

مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الهندسية المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 47 . العدد 11

1447 هـ - 2025 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية	أ. د. وليد حمادة
رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية	د.نعيمة عجيب

عضو هيئة التحرير	د. محمد فراس رمضان
عضو هيئة التحرير	د. مضر سعود
عضو هيئة التحرير	د. ممدوح عبارة
عضو هيئة التحرير	د. موفق تلاوي
عضو هيئة التحرير	د. طلال رزوق
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الجاعور
عضو هيئة التحرير	د. الياس خلف
عضو هيئة التحرير	د. روعة الفقس
عضو هيئة التحرير	د. محمد الجاسم
عضو هيئة التحرير	د. خليل الحسن
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. أحمد حاج موسى

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

. البريد الإلكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

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 حمص

1. دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننًا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
28-11	د . رلى زهير طه د.إحسان الطرشة	دراسة تحليلية للسلوك الفتلي لجوانز البيتونية المسلحة المدعمة بالمونة الاسمنتية المقواة بالنسيج (TRM)
64-29	حسين الحسين د.شعبان حديد د.مرتضى علي	تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها
94-65	م. بتول طه الشامي د.هويدا خزام	تأثر عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة
14-95	محمد فواز عباس د.عبد الحميد كيخيا د.هشام المما	دراسة تجريبية في مقاومة الثقب للبلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP

دراسة تحليلية للسلوك الفتلبي لجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالمونة الاسمنتية المقواة بالنسيج (TRM)

د. رلى زهير طه*

د. إحسان الطرشة**

□ ملخص □

يعد تدعيم العناصر البيتونية المسلحة أمراً ضرورياً للحفاظ على البنية التحتية المتقادمة وضمان توافقها مع المعايير الحديثة. وبينما يركز التصميم الإنشائي التقليدي على القوى المحورية وقوى القص وعزوم الانعطاف، يمكن أن تكون قوى الفتل عاملاً حرجاً في بعض أنواع الجوائز البيتونية المسلحة. تُستخدم تقنيات مثل البوليمرات المسلحة بالألياف (FRP) والمونة الاسمنتية المسلحة بالنسيج (TRM) لتحسين الأداء ضد الفتل، إلا أن الدراسات حول فعاليتها لا تزال محدودة. تبحث هذه الدراسة في تأثير تقنية (TRM) باستخدام الألياف البازلتية على مقاومة الفتل في الجوائز البيتونية المسلحة. تم إعداد نموذج تحليلي يقارن بين جوائز غير مدعم وجائزين مدعمن باستخدام طبقة واحدة من ألياف البازلت (بقطر 0.064mm وبفتحات شبكية 25×25mm) مع تطويق من جانبيين وثلاث جوانب. أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في الصلابة ومقاومة الفتل، حيث حقق التطويق من ثلاث جوانب زيادة في المقاومة بمقدار 65% وتأخر في بدء التشقق. أما التطويق من جهتين فحسن الأداء لكنه أظهرت انفصال في المنطقة الرابطة بين الجوائز البيتوني وطبقة التدعيم.

الكلمات المفتاحية: المونة الاسمنتية المسلحة بالنسيج، الفتل، التدعيم، الألياف البازلتية.

* مدرسة- قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة الوادي الخاصة- سورية.
** أستاذ- قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- الجامعة الوطنية الخاصة- سورية.

Analytical Study of The Torsional performances of strengthened Reinforced concrete beams using Textile-Reinforced Mortar (TRM)

Dr. Roula Taha*

Dr. Ihssan Tarsha**

□ ABSTRACT □

Strengthening reinforced concrete (RC) elements is vital for maintaining aging infrastructure and meeting modern standards. While conventional design focuses on axial, shear, and bending actions, torsion can be critical in certain RC beam configurations. Techniques like Fiber-Reinforced Polymers (FRP) and Textile-Reinforced Mortar (TRM) are used to enhance torsional performance, though research on their effectiveness remains limited.

This study examines investigates the effect of (TRM) with basalt fiber textiles on RC beams' torsional resistance of selected RC beams. An analytical model compared one unstrengthened beam with two beams strengthened using a single basalt fiber layer (0.064 mm diameter, 25×25 mm mesh) in two- and three-sided wrapping. The results showed significant stiffness and torsional strength gains, with three-sided wrapping achieving a 65% strength increase and delayed cracking. Two-sided wrapping improved performance but suffered from debonding at the concrete–strengthening interface.

Key words: Textile-Reinforced Mortar, Torsion, Strengthen, Basalt - based textile, ABAQUS.

***Doctor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Al-Wadi International University, Syria.**

****Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Homs University, Syria.**

1-مقدمة:

أصبح ترميم (Repair) وإعادة تأهيل (Rehabilitation) المنشآت القائمة جزءاً أساسياً من أعمال البناء. إذ يتضرر البيتون المسلح في المنشآت الهندسية بسبب استمرار تعرضها لأحمال أكبر من الأحمال التصميمية، عدم توخي الدقة في التصميم، عدم السيطرة على جودة المواد المكونة للبيتون المسلح أثناء التنفيذ، هبوط بالأساسات وغيرها من الأسباب، الأمر الذي جعل الباحثون يفكرون في إيجاد وسائل كفيلة بترميم وإعادة تأهيل الهياكل البيتونية المسلحة لكي تؤدي وظيفتها بشكل فعال وآمن قبل أن يصبح الاستبدال أو الهدم ضرورة حتمية [2]. يوجد في مجال التدعيم (إعادة التأهيل) عدد كبير من الدراسات التي تناولت القص والانعطاف إلا أن تأثيرات الفتل غالباً ما كان يتم تجاهلها بسبب الطبيعة المعقدة للفتل بالإضافة لمرافقته لقوى أخرى. تسلك العناصر الإنشائية المدعمة سلوكاً أكثر تعقيداً مقارنةً بالعناصر من دون تدعيم، لذلك من الضروري فهم سلوك الجوائز البيتونية المسلحة تحت تأثير الفتل [8]. منذ ما يقرب من عقد من الزمن، تم تقديم مادة مركبة مبتكرة تعتمد على الاسمنت تعرف باسم المونة المسلحة بالنسيج (TRM) كبديل للعديد من تقنيات التدعيم ولاسيما البوليميرات المسلحة بالألياف (FRP)، وذلك بهدف معالجة مشاكل التكلفة والمتانة. ومنذ ظهورها لاقت TRM اهتماماً متزايداً [6]. تتكون المونة المسلحة بالنسيج (TRM) من ألياف عالية المقاومة مثل الكربون أو الزجاج أو البازلت، يتم تشكيلها على هيئة أنسجة ودمجها مع مواد رابطة غير عضوية مثل المونة الاسمنتية، مكونةً شبكة مفتوحة [5]. تعد (TRM) حلاً مناسباً لأعمال التدعيم لأنها تجمع بين الخصائص الممتازة للمواد المركبة (مثل المقاومة العالية، الوزن الخفيف ومقاومة التآكل) والخصائص الفريدة للمونة. كما أنها تدمج بفعالية بين مقاومة الشد العالية للأنسجة ومقاومة الضغط للمونة مما يؤدي إلى إنتاج مادة مركبة توفر مقاومة عالية على الفتل وصلابة محسنة [3]. يفضل العديد من الباحثين إجراء الدراسات التحليلية لتقييم السلوك الإنشائي للعناصر المدروسة نظراً لأن تحليل العناصر المنتهية (FE) يوفر وسيلة

إن التفاعل في نظام التدعيم القائم على مركب من المونة الاسمنتية والألياف يمكن تحسينه عن طريق استبدال ألواح الألياف بشبكات ألياف ثنائية الاتجاه. يمكن تعديل الخصائص الميكانيكية للنسيج بسهولة من خلال تعديل المسافة بين الخيوط، التي يمكن ضبطها وفقاً لدرجة التغلغل المطلوبة للمونة عبر الفتحات [6]. يجب أن تتمتع المونة المستخدمة بخصائص ربط قوية، وانكماش قليل، وقابلية عمل عالية، وقوة شد وقوة قص كبيرة لتجنب فشل الارتباط بين الركييزة (المونة) والشبكات النسيجية [5].

3-2 دراسة مرجعية:

لقد تم تطبيق شبكات النسيج لتدعيم المواد المعتمدة على الاسمنت منذ الثمانينات، إذ بدأ التركيز مؤخراً يتحول ويشكل متزايد من الروابط المعتمدة على الإيبوكسي إلى الروابط المعتمدة على الأسمنت.

إن أنماط الانهيار التي قد تواجهها هذه الأنظمة من التدعيم هي سحب شبك الألياف من المونة عندما لا يكون التماسك بينهما كافياً، فقدان الترابط الميكانيكي والكيميائي بين الألياف والمونة في منطقة الالتقاء، وفصل طبقة (TRM) عن سطح الجائر البيتوني نتيجة فشل الالتصاق بسبب ضعف تحضير السطح البيتوني [5]. ورغم التحديات الناتجة عن تأمين التصاق موثوق بين طبقة التدعيم والعنصر الإنشائي المدعم فقد ظهرت نتائج مشجعة من استخدام (TRM) في تقوية الجوائز البيتونية المسلحة على عزوم الانعطاف وقوى القص [5,6] كما في الأبحاث التي أجراها MASSOD & LORETO وهناك حاجة للمزيد من الدراسات والاختبارات ولاسيما عند التعرض للفشل. قد تساعد المونة الاسمنتية المسلحة بالنسيج (TRM) في تقليل سمك الغطاء الخرساني المطلوب لحماية الحديد من الصدأ، كما أن وزنه الذاتي منخفض وفعال في تحسين كل من أحمال الانهيار وسلوك التشوه للجوائز البيتونية المسلحة في كل من القص والانحناء [5].

قليل من الدراسات قد تناولت بشكل مباشر تأثير التدعيم بالمونة المسلحة بالنسيج (TRM) في تقوية الجوائز البيتونية المسلحة على الفتل، حيث أكد HUDHAIFA (2025) أن (TRM) يمكن أن يعزز قدرة الجوائز البيتونية المسلحة على مقاومة الفتل بشكل كبير مع الحفاظ على نمط

انهيار مرغوب فيه، مما يتجنب الانهيار الهش الذي يُلاحظ عادة في أنظمة (FRP) عند التعرض للفتل. كما أكدت العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية على تأثير التدعيم بالمونة المسلحة بالنسيج (TRM) على تحسين المطاوعة وتوزيع الشقوق. وقارن العديد من الباحثين بين (TRM) و (FRP) [5]، ووجدوا أداءً جيداً لـ (TRM) في مقاومة الأحمال الفتلّية، مع توزيع أفضل للإجهاد وأداء محسن على المدى الطويل تحت ظروف التحميل الدوري.

على الرغم من أن (TRM) أظهر فعاليته في تعزيز المقاومة الفتلّية في الجوائز البيتونية المسلحة، فإن مميزاته ونقاط ضعفه في التطبيقات المحددة بحاجة إلى مزيد من الاستكشاف. يمكن أن تقدم الدراسات المقارنة باستخدام الأساليب التجريبية، جنباً إلى جنب مع المحاكاة العددية المتقدمة مثل (FEA)، رؤى قيمة حول أدائهما تحت تأثير قوى الفتل. سيساعد هذا البحث المهندسين في اختيار المادة الأنسب لاحتياجات التقوية المحددة، مع مراعاة عوامل مثل التكلفة، والتوافر، والظروف البيئية، والأداء الهيكلي المطلوب.

3-3 الدراسة التحليلية:

تتضمن هذه الدراسة وضع نماذج تحليلية لثلاث جوائز بيتونية مسلحة باستخدام برنامج ABAQUS أحدها (جائز مرجعي) (BC) بأبعاد (250x125x1700)mm وجائزين تم تدعيمهما بتقنية (TRM) باستخدام الألياف البازلتية عندما تتفد طبقة التقوية من ثلاث جهات (BT-1) ومن جهتين (BT-2)، وتعرضها تحليلياً لقوى فتل ونستعرض في الجدول (1) الخصائص الميكانيكية للألياف البازلتية المستخدمة في طبقة (TRM) وفقاً للشركة المصنعة. تم تسليح الجوائز البيتونية بعد تصميمها على الفتل بالاعتماد على الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة بتسليح سفلي (2T12mm) من الأسفل وتسليح علوي 2T12 (mm) أما التسليح العرضي فقد استخدم أساور مغلقة بقطر (8mm) وتباعدها (100mm)، إجهاد البيتون على الضغط للجائز البيتوني والمونة الاسمنتية المغلفة لها (25 MPa)، وإجهاد الخضوع لفولاذ التسليح الطولي (450 MPa) وفولاذ التسليح العرضي (370 MPa) وذلك بالاعتماد على الدراسة التجريبية التي نفذت في مخبر البيتون لجوائز بيتونية مسلحة بنفس الأبعاد والتسليح والخاضعة للفتل [8-9]. تم تطبيق الفتل تحليلياً بشكل يحاكي آلية تطبيقه تجريبياً [4,8] وذلك

من خلال تطبيق قوة مركزة على جائز I فولاذي يستند الى ذراعين معدنيين يتوضعان بشكل متعاكس وملاصقين للمساند لضمان توليد قوى فتل صافية.

الجدول (1) الخصائص الميكانيكية للألياف البازلتية المستخدمة في طبقة TRM [3]

معامل بواسون μ	معامل المرونة (E) MPa	إجهاد الشد MPa	الكثافة Kg/m ³	أبعاد فتحة الألياف mm	سماكة الألياف البازلتية mm
0.22	31940	623	1740	25x25	0.064

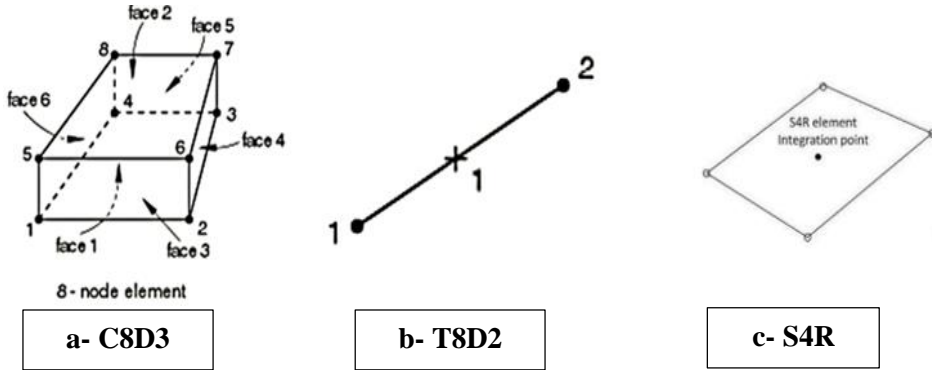
3-3-1 النموذج التحليلي:

تعد المونة المسلحة بالألياف (TRM) من المواد المركبة التي تفرض تحديات كبيرة في التحليل العددي بسبب السلوكيات غير الخطية المعقدة المصاحبة لها، مثل خضوع الفولاذ، وتلدّن الخرسانة، وتكوّن الشقوق والانهييار على الضغط. وعلى الرغم من أن العديد من الدراسات باستخدام نمذجة العناصر المحدودة (FEM) قد تناولت الجوائز البيتونية المسلحة تحت تأثير القص وعزوم الانعطاف، إلا أن الدراسات التي تركز على السلوك الفتلّي ما زالت محدودة [8]. في هذه الدراسة، تم تطوير نماذج ثلاثية الأبعاد غير خطية باستخدام برنامج ABAQUS بهدف التنبؤ بالأداء الفتلّي للجوائز البيتونية المسلحة والمقواة بنظام (TRM) من جانبيين وثلاثة جوانب.

