

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 2

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
34-11	د. أحمد محمود ميهوب د. ميرفت حسن حشمة	دراسة تجريبية وتحليلية لأداء الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية (GFRP).
68-35	م. محمد راتب المسدي د. سليمان العامودي	دراسة تجريبية للسهم الناتج عن الانعطاف للجوائز البيتونية المسلحة بقضبان البازلت BFRP
112-69	د. طارق حسام الدين م. ياسر هاشم	دور محاكاة الإخلاء في اعتبارات تصميم المكتبات الجامعية
140-113	م. حيدر الخضور د. إحسان الطرشة د. سليمان العامودي	دراسة تحليلية وتجريبية لعقدة جوائز - عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت من جميع جوانبها
176-141	د. امال عطيه	دراسة كفاءة عملية التكيف الهيدروديناميكي في معالجة المياه

دراسة تجريبية وتحليلية لأداء الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية (GFRP).

الدكتور: أحمد محمود ميهوب*

الدكتورة: ميرفت حسن حشمة**

المخلص

تم تحضير واختبار ثلاثة جوائز بيتونية متماثلة بأبعاد (12.5*25*200cm) وكل منها مسلح بثلاثة قضبان من الألياف الزجاجية (GFRP) قطر 12mm، وذلك تحت تأثير حمل متزايد إلى لحظة حدوث الانهيار. وحددت تجريبياً قيم قدرات التحمل العظمى والسهم وسط المجاز وعرض الشق و آلية الانهيار وانتشار التشققات، ليصار لاحقاً إلى مقارنتها مع القيم الحسابية التي تنتبأ بها علاقات الكود الأمريكي 440.1R-06 الخاص بالعناصر البيتونية المسلحة بقضبان ال FRP، وخصوصاً علاقات حساب السهم، قدرة التحمل، عرض الشق. وهي علاقات تختلف عن نظيراتها الخاصة بالعناصر البيتونية المسلحة بالفولاذ نظراً لاختلاف قضبان ال FRP عن القضبان الفولاذية من ناحية التماسك مع البيتون والقدرة العالية على الشد وانخفاض معامل مرونتها. وتم شرح العلاقات الحسابية من خلال مثال عددي وضح كيفية الحساب عند حمل محدد. بينت نتائج المقارنة أن علاقات الكود المستخدم أعطت نتائج متقاربة مع النتائج التجريبية، حيث كانت نسبة القيم التجريبية إلى القيم التحليلية كما يلي: 1.3 لقدرة التحمل الأعظمية، وعند حمولات استثمارية كانت 1.14 للسهم، و0.76 لعرض الشق.

الكلمات المفتاحية: جوائز بيتونية مسلحة، قضبان من الألياف البوليميرية الزجاجية (GFRP)، قدرة التحمل، السهم، عرض الشق، الكود الأمريكي 440.1R-06.

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

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

An experimental and analytical study of the performance of concrete beams reinforced with glass fiber bars (GFRP).

Ahmad Mahmoud Mihoub *

Mervat Hasan Heshmah **

ABSTRACT

Three identical concrete beams with dimensions (12.5*25*200 cm) were prepared and tested; each was reinforced with three GFRP rods with a diameter of 12 mm, under the influence of an increasing load until the failure. The value of the maximum bearing capacity, deflection in the middle of the span, width of the crack, the mechanism of failure, and the propagation of cracks were experimentally determined. so that they could later be compared with the mathematical values predicted by the relationships of the American code for concrete elements reinforced with FRP bars 440.1R-06. Especially the relationships for calculating the deflection, bearing capacity, and crack width.

The comparison showed that the relationships of the used code gave results that were close to the experimental results, as the ratio of the experimental values to the analytical values was as follows: 1.3 for the maximum bearing capacity, and at a specific load it was 1.14 for the deflection, and 0.76 for the crack width.

Keywords: Reinforced concrete beams, Glass fiber polymer (GFRP) bars, load-carrying capacity, deflection, Crack width, American code 440.1R-06.

* 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:

منذ عقود مضت بدأ استخدام مركبات البوليمر المقوى بالألياف FRP لتسليح العناصر البيتونية أو لتقويتها، لكن تكلفتها العالية مقارنة بالفولاذ قيدت استخدامها. وهي تتميز بقوة عالية على الشد ومقاومة للصدأ والتآكل، كما أن وزنها الخفيف يوفر كثيراً في تكلفة العمالة، وممانعتها للمجالات المغناطيسية والكهربائية يجعلها منافساً قوياً للفولاذ في بعض المنشآت التي تتطلب ذلك كغرف الرنين المغناطيسي ومخابر الاتصالات السلكية واللاسلكية [1]. ومن المعروف أن العناصر البيتونية المسلحة بالفولاذ تتدهور حالتها نتيجة الشيخوخة وتآكل القضبان الفولاذية وهذا يزيد من تكلفة الصيانة، لذلك ومن أجل تحسين أداء الهياكل البيتونية ركزت الدراسات على استخدام مواد مختلفة للإصلاح والتسليح. ويقع معامل المرونة لقضبان الـ GFRP بحدود $(30-50)$ GPa ولقضبان الـ CFRP بحدود $(120-150)$ GPa، في حين أن معامل مرونة الفولاذ بحدود (200) GPa، وعلى عكس قضبان الفولاذية التي لها سلوك غير مرن بعد نقطة الخضوع أثناء عملها ضمن البيتون، فإن قضبان الـ FRP تسلك سلوكاً مرناً خطياً بدون نقطة خضوع، ويتطلب هذا الاختلاف الميكانيكي إيلاء عناية واهتمام خاصين عند استخدام قضبان FRP في تسليح العناصر البيتونية. ودرس العديد من الباحثين سلوك العناصر البيتونية المسلحة بقضبان FRP [5]، أو المقواة بصفائح من FRP [9]، وقد وضعت بعض الدول كودات تصميمية خاص بالعناصر البيتونية المسلحة بـ FRP وفي الوقت الحالي توجد كودات عملية مثل CSA S806 [5]، ACI 440 [2]، ISIS Canada 2001 [7]، IStructE1999 [8]، وصدر في عام 2018 ملحق للكود العربي السوري خاص بتصميم وتنفيذ المنشآت البيتونية المسلحة بقضبان بوليميرية FRP، وجميع هذه الكودات متوفرة للمهندسين المنفذين لتساعدهم في تصميم وإنشاء العناصر البيتونية المسلحة بقضبان من الـ FRP.

ونستنتج أن تطبيق الإجراءات التحليلية وطرق الحساب والتصميم الخاصة بالمنشآت البيتونية المسلحة بالفولاذ لا يمكن تطبيقها على المنشآت المسلحة بالـ FRP، لأن الشكل الهندسي الخارجي للسطح، وقابلية السحب ومعامل المرونة وخصائص

التماسك لقضبان الـ FRP تختلف عن خصائص قضبان الفولاذ التقليدية، لذلك يجب أن يدرس سلوك البيتون المسلح بـ FRP بشكل مستقل. وحاولت بعض الدراسات الجديدة تطوير علاقات تصميمية خاصة بالجوائز البيتونية المسلحة بالـ FRP للتنبؤ بعرض التشققات والسهوم وقدرة التحمل الأعظمية، وتبين أنه لا يمكن تطبيق القواعد المتبعة في الكود (ACI318-05) [4] (وهو الكود الأمريكي الخاص بالعناصر البيتونية المسلحة بالفولاذ)) بشكل مباشر على العناصر المسلحة بقضبان FRP، لذلك طورت لجنة الكود (ACI440) وهو الكود الأمريكي الخاص بالعناصر البيتونية المسلحة بالـ FRP [2] علاقات رياضية للتنبؤ بالسهوم واتساع التشققات وقدرة التحمل في الجوائز البيتونية المسلحة بالـ FRP، وتعتبر العلاقات الرياضية في الإصدار [2] مهمة جداً وخطوة رائدة لاستخدام منتجات FRP في مجال الهندسة المدنية وهي التي سيتم اعتمادها في دراستنا التحليلية هذه.

وبالتالي سيقسم عملنا البحثي إلى شقين، الشق التجريبي حيث سندرس سلوك ثلاثة جوائز بيتونية متماثلة ومسلحة بقضبان بوليميرية مقواة بالألياف الزجاجية GFRP وسيتم اختبارها على الانعطاف تحت تأثير حمل ستاتيكي متزايد إلى لحظة الانهيار، وذلك لتحديد قدرة التحمل القصوى، و(منحني حمولة - سهم)، و(منحني حمولة - عرض الشق). أما في الشق التحليلي الحسابي فسيتم تطبيق العلاقات الرياضية المتوفرة في الكود الأمريكي [2] والخاصة بحساب السهم وعرض الشق وقدرة التحمل، وسنستخدمها في الحساب ليصار إلى إجراء مقارنة بين النتائج التجريبية والحسابية للقيم المذكورة أعلاه، ووضع منحنيات المقارنة والتعليق عليها.

أهمية البحث وأهدافه:

تختلف القضبان الزجاجية عن الفولاذية بمعامل مرونتها المنخفض وقدرة الشد العالية وعدم مرورها بنقطة المطاوعة، وسلوكها المرن الخطي حتى لحظة الانقطاع وضعف تماسكها مع البيتون، وتمتاز بعدم التآكل والصدأ وهذا ما يجعل سلوك العناصر المسلحة بها مختلفاً عن نظيراتها المسلحة بالفولاذ، وبالتالي فإن العلاقات الحسابية لحساب قدرة التحمل والسهم وسط المجاز واتساع التشققات في العناصر المسلحة بـ

GFRP تختلف عن العلاقات المستخدمة لحساب هذه القيم في العناصر المسلحة بالفولاذ. واعتمدنا في دراستنا هذه علاقات الكود الأمريكي [2] للتحقق حسابياً من أداء جوائز بيتونية مسلحة بـ GFRP كنا قد أعدناها واختبرناها مسبقاً، وهنا تكمن أهمية هذا البحث في تسليط الضوء على كيفية حساب هذه العناصر، ومدى التطابق أو الاختلاف بين النتائج الحسابية والتجريبية بما يخص قدرة التحمل والسهم وعرض الشق.

طرائق البحث ومواده:

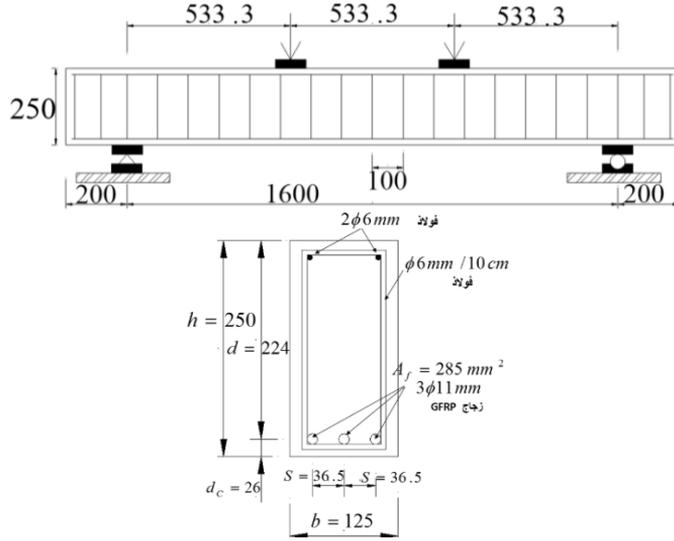
استخدمنا الطريقة التجريبية في دراسة أداء جوائز بيتونية متماثلة ومسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية، واستخدمنا الطريقة التحليلية باستخدام علاقات الكود الأمريكي [2] لحساب قيم السهم وقدرة التحمل وعرض الشق من بداية التحميل وحتى الانهيار. وذلك لإجراء مقارنة بين النتائج التجريبية والحسابية، قد توصلنا إلى نتائج وتوصيات عرضت في نهاية هذا البحث.

1. الشق التجريبي من البحث:

1.1. توصيف العينات المختبرة:

يبين الشكل (1) الأبعاد الهندسية للمقطع العرضي والطولي للجوائز المختبرة. حيث تم صب ثلاثة جوائز بيتونية وسميها بـ Bg1 ; Bg2 ; Bg3 وهي متماثلة بالأبعاد الهندسية وخواص المواد وكل منها مسلح بثلاثة قضبان زجاجية GFRP ذات (قطر اسمي يساوي 12 mm وقطر فعلي يساوي 11 mm)، وتم تسليح منطقة الضغط بقضبان فولاذية بقطر 6 mm عدد 2، وسلحنا الجوائز على القص بأساور فولاذية قطر 6 mm وتباعدها يساوي 100 mm.

واختبرت هذه الجوائز بعد مضي شهر واحد تحت تأثير التحميل الستاتيكي المتزايد على جهاز اختبار الجوائز المبين على الشكل (2)، وتجدر الإشارة إلى أنه تم تحضير هذه الجوائز واختبارها من قبلنا في مخابر جامعة روستوف الحكومية للهندسة المدنية في روسيا الاتحادية خلال العام الدراسي 2012.



الشكل (1): مقطعان طولي وعرضي يبينان الأبعاد الهندسية ونوع التسليح الطولي والعرضي للجوائز المختبرة.

2.1. خصائص المواد:

بما يخص قضبان التسليح: 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 تشبيح هذه الألياف باللاصق البوليميري لإنتاج القضبان، ويميز قضبان GFRP المستخدمة سطح خارجي مكون من ألياف ملفوفة على القضبان بشكل حلزوني لزيادة التماسك مع البيتون، ويبين الشكل (3) هياكل التسليح للجوائز المختبرة قبل صبها وقد راعينا التناظر الكامل في المقطع.



الشكل (2): شكل الجوائز المختبرة بعد صبها بالقوالب الفولاذية، وشكل جهاز اختبار الجوائز على الانعطاف.



الشكل (3): شكل هيكل التسليح للجوائز البيتونية المسلحة بثلاثة قضبان زجاجية GFRP.

وبما يخص البيتون: استخدمنا في الخلطة البيتونية بحص ذو أبعاد ضمن المجال (10-25) mm، وكانت النسب الوزنية لمواد الخلطة البيتونية المحضرة لـ 1 m³ كما يلي: اسمنت بورتلاندي 450 Kg، وبحص 1270 Kg، ورمل كوارتزي 460 Kg ووزن الماء 207 Kg ونسبة الماء إلى الاسمنت تساوي 0.46 ومن نفس الخلطة البيتونية قمنا بصب ثلاثة مكعبات بيتونية مقاس 150*150*150 mm، وتم اختبارها تحت ضغط مركزي في يوم اختبار الجوائز، حيث بلغ متوسط مقاومة الضغط للمكعبات البيتونية 33.7 MPa (وبالتالي المقاومة المميزة للبيتون على الضغط f_c' تساوي 26.96 MPa) وهي مقاومة مرتفعة نسبياً من أجل تجنب الانهيار المبكر لمنطقة الضغط البيتوني، وببين الشكل (2) الخلاطة الكهربائية المستخدمة في الخلط.

3.1. التحضير للاختبار والتجهيزات المستخدمة:

تم اختبار الجوائز بعمر 10-11 شهر كجوائز بسيطة الاستناد تحت تأثير حملتين مركزتين تتوضع كل منهما على ثلث طول مجاز الجوائز، وتم التحميل بشكل تدريجي باستخدام جهاز تحميل هيدروليكي عن طريق خلية تحميل (ديناموميتر -

(Dynamometer) ذات استطاعة KN 500 توضع بين المكبس الهيدروليكي وموزع الحمولة.

قيست السهوم والانتقالات في الجوائز المختبرة باستخدام ساعات قياس السهوم وعددها خمسة وتم تحديد التشققات الحاصلة وانتشارها وعرضها عند كل مستوى تحميل، حيث استخدمت آلة تصوير رقمية بدقة عالية لتصوير عرض الشق بعد كل دفعة تحميل، وتمت معالجة الصور وقيس عرض الشق بعد تكبير الصور لعشرات المرات وتمت المقارنة مع طول محدد رسم بجانب الشق من بداية التحميل، كما سجلت قيم السهوم وعرض الشقوق وانتشارها والحمولات الموافقة لها.

4.1. مناقشة النتائج التجريبية:

يبين الجدول (1) القيم الوسطية للسهم وسط المجاز كما يبين الخط البياني المستمر في الشكل (6) منحنى (حمولة . سهم.exp) للجوائز المختبرة ; Bg1 ; Bg2 ; Bg3 حيث قيس السهم في منتصف المجاز من بداية التحميل وصولاً إلى لحظة إنهيار الجوائز. ويبين الجدول (1) أيضاً القيم الوسطية لعرض الشق وسط المجاز كما يبين الخط البياني المستمر في الشكل (8) منحنى (حمولة - عرض شق) للجوائز المختبرة Bg1 ; Bg2 ; Bg3 حيث قيس عرض الشق في منتصف المجاز من بداية التحميل وصولاً إلى لحظة إنهيار الجوائز. ومن هذا الجدول يتبين لنا أيضاً أن قدرة التحمل القصوى للجوائز البيتونية المسلحة المختبرة قد بلغت القيمة الوسطية KN 114.5 وكان شكل الانهيار في جميع الجوائز على شكل تحطم البيتون المضغوط وتطاول قضبان التسليح الطولية الزجاجية السفلية. ويبين الشكل (4) صور أحد الجوائز البيتونية المسلحة المختبرة Bg1 وتظهر عليه أشكال التشققات وانتشارها، ونلاحظ أن عدد الشقوق في الثلث السفلي لارتفاع الجوائز كبيراً مقارنة مع باقي ارتفاعها، ويتشعب الشق عند مستوى

قضبان GFRP إلى فرعين على شكل (٨) وصولاً إلى أسفل الجائز وهذا ناتج عن التناول الحاصل في القضبان الزجاجية.

الجدول (1): القيم الوسيطة للسهم المقاس في وسط المجاز للجوائز المختبرة والقيم الوسيطة لعرض الشق مقابل الحمولات.

الحمولة KN	القيمة الوسيطة للسهم mm	القيمة الوسيطة لعرض الشق mm
0	0	0
4	0.09	0.022
8	0.2	0.04
12	0.33	0.066
16	0.59	0.11
24	2.77	0.2
40	6.01	0.374
56	9.27	0.55
64	11.15	0.638
72	12.88	0.7
80	14.34	0.77
88	16.11	0.781
96	17.92	0.781
104	20.16	0.77
114.5	23.1	0.869



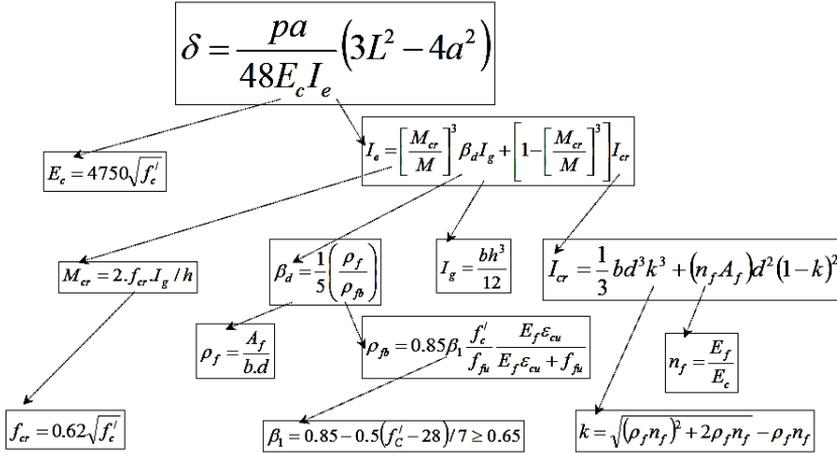
الشكل (4): أشكال التشققات وانتشارها في أحد الجوائز المختبرة Bg1 .

2. الشق الحسابي والتحليلي من البحث:

قمنا بتجميع العلاقات اللازمة لحساب السهم وقدرة التحمل وعرض الشق في الجوائز البيتونية المسلحة بالزجاج والمنوفرة في الكود [2] ، ووضعنا مخطط منهجي لمراحل الحساب، حيث تم إجراء حساب للجوائز المختبرة باستخدام برنامج (EXCEL) عند مختلف مستويات التحميل وصولاً إلى حمولة الانهيار. كما قمنا بحساب قيمة السهم وعرض الشق من خلال مثال عددي يوضح مراحل الحساب عند الحمولة ما ولتكن (KN104)، وحساب قدرة التحمل العظمى، ليشكل هذا المثال أداة قد تساعد المهندسين في إجراء الحسابات اليدوية لتصميم الجوائز المسلحة بالقضبان الزجاجية.

2-1- حساب السهم في الجوائز البيتونية المسلحة بالزجاج GFRP:

قمنا بحساب السهم وسط مجاز الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان GFRP وفق الكود [2]، كما هو موضح في المخطط التوضيحي المبين في الشكل (5).



الشكل (5): المخطط التوضيحي لمراحل حساب السهم وفق الكود [2].

وبين الخط البياني المنقط في الشكل (6) منحنى (حمولة - سهم.th) المحسوب تحليلياً للجوائز المدروسة، حيث حسب السهم في منتصف المجاز من بداية التحميل وصولاً إلى الحمولة القصوى.

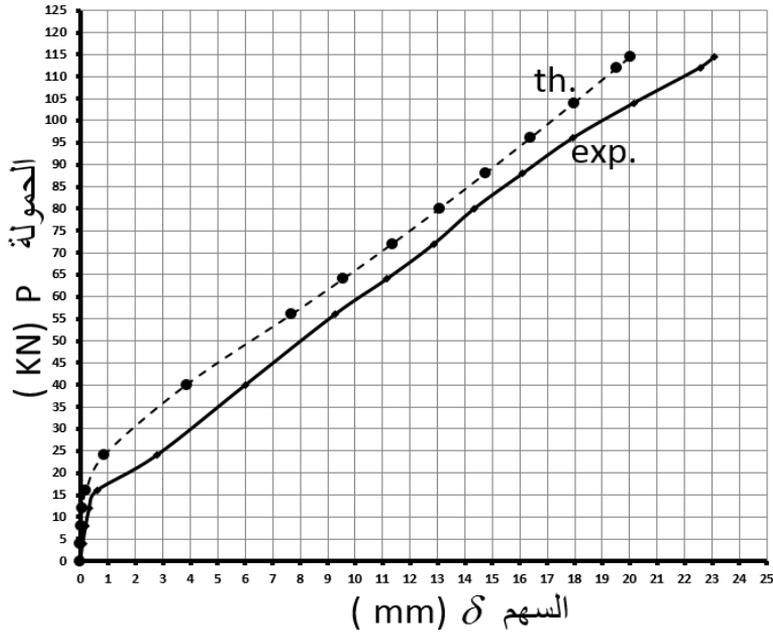
وبين الجدول (2) شرح للرموز المستخدمة في العلاقات الرياضية وواحدات قياس كل منها.

الجدول (2) شرح للرموز المستخدمة في العلاقات الرياضية اللازمة لحساب السهم وسط مجاز الجوائز .

واحدة القياس	الرمز	وصيف الرمز ودلالته	واحدة القياس	الرمز	وصيف الرمز ودلالته
mm	b	عرض للمقطع	mm	δ	قيمة السهم
mm	d	الارتفاع الفعال	N	P	الحمولة الكلية المطبقة على الجانز
N/mm ²	f_{cr}	مقاومة البيتون على الشد	mm	a	مجال القص (المسافة بين نقطة تطبيق القوة والمسند)
-	ρ_f	نسبة التسليح الحقيقية بقضبان GFRP	mm	L	طول مجاز الجانز
-	ρ_{fb}	نسبة التسليح التوازنية بقضبان GFRP	N/mm ²	E_c	معامل مرونة البيتون
-	β_1	نسبة ارتفاع كتلة البيتون المضغوط إلى ارتفاع المحور الحيادي في المقطع المضغوط ، وهو يحدد لمقاومات البيتون التي تزيد عن (28 MPa).	N/mm ²	f'_c	المقاومة المميزة للبيتون على الضغط
N/mm ²	f_{fu}	مقاومة القضبان الزجاجية GFRP على الشد	mm ⁴	I_e	عزم العطالة الفعلي للمقطع المسلح بـ GFRP
-	ϵ_{cu}	قيمة التشوه العظمى في البيتون وهي تساوي 0.003 حسب الكود الأمريكي	N.mm	M_{cr}	العزم المسبب للتشقق
mm ²	A_f	مساحة مقطع قضبان الـ GFRP	N.mm	M	العزم المطبق على الجانز والذي تسببه الحمولة المطبقة P
-	n_f	نسبة معامل مرونة قضبان الـ GFRP إلى معامل مرونة البيتون.	-	β_d	عامل تخفيض يتعلق بانخفاض الصلابة على الشد في العناصر المسلحة بالـ FRP

دراسة تجريبية وتحليلية لأداء الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية (GFRP).

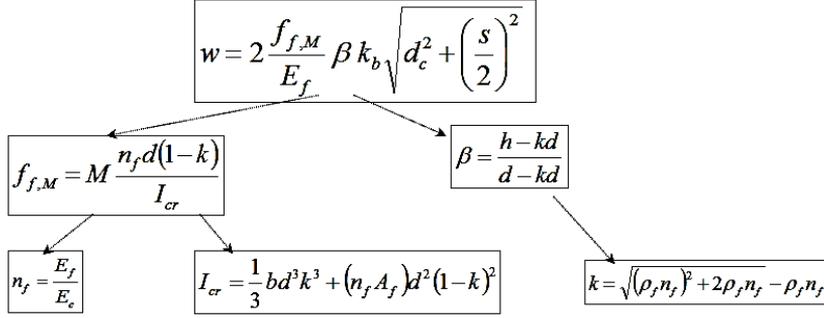
N/mm^2	معامل مرونة قضبان الـ GFRP	E_f	mm^4	عزم عطالة المقطع غير المشقق	I_g
-	معامل يحسب للتسليح بالـ GFRP.	k	mm^4	عزم عطالة المقطع المشقق	I_{cr}
-	معامل يتعلق بالتماسك بين قضبان GFRP والبيتون (هذا العامل يتراوح بين 0.6 و 1.72 و (قيمه = 1.4 في [2] ، ويساوي 1.2 في [3] وذلك في حالة عدم توفر معطيات تجريبية عن قضبان الـ GFRP).	k_b	mm	الارتفاع الكلي للمقطع	h



الشكل (6): مقارنة بين منحنى القيم التجريبية (exp.) و منحنى القيم الحسابية (th.) للسهم وسط مجاز الجوائز المختبرة والمسلحة بقضبان زجاجية GFRP .

2-2- حساب عرض الشق في الجوائز البيتونية المسلحة بالزجاج GFRP :

يتم حساب عرض الشق المنشكل في وسط مجاز الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان GFRP وفق الكود [2] ، كما مبين بالمخطط التوضيحي في الشكل (7).



الشكل (7): المخطط التوضيحي لمرحل حساب عرض الشق.

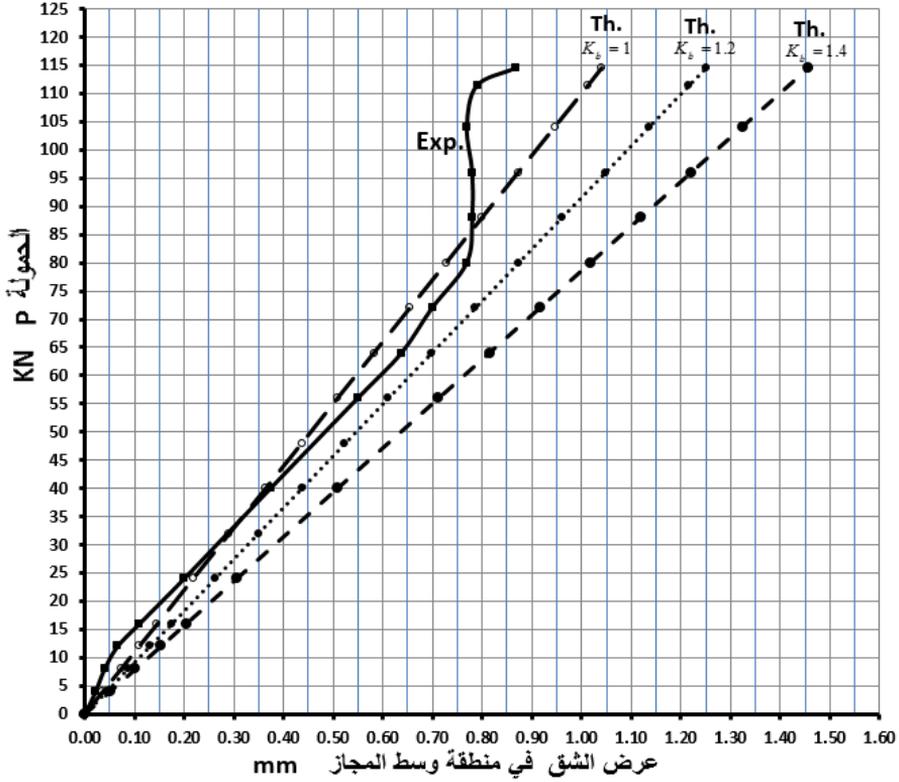
ويبين الخط البياني المنقط في الشكل (8) منحنى (حمولة - عرض الشق th) المحسوب تحليلياً للجوائز المدروسة، حيث حسب عرض الشق في منتصف المجاز من بداية التحميل وصولاً إلى الحمولة القصوى، وذلك بأخذ ثلاث قيم مختلفة للمعامل k_b (عند القيمة $k_b = 1.4$ وفق الكود [2] و $k_b = 1.2$ وفق الكود [3] وقيمة تساوي $k_b = 1$ ، وقد تبين أن القيمة $k_b = 1$ لهذا المعامل تعطي منحنى متقارب مع المنحنى التجريبي كما مبين في الشكل (8).

ويبين الجدول (3) شرح للرموز المستخدمة في العلاقات الرياضية وواحدات قياس كل منها.

دراسة تجريبية وتحليلية لأداء الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية (GFRP).

الجدول (3) شرح للرموز المستخدمة في العلاقات الرياضية اللازمة لحساب عرض الشق في أسفل وسط مجاز الجوائز .

الرمز	توصيف الرمز ودلالته	وحدة القياس	الرمز	توصيف الرمز ودلالته	وحدة القياس
W	قيمة عرض الشق	mm	d	الارتفاع الفعال	mm
$f_{f,M}$	الإجهاد الحاصل في قضبان التسليح الزجاجية	N/mm ²	E_C	معامل مرونة الببتون	N/mm ²
E_f	معامل مرونة قضبان الـ GFRP	N/mm ²	I_{cr}	عزم عطالة المقطع المتشقق	mm ⁴
β	النسبة بين بعد المحور الحيادي عن الوجه المشدود للمقطع إلى المسافة بين المحور الحيادي ومركز القضبان المشدودة في المقطع.	-	M	العزم المطبق على الجانز والذي تسببه الحمولة المطبقة P	N.mm
h	الارتفاع الكلي للمقطع	mm	n_f	نسبة معامل مرونة قضبان الـ GFRP إلى معامل مرونة الببتون	-
k_b	معامل يتعلق بالتماسك بين قضبان GFRP والببتون (هذا العامل يتراوح بين 0.6 و 1.72 وقيمته = 1.4 في [2] ، ويساوي 1.2 في [3] وذلك في حالة عدم توفر معطيات تجريبية عن قضبان الـ GFRP).	-	k	معامل يحسب للتسليح بالـ GFRP	-
d_c	سمائة طبقة التغطية وتقاس من السطح المشدود إلى مركز طبقة التسليح الأقرب للسطح.	mm	A_f	مساحة مقطع قضبان الـ GFRP	mm ²
S	التباعد الأفقي بين قضبان التسليح في المقطع	mm	ρ_f	نسبة التسليح الحقيقية بقضبان الـ GFRP	-



الشكل (8): مقارنة بين منحنى القيم التجريبية (exp.) و منحنيات القيم الحسابية (th.) لعرض الشق وسط مجاز الجوائز المختبرة والمسوحة بقضبان زجاجية GFRP، حيث حسب عرض الشق عند قيم مختلفة لـ K_b 1) و 1.2 [3] و 1.4 [2] .

2-3- حساب قدرة التحمل في الجوائز البيتونية المسلحة بالزجاج GFRP .

يتم حساب قدرة تحمل الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان GFRP وفق الكود [2]، كما مبين بالمخطط التوضيحي في الشكل (9).

$$M_{nf} = A_f f_f d \left(1 - 0,59 \frac{A_f f_f}{f'_c b d} \right)$$

$$f_f = \sqrt{\frac{(E_f \varepsilon_{cu})^2}{4} + \frac{0,85 \beta_1 f'_c}{\rho_f} E_f \varepsilon_{cu}} - 0,5 E_f \varepsilon_{cu}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,5(f'_c - 28)/7 \geq 0,65$$

$$\rho_f = \frac{A_f}{b.d}$$

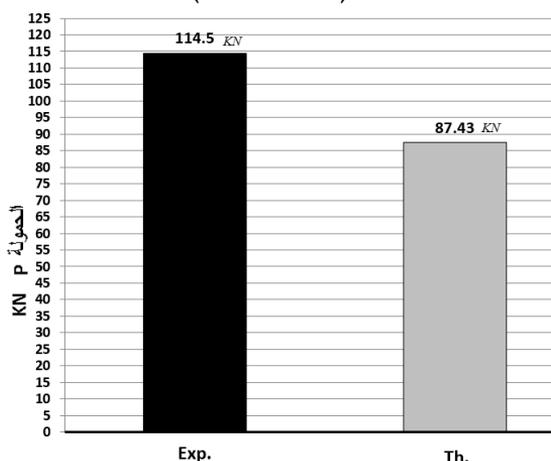
الشكل (9): المخطط التوضيحي لمراحل حساب قدرة التحمل.

وبين الجدول (3) شرح للرموز المستخدمة في العلاقات الرياضية ووحدات قياس كل منها.

الجدول (3) شرح للرموز المستخدمة في العلاقات الرياضية اللازمة لحساب قدرة التحمل.

الرمز	توصيف الرمز ودلالته	وحدة القياس	الرمز	توصيف الرمز ودلالته	وحدة القياس
M_{nf}	قدرة التحمل في الجوائز البيتونية المسلحة بالزجاج GFRP	N.mm	E_f	معامل مرونة قضبان الـ GFRP	N/mm ²
A_f	مساحة مقطع قضبان الـ GFRP	mm ²	ε_{cu}	قيمة التشوه العظمى في البيتون وهي تساوي 0.003 حسب الكود الأمريكي	-
f_f	الإجهاد الحاصل في قضبان التسليح الزجاجية GFRP	N/mm ²	β_1	نسبة ارتفاع كتلة البيتون المضغوط إلى ارتفاع المحور الحيادي في المقطع المضغوط ، وهو يحدد لمقاومات البيتون التي تزيد عن (28 MPa).	-
d	الارتفاع الفعال	mm	ρ_f	نسبة التسليح الحقيقية بقضبان GFRP	-
f'_c	المقاومة المميزة للبيتون على الضغط	N/mm ²	E_f	معامل مرونة قضبان الـ GFRP	N/mm ²
b	عرض للمقطع	mm	ε_{cu}	قيمة التشوه العظمى في البيتون وهي تساوي 0.003 حسب الكود الأمريكي	-

ويبين (العمود.th) في الشكل (10) قيمة قدرة التحمل القصوى المحسوبة مقارنة مع القيمة التجريبية لقدرة التحمل القصوى (العمود.exp).



