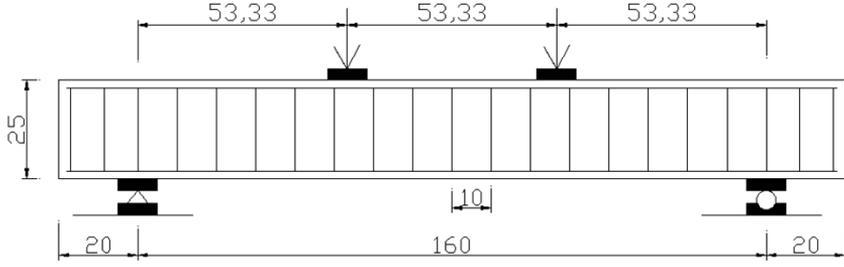
ويبين الشكل (2) الأبعاد الهندسية للمقطع العرضي بينما يبين الشكل (2) المقطع الطولي لهذه الجوائز وتفاصيل التسليح المختلفة. حيث يبلغ طول كل من الجوائز 2 m ، ونسبة العرض إلى الارتفاع $b / h = 250/125$ mm ، والعمق الفعال $d = 230$ mm ، وتم تسليح منطقة الضغط بقضبان فولاذية بقطر 6 mm عدد 2، وتم تسليح الجوائز على القص بأساور فولاذية قطر 6 mm وتباعداً يساوي 100 mm .

2.1. خصائص المواد:

استخدمت في صناعة قضبان GFRP تقنية pultrusion للألياف الزجاجية، وهي من إنتاج مصنع القضبان الزجاجية GFRP في مدينة بيرم الروسية وتتمتع بالموصفات التالية: ألياف زجاجية مستمرة ذات مقاومة على الشد تساوي 1200 MPa، ومعامل المرونة يساوي 35 GPa. تم تشييع هذه الألياف باللاصق البوليميري لإنتاج القضبان ويميز قضبان GFRP المستخدمة سطح خارجي مكون من الياق ملفوفة على القضبان بشكل حلزوني لزيادة التماسك مع البيتون كما مبين في الشكل (3)، أما للتسليح الفولاذي فقد استخدمت قضبان فولاذية محلزنة بقطر 12 ملم وذات مقاومة على الشد تساوي 700 MPa واجهاد خضوعها يساوي 622 MPa، وفي الشكل (3) نبين مقارنة لنوعي قضبان التسليح الزجاجية GFRP والفولاذية المستخدمة في بحثنا هذا.



الشكل (2): الأبعاد الهندسية وشكل التسليح الطولي والعرضي للجوائز المختبرة (الأبعاد ب سم).



الشكل (2): الأبعاد الهندسية وشكل التسليح الطولي والعرضي للجوائز المختبرة (الأبعاد بسم).



الشكل (3): مقارنة بين القضبان الزجاجية GFRP والقضبان الفولاذية المستخدمة في البحث.



الشكل (4): شكل هياكل التسليح للجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين (بثلاثة قضبان 2 زجاجية GFRP و 1 فولاذي) أو (بثلاثة قضبان 1 زجاجي GFRP و 2 فولاذية) وهي بوضعية مقلوبة.

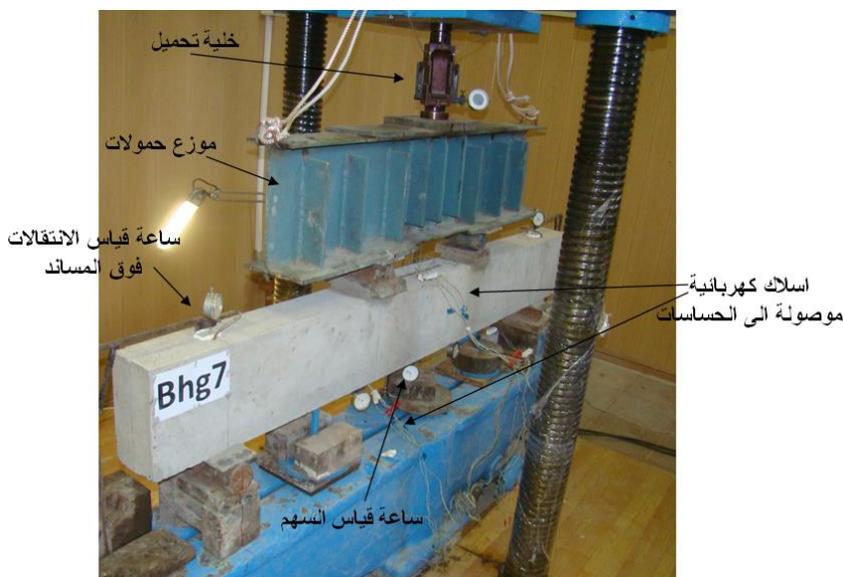
تم اختبار المكعبات البيتونية مقاس $150 \times 150 \times 150$ mm تحت ضغط مركزي في يوم اختبار الجوائز. والبيتون المستخدم ذو مقاومة عالية نسبياً، حيث بلغ متوسط مقاومة الضغط للمكعبات البيتونية (30 Mpa لجوائز المجموعة الاولى و 29.8 Mpa لجوائز المجموعة الثانية)، وذلك لتجنب الانهيار المبكر لمنطقة الضغط البيتوني، وابعاد البحص

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) - دراسة تجريبية.

المستخدم في الخلطة الخرسانية كانت ضمن المجال (10-25 mm)، وكانت النسب الوزنية لمواد الخلطة البيتونية المحضرة لـ 1 m³ كما يلي: اسمنت بورتلاندي 450 كغ، وبحص 1270 كغ، ورمل كوارتزي 460 كغ ووزن الماء 207 كغ ونسبة الماء الى الاسمنت تساوي 0.46.

3.1. التحضير للاختبار والتجهيزات المستخدمة:

تم استخدام الجهاز المبين في الشكل (5) لاختبار الجوائز على الانعطاف تحت تأثير حملتين مركبتين، واستندت الجوائز بشكل بسيط عند اطرافها، وتم تطبيق الحمل في نقطتين بمسافة 533.3 cm فيما بينهما، وطول مجال القص يساوي أيضاً 533.3 cm. ولجهاز الاختبار طرف ثابت سفلي صلب، وطرف علوي متحرك بشكل شاقولي، وزاد الحمل باستمرار وبجرعات قليلة، حيث تم التحميل في المرحلة الأولى بثلاث دفعات تحميل كل منها 4KN تلا ذلك التحميل بدفعات 8KN وبعد ذلك بدفعات 16KN إلى مستوى تحميل يساوي 80% من الحمولة القصوى، بعد ذلك تم التحميل بدفعات 8KN حتى حصول انهيار الجوائز.



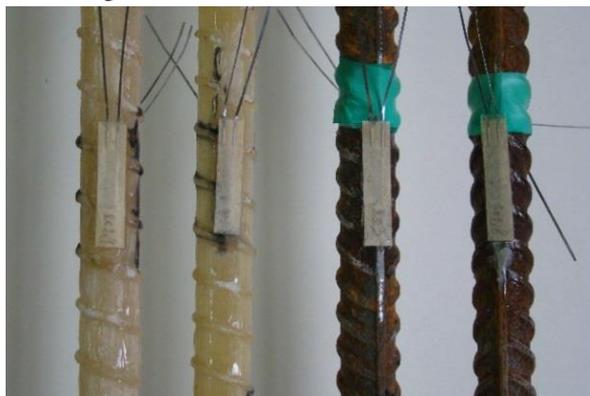
الشكل (5): جهاز اختبار العينات على الانحناء مبين عليه توضع الجائز البيتوني المختبر وموزع الحمولة وخليّة التحميل ومختلف ساعات قياس الانتقالات وأماكن توضع حساسات التشوه وجهاز قياس التشوهات.

تم تسجيل قيم الحمل المطبق بواسطة خلية تحميل وضعت بين الجائز البيتوني وموزع الحمولة، وهو عبارة عن جائز فولاذي عالي الصلابة كما موضح في الشكل (5)، تم قياس السهوم باستخدام خمسة أجهزة ساعية لقياس السهوم وهي بدقة 0.005 mm. حيث وضع واحد منها في منتصف الجائز وعلى وجهه السفلي، واثنان وضعا تحت نقطة تطبيق القوة وعلى الوجه السفلي، واثنان عند المساند وعلى الوجه العلوي للجائز وبهذه الطريقة تم حساب السهوم الصافية بدقة. حيث تم تسجيل قياسات الحمل والسهم المقابل بشكل مستمر أثناء الاختبارات التي تم إجراؤها حتى انهيار الجوائز. ولقياس التشوهات الحاصلة في قضبان GFRP المشدودة والبيتون المضغوط على الجهة العلوية وفي منتصف الجائز، تم لصق حساسات تشوه على القضبان الزجاجية بعد تنظيفها وإزالة الألياف الملفوفة عن السطح في منتصف المجاز وتم عزلها جيداً ووصلها بالأسلاك الكهربائية المناسبة لحمايتها أثناء عملية الصب كما مبين بالشكلين (6) و (7)، وكذلك الأمر تم لصق حساسات تشوه على الوجه البيتوني العلوي للجائز وفي منتصف المجاز لقياس التشوهات الحاصلة في البيتون المضغوط أثناء عملية الاختبار ووصلت الأسلاك جميعها إلى جهاز قياس التشوهات كما مبين في الشكل (8)، ويبين الشكل (9) الأدوات والمواد المستخدمة لتوصيل ولصق وعزل الحساسات بعد لصقها على قضبان GFRP والبيتون المضغوط.

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) - دراسة تجريبية.



الشكل (6): هيكل التسليح للجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين، مبين عليه مكان لصق حساسات تشوه على القضبان الزجاجية GFRP والفولاذية وكيفية عزل الحساسات حتى لا تتضرر أثناء عملية الصب.



الشكل (7): شكل القضبان الزجاجية GFRP والفولاذية مبين عليها كيفية لصق حساسات التشوه.



الشكل (8): جهاز قياس التشوهات النسبية في كل من قضبان الزجاجية GFRP والفولاذية والبيتون المضغوط.



الشكل (9): الأدوات والمواد المستخدمة لتوصيل ولصق وعزل الحساسات بعد لصقها على القضبان الزجاجية GFRP والفولاذية والبيتون المضغوط.

2 . النتائج والمناقشة:

استغرق اختبار الجائز الواحد حوالي 3 ساعة، وبعد كل مرحلة تحميل أخذت جميع القراءات المتعلقة بقيم السهم وعرض التشققات وقيم التشوهات النسبية في القضبان والبيتون المضغوط وحددت التشققات ليتم معالجة النتائج لاحقاً:

2 . 1 . النتائج المتعلقة بالسهم:

يعرض الشكل (10) مقارنة لمنحنيات (حمولة . سهم) لجوائز المجموعة الاولى Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6 ، وجوائز المجموعة الثانية Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9 ، حيث قيس السهم في منتصف المجاز من بداية التحميل وصولاً الى لحظة الانهيار للجوائز. ومنها يتبين أن المنحنيات كانت خطية في الجزء الاول ومن الحمولة 0 KN وحتى (مستوى التحميل 14 KN) وبعد أن بدأت الجوائز بالتشقق نلاحظ وجود اختلاف واضح بين منحنى المجموعة الاولى منحنى المجموعة الثانية وصولاً الى لحظة الانهيار، وكان منحنى المجموعة الاولى أعلى من منحنى المجموعة الثانية. ويبين الجدول (1) مقارنة قيم السهم الاعظمية في وسط المجاز لجوائز المجموعة الاولى والثانية، وكان السهم الاعظمي لجوائز المجموعة الأولى عند الحمل KN 124.27 مساوياً (9.73mm) أي حوالي 53.8 % من قيمة السهم الاعظمي لجوائز المجموعة الثانية عند الحمل

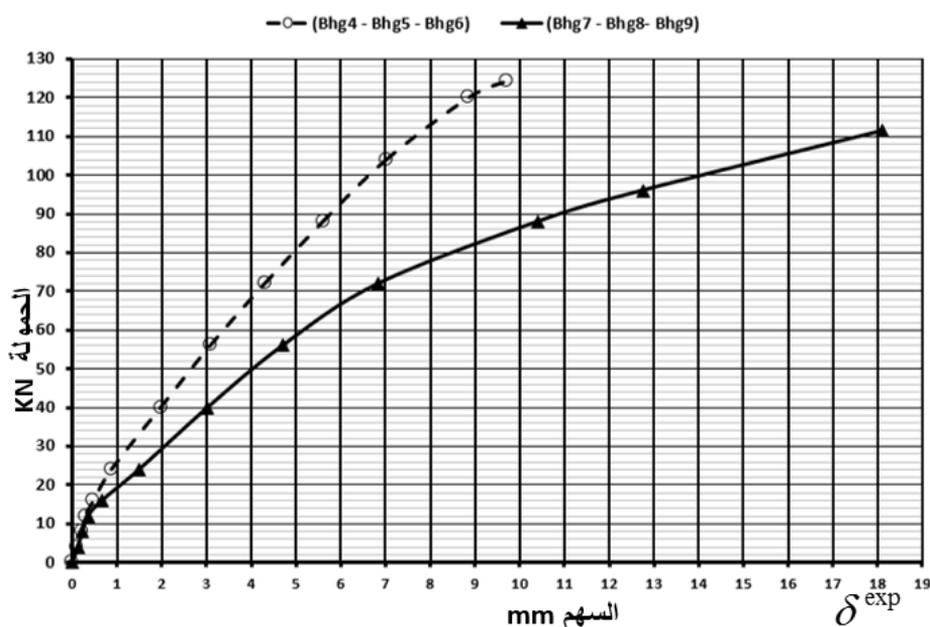
سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) - دراسة تجريبية.

KN 111.35 والذي بلغ (18.1mm)، ويبين الجدول (2) قيم السهم المقاسة في

مختلف مراحل التحميل وكذلك القيم الوسطية للمجموعة الاولى والثانية.

الجدول (1): مقارنة قيم السهوم الاعظمية في وسط المجاز لمجموعتي الجوائز المختبرة.

اسم المجموعة	أسم الجوائز	القيمة الوسطية للسهم الاعظمي في وسط المجاز δ_{max}^{exp} (mm)	الحمولة الاعظمية KN
المجموعة الاولى	Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6	9.73	124.27
المجموعة الثانية	Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9	18.1	111.35



الشكل (10): مقارنة بين منحنيات (حمولة - سهم) لجوائز المجموعة الاولى Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6، وجوائز المجموعة الثانية Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9.

الجدول (2): مقارنة قيم السهوم المقاسة في وسط المجاز لجوائز المجموعتين الاولى والثانية.

الحمولة KN	القيمة الوسطية للسهوم في جوائز المجموعة الاولى Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6 mm	القيمة الوسطية للسهوم في جوائز المجموعة الثانية Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9 mm
0	0	0
4	0.1	0.13
8	0.21	0.23
12	0.29	0.35
16	0.48	0.67
24	0.88	1.5
40	1.98	3.03
56	3.09	4.71
72	4.31	6.85
88	5.61	10.42
96		12.76
104	7.03	
111.3		18.1
120	8.87	
124.2	9.73	

ولتحليل النتائج المتعلقة بالسهوم أخت بالحسبان الحدود القصوى المسموحة للسهوم وسط المجاز وهي تساوي $\delta = \left(\frac{1}{200}\right)l_0$ حسب بعض النورمات ومنها النورم الروسي [10]، وهذه القيمة تساوي 8 ملم في جوائزنا، حيث $l_0 =$ طول مجاز الجائر ويساوي 160 سم. وعند مقارنة الحمولات المسببة لهذه القيمة على منحنيات (حمولة - سهم) المبينة في الشكل (10) نلاحظ في جوائز المجموعة الاولى أن السهم الحدي المسموح يصل إلى هذه القيمة عند الحمولة (113 KN) وهي تساوي تقريباً 91 % من حمولة الانهيار، وفي جوائز المجموعة الثانية يصل السهم الحدي المسموح إلى هذه القيمة عند الحمولة (KN) (78) وهي تساوي تقريباً 62.7 % من حمولة الانهيار.

2.2. مقاومة الجوائز على الانعطاف:

يبين الجدول (3) قدرات التحمل القصوى للجوائز البيتونية المسلحة المختبرة لجوائز المجموعة الاولى Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6 وجوائز المجموعة الثانية ; Bhg7 ; Bhg8

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP)- دراسة تجريبية.

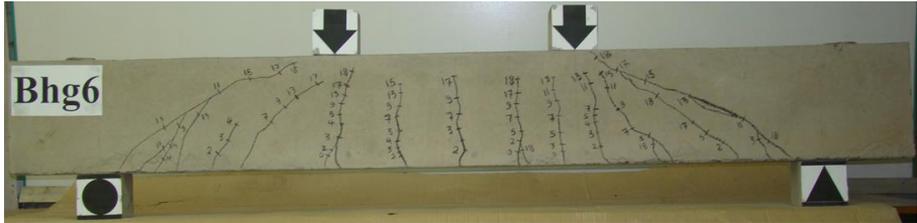
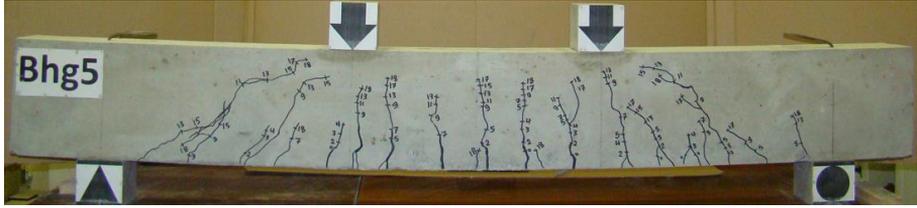
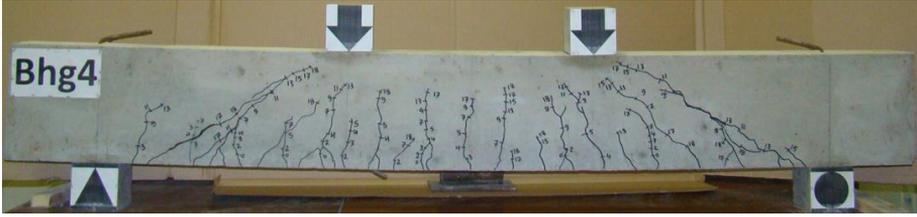
Bhg9 حيث بلغت القيمة الوسطية لقدرة التحمل 114.5 KN وكان شكل الانهيار. في جوائز المجموعة الاولى على شكل تطاول في قضبان التسليح وفي جوائز المجموعة الثانية على شكل تطاول في قضبان التسليح وتحطم البيتون المضغوط، وكانت قدرة التحمل لجوائز المجموعة الأول تساوي (124.27 KN) وهي أكبر بمقدار 11.6 % من قدرة تحمل جوائز المجموعة الثانية حيث بلغت قدرة تحملها (111.35 KN).

الجدول (3): مقارنة قدرات تحمل الاعظمية للجوائز المختبرة وأشكال انهيارها.

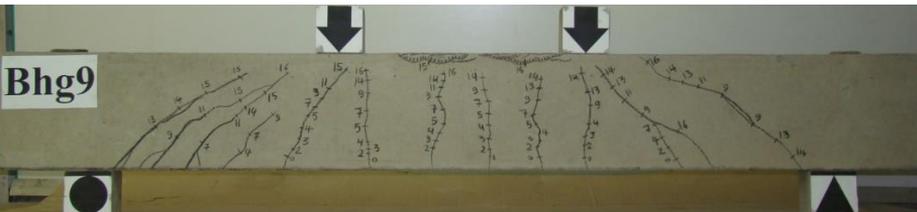
اسم المجموعة	أسم الجوائز	قدرة التحمل القصوى N_{max}^{exp} (KN)	شكل الانهيار في الجوائز
المجموعة الاولى	Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6	124.27	تطاول قضبان التسليح الطولية
المجموعة الثانية	Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9	111.35	تحطم البيتون المضغوط وتطاول قضبان التسليح الطولية

2.3. مقارنة شكل التشققات وانتشارها وعرضها في الجوائز المختبرة للمجموعتين:

يبين الشكل (11) صور لجوائز المجموعة الأولى المختبرة Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6 وتظهر عليها أشكال التشققات وانتشارها، ونلاحظ أن عدد الشقوق في النصف السفلي لارتفاع الجوائز كبيراً مقارنة مع باقي ارتفاعها، ويتشعب الشق عند مستوى قضبان التسليح الزجاجية GFRP والفولاذية الى فرعين على شكل (٨) وصولاً الى اسفل الجوائز وهذا ناتج عن التطاول الحاصل في قضبان التسليح، وعند رصد منطقة الانعطاف الصافي بطول 53.3 سم تبين أن متوسط عدد الشقوق يساوي 6 شقاً. وأغلبها يمتد من أسفل الجوائز الى ارتفاع يساوي تقريباً ثلاثة ارباع ارتفاع الجوائز المختبرة.

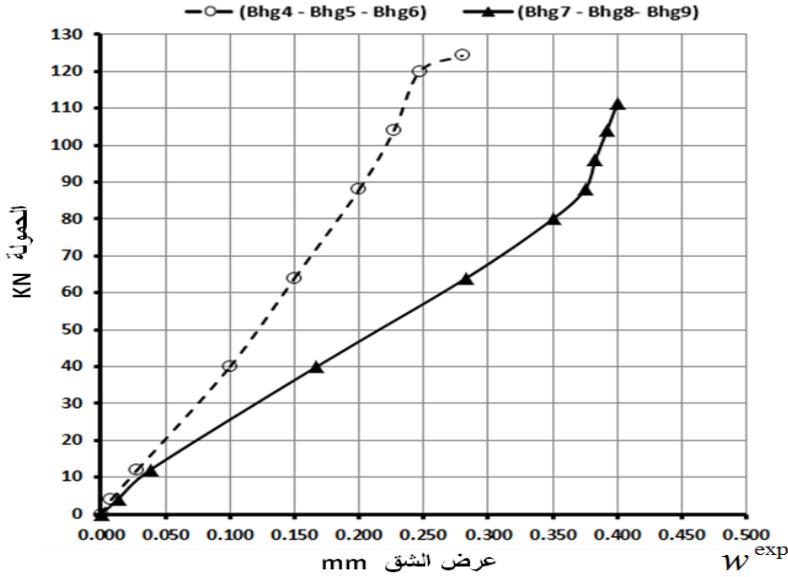


الشكل (11): أشكال التشققات وانتشارها في جوائز المجموعة الاولى المختبرة Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6 .



الشكل (11): أشكال التشققات وانتشارها في المجموعة الثانية المختبرة Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9 .

وبين الشكل (11) صور لجوائز المجموعة الثانية المختبرة Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9 وتظهر عليها أشكال التشققات وانتشارها، ونلاحظ أن ارتفاع الشقوق يصل تقريباً إلى أعلى ارتفاع الجوائز، ويتشعب الشق عند مستوى قضبان التسليح الزجاجية GFRP والفولاذية إلى فرعين على شكل (8) وصولاً إلى أسفل الجوائز وهذا ناتج عن التناول الحاصل في قضبان التسليح، وعند رصد منطقة الانعطاف الصافي بطول 53.3 سم تبين أن متوسط عدد الشقوق يساوي 7 شقاً. وبين الشكل (12) منحنى (حمولة-عرض الشق) عند مستوى قضبان التسليح (وسط المجاز) وقد أخذت القيم الوسطية في جوائز المجموعتين الأولى (Bhg4; Bhg5; Bhg6) والثانية (Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9). ونلاحظ أن منحنى المجموعة الأولى أعلى من منحنى المجموعة الثانية، وبالتالي كلما زاد عدد القضبان الزجاجية في المقطع يزداد عرض الشق، ونلاحظ في منحنى المجموعة الثانية توقف أو تباطؤ في اتساع الشقوق وذلك بسبب تشكل الشقوق المائلة واتساعها على حساب الشقوق الشاقولية وبسبب تشكل شقوق ثانوية جديدة وصولاً إلى لحظة الانهيار. وبلغ عرض الشق الأعظمي في جوائز المجموعة الأولى 0.28 mm، بينما وبلغ عرض الشق الأعظمي في جوائز المجموعة الثانية 0.4 mm، أي بزيادة تساوي 43% عن جوائز المجموعة الأولى.



الشكل (12): مقارنة بين منحنيات (حمولة - عرض الشق) عند مستوى قضبان التسليح وسط المجاز لجوائز المجموعة الاولى Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6 ، وجوائز المجموعة الثانية Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9 .

2 . 4 . مقارنة قيم التشوه الحاصلة في البيتون المضغوط وقضبان تسليح الجوائز المختبرة:

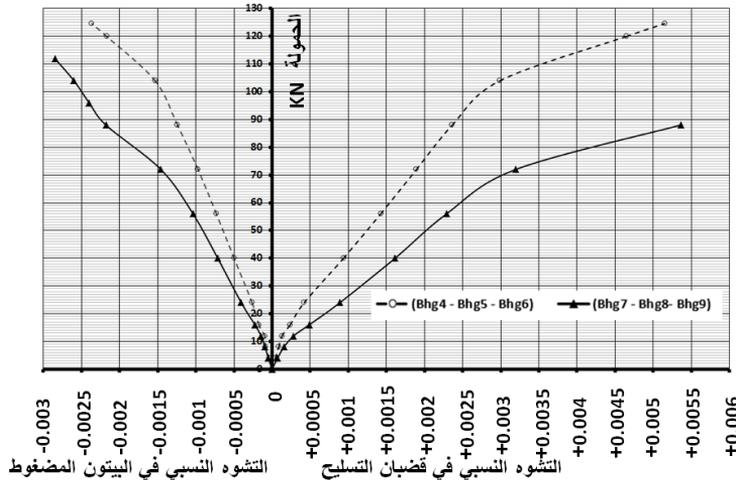
سبق وأن ذكرنا أنه في منتصف الجائز وعلى السطح البيتوني العلوي لصقت حساسات تشوه خارجية وكذلك حساسات تشوه داخلية على قضبان التسليح الزجاجية والفولاذية، ووصلت جميعها إلى محطة قياس التشوهات، التي سجلت قيم التشوهات النسبية الحاصلة بعد كل دفعة تحميل، ومن الجدول (5) يتبين أن البيتون المضغوط لم يتحطم في جوائز المجموعة الاولى وأن قيمة التشوه النسبي فيه بلغت (0.00237)، في حين أن التشوه النسبي في القضبان الزجاجية GFRP والفولاذية بلغ القيمة (0.00515)، ومن نفس الجدول يتبين أن البيتون المضغوط تحطم في جوائز المجموعة الثانية بعد أن تجاوزت قيمة التشوه النسبي القيمة (0.00285)، في حين أن التشوه النسبي في القضبان الزجاجية GFRP والفولاذية بلغ القيمة (0.00536) ومن ثم توقفت الحساسات عن

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP) - دراسة تجريبية.

العمل نتيجة انسلاخها عن القضبان وذلك عند حمولة تساوي 88 KN. وتظهر على الشكل (13) مقارنة لمنحنيات (حمولة - تشوه نسبي) في قضبان التسليح (حمولة - تشوه نسبي) في البيتون المضغوط للجوائز المختبرة، ومنها نستنتج أن التشوهات النسبية الحاصلة في القضبان تكون أكبر من التشوهات النسبية الحاصلة في البيتون عند نفس الحمولة، وأن منحنيات المجموعة الأولى أعلى من منحنيات المجموعة الثانية.

الجدول (5): مقارنة قيم التشوهات الحدية في البيتون المضغوط وقضبان تسليح الجوائز المختبرة.

اسم المجموعة	اسم الجوائز	قدرة التحمل القصوى N_{max}^{exp} (KN)	متوسط قيمة التشوه النسبي الحدية لحظة الانهيار	
			في قضبان التسليح عند منتصف المجاز	في البيتون المضغوط عند منتصف المجاز
المجموعة	Bhg4 ; Bhg5 ;	124.27	+0.00515	- 0.00237
المجموعة الثانية	Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9	111.35	+0.00536 (وعندها خرجت الحساسات عن الخدمة عند الحمل)	- 0.00285



الشكل (13): مقارنة بين منحنيات (حمولة - تشوه نسبي) عند مستوى قضبان التسليح وسط المجاز، و(حمولة - تشوه نسبي) في البيتون المضغوط وسط المجاز لجوائز المجموعة الأولى Bhg4 ; Bhg5 ; Bhg6، وجوائز المجموعة الثانية Bhg7 ; Bhg8 ; Bhg9 وقد اخذت القيم الوسطية في الجوائز الثلاثة المختبرة.

3 . الاستنتاجات والتوصيات:

يمكن اقتراح استخدام القضبان الزجاجية GFRP مع القضبان الفولاذية للتسليح الهجين للجوائز البيتونية، حيث يمكن الاستفادة من ميزات القضبان GFRP من ناحية مقاومتها للصدأ وأنها ذات قوة عالية على الشد وغير قابلة للمغنطة وخفيفة الوزن، حيث ينصح بوضعها ضمن المقطع في الأطراف، غير أن الجوائز المسلحة بشكل هجين وبنسبة كبيرة للقضبان الزجاج تصبح أكثر تقوساً وكذلك يزداد عرض التشققات فيها. وعند إجراء مطالعة لقيم التحمل الاعظمية وقيم السهوم وشكل التشققات وانتشارها في الجوائز المختبرة والمسلحة بشكل هجين بقضبان زجاجية GFRP وأخرى فولاذية استخلصنا النتائج التالية:

- 1- تظهر منحنيات (حمولة . سهم) أن السهم يزداد بازياد نسبة القضبان الزجاجية في المقطع المسلح بشكل هجين.
- 2- وصلت الجوائز المسلحة بشكل هجين وبنسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلث الى الحد الأقصى للسهم المسموح حسب الكود الروسي عند حمولة تساوي 91% من قدرة تحملها الاعظمية، بينما وصلت الجوائز المسلحة بشكل هجين وبنسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلثين الى الحد الأقصى للسهم المسموح حسب نفس الكود عند حمولة تساوي 62.7% من قدرة تحملها الاعظمية.
- 3- بلغت قدرة التحمل الاعظمية في الجوائز المسلحة بشكل هجين وبنسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلث القيمة KN 124.27 وهي أكبر بمقدار 11.6 % من قدرة تحمل المقاطع المسلحة بنسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلثين، وكان شكل الانهيار فيها على شكل تطاول في قضبان التسليح، بينما بلغت قدرة التحمل الاعظمية في الجوائز المسلحة بشكل هجين وبنسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي

سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بشكل هجين بقضبان فولاذية وأخرى من الألياف الزجاجية (GFRP)- دراسة تجريبية.

الثلاثين القيمة KN 111.35 وكان شكل الانهيار فيها على شكل تطاول في قضبان التسليح وتحطم البيتون المضغوط.

4- يزداد عدد التشققات في الجوائز المسلحة بشكل هجين بقضبان زجاجية GFRP وفولاذية مع ازدياد نسبة القضبان الزجاجية.

5- في الجوائز المسلحة بشكل هجين ونسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلث بلغ عرض الشق الاعظمي القيمة 0.28 mm، بينما بلغ عرض الشق الاعظمي في الجوائز التي تساوي نسبة القضبان الزجاجية GFRP الثلثين القيمة 0.4 mm، أي بزيادة تساوي 43% عن الجوائز التي فيها قضبان زجاجية بنسبة الثلث.

6- في الجوائز المسلحة بشكل هجين ونسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلث بلغت التشوهات النسبية في القضبان القيمة 0.00515، بينما بلغت التشوهات النسبية في بيتونها المضغوط القيمة 0.00237 ، وفي الجوائز المسلحة بشكل هجين ونسبة قضبان زجاجية GFRP تساوي الثلثين بلغت التشوهات النسبية في القضبان القيمة 0.00535 بعدها خرجت الحساسات عن الخدمة، وبلغت التشوهات النسبية في بيتونها المضغوط القيمة 0.00285 ، وكانت التشوهات في القضبان أكبر من التشوهات في البيتون عند نفس الحمولة وفي كلتا الحالتين. وتزداد التشوهات النسبية مع ازدياد نسبة القضبان الزجاجية في المقطع المسلح بشكل هجين (زجاج + فولاذ).

المراجع:

- [1]- Aiello, M. A.; Ombres, L. 2002. structural performances of concrete beams with hybrid (fiber-reinforced polymer- steel) reinforcements. **J, Compos. Constr.**,6,133-140.
- [2]- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. 2012, Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars. **ACI 440.1R-12**, Detroit. U.S.A.
- [3]- Bui, I. V. H.; Stitmannathum, B. ; Ueda, T. 2018. Ductility of concrete beams reinforced with both fiber- reinforced polymer and steel tension bars. **Journal of advanced concrete technology**.16, 531-548
- [4]- El Refai, A.; Abed, F.; Al-Rahmani, A. 2015. Structural performances and serviceability of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and steel) bars. **Constr. Build. Mater.** 96,518-529.
- [5]- LEUNG, H. Y.; BALENDRAN, R. V.2003. Flexural behavior of concrete beams internally reinforced with GFRP rods and steel rebars. **J. Struct. Surv.**, VOL. 21. № 4, 146–157. U.S.A.
- [6]- Nadjai, A.; Talamona, D.; Ali, F. 2005. fire performances of concrete beams with FRP Bars. **Proc, of Int. Symp. On Bond behavior of FRP in Structures**,,401-410. Hong Kong.
- [7]- Qu, W.; Zhang, X.; Huang, H. 2009. Flexural behavior of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and steel) bars. **J. compos. Constr.**13,350-359.
- [8]- Rendy, T.; Zaidir, Z. ; Devitasari, I. 2022. Ductility

Estimation of Concrete forced with Hybrid FRP-Steel Bars.
Journal of department of civil engineering faculty, Andalas university, Indonesia.