من أجل تمثيل سلوك الجوائز الخرسانية المسلحة المختبرة بدقة، تم اعتماد نمذجة حجم الخرسانة باستخدام عناصر صلبة من نوع (C8D3)، وهي عناصر تتكوّن من ثماني عقد، كل منها تمتلك ثلاث درجات من الحرية تمثل الإزاحات في الاتجاهات الثلاثة (x, y, z) كما هو موضح في الشكل (a-2) وقد استُخدم هذا العنصر في تمثيل كل من الجائز الخرساني، وأذرع الفتلّ الفولاذية، وكذلك طبقة المونة. أما عناصر التسليح الطولي، وأساور التسليح العرضي، فقد تم تمثيلها باستخدام عناصر شعاعية من نوع (T8D2)، والتي تتكون من عقدتين، تمتلك كل منهما ثلاث درجات من الحرية، كما هو موضح في الشكل (b-2). في حين تم تمثيل النسيج البازلتي باستخدام عناصر قشرية رباعية العقد من نوع (S4R)، قادرة على محاكاة كل من الإجهادات

دراسة تحليلية للسلوك الفتلتي لجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالمونة الاسمنتية المقواة بالنسيج (TRM)

المستوية وتأثيرات الانحناء، كما هو موضح في الشكل (2-C)، وذلك وفقاً لما ورد في [3]. (Elsanadedy,2013) تمت نمذجة النسيج البازلتى المرتب في اتجاهين متعامدين كمادة متباينة الخواص بسمك مكافئ يبلغ (0.064 mm) لكل طبقة، وهي خاصية ضرورية لضمان دقة التنبؤ بسلوك الأنسجة ضمن الأنظمة المركبة مثل أنظمة (TRM).



الشكل (2) العناصر المحدودة المستخدمة في النموذج التحليلي

إن تحقيق تفاعل فعال بين الخرسانة والتسليح شرط رئيسي للوصول الى سلوك يحاكي السلوك الحقيقي للجوائز البيتونية ولتحقيق ذلك، تم نمذجة التسليح كمنطقة مدمجة (Embedded Region) لربط عناصر التسليح بالخرسانة بشكل مناسب. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام قيد الربط (Tie Constraint) لربط أذرع الفتل بالجائز البيتوني بهدف نقل الأحمال بشكل دقيق خلال التحليل العددي. كما تم تطوير نماذج العناصر المحدودة من خلال تضمين النسيج القاعدي المصنوع من البازلت ضمن طبقة المونة، وذلك لضمان التكامل البنيوي لمحاكاة الأداء المركب لنظام (TRM).

أما مقاربات النمذجة للمواد فتمت على الشكل التالي: اعتمد نموذج اللدونة المتضررة (damaged plasticity model (CDP) لمحاكاة سلوك البيتون حيث يتيح هذا النموذج تمثيل السلوك غير الخطي للبيتون [1]، بما في ذلك التشوه اللدن وتكوّن الشقوق وفق القيم التي تم اعتمادها والواردة في الجدول (2).

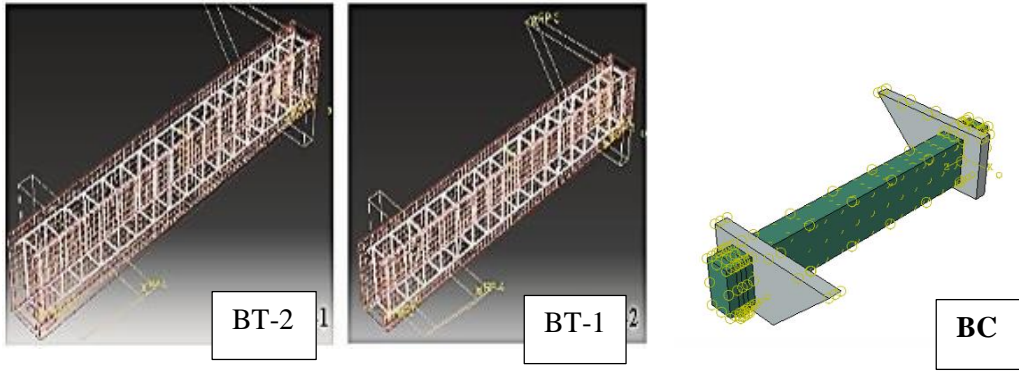
الجدول (2) البيانات والمعاملات المعتمدة في نموذج CDP

معامل بواسون	معامل المرونة للخرسانة	معامل اللزوجة (Viscosity parameter)	سطح التلدن	نسبة الضغط الثنائي إلى الأحادي	كمون التدفق اللامركزي (Eccentricity Flow potential)	زاوية الاحتكاك الداخلية للخرسانة (Friction angle)
(μ)	(Ec)		(k)	(f_{bo}/f_{co})		(\emptyset)
0.2	24263.11	0.0005	0.667	1.16	0.1	31

بينما تم تطبيق النموذج المرن-اللدن (Elastic-Plastic) على قضبان التسليح الفولاذية الموجودة داخل البيتون، وذلك بهدف تمثيل خصائص التلدن والتصلب للفولاذ تحت تأثير الأحمال بشكل دقيق. أما النسيج القاعدي المدمج بالمونة والمصنوع من البازلت فنمذج باستخدام (Elastic-Lamina)، حيث يُعد التمثيل الدقيق للخصائص الموحدة في ثلاث اتجاهات متعامدة (Orthotropic) أمراً ضرورياً لنمذجة المواد المركبة المدمجة داخل المونة، كما هو موضح في الجدول (3). وقد ساهمت هذه النماذج المادية في تقديم تمثيل شامل وواقعي لمكونات نظام الجائز البيتوني المسلح. كما يظهر في الشكل (3).

الجدول (3) الخصائص المستخدمة في نموذج [1,3] Elastic-Lamina

الكثافة	معامل المرونة E1, E2, E3	معامل بواسون μ	معامل القص G1, G2, G3	اجهاد الشد	السماكة
Kg/m ³	MPa		MPa	MPa	mm
1740	31940	0.22	13090	623	0.064



الشكل (3) النموذج التحليلي للجوائز المرجعي والجائزين المقويين بالـ (TRM)

في هذه الدراسة، تم اختيار مقاس شبكة Mesh بمقدار (25mm) لتحقيق توازن بين كفاءة الحسابات العددية ودقة تمثيل الاستجابات الإنشائية الهامة. وقد تم اعتماد التحليل الستاتيكي كخطوات (Static Step) باستخدام فترات زمنية مناسبة، مع أخذ اللاخطية الهندسية بعين الاعتبار، وذلك لمحاكاة سلوك الجوائز المختبرة بشكل واقعي. تم استخراج عزم التشقق وعزم الانهيار، وزاويتي الفتلّ المقابلتين لهما من مخرجات برنامج ABAQUS باستخدام أدوات التحكم في النتائج (Output Control)، كما تم رسم العلاقة بين عزم الفتلّ (T) وزاوية الفتلّ النسبية الموافقة (θ) من أجل كل نموذج من النماذج المدروسة الممثلة للجوائز المختبرة. بالإضافة إلى ذلك، تمت مراقبة تطور وانتشار الشقوق منذ لحظة ظهورها الأولى وحتى انهيار الجوائز.

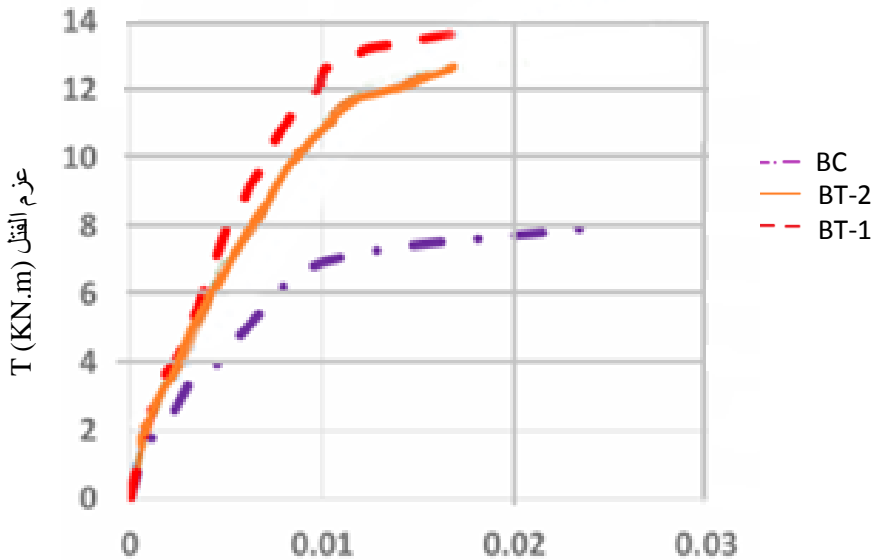
4- النتائج ومناقشتها:

تم عرض العلاقة بين عزم الفتلّ (T) وزاوية الفتلّ النسبية (θ) المستخرجة من نماذج العناصر المحدودة لجائزين مدعّمين بالنسيج البازلتي وجائز مرجعي غير مقوى كما يظهر في الشكل (4) بهدف إجراء مقارنة شاملة. كما تم تلخيص القيم العددية المقابلة، والتي تشمل عزم التشقق، عزم الانهيار، زاوية الفتلّ عند ظهور الشق الأول وزاوية الفتلّ عند الانهيار، في الجدول (4).

أظهرت استجابات جميع النماذج سلوكاً مشابهاً يمكن تقسيمه إلى ثلاث مراحل رئيسية: تمثّل المرحلة الأولى السلوك المرّن قبل التشقق، والذي تميّز بعلاقة خطية بين عزم الفتلّ وزاوية

الفتل، أما المرحلة الثانية فقد شهدت بدء التشققات وتطورها إلى أن حدث خضوع لتسليح الفولاذ الداخلي. بينما عبّرت المرحلة الثالثة عن السلوك بعد الخضوع، حيث بدأ العزم بالتناقص تدريجياً حتى الوصول إلى الانهيار النهائي للجائز.

في بداية التحميل، أظهرت منحنيات العزم مقابل زاوية الفتل سلوكاً شبه خطي مع صلابة ابتدائية عالية، حتى ظهور أول شق، وهو ما يمثل المرحلة الأولى غير المشققة. بعد حدوث التشقق، استمر السلوك بشكل شبه خطي، ولكن مع انخفاض ملحوظ في الصلابة.



الشكل (4) يظهر المنحني البياني لزاوية الفتل النسبية الناتجة عن تأثير عزم الفتل للجوائز المدروسة

في المرحلة الثانية من السلوك (المرحلة المرنة-اللدنة) تراوحت قيم العزم في الجائز المرجعي (BC) بين (4.468KN.m - 7.341KN.m)، في حين أظهرت الجوائز المقواة بـ (TRM) (BT-1) و (BT-2) نطاقات عزم أعلى تراوحت بين (7KN.m-11KN.m)، مما يشير إلى تفعيل مساهمة مواد التقوية في تعزيز المقاومة الفتلية مع اقتراب النماذج من القدرة النهائية، بدأ السلوك في إظهار لاختية واضحة وانخفاض إضافي في الصلابة. حيث سجلت الجوائز (BT-

دراسة تحليلية للسلوك الفتلي لجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالمونة الاسمنتية المقواة بالنسيج (TRM)

نسبة تحسن عزم الانهيار بالنسبة للجوائز المرجعية	زاوية الدوران النسبية عند الانهيار (rad/m)	عزم الفتل عند الانهيار T_{ult} (KN.m)	زاوية الدوران النسبية عند الشق الأول (rad/m)	عزم الفتل عند الشق الأول (عزم التشقق) T_{cr} (KN.m)	اسم الجائز
	0.025	8.046	0.00523	4.468	BC
65%	0.0169	13.649	0.00524	8.068	BT-1 من ثلاث جهات
56%	0.01662	12.556	0.00483	6.765	BT-2 من جهتين

الجدول (4) مقارنة عزوم الفتل وزوايا الدوران النسبية للجائز المرجعي والجوائز المدعمة

1) و (BT-2) انخفاضاً حاداً في الأداء بعد مرحلة الخضوع، مع زيادة محدودة جداً في زاوية الفتل أو عزم الانهيار.