الشكل (10): مقارنة بين القيم التجريبية (exp.) و القيم الحسابية (th.) لقدرة التحمل العظمى للجوائز المختبرة

والمسلحة بقضبان زجاجية GFRP حيث أن

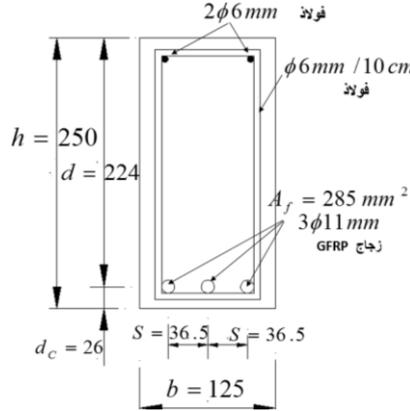
$$\frac{P_{Exp.}}{P_{th.}} = \frac{114.5}{87.43} = 1.3$$

2-4- حساب قدرة تحمل الجوائز المسلحة بقضبان زجاجية GFRP وكذلك السهم

وعرض الشق عند حمولة افتراضية (104 KN):

لتوضيح العلاقات الرياضية وطريقة الحساب قمنا بحساب قدرة تحمل الجوائز المختبرة والمسلحة بقضبان زجاجية GFRP وكذلك السهم وعرض الشق عند حمولة افتراضية (104 KN)، كما مبين في الجدول (4) ويبين الشكل (11) المقطع العرضي للجوائز المختبرة ومختلف الأبعاد الهندسية اللازمة للحساب. حيث بلغ عزم التحمل الأعظمي الحسابي $M_{nf} = 23,229.10^6$ N.mm ، وبالتالي قدرة التحمل الأعظمية الحسابية $P_{th.} = 87,43$ KN ، وبلغت قيمة السهم عند الحمولة (104 KN) قيمة $\delta = 17,98$ mm ، وقيمة عرض الشق عند هذه الحمولة $w = 1,324$ mm .

دراسة تجريبية وتحليلية لأداء الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية (GFRP).



الشكل (11): المقطع العرضي للجوائز المختبرة ومختلف الأبعاد الهندسية اللازمة للحساب، حيث الأبعاد بالملم.
الجدول (4) حساب قدرة تحمل الجوائز المسلحة بقضبان زجاجية GFRP وكذلك السهم وعرض الشق عند حمولة افتراضية (104 KN).

فرضيات الحساب														
h	b	d	f'_c	E_f	A_f	M	P	ϵ_{cu}	f_{fu}	a	L	d_c	S	k_b
250	125	224	26,96	35000	285	$27,7 \times 10^6$	104×10^3	0,003	1200	533	1600	26	36,5	1,4
mm	mm	mm	N/mm^2	N/mm^2	mm^2	$N.mm$	N	-	N/mm^2	mm	mm	mm	mm	-
$E_c = 4750\sqrt{f'_c} = 4750\sqrt{26,96} = 24663 \text{ N/mm}^2$														
$n_f = \frac{E_f}{E_c} = \frac{35000}{24663} = 1.419$														
$\rho_f = \frac{A_f}{b.d} = \frac{285}{125 \times 224} = 0.0102$														
$f_{cr} = 0.62\sqrt{f'_c} = 0.62\sqrt{26,96} = 3,22 \text{ N/mm}^2$														
$\beta_1 = 0.85 - 0.5(f'_c - 28)/7 \geq 0.65 \Rightarrow \beta_1 = 0.85 - 0.5(26.96 - 28)/7 = 0.857 > 0.65 \text{ OK.}$														
$\rho_{fb} = 0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_{fu}} \frac{E_f \epsilon_{cu}}{E_f \epsilon_{cu} + f_{fu}} = 0,85 \times 0,857 \times \frac{26,96}{1200} \times \frac{35000 \times 0,003}{35000 \times 0,003 + 1200} = 0.0013$														
$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{125 \times 250^3}{12} = 1,63.10^8 \text{ mm}^4$														
$M_{cr} = 2.f_{cr}.I_g / h = 2 \times 3,22 \times 1,63.10^8 / 250 = 4,19.10^6 \text{ N.mm}$														

$k = \sqrt{(\rho_f n_f)^2 + 2\rho_f n_f} - \rho_f n_f = \sqrt{(0,0102 \times 1,419)^2 + 2 \times 0,0102 \times 1,419} - 0,0102 \times 1,419 = 0,156$
$\beta_d = \frac{1}{5} \left(\frac{\rho_f}{\rho_{fb}} \right) \Rightarrow \frac{1}{5} \left(\frac{0,0102}{0,0013} \right) = 1,545$
$I_{cr} = \frac{1}{3} b d^3 k^3 + (n_f A_f) d^2 (1-k)^2 = \frac{1}{3} \times 125 \times 224^3 \times 0,156^3 + (1,419 \times 285) \times 224^2 \times (1-0,156)^2 = 1,62.10^7 \text{ mm}^4$
$I_e = \left[\frac{M_{cr}}{M} \right]^3 \beta_d I_g + \left[1 - \left[\frac{M_{cr}}{M} \right]^3 \right] I_{cr} = \left[\frac{4,19.10^6}{27,72.10^6} \right]^3 \times 1,545 \times 1,63.10^8 + \left[1 - \left[\frac{4,19.10^6}{27,72.10^6} \right]^3 \right] \times 1,62.10^7 = 1,7045047.10^7 \text{ mm}^4$
$\delta = \frac{p a}{48 E_e I_e} (3L^2 - 4a^2) = \frac{104.10^3 \times 533}{48 \times 24663 \times 1,7045047.10^7} (3 \times 1600^2 - 4 \times 533^2) = 17,98 \text{ mm}$ حساب السهم عند الحمل KN104
$\beta = \frac{h - kd}{d - kd} = \frac{250 - 0,156 \times 224}{224 - 0,156 \times 224} = 1,137$
$f_{f,M} = M \frac{n_f d (1-k)}{I_{cr}} = 27,72.10^6 \times \frac{1,419 \times 224 \times (1-0,156)}{1,62.10^7} = 458,05 \text{ N/mm}^2$
$w = 2 \frac{f_{f,M}}{E_f} \beta k_b \sqrt{d_c^2 + \left(\frac{s}{2} \right)^2} = 2 \times \frac{458,05}{35000} \times 1,137 \times 1,4 \times \sqrt{26^2 + \left(\frac{36,5}{2} \right)^2} = 1,324 \text{ mm}$ حساب عرض الشق عند الحمل KN 104
$f_f = \sqrt{\frac{(E_f \epsilon_{cw})^2}{4} + \frac{0,85 \beta_f f'_c E_f \epsilon_{cw}}{\rho_f} - 0,5 E_f \epsilon_{cw}} = \sqrt{\frac{(35000 \times 0,003)^2}{4} + \frac{0,85 \times 0,857 \times 26,96}{0,0102} \times 35000 \times 0,003 - 0,5 \times 35000 \times 0,003} = 400,8 \text{ N/mm}^2$
$M_{nf} = A_f f_f d \left(1 - 0,59 \frac{A_f f_f}{f'_c b d} \right) = 285 \times 400,8 \times 224 \times \left(1 - 0,59 \times \frac{285 \times 400,8}{26,96 \times 125 \times 224} \right) = 23,299.10^6 \text{ N.m}$ حساب قدرة التحمل الأعظمية للجوائز المختبرة:

3. مقارنة النتائج التجريبية والحسابية ومناقشتها:

3.1. مقارنة قيم السهم التجريبي مع القيم الحسابية:

يعرض الشكل (6) منحنى (حمولة . سهم.exp) للجوائز المختبرة ; Bg1 ; Bg2 ; Bg3 حيث قيس السهم في منتصف المجاز من بداية التحميل وصولاً إلى لحظة الانهيار للجوائز. ومنها يتبين أن المنحنيات كانت خطية في الجزء الأول ومن الحمولة 0 KN وحتى (مستوى التحميل KN15) ثم بدأت الجوائز بالتشقق وأخذت المنحنيات منحى خطي آخر في الجزء الثاني حيث أصبح ميل للمنحنيات مختلفاً عن الميل في الجزء الأول وتتخذ المنحنيات شكلاً مستقيماً تقريباً وصولاً إلى لحظة الانهيار، وهذا يشير إلى

دراسة تجريبية وتحليلية لأداء الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان من الألياف الزجاجية (GFRP).

أن صلابة الجوائز انخفضت بعد التشقق. وبلغ السهم التجريبي قيمة وسطية تساوي 23.1 mm. ويبين الجدول (5) مقارنة القيم التجريبية والقيم الحسابية للسهم وسط المجاز وكذلك نسبة السهم التجريبي إلى السهم الحسابي من أجل الحملات الاستثمارية التي تتراوح قيمتها تقريباً من 30% إلى 100% من قدرة التحمل، ويبين الشكل (6) مقارنة بين منحنى القيم التجريبية (exp.) و منحنى القيم الحسابية (th.) للسهم وسط مجاز الجوائز المختبرة والمسلحة بقضبان زجاجية GFRP ، ونلاحظ من المنحنيات الحسابية أيضاً وجود انكسار فيها بعد الحمولة KN15. ومن الجدول (5) نلاحظ نسبة السهم التجريبي إلى الحسابي تساوي 1.14.

الجدول (5): مقارنة القيم الوسيطة للسهم المقاس في وسط المجاز للجوائز المختبرة مع القيم الحسابية، ومقارنة القيم الوسيطة لعرض الشق المقاس في وسط المجاز للجوائز المختبرة مع القيم الحسابية، والنتيجة عن حملات استثمارية.

نسبة عرض الشق الحسابي إلى التجريبي	عرض الشق الحسابي mm	القيمة الوسطية لعرض الشق التجريبي mm	نسبة السهم التجريبي إلى الحسابي	السهم الحسابي mm	القيمة الوسطية للسهم التجريبي mm	الحمولة KN
1.31	0.509	0.374	1.14	3.86	6.01	40
	0.713	0.55		7.69	9.27	56
	0.815	0.638		9.56	11.15	64
	0.917	0.7		11.35	12.88	72
	1.019	0.77		13.08	14.34	80
-	1.120	0.781		14.75	16.11	88
	1.222	0.781		16.38	17.92	96
	1.324	0.77		17.98	20.16	104
	1.458	0.869		20.03	23.1	114.5

3. 2. مقارنة قدرة التحمل على الانعطاف التجريبية مع القيم الحسابية:

يبين الشكل (10) قدرة التحمل القصوى للجوائز البيتونية المسلحة المختبرة Bg1 Bg3 ; Bg2; حيث بلغت القيمة الوسطية لقدرة التحمل 114.5KN وكان شكل الانهيار في جميع الجوائز على شكل تحطم البيتون المضغوط وتطاول قضبان التسليح الطولية الزجاجية. ومن هذا الشكل يتبين أيضاً أن قدرة التحمل القصوى الحسابية بلغت 87.43 KN وبالتالي فان نسبة قدرة التحمل التجريبية إلى الحسابية تساوي 1.3.

3. 3. مقارنة قيم عرض الشق التجريبي مع القيم الحسابية:

يبين الشكل (8) منحنى (حمولة - عرض الشق exp.) عند مستوى قضبان التسليح GFRP (وسط المجاز) وقد أخذت القيم الوسطية في الجوائز الثلاثة المختبرة Bg1 ;Bg2 ; Bg3. والمنحنى يتخذ شكلاً مستقيماً تقريباً من الحمولة (10 إلى الحمولة 80 KN)، ونلاحظ على الجزء الأخير من المنحنى من الحمولة (80 إلى 110 KN) توقف أو تباطؤ في اتساع الشقوق وذلك بسبب تشكل الشقوق المائلة واتساعها على حساب الشقوق الشاقولية وبسبب تشكل شقوق ثانوية جديدة.

ويبين الجدول (5) مقارنة القيم التجريبية والقيم الحسابية لعرض الشق وسط المجاز وكذلك نسبة عرض الشق الحسابي إلى عرض الشق التجريبي من أجل الحملات الاستثمارية التي تتراوح قيمتها تقريباً من 30% إلى 70% من قدرة التحمل. ويبين الشكل (8) أيضاً مقارنة بين منحنى القيم التجريبية (exp.) و منحنى القيم الحسابية (th.) لعرض الشق وسط مجاز الجوائز المختبرة والمسلحة بقضبان زجاجية GFRP ، ومن الجدول (5) نلاحظ أن نسبة عرض الشق الحسابي إلى التجريبي تساوي 1.31 من أجل الحملات الاستثمارية التي تتراوح قيمتها تقريباً من 30% إلى 70% من قدرة التحمل.

4 . الاستنتاجات والتوصيات :

تبين نتائج المقارنة بين القيم التجريبية والقيم الحسابية باستخدام علاقات الكود الأمريكي [2] حساب كل من السهم وعرض الشق وقدرة التحمل للجوائز البيتونية المسلحة بقضبان زجاجية، أن علاقات هذا الكود تعطي نتائج مرضية في التنبؤ بقيم السهم وعرض الشق وقدرة التحمل وقد كانت نتائج المقارنة كما يلي:

1- تظهر منحنيات المقارنة (حمولة - سهم) التجريبية (exp.) والحسابية (th.) أن المنحنيات تنقسم إلى جزء صغير لمرحلة ما قبل التشقق ثم يليه جزء كبير ورئيسي لمرحلة ما بعد التشقق وصولاً إلى لحظة الانهيار، وأن نسبة السهم التجريبي إلى الحسابي تساوي 1.14 وذلك أجل الحملات الاستثمارية التي تتراوح قيمتها تقريباً من 30% إلى 100% من قدرة التحمل .

2- تظهر منحنيات المقارنة (حمولة - عرض الشق) التجريبية (exp.) والحسابية (th.) أن المنحنيات تنقسم إلى جزء صغير لمرحلة ما قبل التشقق ثم يليه جزء كبير ورئيسي لمرحلة ما بعد التشقق وصولاً إلى لحظة الانهيار، وأن نسبة عرض الشق التجريبي إلى الحسابي تساوي 1.31 ، وذلك أجل الحملات الاستثمارية التي تتراوح قيمتها تقريباً من 30% إلى 70% ، حيث وبعد هذه الحمولة تتوقف الشقوق عن التوسع نتيجة ظهور شقوق مائلة أو نشوء شقوق جديدة.

3- تظهر منحنيات المقارنة الخاصة بقدرة التحمل التجريبية (exp.) والحسابية (th.) أن نسبة قدرة التحمل التجريبية إلى الحسابية تساوي 1.3.

4- يمكن استخدام علاقات الكود الأمريكي [2] لحساب وتصميم الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان زجاجية GFRP حيث كانت النتائج مرضية، ولكن ويجب إيلاء المعامل K_b وهو معامل يتعلق بالتماسك بين قضبان GFRP والبيتون اهتماماً كبيراً بحيث يتم تحديده تجريبياً كون قيمته تتراوح بين (0.6 و 1.72) بحسب نوع القضبان المستخدمة، وقد أعطت القيمة $K_b = 1$ نتائج أكثر مقارنة مع القيم التجريبية لعرض الشق.

المراجع:

[1]-AL-SUNNA, R. 2006 -Deflection Behaviour of FRP Reinforced Concrete Flexural Members,A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. The Faculty of Engineering, The University of Sheffield: UK.

[2]- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. 2006-Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars. ACI 440.1R-06.Farmington Hills, Mich. ACI Committee 440.Detroit, USA.

[3]- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. 2003-Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars. ACI 440.1R-03.Farmington Hills, Mich. ACI Committee 440.Detroit, USA.

[4]-AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, ACI. 2005-Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and commentary (ACI 318R-05). Farmington Hills, Mich. ACI Committee 318.USA.

[5]- CSA. 2002-Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers (CAN/CSA-S806-02).Canadian Standards Association. Mississauga, Ontario, Canada.

[6]- HOUSSAM, T.; MOHAMED,S. 2000-Flexural Behaviour of Concrete Beams Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars.ACI Structure Journal. Vol.97, № 5, pp. 712-719.

[7]- ISIS. 2001-Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers, **Design Manual No. 3. Intelligent Sensing for Innovative Structures**. Manitoba, Canada.

[8]- ISTRUCTE. 1999-Interim Guidance on the Design of Reinforced Concrete Structures Using Fiber composite Reinforcement. **SETO Ltd.** London.

[9]- VINCENZO, C. ; GIUSEPPE, S. 2001-Shear Strengthening of RC Beams with Bonded steel or FRP plates. **Journal Of Structural Engineering**, U.S.A, Vol.127, No.4, 367-373.

دراسة تجريبية للسهم الناتج عن الانعطاف للجوائز

البيتونية المسلحة بقضبان البازلت BFRP

سليمان العامودي (2)

محمد راتب المسدي (1)

الملخص :

تم في هذا البحث اختبار 7 جوائز بيتونية مسلحة بسيطة الاستناد، على حمولة ستاتيكية، مع استبدال تسليح الشد الفولاذي بقضبان بوليميرية مقواة بألياف البازلت BFRP في بعض هذه الجوائز. وتم استنتاج منحنيات عزم-سهم لتفسير السلوك الانعطافي. كما تمت دراسة السهم الناتجة عن الانعطاف.

أظهرت النتائج أن قضبان البوليمير المسلحة بالألياف البازلتية (BFRP) تزيد بشكل عام من مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة على الانعطاف عندما توضع في منطقة الشد كما تزداد مقاومة الانعطاف عند الاستبدال الكامل لقضبان الفولاذ في منطقتي الشد والضغط. أيضاً تزداد السهم من 4 إلى 6 أضعاف بالمقارنة مع السهم في الجوائز المسلحة بالفولاذ، ويصبح الانهيار قصيفاً بسبب سلوك القضبان ومقاومتها العالية على الشد حيث تتفصل طبقة التغطية البيتونية، ويحدث الانهيار في منطقة الضغط.

تشير نتائج التجارب والتحليل في الدراسات المرجعية إلى أن معادلات ملحق الكود السوري وأيضاً [ACI-440.IR- 06] تقلل من تقدير السهم للجوائز المسلحة بقضبان BFRP، وتم تحقيق معادلة مقترحة معدلة مستقاة من 91 تجربة عن نفس الموضوع، وكانت المعادلة المقترحة مناسبة مع التجارب المخبرية بشكل أفضل.

كلمات مفتاحية: الجوائز البيتونية المسلحة - البوليميرات المسلحة بالألياف البازلتية (BFRP) - استبدال التسليح الفولاذي - مقاومة الانعطاف .

(1) طالب ماجستير في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

(2) أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية في كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

Experimental Study on Deflection Due to Bending in Concrete Beams Reinforced by BFRP Bars

Muhammad Rateb Almousaddi ⁽¹⁾

Soleman A. Alamodi ⁽²⁾

Abstract:

In this research, 7 simply supported reinforced concrete beams were experimented on static loading with replacement of tension steel reinforcement by Basalt-Fiber-Reinforced-Polymer (BFRP) bars in some of these beams, and *Moment-deflection* curves have been concluded for explaining the *bending behavior*. Also *deflections* due to bending had been studied.

The results showed that *Basalt-Fiber-Reinforced-Polymers (BFRP)* Bars generally increase the bending carrying capacity of reinforced concrete beams when placed in tension side. Also bending capacity increases by full replacement of steel bars by BFRP bars in tension and compression zones. Also, the deflections increases 4-6 times of beams reinforced by steel and the failure become brittle due to the behavior of BFRP bars and its high resistance to tension which lead to concrete fracture and compression zone failing.

The results of experiments and analysis in reference studies indicate that the equations of the Syrian Code Appendix and also ACI [440] underestimate deflection of BFRP reinforced beams. A modified proposed equation was achieved based on 91 experiments on the same topic and the proposed equation fit better with laboratory experiments.

Keywords: Reinforced concrete beams – Basalt Fiber Reinforced Polymers (BFRP) – replacement of steel reinforcement – bending capacity.

⁽¹⁾ Master Student at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Al Baath University.

⁽²⁾ Assistant Professor at Structural Department in Faculty of Civil Engineering – Al Baath University.

1. مقدمة Introduction

بسبب عامل المرونة المنخفض ومقاومة قضبان الفايبر المسلح بألياف البازلت BFRP المرتفعة على الشد، يختلف سلوك السهم للجوائز المسلحة بقضبان BFRP عن الجوائز المسلحة بقضبان فولاذية. انخفاض العزم بعد التصدع وزيادة عمق منطقة الضغط، تعتبر عوامل مهمة لتغيير نموذج التنبؤ بقيمة السهم.

تُظهر النتائج أن معادلات عزم الانعطاف في ملحق الكود السوري وأيضاً كود ACI440 [1]، [2] تناسب الجوائز المسلحة بقضبان BFRB وبدقة عالية. لكن تمت ملاحظة أن قيمة السهم النظري المقترحة في كود ACI 440 بعيدة عن قيمة السهم التجريبي، وتم اقتراح تصحيح علاقة حساب السهم من قبل الباحثين [9]، حيث تم - بالنظر الى تأثير انخفاض العزم وزيادة عمق منطقة الضغط - اقتراح صيغة معدلة لعزم العطالة الفعال I_e بالاعتماد على 16 ورقة بحثية تضمنت تجارباً على 91 جائزاً بيتونياً مسلحاً بقضبان الألياف البوليميرية، وقامت بمقارنة نتائج تجاربها مع علاقة الكود الأميركي (مشابهة للكود السوري) لحساب السهم.

حيث عزم الصلابة الفعال باستخدام معادلات ال ACI أكبر من الطريقة التجريبية. وتجدر الإشارة إلى أن هذه المعادلات التي تم تبنيها [1] قد تم تطويرها بناءً على بياناتٍ محدودةٍ من قضبان FRP مثل GFRP و CFRP. تطورت مؤخراً تطبيقات تسليح المنشآت باستخدام قضبان FRP البازلتية (BFRP) وبسرعة، لأن لها ميزة اقتصادية كبيرة. ويقدم هذا البحث دراسةً عمليةً لسهم (هذا تعبير تحاري وليس هندسي) الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان BFRP. ودراسة مدى فعالية هذه القضبان وإمكانية اعتمادها في الجوائز البيتونية بدلاً من قضبان الفولاذ التقليدية المستخدمة عادةً.

2. المشكلة العلمية Scientific Problem:

تتلخص مشكلة البحث في صدأ فولاذ التسليح في المنشآت البيتونية التقليدية، وارتفاع تكاليف الصيانة، وتشقق البيتون، وفقدان العناصر لكفاءتها. وتظهر في الشكل (1) نماذج لعناصر بيتونية متضررة في بيئات أكالة.



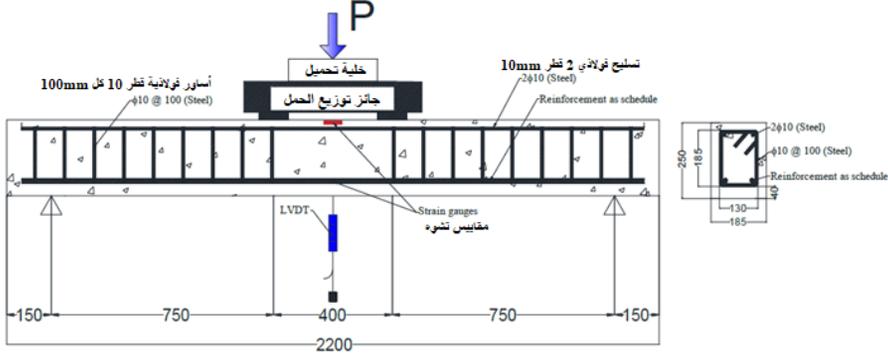
الشكل 1 : نماذج لعناصر بيتونية متضررة في بيئات أكالة

3. دراسات مرجعية Literature Reviews :

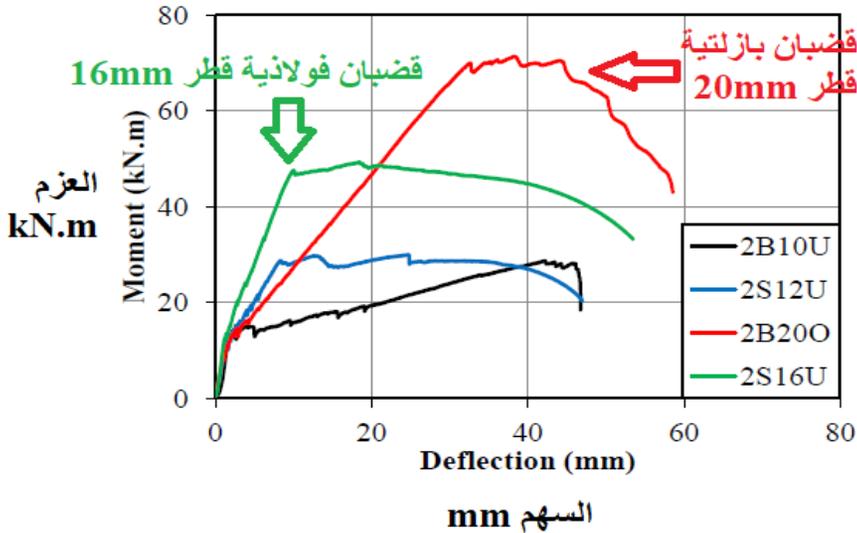
سوف نستعرض بعض ما توصلت إليه بعض الدراسات المرجعية المتعلقة بالجوائز البيتونية المسلحة بقضبان الـ BFRP.

- قام الباحثون [4] بدراسة ستة جوائز من بيتون فائق الأداء (UHPC) مسلحة بقضبان الـ BFRP، أظهرت النتائج أن البيتون عالي الأداء عزز السلوك الانعطافي للجوائز المسلحة بقضبان الـ BFRP بمعايير المقاومة الأعظمية على الانعطاف واستجابة السهم وأنماط التشقق.

ويظهر الشكل (2) تفصيل الجائز وجهاز الاختبار والمعدات. كما يظهر الشكل (3) منحنى العزم-السهم لمقارنة قضبان البازلت مع الفولاذ.



الشكل 2 : تفصيل الجائز و جهاز الاختبار و المعدات [4]



الشكل 3 : منحنى العزم-السهم لمقارنة قضبان البازلت مع الفولاذ [4]

- قام الباحثون [5] بدراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان BFRP. أجريت اختبارات على ثمانية جوائز بيتونية مسلحة بعضها بقضبان BFRP والبعض الآخر مسلحة بقضبان فولاذية. أظهرت الجوائز المسلحة بقضبان BFRP تشققاً بالانعطاف والقص أكبر بمرتين من الجوائز البيتونية المناظرة المسلحة بقضبان فولاذية.

وُجد أيضاً بأن عزوم التشقق أعلى % 30-50 للجوائز المسلحة بقضبان فولاذية بالمقارنة مع المسلحة بقضبان BFRP. وأن انهيار القص يمكن أن يحكم تصميم الجوائز البيتونية المسلحة بقضبان BFRP والمحتوية على أساور BFRP. و يبين الشكل (4) الاختلاف في نمط الانهيار، حيث يتحول من انهيار بالضغط بحالة القضبان الفولاذية إلى الانهيار بالقص في حالة القضبان البازلتية BFRP.



قضبان فولاذية (انهيار ضغط) قضبان BFRP (انهيار قص)

الشكل 4 : تحول نمط الانهيار من الضغط إلى القص عند استخدام قضبان BFRP بدلاً من الفولاذية [5]

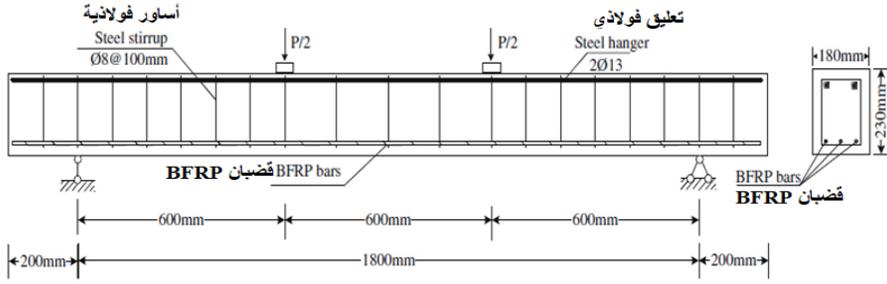
- قام الباحثان [6] بتحليل سلوك جوائز نموذجية مصنوعة من البيتون المسلح بقضبان بوليميرية مقواة بالألياف في اختبار الانعطاف بثلاث نقاط. وُجد بأنه خلال المرحلة الأولية من التحميل تزداد قيمة السهم للجوائز المسلحة بـ BFRP، 40% بالمقارنة مع الجوائز المرجعية. ومع ازدياد الحمولة يزداد الاختلاف في قيمة السهم. في النهاية كانت سهوم الجوائز المرجعية أصغر بمرتين بالمقارنة مع جوائز BFRP. تميزت جوائز BFRP بتشوهات أكبر وعدد أكبر بكثيرٍ من الشقوق الأكثر اتساعاً.

قام الباحثان [7] باستقصاء خصائص الانعطاف لستة جوائز بيتونية (120 x 300 x 4500 mm) مسلحة بقضبان مصنوعة من البوليمير المقوى بألياف البازلت (BFRP).

استخدمت قضبان فولاذ و BFRP كتسليح طولي وقص. وكما هو متوقع انهارت كل الجوائز بتحطم البيتون في ألياف الضغط العلوية بسبب استخدام قضبان BFRP. استخدام تسليح FRP أنتج تحسناً في المقاومة الأعظمية للجوائز بغض النظر عن نوع البيتون. بسبب القيمة المنخفضة نسبياً لمعامل يونغ لتسليح BFRP تتخفض صلابة الجوائز بشكل هام بعد التشقق.

- قام الباحث [8] بدراسة تهدف إلى تحسين فهم السلوك الانعطافي للجوائز البيتونية المسلحة بقضبان BFRP. تم اختبار أربعة أصناف من الجوائز البيتونية المسلحة بقطر 8 mm BFRP وفولاذ تقليدي، على الانعطاف. أظهرت جوائز البيتون المسلحة بقضبان BFRP سهماً تقريباً ضعفي الجوائز البيتونية المسلحة بالفولاذ التقليدي. ومع ذلك كانت الحملات عند الانهيار للجوائز البيتونية المسلحة ب BFRP أعلى من الجوائز البيتونية المسلحة بالفولاذ التقليدي.

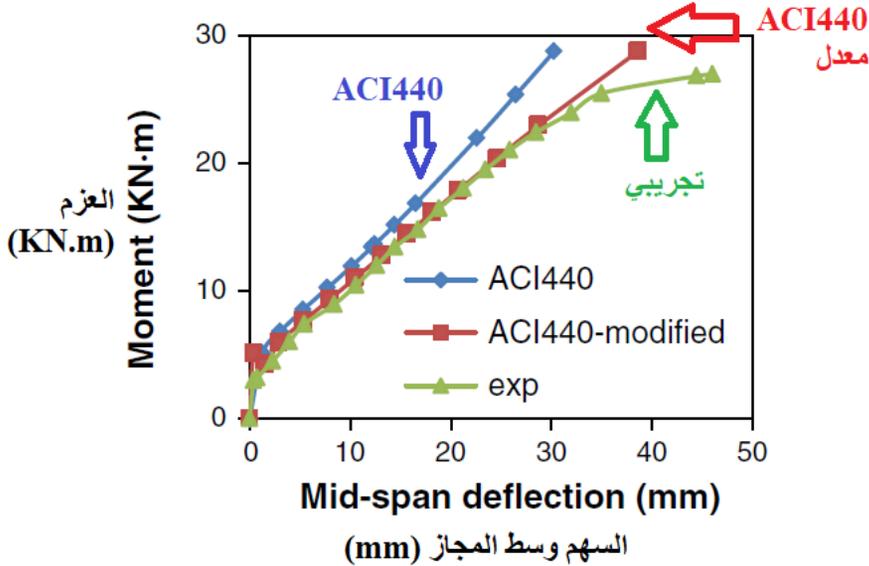
- قدم الباحثون [9] دراسةً تجريبيةً للسهم الانعطافية لجوائز بيتوني مسلح بقضبان FRP بازلتية. جريت في المخبر ستة جوائز بيتونية مع نسب تسليح BFRP مختلفة وجائز مقارنة واحد مسلح بقضبان فولاذية. كما أجريت محاكاةً عديدةً باستخدام طريقة التحليل المقطعي وطريقة العناصر المحدودة الحيزية. يمكن أن تتلاءم النتائج التجريبية بشكل جيد مع مع نتائج المحاكاة العددية. تشير النتائج التحليلية والتجريبية في الدراسات المرجعية المجمعة إلى أن معادلات ACI-440.1R-06 [1] تقلل تقدير السهم للجوائز البيتونية المسلحة ب FRP. وبناءً على النتائج التجريبية والمحاكاة العددية تم اقتراح معادلة معدلة للصلابة الانعطافية لحساب السهم لجوائز البيتون المسلح ب FRP. المعادلة المقترحة يمكن أن تتلاءم أفضل مع النتائج التجريبية أكثر من معادلات ACI-440.1R-06. ويبين الشكل (5) تفاصيل الاختبار التجريبي.



الشكل (5) : تفاصيل الاختبار التجريبي [9]

تظهر نتائج المقارنة أن معادلات سعة الانعطاف في كود ACI 440 مناسبة أيضاً من أجل الجوائز المسلحة بـ BFRP بدقة عالية. أما معادلات السهم المقترحة في كود ACI 440 لها بعض الانحراف عن النتائج التجريبية. صلابة العزم الفعالة المتنبأ باستخدام معادلة ACI أعلى من التجريبية.

ويبين الشكل (6) مخطط العزم-السهم (منتصف المجاز) للجائز B4 (تسليح 3R8 ، مقاومة الببتون المميزة 27 MPa). يظهر على المخطط الأخير ثلاثة منحنيات: التجريبي، وفق كود ACI440، والمعدل عن كود ACI440، حيث يظهر بعد التعديل اقتراب منحنى العزم-السهم من التجريبي.



الشكل 6 : مخطط العزم-السهم للجائز B4 [9]

4. هدف البحث Objectives

يهدف هذا البحث إلى:

- دراسة سلوك العناصر البيتونية المسلحة بقضبان البازلت تحت تأثير الانعطاف ومقارنتها مع مثيلاتها المسلحة بالفولاذ من حيث السهوم والشقوق وقدرة التحمل.
- دراسة إمكانية وجدوى استخدام مثل هذه القضبان في البيتون بدلاً عن قضبان لفولاذ المعتادة.

5. مواد و طرق البحث Materials and Methodology

أجري هذا البحث تجريبياً في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث حيث تم صب 7 جوائز بيتونية مسلحة واختبارها باعتبارها بسيطة الاستناد.

1.5 الاسمنت والخلطة البيتونية Cement and Concrete Mixture:

استخدم الاسمنت البورتلاندي معمل طرطوس صنف N 32.5، عيار 400kg/m^3 في جميع الخلطات البيتونية.

أجريت اختبارات على المواد المكونة للخلطة البيتونية. ويبين الجدول (1) الكميات الوزنية (kg) المستخدمة لتحضير 1 m^3 من الخلطة البيتونية. حيث نسب الماء إلى الاسمنت: $\left[\frac{w}{c} = 0.55\right]$ ، تمت الاستعانة بالدراسة [11] في تصميم الخلطة البيتونية.