[9]- Yinghao, L.; Yong, Y. 2013. Arrangement of hybrid rebars on flexural behavior of HSC beams. **Compos. Part B**. 45,22-31.

[10]- СП 52-101. 2003, *Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры*. **ООО "Аналитих"**. СТ.161. Москва.

تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية

ط. رفاه بدور اشراف د. عادل جرجي

الهندسة المدنية البعث

ملخص:

يضمن التصميم المناسب للمقطع الطولي لخطوط الضخ موثوقية عالية من حيث حماية المشغلين من الأخطار الناجمة عن الصدمة المائية من جهة، وتخفيض التكلفة الاقتصادية لتجهيزات الحماية من جهة أخرى، لأنه يفيد في تجنب المقاطع الطولية التي تشجع على انفصال عمود الماء وما يرافقه من قيم ضغط عالية تضر بنظام الضخ.

تم في هذا البحث دراسة تحليلية بواسطة برنامج Allievi لتوضيح تأثير تغيير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية والحاصلة بسبب توقف المضخات.

تبين من خلال الدراسة أنّ المقطع الطولي الأفضل عند التصميم هو الذي لا يحصل فيه تكهف أي عندما تكون مناسب خط الضغط الأصغري أعلى من مناسب خط الضخ.

وأنه عند حصول التكهف فإن المقطع الطولي الأفضل هو الذي يكون فيه طول الجزء المعرض للتكهف أصغرياً.

أما عند وجود ذرى في المقطع الطولي فإن منسوب الذروة المنخفض هو الأفضل بينما الذرى القريبة من المضخات تكون الأخطر.

الكلمات المفتاحية:

الصدمة المائية، المقطع الطولي، التكهف، كوع، ذروة.

Abstract:

The most suitable design of longitudinal section of the pipelines ensures high reliability in terms of protecting operators from the dangers caused by water hammer on the one hand and reducing the cost of protection equipment on the other hand, because it helps in avoiding longitudinal sections that encourage water column separation and the accompanying high pressure values that harms the pumping system.

An analysis study was done in this research by Allievi to explain the effect of the longitudinal section of the pipeline on the values of pressure of the water hammer resulting from the stop of pumps.

The study showed that the best longitudinal section for design is the one in which cavitation does not occur, that is when the minimum pressure line levels are higher than the levels of the longitudinal section of the pipeline.

And when cavitation occurs, the best longitudinal section is the one in which cavitation length is minimum.

When there is a knee, a low knee level is the best, and a knee close to the pumps is the most harmful.

Key words:

water hammer, longitudinal section, cavitation, bend, knee

1- مقدمة:

تُعتبر ظاهرة الصدمة الهيدروليكية من الظواهر الهيدروليكية الهامة التي تصادفها في شبكات الأنابيب وأنظمة الضخ، وتظهر آثارها جلية بسبب الكوارث التي قد تنشأ عنها إذا لم تتخذ إجراءات الوقاية منها بشكل ملائم، فهي تلعب دور مدمر يتمثل في تكرار حالات عدم الاستقرار بالجريان والضغط، مما يهدد استمرارية عمل المنظومة بشكل كامل.

تعرف هذه الظاهرة على أنها حادثة تنجم عن التوقف المفاجئ لجريان المياه في أنبوب مضغوط، يؤدي إلى تغير في جهة الجريان، وإلى تغير كبير في الضغط المسيطر في الأنبوب وخاصة في نقطة التوقف المفاجئ، فالصدمة المائية حادثة خطيرة، ويمكن أن تكون شديدة، وتتعلق شدتها ب (قطر الأنبوب - سرعة الجريان في الأنبوب - طول الأنبوب - درجة حرارة الماء - مرونة جدران الأنبوب - الغازات المنحلة في الماء) ^{1}

ينتقل هذا التغير الطارئ على الحالة المستقرة للجريان على شكل موجات ضغط تسير بسرعة تقارب سرعة انتشار الصوت في السائل، وتنتشر ابتداءً من النقطة التي حدث عندها الاضطراب في الجريان (كالصمام أو المضخة) حتى نهاية الأنبوب، وتنعكس هذه الموجات جزئياً أو كلياً ثم تعود إلى المقطع الأصلي الذي انطلقت منه لتنعكس مجدداً، وهكذا حتى تتخامد بفعل الاحتكاك أو بعض الأجهزة المضافة لنظام الضخ ثم يستقر الجريان في وضع توازن جديد. ^{2}

يمكن أن تحدث الصدمة الهيدروليكية بشكل عام في أنابيب ضخ النفط أو الفيول أو الغاز وغيرها لكن عندما تحدث في أنابيب المياه تسمى بالصدمة المائية.

إن الصدمة المائية حتمية الحدوث في أنظمة ضخ المياه، وتكون ظاهرة وواضحة في الأنابيب الطويلة وذات الأقطار الكبيرة وعند السرعات الكبيرة، وعادةً تكون أشد ما يمكن بالقرب من المضخات، صمامات التحكم، النقاط عالية المنسوب في مسار الأنابيب،

الأماكن المنخفضة الضغط في النظام، والأماكن البعيدة عن الخزانات العالية في خطوط الإرسالة.^{3}

تُعتبر خطوط الأنابيب جزء رئيسي من أنظمة المياه، ويجب أن تعمل هذه الأنظمة بأمان في نطاق واسع من ظروف التشغيل، كما إنّ حمايتها ضد الحوادث المختلفة مثل موجات الضغط وانفجار الأنابيب والتكهف والتآكل لها أهمية كبيرة، أحد التهديدات الشائعة في خطوط الأنابيب هو التغير السريع في ظروف تدفق الأنابيب، فإن أي تغير في أي نقطة من أنظمة خطوط الأنابيب يمكن أن يؤدي إلى حدوث صدمة مائية، إذا كان التغير تدريجياً قد لا تكون الصدمة شديدة، لكن في حال كان التغير في التدفق سريعاً أو مفاجئاً فإن الضغط الناتج عن الصدمة يسبب أضراراً شديدة، لذلك من المهم النظر في الطرق العديدة التي تضمن التصميم السليم للحماية من أضرار الصدمة المائية.^{4}

إنّ الضغط الناتج عن الصدمة المائية حساس جداً لشكل المقطع الطولي للأنبوب، والتعديلات الطفيفة على شكل المقطع الطولي تحدث تغير كبير في قيم الضغط الناتج عن الصدمة المائية، كما تشير الجمعية الأمريكية لأعمال المياه أنّ الأماكن ذات الطبيعة الطبوغرافية المتموجة يجب تعديلها لتجنب النقاط العالية على مسار الأنبوب، مما سيؤدي إلى التقليل من عدد أجهزة الحماية المطلوبة وبالتالي تخفيف التكلفة المادية والتخفيف من صعوبة التنفيذ.^{5}

يُعد مسار الأنبوب في المستويين الأفقي والشافولي من العوامل المؤثرة على قوة الصدمة المائية، لذلك عند تحديد مسار الأنبوب يجب تجنب المرور بالنقاط العالية لأنها تؤدي إلى تراكم الهواء عند الجريان المستقر، وكذلك تشكل ضغوط سالبة يمكن أن تصل إلى حد التكهف أثناء الحالة العابرة، وهذا الموضوع يجب الاهتمام به خاصة عندما يكون الأنبوب قليل الثخانة، و هو أمر موجود عملياً خاصة في أنابيب الفولاذ التي تكون قليلة الثخانة، فعند حدوث موجة ضغط منخفض تصل لحد التكهف فإنه يحصل تطبق أو

تآكل وإضعاف بنية الأنبوب، مما سيضعف قدرة الأنابيب على مواجهة إجهادات الضغط ويجعلها عرضة للانهياب. {6}

ربط الباحثون تأثير شكل المقطع الطولي لخط الأنابيب بحدوث ظاهرة التكهف، كما قاموا بدراسة التكهف نظرياً وتجريبياً وتوصلوا إلى معادلات نظرية تم نمذجتها رقمياً، فظهرت عدة نماذج مثل The discrete vapor cavity model (DVCM) والتي أدمجت بطريقة الخواص لحل معادلات الصدمة المائية عند حدوث التكهف من خلال استخدام البرامج الحاسوبية ومن بينها برنامج (Allievi) الذي تم استخدامه في هذا البحث.

تحدث ظاهرة التكهف في أنابيب الضخ إذا ما انخفض الضغط في الأنبوب حتى قيمة حرجة هي "ضغط البخار المشبع" تعرف هذه الظاهرة بأنها انفصال الهواء من السائل وتشكل فقاعات هوائية مغلقة بالسائل، ومع الانخفاض الأكبر في الضغط تتحول هذه الفقاعات إلى جيوب "سراخ هوائية" وقد تؤدي إلى انقطاع بنية جريان السائل، ومع استمرار حركة السائل في الأنبوب تصطدم الموجات المنعكسة بهذه الجيوب الهوائية فتتصقق مشكلةً ضغوط كبيرة جداً أكبر من تلك المتشكلة خلال الحالة المستقرة. {7}

2- هدف البحث:

دراسة كيفية تأثير شكل المقطع الطولي للأنبوب في قيم الضغط للصدمة المائية الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخات وتحديد العوامل التي تجعل قوى الضغط تختلف من مقطع لآخر، ومعرفة النسبة المئوية لمجال تأثير شكل المقطع الطولي للأنبوب في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة.

3- مواد وطرق البحث:

يقدم هذا البحث دراسة وصفية تحليلية باستخدام برنامج Allievi لتفسير كيفية تأثير شكل المقطع الطولي للأنبوب الضخ في قيم الضغط للصدمة المائية الناتجة عن توقف

المضخات أي معرفة تأثير عدم احتواء المقطع على ذرا أو احتواءه على ذروة وما تأثير منسوب الذروة وما تأثير قريبا من المضخات.

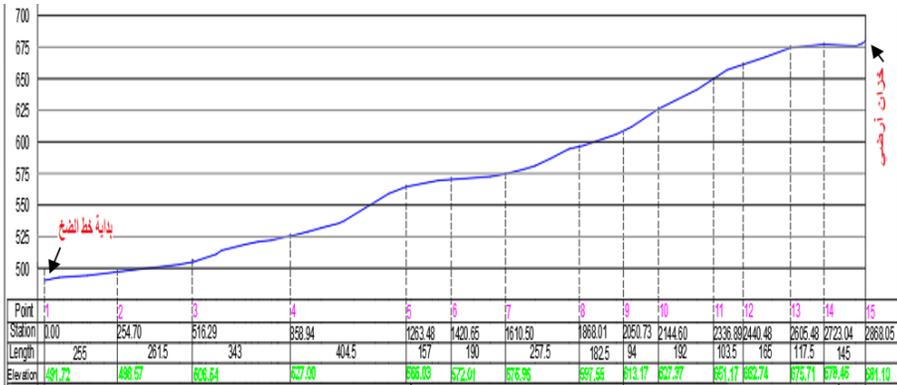
4- الحالة الدراسية:

تم إجراء الدراسة على خط ضخ مياه عذبة، يتم ضخ المياه بواسطة مضخة أفقية من خزان أرضي منسوب الماء فيه 492 m يقع بجوار محطة الضخ إلى خزان أرضي منسوب الماء فيه 686 m.

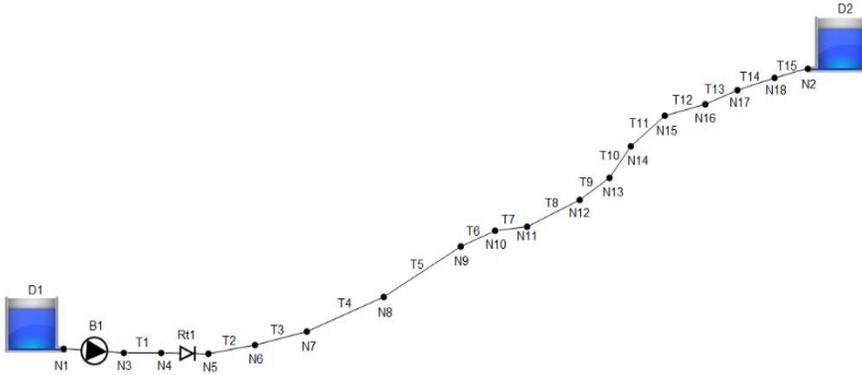
الأشكال (1) و (2) تبين تفاصيل تضاريس المنطقة وخط الضخ، كما يوضح الشكل (3) نموذج تخطيطي لخط الضخ ضمن برنامج Allievi.



الشكل (1): مسقط أفقي لخط الضخ.



الشكل (2): مقطع طولي لخط الضخ.



الشكل (3): النموذج المعبر عن خط الضخ الذي تم إدخاله ضمن برنامج Allievi.

5- مواصفات السائل والأنابيب المكونة لخط الضخ:

يبين الجدول (1) المواصفات الفيزيائية والهيدروليكية لخط الضخ المدروس، كما يبين الجدول (2) أطوال ومناسيب الأنابيب المكونة له.

الجدول (1): مواصفات خط الضخ.

فونت مرن	مادة الأنابيب
150 mm	القطر الداخلي
10mm	ثخانة جدران الأنابيب
2868 m	الطول
0.211	معامل بواسون
0.122 mm	الخشونة المطلقة
0.017~0.15	الميل الطولي
80 m ³ /h	التصريف

الجدول (2): أطوال ومناسيب الأنابيب المكونة لخط الضخ.

الأنبوب	الطول	منسوب بدايته	منسوب نهايته
T1	10	492	492
T2	255	492	498.6
T3	261.5	498.6	506.5
T4	343	506.5	527
T5	404.5	527	566
T6	157	566	572
T7	190	572	576
T8	257.5	576	597.5
T9	182.5	597.5	613.17
T10	94	613.17	627.37
T11	192	627.37	651.17
T12	103.5	651.17	662.74
T13	165	662.74	675.71
T14	117.5	675.71	678.45
T15	145	678.45	681

6- نمذجة الصدمة الهيدروليكية ضمن برنامج Allievi.

قمنا بإدخال البارامترات الأساسية للأنابيب والمضخة والسائل ضمن بيئة برنامج Allievi، ونمذجة حالة التوقف المفاجئ للمضخة (توقف مع عطالة ذاتية بوجود صمام عدم رجوع)، وحصلنا على نتائج تغيرات الضغط الأعظمي والأصغري في الحالة المستقرة والحالة العابرة في أجزاء الأنابيب المكونة لخط الضخ كما هو موضح في الجدول (3).

الجدول (3): قيم الضغط الأعظمية والأصغرية خلال الحالتين المستقرة والعبارة.

نتائج الحالة العبارة		نتائج الحالة المستقرة		الأنبوب
P _{min} (bar)	P _{max} (bar)	P _{min} (bar)	P _{max} (bar)	
4.13	45.75	21.64	22.58	T2
3.54	43.44	20.56	21.64	T3
1.74	43.19	18.13	20.56	T4
-1	35	13.78	18.13	T5
-1	32.61	13	13.78	T6
-1	33.8	12.4	13	T7
-1	33.8	9.96	12.4	T8
-1	29.8	8.19	9.96	T9
-1	26.14	6.66	8.19	T10
-1	25.61	4.07	6.66	T11
-1	21.77	2.8	4.07	T12
-1	21.12	1.32	2.8	T13
-1	17.6	0.92	1.32	T14
-1	15.53	0.5	0.92	T15

إن قيمة ارتفاع الضغط المحسوب من علاقة جوكوفسكي:

$$\Delta p = \rho * C * V = 996.36 * 1250 * 1.3 = 16.19 \text{ bar}$$

وبالتالي تكون قيمة الضغط الأعظمي بحسب جوكوفسكي:

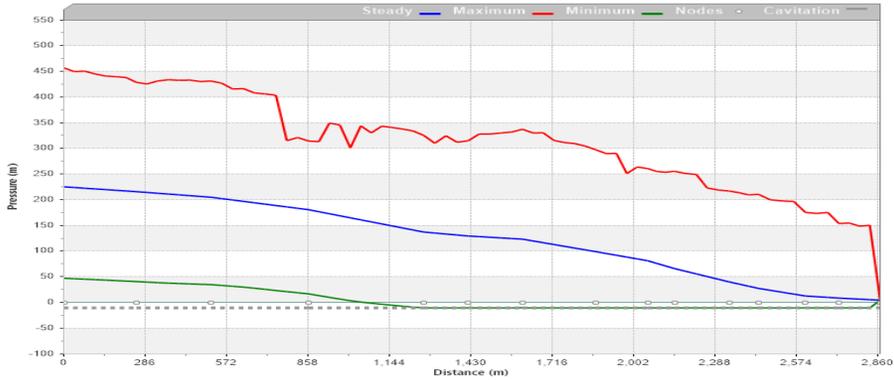
$$p_{max} = 22.58 + 16.19 = 38.77 \text{ bar}$$

لكن بحسب النتائج التي أعطاها البرنامج والتي يمكن توضيحها من خلال الشكل (4) نلاحظ أن الضغط الأعظمي $p_{max} = 45.75 \text{ bar}$ ، ويعود سبب هذا التباين بين نتائج برنامج Allievi والحساب بطريقة جوكوفسكي إلى تشكل بخار الماء وانصعاقه، فبعد توقف المضخة انخفض الضغط وانتشرت موجة انخفاض الضغط بدءاً من المضخة باتجاه الخزان، وقطعت محور الأنبوب بعد العقدة (N8) في النقطة التي منسوبها (546.7) كما في الشكل (5)، يكون الضغط قبل نقطة التقاطع موجباً وبعد نقطة التقاطع وحتى الخزان يكون الضغط سالباً ويصل إلى ضغط التكهف فيتشكل بخار الماء ثم ينصعق مشكلاً ارتفاع في الضغط.

P_c : الضغط الإضافي الناتج عن تشكل بخار الماء وانصعاقه P_c والذي يختلف من مقطع طولي لآخر:

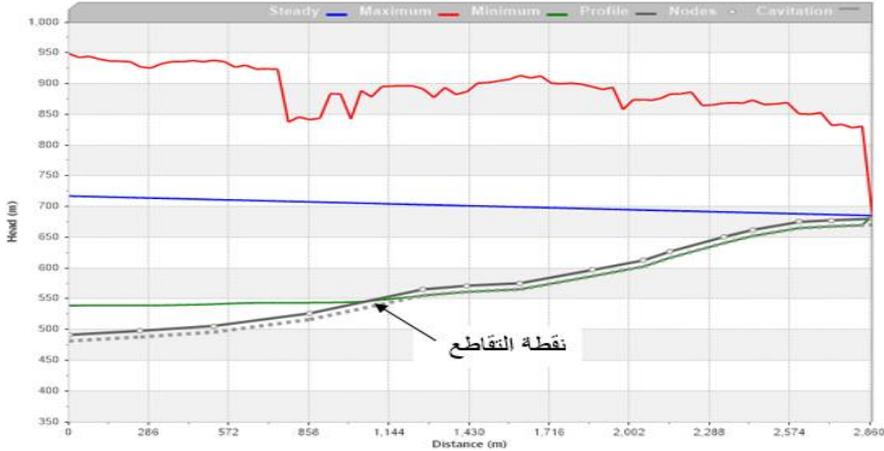
$$p_c = P_{max} - (\Delta P + P_{st}) = 45.75 - 38.77 = 6.98 \text{ bar}$$

$$\frac{P_c}{P_{max}} = \frac{6.98}{45.75} = 0.15 \text{ وبالتالي يكون}$$



الشكل (4): المنحني المغلف للضغوط الأعظمية والأصغرية على طول خط الضخ خلال حالة الصدمة المائية الناتجة عن توقف المضخة عن العمل عند الزمن 5 Sec.

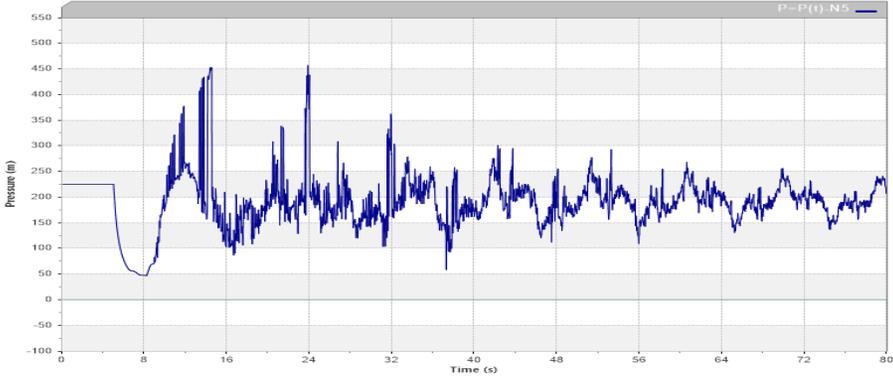
ويمكن توضيح تغيرات الضاغط كارتفاع ماء من خلال خط الميل الهيدروليكي في الحالة المستقرة وأثناء حدوث الصدمة المائية من خلال الشكل (5).



الشكل (5): خط الميل الهيدروليكي على طول خط الضخ خلال الحالتين المستقرة والعبارة.

يمكن أن نلاحظ ويوضح من خلال الشكلين (4) و (5) أنّ خط الضغط والتدرج الهيدروليكي الحاصل بعد الصدمة يقطع محور الأنبوب وذلك بدءاً من النقطة التي تبعد مسافة 1075 عن بداية خط الضخ، وينخفض إلى قيمة تتجاوز ضغط التبخر (-1 bar) مما يؤدي إلى حدوث التكيف في الشبكة.

أدى انصعاق بخار الماء بالنتيجة إلى تشكل ضغط أعظمي (45.75 bar) في بداية خط الضخ بعد 24 ثانية من توقف المضخة كما هو مبين في الشكل (6).



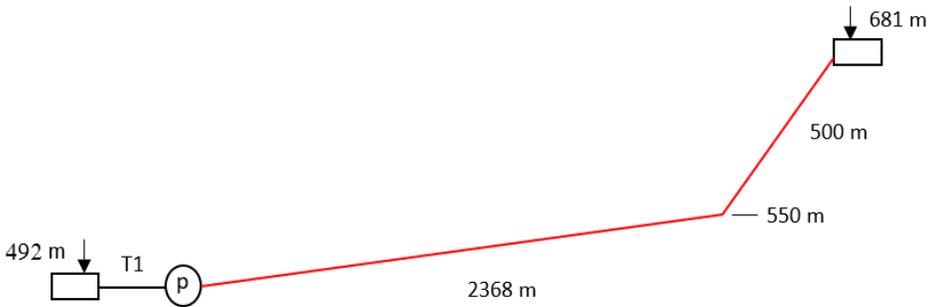
الشكل (6): قيم الضغوط المتشكلة في بداية خط الضخ خلال الصدمة المائية.

7- سيناريوهات تعديل شكل المقطع الطولي لخط الضخ:

تم نمذجة عدد من السيناريوهات يتغير فيها شكل المقطع الطولي لخط الضخ وفي كل سيناريو تم دراسة تغيرات الضغط الناتجة في حالة الصدمة المائية وفق الآتي:

السيناريو الأول:

تم نمذجة مقطع طولي صاعد بشكل كامل (بدون وجود ذرا) يصل المضخة بالخران كما في الشكل (7)، وعند دراسة الصدمة المائية في خط الضخ ضمن برنامج allievi كانت النتائج كما في الجدول (4).

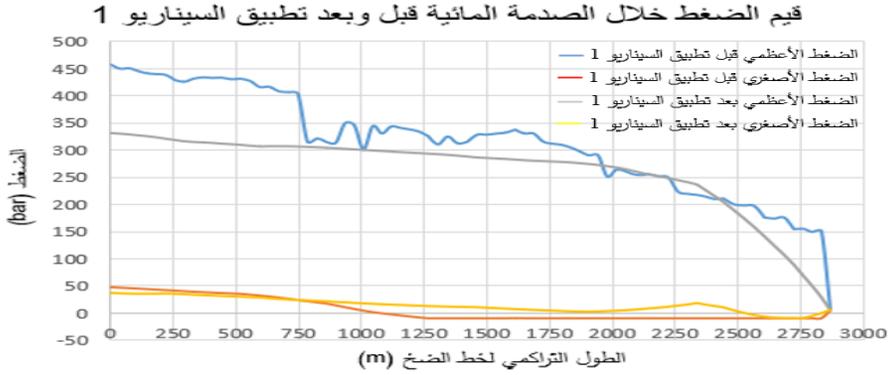


الشكل (7): المقطع الطولي المعبر عن السيناريو الأول.

الجدول (4): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو الأول.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الأول		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	3.45	33.2	T2
3.54	43.44	2.9	31.93	T3
1.74	43.19	2.05	31.05	T4
-1	35	1.2	30.5	T5
-1	32.61	1.02	29.4	T6
-1	33.8	0.64	28.88	T7
-1	33.8	0.18	28.33	T8
-1	29.8	0.16	27.66	T9
-1	26.14	0.43	26.55	T10
-1	25.61	0.76	25.58	T11
-1	21.77	0.8	23.7	T12
-1	21.12	-0.73	20.5	T13
-1	17.6	-1	14.1	T14
-1	15.53	-1	8.87	T15

تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية

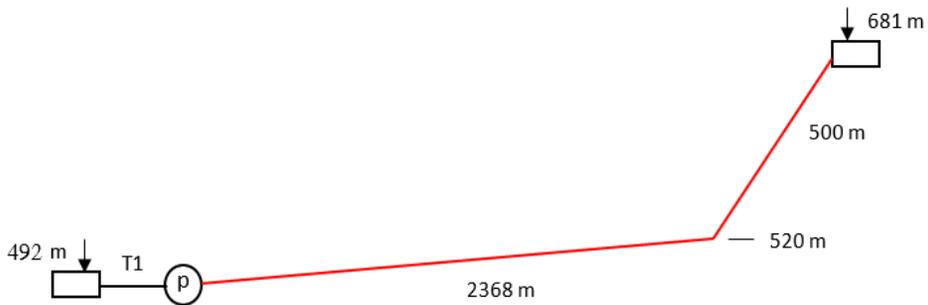


الشكل (8): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (1).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (1) أنّ تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 15.7 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (27.4%)، وتعرض 160 m من خط الضخ للتكهف.

نستنتج: منسوب الكوع المنخفض أدى إلى انخفاض في قيم الضغط الأعظمي في بداية خط الضخ كما أدى إلى ارتفاع في قيم الضغوط الأصغرية.

السيناريو الثاني:

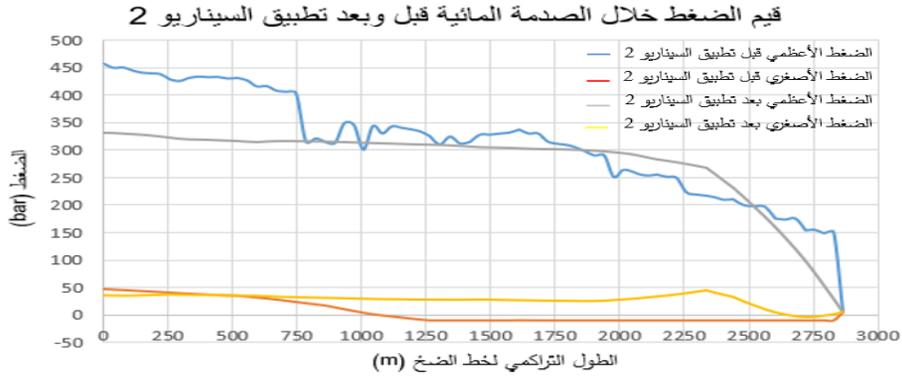


الشكل (9): المقطع الطولي المعبر عن السيناريو الثاني.

الجدول (5): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو الثاني.

نتائج الحالة العابرة في السيناريو الأول		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الثاني		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
3.45	33.2	3.54	33.19	T2
2.9	31.93	3.56	32.31	T3
2.05	31.05	3.13	31.69	T4
1.2	30.5	2.8	31.59	T5
1.02	29.4	2.77	31.03	T6
0.64	28.88	2.69	30.68	T7
0.18	28.33	2.53	30.38	T8
0.16	27.66	2.53	30.02	T9
0.43	26.55	2.96	29.26	T10
0.76	25.58	3.38	28.36	T11
0.8	23.7	3.32	26.83	T12
-0.73	20.5	0.45	23.24	T13
-1	14.1	0.2	16.01	T14
-1	8.87	0	9.85	T15

تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية

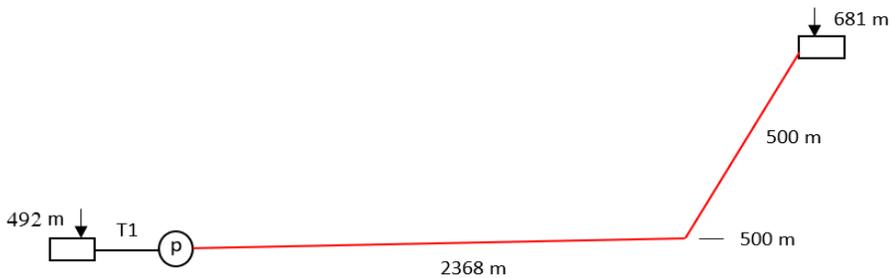


الشكل (10): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (2).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (2) أنّ تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 20.2 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (27.45%) كما نلاحظ أنّ السيناريو الثاني قد حل مشكلة انخفاض الضغط بالكامل ولم يتشكل ضغط إضافي وذلك لعدم حدوث تكهف.

نستنتج: انخفاض منسوب الكوع أدى إلى الحد من تشكل بخار الماء وحدث التكهف.

السيناريو الثالث:

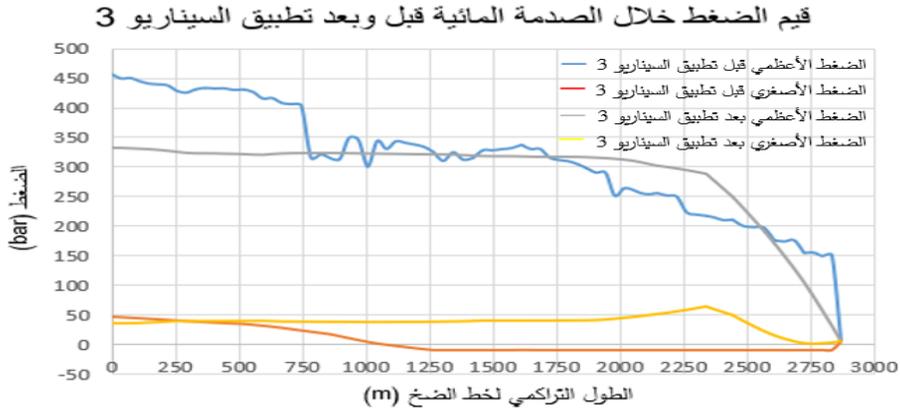


الشكل (11): المقطع الطولي للمعبر عن السيناريو الثالث.

الجدول (6): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو الثالث.

نتائج الحالة العابرة في السيناريو الثاني		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الثالث		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
3.54	33.19	3.58	33.19	T2
3.56	32.31	3.96	32.52	T3
3.13	31.69	3.86	32.32	T4
2.8	31.59	3.8	32.31	T5
2.77	31.03	3.87	32.09	T6
2.69	30.68	3.99	31.88	T7
2.53	30.38	4.05	31.74	T8
2.53	30.02	4.11	31.6	T9
2.96	29.26	4.69	31	T10
3.38	28.36	5.19	30.17	T11
3.32	26.83	5.03	28.8	T12
0.45	23.24	1.5	24.95	T13
0.2	16.01	0.15	17.06	T14
0	9.85	0.05	10.43	T15

تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية

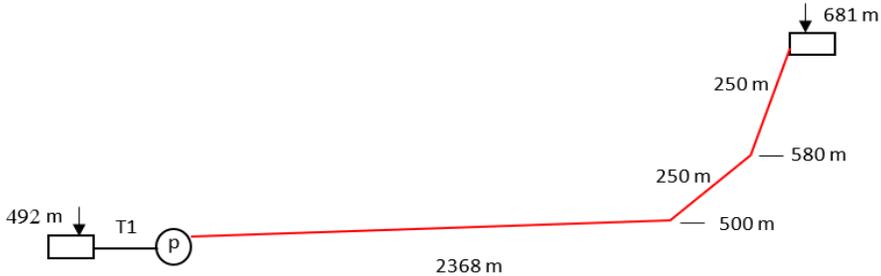


الشكل (12): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (3).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (3) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 23.2 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (27.45%) كما نلاحظ أن السيناريو الثاني قد حل مشكلة انخفاض الضغط بالكامل ولم يتشكل ضغط إضافي وذلك لعدم حدوث تكهف.

نستنتج: في حال كان خط الضخ غير معرض للتكهف فإن التغيير في مناسب المقطع الطولي لا يؤثر في نسبة انخفاض الضغط الأعظمي.