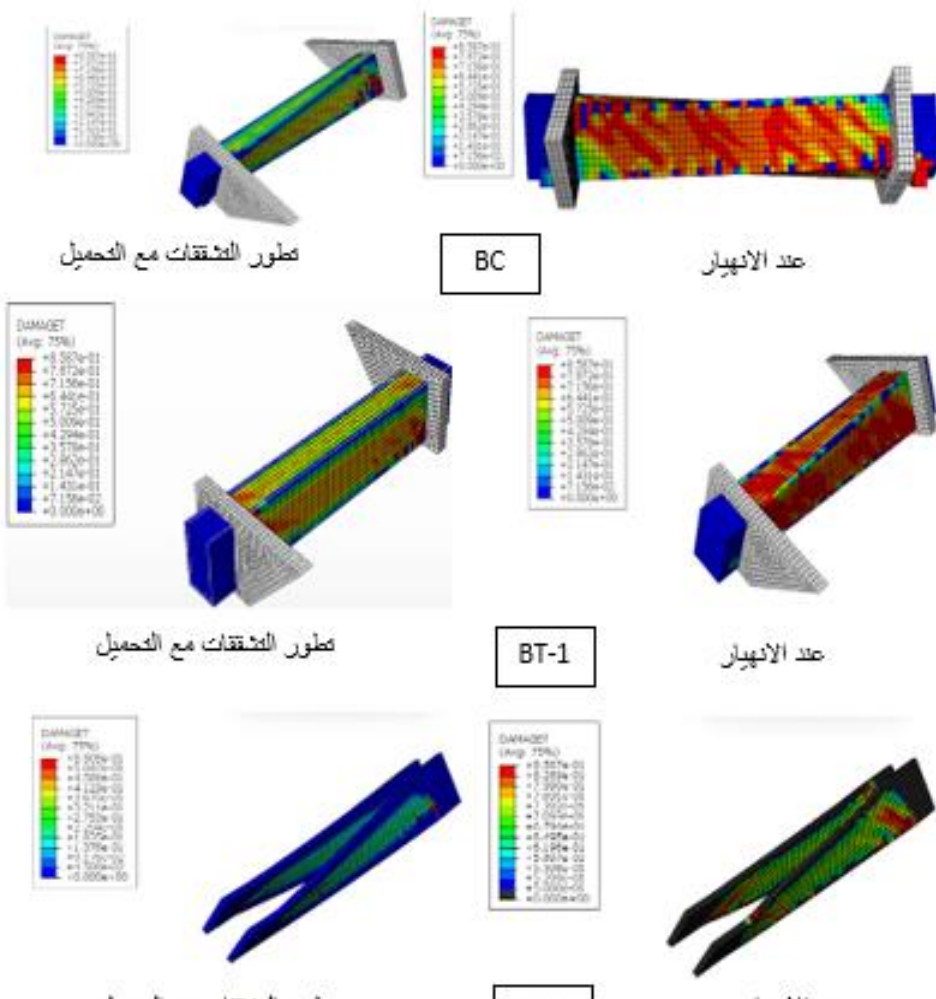
أظهرت النماذج المقواة سواء من جهتين أو من ثلاث جهات قدرة جيدة على التحكم في التشقق. وقد ساهم التقوية من ثلاث جهات في تأخير ظهور الشقوق الأولى، حيث بلغ عزم الفتل الموافق لظهور الشق الاول (8.068 KN.m) في (BT-1)، بزيادة قدرها حوالي 44 % مقارنة بالجائز المرجعي (BC). بصورة عامة، أظهرت الجوائز المقواة من ثلاث جهات أداءً فتلياً أفضل من تلك المقواة من جانبين فقط، كما هو موضح في الشكل (9)، ويُعزى ذلك إلى تحسين آلية الربط وتقليل فرص الانفصال أو الانزلاق تحت الأحمال المرتفعة.

وقد أثبت (TRM) فعاليته كنظام تقوية حسن من قدرة التحمل. بينما بلغ الجائز المرجعي (BC) أقصى عزم بلغ (8.046 KN.m) عند زاوية قتل نسبية بلغت (0.0249 rad/m) حققت الجوائز المقواة زوايا مشابهة ولكن عند مستويات عزم أعلى بكثير. يظهر الشكل (10) تطور الشقوق في الجائز المرجعي (BC) خلال مرحلة التحميل الأولية وبعد الوصول إلى الانهيار وفق آلية أساسية كانت ناتجة عن القتل، حيث ظهرت الشقوق بزاوية ميل تقارب 45 درجة بالنسبة للمحور الطولي للجائز. وقد تطورت هذه الشقوق المائلة لتشكل نمطاً حلزونياً مستمراً حول السطح الخارجي للجائز

كما يظهر الشكل (10) أن الجائز (BT-1) أبدى قدرة أفضل على التحكم في انتشار الشقوق مقارنة مع الجائز المرجعي ومع الجائز (BT-2)، حيث كانت الشقوق أقل عدداً وأكثر انتظاماً. أما في مرحلة الانهيار، أظهرت الجائز (BT-1) مقاومة فتلية أعلى، حيث سجلت عزوماً نهائية أكبر، كما هو موضح في الجدول (4)، مما يشير إلى سلوك أكثر صلابة وقدرة محسنة على التشوه اللدن.

دراسة تحليلية للسلوك الفتلتي لجوائز البيتونية المسلحة المدعمة بالمونة الاسمنتية المقواة بالنسيج (TRM)

تُظهر الأشكال أيضاً تركّزاً ملحوظاً للإجهادات عند الحافتين العلوية والسفلية للمقطع، وخاصة في نموذج العناصر المحددة للجائز المقوى بنظام (TRM) من جانبيين، كما هو موضح في الشكل (10). ويُعزى هذا السلوك إلى طبيعة التقييد غير المتصل في حالة التقوية من جانبيين، حيث يؤدي غياب الغلاف المستمر من ثلاث جهات على الأقل إلى ظهور مناطق ضعف محلية، تكون أكثر عرضة لانتشار الشقوق الحزونية الناتجة عن أحمال الالتواء.



الشكل (5) نمط تطور التشققات في الجوائز المرجعية والجوائز المقواة بـ (TRM) وصولاً لانهيار

5-الاستنتاجات والتوصيات:

• الاستنتاجات:

1- أظهرت الجوائز المقواة بنظام (TRM) (خصوصاً من ثلاث جهات) زيادة واضحة في عزم الانهيار مقارنةً بالجوائز المرجعي، حيث وصلت الزيادة إلى ما يقارب 50%، مما يدل على فعالية نظام التقوية في رفع القدرة القتلية.

2- ساهمت أنظمة التقوية، لا سيما عند التطويق من ثلاث جهات، في تأخير بداية التشقق وتحسين السيطرة على تطور وانتشار الشقوق، وهو ما انعكس في توزيع أكثر انتظاماً وأقل كثافة مقارنةً بالنماذج غير المقواة.

3- أبدت الجوائز المقواة، وخصوصاً (BT-1)، قدرة أكبر على التشوه بعد مرحلة الخضوع دون حدوث انهيار مفاجئ، مما يشير إلى تحسن واضح في السلوك اللدن وزيادة المطاوعة بالمقارنة مع النماذج الأخرى.

4- أظهرت النماذج المقواة من ثلاث جهات أداءً فتلياً أفضل من تلك المقواة من جانبيين فقط، ويُعزى ذلك إلى تحسين آلية الربط وتقليل فرص الانفصال أو الانزلاق تحت تأثير تزايد القوى الفتلية.

5- عانت (أظهرت) النماذج ذات التقوية من جانبيين فقط تركزاً للإجهادات عند الحواف، مما أدى إلى ظهور مناطق ضعف ساهمت في تسارع انتشار الشقوق الحلزونية، مما يؤكد أهمية الغلاف الكامل (ثلاثي الجوانب) لتحقيق أداء متوازن ومتين.

التوصيات:

1- من خلال نتائج التجارب نوصي بإمكانية استخدام المونة الاسمنتية المقواة بالنسيج ولاسيما البازلتى لتدعيم الجوائز البيتونية المسلحة المعرضة للقتل.

2- اختبار تأثير زيادة عدد طبقات النسيج البازلتية على المقاومة الفتلالية للجوائز البيتونية المسلحة.

المراجع العلمية:

- 1- ΑΒΑΘΥΣ, ς 6.14. ΑΒΑΘΥΣ/Στανδαρδ Υσερεσ Μανυαλ 2014 ΑΒΑΘΥΣ Ινχ, ΥΣΑ.
- 2- Al KHADOR, H; TARSHA, I; Al ALAMODI, S 2023 Experimental study of the effect shape of strengthen with ferrocement for external beam-column joint. TISHREEN UNIVERSITY JOURNAL FOR RESEARCH AND SCIENTIFIC STUDIES, ςολ. 45, No. 4, 454-473(In Arabic).
- 3- ΕΛΣΑΝΑΔΕΔΨ, Μ. Η; ΑΛΜΥΣΑΛΛΑΜ, Η. Τ; ΑΛΣΑΨΕΔ, Η. Σ; ανδ ΑΛ ΣΑΛΛΟΥΜ, Α. Ψ 2013 Φλεξυραλ στρενγτηενινγ ο φ ΡΧ βεαμσ υσινγ τεξτιλε ρεινφορχεδ μορταρ □ Εξπεριμεντα λ ανδ νυμεριχαλ στυδψ, ΕΛΣΕϸΙΕΡ ΘΟΥΡΝΑΛΛΕΝΓΙΝΕΕΡΙ ΝΓ ΣΤΡΥΧΤΥΡΕΣΨ, ςολ. 97, ΠΠ 40□55.
- 4- ΗΥΔΗΑΙΦΑ, Φ.Ι; ΣΑΑΔ, Μ.Ρ; ΜΥΨΑΣΣΕΡ, Μ.Θ 2025 ΤΡΜ π ερσεσ ΦΡΠ ιν τορσιοναλ στρενγτηενινγ οφ ΡΧ βεαμσ, ΕΛΣΕϸΙΕΡ ΘΟΥΡΝΑΛΛΕΧΟΜΠΙΟΣΙΤΕΣ ΠΑΡΤ Χ :ΟΠΕΝ ΑΧΧΕΣΣΨ . ηττπσ://ωωω.σχιενχεδιρεχτ.χομ/σχιενχε/αρτιχλε/πι/Σ266668 2024001221
- 5- ΛΟΡΕΤΟ, Λ; ΛΟΡΕΝΖΟ, Δ; ΝΑΝΝΙ, Α 2014 Περφορμανχε οφ ΡΧ σλαβ-τυπε ελεμεντσ στρενγτηενεδ ωιτη φαβριχ-ρεινφορχεδ χεμεντιιουσ-ματριξ χομποσιτεσ, ΘΟΥΡΝΑΛ ΟΦ ΧΟΜΠΙ ΟΣΙΤΕΣ ΦΟΡ ΧΟΝΣΤΡΥΧΤΙΟΝ, ΔΟΙ: 18. 10.1061/(ΑΣΧΕ)ΧΧ. 1943-5614.0000415
- 6- ΜΑΣΟΟΔ, Φ; ΚΗΑΝ, Α.Ρ 2016 Στρενγτηενιν οφ ρεινφορχεδ χ ονχρετε βεαμσ ωιτη τεξτιλε ρεινφορχεδ μορταρ(ΤΡΜ) ιν φλε ξυρε, ΕΛΣΕϸΙΕΡ ΘΟΥΡΝΑΛΛΕΧΟΝΣΤΡΥΧΤΙΟΝ ΑΝΔ ΒΥΙΛΛΙ ΝΓ ΜΑΤΕΡΙΑΛΣΨ, ΠΠ 533-542.
- 7- ΣΑΚΕΡ, Α.Μ; ΣΛΕΕΜΑΗ, Α.Α; ΚΗΑΛΙΦΑΗ, Μ.Τ; ανδ ΒΟΥΡ ΝΑΣ Δ.Α 2020 Μοδελλινγ οφ ΡΧ βεαμσ στρενγτηενεδ ωιτη ΤΡ Μ ιν σηεαρ, ΙΝΤΕΡΝΑΤΙΟΝΑΛ ΘΟΥΡΝΑΛ ΦΟΡ ΡΕΣΕΑΡΧΗ Ι Ν ΜΕΧΗΑΝΙΧΑΛ & ΧΙϸΙΑ ΕΝΓΙΝΕΕΡΙΝΓ, ςολ. 6, No. 12.

- 8- ΤΑΗΑ, Ρ; ΑΛ ΑΛΛΑΦ, Μ; ΤΑΡΣΗΑ, Ι 2024 Εφφεχτ οφ φερροχ
εμεντ ωιτη στυρενε βυταδιε νε ρυββε ροννεχτιον ον χονχρε
τε βεαμσ υνδε ρορσιοναλ ιμπαχτ. ΘΟΡΔΑΝ ΘΟΥΡΝΑΛ οφ
ΧΙΣΙΑ ΕΝΓΙΝΕΕΡΙΝΓ, ζολ.18, Νο. 3.
- 9- ΤΑΗΑ, Ρ; ΑΛ ΑΛΛΑΦ, Μ; ΤΑΡΣΗΑ, Ι 2024 Εξπεριμενταλ ανδ
Αναλψτιχαλ Επαλυατιον το Στυρενγηενεδ Ρ.Χ Βεαμσ Υσιγγ
Φερροχεμεντ Υνδε ρορσιον . ΣΤΕΠ ΦΟΡ ΧΙΣΙΑ, ΧΟΝΣΤΡΥ
ΧΤΙΟΝ ΑΝΔ ΕΝΣΙΡΟΜΕΝΤΑΛ ΕΝΓΙΝΕΕΡΙΝΓ(ΣΣΧΧΕ), ζολ.2
, Ισσυε. 3, ππ 9–17.

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها

اعداد الطالب : حسين الحسين اشراف : د. شعبان حديد ، د.مرتضى علي

الملخص

يتناول البحث دراسة تأثير الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش باستخدام أدوات النمذجة العددية ضمن بيئة (Hec-Ras)، مدعومة ببيانات طبوغرافية ومعالجة مكانياً عبر (ArcGIS) و (Google Earth). تضمن البحث بناء نموذج تمثيلي لحوض التصريف، ومعايرته باستخدام الجريان المستقر، ثم دراسة حالة الجريان غير المستقر الناتج عن الانهيار، وتحليل المتغيرات الهيدروليكية المرافقة له من حيث ارتفاع الغمر، وسرعة الجريان، وعرض الامتداد الفيضي، كما تم دراسة تأثير الموجة الفيضانية على القرى والمنشآت الحيوية والطرق، حيث أظهرت النتائج أن بعض القرى شهدت استمرارية غمر تجاوزت (20) ساعة، بينما تعرضت منشآت حساسة، كمحطات المعالجة والمدارس، لارتفاعات غمر كبيرة وسرعات جريان عالية تجاوزت (4m/sec)، مما يزيد من خطورة الأثر الإنشائي والوظيفي. كما بيّنت النتائج أن معظم الطرق ستخرج عن الخدمة خلال الساعات الأولى من الغمر، ما يعيق الاستجابة الطارئة ويزيد من تعقيد عمليات الإخلاء.

تم اقتراح حلّين رئيسيين: الأول يتمثل في زيادة معامل الخشونة على جانبي المجرى باستخدام وسائل طبيعية كالشجير، وقد أثبتت فعاليته في تقليل سرعة الغمر وتقليص عرض الانتشار. أما الحل الثاني فتمثل في إعداد خطة طوارئ متكاملة تتضمن تصنيف مستويات الخطر، وتحديد الأدوار والمسؤوليات بين الجهات المختصة.