الجدول 1 : الكميات الوزنية (kg) المستخدمة لتحضير 1 m^3 من الخلطة البيتونية

ماء	اسمنت	رمل	زرادة	بحص عدسي	بحص
220	400	250	535	500	585
189.5	344	215	460	430	503

كان هبوط مخروط أبرامز للخلطة البيتونية (9 cm). تم صب 9 أسطوانات قياسية (150*300) mm، حيث تم دهن الأوجه الداخلية والقاع بالزيت، ثم صب البيتون على ثلاث طبقات، مع رص كل طبقة بالدق 25 مرة، وسُوِّيت سُطوح العينات قدر الإمكان. حُفِظَت العينات بعد الصب في وسط رطب لمدة 24 ساعة، بعدها تم فك القوالب، ووضع العينات ضمن الماء في حوض الغمر لمدة 28 يوماً.

و يبين الجدول (2) وسطي المقاومة الأسطوانية على الضغط للعينات الأسطوانية بعمر 7 أيام و28 يوماً، وعند إجراء التجارب.

الجدول 2 : المقاومة الاسطوانية للعينات الاسطوانية القياسية

وسطي مصحح *0.89 [12] (MPa)	المقاومة الاسطوانية عند إجراء الاختبار (بعد 120 يوماً)	المقاومة الاسطوانية بعمر 28 يوماً (MPa)	الوسطي (MPa) بدون تصحیح	المقاومة الاسطوانية (MPa) بعمر 7 أيام
16.91	21	17.17	19.25	10.75
	17		15.85	12
	19		16.41	9.7
19			10.81	

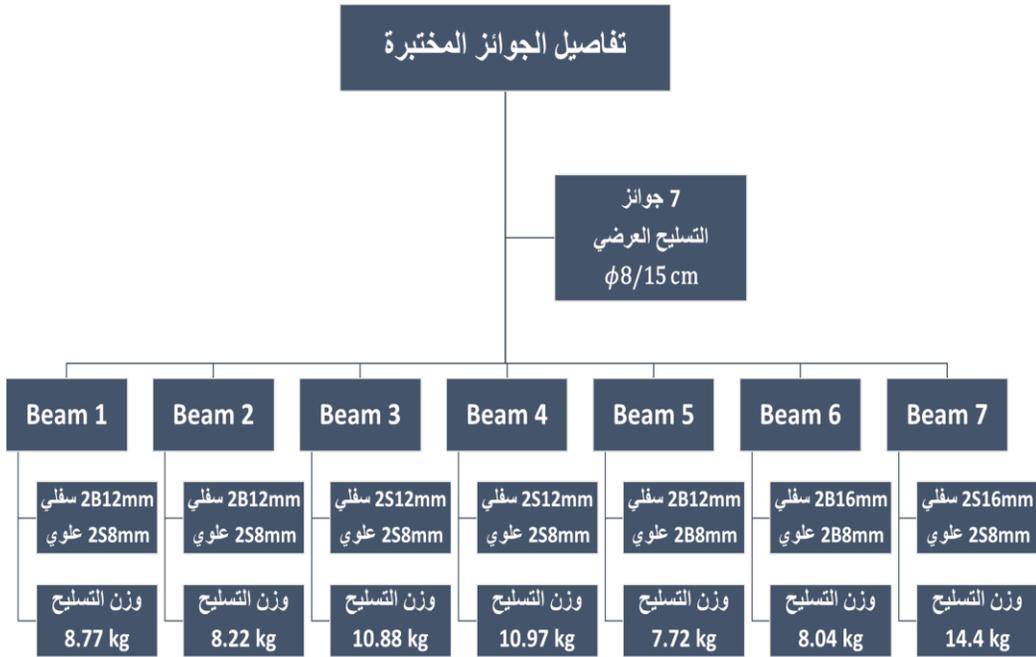
ويعود ضعف المقاومة الاسطوانية بالنسبة لعيار الاسمنت 400 kg/m^3 إلى نوعية الاسمنت المتوفر محلياً، حيث تبين بالتجارب المجراة في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية في جامعة البعث تأخر اكتساب المقاومة وازديادها مع الزمن. كما تم استخدام الطريقة الوزنية بدلاً من الطريقة الحجمية لتحضير الخلطة البيتونية.

2.5 تسليح الجوائز *Beams Reinforcement*:

➤ تسليح طولي (قضبان بازلتية أو فولاذية) 2T8 علوي و 2T12 سفلي أو 2T8 علوي و 2T16 سفلي .

➤ تسليح عرضي: أساور كل (15) cm، من الفولاذ بقطر (8) mm .

تشمل المتغيرات نوع القضبان ونسبة التسليح. ويبين الشكل (7) مخطط الجوائز المختبرة وتسليحها.

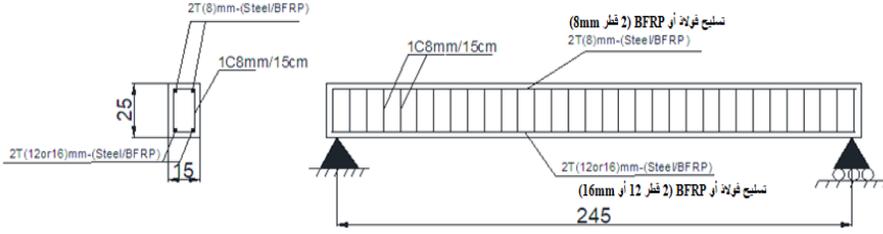


B : قضيب بازلت BFRP

S : قضيب فولاذ Steel

الشكل 7 : مخطط الجوائز المختبرة وتسليحها ووزن التسليح لكل جاز

ويبين الشكل (8) مقطعاً طولياً وعرضياً في الجائز .



الشكل 8 : مقطع طولي وعرضي في الجوائز المختبرة- الأبعاد بالـ cm

1.2.5 القضبان البوليميرية المقواة بألياف البازلت BFRP Bars:

تم استخدام القضبان البوليميرية المقواة بالألياف البازلتية BFRP والتي تتمتع بالموصفات المبينة في الجدول (3).

الجدول 3 : مواصفات القضبان البوليميرية المقواة بالألياف البازلتية

الخاصية	قضبان التسليح البوليميرية (BFRP)
الكثافة (kg/m ³)	1800-2000
معامل المرونة (MPa)	62000
إجهاد الشد الحدي (MPa)	1500
التشوه الحدي %	2.5

أجريت تجربة الشد على قضبان البوليمير المسلح بألياف البازلت BFRP، كما هو موضح في الشكل (9) في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية بجامعة البعث، وكانت النتائج على النحو الآتي:

$$P = 94 \text{ kN} : \text{قوة الشد القصوى (الانقطاع)}$$

$$831 \text{ MPa} \approx \frac{94000}{\frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = \text{إجهاد الانقطاع لقضبان BFRP}$$



الشكل 9 : تجربة شد القضبان البازلتية BFRP

بالنتيجة تختلف مواصفات القضبان البازلتية BFRP Rebars عن المواصفات المقدمة من الشركة المصنعة فيما يتعلق بإجهاد الانقطاع، حيث مقاومة الانقطاع النظرية (1500 MPa) في حين التجريبية (831 MPa).

- الإجهاد التصميمي النظري : $(0.8 \times 1500 = 1200 \text{ MPa})$.

- الإجهاد التصميمي التجريبي : $(0.8 \times 831 = 664.8 \text{ MPa})$.

2.2.5 القضبان الفولاذية Steel Bars:

استخدمت قضبان فولاذية طولية بأقطار (8,12,16) mm وتسليح عرضي بقطر (8) mm ومواصفات القضبان الفولاذية حسب المتوفرة محلياً.

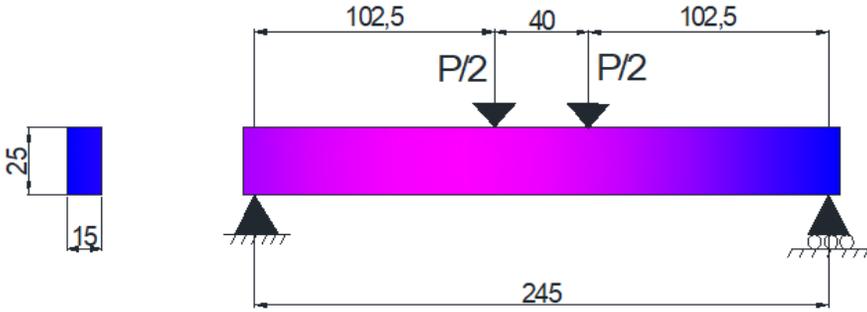
• تم اعتبار إجهاد الخضوع الوسطي لفولاذ التسليح قطر (8,12,16) mm:

$$Fy_s = 400 \text{ MPa}$$

• معامل المرونة للفولاذ: $E_s = 21 \times 10^4 \text{ MPa}$

3.5 وضع التجربة Test Set-Up:

طبقت حملتين مركزتين في المنتصف التباعد بينهما 40cm وقيست الانتقالات باستخدام حساسات رقمية مرتبطة إلكترونياً بجهاز الاختبار. تم وضع الحساسات: حساسان شاقوليان متتاليان لقياس الانتقال الشاقولي (السهم) في منتصف مجاز الجائز، ثلاثة حساسات أفقية متجاورة أسفل نقطتي التحميل في منطقة الضغط من الأعلى، حساس أفقي في منطقة الشد من الأسفل، حساسان شاقوليان عند المساند لإلغاء تأثير هبوط المساند أثناء حساب السهم (من الحساس في وسط المجاز).



ويبين الشكل (10) مخطط الجوائز المختبرة تجريبياً وأبعادها.

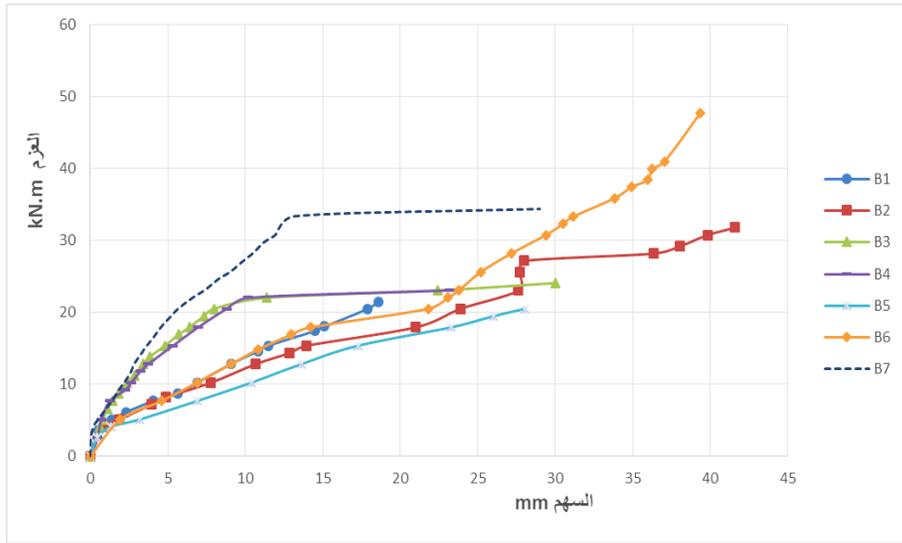
الشكل 10 : تفاصيل الاختبار وأبعاد الجائز (الأبعاد بالـ cm)

أجريت التجارب على الجوائز في مخبر البيتون بكلية الهندسة المدنية في جامعة البعث باستخدام جهاز تحميل هيدروليكي بحمولة قصوى (13 ton) .

6. النتائج و مناقشتها Results and Discussion

1.6 الدراسة التجريبية Experimental Study:

يظهر الشكل (11) مخطط العزم-السهم (الانتقال الشاقولي في منتصف المجاز) للجوائز من B1 حتى B7، وهي جوائز بسيطة الاستناد مسلحة كما هو مبين في الشكل (7) والجدول (4)، الذي يتضمن حمولة ظهور أول شق، وحمولة الانهيار، ونمط الانهيار، والعزم المقاوم، والسهم الموافق، كما يتضمن العزم الاستثمائي (=عزم الانهيار/1.56) للجوائز المختبرة.



الشكل 11 : مخطط العزم (kN.m)-السهم (mm) وسط المجاز للجوائز

الجدول (4) : القيم التجريبية للعزم المقاوم للجوائز المختبرة

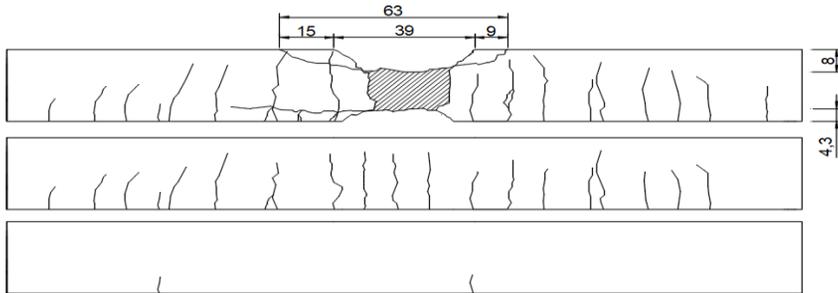
نمط الانهيار	العزم الاستثمائي = التجريبي/1.56 (kN.m)	السهم الموافق (mm)	العزم المقاوم التجريبي M_u (kN.m)	حمولة الانهيار (kN)	حمولة ظهور أول شق (kN)	التسليح العرضي	التسليح الطولي		الجائز
							سفلي	علوي	
انهيار منطقة الضغط	26.28	18.6 *	41.0	80	7	Ø8/15cm	2B12	2S8	B1
انهيار منطقة الضغط	24.29	41.6	37.9	74	6.5	Ø8/15cm	2B12	2S8	B2
انهيار منطقة الضغط	14.80	30.0	23.1	45	13	Ø8/15cm	2S12	2S8	B3
انهيار منطقة الضغط	15.77	23.2	24.6	48	15	Ø8/15cm	2S12	2S8	B4
انقطاع البازلت السفلي	15.44	28.0	24.1	47	8	Ø8/15cm	2B12	2B8	**B5
انهيار منطقة الضغط	26.92	39.3	42.0	82	8.5	Ø8/15cm	2B16	2B8	B6
انهيار منطقة الضغط	20.70	29.0	32.3	63	19	Ø8/15cm	2S16	2S8	B7

* توقف القراءة قبل انتهاء التجربة لعدم كفاية حساس الانتقال (السهم المذكور حتى حوالي 50% من حمولة الانهيار).

** انهيار الجائز B5 غير نموذجي لوجود تعشيش قبل بداية التجربة.

ويبين الشكلان (12 و 13) والجدول (5) صور الجوائز المختبرة بعد الانهيار،

ونموذج تشكل الشقوق في كل جائز.



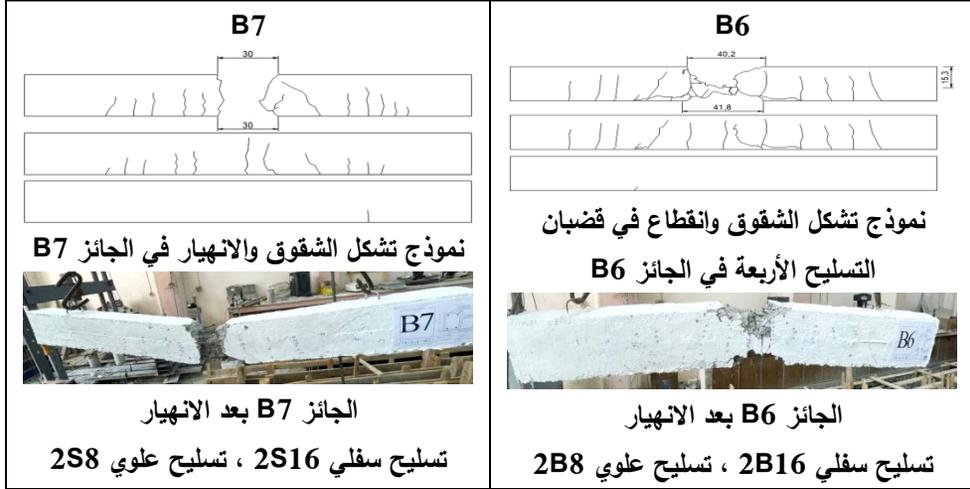
الشكل 12 : نموذج تشكل الشقوق وانهيار منطقة الضغط في الجائز B1



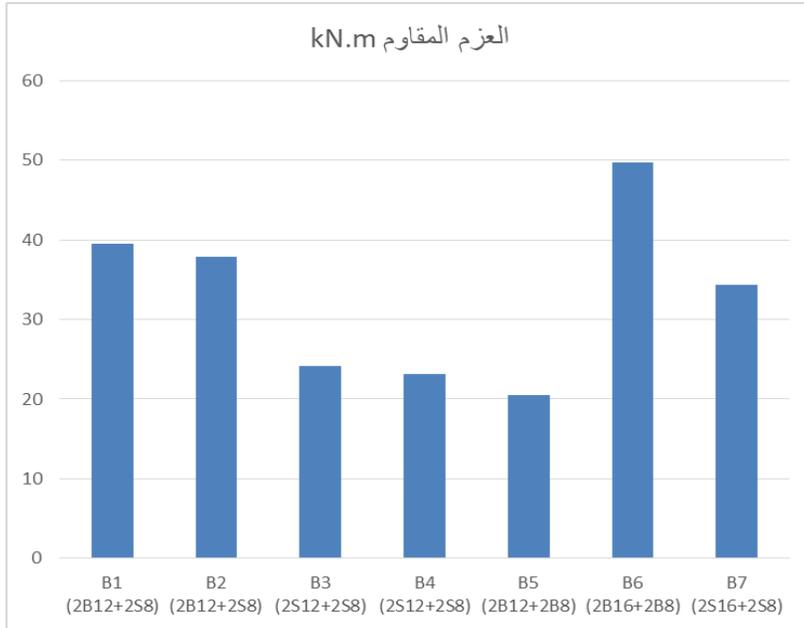
الشكل 13 : الجائز B1 بعد الانهيار: تسليح سفلي 2B12 ، تسليح علوي 2S8

الجدول 5 : نماذج التشقق وأشكال الانهيار للجوائز المختبرة

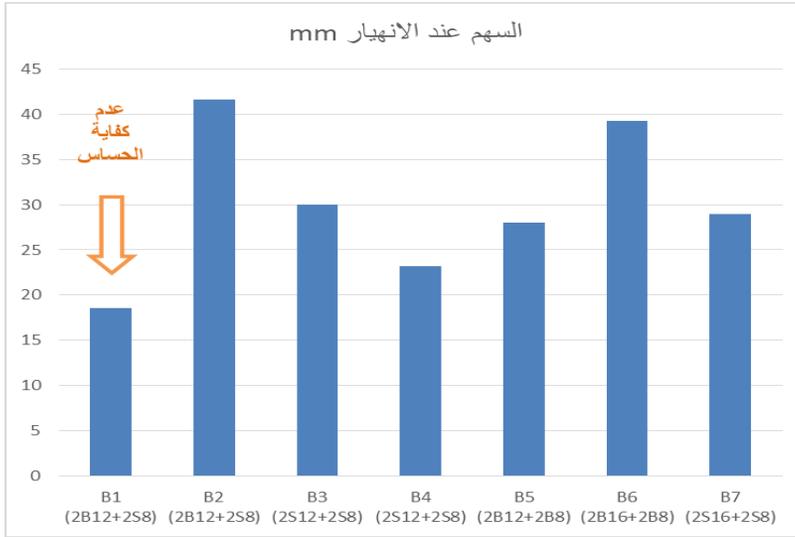
<p style="text-align: center;">B3</p> <p style="text-align: center;">نموذج تشكل الشقوق وبداية انهيار منطقة الضغط في الجائز B3</p> <p style="text-align: center;">الجائز B3 بعد الانهيار تسليح سفلي 2S12 ، تسليح علوي 2S8</p>	<p style="text-align: center;">B2</p> <p style="text-align: center;">نموذج تشكل الشقوق وانفصال البازلت عن البيتون في الجائز B2</p> <p style="text-align: center;">الجائز B2 بعد الانهيار تسليح سفلي 2B12 ، تسليح علوي 2S</p>
<p style="text-align: center;">B5</p> <p style="text-align: center;">نموذج تشكل الشقوق وانقطاع قضبان البازلت السفلية في الجائز B5</p> <p style="text-align: center;">الجائز B5 بعد الانهيار تسليح سفلي 2B12 ، تسليح علوي 2B8</p>	<p style="text-align: center;">B4</p> <p style="text-align: center;">نموذج تشكل الشقوق وانهيار منطقة الضغط في الجائز B4</p> <p style="text-align: center;">الجائز B4 بعد الانهيار تسليح سفلي 2S12 ، تسليح علوي 2S8</p>



ويظهر الشكل (14) مقارنة قيم العزم المقاوم. والشكل (15) مقارنة قيم السهم الأعظمية المقاسة للجوائز (ما عدا B1 لتوقف الحساس).



الشكل 14 : مقارنة قيم العزم المقاوم التجريبي للجوائز



الشكل 15 : مقارنة قيم السهم الأعظمي التجريبي للجوائز

من الواضح ازدياد قدرة تحمل عزم الانعطاف رافقه ازدياداً كبيراً في السهوم للجوائز المسلحة بقضبان BFRP مقارنةً بالجوائز المسلحة بالفولاذ. مع ملاحظة تخص الجوائز B5 كونه انهيار قبل المتوقع بسبب وجود تعشيش ناجم عن الصب.

2.6 حساب السهم النظري *Calculate Theoretical Deflection*:

تعطى من الدراسة المرجعية [9] علاقة حساب السهم النظري:

$$F = \frac{px}{48E_c I_e} (3l^2 - 4x^2) \quad (1)$$

حيث:

F السهم النظري (mm)

x المسافة بين المسند ونقطة تطبيق الحمولة (mm).

p الحمولة المطبقة (N, kN).

العلاقة المذكورة مأخوذة من كود معهد الببتون الأمريكي، ويمكن التعبير عن السهم بعلاقةٍ مشابهةٍ بالمعادلة الآتية: [11]

$$F = \frac{M_{ser}}{E_c \cdot I_e} R_m \cdot L^2 \quad (2)$$

في حالتنا: $R_m = 0.0958$. ويُحسب بالعلاقة الآتية:

$$R_m = \frac{1}{8} - \frac{(\text{بعد القوة عن المسند})^2}{6 L^2} \quad (3)$$

R_m : معامل يتعلق بطول الجائز و بعد القوة المطبقة عن المسند (شكل تطبيق القوى).

L : طول الجائز

$$\frac{M_{ser}}{E_c \cdot I_e} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{عامل التقوس}) \quad (4)$$

حيث: M_{ser} العزم الاستثنائي، ويساوي العزم الحدي مقسوماً على 1.56 (kN.m,)
(N.mm).

$$M_{ser} = \frac{P}{2} \cdot x \quad (5)$$

$P/2$: نصف الحمولة المطبقة (kN, N).

x : المسافة بين المسند و نقطة تطبيق الحمولة (cm, mm).

E_c : معامل المرونة اللحظي للبيتون (MPa).

$$E_c = 5700 \sqrt{f'_c} \quad (6)$$

f'_c : المقاومة المميزة للبيتون على الضغط (MPa).

I_e : عزم العطالة الفعال للمقطع (mm^4).

عزم العطالة الفعال: [11]

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g \quad (7)$$

مساحة المقطع الكامل: [11]

$$A_c = b \cdot h + n_{basalt} \cdot A_s + n_{steel} \cdot \dot{A}_s \quad (8)$$

العزم السكوني للمقطع:

$$SI = 0.5 \cdot b \cdot h^2 + n_b \cdot A_s \cdot a + n_s \cdot A'_s \cdot (h - a') \quad (9)$$

موضع المحور المحايد:

$$y_t = \frac{SI}{Ac} \quad (10)$$

$\mu_{s,frp}$ نسبة تسليح FRP.

μ_{sb} نسبة التسليح التوازنية لقضبان FRP.

عزم العطالة لجائز بيتوني مسلح مقطع مستطيل: [11]

$$I_g = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h(0.5h - y_t)^2 + n_{steel} \cdot \dot{A}_s(h - y_t - \dot{a})^2 + n_{basalt} \cdot A_s(y_t - a)^2 \quad (11)$$

يحسب عزم عطالة المقطع المتشقق: [11]

$$I_{cr} = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + n_s \cdot \dot{A}_s(x - \dot{a})^2 + n_B \cdot A_s(d - x)^2 \quad (12)$$

n_f نسبة معامل مرونة قضبان FRP إلى معامل مرونة البيتون. [9]

عزم التشقق: [11]

$$M_{cr} = \frac{0.57\sqrt{f'_c}}{yt} \cdot I_g \quad (13)$$

$$c\ell_F = \frac{n' \cdot A'_s}{b d} \quad (14)$$

حيث

A'_s : تسليح منطقة الضغط (الثانوي). (mm^2)

A_s : تسليح منطقة الشد (الرئيسي). (mm^2)

n' : نسبة التعادل للتسليح الثانوي المضغوط.

n : نسبة التعادل للتسليح الرئيسي المشدود.

b : عرض الجائز (mm).

d : الارتفاع الفعال للجائز (mm).

$$\delta = \frac{M \cdot 10^6}{0.85 \cdot \hat{f}_c \cdot b_w \cdot d^2} \quad (15)$$

$$\lambda = c\ell_F \left(1 - \frac{2a}{2d}\right) \quad (16)$$

a : المسافة من مركز تسليح الشد إلى أقصى ليف مشدود (mm).

a : المسافة من مركز تسليح الضغط إلى أقصى ليف مضغوط (mm).

$$\alpha = \frac{1}{1.8 + \left([1 + 5(\delta + \lambda)] \cdot \frac{1}{10 \cdot n \cdot \mu_s}\right)} \quad (17)$$

$$x = \alpha \cdot d \quad (18)$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bd} \quad (19)$$

$$\mu'_s = \frac{A'_s}{bd} \quad (20)$$

μ_s : نسبة التسليح المشدود (%).

μ_s : نسبة التسليح المضغوط (%).

$$n_s = \frac{E_s}{E_c} = \frac{E_s}{5700\sqrt{f'_c}} \quad (SI) \quad (21)$$

$$n_b = \frac{E_b}{E_c} = \frac{E_b}{5700\sqrt{f'_c}} \quad (SI) \quad (22)$$

E_b : معامل مرونة قضبان البازلت BFRP (MPa).

E_s : معامل مرونة قضبان الفولاذ (MPa).

يحسب السهم المسموح: [11]

للجائز بسيط الاستناد

$$F_{allowed} \leq \frac{L}{360} = \frac{2450}{360} = 6.8 \text{ mm} \quad (23)$$

3.6 حساب السهم النظري المصحح *Calculate Modified Theoretical Deflection*

تمت ملاحظة أن قيمة السهم النظري بعيدة عن قيمة السهم التجريبي، وتم اقتراح تصحيح علاقة حساب السهم حيث نحتاج صيغةً معدلةً لعزم العطالة الفعال I_e .

بالاعتماد على 16 ورقة بحثية تضمنت تجارباً على 91 جائراً بيتونياً مسلحاً بقضبان الألياف البوليميرية، وقامت بمقارنة نتائج تجاربها مع علاقة الكود الأميركي (مشابهة للكود السوري) لحساب السهم.

تتاولت العلاقات المعدلة الصلابة $E_b \cdot I_e$ ، واقترحت الدراسة [9] العلاقتين الآتيتين:

$$E_b \cdot I_e = [E_b I_e]_1 \times r^\eta$$

$$= (E_b I_e)_1 \cdot \left(1 - \frac{M}{1.7 f'_c \cdot b \cdot d^2}\right)^{\mu_s n + 1} \quad (24)$$

$$r^\eta = (E_b I_e)_1 \cdot \left(1 - \frac{M}{1.7 f'_c \cdot b \cdot d^2}\right)^{\mu_s n + 1} \quad (25)$$

$$[E_b \cdot I_e]_1 = E_b \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3 \cdot \beta_T \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3\right] \cdot I_{cr} \cdot E_b$$

$$< I_g \quad (26)$$

حيث: η معامل يتعلق بنسبة التسليح الفعالة ρ_f ونسبة التعادل n .

β_T : معامل مقترح من الدراسة بإدخال تأثير هبوط العزم بعد التشقق.

r^η : معامل مقترح من الدراسة بإدخال تأثير زيادة منطقة الضغط في المقطع مع زيادة العزم.

يدخل المعامل β_T في المعادلات المعدلة، يعتمد على نسبة التعادل n ، ونسبة التسليح الفعال μ_s ، ونسبة الارتفاع الفعال $\frac{d}{h}$. [9]

$$\beta_T = 2.5 \cdot \sqrt{n \cdot \mu_s \cdot \frac{d}{h} \cdot \frac{d}{h}} \quad (27)$$

نعرف ما يلي:

- M_R عزم الانهيار التجريبي، (kN.m)
 - M_{ser} العزم الاستثماري (=العزم الحدي/1.56)، (kN.m)
 - M_{cr} عزم التشقق، (kN.m)
 - F السهم (النظري أو التجريبي)، (mm)
 - F' السهم النظري المصحح، (mm)
 - $[F]$ السهم المسموح، (mm)
 - $[[M_{ser}]]$ العزم التجريبي عند السهم المسموح، (kN.m)
 - $[M_{ser}]$ العزم الاستثماري بالعلاقات أو العلاقات المصححة عند السهم المسموح، (kN.m)
 - $F [M_{ser}]$ السهم التجريبي عند العزم المحسوب بالعلاقات المصححة، (mm)
- حيث يعطي الجدول (6) قيم السهم التجريبية والنظرية والمصححة مع العزوم المقاومة. كما يبين الجدول (7) مثلاً حسابياً للسهم النظري في الجائز B2.

دراسة تجريبية للسهم الناتج عن الإعطاف للجوائز البيتونية المسلحة بفضبان الـ BFRP

الجائز	التسليح	MR	Mcr	Mcr	Mser	F	F'	F	[F]	[Mser]	[Mser]	[Mser] / Mser	[Mser] / Mser	[Mser]	F
		kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	mm	mm	mm	mm	mm	KN.M	KN.M	%	%	KN.M
B1	b 12 - s 8	41.0	4.14	3.6	26.28	27.77	32.03	18.6* عند 0.8 Mser	6.8	10.16	9.94	24.2	37.8	7.32	6.8
		37.9	4.14	3.33	24.3	25.56	29.45	28.4**	6.8	9.6	9.94	26.2	40.9	7.32	7.7
B3	s 12 - s 8	23.1	4.42	6.67	14.8	5.8	-	4.4	6.8	18.62	17.08	115.4	74.0	-	5.78
B4	s 12 - s 8	24.6	4.42	7.7	15.77	6.23	-	5.55	6.8	17.66	17.08	108.3	69.4	-	6.36
B5	b 12 - b 8 (تثلي)	24.1	4.11	4.1	15.44	14.94	18.38***	17.34	6.8	7.64	9.85	63.8	40.9	7.25	5
B6	b 16 - b 8 (تثلي)	42.0	4.17	3.1	26.9	18.17	21.22***	23.48**	6.8	10.21	11.7	43.5	27.9	9.66	9.3
B7	s 16 - s 8	32.3	4.67	9.74	20.7	5.6	-	5.8	6.8	22.25	25.5	123.2	79.0	-	9.05

* B1 : تم قياس السهم في منتصف الجائز خلال التجربة حتى 50% فقط من حمولة الإتهيار (بسبب محدودية مجال الحساس) وتمت معالجة المشكلة في بقية الجوائز بوضع حساس ثاني يبدأ عمله عند نهاية عمل الحساس الأول.

** B2/B6 : تم قياس السهم في منتصف الجائز عند الحمولة المذكورة بتداخل عمل حساسين متتاليين (ونك من الممكن وجود نسبة خطأ بقيمة السهم التجريبي ± 0.5 mm).

*** B2/B6 : جوائز مسلحة بتسليح بارلت ثنائي ، لم يتم إدخال التسليح العلوي في حساب السهم المصحح F لاقتصار علاقات تصحيح السهم - الموجودة في الدراسات المرجعية - على الجوائز المسلحة بتسليحاً أحادياً فقط.

الجدول 7 : مثال حسابي للسهم النظري المصحح في الجانز B2.