السيناريو الرابع:

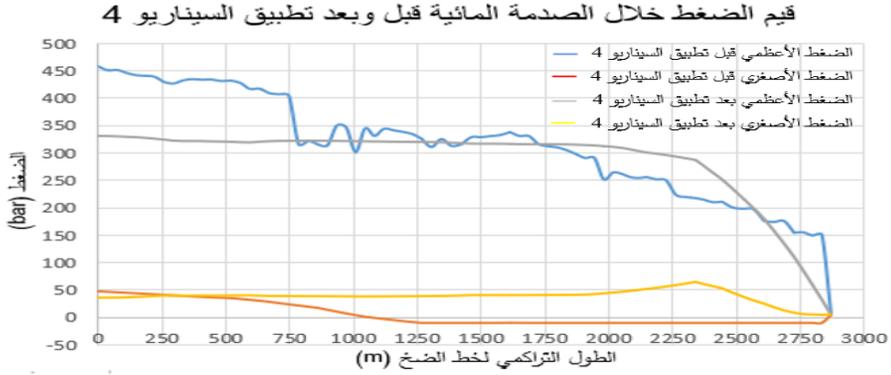


الشكل (13): المقطع الطولي المعبر عن السيناريو الرابع.

الجدول (7): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو الرابع.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الرابع		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	3.58	33.19	T2
3.54	43.44	3.96	32.52	T3
1.74	43.19	3.86	32.32	T4
-1	35	3.8	32.31	T5
-1	32.61	3.87	32.09	T6
-1	33.8	3.99	31.88	T7
-1	33.8	4.05	31.74	T8
-1	29.8	4.11	31.6	T9
-1	26.14	4.69	31	T10
-1	25.61	5.19	30.17	T11
-1	21.77	5.33	28.8	T12
-1	21.12	2.5	25.26	T13
-1	17.6	0.8	18.06	T14
-1	15.53	0.41	11.08	T15

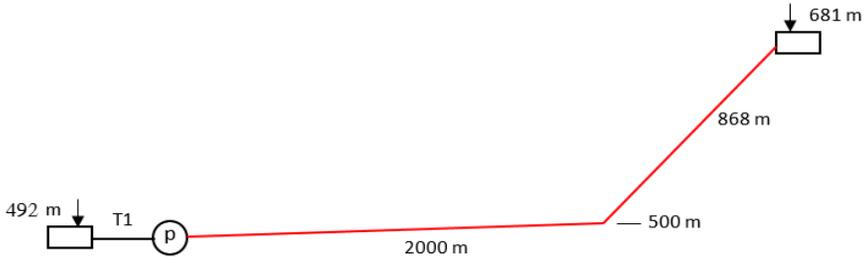
تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية



الشكل (14): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (4).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (4) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 23.2 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (27.45%) كما نلاحظ أن السيناريو الرابع أدى إلى ارتفاع ملحوظ في قيم الضغط الأصغري.

السيناريو الخامس:



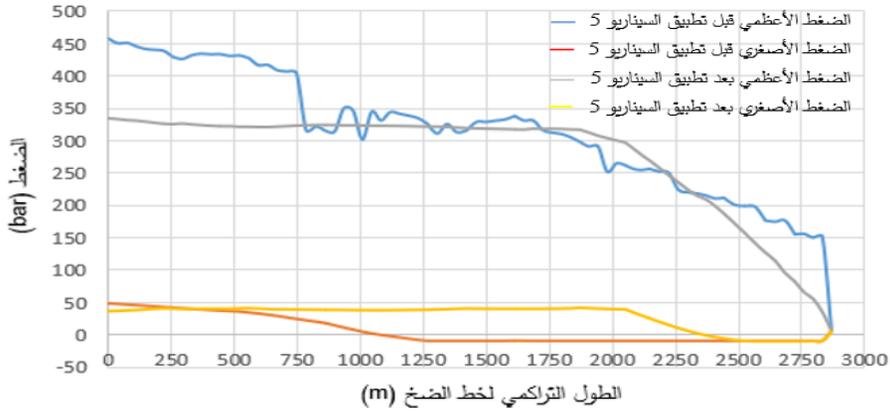
الشكل (15): المقطع الطولي المعبر عن السيناريو الخامس.

الجدول (8): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو الخامس.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الخامس		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	3.58	33.36	T2
3.54	43.44	3.94	32.56	T3
1.74	43.19	3.8	32.34	T4
-1	35	3.74	32.34	T5
-1	32.61	3.81	32.09	T6
-1	33.8	3.95	31.86	T7
-1	33.8	3.95	31.76	T8
-1	29.8	3.86	31.62	T9
-1	26.14	2.51	29.6	T10
-1	25.61	0.2	26.87	T11
-1	21.77	-0.56	21.34	T12
-1	21.12	-1	18.67	T13
-1	17.6	-1	12.62	T14
-1	15.53	-1	8.11	T15

تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية

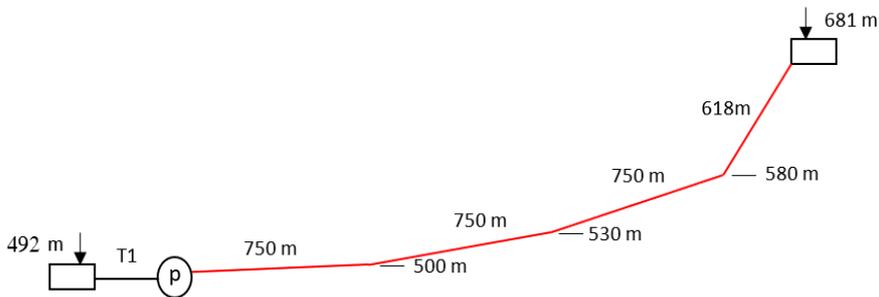
قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو 5



الشكل (16): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (5).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (5) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 16.7 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (27%)، كما تعرض 440 m من خط الضخ للتكهف.

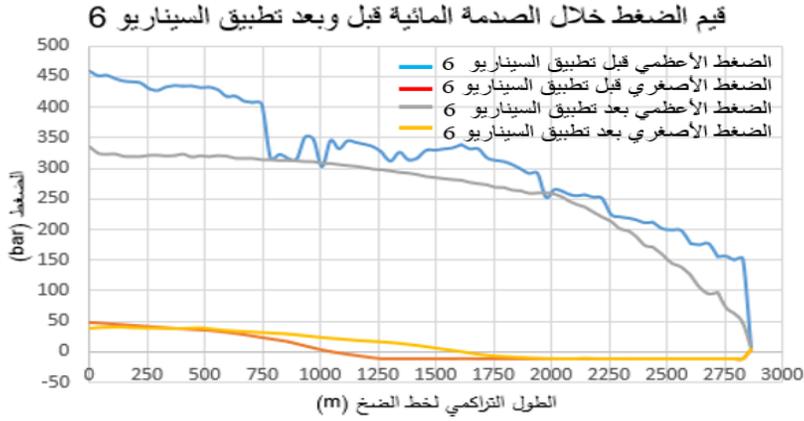
السيناريو السادس:



الشكل (17): المقطع الطولي المعبر عن السيناريو السادس.

الجدول (9): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو السادس.

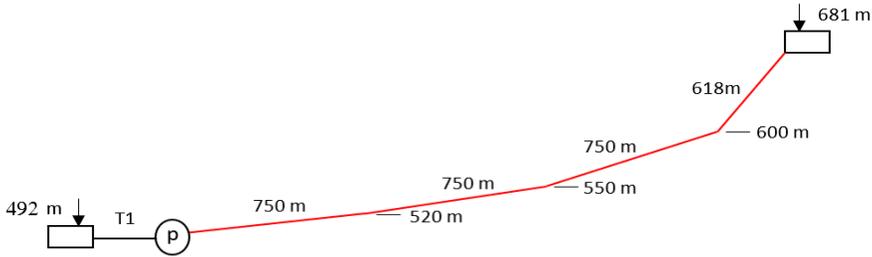
نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو السادس		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	3.87	33.51	T2
3.54	43.44	3.8	32.34	T3
1.74	43.19	2.96	32.11	T4
-1	35	1.7	31.33	T5
-1	32.61	1.12	29.8	T6
-1	33.8	0.13	28.99	T7
-1	33.8	-0.79	28.07	T8
-1	29.8	-1	26.35	T9
-1	26.14	-1	25.27	T10
-1	25.61	-1	23.71	T11
-1	21.77	-1	19.76	T12
-1	21.12	-1	17.12	T13
-1	17.6	-1	12.5	T14
-1	15.53	-1	9.69	T15



الشكل (18): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (6).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (6) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 8.7 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (26.75%)، لكن تعرض 980 m من خط الضخ للتكهف بينما لم يتشكل ضغط إضافي ناتج عن حدوث التكهف.

السيناريو السابع:

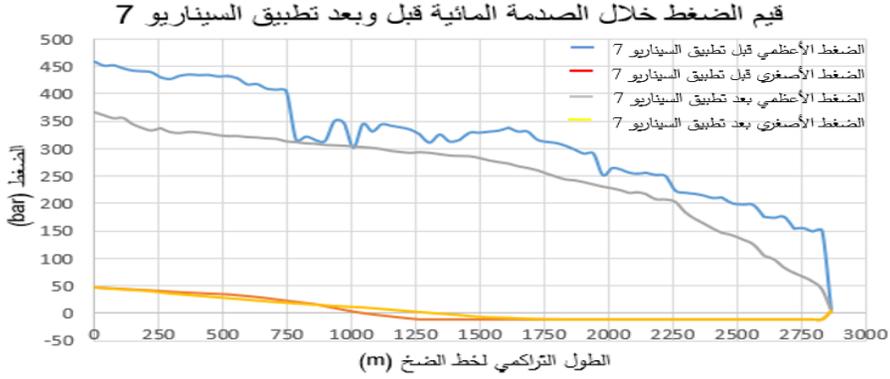


الشكل (19): المقطع الطولي المعبر عن السيناريو السابع.

الجدول (10): مقارنة بين قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو السابع.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو السابع		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	3.76	36.58	T2
3.54	43.44	2.76	33.73	T3
1.74	43.19	1.6	32.28	T4
-1	35	0.29	31	T5
-1	32.61	-0.24	29.36	T6
-1	33.8	-0.7	28.67	T7
-1	33.8	-1	27.28	T8
-1	29.8	-1	24.24	T9
-1	26.14	-1	22.39	T10
-1	25.61	-1	21.75	T11
-1	21.77	-1	17.21	T12
-1	21.12	-1	14.71	T13
-1	17.6	-1	10.52	T14
-1	15.53	-1	7.39	T15

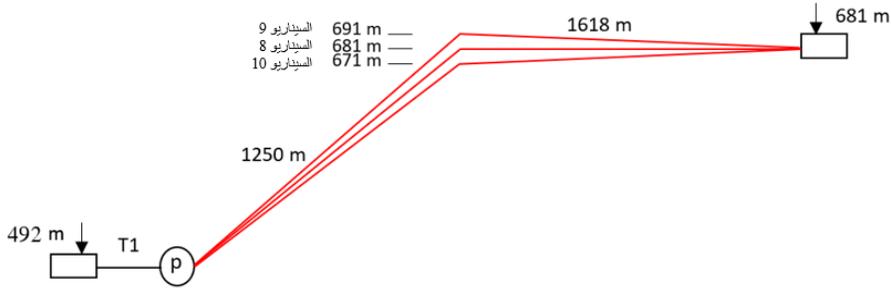
تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية



الشكل (20): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (7).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (7) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~ 6.1 %) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (20%)، وتعرض m 1280 من خط الضخ للتكهف.

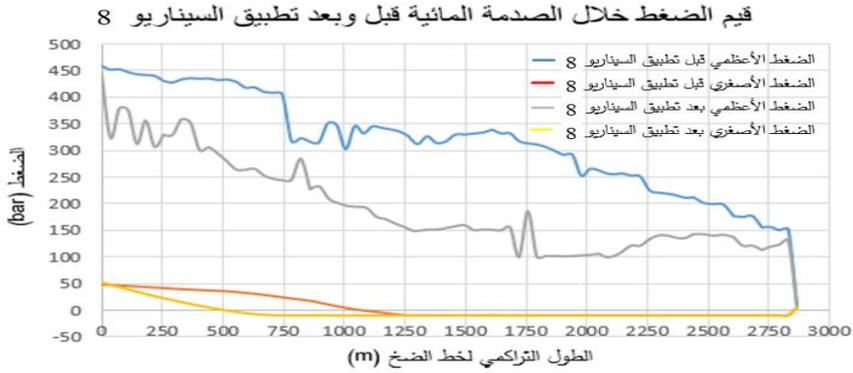
السيناريو الثامن والتاسع والعاشر:



الشكل (21): المقطع الطولي المعبر عن السيناريوهات (8-9-10).

الجدول (11): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو 8.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الثامن		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	2.3	44.2	T2
3.54	43.44	0	35.7	T3
1.74	43.19	-1	28.3	T4
-1	35	-1	23	T5
-1	32.61	-1	15.5	T6
-1	33.8	-1	16	T7
-1	33.8	-1	18.4	T8
-1	29.8	-1	10.5	T9
-1	26.14	-1	10.8	T10
-1	25.61	-1	14	T11
-1	21.77	-1	14.2	T12
-1	21.12	-1	14.2	T13
-1	17.6	-1	13.7	T14
-1	15.53	-1	13	T15



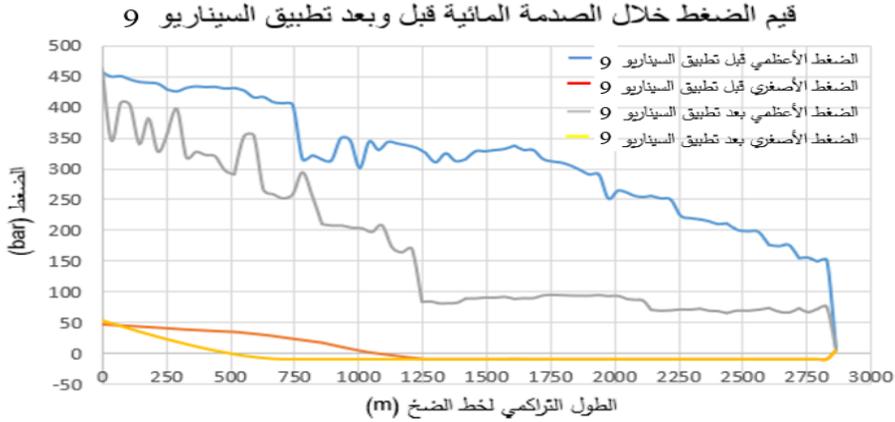
الشكل (22): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (8).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (8) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (20.3% ~ 0) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (3.4%)، وتعرض 2160 m من خط الضخ للتكهف، بينما تجاوزت قيمة الضغط الإضافي الناتج عن

$$\frac{P_c}{P_{max}} = \frac{5.4}{44.2} = 0.122 \text{ وبالتالي يكون } P_c = 5.4 \text{ bar}$$

الجدول (12): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو 9.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو التاسع		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	2.28	46.3	T2
3.54	43.44	-0.2	39.6	T3
1.74	43.19	-1	35.3	T4
-1	35	-1	21	T5
-1	32.61	-1	8.87	T6
-1	33.8	-1	9.1	T7
-1	33.8	-1	9.5	T8
-1	29.8	-1	9.4	T9
-1	26.14	-1	8.77	T10
-1	25.61	-1	7.2	T11
-1	21.77	-1	7.2	T12
-1	21.12	-1	7.3	T13
-1	17.6	-1	7.3	T14
-1	15.53	-1	7.5	T15



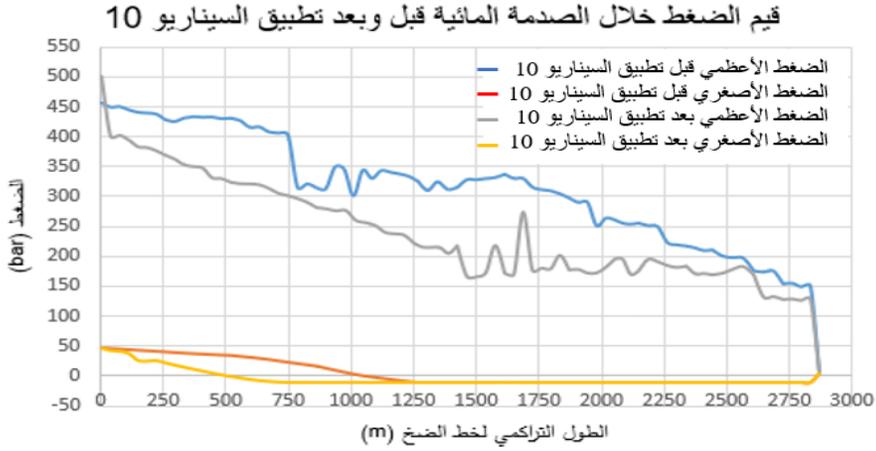
الشكل (23): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (9).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (9) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~22.1%) أدى إلى ارتفاع الضغط الأعظمي بنسبة (1.2%)، وتعرض 2170 m من خط الضخ للتكهف، بينما تجاوزت قيمة الضغط الإضافي الناتج عن التكهف

$$\frac{P_c}{P_{max}} = \frac{7.5}{46.3} = 0.162 \text{ وبالتالي يكون } P_c = 7.5 \text{ bar}$$

الجدول (13): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو 10.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو العاشر		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	2.3	50	T2
3.54	43.44	0	37	T3
1.74	43.19	-1	32.4	T4
-1	35	-1	28	T5
-1	32.61	-1	22	T6
-1	33.8	-1	21.8	T7
-1	33.8	-1	27.3	T8
-1	29.8	-1	19.6	T9
-1	26.14	-1	19.6	T10
-1	25.61	-1	19.5	T11
-1	21.77	-1	18.37	T12
-1	21.12	-1	18.3	T13
-1	17.6	-1	17	T14
-1	15.53	-1	13	T15

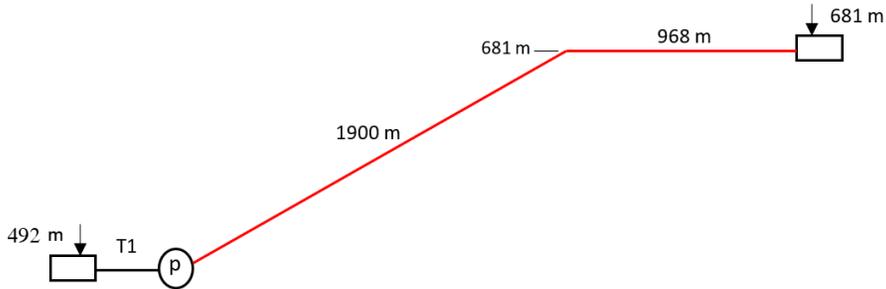


الشكل (24): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (10).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (10) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~18.6%) أدى إلى ارتفاع الضغط الأعظمي بنسبة (9.3%)، وتعرض 2153 m من خط الضخ للتكهف، بينما تجاوزت قيمة الضغط الإضافي الناتج عن التكهف

$$P_c = 11.2 \text{ bar} \text{ وبالتالي يكون } \frac{P_c}{P_{max}} = \frac{11.2}{50} = 0.224$$

السيناريو الحادي عشر:

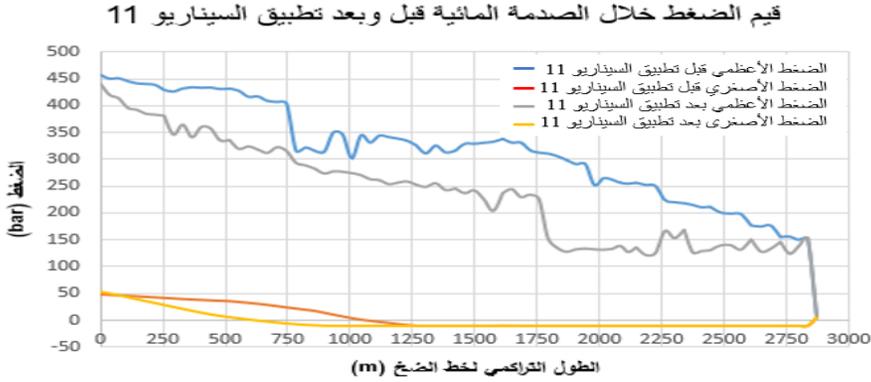


الشكل (25): المقطع الطولي المعيّر عن السيناريو الحادي عشر.

الجدول (14): قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية بعد تطبيق السيناريو 11.

نتائج الحالة العابرة في خط الضخ قبل التعديل		نتائج الحالة العابرة في السيناريو الحادي عشر		الأنبوب
P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	P_{min} (bar)	P_{max} (bar)	
4.13	45.75	2.8	44.1	T2
3.54	43.44	0.6	38.1	T3
1.74	43.19	-0.7	33.6	T4
-1	35	-1	28.2	T5
-1	32.61	-1	25.5	T6
-1	33.8	-1	24.5	T7
-1	33.8	-1	24.4	T8
-1	29.8	-1	13.3	T9
-1	26.14	-1	13.8	T10
-1	25.61	-1	16.8	T11
-1	21.77	-1	16.8	T12
-1	21.12	-1	15	T13
-1	17.6	-1	15	T14
-1	15.53	-1	15.2	T15

تأثير شكل المقطع الطولي لخط الضخ في قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية



الشكل (26): قيم الضغط خلال الصدمة المائية قبل وبعد تطبيق السيناريو (11).

نلاحظ من نتائج تطبيق السيناريو (11) أن تعديل شكل المقطع الطولي بنسبة (0 ~14%) أدى إلى انخفاض الضغط الأعظمي بنسبة (3.6%)، بينما تعرض 1960 m من طول الأنبوب للتكهف، وتجاوزت قيمة الضغط الإضافي الناتج عن

$$\frac{P_c}{P_{max}} = \frac{5.33}{44.1} = 0.12 \text{ وبالتالي يكون } P_c = 5.33 \text{ bar}$$

التكهف

8- تأثير شكل المقطع الطولي في اختيار وسائل الحماية:

سنقوم بتطبيق أجهزة حماية من الصدمة المائية لخط الضخ الأساسي قبل تعديل مقطعه الطولي ثم تطبيق أجهزة حماية من الصدمة المائية لخط الضخ المقترح في السيناريوهات (4-6-7) وتبعاً للنتائج سنرى هل كان لتعديل شكل المقطع الطولي لخط الضخ تأثيراً في التقليل من عدد وحجم أجهزة الحماية اللازمة.

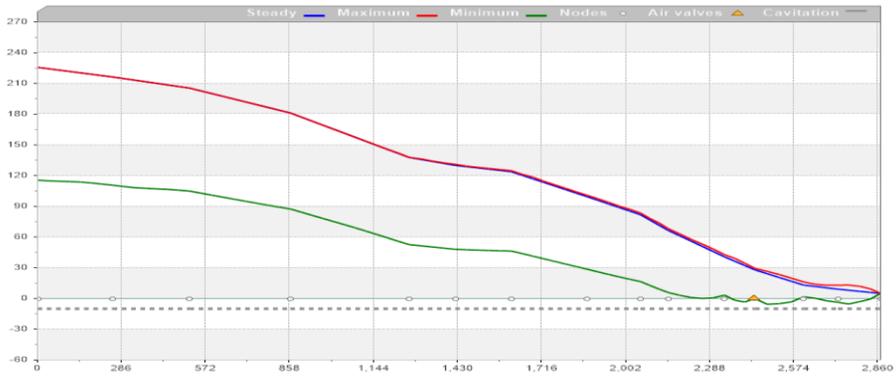
السيناريو 12: حماية خط الضخ الأساسي: تركيب خزان ضغط بحجم 0.25 m^3 في بداية خط الضخ بضغط أولي 9 bar وصمام مزدوج في العقدة N16 من النوع (Aduc. DN 80 + Vent. DN 50) وخزان توازن بحجم 0.2 m^3 في العقدة N17.

السيناريو 13: حماية الخط المقترح في السيناريو 4: تركيب خزان ضغط بحجم 0.2 m^3 بضغط أولي 9 bar في بداية خط الضخ "المقترح في السيناريو 4".

السيناريو 14: حماية الخط المقترح في السيناريو 6: تركيب خزان ضغط بحجم 0.25 m^3 بضغط أولي 9 bar في بداية خط الضخ، وصمام مزدوج في العقدة N17 من النوع (Aduc. DN 80 + Vent. DN 50) لخط الضخ "المقترح في السيناريو 6"
السيناريو 15: حماية الخط المقترح في السيناريو 7: تركيب خزان ضغط بحجم 0.25 m^3 بضغط أولي 9 bar في بداية خط الضخ، وخزان توازن بحجم 0.2 m^3 في العقدة N18 لخط الضخ "المقترح في السيناريو 7"

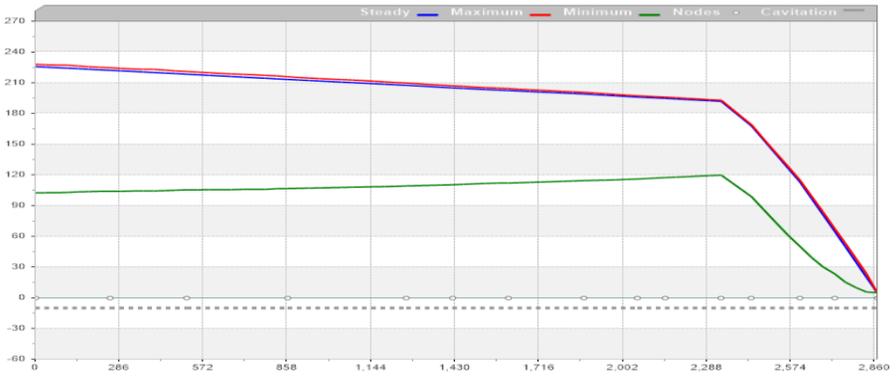
الجدول (15): نتائج السيناريوهات (12-13-14-15)

السيناريو 15		السيناريو 14		السيناريو 13		السيناريو 12		الأنبوب
P _{min} (bar)	P _{max} (bar)							
10	22.58	10.68	22.58	10.25	22.81	11.07	22.58	T2
9.26	21.35	10.59	22.05	10.4	22.48	10.5	21.64	T3
8.17	20.11	10.14	21.46	10.54	22.11	8.75	20.56	T4
6.94	18.38	8.87	20.38	10.67	21.59	5.27	18.13	T5
6.47	16.33	8.4	18.33	10.93	20.98	4.81	13.78	T6
5.56	15.51	7.51	17.51	11.04	20.7	4.65	13.11	T7
4.13	14.25	6.05	16.25	11.2	20.44	2.88	12.5	T8
3.17	12.26	5.03	14.36	11.44	20.08	1.67	10.1	T9
2.67	10.86	4.55	12.81	11.6	19.73	0.59	8.35	T10
1.07	10.1	2.72	12.28	11.74	19.61	0.02	6.83	T11
0	8.04	1.56	9.87	9.86	19.3	-0.33	4.29	T12
-0.3	6.57	-0.22	8.54	5.01	16.89	-0.55	2.95	T13
0.21	4.28	-0.22	6.29	2.35	11.47	-0.36	1.63	T14
0	2.56	-0.38	4.59	0.5	6.77	-0.53	1.32	T15



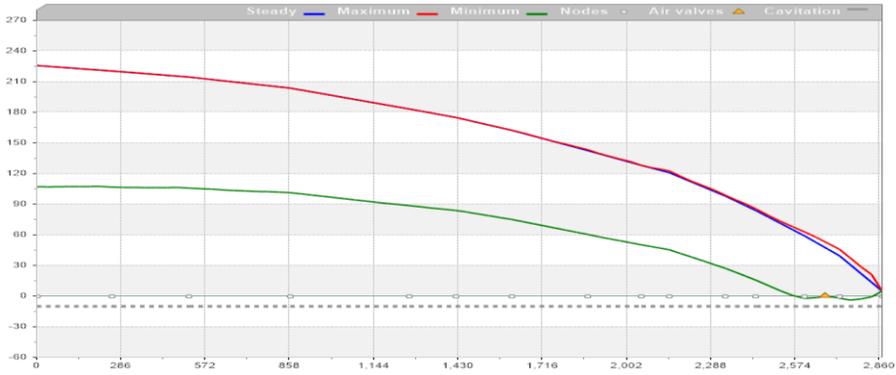
الشكل (27): الضغوط الأعظمية والأصغرية خلال الصدمة المائية الناتجة عن تطبيق

السيناريو 12



الشكل (28): الضغوط الأعظمية والأصغرية خلال الصدمة المائية الناتجة عن تطبيق

السيناريو 13



الشكل (29): الضغوط الأعظمية والأصغرية خلال الصدمة المائية الناتجة عن تطبيق السيناريو 14



الشكل (30): الضغوط الأعظمية والأصغرية خلال الصدمة المائية الناتجة عن تطبيق السيناريو 15

9- الاستنتاجات:

- إن لشكل المقطع الطولي تأثير مباشر في الضغط الناتج عن الصدمة المائية المتشكلة بعد توقف المضخة، كما له تأثيراً في التقليل من عدد وحجم أجهزة الحماية اللازمة للحماية من الصدمة المائية.
- إن قيمة الضغط الأعظمي الناتج عن الصدمة المائية مكونة من قسمين: الأول هو المحسوب من علاقة جوكوفسكي وهو متعلق بالخواص الفيزيائية للأنياب والسائل وليس له علاقة بشكل المقطع الطولي، والقسم الثاني هو الضغط الإضافي الناتج عن تشكل وانصعاق تجاوير البخار والذي تختلف قيمته من مقطع طولي لآخر.
- بإمكاننا تخفيض الضغط الأعظمي الناتج عن حدوث الصدمة المائية لغاية 27.45% من خلال تعديل التصميم إن أمكن للابتعاد عن المقاطع الطولية التي يحدث فيها تكهف.
- كلما انخفض منسوب الكوع يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في قيم الضغط الأصغري مما يمنع حصول التكهف.
- كلما ابتعد الكوع عن الحدث المؤدي للصدمة تنخفض قيمة الضغط الإضافي الناتج عن تشكل وانصعاق بخار الماء.
- في حال عدم وجود ذروة في المقطع الطولي فإنه كلما ازداد طول الجزء المعرض للتكهف تزداد قوى الضغط الأعظمية الناتجة عن الصدمة المائية.
- كلما ارتفع منسوب الذروة ازداد طول الجزء المعرض للتكهف من الأنبوب.

- كلما ابتعدت الذروة عن الحدث المؤدي للصدمة قلَّ طول الجزء المعرض للتكهف من الأنبوب.
- عندما لا يتعرض خط الضخ لحدوث التكهف يكون الضغط موجباً على كامل المقطع الطولي وبهذه الحالة يكفي خزان الضغط لوحده في الحماية من الصدمة المائية.

10- التوصيات:

- ضرورة العمل واكتشاف نموذج لضمان التصميم الأمثل الذي يجمع بين الاقتصادية وتخفيف الضرر الناتج عن الصدمة المائية.
- استخدام برنامج Allievi في حساب الضغوط الناجمة عن الصدمة المائية، ونمذجة الطول المقترحة للحماية منها، لما يتمتع به من إمكانيات هائلة في إدخال البيانات وتحليل النتائج وعرضها.

المراجع:

- {1} حسن، عز الدين؛ فويتي، فاطمة. (2003). الآلات المائية ومحطاتها، منشورات جامعة تشرين، سوريا، 324.
- {2} معلا، وائل. (1993). الجريان غير المستقر في الأنابيب، منشورات جامعة دمشق، سوريا، 208.
- {3} Friedman, M., Radder, L., Gullick, R., & Wood, D. (2003). Verification and control of low pressure transients in distribution systems. In 2003 Water Quality Technology Conference: Stewardship of Drinking Water Quality (p. 2003).
- {4} Wylie, E. B., & Streeter, V. L. (1978). Fluid transients. New York.
- {5} Boulos, P. F., Karney, B. W., Wood, D. J., & Lingireddy, S. (2005). Hydraulic transient guidelines for protecting water distribution systems. Journal-American Water Works Association, 97(5), 111-124.
- {6} Jones, G. M; Sanks, R. L; Bosserman, B. E; Tchobanoglous, G. 2006. Pumping station design. Gulf Professional Publishing.
- {7} جرجي، عادل؛ ابراهيم، غسان. (2009). محطات الضخ. منشورات جامعة البعث. سوريا، 425.

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

أ.د عادل جرجي - المشرف العلمي - أستاذ في قسم هندسة وإدارة الموارد المائية
- كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث .
م. غنوة إبراهيم خضور - طالبة ماجستير في قسم هندسة وإدارة الموارد
المائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

ملخص:

- نظراً لأهمية الصدمة الهيدروليكية، تضمن البحث نمذجة لخط ضخ قرية المشرفة بحالته المستقرة ومن ثم دراسة مشكلة الصدمة الهيدروليكية الناجمة عن توقف المضخة (انقطاع التيار الكهربائي)، وتحديد الضغوط الأعظمية والأصغرية الناتجة عنها، واقتراح الأساليب والطرائق المناسبة للتخلص من هذه الظاهرة أو التخفيف من آثارها السلبية. يهدف البحث إلى إدخال البرمجيات الحاسوبية في مجال الدراسة، حيث اعتمدنا على برنامج {Allieve} في مجال الدراسة، وأعدت مجموعة من السيناريوهات التي تتناول وسيلة الحماية [unidirectional tank]، وتمت مناقشة سيناريوهات تأثير مواصفاته من حيث حجمه ومكان توضعه في قيم الضغط الناتجة .