تؤكد هذه الدراسة أهمية استخدام النمذجة العددية في فهم سلوك الموجات الفيضانية، ودورها في دعم اتخاذ القرار وتحقيق إدارة أكثر كفاءة للمخاطر الفيضانية ضمن المناطق الحساسة.

Analysis of the Flood Wave Resulting from the Hypothetical Failure of the Al-Abrash Dam and Mitigation of Its Impacts

Abstract

This study investigates the impact of the flood wave resulting from the hypothetical failure of the Al-Abrash Dam using numerical modeling tools within the HEC-RAS environment, supported by topographic data and spatial analysis via ArcGIS and Google Earth. The research involved constructing a representative model of the watershed and calibrating it under steady flow conditions, followed by simulating the unsteady flow scenario resulting from dam failure and analyzing the accompanying hydraulic variables, including flood depth, flow velocity, and flood extent width. The study also assessed the flood wave's impact on villages, critical infrastructure, and roads. Results showed that some villages experienced flood durations exceeding (20) hours, while sensitive facilities such as treatment plants and schools were subjected to high flood depths and flow velocities exceeding (4 m/s), increasing the structural and functional risk. Additionally, most roads were predicted to go out of service within the first few hours of flooding, complicating emergency response and evacuation operations.

Two primary mitigation solutions were proposed: the first involved increasing the roughness coefficient along the riverbanks through natural methods such as afforestation, which proved effective in reducing flow velocity and flood extent. The second solution involved preparing an integrated emergency response plan that includes risk level classification and clearly defined responsibilities among relevant authorities.

This study highlights the importance of numerical modeling in understanding flood wave behavior and its role in supporting decision-making and enabling more effective flood risk management in vulnerable areas.

Keywords: Dam failure, Flood wave, Geographic Information Systems (GIS), Hydraulic calibration, Flood risk management.

1. مقدمة:

تُعد السدود من المنشآت الهيدروليكية الحيوية التي تؤدي دوراً محورياً في إدارة الموارد المائية، من خلال تنظيم تدفقات المياه وتخزينها وتوفير مياه الشرب والري وتوليد الطاقة الكهربائية، فضلاً عن دورها في تقليل مخاطر الفيضانات، إلا أن هذه المنشآت وعلى الرغم من فوائدها الجمة قد تتحول إلى مصدر خطر بالغ في حال تعرضت للانهييار أو الفشل الإنشائي، حيث يعرف انهيار السد بأنه حركة أحد أجزاء السد، أو أساساته، وبالتالي عدم قدرته على الاحتفاظ بالماء، الأمر الذي يؤدي إلى تدفق كميات كبيرة من المياه، مما يعرض حياة السكان وممتلكاتهم للخطر في منقطة الحوز السفلي [1]، وهنا تبرز الحاجة الملحة لوضع خطط وقائية وآليات فعالة للتنبؤ بهذه الظواهر والتقليل من أثارها من خلال دراسات هندسية دقيقة ونماذج محاكاة هيدروليكية وإجراءات طوارئ متكاملة.

وفي هذا السياق تناول البحث دراسة الموجة الفيضانية الناتجة عن انهيار سد الأبرش والحلول المقترحة للحد من تأثيرها والتعامل معها بفعالية.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى تحديد العناصر والمتغيرات الهيدروليكية المرتبطة بالموجة الفيضانية الناتجة عن الانهييار الافتراضي لسد الأبرش وتحليل خصائصها وسلوكها الديناميكي، مع اقتراح مجموعة من الحلول والإجراءات للتخفيف من أثارها المحتملة.

3. توصيف منطقة الدراسة:

- **الموقع الجغرافي:** تشكل المنطقة المدروسة الجزء الجنوبي من حوض الساحل وتشمل المنطقة الممتدة من سد الأبرش وحتى مصب النهر في البحر الأبيض المتوسط حيث تبلغ مساحة هذه المنطقة (2490 km²) ممتدة ما بين البحر الأبيض المتوسط غرباً وحوض نهر العاصي شرقاً وحوض نهر بانياس شمالاً والحدود الدولية السورية اللبنانية جنوباً.

- **طبوغرافية المنطقة:** تغلب على منطقة الدراسة الطبيعة الجبلية والهضبية، حيث يتصف النهر في القسم العلوي والأوسط من مجراه بتضاريسه الجبلية ويتخذ وادي النهر شكل (v) للسفوح التي يبلغ ارتفاعها (150-200 m) ويزاوية انحدار مقدارها (30-40) درجة لينتقل بعدها إلى السهل الساحلي حيث يتغير شكل مجرى النهر مراراً في هذه المنطقة إلا أنه على الغالب يحتفظ بشكله

الشبه منحرف مع العلم أنه لوحظ تشوهات بشكل ضفاف المجرى في ال (6 km) الأخيرة، يبلغ متوسط انحدار المجرى المائي (0.016) وميل الحوض (0.14) ومساحة حوض النهر عند مركز سد الأبرش (164.8 km²). [2]

- **جيولوجية المنطقة:** يتكون الجزء العلوي من منطقة الدراسة من تشكيلات الجوراسي الأوسط والأدنى المنكشفة في المرتفعات العليا والمكونة من الحجر الكلسي والكلس الدولميبي بينما يتكون الجزء الأوسط والسفلي من الدولميت والحجر الكلسي الدولميبي مع تداخلات نادرة من الحجر الكلسي المارلي [3].

- **تربة المنطقة:** يسود في القسم الأكبر من المنقطة التربة (الحمراء - البنية) ذات القوام الغريني (السلتي) الطيني بالإضافة للترب القلوية (ph=7-8)، وتبلغ سماكة التربة عند قدم السفوح (0.1-0.25m) وسطياً، وفي وادي النهر تصل حتى (1m) أو أكثر [2].

- **الظروف المناخية لمنطقة الدراسة:** يسود منطقة الدراسة المناخ المتوسطي المعتدل الماطر شتاءً والجاف صيفاً ويتميز بارتفاع نسبة الرطوبة على مدار العام حيث يبلغ المعدل السنوي للرطوبة النسبية للهواء (66%) (بدرجة دنيا شهرية 61% وعظمى 76%)، ومعدلات هطول مطري عالية نسبياً تزيد عن (800mm) سنوياً [4].

4. مواد وطرق البحث:

1.4 البرمجيات المستخدمة في البحث:

- **برنامج Google Earth:** من الأدوات الفعالة في دعم الدراسات الهيدرولوجية والهيدروليكية، حيث يستخدم في تحليل المناطق الجغرافية وتقدير الخصائص المورفولوجية لأحواض التصريف ومجري الأودية، ويسهم في توفير بيانات مكانية لبناء النماذج العددية وتقييم المخاطر الفيضانية المحتملة [7].

- **برنامج التحليل النهري (Hec-Ras):** يعتبر أحد أهم البرمجيات المستخدمة في النمذجة الهيدروليكية لتحليل الجريان السطحي في الأنهار والقنوات المفتوحة، كما يتيح البرنامج إمكانية محاكاة الموجات الفيضانية الناجمة عن انهيار السدود وتقدير منسوب المياه وسرعة الجريان في مختلف المقاطع النهرية، مما يساهم في تقييم السيناريوهات المختلفة للأخطار المحتملة، واتخاذ التدابير المناسبة لإدارة مخاطر الفيضانات بكفاءة [8].

- **برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS):** يعد من البرمجيات الأساسية في تحليل البيانات الجغرافية ذات العلاقة بالموارد المائية، حيث يستخدم في معالجة الخرائط الرقمية وتحليل الخصائص المورفومترية لأحواض التصريف، وتحديد المناطق المعرضة للفيضان، وحساب

المساحات والميول والانحدارات، بالإضافة لإمكانية دمجها مع النماذج الهيدروليكية لتوفير بيئة متكاملة تدعم اتخاذ القرار في إدارة المياه ومخاطر الفيضانات [9].

2.4. البناء الطبوغرافي للنموذج:

بهدف الحصول على نموذج طبوغرافي لمنطقة الدراسة تم استخدام بعض الوظائف الطبوغرافية الأساسية التي تتيح التحليل المكاني بواسطة (GIS)، حيث تم تحديد كافة البيانات اللازمة لإعداد النموذج وتشمل:

- الصور الجوية: تم أخذ مجموعة من الصور الجوية لحدود منطقة الدراسة باستخدام برنامج (Google Earth Pro)، تظهر طول النهر وتدرجاته والتغيرات المكانية في عرض المجرى، كما يوضح الشكل (1)، بالإضافة لتحديد موقع جسم السد والبحيرة والمنشآت المائية والمدنية الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

- الخرائط الطبوغرافية: حيث تم تحويلها الى خرائط رقمية باستخدام برنامج (Gis) والتي تم من خلالها تحديد أماكن القرى والأبنية والطرق والمجاري المائية الرئيسية والفرعية الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

- النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM-Digital Elevation Model) الخاص بمنطقة الدراسة بدقة مكانية تبلغ 30×30 متر، والمشتقة من بيانات بعثة رادار المكوك الفضائي (SRTM) وقد جرى إسقاط هذه البيانات على نظام الإحداثيات الجغرافية (WGS_1984_UTM_Zone_37N) بما يضمن توافقها مع الخرائط الجوية والورقية المعتمدة، وبالتالي إنتاج نموذج طبوغرافي ثلاثي الأبعاد يعكس الواقع الطبوغرافي لمنطقة الدراسة.

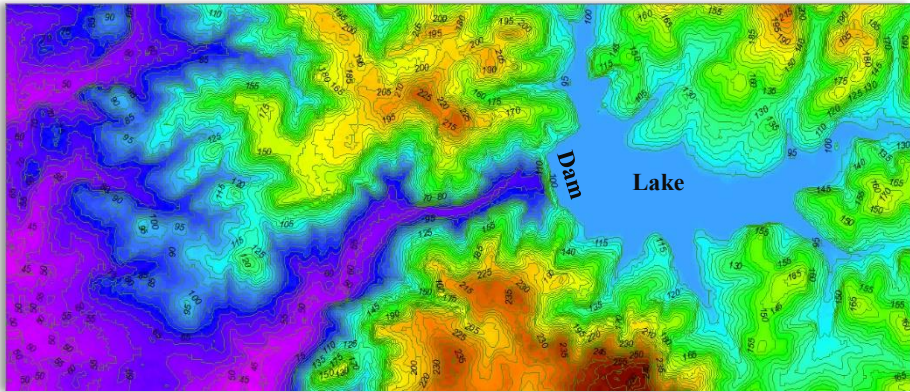
- البيانات الحقلية: تم اجراء مجموعة من الزيارات الميدانية لمنطقة الدراسة بهدف تحديد منسوب المياه في بحيرة السد خلال فترات زمنية مختلفة، بالإضافة لقياس عمق الماء ضمن المجرى خلال مرور تدفقات مختلفة، كما تم تحديد أبعاد المقاطع العرضية للنهر وتغيراتها.

وبناء على البيانات السابقة تم اشتقاق النموذج الطبوغرافي النهائي من خلال دمج وتحليل كافة البيانات المكانية الخاصة بمنطقة الدراسة باستخدام الأداة (Hec-GeoRas) ضمن بيئة (GIS) بما يضمن الوصول إلى تمثيل دقيق للسماوات التضاريسية للمنطقة كما يوضح الشكل (2).

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (1): صورة جوية توضح مسار نهر الأبرش والتغيرات الحاصلة في بعض مقاطعه.



الشكل (2): التمثيل الطبوغرافي للمنطقة باستخدام خطوط تساوي الكونتور.

3.4. محاكاة الجريان المستقر لمعايرة النموذج باستخدام (Hec-Ras):

تم استخدام نموذج الجريان المستقر (Steady Flow) ضمن بيئة (Hec-Ras) بهدف معايرة النموذج الهيدروليكي للمجرى المدروس، وقد تم اختيار هذا النمط من المحاكاة نظراً لأن القياسات الميدانية للتدفق والظروف الهيدروليكية أثناء فترة المعايرة أظهرت تغيراً محدوداً مع الزمن، مما يبرر افتراض ثبات التصريف خلال فترة التحليل. هذا الإجراء يسمح بتحليل التوزيع المكاني لمنسوب سطح الماء بدقة ومقارنة نتائج النموذج مع البيانات الحقلية أو المرجعية، الأمر الذي

يسهم في ضبط المعاملات الهيدروليكية وتحقيق تمثيل أكثر واقعية لخصائص الجريان، تمهيداً لدراسة حالات الجريان غير المستقر والفيضانات الناجمة عن انهيارات السدود.

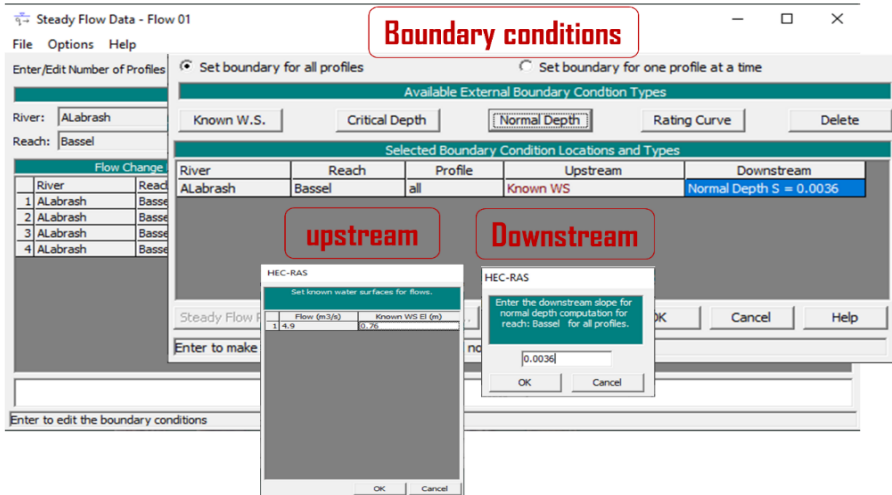
تم ادخال قيم التصريف عند مقاطع مختلفة على طول المجرى حيث تراوحت القيم بين m^3/s (1.2-8.5)، كما تم تحديد الشروط الحدية للنموذج كما هو موضح في الشكل (3):

- الحوز العلوي (Upstream Boundary): تم اعتماد منسوب الماء المقابل للتدفق المدخل كشرط حد مكاني عند بداية المجرى.

- في الحوز السفلي (Downstream Boundary) تم ادخال قيمة الميل الطبيعي لسرير النهر (0.0036) كشرط حدي مكاني عند نهاية المجرى.