العزم الاستثمائي = العزم الحدي/1.56 $M_{ser} = M_R / 1.56$	$M_{ser} = 37.9 / 1.56 = 24.3 \text{ kN.m}$
إجهاد الخضوع لقضبان الفولاذ	$f_{y \text{ Steel}} = 400 \text{ MPa}$
إجهاد الخضوع لقضبان البازلت BFRP	$f_{y \text{ Basalt}} = 831 \text{ MPa}$
مقاومة الضغط المميزة للبيتون	$f'_c \text{ Concrete} = 19 \text{ MPa}$
معامل مرونة القضبان الفولاذية	$E_s = 210000 \text{ MPa}$
معامل مرونة القضبان البازلتية	$E_b = 62000 \text{ MPa}$
معامل مرونة البيتون $E_c = 5700\sqrt{f'_c}$	$E_c = 5700\sqrt{19} = 24845.72 \text{ MPa}$
نسبة التعادل للفولاذ $n_s = \frac{E_s}{E_c}$	$n_s = \frac{210000}{24845.72} = 8.45$
نسبة التعادل للبازلت $n_b = \frac{E_b}{E_c}$	$n_b = \frac{62000}{24845.72} = 2.495$
طول الجانز L	$L = 2450 \text{ mm}$
أبعاد الجانز $b \cdot h$	$150 \cdot 250 \text{ mm}$
التسليح السفلي: $A_s = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 12^2}{4}$	$A_s = 226.19 \text{ mm}^2$
نسبة التسليح السفلي (شد) $\mu_s = \frac{A_s}{bd}$	$\mu_s = \frac{226.19}{150 \cdot 206} = 0.00732$
التسليح العلوي: $A'_s = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4}$	$A'_s = 100.53 \text{ mm}^2$
نسبة التسليح العلوي (ضغط) $\mu'_s = \frac{A'_s}{bd'}$	$\mu'_s = \frac{100.53}{150 \cdot 208} = 0.00325$
التغطية	$c = 30 \text{ mm}$
المسافة من مركز تسليح الشد إلى أقصى ليف مشدود	$a' = 42 \text{ mm}$

المسافة من مركز تسليح الضغط إلى أقصى ليف مضغوط	$a = 44 \text{ mm}$
العزم السكوني $SI = 0.5 \cdot b \cdot h^2 + n_b \cdot A_s \cdot a + n_s \cdot A'_s \cdot (h - a')$	$SI = 0.5 \cdot 150 \cdot 250^2 + 2.495 \cdot 226.19 \cdot 44 + 8.45 \cdot 100.53 \cdot (250 - 42) = 4889073.986 \text{ mm}^3$
المساحة المكافئة للمقطع $A_c = b \cdot h + \frac{n}{basalt} \cdot A_s + \frac{n}{steel} \cdot A'_s$	$A_c = 150 \cdot 250 + 2.495 \cdot 226.19 + 8.45 \cdot 100.53 = 38914.15 \text{ mm}^2$
موقع المحور المحايد $y_t = \frac{SI}{A_c}$	$y_t = \frac{4889073.986}{38914.15} = 125.63 \text{ mm}$
عزم العطالة للمقطع (مستطيل) $Ig = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h(0.5h - y_t)^2 + \frac{n}{steel} \cdot A_s(h - y_t - a)^2 + \frac{n}{basalt} \cdot A_s(y_t - a)^2$	$Ig = \frac{150 \cdot 250^3}{12} + 150 \cdot 250(0.5250 - 125.63)^2 + 8.45 \cdot 100.53(250 - 125.63 - 42)^2 + 2.495 \cdot 226.19(125.63 - 44)^2 = 204853627 \text{ mm}^4$
عزم التشقق $Mcr = \frac{0.57 \sqrt{f'_c}}{y_t} \cdot Ig$	$Mcr = \frac{0.57 \sqrt{19}}{125.63} \cdot 205348377.9 = 4051130.647 \text{ N} \cdot \text{mm}$
$c\ell_F = \frac{n' \cdot A'_s}{b d}$	$c\ell_F = \frac{8.45 \cdot 100.53}{150 \cdot 206} = 0.0275$
$\delta = \frac{M \cdot 10^6}{0.85 \cdot f_c \cdot b_w \cdot d^2}$	$\delta = \frac{24.3 \cdot 10^6}{0.85 \cdot 19 \cdot 150 \cdot 206^2} = 0.2363$
$\lambda = c\ell_F \left(1 - \frac{2a}{2d}\right)$	$\lambda = 0.02363 \left(1 - \frac{2 \cdot 42}{2 \cdot 206}\right) = 0.0219$
$\alpha = \frac{1}{1.8 + \left([1 + 5(\delta + \lambda)] \cdot \frac{1}{10 \cdot n \cdot \mu_s}\right)}$	$\alpha = \frac{1}{1.8 + \left([1 + 5(0.2363 + 0.0219)] \cdot \frac{1}{10 \cdot 2.495 \cdot 0}\right)} = 0.0697$
$x = \alpha \cdot d$	$x = 0.0697 \cdot 206 = 14.36 \text{ mm}$
$Icr = \frac{b \cdot x^3}{12} + b \cdot x \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + n_s \cdot A_s(x - a)^2 + n_B \cdot A_s(d - x)^2$	$Icr = \frac{150 \cdot 14.36^3}{12} + 150 \cdot 14.36 \cdot \left(\frac{14.36}{2}\right)^2 + 8.45 \cdot 100.53(14.36 - 42)^2 + 2.495 \cdot 226.19(206 - 14.36)^2 = 21526607.42 \text{ mm}^4$

عزم العطالة الفعال $I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g$	$I_e = \left(\frac{4.05}{24.3}\right)^3 204853627 + \left[1 - \left(\frac{4.05}{24.3}\right)^3\right] 21526607.42 = 22376054.65 \text{ mm}^4 \leq 204853627 \text{ mm}^4$
معامل تصحيح $\beta_T = 2.5 \cdot \sqrt{n \cdot \mu_s \cdot \frac{d}{h} \cdot \frac{d}{h}}$	$\beta_T = 2.5 \cdot \sqrt{2.495 \cdot 0.0073 \cdot \frac{206}{250} \cdot \frac{206}{250}} = 0.2527$
معامل تصحيح $r^\eta = \left(1 - \frac{M}{1.7f'_c \cdot b \cdot d^2}\right)^{\mu_s n + 1}$	$r^\eta = \left(1 - \frac{24.3 \cdot 10^6}{1.7 \cdot 19 \cdot 150 \cdot 206^2}\right)^{0.0073 \cdot 2.495 + 1} = 0.8797$
عزم عطالة فعال مصحح $I_{e1} = \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3 \cdot \beta_T \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^3\right] \cdot I_{cr} < I_g$	$I_{e1} = \left(\frac{4.05}{24.3}\right)^3 \cdot 0.2527 \cdot 204853627 + \left[1 - \left(\frac{4.05}{24.3}\right)^3\right] \cdot 21526607.42 = 21666756.04 \text{ mm}^4 < 204853627 \text{ mm}^4$
عزم عطالة فعال مصحح $I_{e\delta} = I_{e1} \times r^\eta = I_{e1} \cdot \left(1 - \frac{M}{1.7f'_c \cdot b \cdot d^2}\right)^{\mu_s n + 1}$	$I_{e\delta} = 21666756.04 \times 0.8797 \approx 19062131.1 \text{ mm}^4$
عامل التقوس النظري $\frac{M_{ser}}{E_c \cdot I_e} = \frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{\rho} = \frac{24.3 \cdot 10^6}{24845.72 \cdot 22376054.65} \approx 0.000043709$
عامل التقوس النظري المصحح $\frac{M_{ser}}{E_c \cdot I_{e'}} = \frac{1}{\rho}$	$\frac{1}{\rho} = \frac{24.3 \cdot 10^6}{24845.72 \cdot 19062131.1} \approx 0.0000513$
معامل يتعلق بشكل تطبيق القوى $R_m = \frac{1}{8} - \frac{\left(\text{بعد القوة عن المسند}\right)^2}{6 L^2}$	$R_m = \frac{1}{8} - \frac{(1025)^2}{6 \cdot 2450^2} \approx 0.09583$
السهم النظري $F = \frac{M_{ser}}{E_c \cdot I_e} R_m \cdot L^2$	$F = 0.000043709 \cdot 0.09583 \cdot (2450)^2 = 25.5 \text{ mm}$
السهم النظري المصحح $F = \frac{M_{ser}}{E_c \cdot I_{e'}} R_m \cdot L^2$	$F = 0.0000513 \cdot 0.09583 \cdot (2450)^2 = 29.5 \text{ mm}$

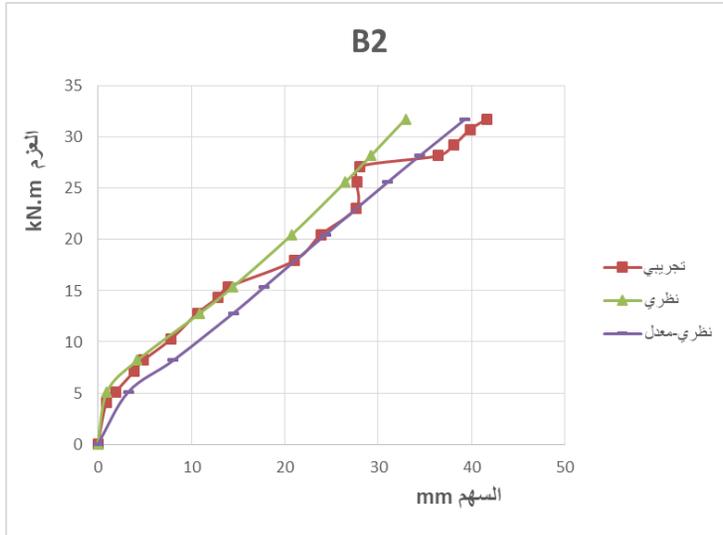
السهم اللحظي المسموح:

$$F_{allowed} \leq \frac{L}{360}$$

$$F_{allowed} \leq \frac{2450}{360} = 6.8 \text{ mm}$$

نأخذ مثلاً الجائز B2 المسلح (2B12) سفلي و (2S8) علوي ؛ نلاحظ من الجدول (7) ازدياد السهم المصحح عن السهم النظري بمقدار (17 %)، ويتضح ذلك تخطيطياً في الشكل (16) حيث يبين اقتراب العلاقات المعدلة أكثر من التجربة. أيضاً تجاوز السهم المسموح بالنسبة للجائز بسيط مسلح بقضبان BFRP.

يبين الشكل (16) مقارنة مخططات العزم-السهم للجائز B2 المسلح بقضيبين بازلت قطر 12mm في الأسفل وقضيبين فولاذ قطر 8mm في الأعلى. نلاحظ تقارب العلاقات المعدلة أكثر مع التجربة مما يجعلها أكثر قبولاً للتطبيق في حساب السهم للجوائز البيتونية المسلحة. وهذا يتوافق مع ما ورد في [9]. (يلاحظ من الشكل عدم انسيابية المخطط التجريبي وهناك قفزات في المخطط، ويرجع السبب لوجود فترة انقطاع بين عمل الحساسين المتتاليين المستخدمين في منتصف المجاز أسفل الجائز لقياس السهم (بين العزمين 23kN.m و 27kN.m) مما أدى إلى ثبات السهم مع زيادة الحمولة لفترة محددة هي فترة انتهاء عمل الحساس الأول وقبل بدء عمل الحساس الثاني).



الشكل 16 : مقارنة مخططات العزم (kN.m)-السهم (mm) وسط المجاز للجائز

B2

يتبين من الشكل (16) أنه عندما تكون الحملات صغيرةً (في المرحلة الأولى) تكون حسابات السهم النظري التقليدية قريبةً من التجربة، لكن عندما تزداد الحملات يبتعد السهم النظري التقليدي عن التجريبي ويصبح من الضروري إدخال تصحيحٍ على علاقات حساب السهم النظري. وقد تم التيمن بالدراسة المرجعية [9] لحساب معاملات التصحيح هذه كما هو موضح في المعادلات الواردة مسبقاً. والتجارب المجراة تؤكد هذه النتيجة (أيضاً بالنسبة لبقية الجوائز أظهرت نفس النتائج).

7. الاستنتاجات و التوصيات **Conclusions and Recommendations**

يمكن استخلاص النتائج التالية:

- 1- تماسك قضبان البازلت جيداً مع البيتون في العينات النموذجية. وعدد الشقوق كبير في العينات المسلحة بالبازلت مقارنةً مع العينات المسلحة بالفولاذ العادي.
- 2- ظهور الشقوق بشكلٍ مبكرٍ في العينات المسلحة بالبازلت مقارنةً مع العينات المسلحة بالفولاذ (عزم تشقق صغير حوالي (50%) من عزم التشقق للعينات المسلحة بالفولاذ (لنفس نسبة التسليح).
- 3- زادت قدرة تحمل الجوائز المسلحة بالبازلت على الانعطاف بنسبة (35-75%) عن مثيلاتها المسلحة بتسليح فولاذي (لنفس نسبة التسليح).
- 4- السهم الحاصلة في الجوائز المسلّحة بالبازلت أكبر ب 4 إلى 6 أضعاف من السهم الناتجة عن الجوائز المسلّحة بالفولاذ عند العزم الاستثنائي.
- 5- نسبة العزم المسموح (بحسب شرط السهم) إلى عزم الانهيار لجوائز البازلت لا تتعدى (28%) بينما لا تقل عن (70%) لجوائز الفولاذ.
- 6- العلاقات المقترحة لحساب السهم للجوائز المسلحة بقضبان الألياف البوليمرية FRP Bars (والتي يكون البازلت أحد أنواعها) لم تتماشى مع نتائج التجربة، وتم حساب السهم بعد تصحيح مقترح للعلاقات بإدخال معاملين β_T و α^3 وكانت النتيجة متوافقةً أكثر مع نتائج التجارب المخبرية.

8. المراجع References

- 1-) ACI 440.1R-06 (2006) – **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars**. American Concrete Institute, 44p.
- 2-) ACI 440R-07 (2007) – **Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures**. American Concrete Institute, 104p.
- 3-) ACI 440.1R-15 (2015) – **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced-Polymer (FRP) Bars**. American Concrete Institute, 88p.
- 4-) Alhoubi, Y & Mahaini, Z & Abed, F (2022) – **The Flexural Performance of BFRP-Reinforced UHPC Beams Compared to Steel and GFRP-Reinforced Beams**. MDPI, Basel, Switzerland, 12p.
- 5-) Duic, J et al. (2018) – **Performance of concrete beams reinforced with basalt fibre composite rebar**. Elsevier Ltd, Construction and Building Materials, 12p.
- 6-) Kazberuk, M K & Krassowska, J (2019) – **Analysis of Deflection and Cracking of Concrete Beams with Non-Metallic Reinforcement**. Bialystok University of Technology, Poland, 8p.
- 7-) Krassowska, J & Ramirez, C P (2022) – **Flexural Capacity of Concrete Beams with Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars and Stirrups**. Licensee MDPI, Basel, Switzerland, 16p.
- 8-) Rudzinskis, E (2017) – **Flexural behaviour of BFRP rebar reinforced concrete beams**. The Plymouth Student Scientist – Volume 10, No. 2 – 2017, University of Plymouth, 39p.
- 9-) Zhang, L & Sun, Y & Xiong, W (2014) – **Experimental study on the flexural deflections of concrete beam reinforced with Basalt FRP bars**. School of Transportation of Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, 15p.

(In Arabic)

- 10-) Alkhador, H - **Studying the Effectiveness of Ferrocement in Strengthening External Beam – Column Joint**. PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Al Baath University, 181p.
- 11-) **Syrian Code for Designing and Implementing Structures**, Addition No.18 : Fiber Reinforced Polymer Bars (2018). Syrian Engineers Syndicate, 102p.
- 12-) **Syrian Arab Code for design and implementation of structures with reinforced concrete** (2012). Syrian Engineer Candidate, 404p.

(In Russian)

- 13-) Standards and rules of construction of the USSR (1985)
– **Concrete and Reinforced Concrete Structures** – Central Institute of Standard Design of the State Construction Committee of the USSR.

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

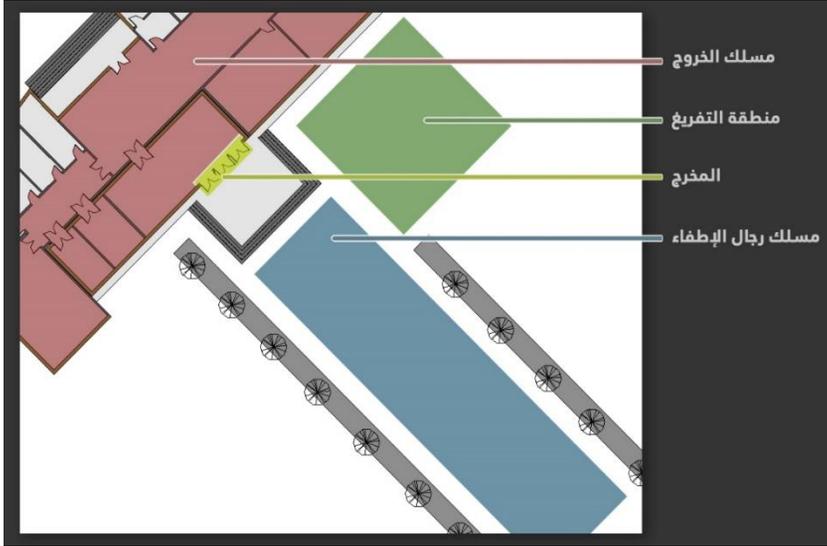
يجب اعتماد خطة للطوارئ والإخلاء. يجب أن تكون الخطة سهلة التنفيذ في حالة الطوارئ، تتكون أي خطة إخلاء من العناصر الآتية:

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 والتميزة 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 للقائنين 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

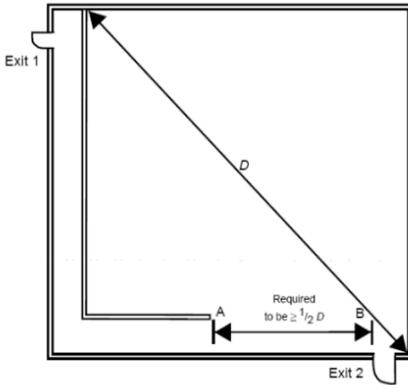
1-3-4- القائنين والمستخدمين [1]

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 وإنشاؤها 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

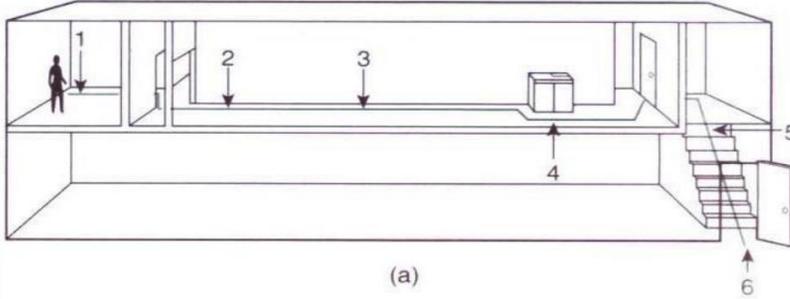
يجب أن يكون الحد الأدنى لعدد المخارج من أي شرفة أو طابق نصفي أو أي منطقة أخرى اثنتين. يجب زيادة الحد الأدنى لعدد المخارج (الجدول 1).

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 1000 - 500 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 ممتثلة.

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

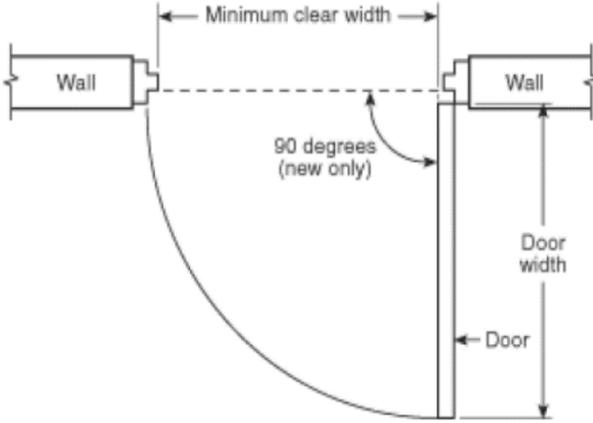
الصافي للمدخل عندما يكون

الباب في وضع الفتح الكامل.

العرض الصافي هو العرض

الخالي من العوائق لفتح الباب

(الشكل 4).



الشكل 4 - أدنى عرض صافي للباب [3]

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

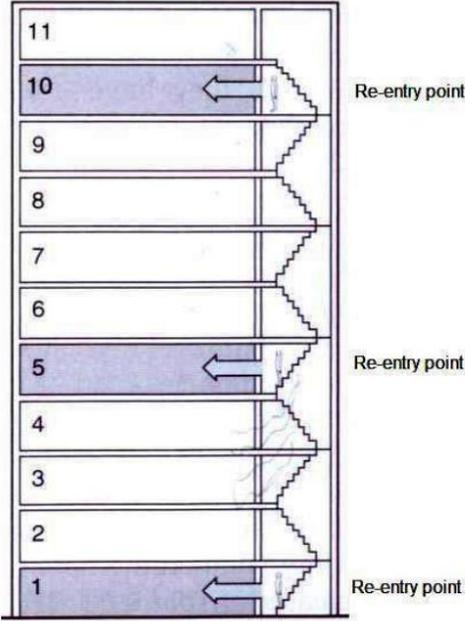
أن توفر وصولاً لما لا يقل عن مخرجين في الطابق. [3]، يجب أن يكون الحد الأدنى

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]

الأدراج



- يجب أن تكون الأدراج بعرض كافٍ بحيث يمكن لشخصين النزول جنباً 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 - قطع استمرارية الدرج عند 4

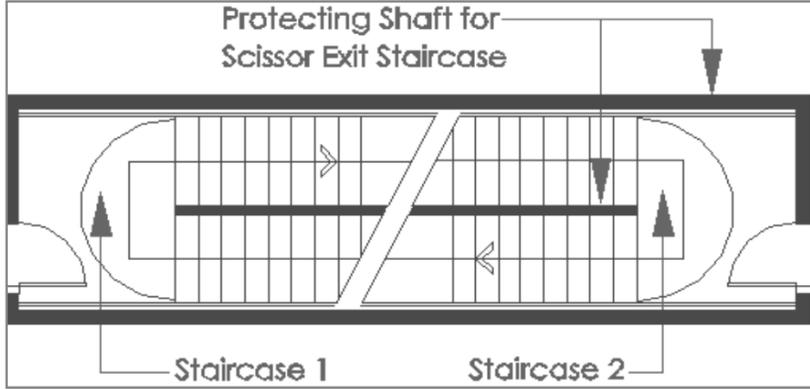
طوابق [3]

(الشكل 5)

- يجب أن تكون للدرج مائدة عند فتحة أي باب، وتستمر الموائد الوسطى بدون زيادة في العرض. [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) مخرجاً منفرداً. (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			حمل الإشغال (م 2 للشخص)	مناطق التجمع في المكتبة
الممرات (ملم للشخص)	المنحدرات (ملم للشخص)	الأبراج (ملم للشخص)	مسافة الانتقال	الممر المشترك	النهاية المسدودة القصوى	مسافة الانتقال	الممر المشترك	النهاية المسدودة القصوى		
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

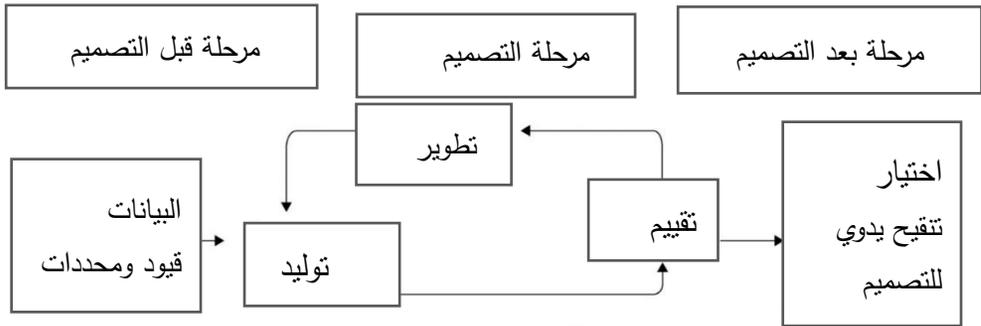
يعرّف القاموس المحاكاة على أنها "تمثيل سلوك أو خصائص نظام ما من خلال استخدام نظام آخر، وخاصة برامج الحاسوب المصمم لهذا الغرض"، يغطي هذا التعريف المعنى العام للمحاكاة، ولكنه يدرك أيضاً الهيمنة المتزايدة للحاسوب في هذا المجال. [6]

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 تلي معايير محددة مسبقاً، بناءً على تقضيات 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 نادرًا ما تحقق أفضل نتيجة بسبب تعقيد مشكلة التصميم، يصبح التصميم المعماري القائم على الأداء، بمساعدة تقنية تحسين فعالة، تلقائيًا وأكثر كفاءة. تمت ترقيته من كونه قائمًا على الأداء إلى كونه مدفوعًا 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 غالبًا ما تكون مفيدة كنقطة "وسيط" 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، والاقتراضات.
3	اختر نهج المحاكاة التحقق أن يستخدم البحث نهج محاكاة مناسب.
4	إنشاء تمثيل رقمي تضمن 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]

2-3-3 - تقنيات المحاكاة المتعلقة بحالات الطوارئ

2-3-3-1 - نمذجة معلومات المبنى BIM

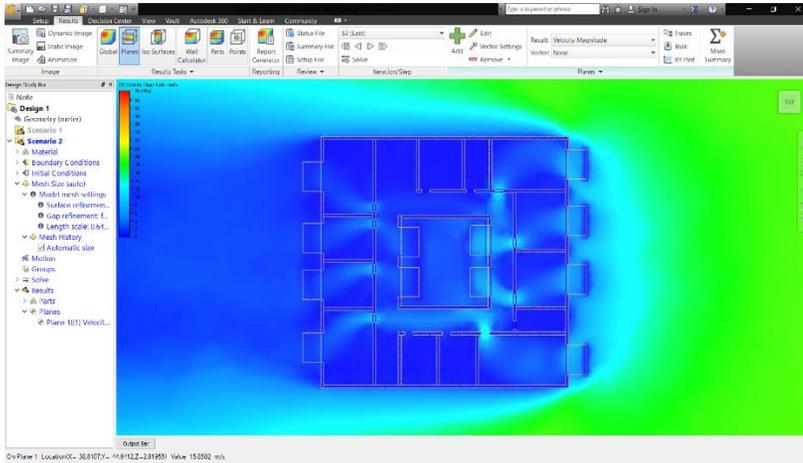
تقدم الأسس التكنولوجية لنمذجة معلومات البناء العديد من التحسينات في العمليات وضبط المعلومات ضمن ممارسات التصميم التقليدية. تشمل هذه الفوائد جميع مراحل التصميم. [13]

2-3-3-2 - محاكاة الحريق والدخان

هناك صعوبة متأصلة في التنبؤ بسلوك الحريق نظراً لأنه يتضمن ديناميكيات معقدة مدفوعة بمؤثرات متعددة، يلزم إذن 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 تنتبأ 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]

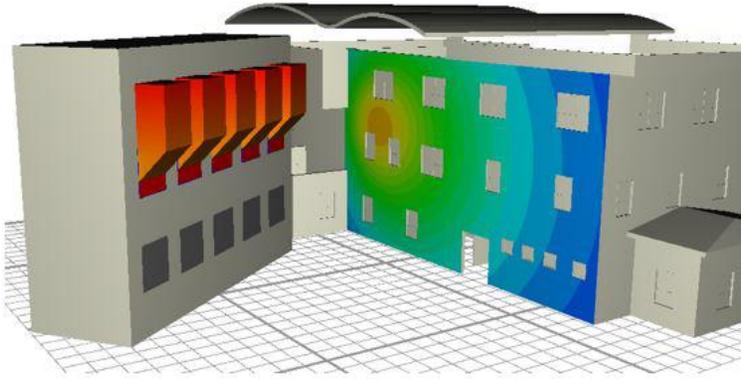


الشكل 8 - مخطط يوضح تأثير الرياح على المبنى داخلياً وخارجياً (برنامج Autodesk CFD) (المصدر: الباحث)

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

ب- النماذج الحسابية التقريبية

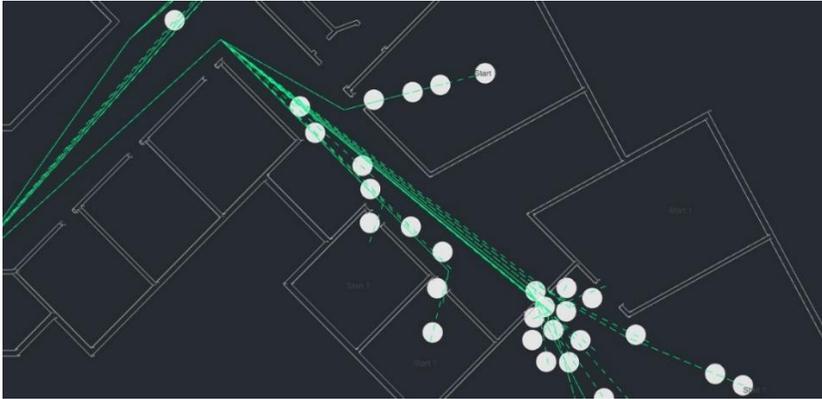
كحل لصعوبات الحساب التي تمت الإشارة إليها، تم تطوير بعض البرامج البديلة. تتمثل الأفكار الرئيسية وراءها في أنه يجب أن تكون دقيقة النتائج وسريعة الاستخدام. لا تستغرق العمليات الحسابية بأبسط دقة أكثر من بضع ثوانٍ. [16]



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 للاحتمالات السلوكية التي يمكن العثور عليها في عدد كبير من الأفراد. [17]

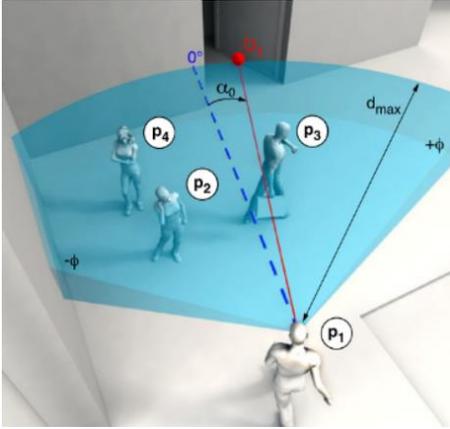


الشكل 10- حركة العملاء في عملية محاكاة الإخلاء - Pedsim/Grasshopper
(المصدر: الباحث)

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

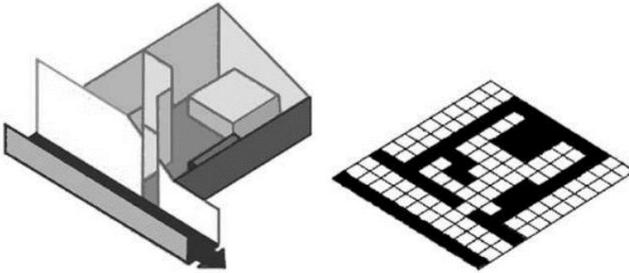
من أشهر الصيغ في توصيف سلوك الحشود (نموذج الدوافع الاجتماعية - Social force model)، يمكن تصنيف محفزات السلوك إلى مواقف بسيطة أو قياسية يمكن التنبؤ بها جيداً، ومواقف معقدة أو جديدة يمكن نمذجتها باستخدام نماذج احتمالية. [17]

▪ 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

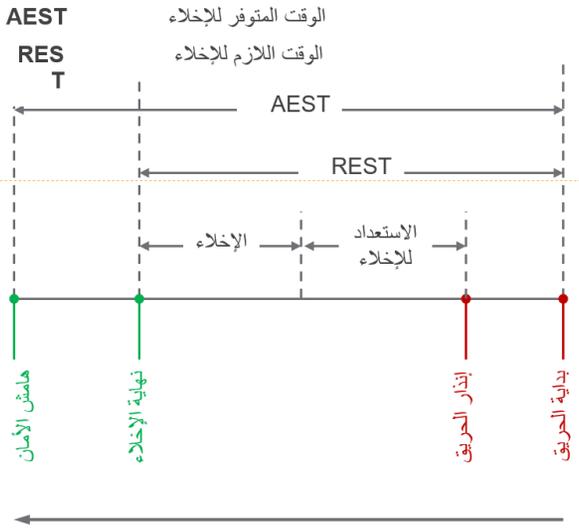
1- نمذجة معلومات البناء: وهي مرحلة تمثيل العناصر المعمارية بطريقة يمكن لأدوات المحاكاة قراءتها وإجراء المحاكاة ضمنها.

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:



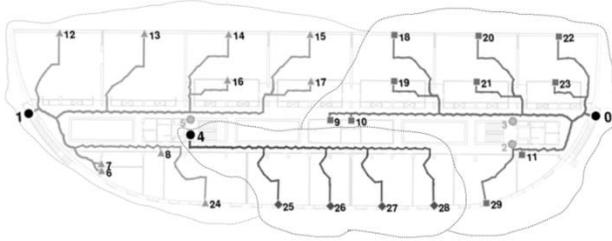
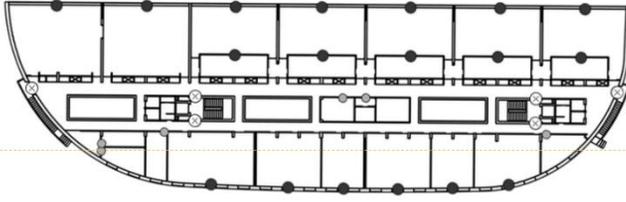
يوضح كود البناء المبدأ التوجيهي لاعتبارات التصميم المتعلقة بالإخلاء، ولكن الاعتبار الرئيسي للكود هو تلبية المتطلبات الأساسية للسلامة وليس تقليل وقت الإخلاء.

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

الشكل 13 - زمن الإخلاء [20]

طريقة التصميم القائمة على الأداء باهتمام كبير. [20]

ب- مسافة المشي:



الشكل 14 - حساب مسافات المشي [21]

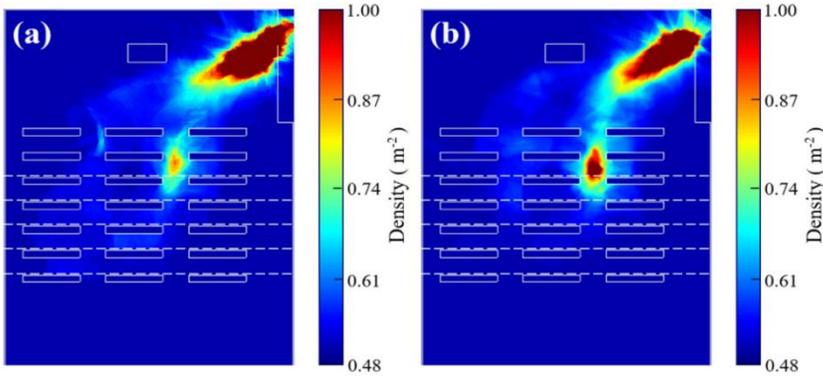
غالبًا ما يخطط المهندسون مسارات الإخلاء من خلال تخصيص مجموعات من الغرف لكل مخرج للطوارئ بشكل متكرر وفق مبدأ التجربة والخطأ. وهذا التحليل البصري قد يكون مرهقًا وغير مجدي في بعض الأحيان بسبب التغييرات في التوزيع والاستخدام. يمكن حل هذه المشكلة باستخدام تقنيات التحليل المكاني المعروفة والمنفذة كبرنامج متخصص

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 المكاتب؛ 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 مشاهد مختلفة لحالة الحريق. تم أخذ عوامل معينة بالاعتبار مثل مصدر الحريق، جميع الطرق والمخارج الممكنة، ومدة الإخلاء؛ كأساس لتقييم خطة الإخلاء من الحريق.



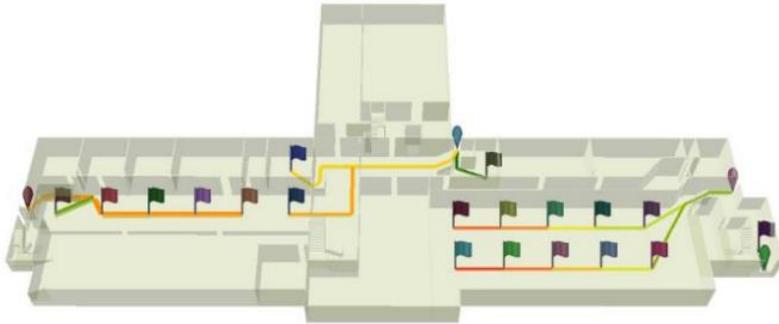
الشكل 17- مكتبة جامعة الفلبين - ديليمان (المصدر:

philippines-university.jp/university/university-of-
(the-philippines-diliman

3-1-2- إجراء محاكاة الإخلاء

▪ القبو

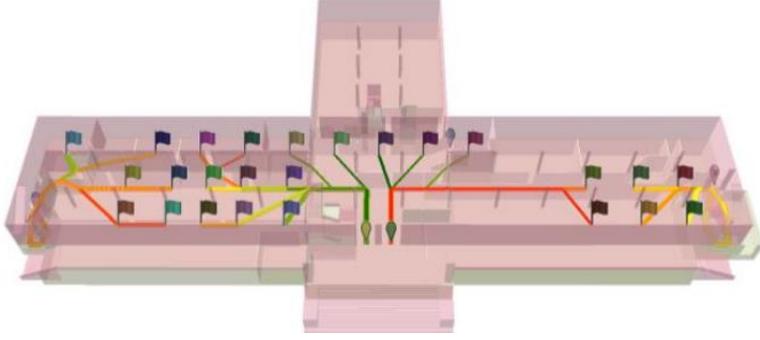
تظهر المحاكاة أن الهاربين الأقرب إلى المخرج الشرقي للقبو يتوجب عليهم استخدامه كنقطة خروج. واستناداً إلى البيانات الناتجة، سيكون للقادمين من (قاعة التشريفات) أطول مسار للوصول إلى نقطة الخروج أثناء الإخلاء. يبلغ متوسط زمن الإخلاء للقبو 15.46 ثانية مع مسافة 27.63 متراً للوصول إلى نقطة الخروج.



الشكل 18 - مخطط إخلاء القبو [25]

▪ الطابق الأرضي

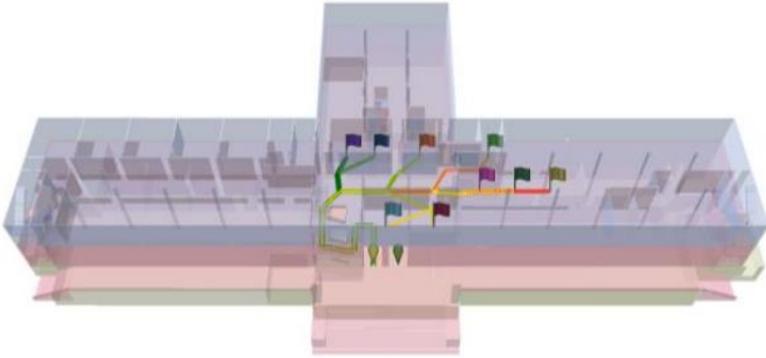
يستغرق شاغلو البهو أقصر زمن إخلاء وقدره 10.13 ثانية، بينما يستغرق شاغلو الجناح الجنوبي في قسم العلوم الاجتماعية أطول زمن إخلاء يبلغ 25.35 ثانية. يجب على الهارين من الطابق الأرضي اجتياز مسافة متوسطة 33.01 مترًا للوصول إلى نقطة الخروج. يبلغ متوسط زمن الإخلاء في هذا المستوى 18.46 ثانية.