- أجريت دراسة وصفية تحليلية لظاهرة الصدمة المائية الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخة، حيث يعاني الخط المدروس من وجود ضغوط سالبة وصلت إلى حد التكهف خاصة في بداية خط الضخ وفي نهايته وكان تأثير استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة بحجم 1.57m^3 (حيث قطر الخزان $D=1\text{m}$) ووضعه في أعلى نقطة في

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضع في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

خط الضخ وبالقرب من المضخة إيجابياً في رفع قيم الضغوط الأصغرية والمحافظة على نتائج الحالة المستقرة.

وقد تم الحصول على نفس النتائج تقريباً بالمحافظة على مكان توضع الخزان وتغيير حجمه (تغيير القطر مع المحافظة على مكان توضع لم يحدث تغييراً في النتائج، بينما كانت النتائج إيجابية عند تغيير موقع الخزان مع المحافظة على القطر (المحافظة على الحجم) ووضعه في النقاط المرتفعة المنسوب (الذرا) في بداية خط الضخ بالقرب من المضخة بعد صمام عدم الرجوع وفي منتصف خط الضخ وذلك في رفع قيم الضغط الأصغري على كامل الخط المدروس.

وكان تأثير موقع الخزان في عمل المنظومة الضخ يزداد كلما اقترب مكان توضع من السبب المؤدي لحدوث الصدمة المائية، وأنه كلما زاد ارتفاع الخزان عن منسوب توضع أعطى نتائج جيدة وكان أداءه أفضل..

وقد تم التوصل إلى نتيجة مفادها، أن اختيار الموقع المناسب لوضع الخزان أكثر أهمية من زيادة حجمه في موقع غير دقيق، وليبيان مدى فاعلية وتأثير زيادة حجم الخزان عن طريق زيادة القطر مع المحافظة على مكان توضع في التخفيف من آثار الصدمة المائية، فقد تبين أن زيادة حجم الخزان لا يؤثر في الصدمة المائية، كما أنه غير اقتصادي.

الكلمات المفتاحية: الصدمة المائية - خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة - حجم

الخزان - الذرا (النقاط العالية المنسوب) - تكهف

Effect of unidirectional tank specifications in terms of size and location on protecting pumping lines from water hammer.

Pro.Dr: Adel Georgi-Professor in Water Resources Engineering and Management Department, Faculty of Civil Engineering. AL Baath University .

Eng.Ghinwa Ibrahim Khadoor, Master Student in Water Resources Engineering and Management Department, Faculty of Civil Engineering, AL Baath University.

Abstract:

Because of the important of water hammer, the research included modeling of the (AL-Mushrifah village) pumping line in its steady state and study water hammer problem caused by pump failure (due to a power outage) and determine the maximum and minimum pressure in this line and suggest suitable procedures and methods to avoid it

-The research also aims to use the software in the studies, we depend on{ Allieve program},a range of scenarios were developed which deals with protection (unidirectional tank), in addition, scenarios were discussed whose specifications impact in size and placement on the resulting pressures .

--An analytical descriptive study was conducted of the phenomenon of water shock resulting from the sudden stop of the studied pump. The line studied has negative pressures up to cavitation especially at the beginning and end of the pump line,

The effect of using a unidirectional tank was volumetric (1.57) cubic meters($D=1m$) and placing it at the highest point in the pumping line near the pump, it gave positive results, in raising the

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

minimum pressure values as well as reducing the maximum pressure values formed at the end of the pump line.

- When we kept the tank in place and changed its diameter (changing size) we got almost the same results; that is, changing the diameter while keeping the position there was no change in the results. By repositioning the tank with the diameter maintained (volume maintained) and placing it at the elevated points at the start of the pump line after the non-return valve and in the middle of the pump line, the results were positive for the entire line -

The impact of the tank of the pumping system work had been increased, whenever the place of installation of tank became closer to the reason leading to occurrence of water hammer. the higher the tank is, the better the results are .

The conclusion was reached: Selecting a suitable location for placement is more important than increasing its size at an unsuitable location and to show how increasing the size of the reservoir by increasing the diameter while retaining its position mitigates the effects of a water shock: it has been shown that increasing the size of the reservoir does not affect the water shock and is uneconomical.

Keywords: water Hammer- unidirectional tank- volume tank- pressure envelops- Summits (high dots) –cavitation .

1- مقدمة:

إن أية منشأة مائية كهربائية تتعرض لتحويل القدرة الكهربائية إلى قدرة مائية (أو بالعكس)، وذلك عن طريق أجهزة هي المضخات (أو العنفات)، فمن الممكن أن يعترض هذا التحويل مشكلات عدة، كتناقص أو تزايد في الضغط بصورة كبيرة ومفاجئة، وهذه التغيرات تحصل عند تغير شروط العمل كتغير وضع سكر الإغلاق و الفتح، أو انقطاع التيار الكهربائي المغذي لمحرك المضخة أو لأسباب أخرى.

وقد ينتج عن هذه التغيرات بعض الأخطار المهمة مثل تسطح أنبوب الدفع نتيجة نقصان الضغط، أو حصول جيوب غازية تؤدي إلى كسر الأنبوب نتيجة التزايد الكبير بالضغط، ويؤدي حدوث تغيرات مفاجئة في تدفق السائل إلى تغيرات مفاجئة وكبيرة في الضغط ((وهذا ما يسمى بالصدمة المائية))، ويطلق على هذه الظاهرة، أسماء متعددة منها الضغوط العابرة (Transient pressure)، أو الصدمة الهيدروليكية Water Hammer)) والمصطلح الأخير هو الأكثر شيوعاً. [1]

2- الهدف من البحث:

دراسة تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث الحجم والمكان، في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة الهيدروليكية والتخفيف من آثارها من جهة، ومن جهة أخرى الحصول على وسيلة حماية من الصدمة المائية محلية الصنع، وذات تكلفة منخفضة، وذلك بدراسة التوقف المفاجئ لمضخات أفقية ((خط ضخ قرية المشرفة)).

3 - مواد وطرق البحث:

تم نمذجة خط الضخ بالاعتماد على برنامج أليفي، يقوم برنامج (Allieve) باستخدام طريقة الخواص (Method of Characteristics) لحل معادلاتي الحركة والاستمرار ، إذ يقوم بتبسيط العملية المعقدة لبناء نموذج للصدمة المائية، ولكون ظاهرة الصدمة المائية معقدة لا يمكن الاعتماد على الحلول اليدوية في دراستها وتحليلها ، ومع انتشار البرامج الحاسوبية المتخصصة التي تعطي تجسيدا حقيقيا لهذه الظاهرة وأماكن حدوثها، ووسائل الحماية منها ،مما وفر الكثير من الوقت والجهد الذي كان يبذل في أثناء الحل بالطرائق اليدوية

1-1-تعريف الصدمة المائية (Water Hammer):

تُعرف هذه الظاهرة بأبسط أشكالها بأنها تغير مفاجئ في الضغط، زيادة أو نقصان في مقطع ما من الجريان المضغوط في الأنابيب، والنتائج عن التغير المفاجئ في معدل الجريان في هذا المقطع مع الزمن... تظهر هذه التغيرات على شكل أمواج ضغط تنتشر على طول الناقل تصل سرعتها في بعض الأحيان إلى سرعة انتشار الصوت في السائل، حيث تنتقل هذه الأمواج من النقطة التي حصل عندها التغير وتنعكس عائدة إليها إلى أن تتخامد بشكل نهائي بفعل الاحتكاك في الناقل... [2]

ويمكن تلخيص الأفعال التي تسبب صدمات مائية بما يأتي: [15]

-إيقاف وإعادة تشغيل المضخات.

-إغلاق وإعادة فتح الصمامات (تغير المقطع العرضي للجريان)

-تغيير مفاجئ في الاستهلاك المائي مثل تشغيل فوهات الحريق.

-تغير بحالة أنابيب الضخ مثل كسر إحداها.

-إملاء وتفريغ الأنابيب وما يوافقه من إدخال وإخراج الهواء من الأنابيب باستخدام الصمامات.

2-1- الأخطار الناتجة عن الصدمة المائية:

ينتج التغير السريع والمفاجئ للتدفق والضغط ضمن النظام الأخطار الآتية:

1- ضغط عالي جداً: يؤدي إلى تمزق خط الأنابيب أو تشوه دائم فيها وإلى ضرر في مانعات التسرب، وإذا كانت المواد المتسربة مواد كيميائية أو بترولية قد يؤدي تسربها إلى تلوث بيئي أو خطر حدوث حرائق.

2- ضغط منخفض جداً: ربما يسبب انهيار في خط الأنابيب وتسرب إلى داخل الأنبوب عبر الوصلات ومانعات التسرب ويمكن أن ينتقل التلوث إلى الأنبوب ويحدث اشتعال في بعض السوائل إذا تم امتصاص الهواء، كما أن الضغط المنخفض يسبب التكهف الذي بدوره يسبب تآكل الجدران الداخلية للأنابيب.

3- التدفق العكسي: يسبب أضراراً في مانعات التسرب في المضخة وضرراً في بعض مكوناتها وإلى تصريف وتفريغ الخزانات العلوية.

4- سرعة تدفق منخفضة جداً: تتسبب في ترسب الطمي والمواد الصلبة ضمن الأنبوب مما يؤدي إلى انسداد جزئياً.

5- الإضرار بالصمامات والمضخات وأجهزة قياس التدفق.

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

3-1- وسائل الحماية من موجة الصدمة الهيدروليكية:

3-1-1- خزان الهواء المضغوط: (Air Chamber (Air Accumulator):

يعد خزان الهواء المضغوط من أكثر الوسائل استخداماً لإخماد موجة الضغط الناتجة عن الصدمة المائية في مشاريع المياه، وأكثرها موثوقية بشكل خاص لتجنب التأثيرات الناتجة عن التوقف الكامل للمضخة. [4]

ويتكون من وعاء يحتوي على غاز مضغوط في جزئه العلوي (عادة الهواء) وسائل في جزئه السفلي، أما الموقع المفضل في شبكة الانابيب لوضع هذا الخزان عند طرف تصريف المضخة وبعد سكر عدم الرجوع مباشرة، ويربط عادة عند بداية الدفع على أنبوب الامتصاص عندما يكون أنبوب الامتصاص طويلاً وحجم الهواء المطلوب في الوعاء يكون محكوماً بعدة عوامل (طول الأنبوب - مساحة المقطع العرضي - سرعة التدفق الأولية).

ويحدد الحجم الكلي للوعاء بالمدى الذي يتمدد به الهواء وينخفض الضغط، مضافاً إليه عامل أمان لضمان عدم التصريف الكامل للماء من الوعاء، وبالتالي فإن حجم الخزان يجب أن يكون كبير بشكل كافي حتى يبقى الماء في الخزان حتى نهاية موجة الضغط المنخفض (لا يفرغ الخزان من الماء)، وأيضاً المحافظة على الهواء المضغوط في الخزان عند أعلى قيمة لموجة الضغط العالي.. كما يبين الشكل (1-1)



الشكل (1-1) يبين خزان الهواء المضغوط

3-1-2- خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة (unidirectional tank):

عبارة عن وعاء بحجم مناسب يشبه خزان الماء المكشوف، ولكنه يملك صمام عدم رجوع مما يسمح بتصغير ارتفاعه ويمتلك فواشة حيث يتم إعادة ملئه من الجريان المار بالأنبوب، ويعمل خزان التوازن وحيد الاتجاه عندما يهبط خط التدرج الهيدروليكي تحت المقطع الطولي للأنبوب فيندفق الماء من الخزان إلى الأنبوب مما يؤدي إلى رفع قيم الضغط، أي أن الخزان يؤمن حماية مباشرة من الضغوط تحت الجوية في النظام .

ومن الممكن تركيب أكثر من خزان بحسب مقتضيات المقطع الطولي للأنبوب، ويؤدي استخدام هذا النوع إلى خفض في حجم وكلفة خزان الهواء المضغوط المركب بالقرب من المضخة وعند وضعه على الأنبوب الرئيسي من الضروري وجود وقت كافي لإعادة ملء الخزان قبل إعادة تشغيل المضخات...

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضع في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

3-1-2-1-آلية عمل خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة:

يستخدم للحماية من الضغوط المنخفضة غير المسموحة، فعندما ينخفض الضغط عند مدخل الخزان إلى أقل من منسوب السائل في الخزان يفتح صمام عدم الرجوع للسماح بتدفق السائل من الخزان إلى خط الأنابيب، وإن وجود صمام عدم الرجوع عند مدخل الخزان يمنع عودة السائل باتجاه الخزان. [14]

وبعبارة أخرى يسمح خزان التوازن بالحد من تغيرات الضغط الناتجة عن الصدمة الهيدروليكية، فعند حصول ارتفاع في الضغط يدخل جزء من ماء الأنبوب إلى الخزان، وعند انخفاض الضغط يقوم الخزان بتغذية الأنبوب بالماء، حيث أن الخزان يمتلئ بالسائل خلال زمن الضخ الطويل. هذا النوع الجديد من خزانات التوازن له فواشة محلي الصنع، شبيه بخزانات المياه في المنازل ويتم رفعه على أعمدة من البيتون ليكون أداءه أفضل، الشكل (2-1)، وإن جود الفواشة يقلل من ارتفاع الخزان، وبالتالي نحافظ على المياه الموجودة في الخزان ومن ناحية أخرى يكون ذو حجم أصغر، ويؤدي نفس الغرض عندما ينخفض الضغط في الخط إلى ما يقارب الضغط الجوي يتدفق السائل من الخزان إلى الأنبوب لتعويض الانخفاض في الضغط و لمنع تشكل ضغوط سالبة، من ناحية ثانية وجود الفواشة ((تتحمل ضغطاً يصل إلى أكثر من 10bar)) هو الذي يقلل من ارتفاعه، ونحن هنا نتحدث عن خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة **One-way surgetank** أو **(Unidirectional tank)**.. [14]



الشكل (1-2) النوع الجديد من خزانات التوازن (Unidirectional tank)

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

3-1-2-2-ميزات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة:

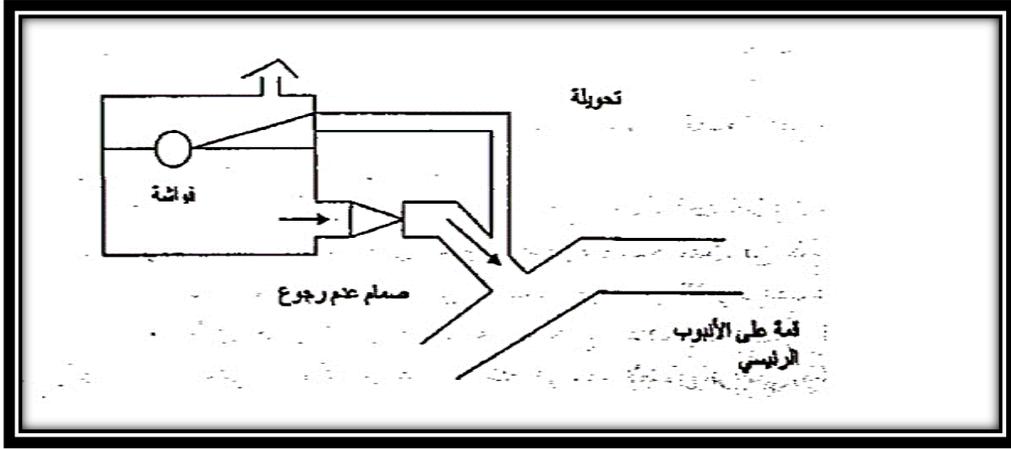
يمتاز هذا النوع من الخزانات بالخصائص الآتية:

- وثوقية جيدة فهو يؤمن حماية من التكهف ويخفف من موجة ارتفاع الضغط.
- لا يحتاج إلى معدات مساعدة في التشغيل سوى مراقبة منسوب الماء في الخزان.
- محلي الصنع.
- ذو كلفة منخفضة مقارنة بغيره من أجهزة الحماية (كخزان الهواء المضغوط ذو الكلفة المرتفعة)
- تم تصنيفه من قبل الهيئة الأمريكية لأعمال المياه على أنه أحد تجهيزات الحماية من المطرقة المائية الأساسية والفعالة.

3-1-2-3-أقسام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة: [12]

عبارة عن خزان عادي مثل المركب في المنازل يتكون من الأقسام الآتية كما يبين الشكل (1-3):

- 1-أنبوب للتغذية.
- 2-أنبوب لخروج المياه من الخزان باتجاه خط الضخ.
- 3- صمام عدم رجوع يسمح فقط بخروج الماء باتجاه الخط الرئيسي.
- 4-محبس فراشة أو فواشة، يركب في نهاية أنبوب التغذية وذلك ليسمح بإغلاق أنبوب التغذية عند امتلاء الخزان.



الشكل (1-3) يبين أقسام الخزان

1-4- البرامج المستخدمة في حساب الصدمة المائية:

1-1-4-Allieve_برنامج:

هو عبارة عن برنامج حاسوبي لمحاكاة جريان السوائل المضغوطة داخل شبكة الأنابيب، إذ يمكن استخدامه لدراسة كل من الحالة المستقرة (Steady) والحالة العابرة (Transient)، مع إمكانية إدخال تأثير جميع الأجهزة الملحقة بالنظام والأجهزة الأخرى المستعملة للتخفيف من الآثار الناتجة عن الحالة العابرة، وبالتالي تحديد الخيار الأفضل للتخفيف من قيم الضغط الناتج عن الصدمة المائية. يقوم برنامج (Allieve) باستخدام طريقة الخواص لحل وحساب الصدمة المائية، إذ يقوم بتبسيط العملية المعقدة لبناء نموذج للصدمة المائية. [9]

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

4-1-2-إمكانيات البرنامج:

1-نمذجة أنواع مختلفة من أجهزة ومعدات التخفيف من الصدمة المائية، واختيار جهاز الحماية المناسب ومعرفة تأثير عمله على المنظومة المدروسة..

2-حساب الصدمة المائية اعتماداً على الزمن، أو على أي حادث آخر يمكن أن يطرأ على النظام كتغير الشروط الحدية للنظام، (انخفاض الضغط إلى حد معين في نقاط النظام مثلاً).

3-إظهار تأثير تعديل مواصفات عدد من الأجهزة المكونة للنظام على قيم الضغط الناتجة عن الصدمة المائية مثل تعديل سرعة إغلاق الصمام، وسرعة توقف المضخة الخ.

4-حساب القوى الناتجة عن الصدمات المائية، والمؤثرة في أي نقطة من نظام الضخ، وكذلك تحديد الضغوط الاسمية التي يمكن أن يتحملها الجهاز المتأثر بهذه القوة.

5-تجربة ظروف تشغيل وسيناريوهات عمل مختلفة، ودمجها ضمن ملف عمل.

5-1-الدراسة العملية:

تم تطبيق دراسة الصدمة المائية على خط ضخ قرية المشرفة وفق الحالة الأكثر خطورة، وهي توقف المضخات بشكل مفاجئ والناتجة في أغلب الأحيان عن انقطاع التيار الكهربائي، وذلك باستخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة كوسيلة حماية من الصدمة المائية، و مناقشة سيناريوهات تأثير مواصفاته من حيث حجمه ومكان توضعه في قيم الضغط الناتجة .

-يذكر أن أهالي هذه القرية منذ عام (2004)، وهم في معاناة للحصول على المياه بسبب عدم جاهزية شبكة المياه في القرية المذكورة ونتيجة لذلك تم العمل على دعم البلدة المذكورة بمياه الشرب عن طريق /مشروع جر مياه مدينة حمص إلى قرية المشرفة/ نظراً لعدم توفر مصادر مائية، ولكون حمص أقرب مصدر مائي يمكن الاعتماد عليه لإرواء هذه البلدة من /محطة ضخ منطقة الزهراء/.

5-1-1- مواصفات الخط المدروس:

-يتم الضخ من خزان أرضي موجود في موقع خزانات الزهراء في مدينة حمص إلى الخزان العالي في قرية المشرفة.

-يبلغ طول الخط الواصل بين خزانات الزهراء في مدينة حمص والخزان العالي في المشرفة m (14800)

-المنسوب الأصغري للماء داخل الخزان الأرضي في حي الزهراء يبلغ (520m).

-أما منسوب الأرض الطبيعية عند خزان المشرفة فيبلغ (516m).

-ارتفاع خزان المشرفة حتى الحلة يبلغ (25m).

-الضخ يتم بواسطة مضخات أفقية يتم تركيبها في صالة الضخ الموجودة في موقع خزانات الزهراء والتي تتخفف عن منسوب الأرض الطبيعية بحوالي (5m) .

وتم تنفيذ خط من أنابيب البولي إيثيلين بقطر (280mm)، يصل بين محطة ضخ الزهراء والخزان العالي في قرية المشرفة لتزويد بلدة المشرفة بالمياه.

-خط الضخ طوله الكلي تقريباً 15km مقسم إلى ثلاثة أجزاء:

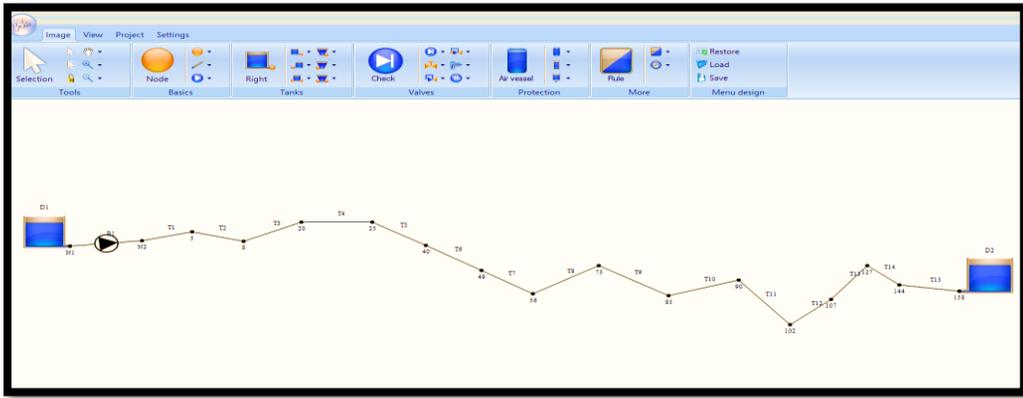
تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

الجزء الأول: أنابيب من البولي إيثيلين من النوع (PE100) بضغط اسمي (20 bar).

الجزء الثاني: أنابيب من البولي إيثيلين من النوع (PE100) بضغط اسمي (16 bar).

الجزء الأخير: أنابيب من البولي إيثيلين من النوع (PE 100) بضغط اسمي (10 bar).

ويبين الجدول (1-1) أطوال ومناسيب الأنابيب المكونة لخط ضخ المشرفة.



الشكل (1-4) النموذج المعبر عن خط ضخ المشرفة الذي تم إدخاله ضمن برنامج .Allieve

تم رسم خط الضخ عن طريق أخذ النقاط المميزة من الخط بدلاً من إدخال جميع النقاط كما يبين الشكل (1-4):

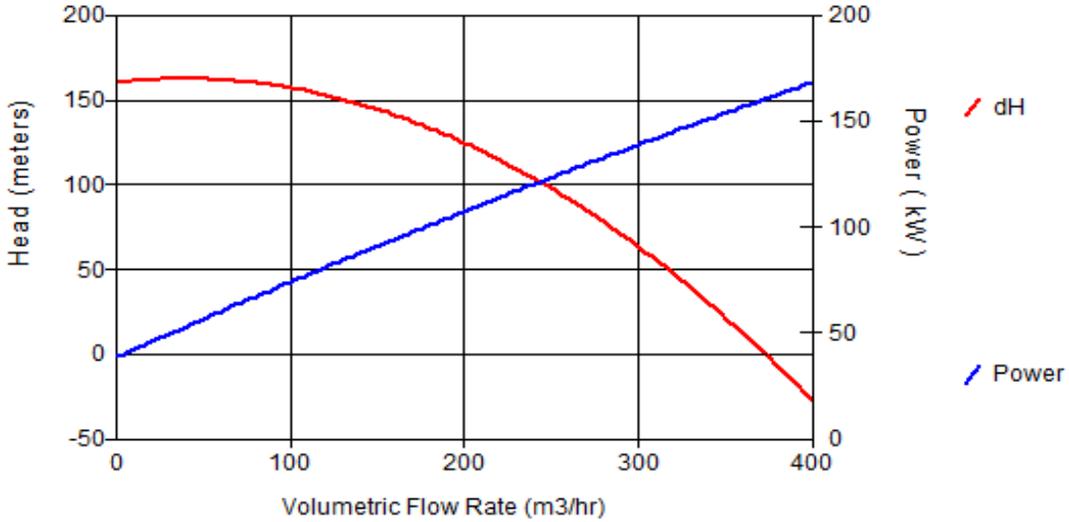
الجدول (1-1) أطوال ومناسيب الأنابيب المكونة لخط ضخ المشرفة

Pipe الأنبوب	Length (m) الطول	X(start)	X(End)
T1	272.57	0	272.57
T2	140	272.57	412.57
T3	669	412.57	1081.57
T4	237.5	1081.57	1319.07
T5	1048	1319.07	2367.07
T6	708	2367.07	3075.07
T7	537.5	3075.07	3612.57
T8	1797	3612.57	5409.57
T9	955	5409.57	6364.57
T10	590	6364.57	6954.57
T11	1407	6954.57	8361.57
T12	675	8361.57	9036.57
T13	2122	9036.57	11158.57
T14	1099	11158.57	12257.57
T15	2518	12257.57	14775.57

5-1-2- مواصفات المضخة المستخدمة:

KSB multitec125 10.1/5/Ø305 JL 104/CC480K-GC الرفع المقدم من المضخة عند نقطة العمل: حوالي (125m) و التصريف حوالي (201 m³/hr).
بالتالي نحن بحاجة للضخ حوالي 15 ساعة لتأمين 3000m³ المطلوبة للمشروع،
ويبين الشكل (1-5) المنحني المميز للمضخة المختارة كما يبين الجدول (1-2) مواصفات السائل المار في خط الضخ.

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.



الشكل (1-5) المنحني المميز للمضخة (Q-H) و (Q-P)

عدد دورات المضخة (1500rpm)، عطالتها الكلية (2.631kg/m²)

الجدول (1-2) مواصفات السائل المضخوخ:

20□	درجة حرارة السائل
998.3167 kg/m ³	الكثافة
2.0774*10 ⁹ N/m ²	مرونة السائل
0.0232 bar	ضغط التبخر

5-1-3-النموذج المستخدم ومواصفات الحالة العابرة (Transient):

-التوقف المفاجئ للمضخة ((Shutdown After Time Delay).

توقف المضخة مع عطالة ذاتية دون جريان عكسي أو سرعة عكسية .

عند غياب الجريان العكسي في المضخة يمكن استخدام منحني (التدفق-الطاقة)، لنمذجة

استجابة المضخة كما تفيد بيانات طاقة المضخة للدلالة على الجريان كذلك البيانات

الخاصة بالعطالة الذاتية لدوران المضخة، والسرعة التوافقية الداخلية مقدرة ب (rpm).

يستخدم هذا النموذج منحني (الطاقة - المردود) لزيادة عزم عطالة طاقة المضخة، والذي يعتبر عزم عطالة نهائي للمضخة.

5-1-4- نتائج الحالة المستقرة والعبارة الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخة:

يبين الجدول (3-1) قيم الضغوط العظمى ((Pmax)) والصغرى ((Pmin)) الحاصلة في شبكة الأنابيب.

الأنبوب	نتائج الحالة العابرة (Transient)		نتائج الحالة المستقرة (Stady State)
	Pmax(m)	Pmin (m)	Pmax(m)
T ₁	120.86	0.9975	120.86
T ₂	117.1914	- 0.0374	117.1914
T ₃	117.1914	- 0.0374	117.1914
T ₄	100.7645	-10	100.7645
T ₅	101.952	- 0.812	101.952
T ₆	101.9522	- 0.812	101.9522
T ₇	99.895	5.546	99.895
T ₈	99.8954	5.546	99.8954
T ₉	83.3658	4.605	83.3658
T ₁₀	83.3658	4.605	83.3658
T ₁₁	82.355	17.3595	82.355
T ₁₂	82.355	17.3595	82.355
T ₁₃	70.7575	9.289	70.7575
T ₁₄	41.4859	-5.8	41.4859
T ₁₅	40.4766	17.35	39.4766

بحسب النتائج التي أعطاها البرنامج الذي يستخدم نظرية الخواص (Method of characteristics)، نلاحظ أن الضغط الأعظمي والضغط أثناء الحالة المستقرة في حالة انطباق مع وجود ارتفاع بسيط في الضغط الأعظمي في نهاية خط الضخ .

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

ويبين الشكل الشكل (1-5) قيم الضغوط الناتجة عن التوقف المفاجئ للمضخة أثناء الصدمة المائية.



الشكل (1-5) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية على طول خط الضخ في أثناء حدوث الصدمة المائية ((الحالة العابرة)).

-وبحسب النتائج التي أعطاها برنامج Allieve، نلاحظ أن الضغط الأعظمي 120m أي حوالي (12bar) والضغط الأصغري وصل إلى حد التبخر في بداية أنبوب الضخ على بعد يتجاوز (1km) عن مكان توضع المضخة .

-نلاحظ أن الضغط الأعظمي والضغط أثناء الحالة المستقرة، في حالة انطباق ولا يوجد ارتفاع في الضغط على طول خط الضخ إلا في جزء بسيط في نهاية خط الضخ.

لكن الضغط الأصغري انخفض إلى ما دون الصفر، أي إلى أقل من قيمة الضغط الجوي في بداية الأنبوب، ووصل إلى حد التكيف.

✓ أن المشكلة هي تشكل ضغوط سالبة في بداية خط الضخ عند العقدتين (20 و 25) وفي نهايته عند العقدة (127)، الأنبوب (T14)، بالإضافة إلى وجود ارتفاع بسيط في الضغط في نهاية خط الضخ.

✓ وإمكانية التخلص من الضغوط السالبة المتشكلة عن طريق استخدام وسيلة الحماية من الصدمة المائية ((Unidirectional tank))، ووصله مباشرةً بالعقدة رقم 20 (لديها أعلى منسوب في خط الضخ) كما يبين الشكل (6-1)، حيث يوجد ضغط سالب وصل إلى حد التكيف..

5-1-5: سيناريوهات استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة، بأقطار مختلفة (تغيير حجم الخزان) ومناقشة تأثير ذلك على قيم الضغط أثناء الحالة العابرة (الصدمة المائية):

استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة (Unidirectional tank) ، بوضع الخزان على بعد حوالي (1KM) عن مكان توضع المضخة في العقدة 20 ، ((حيث يوجد ضغط سالب وصل إلى حد التكيف))،

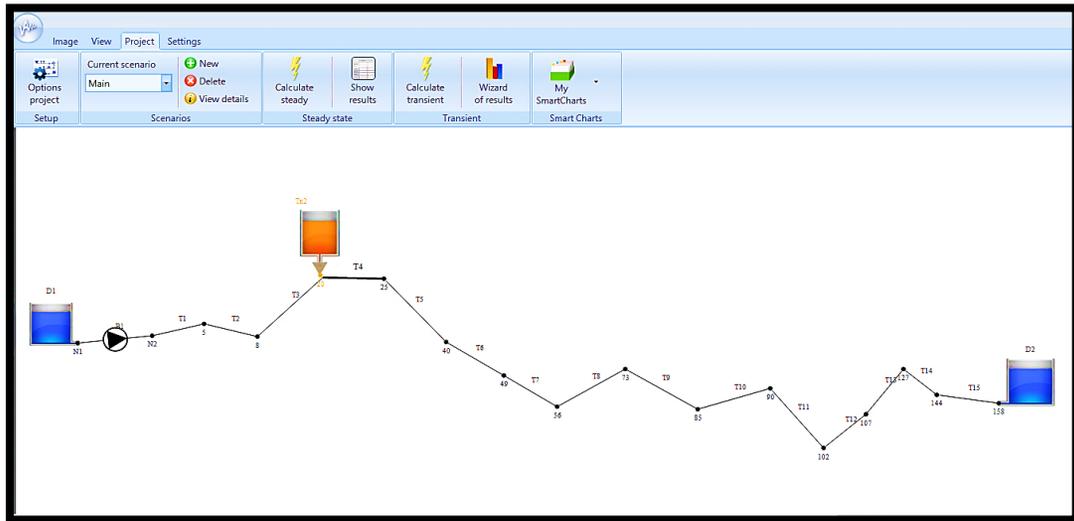
5-1-5-1- السيناريو الأول:

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 1m)) وارتفاع ((Max.level= 2 m)) ←
((V=1.57m³))

حيث:

الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100mm وبطول L= 10 m
Zu((Node Elevation))=531m ,, Zb((Base Elevation))=535m

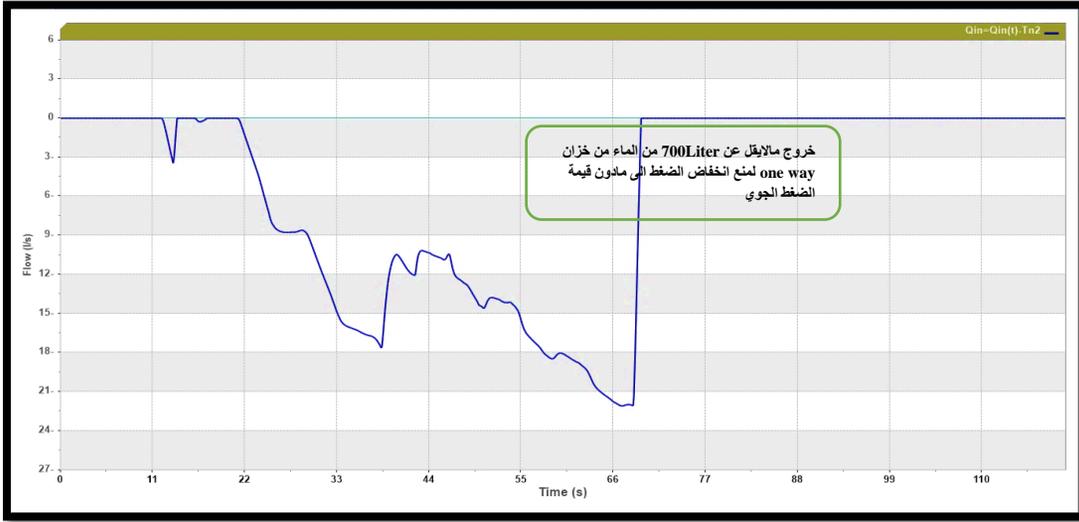
تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.