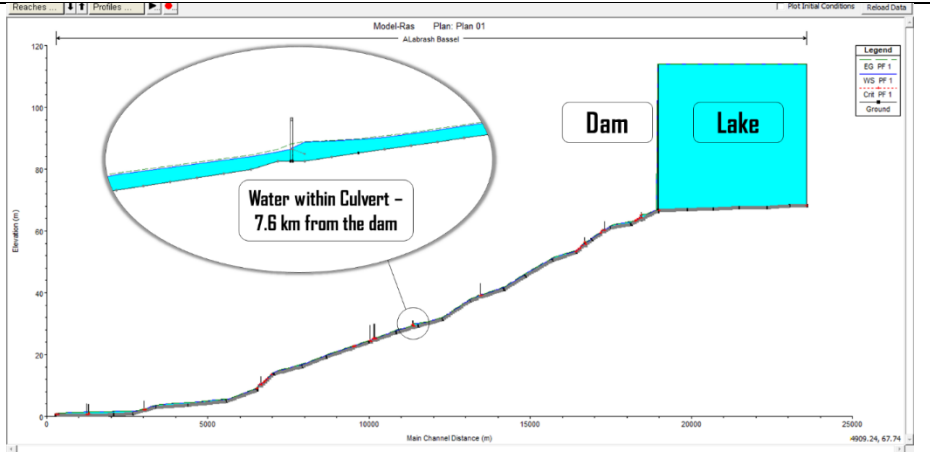
بعد ادخال قيم التدفقات والشروط الموافقة لها تمت معالجة البيانات والحصول على النتائج التالية:

- قيم ارتفاعات الماء ضمن المجرى وتغيراتها على امتداد منطقة الدراسة، والتي تراوحت بين m (0.35-1.4)، بالإضافة إلى مقاطع عرضية وطولية تظهر توزيع وحركة المياه على امتداد المجرى كما هو موضح في الشكل (4).
- سرعة جريان الماء في الحالة المستقرة، والتي تراوحت بين m/sec (0.27-1.69) على امتداد المجرى.
- نماذج ثلاثية الأبعاد توضح ديناميكية الجريان على امتداد المنطقة المدروسة، كما هو موضح في الشكل (5).

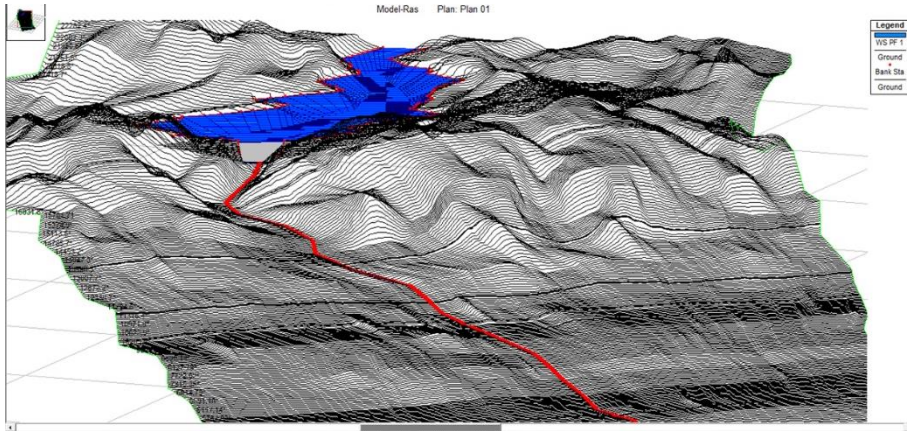


الشكل (3): الشروط الحدية للحوزين العلوي والسفلي.

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها



الشكل (4): مقطع طولي يوضح حركة المياه داخل المجرى وضمن عبارة تبعد عن السد (7.6km).



الشكل (5): نموذج ثلاثي الأبعاد لتوزيع الجريان في الظروف الطبيعية.

المعايرة الهيدروليكية للنموذج:

تمت معايرة النموذج بالاعتماد على طريقة معامل الارتباط الخطي (r) [5]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

تم إجراء المعايرة عند أربعة مواقع من النهر، من خلال قياس معدل التدفق وقيمة ارتفاع الماء الموافقة له في المواقع الأربعة وذلك خلال فترات زمنية متباعدة تعكس التغيرات الموسمية في

التدفق، حيث تم قياس معدل التدفق باستخدام البرامه المائيه التي توفر دقة عالية عند معدلات التدفق المتوسطه إلى الكبيره، ونظراً لصعوبه قياس التدفقات الصغيره باستخدام البرامه وذلك بسبب انخفاض فرق المنسوب، تم استخدام مقياس السرعة اليدوي البسيط كأداة مساعدة، حيث تم قياس سرعة المياه من خلال تسجيل الزمن الذي يستغرقه جسم عائم صغير لعبور مسافه محددة داخل المقطع العرضي، ولضمان موثوقية النتائج ودقتها تم تكرار القياسات عدة مرات في كل موقع وأخذ المتوسط كقيمة نهائية.

حيث يوضح الجدول (1) مواقع محطات المعايرة الهيدروليكية على امتداد النهر، كما يوضح الجدول (2) والشكل (6) نتيجة المعايرة عند المحطة الأولى، ويوضح الجدول (3) والشكل (7) نتيجة المعايرة عند المحطة الثانية، والجدول (4) يوضح نتيجة المعايرة عند المحطتين الثالثة والرابعة.

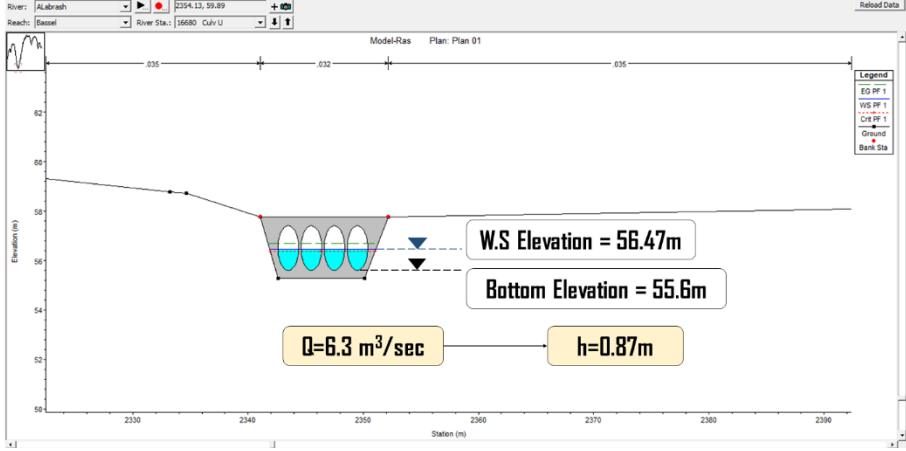
الجدول (1) مواقع محطات المعايرة على امتداد المجرى المائي.

رقم المحطة	1	2	3	4
البعد عن السد (m)	0272	5500	8800	13780
نوع المنشأة في موقع المعايرة	عبارة (دائرية)	جسر	جسر	ضمن المجرى

الجدول (2) نتائج تطبيق قيم التدفق على النموذج ضمن محطة المعايرة الأولى.

تاريخ أخذ القياس	المقاسة h (m)	المحسوبة h (m)	منسوب سطح المياه (m)	منسوب اسفل العبارة (m)	Q (m ³ /sec)
تموز- 2023	0.36	0.31	55.91	55.6	1.7
حزيران - 2023	0.51	0.44	56.04	55.6	2.6
أيار - 2023	0.8	0.76	56.36	55.6	5.2
نيسان - 2023	0.89	0.87	56.47	55.6	6.3
كانون الأول - 2023	0.93	0.9	56.5	55.6	7.4
أذار - 2023	1	0.96	56.56	55.6	8.3
r = 0.998 معامل الارتباط الخطي					

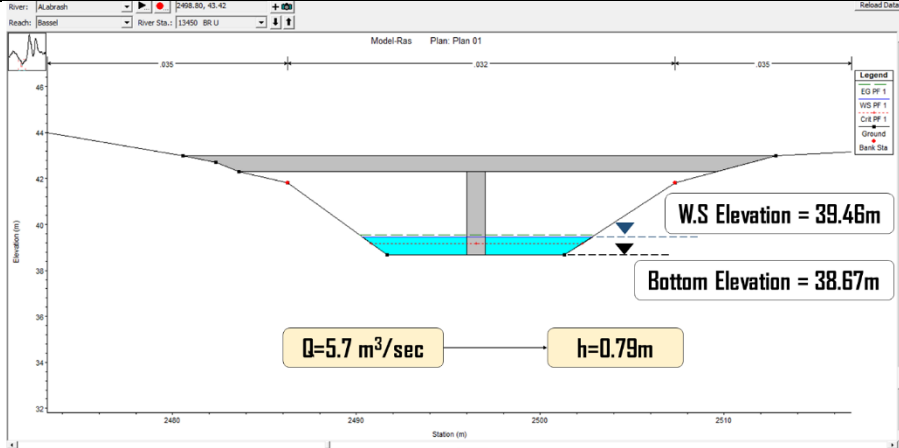
تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها



الشكل (6) ارتفاع الماء عند محطة المعايرة الأولى والنتائج عن مرور تدفق ($6.3 \text{ m}^3/\text{sec}$).

الجدول (3) نتائج تطبيق قيم التدفق على النموذج ضمن محطة المعايرة الثانية.

تاريخ أخذ القياس	المقاسة h (m)	المحسوبة h (m)	منسوب سطح المياه (m)	منسوب أسفل العبارة (m)	Q (m^3/sec)
تموز- 2023	0.29	0.24	38.91	38.67	1.4
حزيران - 2023	0.51	0.46	39.13	38.67	3.2
أيار- 2023	0.64	0.57	39.24	38.67	4.8
أيار - 2023	0.71	0.79	39.46	38.67	5.7
كانون الأول - 2023	0.8	0.88	39.55	38.67	6.1
أذار - 2023	0.89	1.01	39.68	38.67	7.2
معامل الارتباط الخطي $r = 0.984$					



الشكل (7) ارتفاع الماء عند محطة المعايرة الثانية والناتج عن امرار تدفق (5.7 m³/sec).

الجدول (4) نتائج معايرة النموذج عند المحطتين الثالثة والرابعة

محطة المعايرة الرابعة			محطة المعايرة الثالثة		
h المقاسة (m)	h المحسوبة (m)	Q (m ³ /s)	h المقاسة (m)	h المحسوبة (m)	Q (m ³ /s)
0.42	0.48	2.1	0.35	0.44	1.9
0.71	0.79	5.2	0.47	0.56	2.5
0.79	0.87	6.5	0.73	0.87	5.4
0.84	0.88	7.3	0.9	0.93	7.2
0.91	0.97	8.1	0.96	0.99	7.9
0.97	1.08	9	1.07	1.04	8.8
r = 0.993			r = 0.985		

أظهرت نتائج المعايرة أن معامل الارتباط الخطي بين القيم المحسوبة والمقاسة تجاوز (0.9) عند جميع المحطات، مما يدل على دقة النموذج ويؤكد إمكانية استخدامه في دراسة حالات الجريان غير المستقر وتحليل الموجات الفيضانية.

5. الدراسة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش.

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تحليل هيدروليكي لتطور الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش، وذلك باستخدام النمذجة العددية عبر برنامج التحليل النهري (Hec-Ras)، وقد تم إعداد النموذج لتمثيل سلوك الجريان غير المستقر الناتج عن هذا السيناريو، وذلك

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها

بهدف تقييم مدى تأثير الموجة الفيضانية على مجرى النهر والمناطق المجاورة له من حيث ارتفاع الماء وسرعة الجريان ومدى انتشار الموجة على امتداد منطقة الدراسة، بما يساهم في تحليل مستويات الخطورة المحتملة وتعزيز فعالية خطط الاستجابة لمواجهة حالات الطوارئ الفيضانية.

فرضيات الدراسة:

تم تحديد فرضيات ومعاملات الانهيار الخاصة بالسد استناداً إلى التوصيات الواردة ضمن البرنامج HEC-RAS Hydraulic Reference Manual (قسم تحليل انهيار السدود)، والذي يعتمد على معادلات تجريبية مثل (MacDonald & Langridge-Monopolis) و (Froehlich) و (1995) و (Von Thun & Gillette 1990)، وقد جرى تكيف هذه القيم لتناسب مع خصائص السد المدروس (سد ركامي/صخري بنواة غضارية، ارتفاع 50 م، عرض قاعدة 195.2 م، طول 733 م) ومع الظروف الطبوغرافية والهيدروليكية لموقعه.

وبناء عليه تم اعتماد الفرضيات التالية:

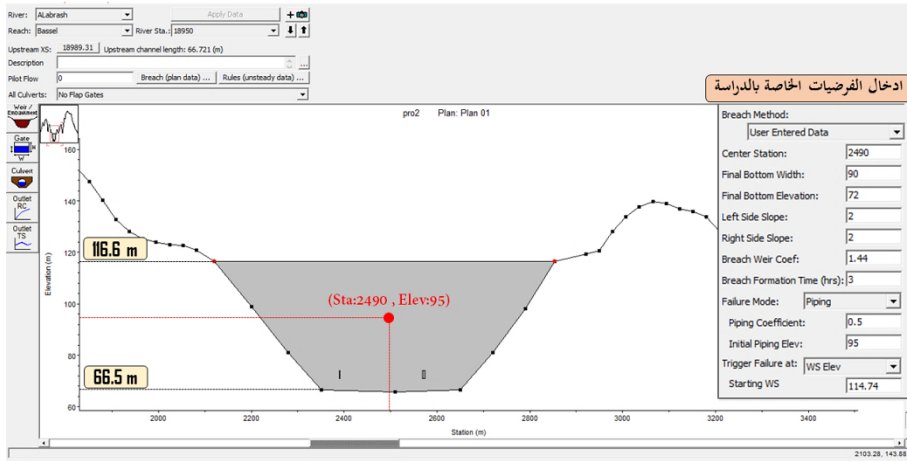
- البحيرة بحالة الامتلاء الأعظمي (منسوب سطح الماء: **+114.7m**، حجم التخزين: **103.16M.m³**)
- الانهيار الافتراضي للسد من النوع (piping) حيث تتشكل فتحة صغيرة ضمن جسم السد وتتوسع تدريجياً نتيجة تدفق المياه من خلالها.
- احداثيات مركز بداية الانهيار (**Center Station: 2490m**)
- العرض النهائي لفتحة الانهيار من الأسفل (**Final Bottom Width: 90m**). وهو ضمن النطاق (80-100 م) الموصى به لسدود الردميات بارتفاع يقارب 50 م، وذلك لضمان تمثيل واقعي لتطور فتحة الانهيار بما يتناسب مع عرض قاعدة السد الكبير (195.2 م) وطبيعة الردميات المستخدمة.
- المنسوب السفلي لفتحة الانهيار الأعظمية (**Final bottom Elevation: 72m**). وذلك بما يتوافق مع أدنى منسوب محتمل يمكن أن يصل إليه قاع الفتحة بعد الانهيار استناداً إلى ميول المقطع العرضي لجسم السد.
- معامل فتحة الانهيار: يعبر عن حالة الجريان خلال الفتحة التي تتشكل ضمن جسم السد وفي الحالة النموذجية للتدفق المنتظم مع الزمن تؤخذ القيمة (0.8) أما في حالة التشوهات الغير المنتظمة والحاصلة خلال التدفق ضمن جسم السد ومع الأخذ بالاعتبار الخسائر الحاصلة بالطاقة تؤخذ قيمة المعامل (**0.5**) (piping coefficient).
- الزمن اللازم لتشكيل الفتحة الكاملة (**Breach Formation Time: 3hrs**).