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 خادَم 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.

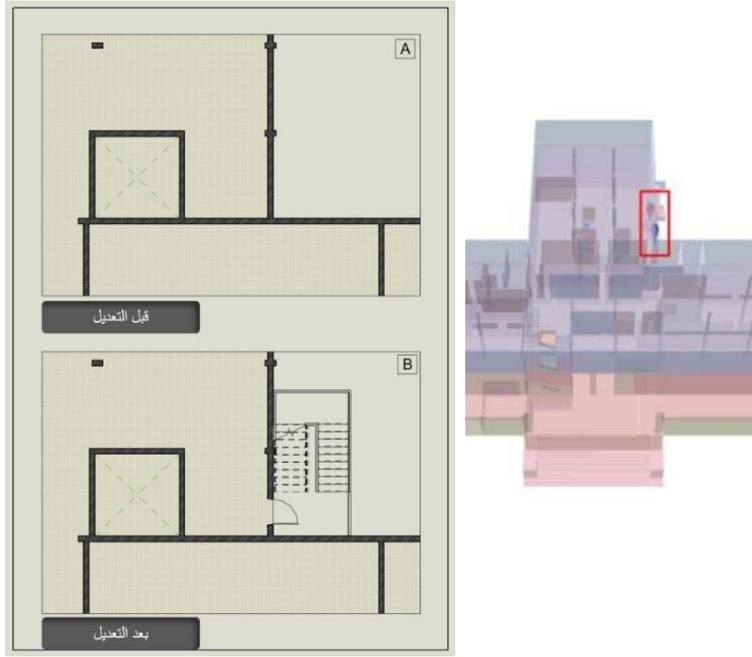


الشكل 21 - موقع الحريق [25]

3-1-4 - تقديم الحلول

نظراً لأن الجناح الشرقي للمكتبة يستخدم لأغراض التخزين، فقد كان إنشاء مخارج جديدة للحريق في هذا الجانب من المبنى ضرورياً 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 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 أيضاً 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]



الشكل 22 - نتائج التعديل [25] (بتصرف)

3-2-2 مكتبة جامعة لياونينغ للتكنولوجيا الهندسية

3-2-1- توصيف البنية

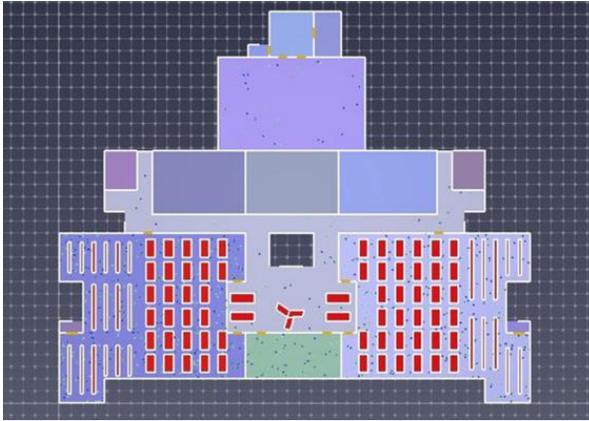
في هذه الدراسة، تم دراسة مبنى المكتبة في الحرم الجامعي الرئيسي لجامعة لياونينغ التقنية. تم تصميم المكتبة بحيث تتكون من أربعة طوابق، وجزء من المكتبة مكون من ثلاثة طوابق. يوجد في المكتبة 1800 مقعداً للقراءة، ويبلغ متوسط عدد الأشخاص الذين

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 - مبنى مكتبة جامعة لياونينغ [26]



الشكل 23 - المخطط الحالي للمكتبة [26]

3-2-2- إجراء محاكاة الإخلاء

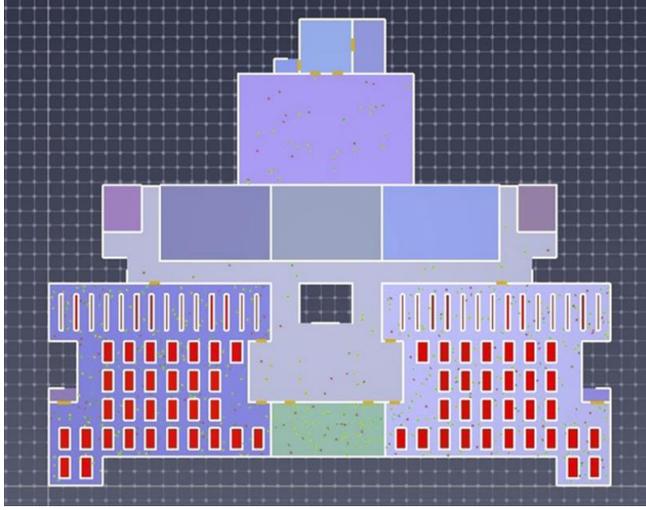
كانت مدة الإخلاء 163.8 ثانية. ويبين (الشكل 25) مخطط كثافة الأفراد في وقت الإخلاء 20.6 ثانية. كما هو واضح، فإن ممر الإخلاء ومنطقة الدرج هما منطقتا الكثافة الأكبر من الأفراد ويمكن أن تحدث اختناقات مرورية بسهولة في ممر الإخلاء وأدراج الإخلاء.



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- مكتبة جامعة انواي للعلوم والتكنولوجيا

3-3-1- توصيف البنية



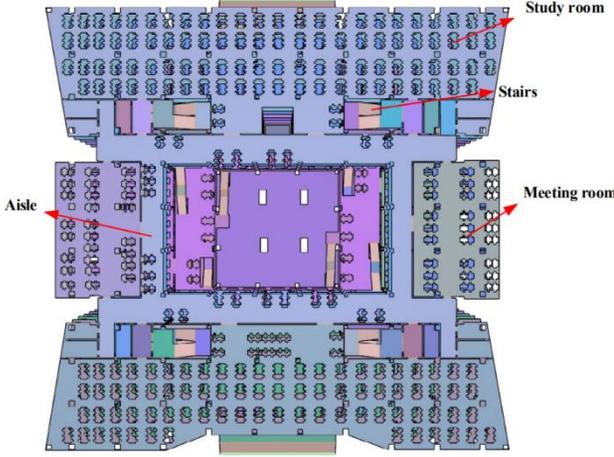
يبلغ ارتفاع الطابق
3.8 م، تضم المكتبة
1.87 مليون كتاب.
تتكون المكتبة من سبعة
طوابق (واحد تحت
الأرض وستة فوق
الأرض). الطابق تحت
الأرض عبارة عن مرآب.
في حين أن الطوابق

الشكل 27 - مبنى مكتبة جامعة انواي [27]

الستة فوق الأرض مجهزة بمكتبة وغرفة قراءة الصحف 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.



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

الشكل 28 - مخطط الوضع الراهن [27]

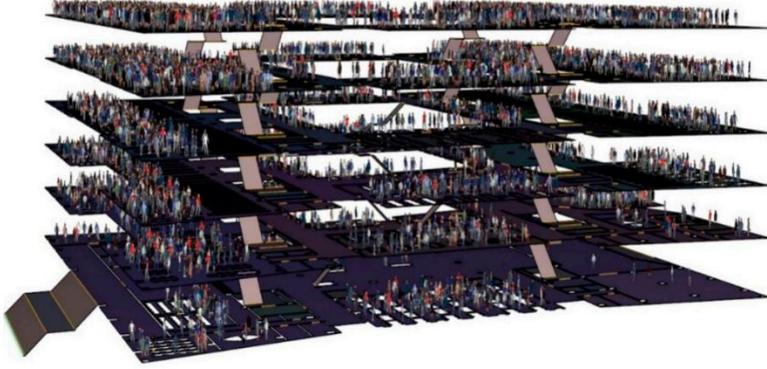
في ذلك 2715 و 2470 شخصاً من الأبواب الجنوبية والشمالية على التوالي.

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.



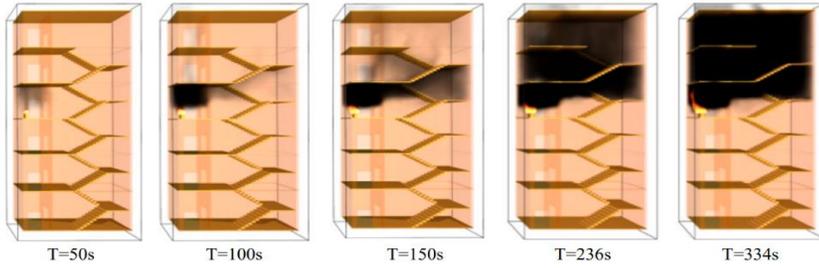
الشكل 29 - عملية الإخلاء [27]

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 1م×2م.

▪ الدخان

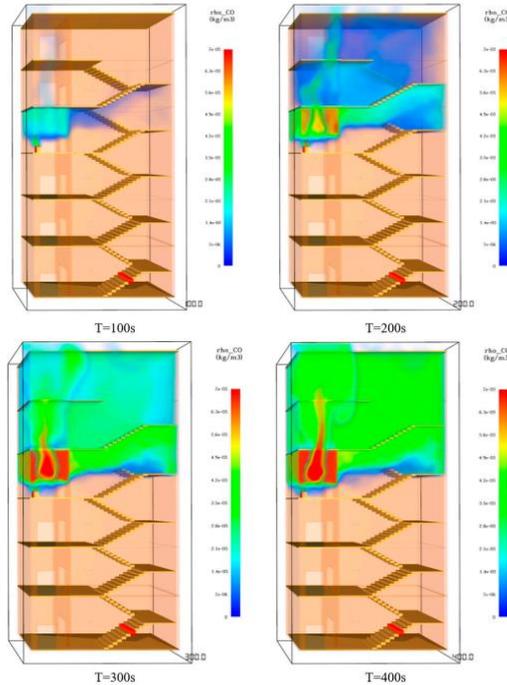
تصبح الأدراج في الطابقين الرابع والسادس مليئة بالدخان الأسود، ويستمر الدخان في الطابق الرابع في الانتشار للأعلى. في هذا الوقت، الأدراج الموجودة في طابق الحريق وما فوقها مليئة بالدخان، والتي لم تعد تلبي شروط الإخلاء الآمن. ويوضح الشكل انتشار الدخان في الدرج في أوقات مختلفة (الشكل 30).



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 جزءًا 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 جدًا، ويمكن تجاهل الضرر الذي يلحق بالأفراد.



الشكل 31 - مؤشر تركيز ثاني أكسيد الكربون [27]

▪ 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. 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]

3-3-4 - 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
--	✓	--	--	✓	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	✓	--	--	--
المكتبة				المنحدرات				
السعة	التوزيع الداخلي	الشكل	التموضع	الأبعاد	النوع			
--	--	--	--	--	--			
✓	✓	--	--	--	--			
--	--	--	--	--	--			
نسبة التحسن في مؤشرات الإخلاء								
عق الزجاجة	مسافة المشي	الكثافة	زمن الإخلاء					
--	--	--	%13.8					
--	--	--	%11.8					
--	--	--	%16.9					

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 التموضع والعدد، وللابواب من حيث التموضع، 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 الأداي.

4-2- إجراء الدراسة التطبيقية

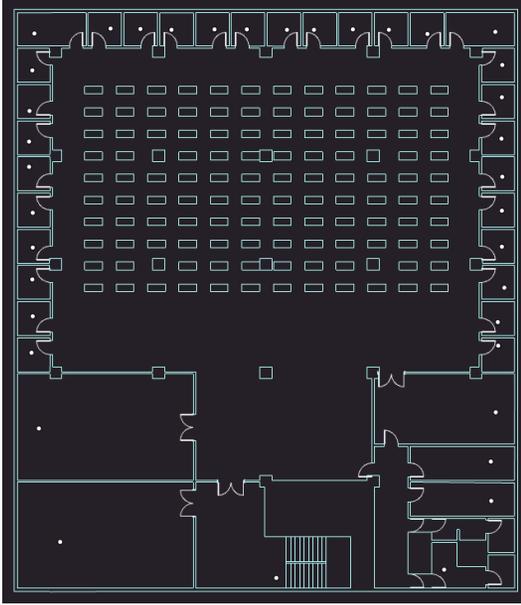
4-2-1- إنشاء النموذج المعماري

تقع مكتبة كلية العلوم في الطابق الثالث بمساحة 1300 م²، تتكون من صالة قراءة

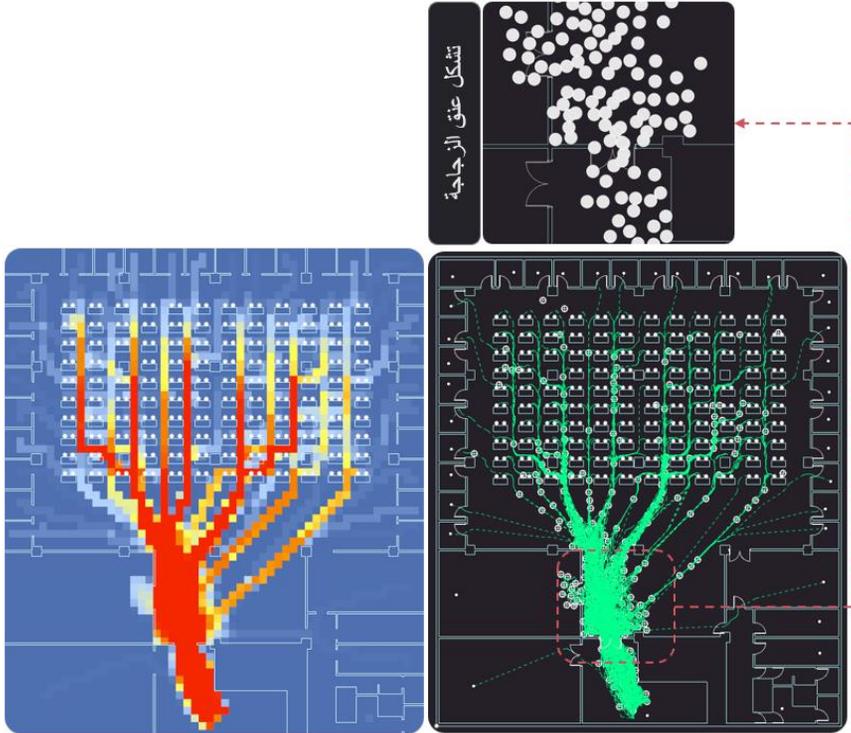
تتسع لحوالي 300 شخص، وغرف مطالعة عدد 30.

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)

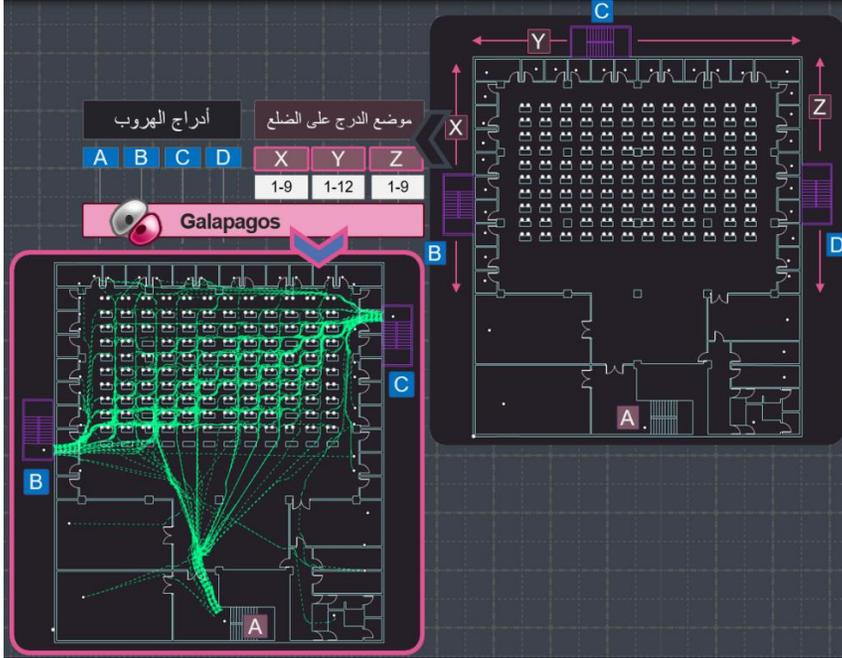


الشكل 33 - مخطط إخلاء المكتبة في الطابق الثالث ومؤشر الكثافة (المصدر: الباحث)

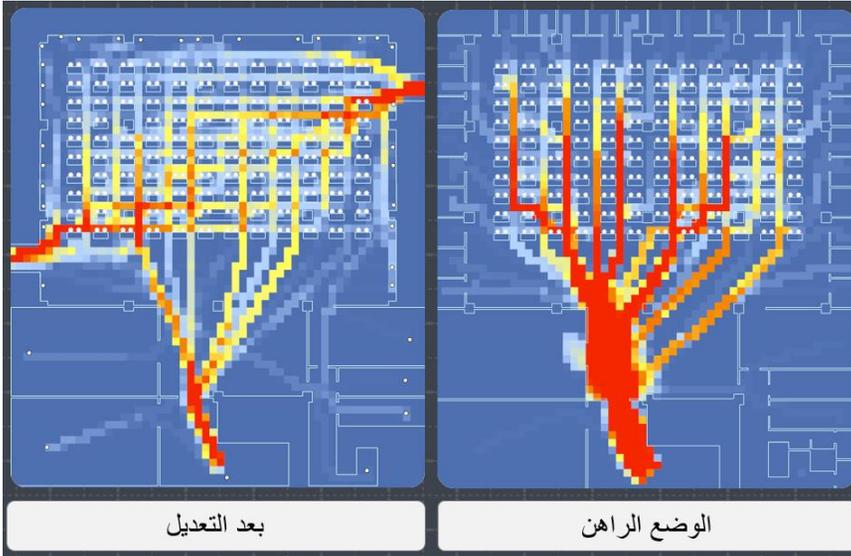
4-2-3- توليد الحلول

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).

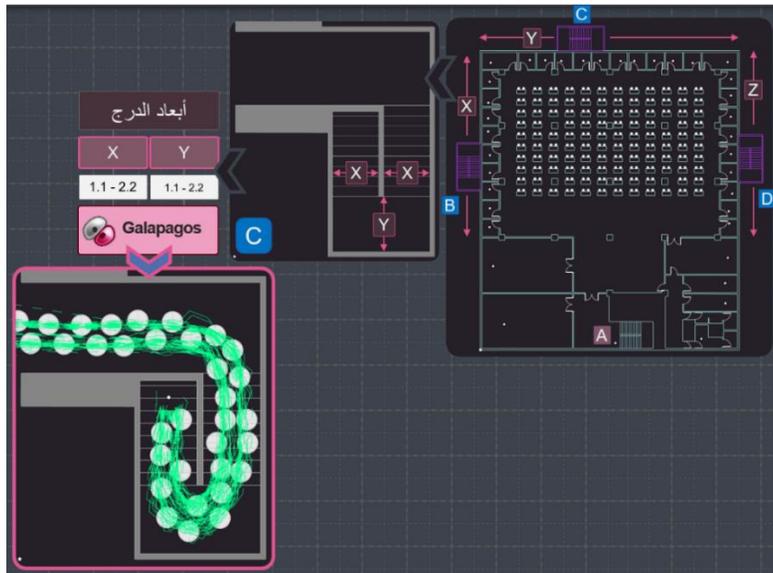
تم تقليل زمن الإخلاء من 53 ثانية إلى 36 ثانية، وتقليل مؤشر الكثافة القصوى من 25% إلى 8%، ويظهر تحرر عنق الزجاجة (الشكل 35).



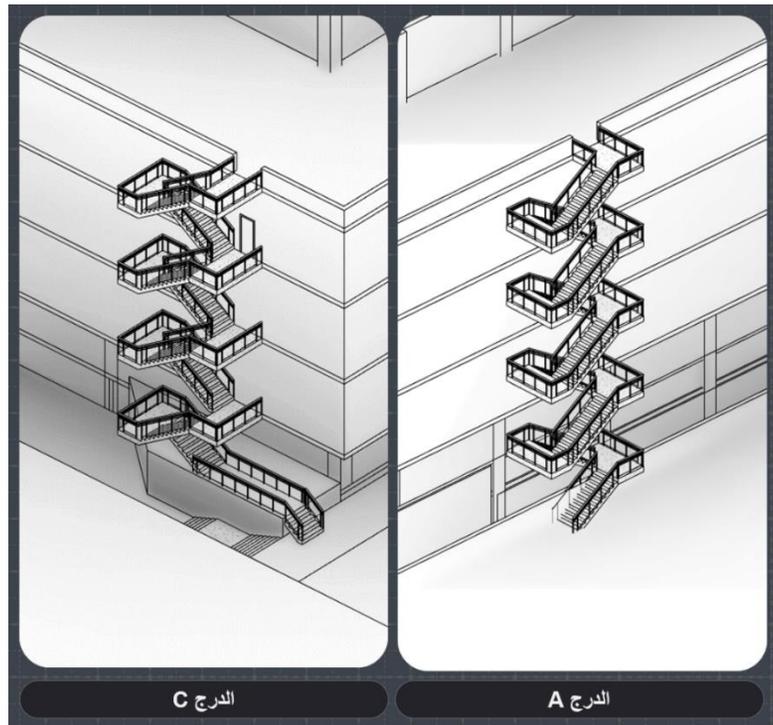
الشكل 34 - عملية التعديل الآلي للمخارج (المصدر: الباحث)



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 الزجاجة 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 CFPA-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://evacuscape.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 WĘGRZYNSKI, 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.

دراسة تحليلية وتجريبية لعقدة جائز – عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت من جميع جوانبها

طالب دراسات عليا (دكتوراه) المهندس: حيدر احمد الخضور- قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث.

بإشراف: الدكتور المهندس إحسان الطرشة أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث (مشرفاً أساسياً).

الدكتور المهندس سليمان العامودي أستاذ مساعد في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث (مشرفاً مشاركاً).

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة فعالية الفيروسمنت في تدعيم عقدة جائز - عمود بيتونية طرفية وزيادة قدرة تحمل تلك العقدة وتحسين سلوكها، وذلك عن طريق المقارنة تحليلياً وتجريبياً بين سلوك العقد البيتونية غير المصممة وفق الكودات الزلزالية، والعقد غير المصممة المدعمة بالفيروسمنت من جميع الجوانب. وقد تمت دراسة وتجريب عينتين من كل نموذج للعقد المدروسة، وبناء نموذج تحليلي صحيح وموثوق باستخدام برنامج ABAQUS لدراسة متغيرات إضافية لم تشملها الدراسة التجريبية، حيث قمنا بإضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت ودرستها تحليلياً، وكانت النتيجة أنه : زيادة في قدرة تحمل العقد غير المصممة المدعمة بالفيروسمنت من جميع الجوانب تجريبياً بمقدار 55.2% بالمقارنة مع العقد البيتونية غير المدعمة، إضافة إلى ذلك تحسن في سلوك العقد المدعمة بالفيروسمنت فقد انتقلت الشقوق من العقدة إلى الجائز وحدث الانهيار في الجائز، وكذلك زيادة في قدرة تحمل العقد المدعمة بطبقتين من الفيروسمنت بمقدار 26.5% بالمقارنة مع العقد المدعمة بطبقة واحدة من الفيروسمنت.

الكلمات المفتاحية : إطار، جائز ، عمود ، عقدة ، بيتون ، فيروسمنت ، تقوية.

Analytical and Experimental study of external beam – column joint strengthened with ferrocement from all sides

Abstract

This paper aims to study the effectiveness of ferrocement in strengthening external beam- column joint for increasing the capacity of that joint and improving its behavior, by comparing analytically and experimentally between the behavior of concrete joint that are not designed according to seismic codes, and the undesigned joint supported by ferrocement from all sides, two samples from each model of the studied joint were studied and tested, and a correct and reliable analytical model was built using the ABAQUS program to study additional variables that were not included in the experimental stud

The result was: an increase in the bearing capacity of the non-designed supported joints by ferrocement joints by 55.2% compared to the non-seismically designed concrete joints. In addition, there is an improvement in the behavior of the seismically designed and supported joints by ferrocement. The cracks have moved from the joint to the beam and collapse occurred in the beam, As well as an increase in the bearing capacity of joint supported by two layers of ferrocement by 26.5% compared to joint supported by one layer of ferrocement.

Key words: frame, beam, column, joint, concrete, ferrocement, strengthening.

دراسة تحليلية وتجريبية لعقدة جائر - عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت من جميع جوانبها

1- مقدمة:

تفتقر غالبية المباني الخرسانية المسلحة التقليدية، الموجودة في جميع أنحاء الشرق الأوسط إلى التطويق الكافي في منطقة العقد البيتونية، أو بعبارة أخرى تكون مقاومة القص في العقد منخفضة، والسبب في ذلك أنه تم إنشاؤها قبل إدخال كودات الزلازل للأبنية، لذلك نجد أن العقد في المباني النمطية التي شيدت قبل إصدار الكودات الزلزالية تعاني من نقص فولاذ التسليح الكافي لمقاومة الاستجابة الديناميكية، ففي هذه العقد لا يمتد التسليح المستمر مثل أساور العمود في منطقة العقد. وقد أظهر نمط انهيار العقد في المباني التي تعرضت لزلازل كبيرة أن تسليح القص غير الكافي أو عدم وجود ارتباط مشترك في العقد البيتونية وخاصة الخارجية كانت الأسباب الرئيسية لانهيار تلك العقد.

في السنوات الأخيرة كان هناك اهتماماً كبيراً بالأداء الزلزالي للعقد البيتونية، وقد أجريت العديد من الأبحاث للتحقيق من السلوك التجريبي والنظري ونمذجة العقد الركنية والخارجية في ظروف تحميل مختلفة، وذلك لأنه عند حدوث الزلازل تكون العقد البيتونية عادة معرضة للتحميل الدوري العكسي الشديد وتصبح أضعف الروابط في النظام الهيكلي، ويؤثر ذلك على الاستجابة الكلية للمبنى المكون من إطارات مقاومة للعزم. لذلك فإن المهندسين والمستثمرين والمالكين بدأوا يفكرون في طريقة تدعيم هذه الهياكل القائمة لتحمل أحمال الزلازل بشكل آمن لتوفير السلامة لشاغلي المبنى وحماية استثماراتهم. فقد كان هناك حاجة لتقنية تدعيم صديقة للبيئة واقتصادية لزيادة مقاومة القص في الهياكل القائمة لتكون قادرة على تحمل الزلازل المستقبلية المحتملة [9].

2- أهمية البحث:

تشكل عقد الإطارات البيتونية المسلحة مناطق حرجة لما تتعرض له من قوى وجهود نتيجة تعرضها لحمولات زلزالية، وبالتالي يتوجب الاهتمام بدراستها وتصميمها وإعداد التفصيلات التنفيذية لضمان جودة تنفيذها، ونظراً لاحتمال انهيار الأبنية نتيجة انهيار العقد بتأثير قوى القص واجهادات القص القطرية، وخاصة في العقد المنفذة بدون تسليح عرضي (علماً أن جميع كودات البناء توصي بضرورة ذلك)، فالتصميم الصحيح للعقدة يحقق سلوكاً مرناً لهذه العقد عند وصول العناصر المتصلة بها إلى قدرة تحملها الأعظمية، ويضمن تشكل المفاصل اللدنة خارج منطقة العقد. طورت العديد من تقنيات تقوية وتدعيم العقد البيتونية خلال العقود الماضية، وكان هدفها الأساسي الوصول لأفضل تقنية لتقوية العقد البيتونية والتي تحقق سهولة التنفيذ وأداءً فعالاً، وكلفة اقتصادية مجدية وحلاً مريحاً، بالإضافة لضمان العمل المشترك وعدم انفصال التدعيم عن البيتون في مراحل مبكرة من التحميل. ومن هنا تم التفكير باستخدام الفيروسمنت لتدعيم العقد البيتونية نظراً لسهولة تنفيذه وكلفته الاقتصادية المنخفضة مقارنة بالطرق السابقة المستخدمة في التدعيم كالتدعيم بالألياف الكربونية وغيرها من الطرق الأخرى [9].

3- الهدف من البحث:

يهدف البحث إلى التحقق من فعالية التدعيم بالفيروسمنت على الأوجه الخارجية لعقدة جانز - عمود بيتونية طرفية في زيادة قدرة تحمل تلك العقدة، وتحسين سلوكها، وفي نقل المفصل اللدن بعيداً عن وجه العمود، من خلال دراسة تجريبية وتحليلية لسلوك العقد البيتونية المدعمة بالفيروسمنت من جميع الجوانب تحت تأثير حمولة استاتيكية مطبقة عند نهاية الجائز.

4- الدراسات المرجعية: سوف نستعرض بعض الدراسات المرجعية حول تدعيم العقد بالفيروسمنت.

1- إستخدام الفيروسمنت في إصلاح وتقوية العقد الركنية المعرضة لانتقالات التحميل الدوري [6]:

"Using Ferrocement in Repair and Strengthening of Corner BeamColumn Joints subjected to Displacement Cyclic Loading"

فقد قام الباحثون Ashraf El-Abd, Ibrahim Shabaan, Osama A. Seoud عام 2005 بدراسة لاستخدام الفيروسمنت في إصلاح وتقوية العقد الركنية المعرضة لانتقالات التحميل الدوري.

وقد توصلوا إلى ما يلي : كفاءة الفيروسمنت في تقوية وإصلاح العقد الخرسانية المسلحة فقد تبين أن التدعيم باستخدام الفيروسمنت سيزيد بشكل كبير من قدرة التحمل، وكذلك قدرة امتصاص الطاقة في العقدة. ستعوض طبقات الفيروسمنت عن تسليح القص الغير موجود في منطقة العقدة وبالتالي فإن استخدام طبقات الفيروسمنت في تدعيم العقد التي لا تحتوي تسليح قص سيعزز سلوك هذه العقد ويقلل من تعرضها للانهيارد عند تعرضها للتحميل الزلزالي.

2- السلوك الإنشائي للعقد البيتونية المدعمة بصفائح الفيروسمنت [7]:

"STRUCTURAL BEHAVIOUR OF BEAM COLUMN JOINT RETROFITTED WITH FERROCEMENT LAMINATES"

فقد قام الباحثان B. Venkatesana, R. Ilangovan عام 2016 بدراسة السلوك الإنشائي لعقدة عمود جائر المدعمة بصفائح الفيروسمنت.

- الاستنتاجات التي توصلوا لها على أساس العمل التجريبي المكثف والتحليل العددي باستخدام برنامج Ansys. 1- يحسن التدعيم بالفيروسمنت من قدرة العقدة غير المسلحة على القص في منطقة العقدة على تبديد الطاقة.
- 2- يمكن استخدام الفيروسمنت بكفاءة من أجل التدعيم الزلزالي لعقدة عمود جانز المسلحة.
- 3- قدرة التحمل في العينة المدعمة تزيد بنسبة 66% عن تلك الموجودة في العينة المرجعية غير المدعمة.
- 4- تم إجراء فحص تجريبي وأظهرت نتائج الاختبار أن السلوك الهيكلي لنموذج عقدة الجانز العمود الخارجية كان مشابهاً للسلوك التحليلي المتوقع.
- 3- السلوك التجريبي للعقد البيتونية الخارجية المدعمة بطبقات الفيروسمنت تحت تأثير الحمولات الدورية [8]:

"Experimental behavior of full-scale exterior beam-column space joints retrofitted by ferrocement layers under cyclic loading"

فقد قام الباحثان Ibrahim G. Shaabana, Osama A. Seoudb عام 2018 بدراسة السلوك التجريبي لعقد العمود الجانز الخارجية المدعمة بطبقات الفيروسمنت تحت التحميل الدوري.

الاستنتاجات التي توصلوا لها على أساس العمل التجريبي:

- 1- العينات ذات تسليح القص السليم للعقد وفقاً ل [ACI 318] قدرة كافية على التحمل وتأخر انتشار الشقوق وتغيير وضع نمط تشقق القص المرن بالقرب من وجه العقدة مقارنةً مع العينات المسلحة تقليدياً.

2- أظهرت العقد التي تم تدعيمها بطبقات الفيروسمنت قدرة تحمل نهائية أعلى وانتقالاً نهائياً أعلى وقاومت عدداً أكبر من الحمولات الدورية حتى الفشل، وهذا يدل على ليونة أفضل ولم يكن هناك ضرراً كبيراً كالذي تم ملاحظته بالنسبة للعينات المسلحة تقليدياً قبل التدعيم.

5- خواص المواد المستخدمة في البحث:

استخدمت الحصىات الخشنة المكسرة ذات المنشأ الدولوميتي ومصدرها مقالع حسياء قرب مدينة حمص، والمقاس الاعتباري الأعظمي لها يساوي 20mm حيث استخدم أربعة أصناف من المواد الحصىية الداخلة في تركيب الخلطة البيتونية، واستخدم الرمل القرواني الأبيض النظيف وهو يمر من المنخل 4.75، وأجريت لهذا الرمل تجربة المكافئ الرملي لتحديد صلاحية هذا الرمل للاستخدام في منشآت البيتون المسلح.

الاسمنت المستخدم : الاسمنت البورتلاندي العادي من الصنف 32.5 بعيار 400Kg/m^3 .

تصميم الخلطة البيتونية : أجريت تجربة التحليل الحبي للحصىات المكونة للخلطة البيتونية المستخدمة في العقد بالطريقة الوزنية، ويبين الجدول (1) التركيب الوزني ونسب المواد المستخدمة في الخلطة البيتونية.

الجدول (1) التركيب الوزني ونسب المواد المستخدمة في الخلطة البيتونية.

المادة	إسمنت	رمل	رمل مكسر	بحص	زرادة	ماء
كمية المواد Kg/m^3	400	250	500	585	535	220
نسبة المواد مقارنة مع الاسمنت	1	0.625	1.25	1.46	1.337	0.55

دراسة تحليلية وتجريبية لعقدة جانز - عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت من جميع جوانبها

وبيين الجدول (2) نتائج اختبارات الضغط للعينات الأسطوانية ذات القطر 150 mm والارتفاع 300 mm بعمر 28 يوم.

الجدول (2) نتائج اختبارات الضغط للعينات الأسطوانية بعمر 28 يوم

رقم العينة	الحمولة (kN)	المقاومة (MPa)
1	398	22.53
2	386	21.85
3	393	22.25

وبالتالي تكون المقاومة الأسطوانية الوسطية للبيتون على الضغط بعمر 28 يوم 22.21 MPa .

المونة الاسمنتية المستخدمة في الفيروسمنت:

تتكون من الإسمنت البورتلادي العادي ومن ذات الرمل المستخدم في الخلطة، ونسبة الرمل للإسمنت في المونة (2:1) وكانت نسبة الماء إلى الإسمنت 0.5.

الشبك المعدني : استخدمت طبقة واحدة من الشبك الفولاذي من النوع الملحوم، قطر سلكه 2.5 mm وبفتحة مربعة أبعادها (25*25 mm) .