الشكل (1-6) توضع خزان التوازن وحيد الاتجاه (Unidirectional tank) على خط الضخ



الشكل (1-7) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية عند تطبيق السيناريو الأول



الشكل (1-8) قيم التدفق الذي يعطيه الخزان أثناء حدوث الصدمة المائية

نلاحظ أن: قيم التصريف سالبة، لأن الخزان هو من قام بإخراج الماء خلال حالة الصدمة المائية بعد توقف المضخة عن العمل، لم يدخل الماء إلى الخزان بل على العكس، الخزان هو من قام بإخراج الماء وتغذية الخط خلال الصدمة المائية، كما يبين الشكل (1-8) ذلك. حيث وصل تصريف الماء إلى حوالي (22 L/S) ثم توقف بعدها فستطاع الخزان بذلك إيقاف المطرقة المائية والحد من تأثيرها السلبي.

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

الجدول (1-4) قيم الضغوط العظمى (P_{max}) والصغرى (P_{min}) بعد تطبيق السيناريو الأول

الأنبوب	نتائج الحالة العابرة) (Transient) بعد تطبيق السيناريو الأول		نتائج الحالة المستقرة (Stady State)
	Pmax(m)	Pmin (m)	Pmax(m)
T ₁	120.862	12.329	120.862
T ₂	117.191	13.190	117.191
T ₃	117.191	13.1903	117.191
T ₄	100.765	2.646	100.765
T ₅	101.952	11.376	101.952
T ₆	101.952	12.260	101.952
T ₇	99.895	16.279	99.895
T ₈	99.895	16.279	99.895
T ₉	83.366	10.747	83.366
T ₁₀	83.366	10.747	83.366
T ₁₁	82.355	26.28	82.355
T ₁₂	82.355	26.28	82.355
T ₁₃	70.758	18.616	70.758
T ₁₄	41.486	-3.2199	41.486
T ₁₅	39.571	30.28	39.477

نتائج السيناريو الأول:

-تلاحظ أن الضغط الأصغري في بداية خط الضخ قد ارتفع بشكل كبير، كما يبين الجدول (1-4) أي

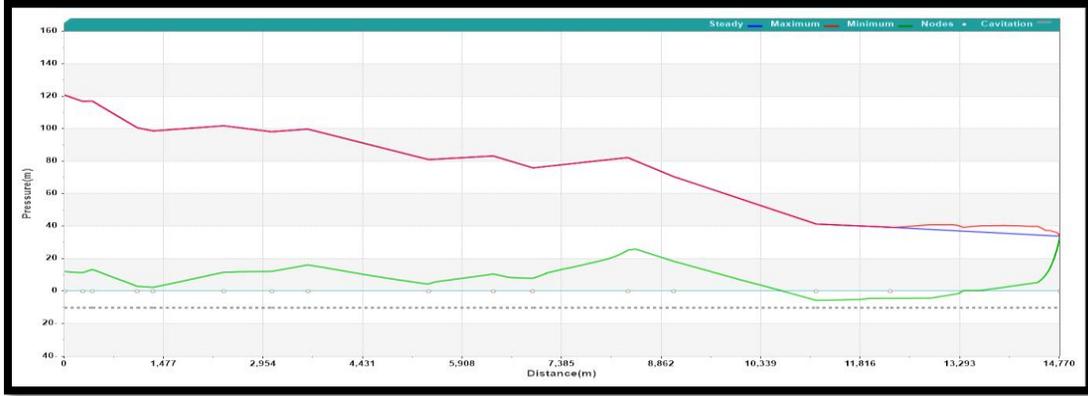
حصل ارتفاع في قيمة الضغط الأصغري على طول خط الضخ بعد استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة بنسبة (74%).

-لكن في نهاية خط الضخ لدينا ضغط أقل من الصفر لكنه لم يصل إلى حد التكيف، ويبين الشكل (1-7) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد استخدام خزان

التوازن وحيد الاتجاه، ((من الممكن أيضاً مناقشة سيناريو تركيب خزان آخر في العقدة (127) الأنبوب رقم (14))) .

أو ((من الممكن نمذجة سيناريو رفع الخزان الذي قمنا بوضعه في بداية الخط عند العقدة رقم (20) قليلاً)) أي زيادة قيمة **Zb((Base Elevation))** وهل بزيادة قيمة **Zb((Base Elevation))** سوف يكون أداء خزان التوازن أفضل على كامل خط الضخ؟؟

5-1-2-5- السيناريو الثاني: استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة **(Unidirectional tank)** بعد تغيير قطر الخزان إلى (2m)، (مع المحافظة على بيانات الخزان الواردة في السيناريو السابق).



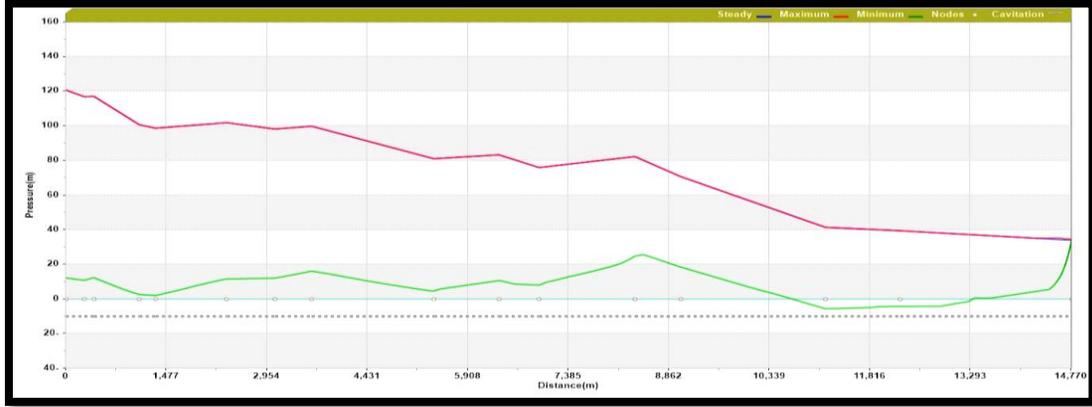
الشكل (1-7) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية عند تطبيق السيناريو الثاني

أن تغيير قطر الخزان من (1m) إلى (2m) لم يغير كثيراً في النتائج، التي كنا قد حصلنا عليها في السيناريو الأول بل حصلنا تقريباً على نفس النتائج، كما يبين الشكل (1-7)

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضع في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

5-1-3-5-3 السيناريو الثالث: استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة (Unidirectional tank)، بوضع الخزان على بعد حوالي (1km) من مكان توضع المضخة في العقدة (20).

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 0.5m)) وارتفاع((Max.level= 2 m)) ←
((V=0.4m³))
الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100mm، وبطول
L= 10 m
Zu((Node Elevation))=531m ،، Zb((Base Elevation))=535m



الشكل (1-8) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو الثالث

الاستنتاج:

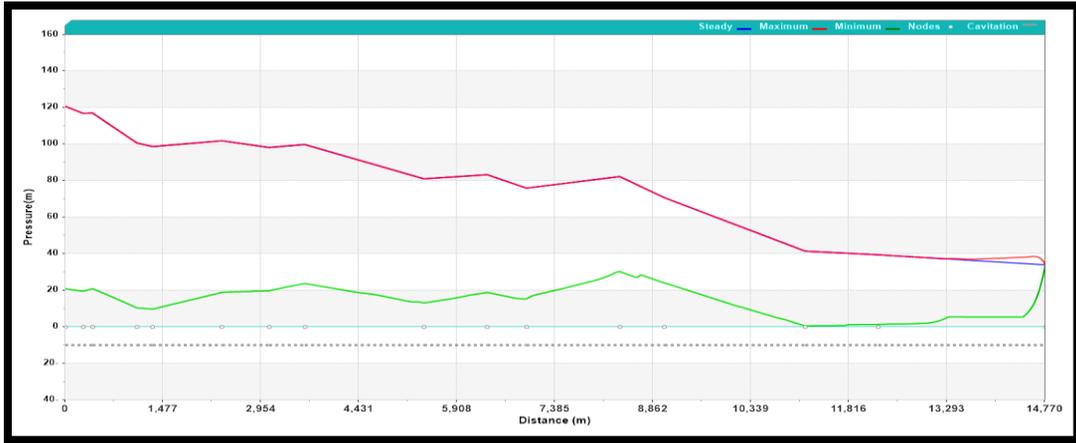
بدراسة سيناريوهات استخدام خزان توازن بأقطار مختلفة (0.5m، 1m، 2m)، ومناقشة تأثير ذلك في قيم الضغط الناتجة تبين أن تغيير القطر في السيناريوهات الثلاث لم يحدث أي تغيير في النتائج كما يبين الشكل (1-8)، وأن نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري بقيت 74%، كما في السيناريو الأول. وأن سيناريو استخدام خزان بقطر 1m (السيناريو الأول)، قد أعطى نتائج جيدة على كامل خط الضخ تقريباً، ويعتبر كافياً (لا يفرغ الخزان من الماء).

Unidirectional 4-5-1-5- السيناريو الرابع: استخدام خزان

((tank))، بقطر $D=1m$ ، ووضعه في بداية أنبوب الضخ، العقدة رقم (20) ، لكن برفعه من المنسوب (531m) إلى المنسوب (538m)، أي أصبحت معطيات الخزان :

- الخزان اسطواني بقطر (($D= 1m$)) وارتفاع (($Max.level= 2 m$))
($V=1.57m^3$)

حيث: الأنابيب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر (($100mm$))
($D(mm)=$ ويطول ($L= 20 m$))
 Zu ((Node Elevation)) =531m ,, Zb ((Base Elevation))=538m

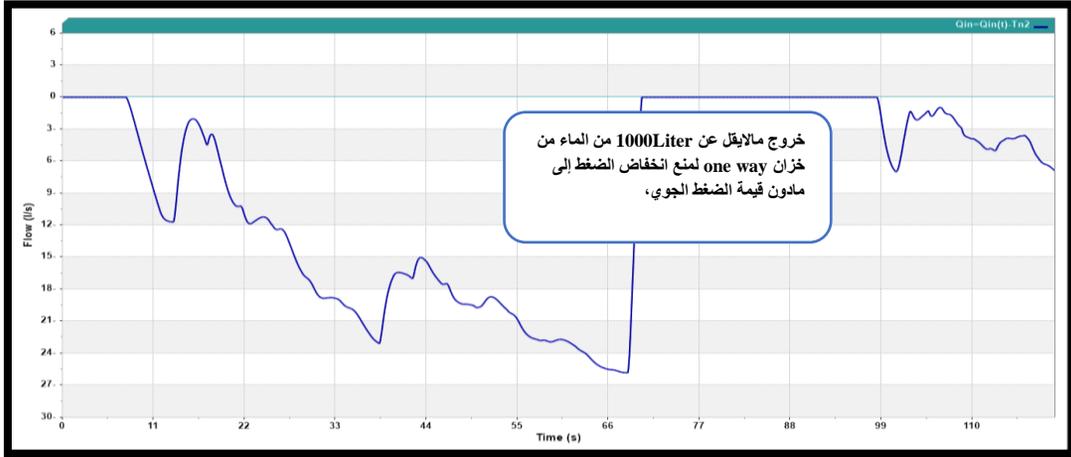


الشكل (1-9) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو الرابع

نلاحظ من الشكل (1-9) أنه عندما قمنا برفع منسوب قاعدة الخزان ذو القطر ($D=1m$ من Zb ((Base Elevation)) = 531m إلى Zb ((Base Elevation)) = 538m ، ، ((أي قمنا برفع الخزان فوق منسوب العقدة (20) بحوالي 7 أمتار))، بينما في السيناريو الأول قمنا برفع الخزان فوق منسوب العقدة (20) ، فقط (4 أمتار) ، حافظنا على قيم الضغط أثناء الحالة المستقرة وارتفعت قيم الضغط الأصغري كثيراً على

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

كامل خط الضخ وبخاصة في بداية أنبوب الضخ ((أي كان التأثير الإيجابي للخزان في رفع قيم الضغط الأصغري يزداد و يكون أكبر في مكان توضعه (موقع تركيبه))، حيث وصلت قيم الضغط الأصغري إلى أكثر من (20m). حصل ارتفاع في قيمة الضغط الأصغري على كامل خط الضخ بنسبة وصلت إلى (83%).



الشكل (1-10) قيم التدفق الذي يعطيه الخزان أثناء حدوث الصدمة المائية نلاحظ من الشكل (1-10) أن الخزان قام بإخراج الماء خلال حالة الصدمة المائية بعد توقف المضخة عن العمل وتغذية الخط والحد من تغيرات الضغط وبخاصة الضغط الأصغري على طول خط الضخ.

-ونلاحظ أيضاً، عندما قمنا بزيادة ارتفاع الخزان فوق منسوب توضعه كان أداءه أفضل، حيث ارتفع حجم الماء الخارج من الخزان لمنع انخفاض الضغط إلى مادون الضغط الجوي إلى أكثر من (1000 Liter) خلال زمن وصل إلى حوالي (60 sec) من بداية قيام الخزان بإخراج الماء لمنع انخفاض الضغط كما يبين الشكل (1-10)، كما ويبين. الجدول (1-5) قيم الضغوط المتشكلة.

الجدول (5-1) قيم الضغوط المتشكلة بعد تطبيق السيناريو الرابع

الأنبوب	نتائج الحالة العابرة (Transient) بعد تطبيق السيناريو الرابع.		نتائج الحالة المستقرة (Stady State)
	Pmax(m)	Pmin (m)	Pmax(m)
T ₁	120.862	20.922	120.862
T ₂	117.191	20.944	117.191
T ₃	117.191	20.944	117.191
T ₄	100.765	10.406	100.765
T ₅	101.952	18.967	101.952
T ₆	101.952	19.757	101.952
T ₇	99.895	23.773	99.895
T ₈	99.895	23.773	99.895
T ₉	83.366	18.907	83.366
T ₁₀	83.366	18.907	83.366
T ₁₁	82.355	30.371	82.355
T ₁₂	82.355	30.371	82.355
T ₁₃	70.758	24.012	70.758
T ₁₄	41.486	1.391	41.486
T ₁₅	39.477	32	39.477

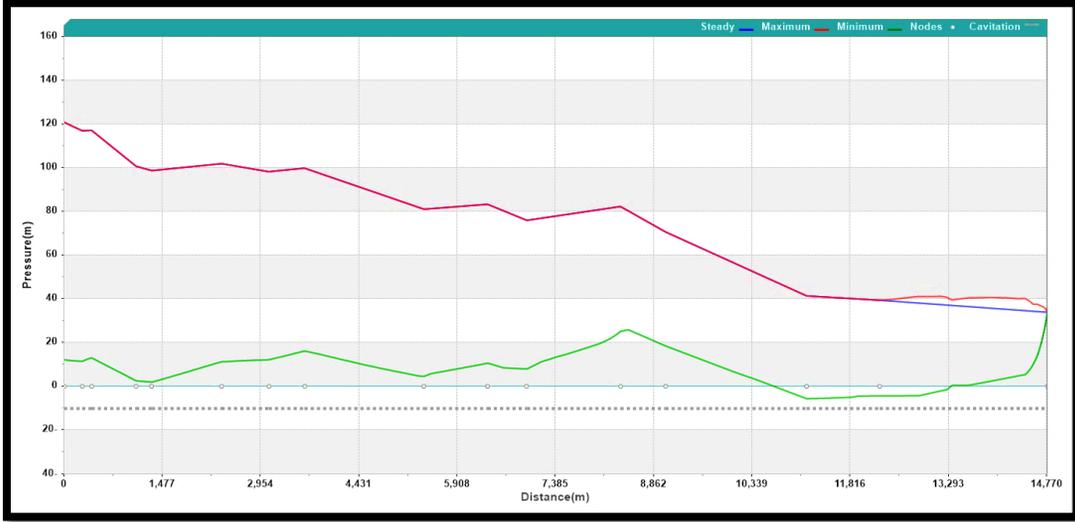
5-1-6- مناقشة سيناريوهات إمكانية تغيير موقع خزان التوازن وحيد الاتجاه على كامل خط الضخ وتأثير ذلك في قيم الضغط الناتجة:

5-1-6-1- السيناريو الخامس: الحالة 1: وضع خزان التوازن في بداية خط الضخ ((بعد صمام عدم الرجوع)) في العقدة ((5)) وهذه العقدة ذات منسوب مرتفع في خط الضخ...

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 1m)) وارتفاع ((Max.level= 2 m)) ← ((V=1.57m³)) حيث :

الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100mm، سنقوم برفع الخزان فوق منسوب العقدة ((5)). بحيث تصل قيمة منسوب الخزان فوق العقدة إلى المنسوب Zb =535m ((كما في السيناريو الخامس))

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.



الشكل (1-11) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو الخامس

نلاحظ من الشكل (1-11) ، أن الضغط الأصغري في بداية خط الضخ قد ارتفع بشكل كبير، في نهاية خط الضخ لدينا ضغط أقل من الصفر لكنه لم يصل إلى حد التكيف.

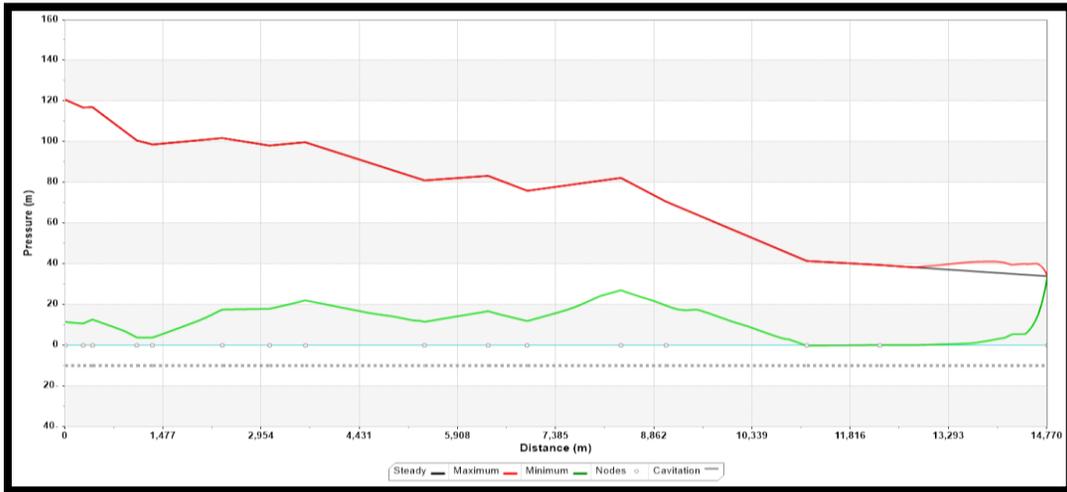
-نلاحظ أنه عندما قمنا بوضع خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة في العقدة رقم (5) كنا قد حصلنا تقريباً على نفس النتائج التي حصلنا عليها في السيناريو الأول كما يبين الشكل (1-11).

5-1-6-2- السيناريو السادس: الحالة 2: وضع خزان التوازن في العقدة 40 .

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 1m)) وارتفاع ((Max.level= 2 m)) ←

$$((V=1.57m^3))$$

حيث : الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100 mm



الشكل (1-12) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو السادس

الجدول (1-6) قيم الضغوط المتشكلة بعد تطبيق السيناريو السادس

الأنبوب	نتائج الحالة العابرة (Transient) بعد تطبيق السيناريو السادس.		نتائج الحالة المستقرة (Stady State)
	Pmax(m)	Pmin (m)	Pmax(m)
T ₁	120.792	12.329	120.792
T ₂	117.1914	13.190	117.191
T ₃	117.191	13.1903	117.191
T ₄	100.7645	3.646	100.765
T ₅	101.9522	18.376	101.952
T ₆	101.9522	18.260	101.952
T ₇	99.8954	22.279	99.895
T ₈	99.8954	13.279	99.895
T ₉	83.3658	18.747	83.366
T ₁₀	83.3658	12.747	83.366
T ₁₁	82.355	25.28	82.355
T ₁₂	82.355	26.28	82.355
T ₁₃	70.758	18.616	70.758
T ₁₄	41.4857	0.129	41.486
T ₁₅	39.477	30.125	39.477

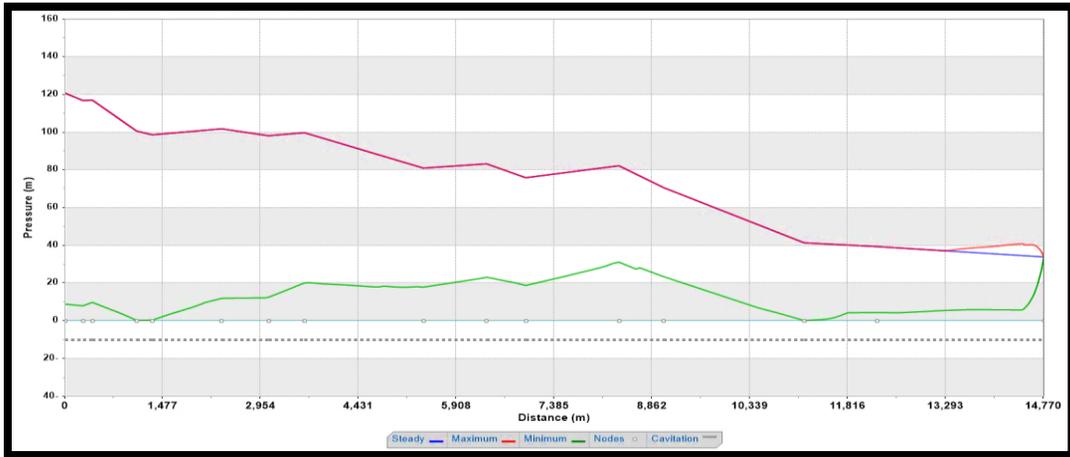
تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

وضع خزان التوازن في العقدة (40) (وتعتبر ذروة في الخط المدروس) نلاحظ أن قيم الضغط الأصغري قد ارتفعت كثيراً على كامل خط الضخ كما يبين الشكل (1-12)، وأن نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري على كامل خط الضخ قد بلغت 74%، كما يبين الجدول (1-6)

3-6-1-5- السيناريو السابع: الحالة 3: وضع خزان التوازن في العقدة 73 .

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 1m)) وارتفاع ((Max.level= 2 m)) ←
 ((V=1.57m³))

حيث: الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100mm



الشكل (1-13) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو السابع

الجدول (1-7) قيم الضغوط المتشكلة بعد تطبيق السيناريو السابع

الأنبوب	نتائج الحالة العابرة (Transient) بعد تطبيق السيناريو السابع		نتائج الحالة المستقرة (Stady State)
	Pmax(m)	Pmin (m)	Pmax(m)
T1	120.8615	9.329	120.8615
T2	117.1914	12.190	117.191
T3	117.191	12.1903	117.191
T4	100.7645	0.3797	100.765
T5	101.9522	17.4703	101.952
T6	101.9522	18.1719	101.952
T7	99.8954	22.328	99.895
T8	99.8954	21.328	99.895
T9	83.3658	19.370	83.366
T10	83.3658	19.370	83.366
T11	82.355	28.851	82.355
T12	82.355	28.851	82.355
T13	70.758	22.760	70.758
T14	41.4857	0.1284	41.486
T15	39.477	29.33	39.477

نلاحظ عند وضع خزان التوازن في العقدة (73) أن قيم الضغط الأصغري قد ارتفعت كثيراً على كامل خط الضخ كما يبين الشكل (1-13)، وأن نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري على كامل خط الضخ قد بلغت 69%، كما يبين الجدول (1-7) .

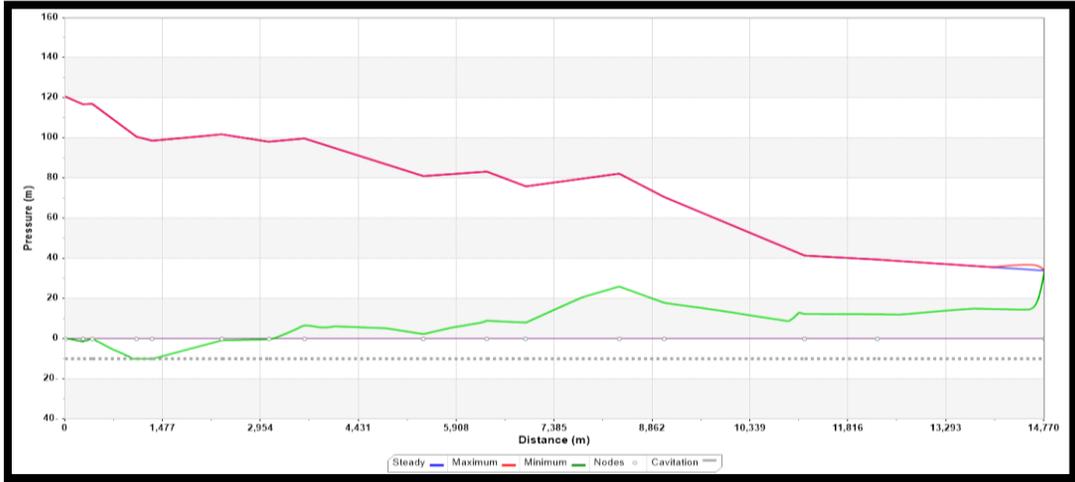
4-6-1-5 السيناريو الثامن: الحالة 4: وضع خزان التوازن في العقدة (127) الواقعة تقريباً في نهاية خط الضخ

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 1m)) وارتفاع ((Max.level= 2 m)) ←

$$((V=1.57m^3))$$

حيث: الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100mm

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

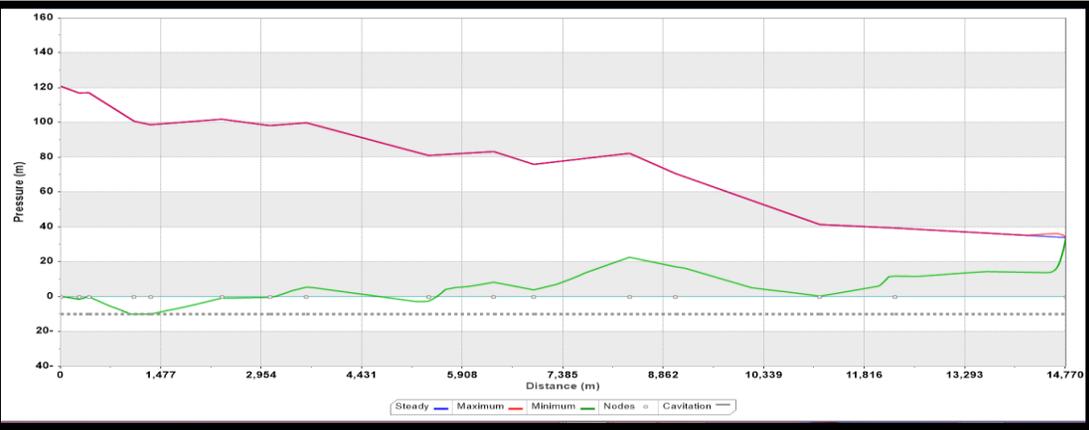


الشكل (1-14) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو الثامن نلاحظ من الشكل (1-14) أن وضع خزان التوازن وحيد الاتجاه في نهاية خط الضخ العقدة ((127))، قد أعطى نتائج جيدة في رفع قيم الضغط الأصغري في نهاية خط الضخ فقط، والمحافظة على نتائج الحالة المستقرة، أي أن الخزان أعطى نتيجة إيجابية في مكان توضعه فقط (موقع تركيبه) وليس على كامل خط الضخ، لأن خط الضخ في بدايته لا زال يعاني من انخفاض في قيم الضغط الأصغري إلى ما دون الصفر .

5-6-1-5: السيناريو التاسع: الحالة 5: وضع خزان التوازن في نهاية خط الضخ في العقدة (144)

استخدام خزان اسطواني بقطر ((D= 1m)) وارتفاع ((Max.level= 2 m)) ←
 ((V=1.57m³))

حيث :الأنبوب الواصل بين الخزان وخط الضخ بقطر D(mm)= 100mm



الشكل (1-15) قيم الضغوط الأعظمية والأصغرية بعد تطبيق السيناريو التاسع

نلاحظ من الشكل (1-15) أن وضع خزان التوازن وحيد الاتجاه في نهاية خط الضخ العقدة ((144)) ،

قد أعطى نتائج جيدة في رفع قيم الضغط الأصغري في نهاية خط الضخ فقط ،
نلاحظ من الحالات المختلفة السابقة لتوضع خزان التوازن، أن استخدام خزان توازن وحيد
الاتجاه ذي الفواشة بالمواصفات المستخدمة في السيناريو الخامس
($(V=1.57m^3 \leftarrow D=1m)$) ، مع تغيير مكان توضع على طول خط الضخ بين عدة
أماكن مختلفة (عقد) نحصل على النتائج المبينة بالجدول (1-8) :

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضع في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

الجدول (1-8) يبين نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري تبعاً لتغير مكان توضع

خزان التوازن

رقم الحالة	رقم السيناريو	مواصفات الخزان من حيث الحجم (باعتبار أن الخزان أسطواني)	مكان توضع خزان التوازن وحيد الاتجاه	نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري
الحالة الأولى	السيناريو الخامس	{D=1m} {Max.level= 2 V=1.57m ³ ←	في بداية خط الضخ ((بعد صمام عدم الرجوع أقرب ما يكون للمضخة)) في العقدة ((5))	74%
الحالة الثانية	السيناريو السادس	{D=1m} {Max.level= 2 V=1.57m ³ ←	وضع خزان التوازن في العقدة (40) وتعتبر ذروة في الخط (المدرّوس)	73%
الحالة الثالثة	السيناريو السابع	{D=1m} {Max.level= 2 V=1.57m ³ ←	وضع خزان التوازن في العقدة (73) ((تقع في منتصف خط الضخ))	68%
الحالة الرابعة	السيناريو الثامن	{D=1m} {Max.level= 2 V=1.57m ³ ←	في العقدة (127) الواقعة تقريباً في نهاية خط الضخ، وهي ذروة في الخط المدرّوس	63%
الحالة الخامسة	السيناريو التاسع	{D=1m} {Max.level= 2 V=1.57m ³ ←	وضع خزان التوازن في العقدة (144) أقرب لمكان الخزان العالي	54%

نلاحظ من الجدول (8-1) أن توضع الخزان في العقد ذات المنسوب المرتفع (أي في الذرا والنقاط العالية) في خط الضخ، وفي الأماكن الأقرب إلى المضخة في بداية خط الضخ وفي منتصفه (الحالة الأولى والثانية والثالثة) حيث تكون شدة الصدمة المائية أكبر، كانت نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري أكبر مما هي عليه، عند وضع الخزان بنفس المواصفات في نهاية خط الضخ (الحالة الرابعة والحالة الخامسة)، أي كان تأثير الخزان يزداد عند وضعه أقرب ما يكون إلى السبب المؤدي إلى حدوث الصدمة المائية (وخاصة في الأماكن التي تعاني من انخفاض الضغط الأصغري ووصله إلى حد التكهف في بداية خط الضخ)، أما بالنسبة لآلية عمله، فإن التأثير الإيجابي للخزان في رفع قيم الضغط الأصغري يزداد و يكون أكبر في مكان توضع (موقع تركيبه) كما في الحالة الخامسة (السيناريو التاسع).