وهو زمن متوسط ضمن النطاق (0.5-6 ساعات) الوارد في الدراسات التجريبية لسدود الردميات، وتم اختياره استناداً إلى ارتفاع السد (50 م) وطبيعة النواة الغضارية التي تزيد زمن الانهيار مقارنة بالردميات الحصوية أو الرملية الخالصة.

- منسوب بداية تشكل فتحة الانهيار (Initial Piping Elev: 95m).

وهي قريبة من منسوب الامتلاء التشغيلي، ما يعكس السيناريو الأسوأ لانهيار السد عند مستويات تخزين عالية.

يوضح الشكل (8) ادخال الفرضيات الخاصة بالانهيار في برنامج Hec-Ras.



الشكل (8) ادخال الفرضيات الخاصة بالانهيار في برنامج Hec-Ras.

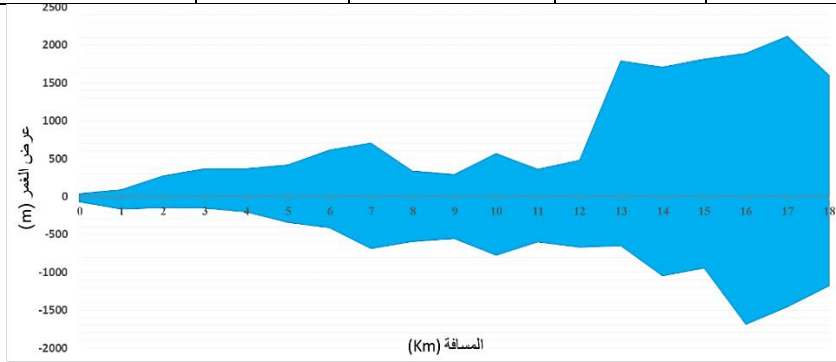
1.5. تأثير الموجة الفيضانية الناتجة عن الانهيار على امتداد منطقة الدراسة.

عرض الغمر:

- بلغت القيمة العظمى لعرض الغمر عند الضفة اليسرى للنهر (2120m) على بعد (17.1km) عن موقع السد وذلك بعد مرور (7.3 hr) من بداية تشكل فتحة الانهيار، أما على الضفة اليمنى بلغ عرض الغمر (1690m) عند مسافة (16.4km) وذلك بعد مرور (6.9 hr)، حيث يوضح الجدول (5) قيم عرض الغمر على امتداد منطقة الدراسة، ويوضح الشكل (9) التوزيع العرضي الأعظمي لمياه الغمر الناتجة عن الموجة الفيضانية.

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها
الجدول (5) القيم الأعظمية لعرض الغمر على امتداد منطقة الدراسة.

الضفة اليسرى		الضفة اليمنى		عرض الغمر ضمن المجال
الموقع (البعد عن السد) (m)	القيمة العظمى (m)	الموقع (البعد عن السد) (km)	القيمة العظمى (m)	
4.9	422	4.5	345	(1-5) km
7.2	710	9.3	780	(5-10) km
14.8	1820	13.9	1050	(10-15) km
17.1	2120	16.4	1690	(15-18) km



الشكل (9) الانتشار العرضي الأعظمي لمياه الغمر على جانبي نهر الأبرش.

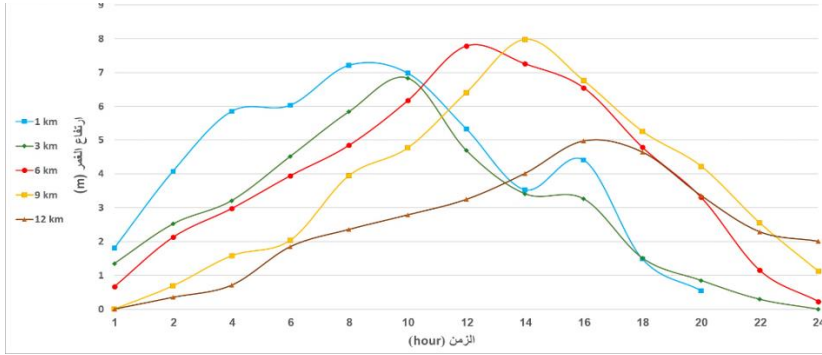
ارتفاع الغمر:

بلغ ارتفاع الغمر الأعظمي (7.98m) عند موقع يبعد عن السد مسافة (9.2km)، حيث تم الوصول إلى هذا الارتفاع بعد مرور (13.8 hour) على بداية تشكل فتحة الانهيار، يوضح الجدول (6) القيم العظمى لارتفاعات الغمر على امتداد منطقة الدراسة، كما يوضح الشكل (10) علاقة ارتفاع الغمر مع الزمن في عدة مواقع خلف السد.

الجدول (6) يوضح ارتفاعات الغمر الأعظمية وتغيراتها مع المسافة.

الزمن (بدءاً من لحظة الانهيار) (hour)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	ضمن المجال (km)	الزمن (بدءاً من لحظة الانهيار) (hour)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	ضمن المجال (km)
15.7	4.98	(10-12) km	9.4	7.23	(0-2) km
17.4	6.2	(12-14) km	10.2	6.83	(2-4) km
16.8	3.71	(14-16) km	11.6	7.79	(4-6) km

18.1	3.58	(16-18) km	12.3	6.89	(6-8) km
			13.8	7.98	(8-10) km



الشكل (10) علاقة ارتفاع الغمر مع الزمن في عدة مواقع خلف السد.

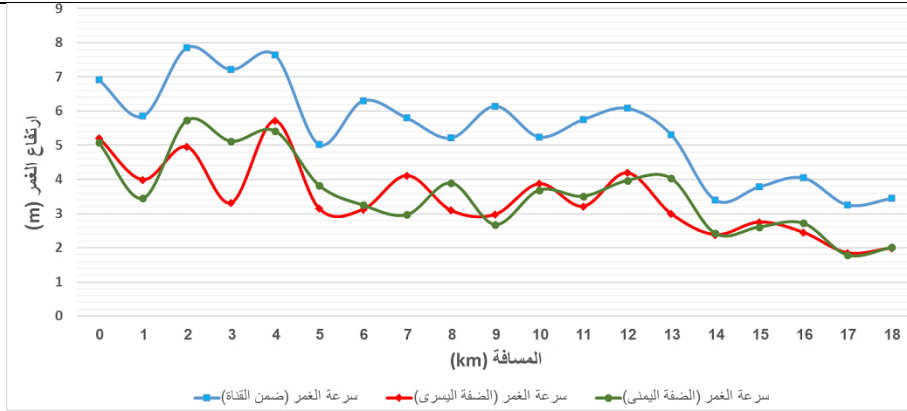
سرعة الغمر:

يوضح الجدول (7) المعطيات الخاصة بسرعة الجريان الأعظمية ضمن المجرى وعلى الضفتين اليمنى واليسرى، كما يوضح الشكل (11) العلاقة بين المسافة وسرعة الغمر الأعظمية.

الجدول (7) سرعة الغمر الأعظمية ضمن المجرى وعلى جانبيه.

الضفة اليسرى	المجرى	الضفة اليمنى	
5.69	7.85	5.73	سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)
3.9	2.2	2.4	الموقع (البعد عن السد) (km)
8.5	9.7	10.1	زمن الوصول للسرعة العظمى من بداية الانهيار (hour)

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (11) القيم العظمى لسرعة الغمر على امتداد منطقة الدراسة.

2.5. دراسة تأثير الموجة الفيضانية على القرى والمنشآت والطرق الواقعة خلف السد.

تم إجراء رفع طبوغرافي وتحليل مكاني للقرى والمنشآت الواقعة خلف سد الأبرش بهدف توصيف موقعها الجغرافي بدقة ضمن منطقة الدراسة من حيث البعد عن جسم السد ومجرى النهر ومنسوبها عن سطح البحر، كما هو موضح في الجدول (8)، وذلك لربطها بالمتغيرات الهيدروليكية للموجة الفيضانية وتحديد مستوى الخطورة المحتمل لكل موقع واتخاذ الإجراءات الوقائية المناسبة.

الجدول (8) البيانات الخاصة بالقرى والمنشآت الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

المنسوب عن سطح البحر (m)	البعد عن النهر (m)	البعد عن السد (m)	الاسم	التسلسل	
240	1989	878	المباركة	1	القرى
225	1319	1061	بلدة القصر	2	
192	970	1770	بلدة تركب	3	
172	410	1841	التوانين	4	
101	1197	4123	الصفصافة	5	
96	2878	4639	عين الزيدة	6	
83	2284	5258	بيت شوفان	7	
75	1385	5905	بحوزي	8	
45	1821	7072	ظهر الشمرة	9	

46	285	9092	دير الحجر	10	المنشآت
44	86	9185	الهويسية	11	
45	103	9485	الريحانية	12	
38	1093	10725	الجماسية	13	
30	1736	10990	زاهد	14	
38	147	12050	تل كزل	15	
8	1937	14680	الحمدانية	16	
6	395	17750	عرب الشاطئ	17	
198.2	1710	1260	ثانوية تركيب	1	
175.2	948	2110	مدرسة تركيب الإعدادية	2	
46	161	4327	محطة معالجة الصرف	3	
43.3	217	5728	مبنى شركة صناعية	4	
49.5	374	5807	معمل الأعلاف	5	
35.1	129	7510	مستودعات حبوب	6	
33.5	226	8827	مشتل زراعي	7	
30.8	517	8871	مرملة	8	
32.6	276	9680	مول تجاري	9	
29.8	373	10992	روضة أطفال	10	
27.4	497	11258	مدرسة (تل كزل)	11	
17.6	1126	14551	شركة لإنتاج الفلين	12	
6.4	1022	17564	مدرسة (عرب الشاطئ)	13	
2.2	1183	17803	محطة ضخ الصرف	14	
3.6	97	17876	تجمع أبنية وشاليهات	15	

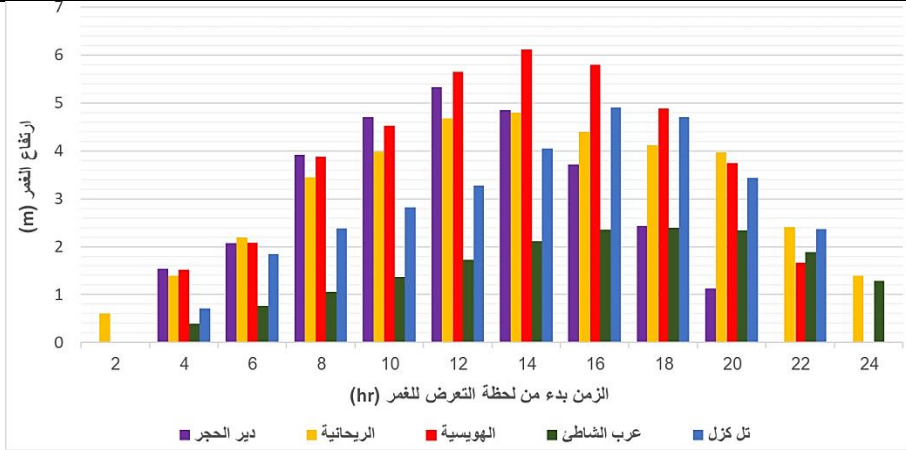
القرى:

بناء على المعطيات الخاصة بكل قرية من حيث موقعها الجغرافي ومنسوبها عن سطح البحر، كما هو موضح في الجدول (8)، ومن خلال مقاطعتها مع مخططات الغمر الناتجة عن الموجة الفيضانية تم تحديد جميع القرى التي تتعرض للغمر كما هو موضح في الجدول (9)، كما يوضح الشكلين (11) (12) علاقة ارتفاع وسرعة الغمر مع الزمن.

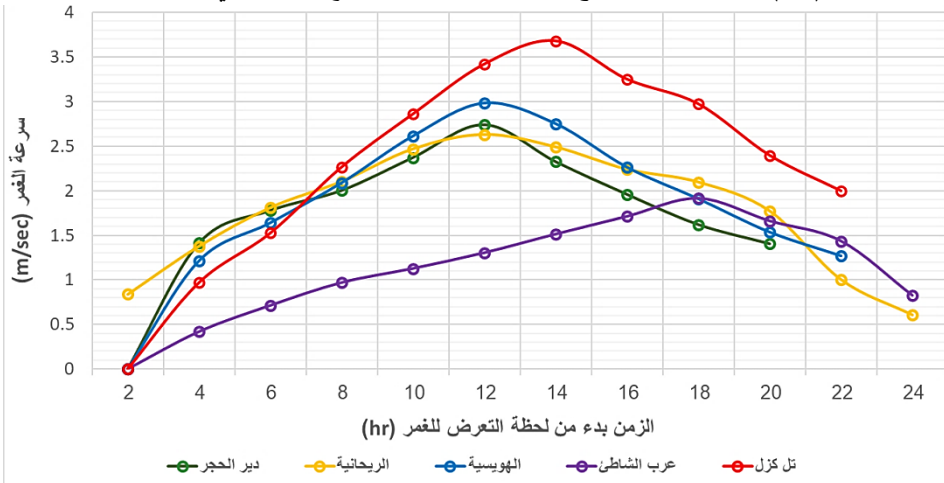
تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها

الجدول (9) نتائج الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على القرى الواقعة ضمن منطقة الدراسة.