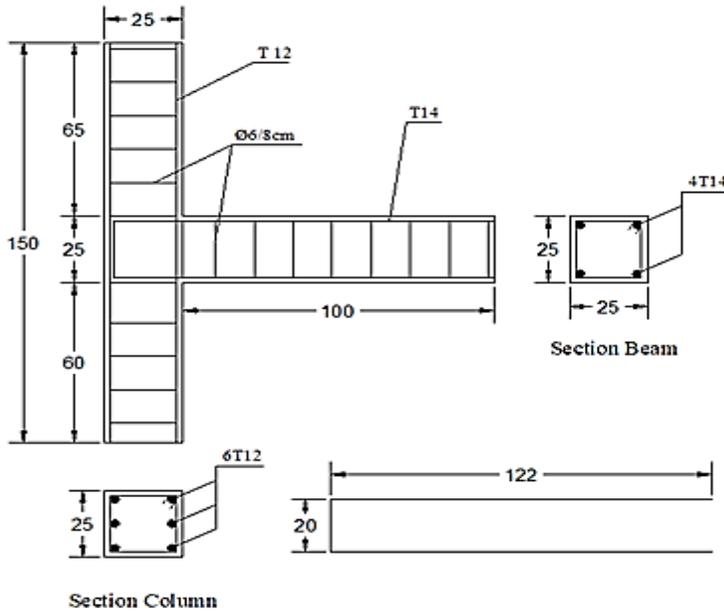
6- الدراسة التجريبية:

يشمل البحث التجريبي تحضير أربعة نماذج لعقدة جانز عمود بيتونية طرفية حيث تم صب عينتين لكل نموذج مدروس وترك النموذج الأول بدون تسليح قص في منطقة العقدة (النموذج R1) كما هو موضح بالشكل (1)، ونموذج مطابق لنموذج المقارنة

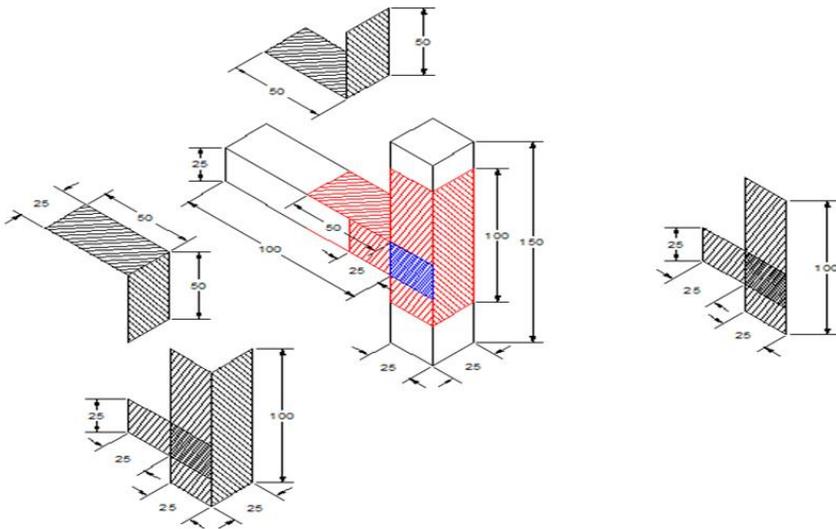
(R1) قمنا بتقويته بالفيروسمنت من جميع الجوانب (النموذج F1) كما هو موضح بالشكل (2) (علماً أن جميع الأبعاد بوحدة cm)، وتم اختبار النماذج الأربعة الموضحة في الجدول (3) ودراسة مساهمة التدعيم بالفيروسمنت في زيادة قدرة تحمل العقدة البيتونية وتحسين سلوكها ونقل المفصل اللدن بعيداً عن وجه العمود. ويبين الشكل (3) الجهاز المخبري المستخدم وتوضع العقدة ضمن الجهاز. ويبين الشكل (4) طريقة إستناد العقدة والقوة المطبقة عند طرف الجائز.

الجدول (3) وصف النماذج المدروسة في البحث

الوصف	النموذج المدروس
العينة الأولى من النموذج الأول (بدون تسليح قص في منطقة العقدة)	R11
العينة الثانية من النموذج الأول (بدون تسليح قص في منطقة العقدة)	R12
العينة الأولى من النموذج المدعم بالفيروسمنت	F11
العينة الثانية من النموذج المدعم بالفيروسمنت	F12



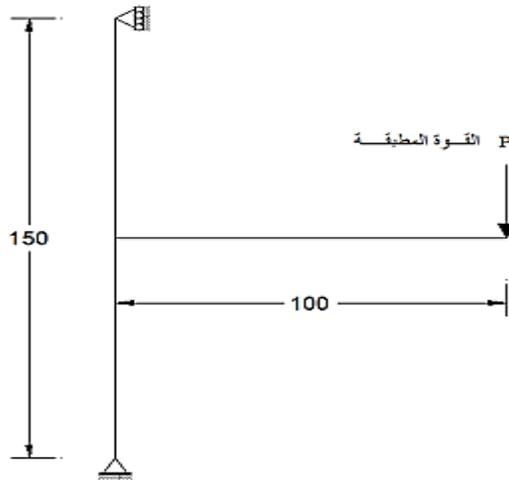
الشكل (1) نموذج المقارنة الأول R1



الشكل (2) أسلوب التدعيم المعتمد F1



الشكل (3) الجهاز المخبري المستخدم في تجريب العقد وتوضع العقدة ضمن الجهاز



الشكل (4) طريقة إستناد العقدة والقوة المطبقة عند طرف الجائز

6-1- نتائج الدراسة التجريبية ومناقشتها:

قمنا بتسجيل الانتقال الشاقولي في نهاية الجانز ورسم مخططات العلاقة بين الحمولة والانتقال لجميع النماذج التجريبية، بالإضافة إلى ملاحظة انتشار الشقوق والحمولات الموافقة لها والحمولة الموافقة لحدوث الشق الأول لجميع النماذج.

6-1-1 انتشار الشقوق : يوضح الشكلين التاليين الشكل (5) والشكل (6) انتشار الشقوق في النموذجين غير المدعمن R11 و R12 على التوالي.



الشكل (5) انتشار الشقوق للنموذج R11



الشكل (6) انتشار الشقوق للنموذج R12

نلاحظ من الشكلين السابقين أنه في العينات غير المدعمة تنتشر الشقوق ضمن العقدة، ويحصل تخريب وانهيار في منطقة العقدة وبالتالي إنخفاض في قدرة تحمل هذه العقدة، ويعتبر هذا النموذج من الانهيار خطير وغير آمن في المنشآت البيتونية لأن انهيار العقد قد يؤدي إلى انهيار المبنى ككل.

يوضح الشكلين التاليين الشكل (7) والشكل (8) انتشار الشقوق في النموذجين المدعمن من جميع الجوانب F11 و F12 على التوالي.

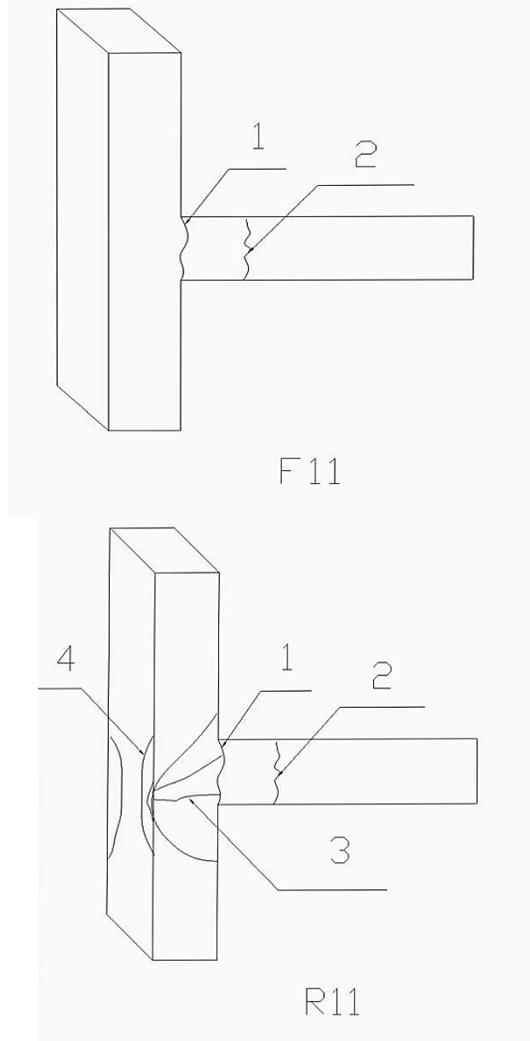


الشكل (7) انتشار الشقوق للنموذج F11



الشكل (8) انتشار الشقوق للنموذج F12

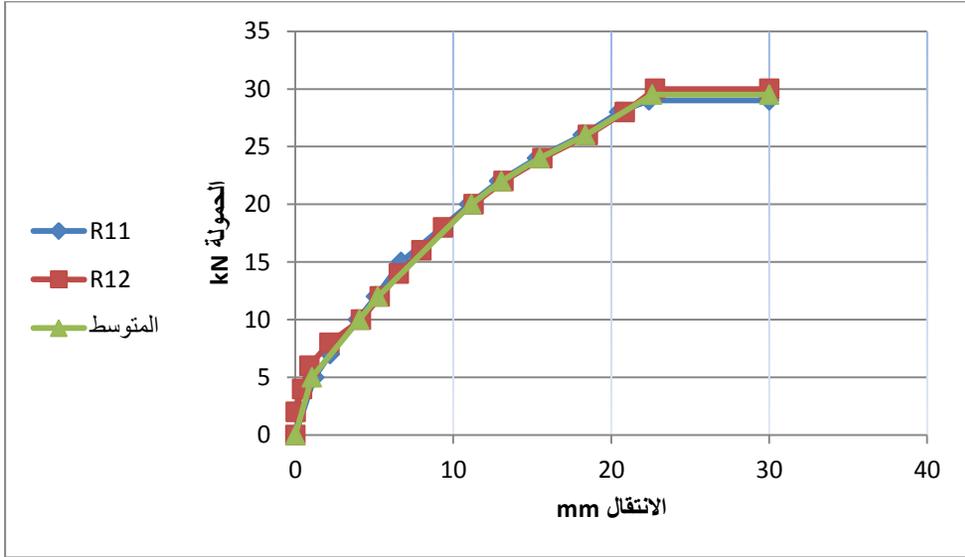
نلاحظ من الشكلين السابقين أنه في العينات المدعمة بالفيروسمنت من جميع الجوانب بقاء منطقة العقدة سليمة بدون حصول أي تخريب أو شقوق وإنقال الشقوق من العقدة إلى الجائز وتشكل المفصل اللدن في الجائز. ويبين الشكل (9) تطور وانتشار الشقوق في النموذج F11 وتطور وانتشار الشقوق في النموذج R11.



الشكل (9) تطور وانتشار الشقوق في النموذجين F11 و R11

نلاحظ من الشكل (9) بقاء منطقة العقدة سليمة في العينات المدعمة بدون حصول أي تخريب أو شقوق وهذا يؤكد فعالية التدعيم في حماية العقدة وتأمين نموذج انهيار أكثر أماناً في المنشآت البيتونية.

6-1-2 مخططات العلاقة بين الحمولة والانتقال: قمنا برسم مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للنماذج التجريبية والمتوسط لكل عينتين من نفس النموذج. ويبين الشكل التالي الشكل (10) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينتين R11 - R12 والمتوسط بينهما.

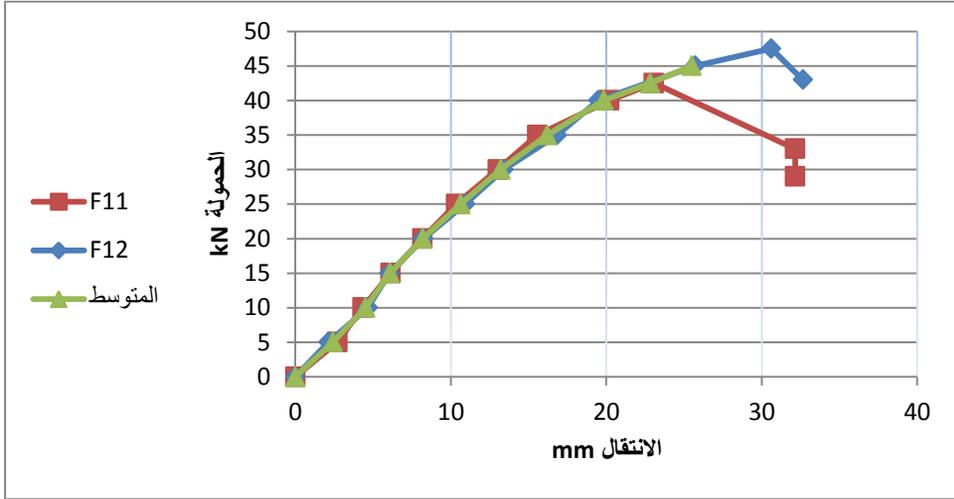


الشكل (10) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينتين R11 - R12 والمتوسط بينهما

نلاحظ من المخطط السابق الشكل (10) انهيار العقدة الأولى غير المدعمة R11 عند حمولة أعظمية مقدارها 28 kN بينما انهارت العقدة الثانية غير المدعمة R12 عند

حمولة أعظمية مقدارها 30 kN أما الانتقال الشاقولي في طرف الجائز للعقدتين 30 mm.

يبين الشكل التالي الشكل (11) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينتين F11-F12 والمتوسط بينهما.



الشكل (11) مخطط العلاقة بين الحمولة والانتقال للعينتين F11-F12 والمتوسط بينهما

نلاحظ من المخطط السابق الشكل (11) التحسن الواضح في قدرة تحمل العينات المدعمة من جميع الجوانب فقد انهارت العقدة الأولى F11 عند حمولة أعظمية مقدارها 30 kN بينما انهارت العقدة الثانية F12 عند حمولة أعظمية مقدارها 42.5 kN أما الانتقال الشاقولي في طرف الجائز الوسطي للعقدتين 25.5 mm.

دراسة تحليلية وتجريبية لعقدة جانز - عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت من جميع جوانبها

ويظهر واضحاً التحسن في قدرة تحمل العينات المدعمة بالفيروسمنت مقارنةً بالعينات غير المدعمة، وقمنا بنتيجة البحث بقياس الحمولة الأعظمية والانتقال الموافق للنماذج التجريبية المدروسة كما هو موضح بالجدول (4).

الجدول (4) الحمولات الأعظمية والانتقال الموافق للنماذج المدروسة

الانتقال الموافق mm	الحمولة الأعظمية kN	النموذج التجريبي
30.00	28.0	R11
30.00	30.0	R12
30.00	29.0	الوسطي بين R11 و R12
23.00	42.50	F11
28.00	47.50	F12
25.50	45.00	الوسطي بين F11 و F12

نلاحظ من الجدول السابق زيادة في قدرة تحمل العقد المدعمة بالفيروسمنت من جميع الجوانب بمقدار 55.2% بالمقارنة مع العقد البيتونية غير المدعمة.

7- الدراسة التحليلية:

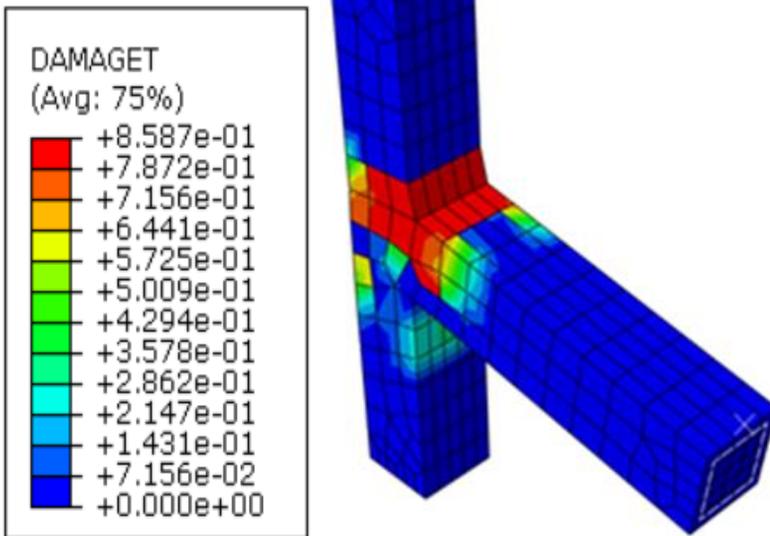
1-7 النمذجة:

تمت نمذجة العينات المختبرة في برنامج ABAQUS حيث تم تقسيم العنصر إلى شبكة من العناصر المحدودة، بمعنى آخر يقسم النموذج إلى عدد كبير من العناصر الصغيرة، وبعد التحليل تحسب الاجهادات والتشوهات في النقاط التكاملية لهذه العناصر.

1-1-7 نمذجة العقدة غير المدعمة (R1):

تمت المقارنة بين النتائج العددية والتجريبية، وذلك من ناحية منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال)، وشكل التشققات.

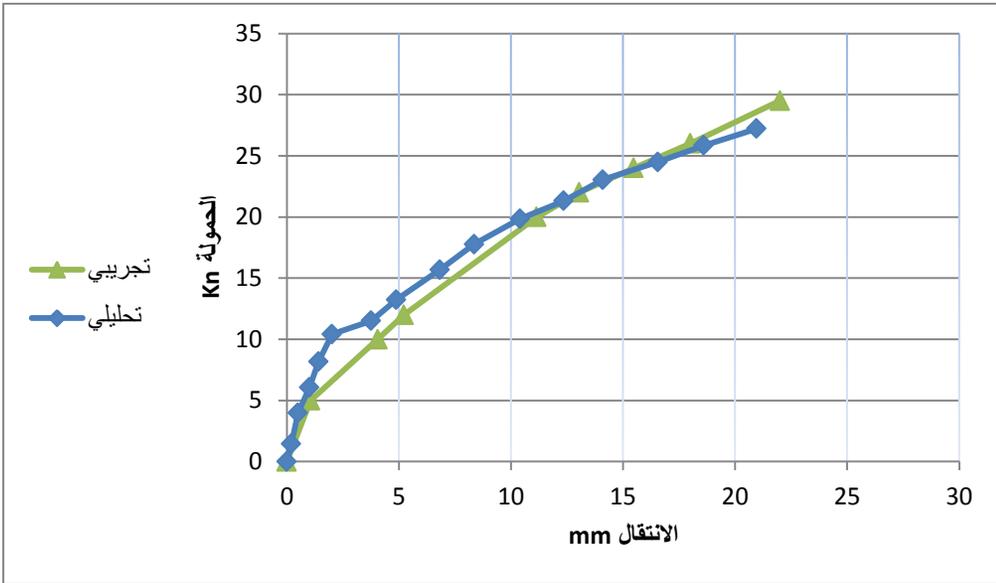
يبين الشكل (12) الضرر (الشقوق في منطقة الشد) في العقدة غير المدعمة (R1).



الشكل (12) الضرر العقدة غير المدعمة (R1)

نلاحظ من الشكل السابق توافق في سلوك العقدة تحليلياً وتجريبياً من حيث شكل التشققات الحاصلة.

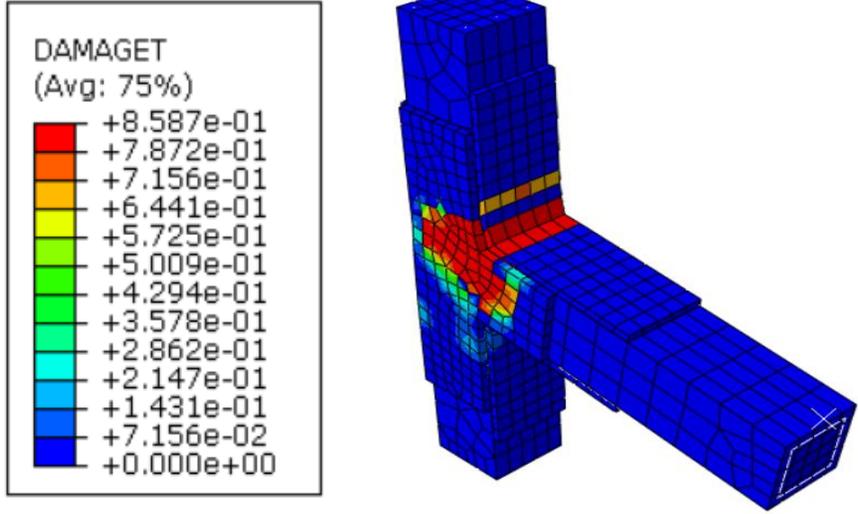
تمت أيضاً مقارنة منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التي تم الحصول عليه تحليلياً، مع منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التي تم الحصول عليه تجريبياً للنموذج غير المدعم (R1)، ويبين الشكل (13) منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التحليلي والتجريبي للنموذج (R1).



الشكل (13) منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التحليلي والتجريبي للنموذج (R1)

2-1-7 نمذجة العقدة المدعمة من جميع الجوانب (F1):

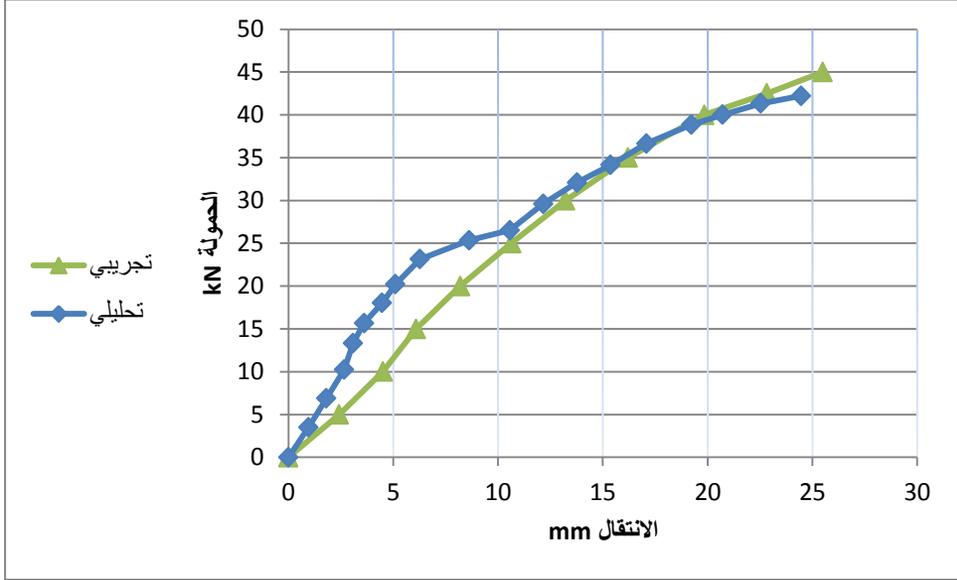
يبين الشكل (14) الضرر (التشقق في منطقة الشد) في نموذج العقدة المدعمة من جميع الجوانب (F1) الذي تم بناؤه بطريقة العناصر المحدودة (FEM) في البرنامج.



الشكل (14) الضرر في نموذج العقدة المدعمة من جميع الجوانب (F1)

نلاحظ من الشكل السابق توافق في سلوك العقدة تحليلياً وتجريبياً من حيث شكل التشققات الحاصلة.

تمت أيضاً مقارنة منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التي تم الحصول عليه تحليلياً، مع منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التي تم الحصول عليه تجريبياً للنموذج المدعم من جميع الجوانب (F1)، ويبين الشكل (15) منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التحليلي والتجريبي للنموذج (F1).



الشكل (15) منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التحليلي والتجريبي للنموذج (F1)

مما سبق وبعد استعراض المقارنات بين الدراستين التجريبية والتحليلية وجد أن هناك تقارباً كبيراً بينهما، فقد تبين ما يلي:

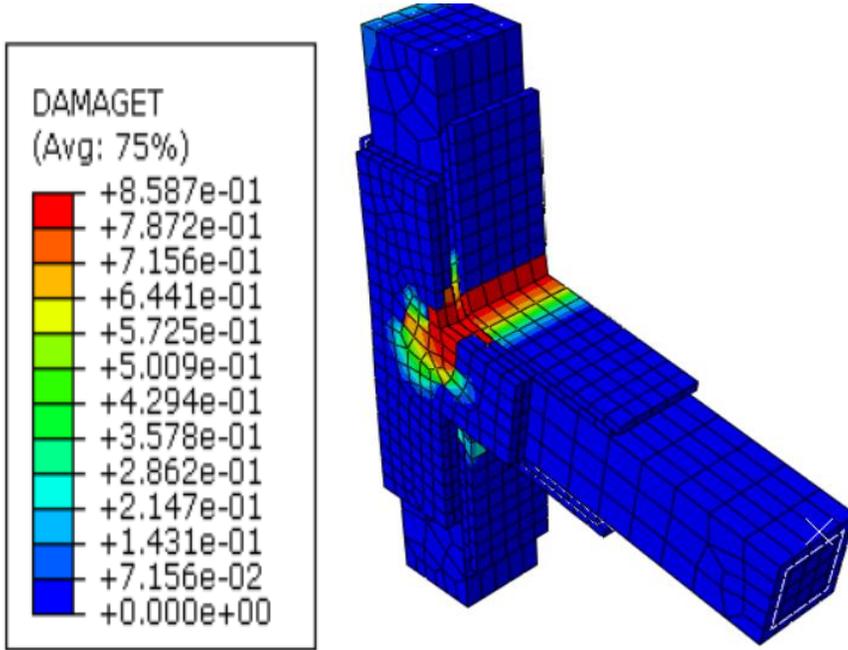
- الفارق بين حمولة الانهيار التجريبية وحمولة الانهيار الناتجة عن النموذج التحليلي الموافق يتراوح من (1-4) % ، وهذه النسبة تجعل النموذج التحليلي قادراً على توقع حمولة الانهيار.
- وجد تطابق في شكل تطور التشققات ونمط الانهيار للعقد البيتونية.

وبالتالي تم الحصول على نموذج تحليلي بالاعتماد على طريقة العناصر المحدودة، تمت من خلاله نمذجة ومحاكاة سلوك كل من البيتون المسلح، فولاذ التسليح، طبقة المونة الإسمنتية، والشبك الفولاذي للفيروسمنت، وبالتالي يمكن استخدامه كأداة عددية موثوق بها لتحري سلوك العقد البيتونية المدعمة بالفيروسمنت، أي أن هذه المحاكاة يمكن استخدامها كمنصة عمل عددية لدراسة متغيرات أخرى لم تشملها الدراسة التجريبية.

لذلك قمنا بدراسة متغيرات أخرى لمادة التدعيم، على النموذج (F1) العقدة المدعمة من جميع الجوانب، حيث قمنا بدراسة تأثير إضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت إضافة للطبقة الأولى دون تغيير قطر السلك للنموذج F1.

3-1-7 دراسة تأثير إضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت للنموذج F1 :

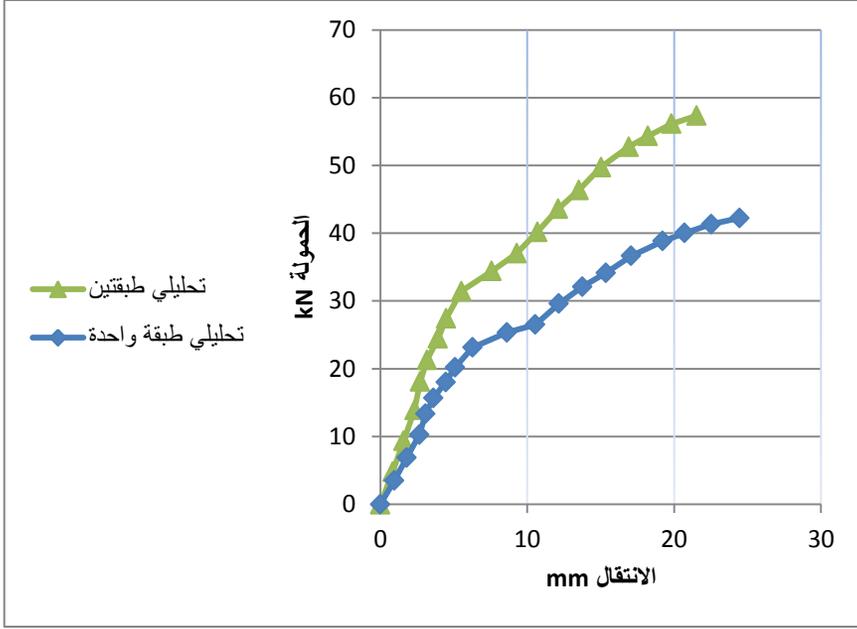
يبين الشكل (16) الضرر (التشقق في منطقة الشد) في العقدة المدعمة من جميع الجوانب (F1) الناتجة من التحليل العددي وذلك عند إضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت.



الشكل (16) الضرر في العقدة المدعمة من جميع الجوانب (F1)

تمت أيضاً مقارنة منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التي تم الحصول عليه تحليلياً لطبقة فيروسمنت واحدة مع منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التي تم الحصول عليه

تحليلياً لطبقتين فيروسمنت للنموذج المدعم من جميع الجوانب (F1)، وبين الشكل (17) منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التحليلي عند تغير عدد طبقات الفيروسمنت للنموذج (F1).



الشكل (17) منحنى العلاقة بين (القوة - الانتقال) التحليلي عند تغير عدد طبقات الفيروسمنت للنموذج (F1)

نلاحظ من المخطط السابق الشكل (17) إن إضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت أدى إلى زيادة في حمولة الانهيار بمقدار 26.5 % للنموذج F1 المدعم من جميع الجوانب.

8 - الاستنتاجات:

- 1- حققت تقنية التدعيم المدروسة زيادة في قدرة تحمل العقدة البيتونية بمقدار 55.2% بالنسبة للنموذج غير الحاوي على تسليح قص ضمن العقدة (غير المدعمة).
- 2- حققت طريقة التدعيم المدروسة انتقال المفصل اللدن بعيداً عن العقدة بما يؤمن آلية انهيار أكثر أماناً في المنشآت البيتونية.
- 3- عدم حصول أي انفصال لطبقة التدعيم عن البيتون حتى الوصول إلى الحمولة الأعظمية، وبالتالي فعالية التدعيم بالفيروسمنت في تدعيم العقد في المنشآت البيتونية.
- 4- صلاحية النموذج التحليلي لتوصيف النموذج التجريبي، فقد كان هناك تقارب في سلوك العقد، حيث بلغ أكبر اختلاف في الحمولة الأعظمية بمقدار (4%). ولذلك تم اعتبار هذه المحاكاة منصة عمل عديدة لدراسة متغيرات أخرى لم تشملها الدراسة التجريبية، حيث قمنا بدراسة تأثير إضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت إضافة للطبقة الأولى دون تغيير قطر السلك للنموذج F1.
- 5- إضافة طبقة ثانية من الفيروسمنت أدى إلى زيادة في حمولة الانهيار بمقدار 26.5% للنموذج F1.

9- المراجع:

- 1-S. P. Shah ,"Ferrocement in construction". University Of Illinois At Chicago Circle (1981): 296-273.
- 2- ACI Committee 549 (ACI 549.1R-93),"Guide for the Design, Construction,and Repair of Ferrocement",(1993).
- 3- B. Kondraivendhan and Bulu Pradhan.(2009)."Effect of ferrocement confinement on behavior of concrete" Construction and Building Materials, vol.23,no.3,pp.1218-1222,2009.
- 4- Mile Bezbradica, "Analysis Of Ferrocement And Textile Reinforced Concrete For Shell Structures ", Department Of Construction Sciences Division Of Structural Mechanics Isrn Lutvdg/Tvsm-15/5207-Se (1-65) Issn 0281-6679.
- 5- Ornela Lalaj, Yavuz Yardim, Salih Yilmaz, "Design Recent perspectives for ferrocement" Research on Engineering Structures & Materials. Vol. 1 Iss.1 (2015) 11-23.
- 6- El-Abd, Ashraf, Ibrahim Shabaan, and Osama A. Seoud. "Using Ferrocement in Repair and Strengthening of Corner Beam-Column Joints subjected to Displacement Cyclic Loading."

- 7- Venkatesan, B., and R. Ilangovan. "Structural behaviour of beam column joint retrofitted with Ferrocement laminates." Int J Adv Engg Tech/Vol. VII/Issue II/April-June 1272 (2016): 1280.
- 8- Shaaban, Ibrahim G., and Osama A. Seoud. "Experimental behavior of full-scale exterior beam-column space joints retrofitted by ferrocement layers under cyclic loading." Case studies in construction materials 8 (2018): 61-78.
- 9- مقالة "دراسة تجريبية لعقدة جوائز - عمود بيتونية طرفية مدعمة بالفيروسمنت" (2023). م. حيدر الخضور، د. إحسان الطرشة، د. سليمان العامودي، مجلة جامعة البعث - المجلد 45 لعام 2023.

دراسة كفاءة عملية التكيف الهيدروديناميكي في معالجة المياه

الدكتورة امال عطيه*

الملخص

تعدُّ المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات (PAHs) من أخطر الملوثات العضوية الثابتة الموجودة في المياه العذبة وفقاً لاتفاقية استكهولم، لأنها مركبات صعبة التفكك وتبقى في المياه لشهور وسنوات عديدة مسببة مشكلة خطيرة تهدد النظام البيئي.

لذلك تمّ في هذا البحث تقييم كفاءة تقنية التكيف الهيدروديناميكي باستخدام الصفيحة المثقبة في إزالة مركبات (PAHs) من مياه بحيرة سورييت في مدينة باناس، وتمّ تطبيق ضغوط مدخل متزايدة (1، 3، 5، 7، 9 بار)، وتحديد نسبة إزالة ($\sum PAHs$) بعد الفترات الزمنية التالية: 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دقيقة.

أظهرت نتائج الدراسة التجريبية عند تطبيق ضغط متزايد من 1 إلى 9 bar، أن نسبة إزالة مركبات ($\sum PAHs$) تزداد مع زيادة زمن التشغيل وعدد مرات التدوير، وكانت هذه النسبة في الصيف أكبر من الشتاء. فقد بلغت نسبة الإزالة في الشتاء 100% عند الزمن 30 min والضغط 5 bar، وفي الصيف 100% عند 15 min. ومنه وجد أن الضغط 5 bar مثالي لتحقيق إزالة كاملة للمركبات العطرية.

كلمات مفتاحية: الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، التكيف الهيدروديناميكي، الصفيحة المثقبة، عدد مرات التدوير، رقم التكيف، مردود التكيف، بحيرة سورييت.

* مشرفة على الأعمال في قسم الهندسة البيئية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

Email: amal83ym@gmail.com

Study of the Efficiency of Cavitation Process in Water Treatment

Dr. Amal Ateah*

ABSTRACT

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are among the most dangerous persistent organic pollutants found in freshwater according to the Stockholm Convention, because they are difficult to break down and remain in the water for many months and years, causing a serious problem that threaten the ecosystem.

Therefore, in this research, the efficiency of the hydrodynamic cavitation technique using the orifice plate was evaluated in removing PAHs from the water of Sureat Lake in Baniyas city, increasing inlet pressures were applied (1, 3, 5, 7, 9 bar), and determine the removal percentage (\sum PAHs) after the following time periods: 5, 10, 15, 20, 25 and 30 min.

The results of the experimental study showed that when increasing pressure was applied from 1 to 9 bar, the percentage of removal of (\sum PAHs) compounds increased with increasing operating time and the number of repetitions. This percentage was greater in summer than in winter, the removal rate in winter reached 100% at 30 min and a pressure of 5 bar, and in summer it was 100% at 15 min. It was found that a pressure of 5 bar is ideal to achieve complete removal of aromatic compounds.