والحالات التي كانت بها نسبة ارتفاع قيم الضغط الأصغري، أقرب إلى السيناريو الأول، هي الحالة الأولى والحالة الثانية، حيث كان توضع الخزان أقرب ما يكون من السبب المؤدي لحدوث الصدمة المائية.

6-1- الدراسة الاقتصادية:

تم إجراء مقارنة بين خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة (Unidirectional tank) وبين خزان الهواء المضغوط (Air Accumulator) من حيث تكلفة المتر المكعب الواحد، كما يبين الجدول (9-1):

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

نوع الخزان	Unidirectional (tank) خزان التوازن وحيد الاتجاه ذو الفواشة.	الهواء المضغوط. (Air Accumulator) خزان
تكلفة المتر المكعب الواحد (1m ³) بالليرة السورية (ل.س)	1,000,000 (مليون ل.س)	3000\$=40,000,000 (ل.س)
تكلفة التجهيزات الإضافية اللازمة	لا يوجد تجهيزات إضافية	(يحتاج ضاغط هواء - مسير لتحديد مستوى الماء بالخزان - صمامات - مقياس ضغط) تصل كلفتها إلى أكثر من 10,000,000 (ل.س)

يبين الجدول (9-1) تكلفة المتر المكعب الواحد لكل من خزان التوازن وخزان الهواء

أن وسيلة الحماية ((Unidirectional tank))، هي حلٌ أمثلٌ اقتصادياً مقارنةً بخزان الهواء المضغوط، ولا بد من الإشارة إلى أن المخاطر الناتجة عن توقف خزان الهواء المضغوط عن العمل أكبر من المخاطر الناتجة عن توقف (Unidirectional tank)، لأن تعطل خزان الهواء المضغوط يمكن أن يؤدي إلى توقف خط الضخ عن العمل.

الاستنتاجات:

- 1- إن التوقف المفاجئ للمضخة عن العمل يؤدي لحدوث مطرقة مائية وحدوث ضغوط خطيرة (تكهف) وخاصة في الجزء القريب من المضخة .
- 2- إن استخدام طريقة الخواص المعتمدة في البرامج الحاسوبية أدى إلى تحديد نقاط الضغط الأعظمي، وإلى تحديد نقاط بخار الماء بشكل دقيق (الضغط الأصغري وصل إلى حد التكهف) .

3- إن علاقة جكوفسكي غير قادرة على تحديد قيم الضغط الأعظمي أثناء حدوث

الصدمة المائية بسبب إهمالها قيم الضغط الإضافية الناتجة عن تشكل

وانصعاق بخار الماء وإهمالها تأثير عطالة المضخة .

4- إن استخدام خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة ، ووضعه في أعلى نقطة

في خط الضخ (الذروة 20 أو 25 باعتبار لهما نفس المنسوب)، قد أعطى نتائج

إيجابية في رفع قيم الضغط الأصغري على طول خط الضخ -الحالة الدراسية

- (خط ضخ المشرفة))، وحصل ارتفاع في قيمة الضغط الأصغري على طول

خط الضخ بنسبة (74%) .

5- عندما قمنا بزيادة ارتفاع الخزان فوق منسوب توضع في السيناريو الرابع،

وصلت نسبة الارتفاع في قيم الضغط الأصغري على كامل خط الضخ إلى (83%)

، أي كان أداء الخزان أفضل .

6- إن كُلاً من السيناريوهين الأول والرابع استطاعا حماية خط الضخ من تأثير

الصدمة المائية دون اللجوء إلى استخدام خزان بقطر أكبر ((لأن زيادة القطر لم

يُحدث تغييراً في النتائج))، أو إلى استخدام خزاني توازن أحدهما في بداية خط

الضخ والآخر في نهايته (لكن من الممكن تنفيذه)،

7- عند تغيير حجم خزان التوازن مع المحافظة على مكان توضع، تبين أن زيادة

حجم الخزان لا يؤثر ولا يحد من تغيرات الضغط الناتجة عن الصدمة المائية .

8- إن تغيير موقع الخزان مع المحافظة على حجمه، أعطى نتائج إيجابية على

كامل الخط المدروس، أي كان تأثير موقع الخزان يزداد كلما اقترب مكان

توضعه من السبب المؤدي لحدوث الصدمة المائية ((أفضل المواقع في الذرا

والنقاط العالية أقرب ما يكون للمضخة وفي منتصف خط الضخ))، كما أن

تأثير مواصفات خزان التوازن وحيد الاتجاه ذي الفواشة من حيث حجمه ومكان توضعه في حماية خطوط الضخ من ظاهرة الصدمة المائية.

التأثير الإيجابي للخزان في رفع قيم الضغط الأصغري يزداد و يكون أكبر في مكان توضع (موقع تركيبه) .

التوصيات:

- استخدام طريقة الخواص ((Method of Characteristics))، في حساب الضغوط الناجمة عن الصدمة المائية وتحديد أماكن تركيب أجهزة الحماية منها.
- التأكد من نتائج البرامج بالقياسات الحقلية باستخدام مقاييس ضغط إلكترونية، لأنها أدق من الميكانيكية التقليدية .
- تنفيذ قياسات حقلية بعد تركيب أجهزة الحماية المفترضة للتأكد من صحة النتائج ودقتها ..
- ضرورة التوسع في إدخال البرمجيات الحاسوبية لما توفره من وقت وجهد وتكلفة، في وضع آليات أكثر من وسيلة حماية من المطرقة المائية، ومناقشة النتائج باستخدام برنامج أليفي، وبالتالي اختيار الوسيلة الأفضل منها بشكل أوضح وأدق وأسرع .
- دراسة تأثير تغيير موقع خزان التوازن في الحماية من الصدمة المائية، لبيان تأثير موضع الخزان على الصدمة المائية.
- التركيز على استخدام هكذا نوع من وسائل الحماية لما له من تأثير إيجابي في التخفيف من آثار الصدمة المائية، وبخاصة في رفع قيم الضغوط الأصغرية التي قد تصل إلى حد التكهف بالإضافة إلى انخفاض تكلفته الاقتصادية مقارنة بخزان الهواء المضغوط ..

المراجع:

المراجع العربية:

١. جرجي، عادل، وإبراهيم، غسان 2010، محطات الضخ، كتاب جامعي، مطبوعات جامعة البعث، حمص.
٢. الحسين، أحمد، 2005، دراسة الصدمة المائية في محطات الضخ، دبلوم دراسات عليا، 180ص.
٣. المعلا، معلا، 2010، دراسة تحليلية لوسائل معالجة الصدمة المائية الناتجة عن توقف وإقلاع المضخات رسالة ماجستير. جامعة البعث 140ص .
٤. العظمى، معن، 1989، المضخات ومحطات الضخ، كتاب جامعي، جامعة دمشق.
٥. الخطيب، عبد الرحمن، 2007، شبكات الإمداد بالمياه. منشورات جامعة البعث. حمص، سوريا، 211
٦. معلا، وائل، 1993، الجريان غير المستقر في الأنابيب، كتاب جامعي، جامعة دمشق 208ص،

المراجع الأجنبية:

8. STREETER, V.L; WYLIE, E.B. 1978, Fluid Transients, McGraw-Hill Inc, United States, 1978, 379

9-Lorenzo Allievi.(1925).Theory of Water Hammer

10.Liu, G, liu, M.Q, Feng, W.m li, Z.y.2002 Application of one-way surge tank to prevent long distance water transmission pipeline from column separation. Journal of Hydraulic Engineering 33(9), 44-48

11.Zhang, Suo, l.S, Hu, J.y. Ma, S.B.2011 Study on water surge tang in long-distance water- supply project , Journal of Hydroelectric Engineering 30(1) 49-56

12.Zhou, W.M, Zhang ,Z, Y, Hu, J, X. Zhou, J.F.2015 Design and optimization of one -way surge tank in city pumping water supply project. yellow River.china, 37(2), 123-126

13.Zheng Liu, Jin Jiang, Dong dong Li&Research on water hammer protection of long distance pipe lines with the combination of one way surge tank and air valve&Journal of hydraulic engineering, 138(12), china.

14.Application of one way surge tank in Long distance water transfer project, China water .. waste water, 2010.

15.Shock and water Hammer Loading&Department of civil Engineering, university of Kentucky..USA.

دور محاكاة الإخلاء في اعتبارات تصميم المكتبات الجامعية

إشراف:

أ.د. طارق حسام الدين

إعداد:

ياسر هاشم

ملخص البحث:

يرتبط أداء إخلاء الطوارئ للمبنى بالعديد من الجوانب التصميمية والتي تختلف بين مبنى وآخر، إن القدرة على تقييم هذا الأداء في مراحل مبكرة من التصميم يتيح إجراء التعديلات المطلوبة بأقل تكلفة وأسرع وقت. في هذا البحث، نقوم باستعراض وسائل المحاكاة المتعلقة بمجال إخلاء الطوارئ، ثم بحث كيفية تأثير المحاكاة في عملية اتخاذ القرارات على الصعيد التصميمي لمبنى المكتبة الجامعية سواء كعامل تصميم مبكر للمبنى، أو كعامل تقييم للمباني القائمة، وذلك من خلال نظام محاكاة للعوامل المؤثرة في إخلاء الطوارئ (محاكاة الحريق- محاكاة الدخان- محاكاة الحشود-.....) واستخدام تلك المعلومات في تحسين أداء المخطط المعماري في عملية الإخلاء.

كلمات مفتاحية: محاكاة الإخلاء، اعتبارات الإخلاء، المكتبات الجامعية، التصميم التوليدي، حالات الطوارئ.

Abstract:

The emergency evacuation performance of a building is Associated to many design aspects, which vary from one building to another. The ability to evaluate this performance in the early stages of design allows the required modifications to be made at the lowest cost and in the quickest time.

In this research, we review simulation methods related to the field of emergency evacuation, and then examine how simulation affects the decision-making process at the design level of university library buildings, whether as an early design factor for the building, or as an evaluation factor for existing buildings, through a simulation system for factors affecting emergency evacuation. (Fire simulation - smoke simulation - crowd simulation -....) and using that information to improve the performance of the architectural plan in the evacuation process.

Keywords: evacuation simulation, evacuation considerations, university libraries, generative design, emergency situations.

المقدمة

إدارة الطوارئ هي قضية أساسية في إدارة المباني، وتعد من الأهمية بمكان بحيث تؤثر على القرارات التصميمية للمبنى على كافة المستويات؛ بدءاً من أبعاد الممرات ومواقع وأبعاد الأدراج ومخارج الهروب وأبعاد ومواصفات الأبواب والنوافذ وعوازل الحريق، وانتهاءً بالترميز اللوني واللوحات الإرشادية وغيرها .

استخدمت المحاكاة الواقعية في تقييم وضع الإخلاء في المباني من قبل، لكن هذا الأسلوب يتطلب حشد المجموعة المطلوبة لإجراء تمرين الإخلاء وتحديد سيناريو طوارئ محدد بالإضافة للوقت والجهد المبذول في التجربة، بالإضافة لأن هذه الأسلوب يعمل فقط على المباني القائمة بالفعل، مقارنة بالمحاكاة الافتراضية التي يمكن تطبيقها في المراحل المبكرة للتصميم.

هدف البحث

تحسين أداء المخطط المعماري والعناصر التصميمية للمكتبة الجامعية في حالات إخلاء الطوارئ من أجل تحقيق إخلاء آمن لشاغلي المكتبة وذلك من خلال أدوات المحاكاة الرقمية .

1- اعتبارات السلامة في الأبنية

1-1- تصنيف المنشآت والمباني

1-1-1- من حيث وظيفة المبنى (الإشغال)

▪ مباني التجمعات: مباني يحصل فيها (1) تجمع من 50 شخصاً، أو أكثر للترفيه، أو العبادة، أو التناول، أو الأكل، أو الشرب، أو التسلية، أو انتظار النقل، أو الاستخدامات المماثلة؛ أو (2) تستخدم كمبنى ترفيهي خاص، بغض النظر عن عدد الشاغلين للمبنى. [1]

▪ المباني التعليمية: تشمل المنشآت التعليمية أي مؤسسة منظمة مصممة لتوفير مساحات وبيئات التعلم للطلاب تحت إشراف المعلمين. يشمل هذا التعريف أي نوع من هياكل التدريس، بما في ذلك على سبيل المثال المدارس الحكومية والمدارس العامة والمدارس الفنية والأكاديميات والجامعات، بغض النظر عن حجم المدرسة أو عدد أو عمر الطلاب. [2]

▪ تصنيفات أخرى: مثل مباني الرعاية، المباني السكنية، المباني التجارية، المباني الصناعية، والمباني متعددة الاستخدامات. [1]

1-1-2- من حيث الارتفاع

▪ المباني والهياكل تحت الأرض: هيكل أو جزء من هيكل يكون فيه الطابق الأرضي أسفل مستوى المخرج.

▪ المباني والهياكل قليلة العمق تحت الأرض: هيكل مكون من قبوين أو أقل بعمق 7 أمتار أسفل مستوى المخرج.

▪ المباني والهياكل العميقة تحت الأرض: هيكل مكون من أكثر من قبوين أو أعمق من 7 أمتار أسفل مستوى المخرج.

▪ المباني منخفضة الارتفاع: المباني والهياكل التي يقل ارتفاعها عن 15 متر مقاساً من مستوى الرصيف أو مستوى دخول خدمات الحريق حتى مستوى أرضية آخر طابق مستعمل أو مشغول.

- المباني متوسطة الارتفاع: المباني والهياكل التي يكون ارتفاعها بين 15 متر إلى 23 متر مقاساً من مستوى الرصيف أو مستوى دخول خدمات الحريق حتى مستوى أرضية آخر طابق مستعمل أو مشغول.
- مباني مرتفعة: المباني والهياكل التي يزيد ارتفاعها عن 23 متر مقاساً من مستوى الرصيف أو مستوى دخول خدمات الحريق حتى مستوى أرضية آخر طابق مستعمل أو مشغول. [3]

1-2- تصنيف حالات الطوارئ

مسبب بشري

- الحريق: حالة طارئة تتطلب الإخلاء الفوري. يجب على شاغلي المبنى المغادرة بأسرع ما يمكن حتى يتمكنوا من تجنب ملامسة الحريق أو استنشاق الدخان.
- تسرب الغاز: حالة طارئة أخرى تتطلب إخلاء سريع ودقيق. يمكن أن تكون المستويات العالية من الغاز الطبيعي خطرة على الصحة، الغاز الطبيعي قابل للاشتعال بسرعة، فقد يتسبب ذلك في نشوب حريق أو انفجار كبير.
- أعمال العنف: وهي تهديد فرد أو مجموعة من الأفراد بأعمال عنف ضد واحد أو أكثر من شاغلي المبنى.
- أسباب أخرى: مثل انقطاع التيار الكهربائي، حرائق المباني المجاورة....

مسبب طبيعي

- الزلازل: الزلازل الصغيرة أو المتوسطة لا تشكل أي خطر مباشر على شاغلي المبنى. قد يلاحظ ارتجاج الأرض واهتزاز بعض الأشياء، لكن الحادث سيمر في غضون ثوان. الزلازل الكبيرة الحجم أكثر خطورة.
- تسرب المياه / الفيضان: تسرب المياه الناجم عن مشاكل السباكة مثل الأنابيب المتفجرة هي حالة طارئة يمكن أن تتطلب الإخلاء. يجب على القاطنين الانتقال من المبنى إلى منطقة آمنة وجافة حتى يتم حل الموقف.
- هناك أنواع أخرى من الفيضانات لا ينبغي أن تؤدي إلى إخلاء فوري، بل يفضل الانتقال إلى أماكن مرتفعة ما لم يطلب خلاف ذلك من قبل المرشدين المختصين.

- أسباب أخرى: مثل الأعاصير، التفشي الفيروسي، حرائق الغابات.... [4]

1-3-3 - خطط الطوارئ وآليات الإخلاء

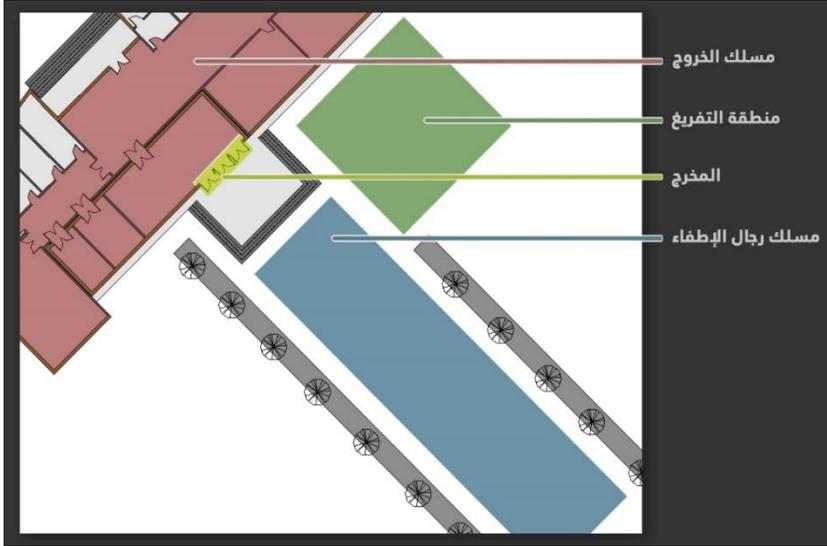
يجب اعتماد خطة للطوارئ والإخلاء. يجب أن تكون الخطة سهلة التنفيذ في حالة الطوارئ، تتكون أي خطة إخلاء من العناصر الآتية:

1-3-3-1 - العناصر المعمارية/ وسائل الهروب

توفر المخارج المصممة بشكل صحيح مسارًا آمنًا للهروب من حريق أو بيئة طوارئ أخرى. يجب تخطيط وسائل الخروج للسماح لجميع القاطنين بالوصول إلى مكان آمن قبل أن يتعرضوا لخطر الحريق أو الدخان أو غيرها من المخاطر. الهدف هو أن يغادر الجميع المناطق الخطرة في أقصر وقت ممكن.

▪ مكونات عامة

وسائل الخروج: مسار انتقال مستمر وخالي من العوائق من أي نقطة في المبنى إلى الطريق العام، يتكون من الأجزاء الثلاثة المنفصلة والمتميزة التالية:



الشكل 1 - مكونات مسالك الهروب (المصدر: الباحث)

1- مسلك الخروج: مسار الانتقال أو منطقة الانتقال التي تؤدي من حيث يوجد الشخص إلى بوابة المخرج.

2- المخرج: جزء من مسار الخروج مفصول عن مناطق أخرى من المبنى (فصل بنيوي أو بوسائل أخرى). تشمل مكونات المخرج الجدران والأرضيات والأبواب أو غيرها من الوسائل التي توفر المسار المحمي الضروري للقاطنين للمضي بسلامة إلى الجزء الخارجي من المبنى.

3- منطقة التفريغ: المنطقة الواقعة بين نهاية المخرج والطريق العام أو غيره من الأماكن الآمنة.

4- مسلك رجال الإطفاء: في أي وقت يجب أن يظل الممر المؤدي إلى المبنى خاليًا لإدارة الإطفاء. وإذا أمكن حول المبنى بأكمله، يجب الاحتفاظ بممر لرجال الإطفاء خاليًا لضمان إمكانية وصول رجال الإطفاء من جميع مواقع البناء.

■ مكونات خاصة بالمباني التعليمية

مثال المختبر والمكتبة، والمسرح، والكافتيريا، وغيرها.

1-3-2 العناصر الإرشادية

1-3-3 العناصر الإسعافية

1-3-4 القاطنين والمستخدمين [1]

1-3-5 اعتبارات عامة

تموضع وسائل الخروج:

■ الموقع

يجب توفير مخرجين على الأقل لجميع المناطق.

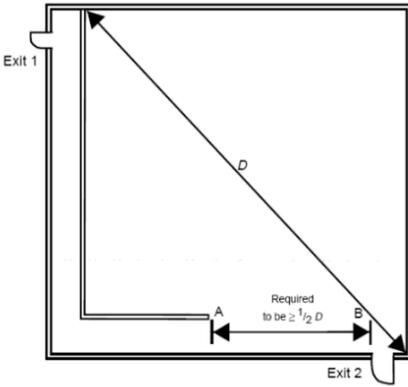
يجب أن تكون هذه المخارج بعيدة عن بعضها البعض

وأن يتم ترتيبها وإنشائها لتقليل احتمالية انسداد أكثر

من واحد بسبب حريق آخر أو أي حالة طوارئ أخرى.

بالنسبة لجميع الإنشاءات الجديدة، تتطلب القاعدة "القطرية" فصل المخارج بنصف

المسافة القطرية على الأقل للمنطقة المخدومة. [2]



الشكل 2 - مثال لمسافة بين مخرجين نسبة

إلى قطر الغرفة [3]

▪ عدد وسائل الخروج

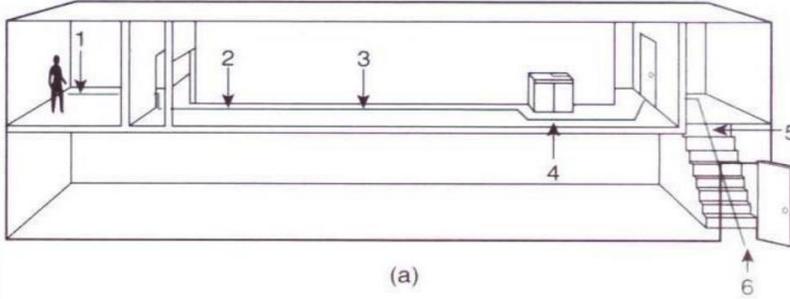
يجب أن يكون الحد الأدنى لعدد المخارج من أي شرفة أو طابق نصفي أو أي منطقة أخرى اثنتين. يجب زيادة الحد الأدنى لعدد المخارج (الجدول 1).

مواصفات المخارج	
المتطلبات	البند
2	أدنى عدد مطلوب من المخارج في كل طابق
2	أدنى عدد من المخارج التي يمكن الوصول إليها من كل جزء من كل طابق
3	أدنى عدد من المخارج لكل طابق لعدد 500 - 1000 شخص
4	أدنى عدد من المخارج لكل طابق لعدد أكثر من 1000 شخص

الجدول 1- مواصفات عدد المخارج [3]

▪ الوصول للمخرج

الحد الأقصى لمسافة الانتقال إلى مخرج واحد على الأقل يجب ألا يتجاوز 45 مترًا في المباني التي لا يتم رشها أو تتجاوز 60 مترًا في المباني المحمية بالكامل بواسطة نظام مرشحات معتمد خاضع للإشراف. اعتمادًا على الإشغال، يلزم وجود قيود إضافية على الممرات المسدودة والمسارات المشتركة في مسافات الانتقال إلى المخرج.



الشكل 3 - مثال عن طريقة حساب مسافة الانتقال للمخرج [3]

▪ معوقات الخروج

يجب ألا يكون الوصول إلى المخرج بأي حال من الأحوال عبر المطابخ، أو غرف التخزين، أو الحمامات، أو غرف العمل، أو الخزانات، أو غرف النوم، أو المساحات المماثلة.

■ منطقة التفريغ

يجب أن يتم تصريف المخارج مباشرة إلى الخارج أو منطقة آمنة مماثلة.
سعة وسائل الخروج

يبلغ عامل سعة الخروج للأدراج 7.6 ملم لكل شخص وللمنحدرات ومكونات الطابق

5 ملم لكل شخص، عند تحديد عرض المخرج لأغراض حساب السعة، يجب فقط قياس العرض الصافي للمدخل عندما يكون الباب في وضع الفتح الكامل. العرض الصافي هو العرض الخالي من العوائق لفتح الباب (الشكل 4).

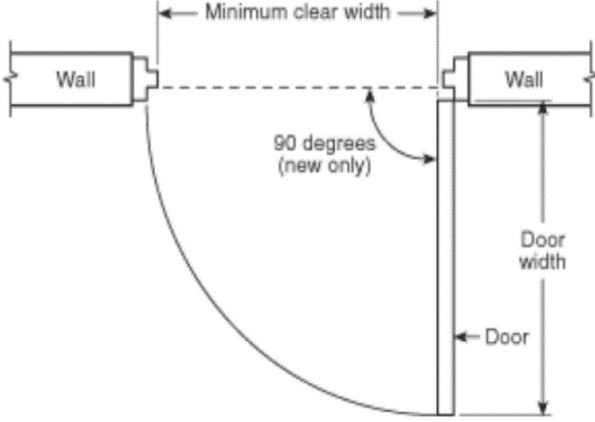
يجب ألا تقل فتحة الباب في أي مسار خروج عن 81 سم. سيسمح هذا العرض بمرور الكراسي المتحركة. بالنسبة للغرف

التي تقل مساحتها عن 6.5 متر مربع، يمكن

تقليل عرضها إلى 71 سم بشرط عدم السماح باستخدام الكراسي المتحركة في الغرفة، بالنسبة للمباني القائمة، الحد الأدنى للعرض هو 71 سم. يبلغ الحد الأقصى لعرض مصراع الباب 121 سم لتسهيل الاستخدام في حالات الطوارئ. [2]

الممرات

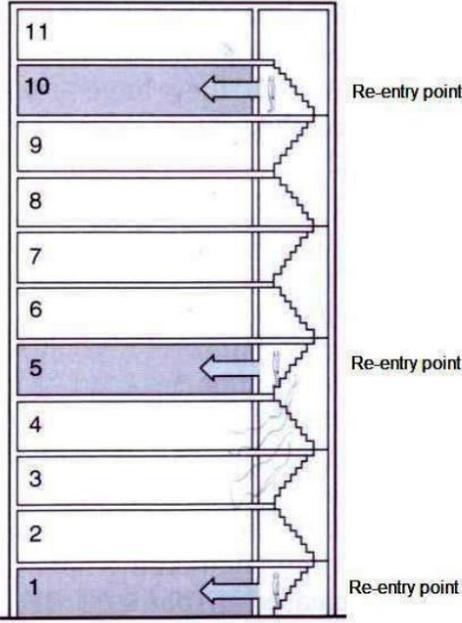
يجب أن توفر الممرات وصولاً للمخرج دون المرور من خلال أي غرف. يجب أيضاً أن توفر وصولاً لما لا يقل عن مخرجين في الطابق. [3]، يجب أن يكون الحد الأدنى لعرض الممر 91 سم للمباني الجديدة و 71 سم للمباني القائمة [1]، سعة الممر يجب ألا تقل عن سعة المخرج الذي يؤدي إليه، والممر الذي يخدم سعة 50 شخص أول أكثر يجب ألا يقل عن 120 سم عرضاً. [3]



الشكل 4 - أدنى عرض صافي للباب [3]

الأدراج

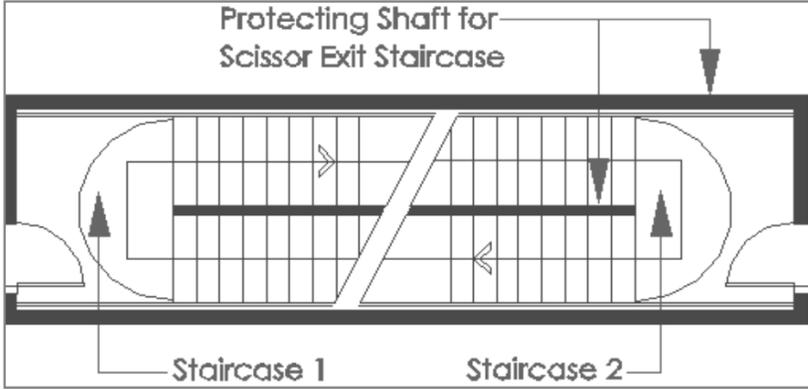
- يجب أن تكون الأدراج بعرض كافٍ بحيث يمكن لشخصين النزول جنبًا إلى جنب للحفاظ على معدل إخلاء مقبول. - يجب ألا يقل العرض الخالي من العوائق عن 110 سم.
- يحدد مداس 28 سم كحد أدنى و 200 سم كحد أقصى للأدراج الجديدة. يجب تواجد مائدة للدرج كل 3.65 متر من ارتفاع الدرج. [1]
- يجب ألا يستمر الدرج أكثر من أربعة طوابق دون وصول للدرج من الطابق. (الشكل 5)
- يجب أن تكون للدرج مائدة عند فتحة أي باب، وتستمر الموائد الوسطى بدون زيادة في العرض. [3]



الشكل 5 - قطع استمرارية الدرج عند 4 طوابق [3]

شروط خاصة بالأدراج الخارجية:

- 1- يجب تزويد الأدراج التي تزيد عن ثلاثة طوابق بحاجب بصري غير شفاف لا يقل ارتفاعه عن 1220 ملم.
- 2- يعتبر (درج المقص) مخرجًا منفردًا. (الشكل 6)



الشكل 6 - نموذج لدرج المقص [3]

3- لا يسمح بالأدراج الحلزونية ضمن مسالك الإخلاء. [3]

المنحدرات

يجب أن يكون المنحدر الجديد في الإشغال العام بعرض واضح يبلغ 112 سم وعادة ما يكون بانحدار 12\1 لارتفاع 15 سم أو أكثر. الحد الأقصى للارتفاع لمنحدر منفرد 76 سم. يتطلب وضع حماية ودرابزين للمنحدرات، يجب أن يكون للمنحدرات بسطات من الأعلى والأسفل وعند فتحات الأبواب، وكل بسطة لها عرض لا يقل عن عرض المنحدر، ويتم إجراء أي تغيير في الاتجاه فقط في منطقة البسطات.

الجسور والشرفات

كل جسر أو شرفة تتصل بمخرج أفقي يجب أن يكون لها حماية ودرابزين، يجب ألا يقل عرض الجسر أو الشرفة عن عرض الباب المؤدي إليه ولا يقل عن 1200 ملم.

المصاعد

يجب توفير سعة الخروج في مسارات الإخلاء بشكل مستقل عن المصاعد. [3]

اعتبارات ذوي الإعاقة.

يجب عدم استخدام المصعد العادي لإجلاء الأشخاص، بمن فيهم الأشخاص ذوو

الإعاقة، في كل طابق، يجب أن يكون هناك ملجأ واحد على الأقل للمعاقين.

نقطة التجمع

يجب تحديد نقطة التجمع خارج المبنى. إذا أمكن، يجب تركيب اللافتات المناسبة.

كما يجب الإشارة إلى نقطة التجمع في خطط الإخلاء. [1]

1-3-6 - اعتبارات خاصة بمباني المكتبات

متطلبات ترتيب مسالك الهروب للمكتبة وفق الجدول الآتي (الجدول 2).

سعة منفذ الخروج			دون حماية مرشات			مع حماية مرشات				
الممرات (لم للشخص)	المنحدرات (لم للشخص)	الأدراج (لم للشخص)	مسافة الانتقال	الممر المشترك	النهاية المسدودة القصوى	مسافة الانتقال	الممر المشترك	النهاية المسدودة القصوى	حاصل الإشغال (م للشخص)	
5	5	7.6	45 م	23 م	6.1 م	76 م	23 م	6.1 م	9.3	مناطق التجمع في المكتبة
5	5	7.6	45 م	23 م	6.1 م	76 م	23 م	6.1 م	6.4	غرف القراءة في المكتبة

الجدول 2 - متطلبات مسالك الهروب للمكتبة [3]

1-3-7 - خصوصية حالات الطوارئ في مباني المكتبات

يمكن أن يتسبب الحريق بإحداث إصابات خطيرة للأفراد، وإلحاق أضرار جسيمة بالمعدات والبناء والوثائق العلمية التي لا تقدر بثمن، بالإضافة لتعطيل وتشويش سير العملية التعليمية. [5]

2 - المحاكاة الرقمية

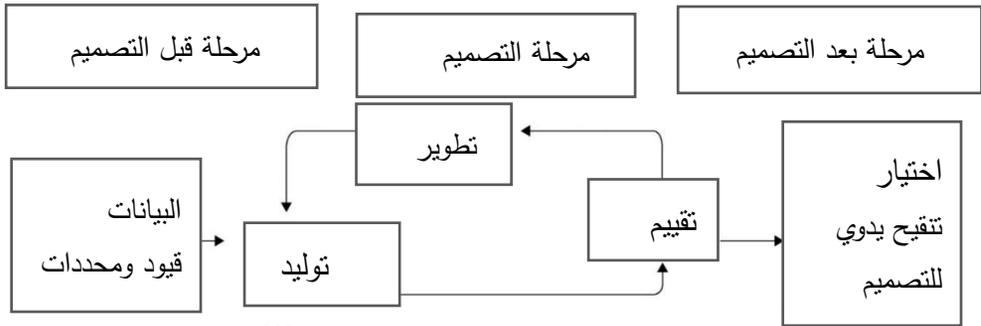
يعرّف القاموس المحاكاة على أنها "تمثيل سلوك أو خصائص نظام ما من خلال استخدام نظام آخر، وخاصة برامج الحاسوب المصمم لهذا الغرض"، يغطي هذا التعريف المعنى العام للمحاكاة، ولكنه يدرك أيضاً الهيمنة المتزايدة للحاسوب في هذا المجال. [6]

2-1 - ميزات الأساليب الرقمية في مجال المحاكاة

2-1-1 - التصميم التوليدي

تستخدم أدوات التصميم التوليدي خوارزميات قائمة على الذكاء الاصطناعي لإنشاء مجموعة من خيارات التصميم التي تلبي معايير محددة مسبقاً، بناءً على تفضيلات المستخدم الأولية، مثل متطلبات الأداء وقيود التصنيع، يمكن إنشاء عدد من حلول التصميم المختلفة، التي لم يفكر فيها المصمم أبداً، وبأداء أفضل مقارنة بالمكون المصمم بالطرق التقليدية. [7].