القرى المتأثرة بالفيضان					
الهويسة	عرب الشاطئ	تل كزل	الريحانية	دير الحجر	
50.1	8.4	42.9	49.8	51.3	منسوب الغمر الأعظمي (m)
3.2	4.0	3.5	1.9	3.4	زمن التعرض للغمر (hour)
20.7	20	18.8	22.1	16.2	استمرارية الغمر (hour)
6.1	2.4	4.9	4.8	5.3	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)
2.98	1.91	3.68	2.63	2.74	سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)
336.2	1717.5	525.8	325.9	581.1	عرض الغمر الأعظمي عند الموقع (m)
5.8	7.2	5.5	7.1	6.2	زمن الوصول إلى عرض الغمر الأعظمي (hour)
250.2	1322.5	378.9	195.9	296.1	مسافة دخول المياه ضمن حدود القرية (m)



الشكل (11) العلاقة بين ارتفاع الغمر والزمن عند جميع القرى التي تتعرض للغمر.



الشكل (12) العلاقة بين سرعة الغمر والزمن عند جميع القرى التي تتعرض للغمر.

مناقشة النتائج:

- نلاحظ من الجدول (9) أن القرى التي تتعرض للغمر تشمل (دير الحجر - الريحانية - تل كزل - عرب الشاطي - الهويسية) حيث تجاوزت مدة الغمر عند جميع القرى (16 ساعة).
- نلاحظ من الشكل (12) أن سرعة الغمر تجاوزت (3m/sec) عند قرية تل كزل واستمرت لمدة (6 ساعات) وبالتالي تصنف ضمن مستويات الخطر العالية والتي تؤدي لإحداث جرف للتربة وضرر بالمزروعات والبيوت البلاستيكية.

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها

- نلاحظ من الجدول (9) أن عرض الغمر الكبير عند عرب الشاطئ والبالغ (1.72km) سيؤدي إلى تعرض أكثر من نصف القرية للغمر والتي تمتد بشكل موازي لشاطئ البحر.

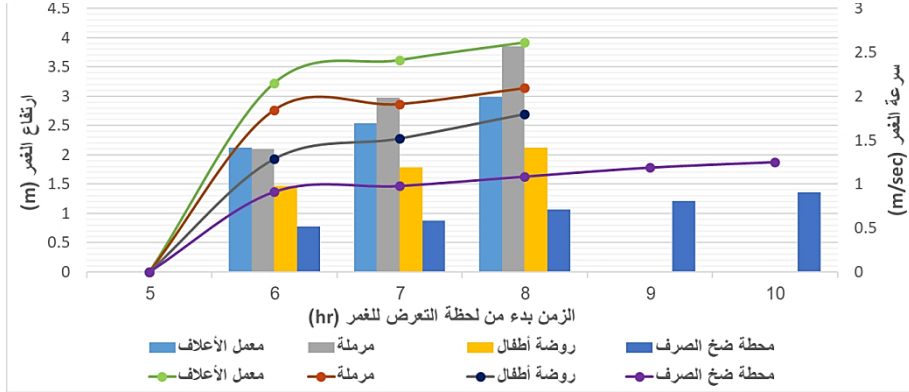
المنشآت:

تعد موجات الغمر الناتجة عن انهيار السدود من أبرز الأخطار التي تهدد سلامة المنشآت ويعتمد تأثيرها على عدة عوامل تشمل ارتفاع واستمرارية الغمر وسرعة الجريان، فكلما زاد الارتفاع، ارتفعت احتمالية تسرب المياه واتلاف المكونات الداخلية، بينما تؤدي الاستمرار الطويل للغمر إلى تدهور الأساسات والمواد الإنشائية، وتشكل السرعات العالية للجريان خطراً مباشراً على استقرار الهياكل خاصة في المنشآت الخفيفة وغير المدعمة، يوضح الجدول (10) تأثير الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على المنشآت الواقعة ضمن منطقة الدراسة، كما توضح الأشكال (13) (14) (15) التغيرات الزمنية لكل من سرعة وارتفاع الغمر عند جميع المنشآت المتأثرة بالفيضان .

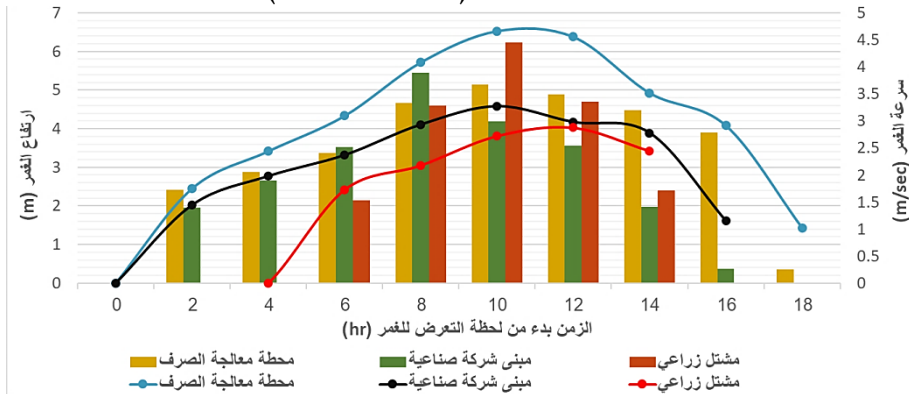
الجدول (10) نتائج الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على المنشآت الواقعة خلف السد.

المنشآت المتأثرة بالفيضان					
سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	استمرارية الغمر (hour)	زمن التعرض للغمر (hour)	منسوب الغمر الأعظمي (m)	
4.66	5.14	14.6	1.8	51.10	محطة معالجة الصرف
3.27	5.45	13.4	2.3	48.75	مبنى شركة صناعية
2.61	2.98	2.3	5.8	52.48	معمل الأعلاف
3.29	5.81	20.2	1.7	40.91	مستودعات لحفظ الحبوب
2.87	6.23	9.1	4.9	39.73	مشتل زراعي
2.09	3.85	2.0	5.9	34.65	مرملة
3.48	5.74	20.8	3.2	38.34	مول تجاري
1.79	2.12	2.1	6.1	31.92	روضة أطفال
1.84	2.24	19.3	4.7	8.64	مدرسة (عرب الشاطئ)
1.25	1.36	3.9	6.0	3.56	محطة ضخ الصرف

1.93	2.19	20.4	3.6	5.79	تجمع منازل وشاليهات
------	------	------	-----	------	---------------------

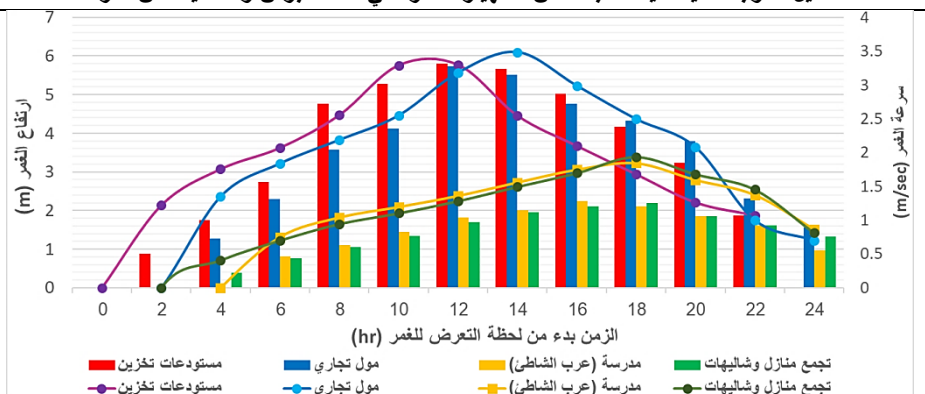


الشكل (13) التغير في سرعة وارتفاع الغمر مع الزمن بالنسبة للمنشآت التي تتعرض للغمر لمدة زمنية قصيرة (أقل من 3 ساعات)



الشكل (14) التغير في سرعة وارتفاع الغمر مع الزمن بالنسبة للمنشآت التي تتعرض للغمر لمدة زمنية متوسطة (من 3 حتى 15 ساعة)

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (15) التغير في سرعة وارتفاع الغمر مع الزمن بالنسبة للمنشآت التي تتعرض للغمر لمدة زمنية طويلة (أكثر من 19 ساعة)

مناقشة النتائج:

أظهرت نتائج المحاكاة الهيدروليكية أن منسوب الغمر الأعظمي عند مواقع المنشآت تراوح بين (31.24m) و(64.86m) بينما تجاوزت استمرارية الغمر في بعض المواقع (20) ساعة، وتجاوزت السرعة العظمى للجريان عند بعض المنشآت (4.6m/sec)، ما يشير إلى احتمالية حدوث أضرار انشائية كبيرة، وقد تبين أن منشآت خدمية وحيوية مثل محطات المعالجة والمدارس ورياض الأطفال تقع ضمن مناطق ذات خطورة عالية نتيجة اجتماع ارتفاع الغمر وسرعة الجريان وزمن الغمر في آن واحد، أما المنشآت ذات زمن الغمر الطويل كالمراكز التجارية والمشاريع الزراعية، فتواجه تهديداً مستمراً يتطلب تعزيز شبكات التصريف وإنشاء حواجز وقائية على أطراف المنشآت. وتشير هذه النتائج إلى ضرورة اتخاذ إجراءات وقائية عاجلة وتخطيط مكاني محكم يراعي سيناريوهات الغمر المستقبلية ضمن منطقة الدراسة.

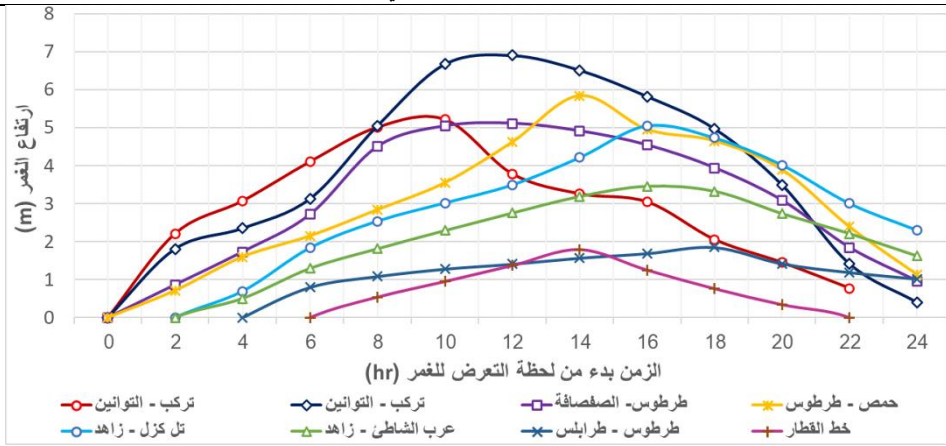
الطرق:

تم تحديد مناسيب الغمر الحاصلة في منطقة تقاطع الطرقات مع النهر ومن خلال مقاطعتها مع منسوب أعلى الطريق تم تحديد جميع الطرقات التي تتعرض للغمر كما هو موضح في الجدول (11)، كما يوضح الشكلين (16) (17) العلاقة الزمنية لسرعة وارتفاع الغمر على امتداد الطرقات المتأثرة بالفيضان.

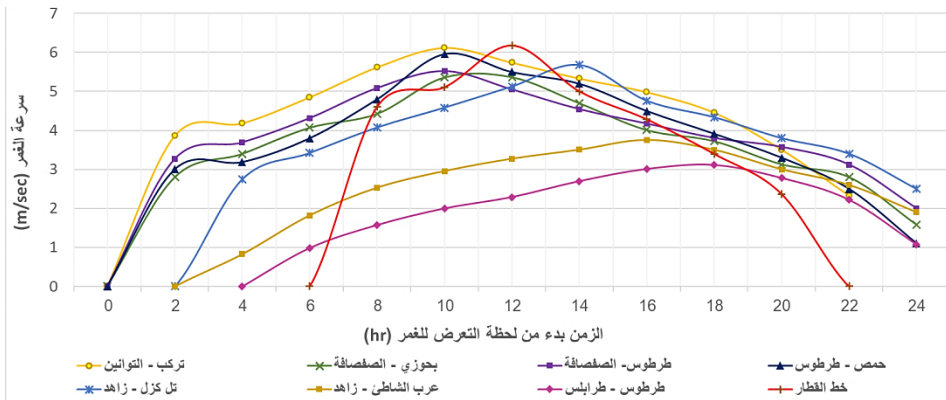
الجدول (11) نتائج الانهيار الافتراضي لسد الأبرش على الطرقات الواقعة خلف السد.

عرض الغمر الأعظمي على جانبي الطريق (m)	سرعة الجريان الأعظمية (m/sec)	ارتفاع الغمر الأعظمي (m)	استمرارية الغمر (hour)	زمن التعرض للغمر (hour)	الطريق
444.6	6.12	5.21	21.7	0.3	تركب - التوانين
894.5	5.36	6.9	23.4	0.5	بحوزي - الصفصافة
1121.0	5.52	5.11	23.1	0.9	طرطوس - الصفصافة
867.2	5.96	5.84	22.6	1.4	حمص - طرطوس
854.3	6.18	12.1	7.9	6.5	خط القطار
1537	5.67	5.05	21.7	2.3	تل كزل - زاهد
3539.5	3.75	3.46	20.2	3.8	عرب الشاطئ - زاهد
3050.3	3.11	1.85	19.1	4.9	طرطوس - طرابلس

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها



الشكل (16) يوضح تغير ارتفاع الغمر مع الزمن عند جميع الطرقات المتأثرة بالفيضان.



الشكل (17) يوضح تغير سرعة الغمر مع الزمن عند جميع الطرقات المتأثرة بالفيضان.

مناقشة النتائج:

- نلاحظ من الشكل (17) أن سرعة الغمر العظمى عند جميع الطرقات تجاوزت (5m/sec) باستثناء طريقي (عرب الشاطئ وطرابلس) وبالتالي تصنف هذه الطرقات ضمن مستويات الخطر العالية، حيث تؤدي هذه السرعة إلى توليد تيارات جارفة قادرة على اقتلاع المركبات وتدمير البنية التحتية والسطحية مثل الأرصفة والحواجز بالإضافة إلى تآكل الجسور والتأثير على استقرار الأساسات، حيث تساهم هذه الظروف في تفاقم تحديات إدارة الطوارئ والإنقاذ وتعقيد عمليات التصريف والسيطرة على الفيضان.

5) - نلاحظ من الجدول (11) أن جميع الطرقات ستكون خارج الخدمة بشكل كامل بعد مرور (5 ساعات) على بدء تشكل فتحة الانهيار.