Key words: polycyclic aromatic hydrocarbons, hydrodynamic cavitation, orifice plate, rotation degree, cavitation number, cavitation yield, Sureat Lake.

*Work Supervisor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen Unirvesity, Lattakia, Syria. E-mail: amal83ym@gmail.com

1- مقدمة:

أدى التزايد السكاني والثورة الزراعية والصناعية الحديثة إلى إنتاج كميات كبيرة من الملوثات العضوية الثابتة، وإدخالها إلى المياه العذبة (الأنهار، البحيرات، الآبار وغيرها) مع جريان مياه الصرف الصحي والصناعي والزراعي ورشاحة مكبات القمامة، وتطاير هباب المداخن والحرائق، وعوادم وسائط النقل وغيرها [1,2].

صنفت المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) ضمن مجموعة الملوثات العضوية الثابتة Persistent Organic Pollutants (POPs) وفقاً لاتفاقية استوكهولم لعام 2001. فهي مركبات ثابتة غير قابلة للتحلل الحيوي بسبب بنيتها الهيكلية متعددة الحلقات، تتألف من ذرات الكربون والهيدروجين مرتبطة مع بعضها بعضاً مشكلةً حلقات عطرية متماسكة. تتراكم مركبات (PAHs) بيولوجياً بسهولة في خلايا الكائنات الحية، ويمكنها البقاء معلقةً في المياه، وتترسب في قاع المسطحات المائية. وأعتبرت مركبات شديدة السمية، لأنها تسبب السرطانات والطفرات الوراثية والتشوهات الخلقية للكائنات الحية [3,4,5].

تصل مركبات (PAHs) إلى البيئة المائية من مصادر طبيعية، كالتسربات البترولية في باطن الأرض، ومن حرائق النباتات والغابات والنشاطات البركانية. كما يرتبط وجود مركبات (PAHs) في البيئة بالنشاطات البشرية الصناعية والخدمية مثل: الصرف الصحي والصناعي، ومخلفات المنشآت الصناعية، وعمليات إنتاج النفط وتكريره والحوادث الناتجة عن نقله وتفريغه، بالإضافة إلى نشاطات النقل الكثيفة [6]. حيث تتشكل مركبات PAHs عبر تفاعلات سريعة من عمليات الاحتراق غير الكاملة للمواد العضوية والوقود الأحفوري (فحم وبنزين) بدرجات حرارة عالية، وتعدّ عمليات الاحتراق هذه المسؤولة الرئيسية عن وجود مركبات الـ PAHs الحرارية في البيئة المائية [7].

أكدت الدراسات المرجعية على أن الملوثات العضوية الثابتة تُقاوم أساليب المعالجة التقليدية للمياه وتبقى بعدها وتصل إلى صنوبر المياه في المنزل. فقد تم استخدام العديد من التقنيات ومنها: الامتزاز على الكربون المنشط، والمفاعل الحيوي الغشائي، والمعالجة الحيوية، والأكسدة الكيميائية وغيرها. ولكنها لم تكن فعالة بشكل كبير، كما أنها تتطوي على تكاليف عالية الثمن في التشغيل والصيانة، وتحتاج مواد كيميائية الباهظة الثمن، وينتج عن بعضها مركبات غير مرغوبة يجب التخلص منها بشكل آمن. حديثاً، تم استخدام عمليات الأكسدة المتقدمة بالأوزون، وبيروكسيد الهيدروجين، وأكسدة فينتون، والأشعة فوق البنفسجية، والمحفزات الضوئية، والأكاسيد الفائقة وغيرها. ولقد أثبتت فعاليتها الكبيرة ولكنها مكلفة جداً، وتحتاج طاقة تشغيل وصيانة مرتفعة [8,9,10].

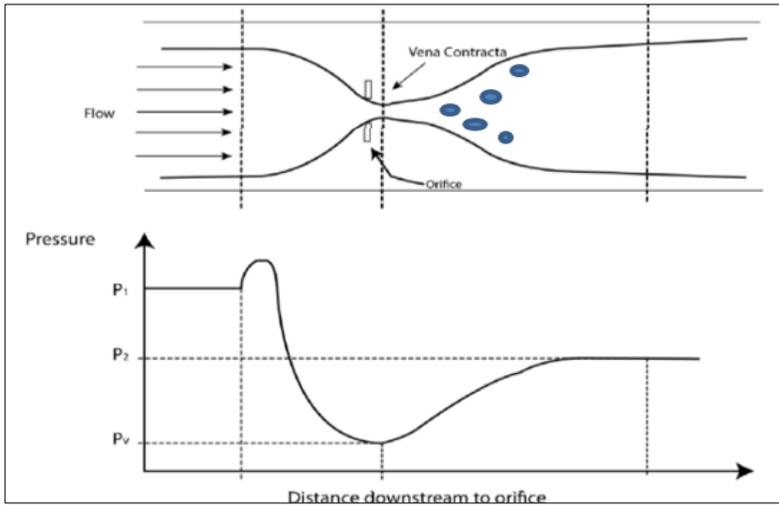
يعد وجود مركبات PAHS في مياه بحيرة سوريث أمراً خطيراً جداً، لأنها تستخدم للري وسقاية الحيوانات، ومن الممكن استخدامها لأغراض الشرب بعد معالجتها، كما أنها الأخت التوأم لبحيرة السن التي تغذي الساحل السوري بمياه الشرب، لذلك فإن أي خطر يهدد بحيرة سوريث فمن المحتمل أن يهدد بحيرة السن [11].

لذلك كان لابد من التفكير بطريقة فعالة واقتصادية لتفكيك مركبات (PAHS) من مياه بحيرة سوريث، فقد تم اقتراح تقنية التكيف الهيدروديناميكي، التي استخدمت في هذا البحث، كعملية واعدة وفعالة في إزالة المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات من مياه بحيرة سوريث.

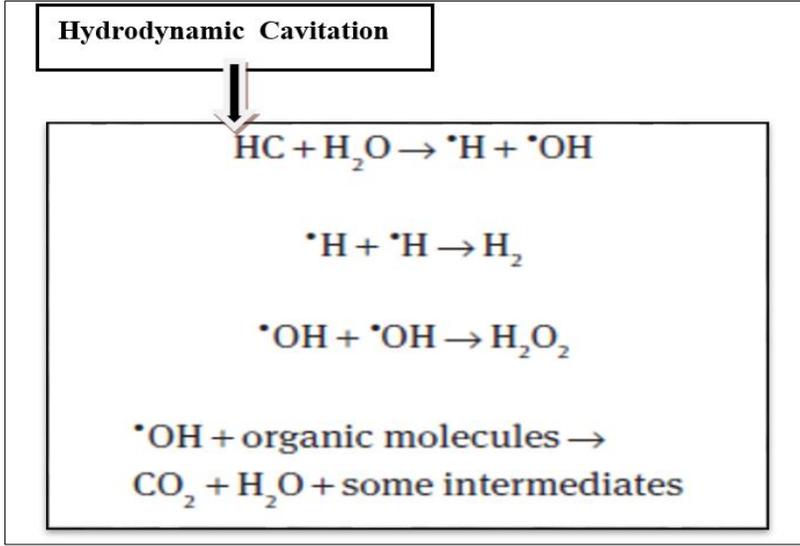
• التكيف الهيدروديناميكي

تتميز تقنية التكيف الهيدروديناميكي بالقدرة على تفكيك الملوثات العضوية الثابتة بكفاءة عالية ورخيصة الثمن وصديقة للبيئة. تحدث ظاهرة التكيف داخل الأنابيب في منطقة التضيقات باستخدام الصفيحة المثقبة أو أنبوب فينتوري أو صمام اختناق. حيث

تتشكل فقاعات التكهف عند تمرير المياه في منطقة التضيق بسبب حدوث فرق مفاجئ في الضغط في هذه المنطقة، حيث ينخفض ضغط المياه، وتزداد السرعة، وتتشكل فقاعات كثيرة، ثم يعود الضغط ليرتفع من جديد بعد التوسع المقطعي للأنبوب كما هو مبين في الشكل (1) [12,13,14]. تتسبب هذه التغيرات المفاجئة والكبيرة في الضغط والسرعة إلى انهيار فقاعات التكهف المتشكلة، وتتكون ظروف قاسية موضعية داخل الفقاعات المتشكلة ذات درجات حرارة عالية من 1000 - 10000 كلفن، وضغوط عالية تتراوح ما بين 100 و 5000 بار، وتتولد بعض الجذور الحرة شديدة التفاعل كجذور H^* ، OH^* ، وتعتبر هذه الجذور الحرة شديدة التفاعل مع الملوثات، وهي من أقوى المؤكسدات، والمسؤولة عن تحلل المركبات المعقدة إلى مركبات بسيطة كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (1): تغيرات الضغط وتشكيل فقاعات التكهف في منطقة التضيق



الشكل (2): توليد الجذور الحرة وتفكيك المركبات الثابتة

يمكن أن يعزى تفكيك الروابط الهيدروكربونية للمركبات العطرية بتقنية التكيف إلى التأثيرات المشتركة: الميكانيكية (إجهاد القص)، والكيميائية (الجذور الحرة)، والحرارية (النقاط الساخنة) الناتجة عن انهيار الفقاعة. وتؤدي هذه التأثيرات إلى تفكيك رابطة (الكربون - الكربون)، وتفكيك المركبات العضوية ذات الكتل الجزيئية الكبيرة إلى مركبات منخفضة الكتلة الجزيئية [15]. تعتمد كفاءة تقنية التكيف الهيدروديناميكي على بعض العوامل مثل: بارامترات تصميم جهاز التكيف، والسرعة المحققة والضغط المطبق، وخصائص المياه الملوثة [16, 17]. يضمن الجمع بين التكيف الهيدروديناميكي وعمليات الأكسدة المتقدمة الأخرى تفككاً أفضل للملوثات العضوية الثابتة مقارنة بعمليات الأكسدة المتقدمة المستقلة [18, 19]. ولكنها تحتاج كلفة تشغيل عالية، لذلك فقد لفتت عملية التكيف الهيدروديناميكي الانتباه من بين تقنيات الأكسدة في معالجة المياه [20].

2 - أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقييم كفاءة تقنية التكيف الهيدروديناميكي باستخدام صفيحة مثقبة بـ 6 ثقوب في تفكيك المركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات من مياه بحيرة

سوريت، وتحديد شروط التشغيل المثلى لجهاز التكيف. وهذا سيساهم في حماية البيئة والإنسان من الأخطار الناتجة عن وجودها في المياه.

3- مواد وطرائق البحث:

1- وصف منطقة الدراسة:

تقع بحيرة سوريت في مدينة بانياس قرب بحيرة السن، وتبعد عنها مسافة 100m كما هو مبين في الشكل (3). تشتهر المنطقة المحيطة بالبحيرة بالزراعة، وتتنوع فيها المحاصيل الزراعية، ويستخدم فيه الكثير من المبيدات والأسمدة الزراعية. كما ينتشر في الحوض المغذي للبحيرة الكثير من الأنشطة الصناعية والحرفية والتجارية، ويمر بجانب البحيرة الاوتستراد الدولي (اللاذقية - طرطوس) وسكة القطار. لقد أدت هذه الأنشطة المختلفة إلى وصول الملوثات العضوية الثابتة إلى البحيرة [21].



الشكل (3): صورة فضائية لموقع بحيرة سوريت

2- منهجية إجراء البحث

- تم قطف عينات مائية من بحيرة سوريت على عمق 30 cm من سطح المياه، وتمّ تحديد بعض خصائصها الفيزيوكيميائية كدرجة الحرارة، ودرجة الحموضة (pH)، والناقلية الكهربائية، وكمون الأكسدة والإرجاع باستخدام جهاز قياس حقلي PCT-407 Portable pH Conductivity TDS Meter .
- تم تحديد التراكيز الإجمالية للمركبات الهيدروكربونية العطرية متعددة الحلقات (ΣPAHs) باستخدام جهاز الكروماتوغرافيا الغازية نوع (Hewlett Packard) الموسول بمكشاف مطيافية الكتلة / gas chromatography/ (GC/MS) mass spectrometry [22].
- حللت العينات بالطريقة العيارية، وذلك بمقارنة أزمنة احتفاظ مركبات العينة مع أزمنة احتفاظ لمحلول عياري خارجي لمركبات الـ PAHs، والحاوي على مزيج من المركبات العطرية (2 ~ 6 حلقات عطرية) مصدره شركة Sigma كما هو مبين في الشكل (4).
- تم حساب تراكيز مركبات المركبات الهيدروكربونية العطرية بالعلاقة الآتية:

$$C = \frac{R_f * Area * V_{ext}}{V_{inj} * V'} * 1000 \quad (1)$$

C: تركيز المركب في العينة (ng/L).

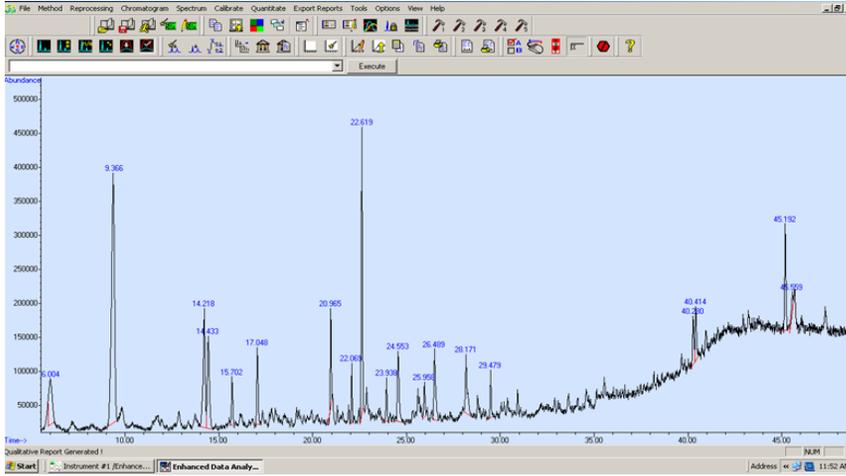
R_f: عامل الاستجابة.

Area: مساحة قمة المركب في العينة.

V_{ext}: حجم الخلاصة (μL).

V_{inj}: حجم العينة المحقونة (μL).

V': حجم العينة المائية المستخلصة (L).



الشكل (4): كروماتوغرام لمزيج من مركبات PAHs

تم تصميم جهاز التكيف الهيدروديناميكي باستخدام صفيحة منقبة بـ 6 ثقب
دائرية الشكل موزعة بانتظام حول المحور وفي المركز. وتم تقييم كفاءة
الصفيحة المنقبة في إزالة مركبات (Σ PAHs) في فصلي الشتاء والصيف
خلال عام 2022.

تم تصميم جهاز التكيف الهيدروديناميكي بالاعتماد على الدراسات المرجعية
[13,14] وفقاً الخطوات الآتية:

تم تركيب وتوصيل الأدوات والأجهزة التالية:

1 - خزانا المياه: الخزان الأول: خزان داخلي صمم خصيصاً لمعالجة المياه الملوثة،
وصنع من الفولاذ المقاوم للصدأ، قطره 25 cm وارتفاعه 75 cm، وسعته (35 L)
وسماكته (2 mm).

الخزان الثاني: خزان خارجي استخدم للتبريد، قطره 45 cm وارتفاعه 70 cm، وسعته
(112 L)، وسماكته (2 mm)، وصنع من الفولاذ المقاوم للصدأ.

2 - مضخة طرد مركزي: تقوم بسحب المياه من الخزان الداخلي (المعالجة) عبر أنبوب تدفق المياه الرئيسي، وتتميز بالمواصفات التالية (Foras, type PE90، إيطالية الصنع، 2800 دورة في الدقيقة، استطاعة 1حصان بخاري ، 0.74 كيلوواط)، وتعمل بضغط (9 bar)، ويبلغ قطر كل من مدخل السحب للمضخة ومخرجها (1 inch).

3 - صمامات تحكم: تتحكم بالتدفق والضغوط قطرها (1 inch).

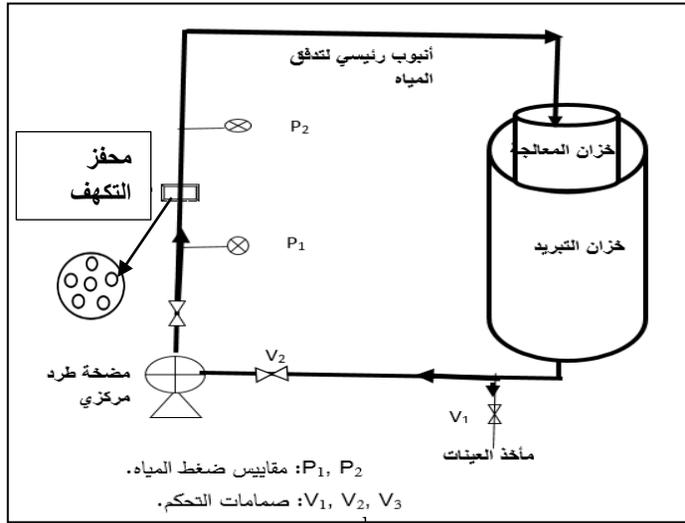
4 - توصيلات وأنابيب وقطع وصل: لتوصيل المنظومة وتشغيلها قطرها (1 inch).

5 - مفاعل التكهف: وهو عبارة عن أنبوب قطره 1inch تم وصله بصمام تحكم، وتم تركيب صفيحة مثقبة داخله قطرها (1 inch) وسماكتها (2 mm)، ومثقبة بـ 6 ثقوب دائرية الشكل موزعة بالتساوي في المركز والمحيط، وقطر الثقب (2mm).

6- مقاييس الضغط: تم تركيبها قبل وبعد الصفيحة المثقبة لقياس تغييرات الضغط الحاصلة في منطقة الثقوب عند تشغيل الجهاز.

يبين الشكل (5) تمثيل تخطيطي لمنظومة التكهف، ويوضح الشكل (6) صورة جهاز التكهف الهيدروديناميكي الذي تم تصميمه واستخدامه في الدراسة في هذا البحث.

تم تصميم هذه المنظومة وتركيبها ووضعها في مركز أبحاث طلاب الدراسات العليا في جامعة تشرين، والتابع لقسم هندسة النظم البيئية في المعهد العالي لبحوث البيئة. كما تم إجراء التحاليل المخبرية في مخابر كلية الهندسة المدنية ومخابر المعهد العالي للبحوث البحرية في جامعة تشرين.



الشكل (5): تمثيل تخطيطي لمنظومة التكيف الهيدروديناميكي



الشكل (6): تصميم منظومة التكيف الهيدروديناميكي المستخدمة في هذا البحث

■ آلية تشغيل جهاز التكهف الهيدروديناميكي

يعمل الجهاز المبين في الشكل (6) على تدوير المياه ضمن دائرة مغلقة عبر أنبوب رئيسي لتدفق المياه باستخدام مضخة سحب، ليتم تمرير المياه عبر محفز التكهف (الصفحة المثقبة orifice plate)، ومن ثم تفرغ المياه مرة أخرى في الخزان. وينتهي الأنبوب الرئيسي داخل الخزان على منسوب تحت مستوى المياه، وذلك لتجنب أي تحريض للهواء في النظام. كما تم قياس فروقات الضغط الناتجة عن التكهف، والتحكم في تدفق المياه وضغط المضخة بصمامات التحكم. أيضاً، تم الحفاظ على درجة حرارة المياه ثابتة خلال فترة إجراء التجارب باستخدام خزان التبريد.

أجريت التجارب وفقاً للخطوات التالية:

- 1 - تم إحضار المياه من بحيرة سوريت شتاءً وصيفاً عام 2022 م، وتم تحديد درجة حرارتها ودرجة الحموضة (pH)، والناقلية الكهربائية، وكمون الأكسدة والإرجاع، وقيمة التراكيز الإجمالية للمركبات العطرية (Σ PAHs).
- 2 - تم تشغيل جهاز التكهف الهيدروديناميكي بعد ملئ الخزان الداخلي بـ (33 L) مياه بعد ترشيحها عبر منخل ناعم جداً لإزالة الشوائب والعوالق منها، وتم إغلاق الخزان الداخلي بغطاء محكم منعاً لحدوث أي تأثير للوسط الخارجي على المعالجة. وتم تزويد الخزان الخارجي بالمياه عبر مدخل في أسفله وخروجها من فتحة في أعلاه باستمرار، ليتم الحفاظ على درجة حرارة المياه المعالجة.
- 3 - تم تشغيل المنظومة، وتطبيق ضغوط مدخل مختلفة (1 و 3 و 5 و 7 و 9 بار).
- 4 - تمت قراءة قيمة ضغط المياه قبل وبعد الصفحة المثقبة.
- 5 - تم أخذ عينات مائية بعد أزمنة تشغيل 5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 دقيقة من مأخذ للعينات (عبارة عن صمام تم تركيبه بعد الخزان)، وتم تحليل العينات، وتحديد درجة حرارتها والـ pH والناقلية وكمون الأكسدة والإرجاع، وذلك لمعرفة مدى تأثير ظاهرة التكهف المتشكلة على خواص المياه الأساسية باعتبارها مياه عذبة. وتم تحديد قيمة التراكيز الإجمالية (Σ PAHs) عند هذه الأزمنة.

6- تم اختيار الضغط والزمن المثاليين لتفكك المركبات العطرية في المياه المأخوذة شتاءً.

7 - تم تطبيق الضغط الذي تم اختياره على المياه صيفاً، وتحديد كفاءة إزالة (Σ PAHs).

8 - تم تحديد البارامترات التشغيلية للمنظومة شتاءً وصيفاً: نسبة الإزالة، وعدد مرات التدوير، وثابت معدل التحلل، ورقم التكيف ومردوده.

▪ دراسة العوامل المؤثرة على عملية التكيف الهيدروديناميكي

1. تأثير ضغط المدخل المطبق p_0

تم التحقق من تأثير تغيير ضغط المدخل المطبق على كفاءة عملية التكيف في إزالة (Σ PAHs)، لذلك تم تطبيق القيم التالية للضغط: 1 و 3 و 5 و 7 و 9 bar، وتم تحديد نسبة الإزالة عند أزمنة تشغيل متتالية 5، 10، 15، 20، 25 و 30 دقيقة.

2. تأثير رقم التكيف C_v Cavitation Number

هو مؤشر دون واحدة، ويعبر عن الحالة الهيدروليكية للمياه المتدفقة عبر الثقب، والتي تحدث نتيجة التغيرات الحاصلة في الضغط والسرعة في منطقة الثقوب. وتمت دراسة رقم التكيف عند الضغوط المطبقة 1 و 3 و 5 و 7 و 9 bar، ويعطى C_v بالعلاقة الآتية [12]:

$$C_v = \frac{P_2 - P_v}{\frac{1}{2} * \rho * V_0^2} \quad (2)$$

حيث: P_2 - الضغط بعد الصفيحة المثقبة (يساوي قيمة الضغط الجوي) [Pa].

P_v - ضغط بخار الماء المشبع عند درجات الحرارة المدروسة [Pa].

ρ - كثافة الماء [kg/m³].

V_0 - سرعة الماء المتدفق خلال الثقب [m/sec].

3. تأثير عدد مرات التدوير خلال عملية التكيف Circulation Degree Lc

تعتمد كفاءة جهاز التكيف الهيدروديناميكي في تفكيك المركبات العطرية على عدد مرات تدوير المياه (درجة الدوران) LC عبر الصفيحة المثقبة خلال زمن المعالجة، ويعطى بالعلاقة الآتية [13]:

$$L_C = t \times \frac{Q}{V} \quad (3)$$

حيث: t - مدة التكيف [sec].

Q - تدفق المضخة [m³/sec].

V - حجم المياه في الخزان [m³].

4. تقييم كفاءة عملية التكيف الهيدروديناميكي

تم تقييم كفاءة عملية التكيف الهيدروديناميكي من حيث التغيرات الحاصلة في تركيز مركبات الـ PAHs بالنسبة إلى تركيزها الأولي كما في المعادلة التالية [15]:

$$R = \frac{C_o - C_t}{C_o} * 100$$

حيث: R - نسبة الإزالة %.

C_o - التركيز الأولي لمركبات الـ PAHs [ng/L].

C_t - تركيز مركبات الـ PAHs بعد زمن المعالجة t [ng/L].

5. تحديد ثابت معدل التحلل k

تم حساب ثابت معدل التحلل K لمركبات PAHs مع تغيرات الضغوط المطبقة على الصفيحة، وهو يمثل معادلة مستقيم من الدرجة الأولى كما في المعادلة التالية [12,13]:

$$C_t = C_o e^{-kt} \quad (5)$$

$$k = -\ln(C_t / C_o) / t$$

حيث: k - ثابت معدل التحلل (min^{-1}).

C_0 - التركيز الأولي لمركبات الـ PAHs [ng/L].

C_t - تركيز مركبات الـ PAHs بعد زمن المعالجة t [ng/L].

t - زمن المعالجة (min).

6. مردود عملية التكيف (Ye) Cavitational yield

تم تقييم كفاءة الطاقة المستهلكة لتفكيك المركبات العطرية في عملية التكيف، والتي تتعكس بشكل مباشر على تكاليف عملية المعالجة من خلال حساب Ye مردود عملية التكيف (بالنانو غرام/جول)، ويعبر عن نسبة مقدار تفكك مركبات الـ PAHs إلى كمية الطاقة الكهربائية الموردة إلى النظام خلال زمن التشغيل، وتم التعبير عن المردود بالمعادلة التالية [18,19]:

$$Ye \text{ (ng/j)} = \frac{\text{amount of } (\sum \text{PAHs}) \text{ degraded}}{H * \rho * g * Q * t} \quad (6)$$

حيث: H - ضغط المضخة [m].

ρ - كثافة السائل [kg/m^3].

g - تسارع الجاذبية [m/s^2].

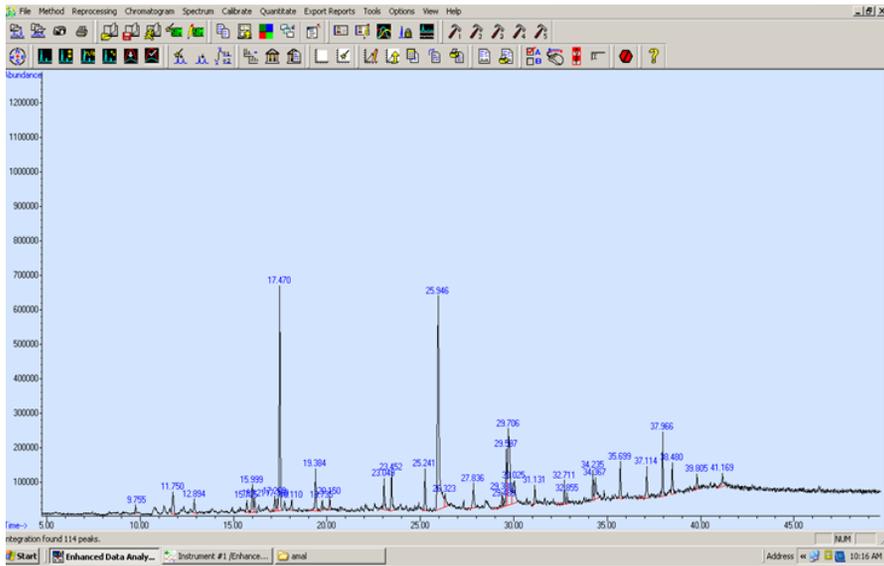
Q - التدفق [m^3/s].

t - زمن المعالجة [s].

4 - النتائج والمناقشة:

1 - تحديد خواص المياه والتركيز الإجمالي للمركبات العطرية Σ PAHs في العينات المائية

تم تحديد القيم الوسطية لدرجات الحرارة والناقلية الكهربائية وكمون الأكسدة والإرجاع، والقيمة الوسطية للتركيز الإجمالية (Σ PAHs) في مياه بحيرة سوريث في فصلي الصيف والشتاء في عام 2022، ويوضح الجدول (1) مواصفات المياه المدروسة. فقد لوحظ أن القيم الوسطية لدرجات الحرارة والناقلية الكهربائية وكمون الأكسدة والإرجاع كانت ضمن القيم المسموحة حسب معايير المواصفة القياسية السورية، ولكن لوحظ ارتفاع قيم التركيز الإجمالية (Σ PAHs) عن المعايير القياسية والمساوية 100 ng/L حسب المواصفة [23]. ويوضح الشكل (7) كروموتوغرام لمركبات PAHs في بحيرة سوريث.



الشكل (7): كروموتوغرام لمركبات الـ PAHs في بحيرة سوريث

الجدول (1): مواصفات المياه في بحيرة سوريث

القيم الوسطية لمواصفات المياه المدروسة في بحيرة سوريث					
البارامترات القيمة	\sum PAHs (ng/L)	درجة الحرارة °C	pH	ORP (mv)	الناقلية الكهربائية (μ sm/cm)
الشتاء	510.5	10.26	7.62	29.5	585
الصيف	310.5	22.03	6.68	23.5	470

لقد تراوحت قيم التراكيز الإجمالية (\sum PAHs) في مياه بحيرة سوريث ما بين (301.5 – 510.5ng/L)، حيث سجلت أعلاها في فصل الشتاء وأدناها في فصل الصيف، ويُعزى ذلك إلى الهطولات المطرية التي حدثت في هذا الفصل، والتي حملت معها الملوثات، ووصلت إلى البحيرة عبر الينابيع المغذية. كما تجرف مياه الأمطار معها الملوثات من الأراضي الزراعية والغلاف الجوي والغابات ومكبات القمامة وشبكات الصرف الصحي والصناعي المنتشرة في الحوض المغذي للبحيرة، وتتغلغل هذه الملوثات في جوف الأرض لتصل إلى البحيرة عبر الحوامل المائية، كما تصلها الزيوت ومخلفات المصانع وعوادم السيارات والقطارات [4,5].

يعزى انخفاض تركيز مركبات الـ PAHs في فصل الصيف إلى ازدياد معدلات التفكك الحيوي والأكسدة الضوئية لهذه المركبات نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وازدياد التبخر ونسبة التطاير للمركبات ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة [6,7].

2- نتائج تشغيل جهاز التكهف الهيدروديناميكي

أظهرت نتائج الدراسة التجريبية عند تشغيل جهاز التكهف الهيدروديناميكي مايلي:

1. تحديد الخصائص الهيدروليكية للمياه المتدفقة عبر الثقوب

أظهرت نتائج قياس وتحديد تدفق المياه خلال الثقوب بعد تشغيل المضخة عند تزايد ضغط المدخل p_0 من 1 حتى 9 bar البيانات المرتبة في الجدول (2). فقد تم تحديد تدفق المياه وسرعتها عبر الثقوب باستخدام وعاء مدرج وعلاقات الجريان المستمر.

الجدول (2): قيم تدفق المياه وسرعتها خلال الثقوب مع تغيرات الضغط

السرعة m/s	التدفق m ³ /s	التدفق L/min	مساحة الثقوب m ²	الضغط المطبق bar
9.76	0.000183	11	0.00001884	1
14.441	0.000275	16.5		3
21.01	0.000396	23.75		5
24.77	0.000467	28		7
29.4	0.000554	33.25		9

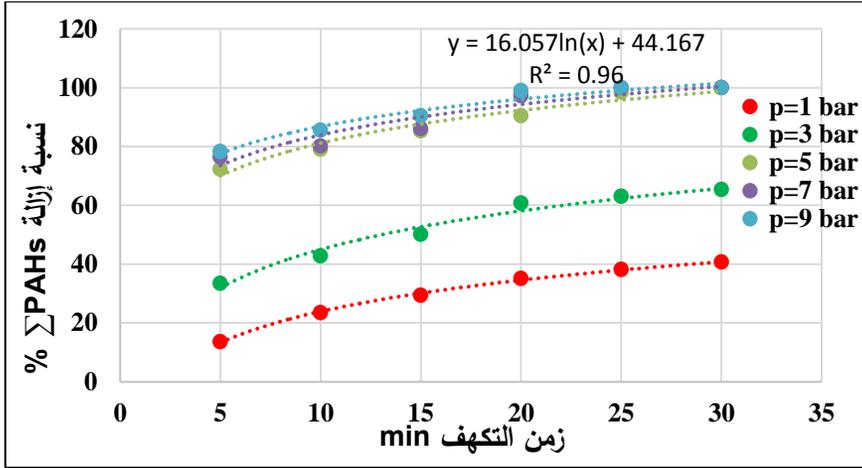
2. تأثير زيادة الضغط p_0 على نسبة إزالة ($\sum PAHs$) في فصل الشتاء

لقد أظهرت نتائج الدراسة التجريبية على المياه المأخوذة شتاءً، والمحددة بالموصفات المبينة في الجدول (1) أعلاه، أنه عند تطبيق ضغط متزايد من 1 إلى 9 bar أن نسبة إزالة مركبات ($\sum PAHs$) تزداد مع زيادة زمن التشغيل كما هو مبين في الجدول (3) والشكل (8). فقد بلغت نسبة الإزالة 13.6% بعد زمن التشغيل 5 min، ووصلت إلى 40.7% بعد زمن 30 min عند الضغط 1 bar. ولوحظ استمرار زيادة هذه النسبة

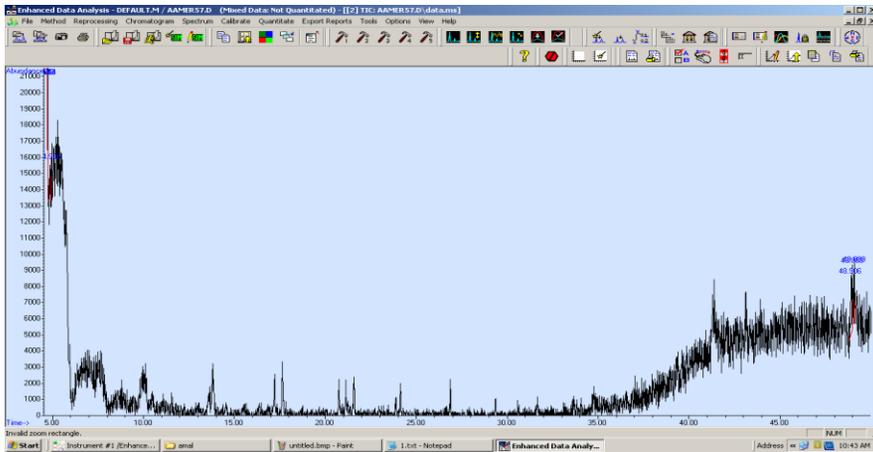
مع زيادة الضغط عند جميع الأزمنة، حيث بلغت 100% عند الزمن 30 min والضغط 5 bar، كما بلغت 100% عند الزمن 25 min والضغط 7 bar و 9 bar. لذلك يمكن اعتبار الضغط 5 bar والزمن 30 min مثاليين لتحقيق الكفاءة المطلوبة. وتم تمثيل العلاقة بين نسبة الإزالة مع تغيرات الزمن بمعادلة لوغاريتمية، وكان معامل الارتباط $R^2 = 0.96$ عند الضغط 5 bar. يمكن تفسير ازدياد نسبة الإزالة مع زيادة الضغط إلى انهيار فقاعات التكهف المتشكلة، وإجهادات القص، وتوليد الكثير من الجذور الحرة، والتي تتفاعل بشدة مع الملوثات [15,16]. يبين الشكل (9) كروموتوغرام لمركبات الـ PAHs بعد عملية التكهف.