يعتمد التصميم التوليدي على ثلاث مكونات رئيسية: (1) نموذج هندسي يحدد "حدود التصميم" للحلول التصميمية الممكنة، (2) مجموعة من المقاييس والمحددات التي تصف أهداف أو موضوع مشكلة التصميم، (3) خوارزمية بحث استقصائية مثل الخوارزمية الجينية التي يمكنها البحث ضمن مجال التصميم المحدد للعثور على مجموعة متنوعة من خيارات التصميم عالية الأداء بناءً على الأهداف المحددة. [8]



الشكل 7- مراحل التصميم التوليدي [8]

تتسع مجالات التصميم التوليدي في مجال التصميم المعماري باتساع مجال الحدود التقنية لأدوات التصميم، وبقدرة المصمم على اختيار الأهداف وتوظيف الأداة لتحقيقها. [9]

2-1-2- التصميم المدفوع بالأداء

يشير التصميم المعماري القائم على الأداء إلى مبدأ أو منهجية يؤكد فيها المصمم على أداء المبنى. فهو مصطلح عام يصف مجموعة واسعة من ممارسات التصميم. يتم تنفيذ التصميم المفاهيمي باستخدام الأساليب التقليدية. بمجرد إعداد النموذج، يتم استدعاء برنامج المحاكاة لتحليل معيار أو أكثر من معايير الأداء التي يهتم بها المصمم. ثم يتم تحليل نتائج المحاكاة وتقييمها. يقوم المصمم بتعديل التصميم بناءً على التقييم، في محاولة لتحسين أداء المبنى.

يجب أن تكون هذه العملية متكررة، لأن حلقة واحدة من التعديل نادراً ما تحقق أفضل نتيجة بسبب تعقيد مشكلة التصميم، يصبح التصميم المعماري القائم على الأداء، بمساعدة تقنية تحسين فعالة، تلقائياً وأكثر كفاءة. تمت ترقيته من كونه قائماً على الأداء إلى كونه مدفوعاً بالأداء، حيث محرك القيادة هو خوارزمية التحسين المتخذة في التصميم. [10]

2-1-3- محاكاة العوامل البشرية المعقدة

بسبب المشاكل العملية للدراسات الميدانية، تم إجراء الكثير من أبحاث الإخلاء عن طريق المحاكاة وأساليب النمذجة الأخرى، بدأت بعد ذلك محاكاة الإخلاء والنمذجة في

أخذ العوامل البشرية في الاعتبار. تأخذ العديد من عمليات المحاكاة في الاعتبار الميول السلوكية، التوجه نحو الهدف، اتخاذ أقرب مخرج، تجنب العقبات واتباع المرشدين. [11]

2-1-4- المحاكاة في المراحل المبكرة لعملية التصميم المعماري

بدأت أجهزة الحاسوب في المساعدة في اتخاذ قرارات التصميم في المراحل المبكرة من التصميم التخطيطي وتطوير التصميم، كما أصبح بإمكان محاكاة نمذجة معلومات البناء (BIM) أن تفيد كل مرحلة من مراحل عملية التصميم، بما في ذلك التصميم المفاهيمي والتصميم التخطيطي.

ولكن إذا كان من الممكن طرح الأفكار وإظهارها من خلال النماذج الأولية السريعة، فيمكن اختبار النماذج الأولية للتصميم وتطويرها واختبارها بسرعة وبتكلفة زهيدة وفي ظل ظروف محاكاة تقارب الواقع. [6]

2-1-5- تكامل برامج المحاكاة

تتطلب دقة التمثيل إدخال أكبر قدر ممكن من البيانات حول الأماكن والأحداث، تعد أجهزة الحاسوب هي المنصة المثالية لأبحاث المحاكاة؛ يمكن لأجهزة الحاسوب محاكاة طيف واسع من الظواهر المختلفة بدءًا من القوى الصغيرة التي تربط الجزيئات وحتى عمل الهياكل الداعمة لناطحات السحاب الضخمة وتوقع سلوك الاقتصاد وغيرها.

2-2- علاقة أسلوب البحث المعتمد على المحاكاة بالأساليب الأخرى

2-2-1- الأبحاث التجريبية

إن أحد قيود البحث التجريبي هو أنه مختزل بالضرورة؛ حيث يتم عزل متغيرات العالم الحقيقي من أجل دراسة الروابط السببية في ظاهرة الدراسة، يتم التعامل مع متغير مستقل واحد أو أكثر لقياس تأثيرها على واحد أو أكثر من المتغيرات التابعة، في المقابل؛ تهدف استراتيجية المحاكاة إلى تصميم بنية تتضمن جميع المتغيرات ذات الصلة في بيئة أو ظاهرة بطريقة شاملة، عندما يتم محاكاة سلوك هذه البيئة المتكاملة، يمكننا حينئذٍ ملاحظة ما هي المتغيرات المهمة الحاصلة، وافترض المزيد من الخطوات. [6]

2-2-2 - أبحاث المحاكاة وبناء النظرية

المحاكاة مفيدة في تطوير النظرية واختبار النظرية، أبحاث المحاكاة غالباً ما تكون مفيدة كنقطة "وسيطه" للوصول للمعرفة، يمكن في منهج المحاكاة تشديد صرامة المنطق النظري الأساسي، وضبط هيكلية التجربة، ووضع مقترحات نظرية قبل الاختبار التجريبي. [12]

المرحلة	الهدف
1	تحديد سؤال البحث تركيز الجهد على قضية تكون المحاكاة فعالة فيها بشكل خاص على الأقل من الناحية النظرية.
2	تحديد نظرية بسيطة تشكيل أساس التمثيل الحسابي من خلال إعطاء شكل للمنطق النظري، والاقتراحات، والبنى، والافتراضات.
3	اختر نهج المحاكاة التحقق أن يستخدم البحث نهج محاكاة مناسب.
4	إنشاء تمثيل رقمي تضمنين النظرية في بيئة البرنامج الحاسوبي. إثبات إمكانية التطبيق.
5	التحقق من التمثيل الحسابي تأكيد دقة ومثانة التمثيل الرقمي. تأكيد الاتساق الداخلي للنظرية.
6	القيام تجربة يركز التجريب على تطوير النظرية بناء نظرية جديدة من خلال الاستكشاف والتوضيح وتوسيع نطاق النظرية البسيطة.
7	التحقق من خلال البيانات التجريبية تأكيد صلاحية النظرية للحالات المختلفة.

الجدول 3 - هيكلية البحث المستند إلى المحاكاة [12]

2-3-2 - تقنيات المحاكاة المتعلقة بحالات الطوارئ

2-3-1 - نمذجة معلومات المبنى BIM

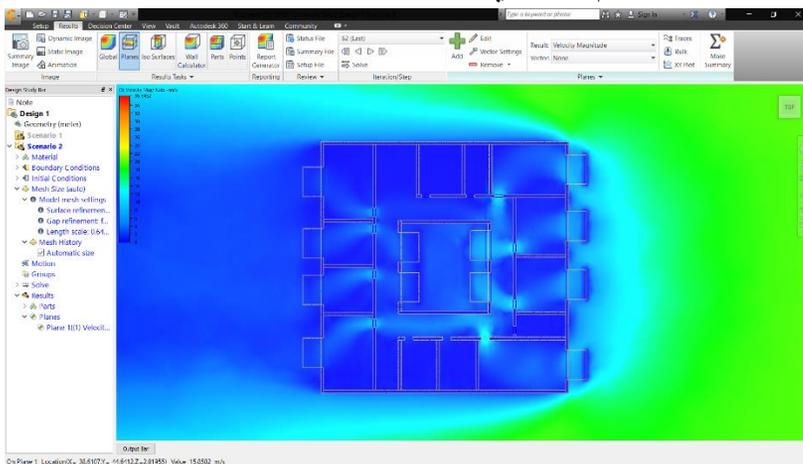
تقدم الأسس التكنولوجية لنمذجة معلومات البناء العديد من التحسينات في العمليات وضبط المعلومات ضمن ممارسات التصميم التقليدية. تشمل هذه الفوائد جميع مراحل التصميم. [13]

2-3-2 - محاكاة الحريق والدخان

هناك صعوبة متأصلة في التنبؤ بسلوك الحريق نظرًا لأنه يتضمن ديناميكيات معقدة مدفوعة بمؤثرات متعددة، يلزم اذن اتباع نهج بسيط وقوي وفعال، باعتماد نماذج حسابية شاملة لتقدير نمو الحرائق والتنبؤ بها وفهمها لدعم الاستجابة للطوارئ. [14]

أ- ديناميكا الموائع الحسابية (CFD):

يمكن أن تتنبأ ديناميكيات الموائع الحسابية (CFD) - وهي أكثر طرق نمذجة تدفق الهواء تعقيداً - بطبيعة تدفق الهواء والحمل الحراري وانتشار الدخان والأبخرة في البيئة الداخلية للمباني أو حولها، يمكن أن تشاهد مساهمة تطبيقات محاكاة الحريق في عدة مستويات من عملية التصميم المعماري. [15]

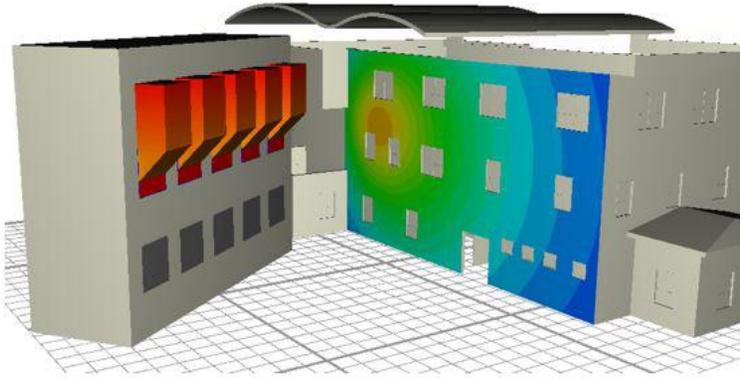


الشكل 8 - مخطط يوضح تأثير الرياح على المبنى داخليًا وخارجيًا (برنامج Autodesk CFD) (المصدر: الباحث)

لكن استخدام هذا النهج يفرض بعض الصعوبات. حيث يجب على المهندس أن يصمم بشكل مناسب حريقًا موصوفًا بالكامل.

ب- النماذج الحسابية التقريبية

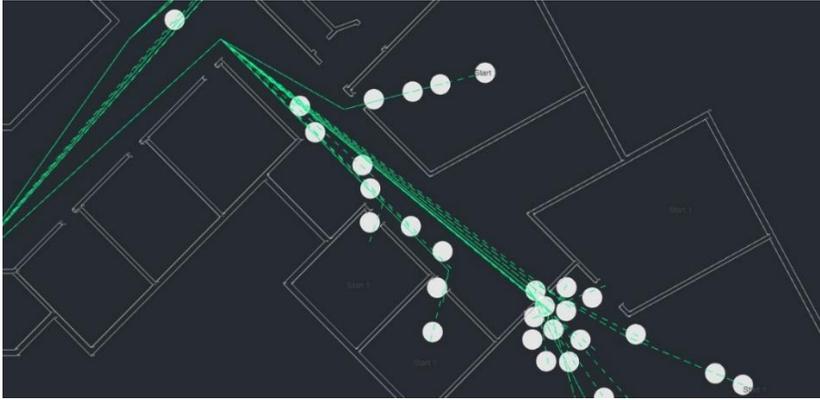
كحل لصعوبات الحساب التي تمت الإشارة إليها، تم تطوير بعض البرامج البديلة. تتمثل الأفكار الرئيسية وراها في أنه يجب أن تكون دقيقة النتائج وسريعة الاستخدام. لا تستغرق العمليات الحسابية بأبسط دقة أكثر من بضع ثوانٍ. [16]



الشكل 9 - حريق في البناء على اليسار يولد حرارة من النوافذ تؤثر على المبنى المجاور
(برنامج FireRad) [16]

2-3-3 - محاكاة المستخدمين

يبدو السلوك البشري فوضوياً أو غير منتظم للغاية ولا يمكن التنبؤ به. خصوصاً عند محاولة تحليل السلوكيات الموجودة في المواقف المعقدة. ومع ذلك يمكن تطوير النماذج السلوكية العشوائية إذا أمكن صياغة وصف للاحتتمالات السلوكية التي يمكن العثور عليها في عدد كبير من الأفراد. [17]

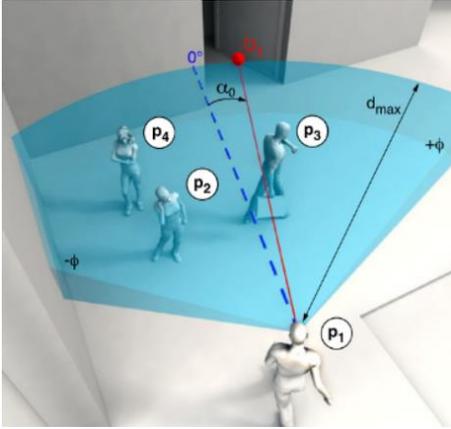


الشكل 10- حركة العملاء في عملية محاكاة الإخلاء - Pedsim/Grasshopper
(المصدر: الباحث)

عناصر نمذجة المستخدمين تتكون من:

▪ النمذجة المعتمدة على العميل

يتم تصميم الأنظمة على أنها مجموعة من الكيانات، والمعروفة باسم الوكلاء، والتي تتصرف بشكل مستقل وفقاً لمجموعة من القواعد وسياقها المحدد. يظهر السلوك الكلي للنظام من خلال التفاعل بين الوكلاء. [18]



الشكل 11 - النمذجة المعتمدة على العميل

[29]

▪ نموذج الدوافع الاجتماعية

من أشهر الصيغ في توصيف سلوك الحشود (نموذج الدوافع الاجتماعية - Social force model)، يمكن تصنيف محفزات السلوك إلى مواقف بسيطة أو قياسية يمكن التنبؤ بها جيداً، ومواقف معقدة أو جديدة يمكن نمذجتها باستخدام نماذج احتمالية. [17]

▪ النموذج الخلوي

النماذج الخلوية تقسم المساحة إلى شبكة متصلة. يحتل كل وكيل موقعاً معيناً في الشبكة (خلية) ويتنقل بين هذه المواضع اعتماداً على نظام النمذجة. تسير المحاكاة الخلوية في خطوات زمنية منفصلة، تتأثر

قيمة المتغير في كل خلية بقيم

المتغيرات في الخلايا المجاورة.

يتم تحديث المتغيرات في كل

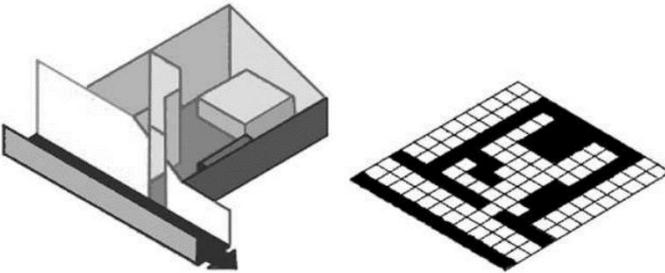
خلية في وقت واحد بناءً على

قيم المتغيرات في المنطقة

المجاورة لها في الخطوة الزمنية

السابقة ووفقاً لمجموعة من القواعد

الأخرى. [19]



الشكل 12 - التقسيم الخلوي للبنية الفيزيائية [19]

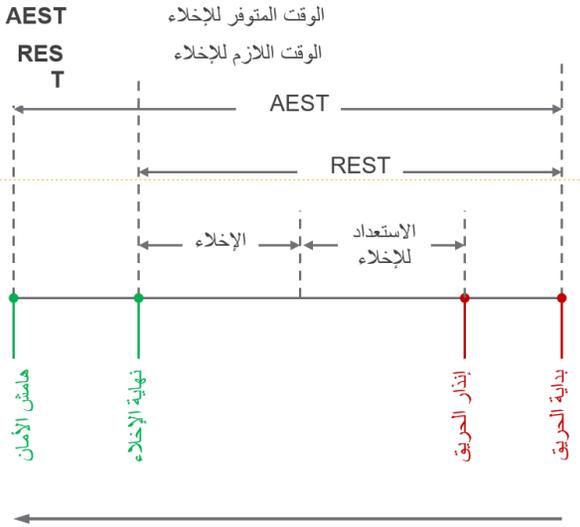
2-4-4 هيكليّة تطبيق المحاكاة

2-4-4-1 إجراء المحاكاة

- 1- نمذجة معلومات البناء: وهي مرحلة تمثيل العناصر المعمارية بطريقة يمكن لأدوات المحاكاة قراءتها وإجراء المحاكاة ضمنها.
- 2- محاكاة الحريق: تمكن الدارس من مراقبة عملية الإخلاء في حالة الحريق وبالتالي تقدير الوقت اللازم للإخلاء
- 3- محاكاة المستخدمين: تحديد طبيعة الإخلاء ومدته ومناطق الازدحام وغيرها من المعلومات.

2-4-4-2 مراقبة مؤشرات الإخلاء

أ- زمن الإخلاء:

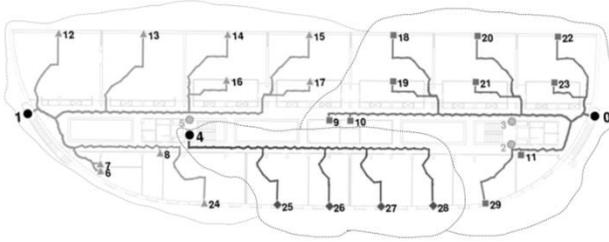
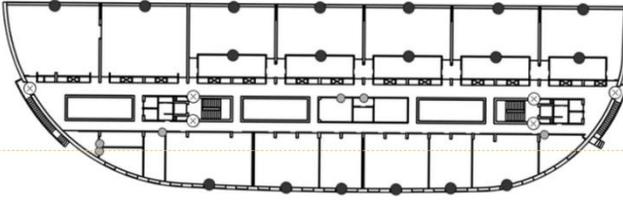


الشكل 13 - زمن الإخلاء [20]

يوضح كود البناء المبدأ التوجيهي لاعتبارات التصميم المتعلقة بالإخلاء، ولكن الاعتبار الرئيسي للكود هو تلبية المتطلبات الأساسية للسلامة وليس تقليل وقت الإخلاء. كود الحريق يمثل ملخصاً للتجربة التاريخية، لكن مع تنوع وظائف البناء والتصاميم المختلفة، وتطور قواعد السلامة بشكل غير متزامن دائماً مع متطلبات البناء الحديثة؛ فقد حظيت طريقة التصميم القائمة على الأداء باهتمام كبير. [20]

ب- مسافة المشي:

غالبًا ما يخطط المهندسون مسارات الإخلاء من خلال تخصيص مجموعات من الغرف لكل مخرج للطوارئ بشكل متكرر وفق مبدأ التجربة والخطأ. وهذا التحليل البصري قد يكون مرهقًا وغير مجدي في بعض الأحيان بسبب التغييرات في التوزيع والاستخدام. يمكن حل هذه المشكلة باستخدام تقنيات التحليل المكاني المعروفة والمنفذة



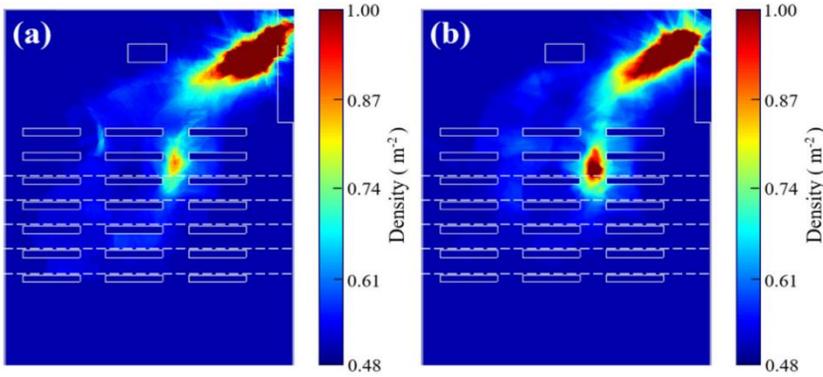
الشكل 14 - حساب مسافات المشي [21]

كبرنامج متخصص يمكنه أن يحاكي جزئيًا طريقة تفكير المهندسين. [21]

ج- مؤشر الكثافة:

يؤثر معدل تدفق الأفراد في حالة الإخلاء على كفاءة ووقت الإخلاء الكلي، ويمكن في حالات قصوى أن تؤدي الكثافة العالية إلى تدافع خطر قد يؤدي إلى إصابات أو وفيات.

تتأثر كثافة الأشخاص في حالة الإخلاء بعوامل متعددة، منها طبيعة الفراغ الذي يتم إخلاؤه، يمكن من خلال المحاكاة مراقبة وضبط العديد من المحددات التصميمية كعروض الممرات ومواقع وعروض الأبواب وغيرها، للوصول إلى القيمة المقبولة. [22]



الشكل 15 - مؤشر الكثافة في مخطط قاعة دراسية [22]

د- ظاهرة عنق الزجاجة

وهي ظاهرة تنشأ عادة عندما تمر الجسيمات أو العناصر عبر المناطق الضيقة في بيئة معينة، تعتمد مدة الانسدادات على معدل تدفق المازين في منطقة العنق. إن انسداد الحركة قد يستمر لفترة طويلة نسبياً في بعض الحالات القصوى، وفي بعض الأحيان يؤدي إلى إصابات خطيرة، يتم تجنب بعض الانسدادات قبل تشكلها، من خلال آليات

توجيه المشاة المتعددة. [23]



الشكل 16 - تشكل عنق الزجاجة [24]

2-4-3- توليد الحلول

تنقسم مبادئ توليد الحلول إلى:

▪ التصميم التقليدي اليدوي

يوجه المصمم بشكل ذاتي وعقلاني عملية توليد التصميم، وتترك عملية تقييم الأداء إلى نهاية العملية التصميمية.

▪ التصميم التوليدي

يتم استكشاف احتمالات التصميم والتحسينات الممكنة بسرعة من خلال الجمع بين الخوارزميات والنمذجة البارامترية. يمكننا التصميم التوليدي من إنشاء ومقارنة عشرات أو مئات أو آلاف الاحتمالات الممكنة واختيار التصميم الذي يفي بمعايير محددة للسلامة من الكوارث أو متطلبات الكود وغيرها من المحددات. [18]

3- تحليل أثر تطبيقات المحاكاة الرقمية السابقة على أداء المبنى في حالة

الإخلاء

للتعرف على طبيعة تأثير تطبيقات المحاكاة الرقمية على العناصر التصميمية للمبنى في حالة الإخلاء في مباني المكتبات؛ تم مقارنة مجموعة من التطبيقات السابقة من حيث طبيعتها ونتائجها ونوعية البناء المدروس.

3-1- مكتبة جامعة الفلبين - ديليمان

3-1-1- توصيف البنية

تقيم هذه الدراسة خطة إخلاء المكتبة الرئيسية في جامعة الفلبين-ديليمان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ثلاثية الأبعاد في الأماكن المغلقة (3D Indoor GIS).

يتم إنشاء محاكاة إخلاء تعتمد على افتراض مَشاهد مختلفة لحالة الحريق. تم أخذ عوامل معينة بالاعتبار مثل مصدر الحريق، جميع الطرق والمخارج الممكنة، ومدة الإخلاء؛ كأساس لتقييم خطة الإخلاء من الحريق.

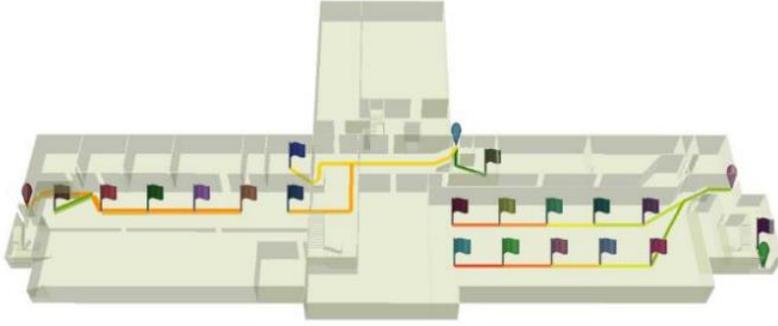


الشكل 17- مكتبة جامعة الفلبين - ديليمان (المصدر:
[philippines-university.jp/university/university-of-](http://philippines-university.jp/university/university-of-the-philippines-diliman)
the-philippines-diliman

3-1-2 - إجراء محاكاة الإخلاء

▪ القبو

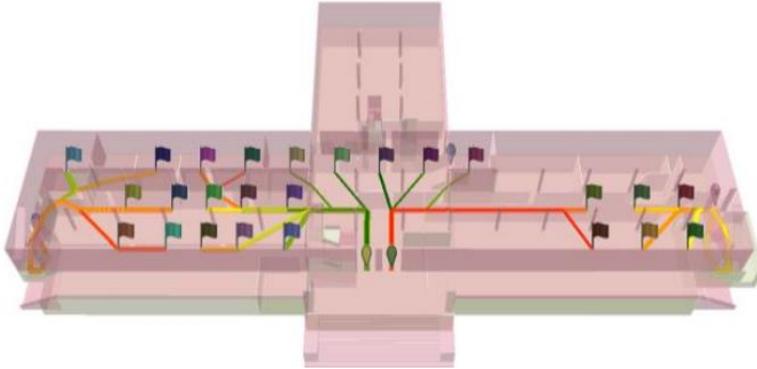
تظهر المحاكاة أن الهاربين الأقرب إلى المخرج الشرقي للقبو يتوجب عليهم استخدامه كنقطة خروج. واستنادًا إلى البيانات الناتجة، سيكون للقادمين من (قاعة التشريعات) أطول مسار للوصول إلى نقطة الخروج أثناء الإخلاء. يبلغ متوسط زمن الإخلاء للقبو 15.46 ثانية مع مسافة 27.63 مترًا للوصول إلى نقطة الخروج.



الشكل 18 - مخطط إخلاء القبو [25]

▪ الطابق الأرضي

يستغرق شاغلو البهو أقصر زمن إخلاء وقدره 10.13 ثانية، بينما يستغرق شاغلو الجناح الجنوبي في قسم العلوم الاجتماعية أطول زمن إخلاء يبلغ 25.35 ثانية. يجب على الهاربين من الطابق الأرضي اجتياز مسافة متوسطة يبلغ طولها 33.01 مترًا للوصول إلى نقطة الخروج. يبلغ متوسط زمن الإخلاء في هذا المستوى 18.46 ثانية.

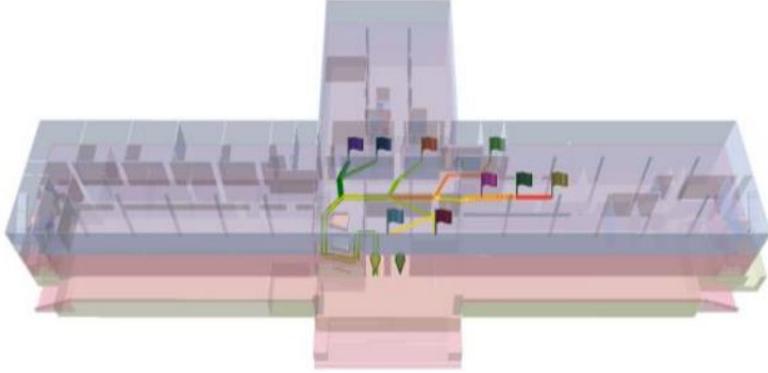


الشكل 19 - مخطط إخلاء الطابق الأرضي [25]

▪ الطابق الأول

إن أطول مسار في الطابق الأول لشاغلي قسم (السلاسل الوثائقية) بزمن إخلاء قدره 36.11 ثانية، متوسط زمن الإخلاء في الطابق الثاني هو 29.49 ثانية مع متوسط مسافة 52.72 متر. لا يوجد وصول مباشر إلى مخارج مستوى الشارع، حيث تم

استخدام مخرج الطابق الأرضي فقط في عملية الإخلاء حيث كان هذا أقرب نقطة خروج على مستوى الشارع.



الشكل 20 - مخطط إخلاء الطابق الأول [25]

3-1-3 - حالة الحريق

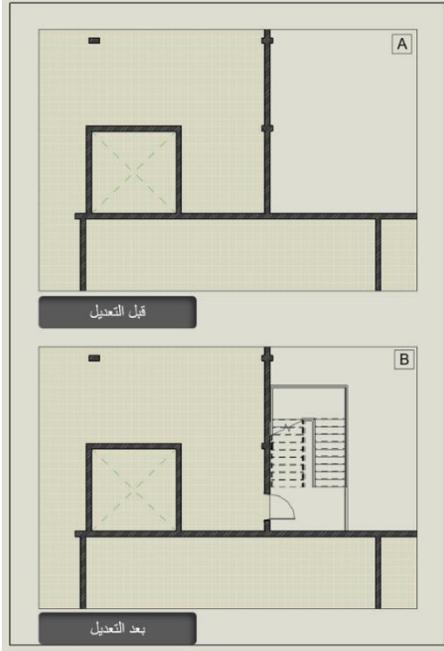
يمكن أن تكون أجهزة خادم البيانات الكبيرة سبباً في نشوب حريق. علاوة على ذلك، نظراً لأن مركز البيانات يقع بجوار مخرج الطابق السفلي الشمالي رقم 1، فقد تم إغلاق نقطة الخروج هذه بسبب الحريق. كما تم إغلاق مخرج القبو الشمالي الذي لا يمكن الوصول إليه إلا لأولئك الذين يسكنون الطوابق العليا. توضح المنطقة المعروضة باللون الأحمر (الشكل 21) مصدر الحريق ونقطة الخروج المتضررة، يلحظ تأثر مسالك الإخلاء في القبو والطابق الأرضي حيث تجنبت معظم المسارات نقاط الخروج الشمالية في القبو، أدى التغيير في طرق الإخلاء إلى زيادة مدة الإخلاء بمقدار 4.93 ثانية و1.63 ثانية على التوالي للقبو والطابق الأرضي.



الشكل 21 - موقع الحريق [25]

3-1-4 - تقديم الحلول

نظرًا لأن الجناح الشرقي للمكتبة يستخدم لأغراض التخزين، فقد كان إنشاء مخارج



جديدة للحريق في هذا الجانب من المبنى ضروريًا لتسهيل إخلاء الموظفين ذوي المهام الخاصة. يتضمن مسار الإخلاء الحالي فقط المخرج الشرقي في القبو باعتباره نقطة الخروج الرئيسية لهؤلاء الموظفين، أما القادمين من الطوابق العليا لا يزال يتعين عليهم استخدام أدراج الخدمة في الجناح أثناء عملية

الشكل 22 - نتائج التعديل [25] (بتصرف)

الإخلاء حيث لا يمكنهم الوصول مباشرة إلى مخرج مستوى الشارع نقاط. بعد إضافة نقطة الخروج الجديدة، يمكن للموظفين من الطابقين الأول والأرضي التوجه مباشرة إلى الأبواب المؤدية إلى درج الطوارئ في الجانب الجنوبي. يمكن أيضًا للموظفين الموجودين في القبو التوجه مباشرة إلى باب الخروج في الجانب الجنوبي من الجناح الشرقي للوصول إلى بر الأمان. ومع نقطة الخروج الجديدة هذه، سيكون هناك ازدحام أقل في مخرج القبو وفي أدراج الخدمة في غرف التخزين، كما ينخفض متوسط زمن الإخلاء إلى 96.84 ثانية من 112.31 ثانية. [25]

3-2-2- مكتبة جامعة لياونينغ للتكنولوجيا الهندسية

3-2-1- توصيف البنية

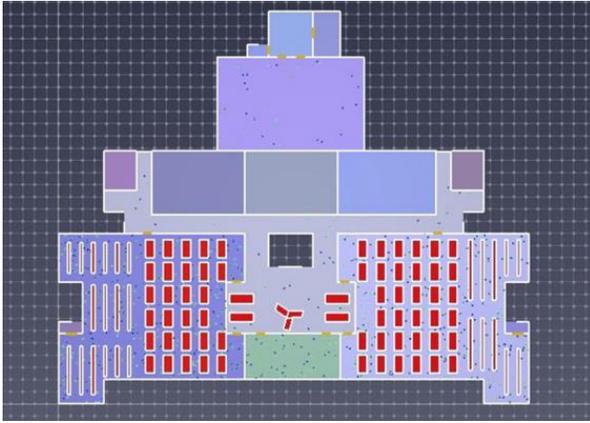


الشكل 23 - مبنى مكتبة جامعة لياونينغ [26]

في هذه الدراسة، تم دراسة مبنى المكتبة في الحرم الجامعي الرئيسي لجامعة لياونينغ التقنية. تم تصميم المكتبة بحيث تتكون من أربعة طوابق، وجزء من المكتبة مكون من ثلاثة طوابق. يوجد في المكتبة 1800 مقعدًا للقراءة، ويبلغ متوسط عدد الأشخاص الذين يدخلون المكتبة

5000 شخص. وعادةً ما تكون المكتبة مزدحمة. يوجد ستة مخارج في الموقع بأكمله.