الجدول (3): تغيرات نسبة إزالة \sum PAHs مع تغيرات الزمن والضغط

نسبة إزالة مركبات \sum PAHs مع تغير الزمن والضغط %					الزمن min
p=9 bar	p=7 bar	p=5 bar	p=3 bar	p=1 bar	
78.3	76.4	72.3	33.5	13.6	5
85.6	80.2	79.1	42.8	23.5	10
90.5	86.13	85.3	50.1	29.4	15
99	97.3	90.5	60.8	35.1	20
100	100	98.5	63.1	38.2	25
100	100	100	65.4	40.7	30



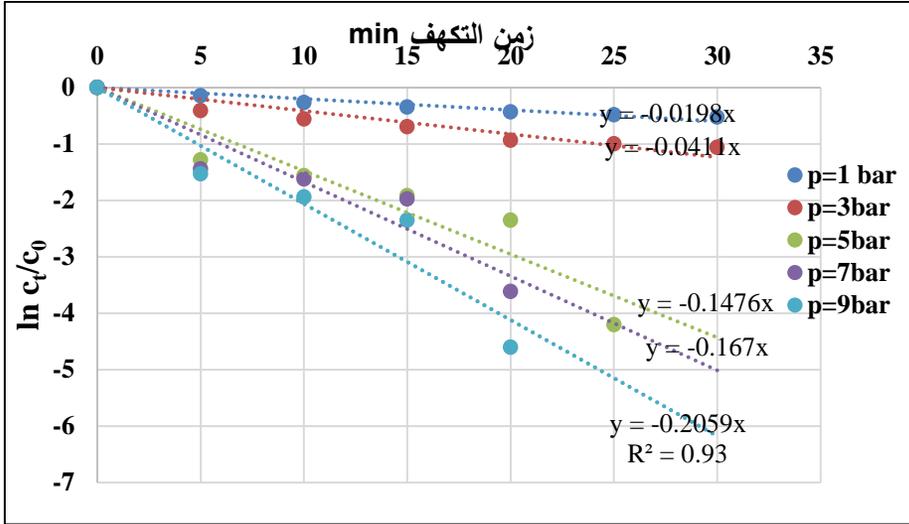
الشكل (8): تغيرات نسبة إزالة Σ PAHs مع تغيرات الزمن والضغط



الشكل (9): كروماتوغرام لمركبات الـ PAHs بعد عملية التكيف

3. تحديد ثابت معدل التحلل k لمركبات PAHs شتاءً

يبين الشكل (10) ثابت قيم ثابت معدل التحلل k لـ Σ PAHs عند أزمدة تشغيل جهاز التكيف الهيدروديناميكي (5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 min)، مع تغيرات ضغط المدخل من 1 وحتى 9 بار، والذي يمثل ميل المستقيمات الخطية، ومعادلتها من الدرجة الأولى.



الشكل (10): ثابت معدل تحلل (Σ PAHs) من الدرجة الأولى

لقد لوحظ زيادة ثابت معدل التحلل مع زيادة كل من الضغط وزمن التكيف، حيث ازدادت قيمة من 0.0198 min^{-1} عند الضغط (1 bar) وحتى 0.2059 min^{-1} عند الضغط 9 bar، حيث معامل الارتباط $R^2=0.93$. يمكن تفسير زيادة معدل التحلل مع زيادة الضغوط إلى ازدياد سرعة المياه، والذي يرافقه ازدياد إجهادات القص، وانهيار أكبر للفقاعات المتشكلة [18, 19].

4. تأثير تطبيق الضغط المثالي 5 bar على المياه شتاءً وصيفاً

تم تطبيق الضغط المثالي 5 bar على المياه صيفاً وشتاءً، وترتيب نتائج تشغيل جهاز التكيف الهيدروديناميكي في الجداول (4) و(5).

دراسة كفاءة عملية التكيف الهيدروديناميكي في معالجة المياه

الجدول (4): نتائج تشغيل جهاز التكيف الهيدروديناميكي عند الضغط 5 bar في الشتاء

البارامترات التي تتغير مع زمن التشغيل (min)	التركيز الإجمالي $\sum PAHs$ (ng/L)	pH	الناقلية الكهربائية $\mu s/cm$	كمون الأكسدة والإرجاع (ORP) mv	درجة الحرارة °C
0	510.5	7.62	585	29.5	10.26
5	141.27	7.68	588	31.4	10.26
10	106.59	7.71	590	33.2	10.26
15	74.97	7.75	594	34.5	10.26
20	48.45	7.77	595	36.4	10.26
25	7.65	7.78	599	38.5	10.26
30	0	7.78	601	38.7	10.26

الجدول (5): نتائج تشغيل جهاز التكيف الهيدروديناميكي عند الضغط 5 bar في الصيف

البارامترات التي تتغير مع زمن التشغيل (min)	$\sum PAHs$ (ng/L)	pH	الناقلية الكهربائية $\mu s/cm$	كمون الأكسدة والإرجاع (ORP) mv	درجة الحرارة °C
0	310.5	6.68	470	23.5	22.03
5	26.703	6.71	475	25.4	22.03
10	3.4155	6.74	478	27.8	22.03
15	0	6.75	480	28.3	22.03

- تم تحديد بارامترات تشغيل جهاز التكيف الهيدروديناميكي عند الضغط 5 bar صيفاً وشتاءً، وخواص المياه بعد التكيف لمعرفة التغيرات الحاصلة نتيجة حدوث التكيف. وتم ترتيب النتائج كالتالي:

أ - نسبة إزالة (Σ PAHs) صيفاً وشتاءً

تم تقييم كفاءة عملية التكيف الهيدروديناميكي بالعلاقة (4) كما هو مبين في الجدول (6) والشكل (11).

ب - عدد مرات التدوير (L_C)

تم تحديد عدد مرات تدوير المياه بالعلاقة (3) كالآتي:

$$L_C = \frac{0.000396}{0.033} * \tau$$

حيث: τ - مدة التكيف [sec].

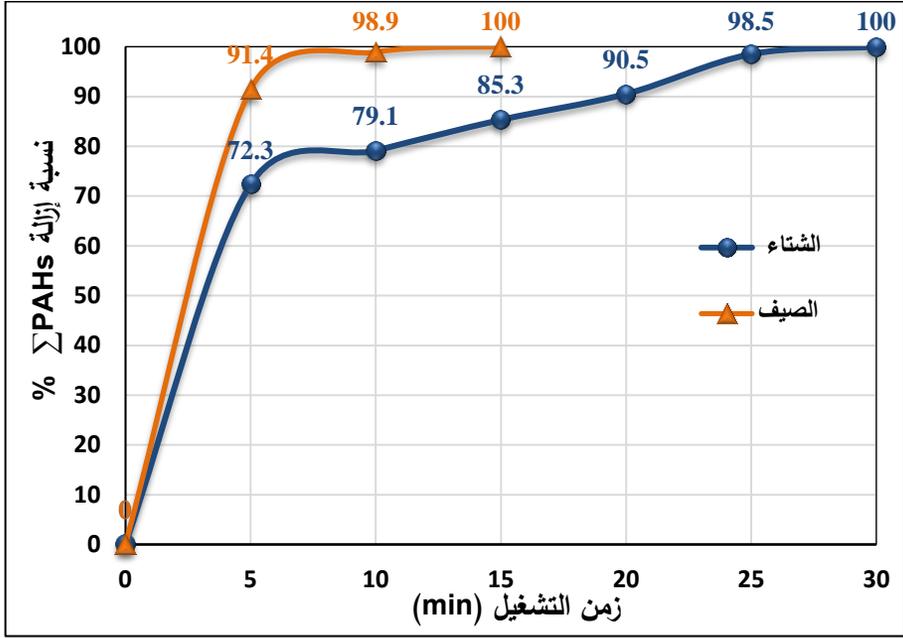
Q - تدفق المضخة عند الضغط 5 bar [0.000396 m³/sec].

V - حجم المياه في الخزان [33 L].

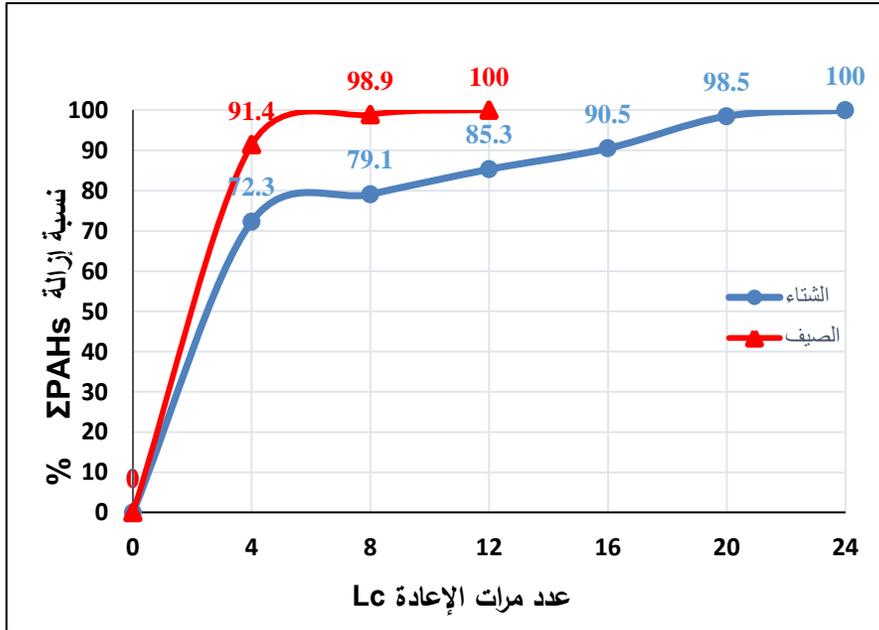
ورتيب النتائج في الجدول (6) والشكل (12).

الجدول (6): نسبة إزالة (Σ PAHs) عند الضغط 5bar مع تغيرات الزمن وعدد مرات التدوير صيفاً وشتاءً

الزمن min	عدد مرات التدوير $L_C = \frac{0.000396}{0.033} * \tau$	نسبة إزالة (Σ PAHs) %	
		الصيف	الشتاء
0	0	0	0
5	4	91.4	72.3
10	8	98.9	79.1
15	12	100	85.3
20	16	-	90.5
25	20	-	98.5
30	24	-	100



الشكل (11): نسبة إزالة (Σ PAHs) مع الزمن عند الضغط 5 bar صيفاً وشتاءً



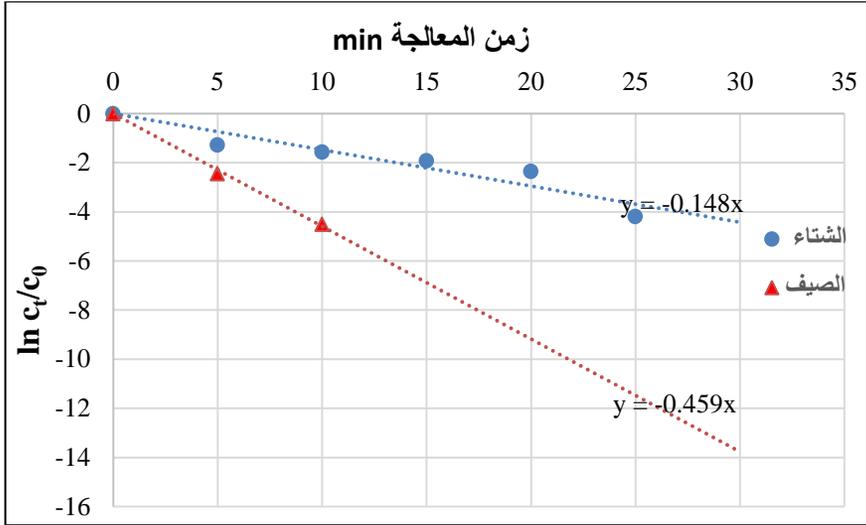
الشكل (12): نسبة إزالة (Σ PAHs) مع عدد مرات التدوير عند الضغط 5 bar

لوحظ تزايد نسبة إزالة (Σ PAHs) مع زيادة زمن التشغيل في الشتاء والصيف عند الضغط 5 bar، كما وجد أن نسبة الإزالة صيفاً أكبر منها شتاءً. ففي الشتاء بلغت نسبة الإزالة % 72.3 عند الزمن 5 min واستمرت هذه النسبة بالازدياد مع زيادة الزمن لتبلغ % 100 عند زمن التشغيل 30 min، ويعزى ذلك إلى زيادة فقاعات التكهف والجذور الحرة المتولدة وإجهادات القص والنقاط الساخنة، وجميع العوامل التي يشكلها التكهف والمسؤولة عن تفكيك مركبات (PAHs). وفي الصيف بلغت نسبة الإزالة % 91.4 عند الزمن 5 min واستمرت هذه النسبة بالازدياد مع زيادة الزمن لتبلغ % 100 عند زمن التشغيل 15 min. يعزى ارتفاع نسبة الإزالة صيفاً إلى درجات الحرارة المرتفعة وانخفاض التركيز الأولي للمركبات، وهذا يتوافق مع الدراسات السابقة التي أظهرت أن نسبة الإزالة تزداد مع زيادة درجات الحرارة وانخفاض التركيز الأولي للملوثات [16,17].

كما لوحظ أن هناك زيادة في نسبة الإزالة مع زيادة عدد مرات تدوير المياه المعالجة في منظومة التكهف، فعندما بلغت (4 مرات) عند الزمن 5 min كانت نسبة الإزالة % 72.3 و % 91.4 شتاءً وصيفاً على التوالي، واستمرت النسبة بالازدياد مع زيادة عدد مرات التدوير لتبلغ % 100 عند (LC = 24) عند زمن التشغيل 30 min شتاءً، وفي الصيف بلغت نسبة الإزالة % 100 عند (LC = 12) وزمن التشغيل 15 min. لوحظ أن عدد مرات التدوير صيفاً أقل منها شتاءً، وتتوافق هذه النتائج مع نتائج بعض الدراسات [17,18].

ت - تحديد ثابت معدل تحلل (Σ PAHs) k شتاءً وصيفاً

تم الحصول على ثابت معدل تحلل مركبات Σ PAHs عند أزمنة تشغيل جهاز التكهف الهيدروديناميكي (5 و 10 و 15 و 20 و 25 و 30 min) شتاءً وصيفاً كما هو مبين في الشكل (13)، والذي يمثل ميل المستقيمات الخطية ومعادلتها من الدرجة الأولى.

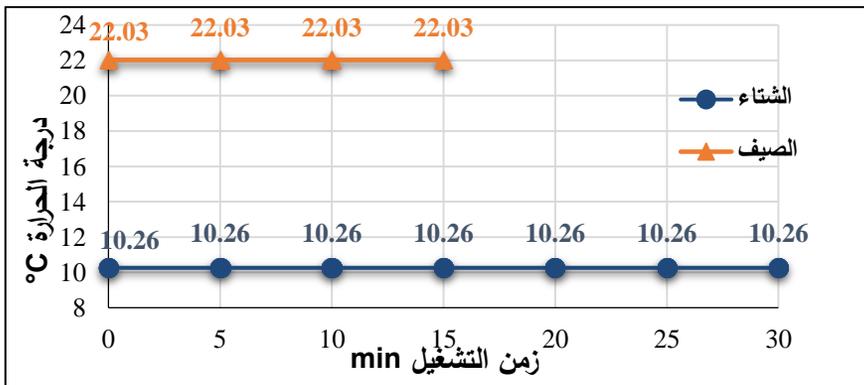


الشكل (13) ثابت معدل التحلل Σ PAHs عند الضغط 5 bar صيفاً وشتاءً

لوحظ تزايد في ثابت معدل التحلل مع زيادة زمن التكيف شتاءً وصيفاً، وكانت قيمته صيفاً أكبر من شتاءً، حيث بلغت قيمته 0.148 min^{-1} شتاءً و 0.459 min^{-1} صيفاً عند الضغط 5 bar.

ث - درجة الحرارة

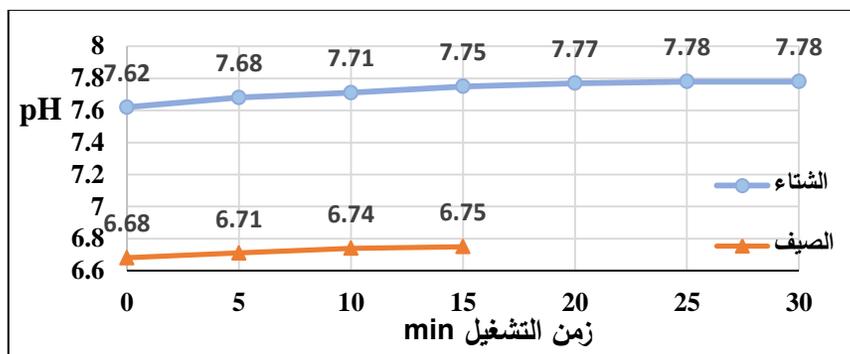
يبين الشكل (14) ثبات قيم درجات الحرارة خلال عملية التكيف، فقد كانت القيم شتاءً ثابتة 10.26°C ، وكانت صيفاً ثابتة 22.03°C ، ويعزى ذلك إلى خزان تبريد منظومة المعالجة الذي حافظ على درجات الحرارة ثابتة.



الشكل (14): ثبات قيم درجات الحرارة خلال عملية التكيف صيفاً وشتاءً

ج - درجة الحموضة pH

يبين الشكل (15) تغيرات طفيفة في قيم الـ pH خلال عملية التكيف، ففي الشتاء تراوحت القيم ما بين 7.62 كقيمة دنيا و7.78 كقيمة عليا، بينما في الصيف تراوحت ما بين 6.68 كقيمة دنيا و6.75 كقيمة عليا، ويعزى ذلك إلى توليد جذور الهيدروكسيل خلال عملية التكيف، والتي أدت إلى هذا الارتفاع الطفيف في قيم الـ pH [13,15].



الشكل (15): تغيرات قيم الـ pH خلال عملية التكيف صيفاً وشتاءً

ح - الناقلية الكهربائية تقاس بوحدة مايكروسيمنس/سم ($\mu\text{s}/\text{cm}$)

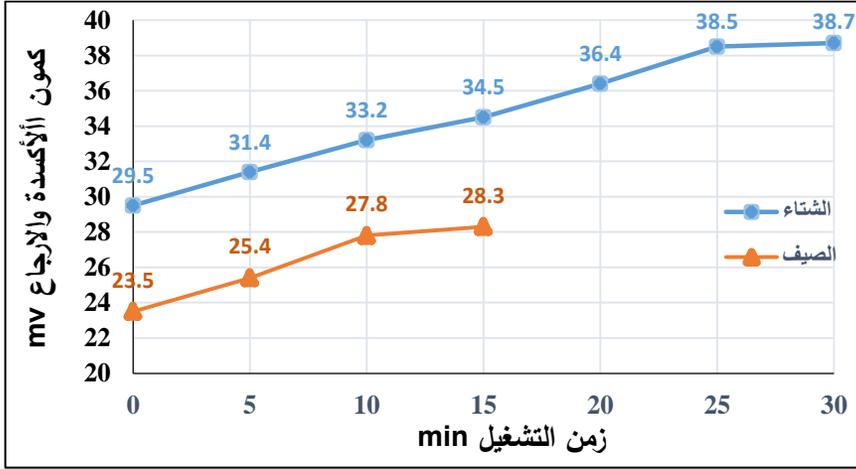
لوحظ ارتفاع في قيمة الناقلية الكهربائية خلال عملية التكيف من القيمة 585 $\mu\text{s}/\text{cm}$ إلى 601 $\mu\text{s}/\text{cm}$ في الشتاء، وارتفعت من القيمة 470 $\mu\text{s}/\text{cm}$ إلى 480 $\mu\text{s}/\text{cm}$ في الصيف عند الزمن 15 min كما هو مبين في الشكل (16).



الشكل (16): تغيرات قيم الناقلية الكهربائية خلال عملية التكيف صيفاً وشتاءً

خ - كمون الأكسدة والإرجاع

لوحظ ازدياد في قيم كمون الأكسدة والإرجاع خلال عملية التكهف كما مبين في الشكل (17)، وتراوحت قيمته شتاءً من 29.5 mv عند بداية التشغيل لترتفع قيمته حتى 38.7 mv عند زمن التشغيل 30 دقيقة، وصيفاً من 23.5 mv لترتفع قيمته حتى 28.3 mv عند 15 دقيقة. ويعزى ذلك إلى زيادة المواد المؤكسدة خلال عملية التكهف.



الشكل (17): تغيرات قيم كمون الأكسدة والإرجاع خلال عملية التكهف صيفاً وشتاءً

5. تأثير رقم التكهف

تم تحديد رقم التكهف C_v بالاعتماد على العلاقة (2) [15,16,17]:

$$C_v = \frac{P_2 - P_v}{\frac{1}{2}(\rho \times V_0^2)}$$

حيث:

P_2 - الضغط الجوي $P_2 = 101325 Pa$.

P_v - ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الحرارة شتاءً $10.26^\circ C$ ويساوي (1300

(Pa)، وقيمته (2750 Pa) عند درجة الحرارة صيفاً $22.03^\circ C$.

ρ - كثافة المياه $[1000 kg/m^3]$.

V_0 - سرعة المياه خلال مرورها عبر الثقوب $[m/s]$.

$$C_V = \frac{101325 - 1300}{\frac{1}{2}(1000 * V_0^2)}$$

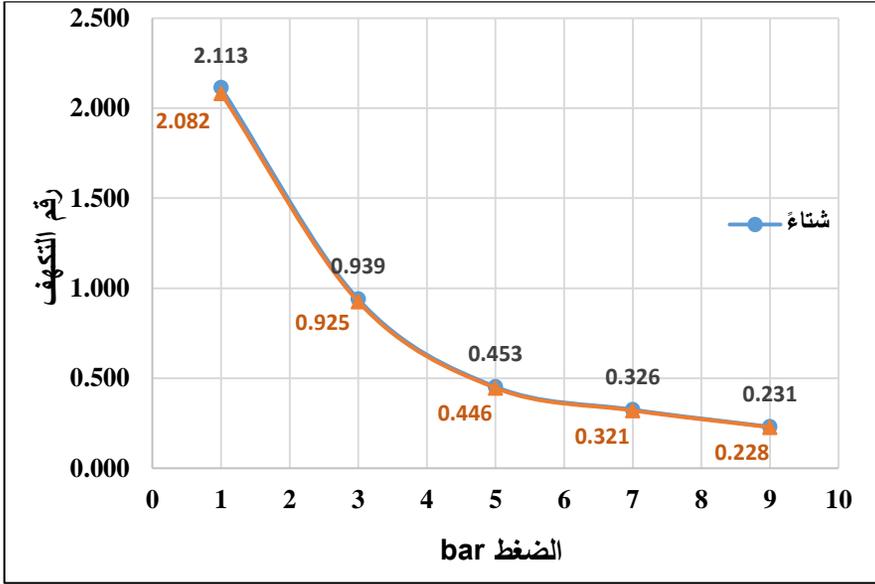
وكان C_V صيفاً:

$$C_V = \frac{101325 - 2750}{\frac{1}{2}(1000 * V_0^2)}$$

يوضح الجدول (7) قيم رقم التكيف C_V ، ويظهر الشكل (18) تناقصاً في رقم التكيف مع زيادة الضغط. كما لوحظ أن تغيرات ضغط المدخل المطبق تؤثر بشكل كبير على مسار وشدة عملية التكيف، فأتثناء زيادة الضغط تزداد سرعة المياه ويتناقص رقم التكيف وتزداد كفاءة الإزالة [19, 20].

الجدول (7): قيم رقم التكيف عند تغيرات الضغوط

رقم التكيف C_V		السرعة V_0 m/s	التدفق m^3/s	مساحة الثقوب m^2	الضغط المطبق bar
صيفاً	شتاءً				
2.082	2.113	9.76	0.000183	0.00001884	1
0.925	0.939	14.441	0.000275		3
0.4461	0.453	21.01	0.000396		5
0.321	0.326	24.77	0.000467		7
0.228	0.231	29.4	0.000554		9



الشكل (18) : تناقص قيم رقم التكيف C_v مع زيادة الضغط

لوحظ أن هناك تناقصاً في رقم التكيف مع تزايد الضغط بسبب زيادة السرعة، وكانت قيم C_v متقاربة في الصيف والشتاء، حيث بلغ رقم التكيف شتاءً وصيفاً 2.113 و 2.082 على التوالي عند الضغط 1 bar، وتناقصت قيمته مع زيادة الضغط حتى بلغت 0.231 و 0.228 شتاءً وصيفاً على التوالي عند الضغط 9 bar. وهذا ما أكدته الدراسات السابقة تناقص رقم التكيف مع زيادة الضغوط [12,13,14].

6. مردود التكيف

تم حساب مردود عملية التكيف بالعلاقة (6)، والذي يعبر عن نسبة مقدار تفكك مركبات الـ PAHs (كمية المركبات المتفككة في المياه المدروسة والتي حجمها 33 L) إلى الطاقة الموردة إلى النظام خلال زمن التشغيل عند الضغط المطبق 5 bar.

$$Cavitation\ yield\ (ng/j) = \frac{amount\ of\ (\sum\ PAHs)\ degraded}{H \times \rho \times g \times Q \times t}$$

حيث: H - ضاغط المضخة 5 bar [50 m].

ρ - كثافة السائل [kg/m³].

g - تسارع الجاذبية [m/s²].

Q - معدل التدفق الحجمي [0.000396 m³/s].

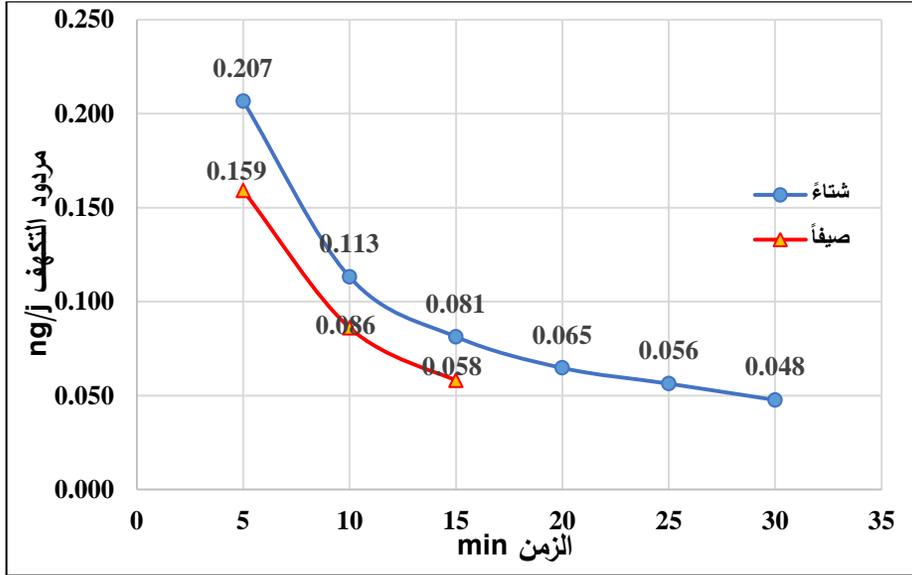
t - زمن المعالجة [s].

$$Ye = \frac{\text{كمية (}\sum PAHs\text{) المتفككة}}{50 \times 1000 \times 9.81 \times 0.000396 \times t}$$

يوضح الجدول (8) والشكل (19) تناقصاً في المردود مع زيادة الزمن عند الضغط bar 5.
5.

الجدول (8): تغيرات قيم مردود التكيف عند الضغط 5 bar صيفاً وشتاءً

مردود التكيف ng/j		كمية المركبات المتفككة صيفاً ng		كمية المركبات المتفككة شتاءً ng		الزمن t min
صيفاً	شتاءً	التركيز * 33	التركيز ng/L	التركيز * 33	التركيز ng/L	
0.159	0.207	9365.301	283.797	12168.09	368.73	5
0.086	0.113	10133.788	307.0845	13312.53	403.41	10
0.058	0.081	10246.5	310.5	14355.99	435.03	15
-	0.065	-	-	15231.15	461.55	20
-	0.056	-	-	16577.55	502.35	25
-	0.048	-	-	16830	510	30



الشكل (19): تغيرات قيم مردود التكيف مع الزمن عند الضغط 5bar

وجد أن قيمة كفاءة استخدام الطاقة (مردود التكيف Y_e) تتناقص مع زيادة الزمن في الصيف والشتاء، وكانت قيمة Y_e أعلى في الشتاء لأن كمية المركبات المتككة شتاءً أكبر من الصيف عند الاستهلاك ذاته للطاقة الكهربائية، حيث بلغت 0.207 ng/j عند الزمن 5 min ، وتناقصت مع زيادة الزمن لتبلغ 0.048 ng/j عند الزمن 30 min ، وفي الصيف تناقصت من القيمة 0.159 ng/j عند الزمن 5 min ، واستمرت بالتناقص لتبلغ 0.058 ng/j عند الزمن 15 min . أي أن هناك تزايد في كمية الكهرباء الفعلية المستهلكة اللازمة لتفكيك المركبات مع زيادة الزمن عند الضغط 5 bar ، وتتوافق مع نتائج الدراسات [17, 18].

5- الاستنتاجات والتوصيات:

1- الاستنتاجات

- 1 - أثبتت تقنية التكيف باستخدام الصفيحة المثقبة فعاليتها في إزالة مركبات PAHs من مياه بحيرة سوريت، وكانت هذه النسبة صيفاً أكبر من الشتاء.
- 2 - لوحظ ازدياد نسبة إزالة (Σ PAHs) عند تطبيق ضغط متزايد من 1 إلى 9 bar مع زيادة زمن التشغيل وعدد مرات التدوير. حيث بلغت 100% عند الضغط 5 bar والزمن 30 دقيقة شتاءً و 15 دقيقة صيفاً، والذي توافق مع عدد مرات التدوير (LC = 24) شتاءً و (LC = 12) صيفاً.
- 3 - لوحظ تناقص مردود التكيف بزيادة الضغط وزمن التشغيل، وكانت قيمته الأعلى شتاءً.

2 - التوصيات

- 1- إجراء دراسات بشكل دوري ومستمر على المياه العذبة للكشف عن المركبات الثابتة الأخرى كالمبيدات والمضادات الحيوية والفينولات وغيرها.
- 2 - مقارنة كفاءة تقنية التكيف باستخدام الصفائح المثقبة وأنبوب فتوري.
- 3- دراسة تأثير إضافة المؤكسدات كبيروكسيد الهيدروجين والأوزون وفينتون على كفاءة التكيف.
- 4- دراسة تأثير تغيير شكل الثقوب وعددها على كفاءة الإزالة.

- [1] LI, Z., JENNINGS, A., 2018 - Global variations in pesticide regulations and health risk assessment of maximum concentration levels in drinking water, **Journal of Environmental Management 212 USA**, 384-394.
- [2] KEE, Y. L., MUKHERJEE, S., PARIATAMBY, A., 2015 - Effective remediation of phenol,2,4-bis(1,1-dimethylethyl) and bis(2-ethylhexyl) phthalate in farm effluent using Guar gum – Aplant based biopolymer. **Chemosphere**, 136, 111-117.
- [3] THUY, T., T.,2015 - Effects of ddt on environment and human health, **J Educ Soc Sci 2**, 108 –114.
- [4] TANG, H. P. O., 2013 Recent development in analysis of persistent organic pollutants under the Stockholm Convention, **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, 45, 48-66.
- [5] AKINYEYE, R. O., ADEBAWORE, A. A., AWOKUNMI, E. E., OLANIPEKUN, E. O., 2016 - Evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons in water from hand dug wells at Ile-Oluji, Nigeria. **IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)**, Vol. 10., PP 112-119.
- [6] LI, G., SHIMIN Wu, S., LIN WANG, L., CASIMIR, C., AKOH, C., C., 2016 -Concentration, dietary exposure and health risk estimation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in youtiao, **a Chinese traditional fried food, Food Control 59**, 328- 336.
- [7] CHEN, M., XU, P., ZENG, G., YANG, C., HUANG, D., ZHANG, J., 2015 -Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavymetals by composting: Applications, microbes and future research needs. **Biotechnology Advances 33**, 745–755.
- [8] KAMIŃSKA, G., KUDLEK, E., DUDZIAK, M., BOHDZIEWICZ, J., 2016 Removal of biologically active

substances during mechanical-biological wastewater treatment (in Polish). **Inżynieria Ekologiczna**, 50, 201–209.

[9] CRINIA, N. M., WINTERTONB, P., LEE D. WILSOND, L. D., 2018 -Water-insoluble -cyclodextrin–epichlorohydrin polymers for removal of pollutants from aqueous solutions by sorption processes using batch studies: A review of inclusion mechanisms _ **Progress in Polymer Science** 78, 1–23.

[10] SOGBANMU, T. O., OSIBONA, A. O., OTITOLOJU A. A., 2019-Specific polycyclic aromatic hydrocarbons identified as ecological risk factors in the Lagos lagoon, Nigeria, **Environmental Pollution**, 255. 113295.

[11] AZKI, FAWAZ, ALABDALLA, ABDULKARIM, 2013, New Hydrogeological data of Al-Sin aquifer with the help of geoelectrical prospecting, **Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series** Vol. (35) No. (3), 97-100.

[12] DINDAR, E., 2016 -An Overview of the Application of Hydrodynamic Cavitation for the Intensification of Wastewater Treatment Applications: A Review. **Innov Ener Res** 5: 137.

[13] GAĞOLA, M., PRZYJAZNYB, A., BOCZKAJA, G., 2018-Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes based on cavitation – A review. **Chemical Engineering Journal** 338, 599–627.

[14] TAO, Y., CAI, J., HUAI, X., LIU, B., & GUO, Z. 2016, Application of hydrodynamic cavitation to wastewater treatment. **Chemical engineering & technology**, 39(8), 1363-1376.

[15] MUSMARRA, D., PRISCIANDARO, M., CAPOCELLI, M., KARATZA, D., IOVINO, P., CANZANO, S., LANCIA, A., 2016 -Degradation of ibuprofen by hydrodynamic cavitation: Reaction pathways and effect of operational parameters. **Ultrasonics Sonochemistry** 29. 76–83.

[16] HILARES, R., SANTOS, J., AHMED, M., JEON, S., SILVA, S., HAN, J., 2016, Hydrodynamic cavitation-assisted

alkaline pretreatment as a new approach for sugarcane bagasse biorefineries, **Bioresource Technology** 214, 609–614.

[17] PANDA, D., MANICKAM, S., 2018 - Hydrodynamic cavitation assisted degradation of persistent endocrine-disrupting organochlorine pesticide Dicofol: Optimization of operating parameters and investigations on the mechanism of intensification, **Ultrasonics Sonochemistry**.

[18] SIVAKUMAR, M. & PANDIT, A., B., 2002 -Wastewater treatment: a novel cavitational technique. **Ultrasonics Sonochemistry** 9. 123–131.

[19] CIEPLAK, J., S., 2017 -Removal of hardly bio-degradabile organic compounds from wastewater by means of reagentless methods. **Journal of Ecological Engineering**. Volume 18, Issue 5, Sep. pages 63–71.

[20] RANDHAVANE, S. B., (2019). Comparing geometric parameters in treatment of pesticide effluent with hydrodynamic cavitation process. **Environmental Engineering Research**, 24(2), 318-323.

[21] AMMAR, GHATFAN -Study of the Flood in Al-sen River, **Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research- Engineering Sciences Series** Vol (28) No (2), 2006.

[22] UNEP, "UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME". Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. Reference Methods for Marine Pollution Studies, No. 20,1992,78.

[23] The Syrian Arab Standards and Metrology Organization for Drinking Water No 45, 2017.