يستخدم المدخل الغربي للمبنى بشكل رئيسي لتحميل وتفريغ البضائع، في حين يستخدم المدخل الشمالي للباحثين، لتبسيط عملية المحاكاة.



الشكل 24 - المخطط الحالي للمكتبة [26]

3-2-2- إجراء محاكاة الإخلاء

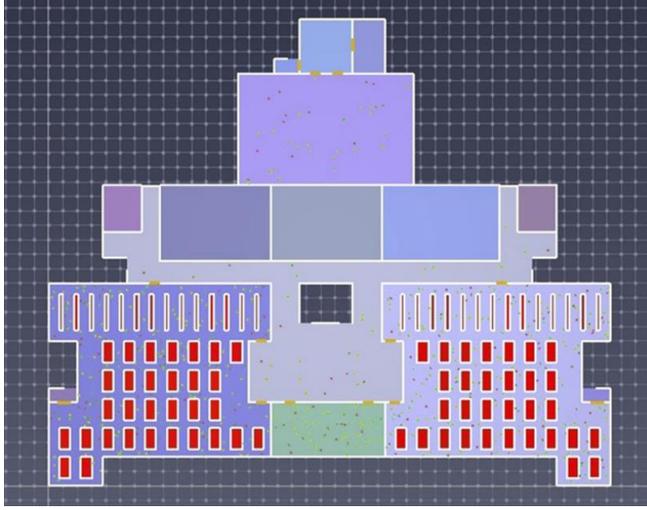
كانت مدة الإخلاء 163.8 ثانية. ويبين (الشكل 25) مخطط كثافة الأفراد في وقت الإخلاء 20.6 ثانية. كما هو واضح، فإن ممر الإخلاء ومنطقة الدرج هما منطقتا الكثافة الأكبر من الأفراد ويمكن أن تحدث اختناقات مرورية بسهولة في ممر الإخلاء وأدراج الإخلاء.



الشكل 25 - مخطط كثافة الأفراد في وقت الإخلاء 20.6 ثانية [26]

3-2-3- تقديم الحلول

أثرت العناصر المكسدة في ممر درج الإخلاء على سرعة حركة الأفراد، ينبغي نقل العناصر داخل الغرف قدر الإمكان. يجب ترتيب الرفوف بشكل مناسب في الجزء الداخلي من زاوية أو حافة الجدار، بالإضافة إلى ذلك، يجب تفريغ العناصر الموجودة حول أدراج الإخلاء في منطقة القراءة، تجاوز عدد موظفي المكتبة الحد المسموح به وأثر على سرعة الإخلاء الإجمالية. لذلك تم تقليل عدد الأشخاص في غرف القراءة في الطابقين الثالث والرابع بمقدار 100 شخص. [26]



الشكل 26 - المخطط بعد التعديل [26]

3-3-3 مكتبة جامعة انواي للعلوم والتكنولوجيا

3-3-3-1 توصيف البنية

يبلغ ارتفاع الطابق 3.8 م، تضم المكتبة 1.87 مليون كتاب. تتكون المكتبة من سبعة طوابق (واحد تحت الأرض وستة فوق الأرض). الطابق تحت الأرض عبارة عن مرآب. في حين أن الطوابق الستة فوق الأرض مجهزة بمكتبة وغرفة قراءة الصحف



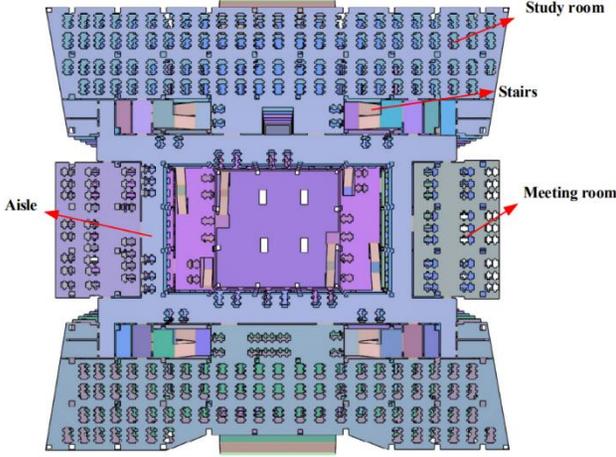
الشكل 27 - مبنى مكتبة جامعة انواي [27]

وغرفة قراءة الوسائط المتعددة وغرفة

الدراسة الذاتية وغرفة المؤتمرات وما إلى ذلك، تركز هذه الدراسة بشكل رئيسي على الطوابق من الأول إلى السادس في المكتبة. تم إنشاء نموذج معلومات المبنى الخاص بالمكتبة باستخدام تقنية BIM.

3-3-2 - إجراء محاكاة الإخلاء

يتم استخدام برامج Revit و Pyrosim و Pathfinder لإجراء الدراسة.



الشكل 28 - مخطط الوضع الراهن [27]

تم ضبط معدل استخدام المقاعد على 100%، يوجد في المكتبة 5185 شخصاً. تكشف نتائج المحاكاة لبرنامج Pathfinder أن الإخلاء يستغرق 627 ثانية لجميع الأشخاص لإكمال عملية الإخلاء في الظروف العادية، بما في ذلك 2715 و 2470 شخصاً من الأبواب الجنوبية والشمالية على التوالي.

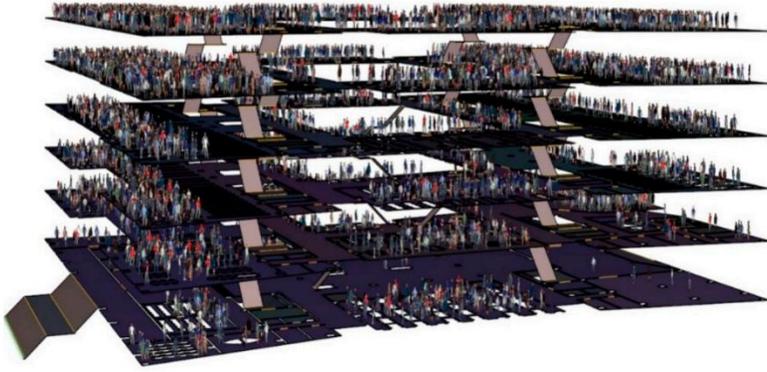
إجمالي عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من جميع الممرات في الطابق

الثاني 4850، وعدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم في مخرج #1 1080 وهو العدد الأكبر، وتبلغ نسبة الاستفادة من ممر الإخلاء هذا 22.27%.

إجمالي عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من جميع الممرات في الطابق الثالث 4133، وعدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من مسار الإخلاء رقم #7 هو 953 بنسبة اشغال 23.05%.

إجمالي عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من جميع المخارج بالطابق الرابع 3580. إجمالي عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من جميع الممرات بالطابق الخامس 2848، وعدد شاغلي ممر الإخلاء رقم #19 هو الأكبر بـ 785، ونسبة الإشغال 27.56%.

إجمالي عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من جميع الممرات بالطابق السادس 1426. أكبر عدد من الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من ممر الإخلاء رقم #24 بالطابق السادس هو 411، وبنسبة استغلال 28.82%، يليه ممر الإخلاء رقم 23 بـ 373، مع نسبة استغلال 26.16% في الظروف العادية.



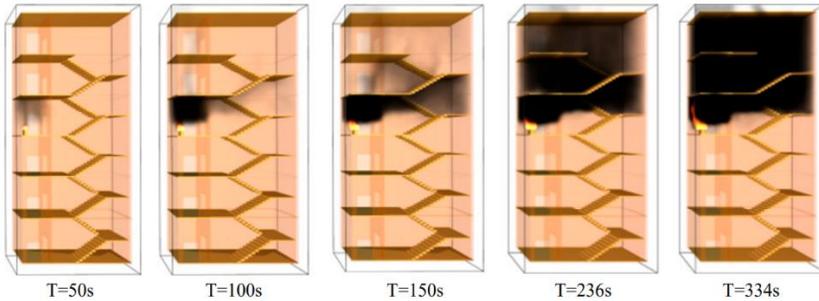
الشكل 29 - عملية الإخلاء [27]

3-3-3 - حالة الحريق

تم افتراض مصدر الحريق بالقرب من الممر ذو أعلى معدل استخدام. نظرًا لكثرة مقاعد القراءة في الطابق الرابع وما فوق، يقع مصدر الحريق في الغرفة الأمامية للدرج بالطابق الرابع مقابل الحائط بمساحة 1×2 م.

▪ الدخان

تصبح الأدراج في الطابقين الرابع والسادس مليئة بالدخان الأسود، ويستمر الدخان في الطابق الرابع في الانتشار للأعلى. في هذا الوقت، الأدراج الموجودة في طابق الحريق وما فوقها مليئة بالدخان، والتي لم تعد تلبى شروط الإخلاء الآمن. ويوضح الشكل انتشار الدخان في الدرج في أوقات مختلفة (الشكل 30).



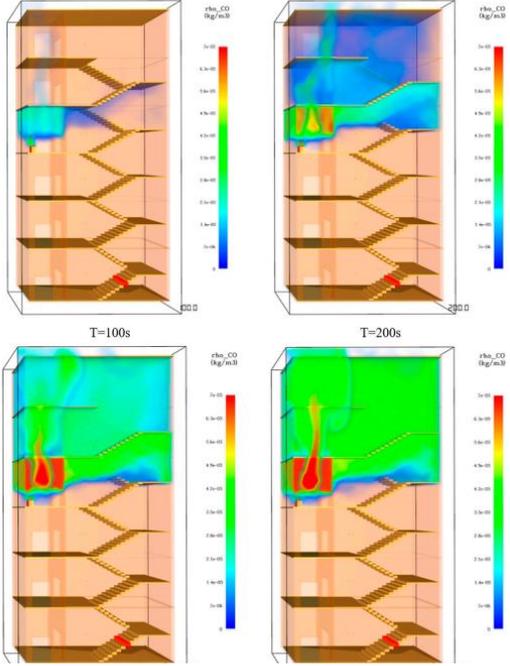
الشكل 30 - انتشار الدخان في الدرج في أوقات مختلفة [27]

تركيز ثنائي أكسيد الكربون

يتزايد تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الأدرج والغرف الأمامية في الطابقين

الخامس والسادس، ويبلغ الحد الأقصى 367 جزءاً في المليون، وهو بعيد عن مستوى تهديد سلامة الموظفين. فقط تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغرفة الأمامية بالطابق الرابع يعرض صحة الإنسان للخطر الشديد. تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الطوابق من الأول إلى الثالث ضئيل جداً، ويمكن تجاهل الضرر الذي يلحق بالأفراد.

الإخلاء في حالة الحريق
يلحظ انغلاق الدرج #13 بعد 83 ثانية، والدرج #19 بعد 227 ثانية، والدرج #23 بعد 256 ثانية. مع الأخذ في الاعتبار الظروف غير المواتية.



الشكل 31 - مؤشر تركيز ثاني أكسيد الكربون [27] متوسط عدد الأشخاص الذين تم

إجلاؤهم في أدرج الإخلاء رقم 17 ورقم 18 هو 249، ونسبة الاستخدام 13.93% فقط.

3-3-4- تقديم الحلول

يمكن زيادة عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم في ممر الإخلاء عن طريق توسيع عرض الدرج. يمكن أن تقلل الضغط على ممر الإخلاء، وهو أكثر ملاءمة للاستخدام المتوازن للأدرج، تم تحسين عملية الإخلاء من خلال توسيع عرض الأدرج. تكشف النتائج أن عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم في الممر #2 انخفض من 1285 إلى 1024، أصبح عدد الأشخاص الذين تم إجلاؤهم في كل طابق أكثر اتساقاً، كما أصبح معدل استخدام الأدرج أكثر اتساقاً أيضاً. [27]

3-4- نتائج الدراسة التحليلية

1- تم ملاحظة أنواع العناصر التي تم التطرق إليها في الحالات المدروسة وكيفية تأثيرها على الإخلاء (الجدول 4).

حالة الحريق	سعة المبنى			عدد الطوابق					
نقاط تقريبية	519			3		1			
---	5000			4		2			
محاكاة حريق	5185			7		3			
نمذجة البناء	محاكاة الحريق		محاكاة المستخدمين						
Sketch Up	---		3D Indoor GIS				1		
Revit	---		Pathfinder				2		
Revit	Pyrosim		Pathfinder				3		
إجراء المحاكاة									
عوائق	أبواب			أدراج			ممرات		
	التموضع	العرض	النوع	التموضع	الأبعاد	النوع	عرض	طول	
--	✓	--	--	✓	--	--	--	--	1
--	--	--	--	--	--	--	--	--	2
--	--	--	--	--	✓	--	--	--	3
المكتبة				المنحدرات					
السعة	التوزيع الداخلي	الشكل	التموضع	الأبعاد	النوع				
--	--	--	--	--	--			1	
✓	✓	--	--	--	--			2	
--	--	--	--	--	--			3	
نسبة التحسن في مؤشرات الإخلاء									
عق الزجاجة	مسافة المشي	الكثافة	زمن الإخلاء						
--	--	--	%13.8					1	
--	--	--	%11.8					2	
--	--	--	%16.9					3	

الجدول 4 - تحليل النماذج المدروسة (المصدر: الباحث)

- 2- تم التركيز على تأثير المحاكاة على زمن الإخلاء بمتوسط تحسن قدره 14%.
- 3- تم التطرق للأدراج من حيث التوضع والعدد، وللابواب من حيث التوضع، ولفراغ المكتبة من حيث التوزيع الداخلي وسعة الاستخدام.
- 4- ظهرت أهمية محاكاة الحريق كعامل حاسم في قياس نجاح عملية الإخلاء.

5- نموذج تطبيقي

4-1- اختيار أدوات المحاكاة

تم اختيار برنامج Revit لنمذجة معلومات البناء، وتم اختيار أداة PedSim التي تعتبر من أحد حزم أداة Grasshopper الذي يقدم تحكماً كاملاً بعناصر العمليات التي يقوم بها، تساعد هذه الصيغة في التحكم بأكبر قدر من عوامل المحاكاة ومن أهمها التصميم مدفوع بالأداة من خلال أداة أخرى وهي Galapagos أداة التصميم التوليدي والتي تعد عموداً أساسياً في التصميم الأدائي.

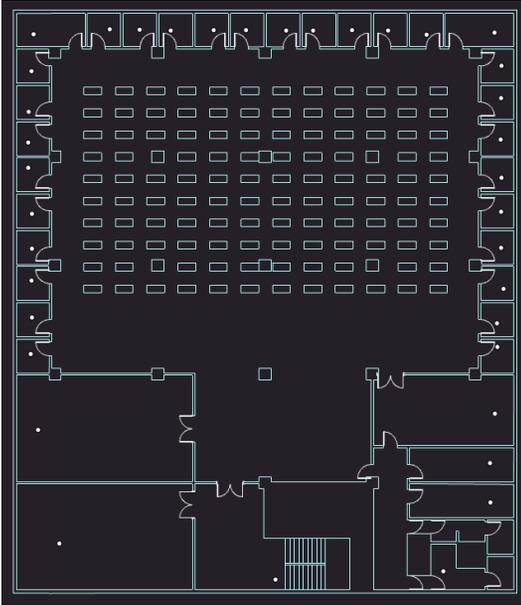
4-2- إجراء الدراسة التطبيقية

4-2-1- إنشاء النموذج المعماري

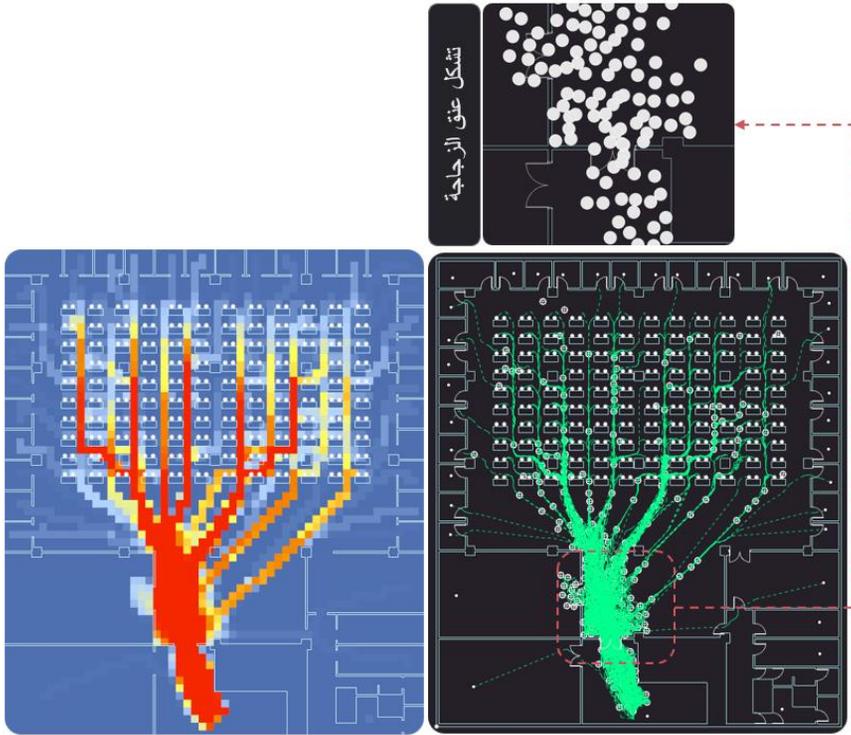
تقع مكتبة كلية العلوم في الطابق الثالث بمساحة 1300 م²، تتكون من صالة قراءة تتسع لحوالي 300 شخص، وغرف مطالعة عدد 30.

4-2-2- إجراء محاكاة الوضع الراهن

تتفرد المكتبة بمخرج إخلاء وحيد من خلال الدرج، ومع وجود عدد كبير من زائري المكتبة، فإن الإخلاء يؤدي إلى اختناقات خطيرة في الإخلاء عند بوابة صالة القراءة، استغرق الإخلاء زمناً قدره 53 ثانية، أطول مسافة مشي 55.5 متر، وبلغت نسبة الكثافة القصوى 25% من مسار الإخلاء.



الشكل 32 - مخطط مكتبة كلية العلوم (المصدر: الباحث)

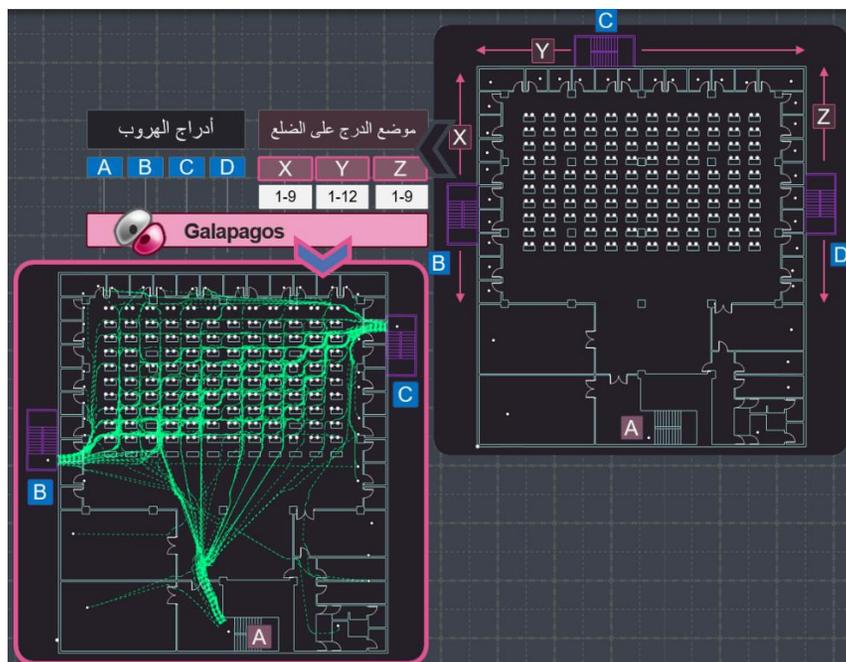


الشكل 33 - مخطط إخلاء المكتبة في الطابق الثالث ومؤشر الكثافة (المصدر: الباحث)

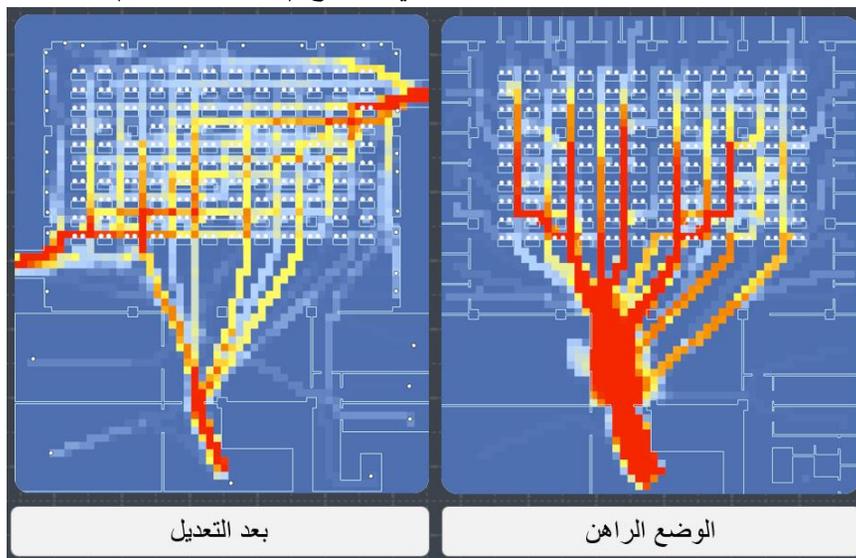
4-2-3- توليد الحلول

يلزم احداث مخرج جديد أو أكثر للمكتبة في الطابق الثالث، يتم اختبار احتمالات عدد وتموضع الأدراج من خلال عملية التحسين التطورية، يلحظ أنه يجب الاستغناء عن غرفة أو أكثر من غرف الأساتذة لإجراء التعديل المطلوب، يتم التوصل إلى أفضل الاحتمالات وهو استحداث مخرجين جديدين بشكل قطري (الشكل 34)، كما يتم حساب أفضل تقدير لأبعاد الدرج حيث عرض الدرج 140 سم، وعرض المائدة 155 سم (الشكل 36).

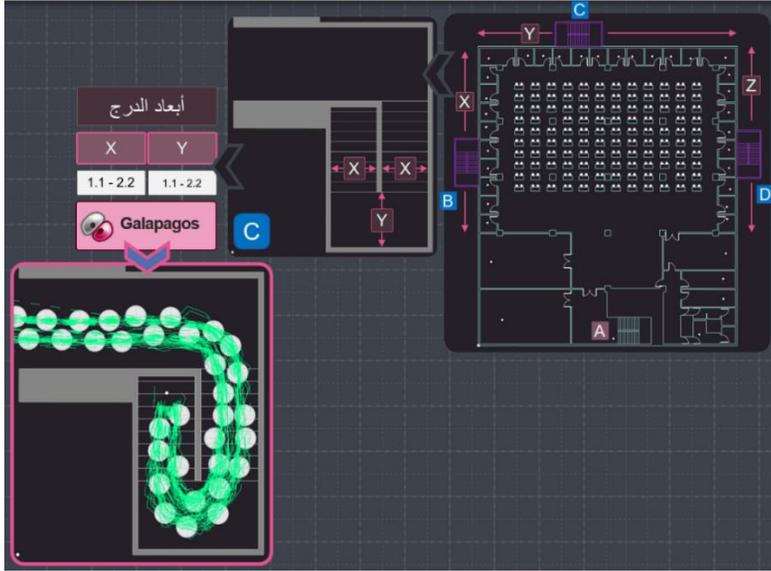
تم تقليل زمن الإخلاء من 53 ثانية إلى 36 ثانية، وتقليل مؤشر الكثافة القصوى من 25% إلى 8%، ويظهر تحرر عنق الزجاجة (الشكل 35).



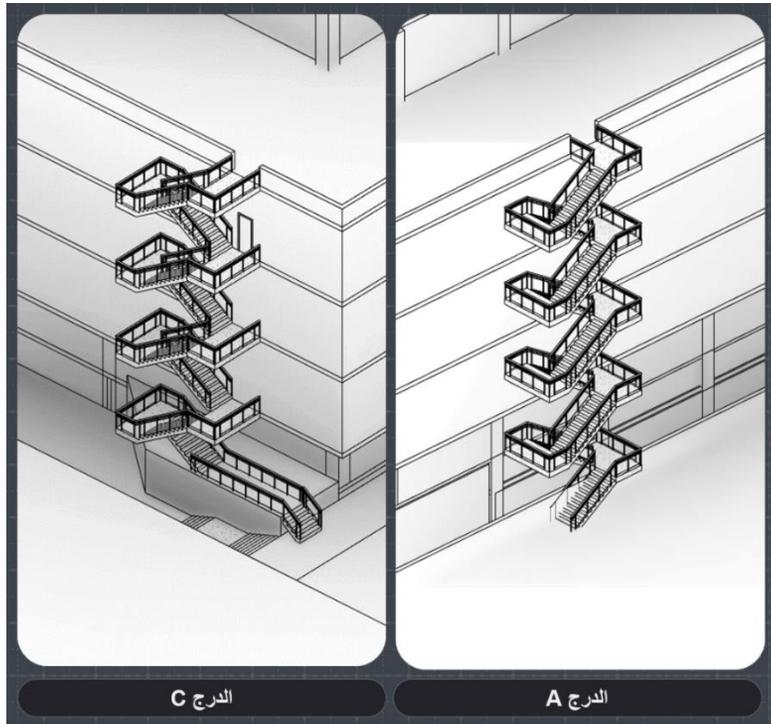
الشكل 34 - عملية التعديل الآلي للمخارج (المصدر: الباحث)



الشكل 35 - مؤشر الكثافة قبل وبعد التعديل (المصدر: الباحث)



الشكل 36 - عملية التعديل الآلي لأبعاد الأدرج الجديدة (المصدر: الباحث)



الشكل 37 - الأدرج الجديدة لمكتبة كلية العلوم (المصدر: الباحث)

6- النتائج ومناقشتها

- 1- تم تحسين أداء المكتبة الجامعية في حالة الإخلاء باستخدام أدوات محاكاة الإخلاء ومحاكاة الحريق بنسب تتراوح بين 11 - 68%.
- 2- أظهرت الدراسة إمكانية مراقبة أداء الإخلاء من خلال مؤشرات الزمن والكثافة وعنق الزجاجاة ومسافة المشي، بشكل متراكب أو كل على حدة.
- 3- أظهرت الدراسة التأثير الإيجابي للمحاكاة الرقمية في عملية اتخاذ القرارات التصميمية الهادفة لتحقيق تحسين في كفاءة عملية الإخلاء.
- 4- قدمت المحاكاة الرقمية تعريفاً مرئياً للاعتبارات التصميمية يصف عملية التحقق والتقييم والتحسين لتحقيق الإخلاء الآمن، بعكس التعريفات الثابتة الشمولية التي يقدمها الدليل التوجيهي.
- 5- أظهرت الدراسة دور المحاكاة في تعديل التوزيع الداخلي للمكتبات الجامعية بطريقة تمكن الدراس من مراقبة واختبار الحلول المختلفة.
- 6- أظهرت الدراسة دور المحاكاة في تعديل المخارج من أبواب وأدراج للحصول على أفضل أداء للإخلاء.
- 7- أتاح التصميم التوليدي اختبار وتقييم أنواع متعددة من القيم للوصول لأفضل نتيجة.
- 8- أظهر النموذج التطبيقي تحسناً في زمن الإخلاء قدره 32%، وفي مؤشر الكثافة قدره 68%.

7- الاستنتاجات والتوصيات

- 1- يوصي البحث بالاهتمام بأدوات المحاكاة من قبل الدارسين والمعماريين واعتمادها كجزء من أدوات العمل والبحث.
- 2- يوصي البحث بالتوسع في دراسة مؤشرات السلامة في الأبنية بما يتعلق بالإخلاء أو الحركة اليومية أو اعتبارات السلامة الأخرى.
- 3- يوصي البحث بالعمل على تضمين أساليب التقييم والتحسين الآلية في الأكواد التوجيهية، وصولاً لاعتبارات أكثر مرونة.

7- المراجع

- [1] National Fire Protection Association, **NFPA 101: Life Safety Code**, 2018 Edition, 569P.
- [2] **Fire protection in schools CFP-A-E Guideline** No 39:2021 Editon, 23P.
- [3] **UAE guide to fire prevention and life protection**, 2012 Edition, 885P, In Arabic.
- [4] EVACUSCAPE, **Different Types Of Emergencies That Require Evacuation**, 2022, Available: <https://evacuscapes.com/different-types-of-emergencies-that-require-evacuation>.
- [5] OMIDVARI, M, MANSOUR, I, NOURI, J, 2015 - **A pattern of fire risk assessment and emergency management in educational center laboratories**. ELSEVIER, Safety Science, 9P .
- [6] WANG,D, GROAT,L, 2013, **Architectural Research Methods**, John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, Hoboken, New Jersey, 480P.
- [7] BARBIERI, M, **Performance-Driven Engineering Design Approaches Based on Generative Design and Topology Optimization Tools: A Comparative Study**, 2022.
- [8] L. V, **Generative Design for Architectural Space Planning**, 2017. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Generative-Design-Architectural-Space-Planning>.
- [9] SOUZA, E, 2020 - **How Will Generative Design Impact Architecture?** [Online]. Available: <https://www.archdaily.com/937772/how-will-generative-design-impact-architecture>.
- [10] Shi, X, 2010 - **Performance-based and performance-driven architectural design and optimization**.
- [11] HOFINGER, G, ZINKE, R, KÜNZER, L, 2014 - **Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance**.
- [12] DAVIS, J, EISENHARDT, M, 2007 - **DEVELOPING THEORY THROUGH SIMULATION**. Vol.32. 485 - 497.
- [13] MOHAMMED, H, 2008 - **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 507P .

- [14] JAHN, W, REIN, G, TORERO, L, 2008 - **The Effect of Model Parameters on the Simulation of Fire Dynamics**. Fire Safety Science 9. 1 - 3.
- [15] ZHAI, Z, 2005 - **Application of Computational Fluid Dynamics in Building Design Aspects and Trends**. Indoor Built Environment. 1 - 4.
- [16] TOFIŁO,P AND WEGRZYNSKI, W, 2016, **New Performance-Based Method for External Fire Spread Assessments and Other New Software**, SFPE., [Online]. Available: <https://www.sfpe.org/publications/periodicals/sfpeeuropedigital/sfpeurope3/issue3feature3>.
- [17] HELBING,D, MOLNAR,P, 1998 - **Social force model for pedestrian dynamics, Institute of Theoretical Physics**, University of Stuttgart, 70550 Stuttgart, Germany. 1 - 9.
- [18] SOUSA, S, 2018 - **Performance-Based Design for Evacuation**. Thesis.
- [19] PELECHANO, N, MALKAWI, A, 2007 - **Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches**, ELSEVIER, 378 - 379.
- [20] HAN G, BENACHIR M, HANBIN L, HUA Z, BOTAO Z, DA S, 2020 - **Building evacuation time optimization using constraint-based design**. Sustainable Cities and Society, 1 - 3.
- [21] RAMON, A, RODRIGUEZ-HIDALGO, A, NAVARRO-CARRION, N, 2013 - **A methodology for evacuation route planning inside buildings using geospatial technology**, Data Management and Security, 157 - 164.
- [22] ZHAO, Y, LU, T, LI, M, WU, P, 2019 - **The microscopic characteristics of escape behaviors from a three-dimensional lecture theatre under conditions of good and zero visibility**, Safety Science, 646.
- [23] XU, Q, CHRAIBI, M, SEYFRIED, A, 2021 - **Prolonged clogs in bottleneck simulations for pedestrian**. Physica A, 1 - 2 .

- [24] ADRIAN, J, SEYFRIED, A, SIEBEN,A, 2020 - **Crowds in front of bottlenecks at entrances from the perspective of physics and social psychology**. Journal of the Royal Society Interface, Vol17, 4.
- [25] CLARISSE L, ROSE, A, EDGARDO, G, RICHARD, C, 2018 - **3D indoor routing for fire evacuation planning inside main library, up Diliman**. The International Archives of the Photogrammetry, Vol XLII-4/W9, 9P.
- [26] XIAO, M, ZHOU, X, HAN, Y, BAI, G, WANG, J, LI, X, SUNYA, S, 2021 - **Simulation and optimization of fire safety emergency evacuation in university library**. AIP Advances. Vol 11. 9P.
- [27] ZHENG, H, ZHANG, S, ZHU, J, ZHU, Z, FANG, X, 2022 - **Evacuation in Buildings Based on BIM: Taking a Fire in a University Library as an Example**. International Journal of Environmental Research and Public Health. Vol 19. 21P.
- [28] JIESHI, F, 2015 - **Computational Study Of Social Interactions And Collective Behavior During Human Emergency Egress**, dissertation.