- تُظهر النتائج أن جميع الطرقات الواقعة في منطقة الدراسة تعرضت للغمر لفترات زمنية تتجاوز (19 ساعة)، بينما بلغت مدة الغمر عند سكة القطار (7.9 ساعة) فقط، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع منسوبها مقارنة بالمناطق المحيطة بالإضافة للميول الجانبية العالية على طرفي الجسر الحامل للسكة مما يساهم في تسريع تصريف المياه وتقليل مدة الغمر.

6. إجراءات التحكم بالفيضان والتخفيف من آثاره:

تشكل الفيضانات الناتجة عن انهيار السدود تهديداً بالغاً للمناطق الواقعة ضمن مجرى الغمر لما تحمله من طاقة مائية عالية وسرعة انتشار مفاجئة، لذلك تبرز الحاجة إلى تطبيق مجموعة من الإجراءات الهندسية والتخطيطية التي تهدف إلى تقليل سرعة الغمر وخفض ارتفاعه وتوجيهه بعيداً عن المناطق الحساسة.

تشمل تدابير التخفيف من آثار الموجة الفيضانية مجموعة من الإجراءات المترابطة تُنفذ على مستويين [5]:

1- على نطاق الحوض الفيضاني لضبط التوزع المكاني للغمر وتشمل:

- وضع استراتيجيات متكاملة لإدارة استخدامات الأراضي في المناطق الفيضانية، مثل تحديد مناطق حظر البناء في السهول الفيضانية عالية الخطورة، وتخصيص أحزمة خضراء أو مناطق مفتوحة لامتناس مياه الفيضانات، وتوجيه استخدام الأراضي الزراعية في المناطق المعرضة للغمر نحو زراعة محاصيل تتحمل الغمر المؤقت أو ذات حساسية منخفضة لفيضانات المياه، بالإضافة إلى وضع اشتراطات هندسية خاصة للبناء في المناطق ذات الخطورة المتوسطة وذلك بما يتوافق مع خرائط المخاطر الهيدرولوجية، وإنشاء قواعد بيانات تحتوي على معلومات الفيضانات السابقة والحالية بهدف دعم عمليات التنبؤ بالنماذج الهيدرولوجية وتحسين خطط إدارة الموارد المائية وتقليل المخاطر المستقبلية.
- تصميم المنشآت والبنى التحتية في المناطق المهدة بالغمر وفق معايير انشائية مقاومة للفيضان تشمل رفع وتدعيم الأساسات بالإضافة لاستخدام مواد مقاومة للماء.

2- على امتداد مجرى النهر للتحكم بالتصريف والتخفيف من طاقة الجريان وتشمل:

- تحسين كفاءة المجرى النهري عبر تنفيذ أعمال الصيانة الدورية وتشذيب القناة.
- إقامة الحواجز ومراقبة استمرارية عمل منشآت التحكم المائية.
- إعادة توجيه المجرى بشكل اصطناعي وإنشاء بركة حجز ومحطة تصريف بالضح.

1.6. الإجراءات المقترحة للتخفيف من الآثار السلبية للموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش:

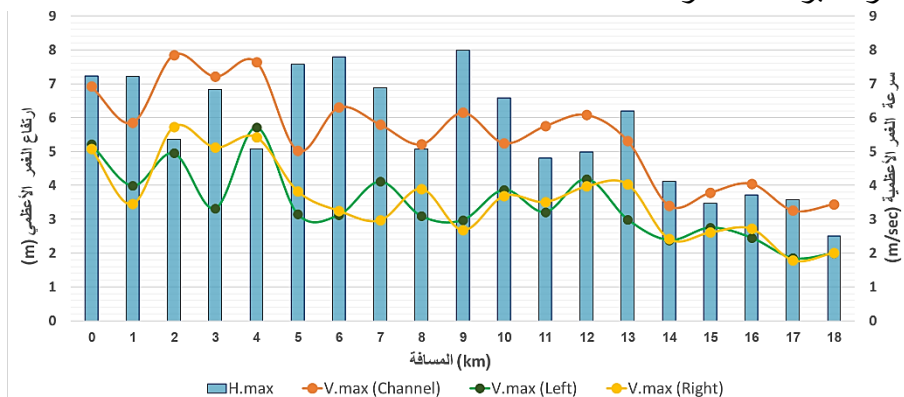
1.1.6. الإجراء الأول: زيادة معامل خشونة ضفاف المجرى (معامل مانغ n) [10].

يعد معامل مانغ أحد العناصر الهيدروليكية الأساسية في نمذجة الجريان السطحي للموجات الفيضانية الناجمة عن انهيار السدود، حيث يمثل الخشونة النسبية لجوانب وقاع المجرى بما في ذلك تأثير الغطاء النباتي، وتضاريس السطح، والعوائق الطبيعية أو الاصطناعية، حيث إن زيادة معامل مانغ تسهم في الحد من اتساع الجبهة المائية أفقياً مع انخفاض الشدة الرأسية للغمر وتراجع طاقة الموجة الفيضانية وبالتالي تأخر زمن وصول الذروة مما يقلل من الآثار المدمرة للموجة الفيضانية، ويتيح وقتاً إضافياً للاستجابة الطارئة.

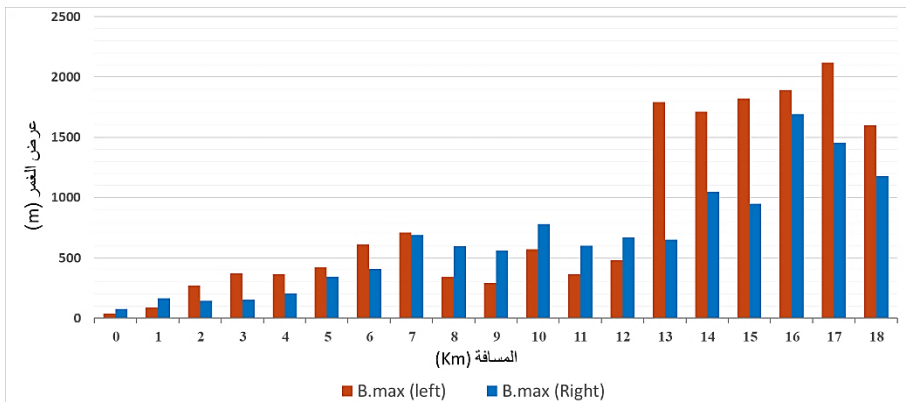
خطوات الحل المقترح:

أولاً: تحدي المتغيرات الهيدروليكية العظمى للموجة الفيضانية قبل تعديل معامل الخشونة:

أظهر المسح الطبوغرافي لضفتي المجرى أن معامل الخشونة الطبيعي في المناطق المعرضة للغمر يتراوح بين (0.035-0.03) وقد تم اعتماد هذا النطاق كأساس في النموذج العددي لمحاكاة الحالة الابتدائية للموجة الفيضانية، ومنه تم تحديد القيم العظمى لسرعة الجريان وارتفاع الغمر وامتداده الجانبي على طول منطقة الدراسة، كما هو موضح في الشكلين (18) و(19)، وذلك بهدف استخدام هذه القيم كأساس مرجعي لتحليل التغيرات الهيدروليكية الناتجة عن تعديل معامل الخشونة في الخطوة التالية، وتقييم مدى تأثير هذا التعديل على خصائص الموجة الفيضانية وانتشارها عبر منطقة الدراسة.



الشكل (18) القيم العظمى لسرعة وارتفاع الغمر على امتداد منطقة الدراسة.



الشكل (19) الحد الأقصى لامتداد الغمر الجانبي على ضفتي المجرى.

ثانياً: زيادة الخشونة الهيدروليكية للضفاف عبر تكثيف الغطاء النباتي بالتشجير.

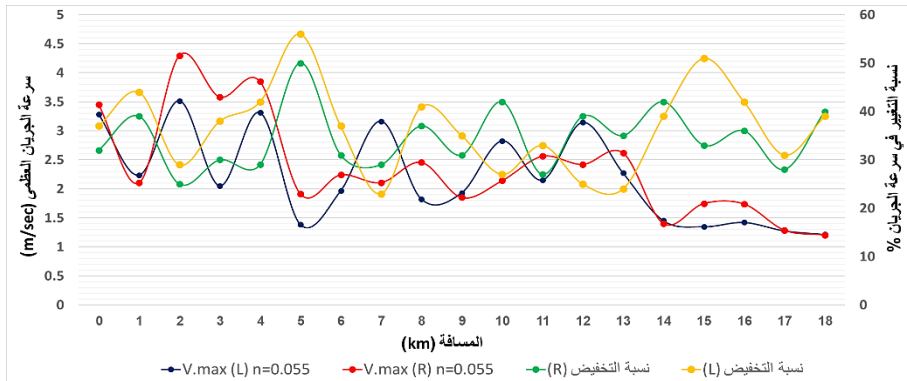
يعد تشجير الضفاف أحد الوسائل الفعالة لزيادة الخشونة الهيدروليكية. إذ يؤدي وجود النباتات ولا سيما الأشجار والشجيرات إلى تحسين مقاومة الضفاف لتدفق لمياه وبالتالي تقليل طاقة الجريان والحد من الآثار الناجمة عن الفيضانات، حيث تم افتراض رفع معامل الخشونة إلى (0.055) من خلال تكثيف الغطاء النباتي بالتشجير على جانبي المجرى وفق المعايير التالية:

- طول المنطقة التي سيتم تشجيرها (18km).
- زراعة الأشجار ذات الجذور العميقة والقوية والتي يمكن أن تنمو ضمن الظروف البيئية لمنطقة الدراسة وتشمل أشجار (البلوط - الصفصاف - الكينا).
- دمج طبقات نباتية متعددة (أشجار - أعشاب) لوفير تأثير خشونة متدرج.
- توفير تباعد مناسب بين الأشجار يتراوح بين (3-5) أمتار، مع التوزيع بشكل شطرنجي من أجل تشتيت طاقة الموجة الفيضانية وخلق مقاومة أكبر للتدفق.

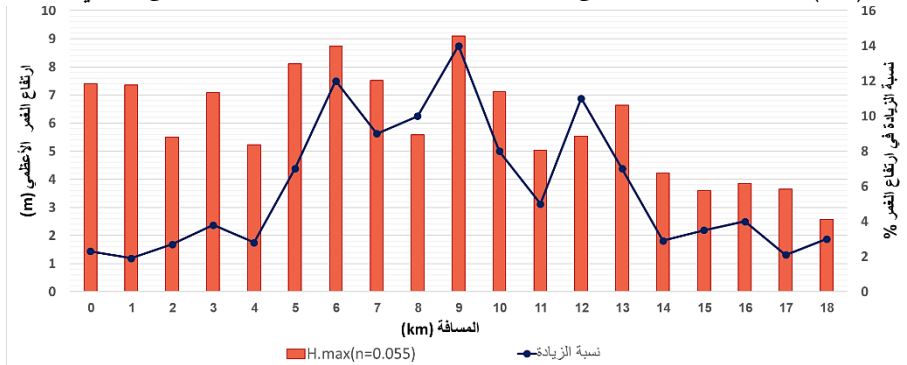
تحليل النتائج:

بهدف تقييم فعالية التدخل البيئي المتمثل في تشجير المنطقة، تم إعداد سيناريو للغمر باستخدام برنامج (Hec-Ras) مع تعديل قيم معامل ماننغ ($n=0.055$) لتعكس تأثير زيادة الغطاء النباتي، وقد تم تحليل نتائج هذا السيناريو من خلال الأشكال (20) (21) (22) والتي تعرض التغيرات في السرعة العظمى للجريان، وارتفاع الغمر وعرضه، بالإضافة إلى نسب التغير المرافقة وذلك بالمقارنة مع الحالة الابتدائية.

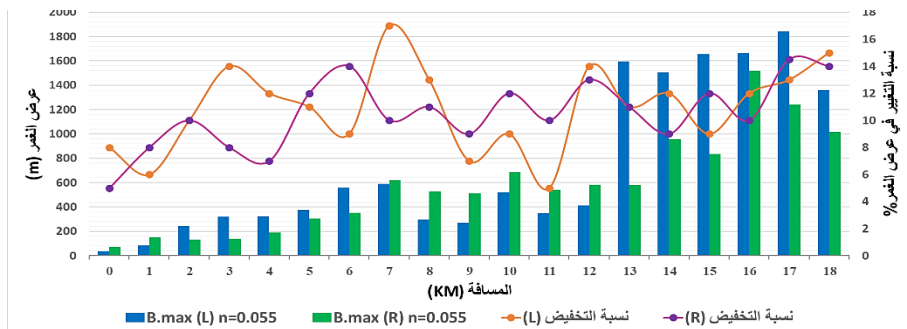
تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من آثارها



الشكل (20) سرعة الجريان العظمى بعد تشجير المنطقة ونسب الانخفاض على ضفتي المجرى.



الشكل (21) ارتفاع الغمر الأعظمي ونسبة زيادته بعد تحسين الغطاء النباتي (التشجير).



الشكل (22) عرض الغمر الأعظمي ونسبة الانخفاض على ضفتي النهر بعد تحسين الغطاء النباتي.

تقييم النتائج:

استناداً إلى السيناريو العددي المتمثل في رفع معامل الخشونة إلى (0.055) نتيجة اقتراح تشجير ضفتي النهر، أظهرت نتائج المحاكاة ما يلي:

- سرعة الغمر انخفضت بمتوسط قدره (35.4%) مما يؤكد أن زيادة مقاومة الجريان الناتجة عن الخشونة أدت إلى خفض طاقة الموجة الفيضانية وسرعتها.
- ارتفاع الغمر الأعظمي زاد بمتوسط قدره (5.9%) وهذا يشير إلى أن زيادة الخشونة أدت إلى زيادة في ارتفاع الغمر نتيجة تقليل سرعة الجريان وتراكم المياه محلياً.
- عرض الغمر الأعظمي انخفض بمتوسط قدره (10.5%) أي أن الموجة الفيضانية أصبحت أكثر تركيزاً وضيقة النطاق مما يقلل من مساحة المناطق المتأثرة بالغمر على الأطراف.

وبالتالي نستنتج أن زيادة الخشونة تخفض الطاقة الحركية للموجة الفيضانية، وتحد من امتدادها العرضي، وهذا يعد مؤشراً إيجابياً على فعالية هذا النوع من الإجراءات في إدارة مخاطر الفيضانات ضمن المناطق المعرضة للغمر.

2.1.6. الإجراء الثاني: إعداد خطة طوارئ:

تعد خطة الطوارئ من الإجراءات الأساسية في إدارة المخاطر الناجمة عن الفيضانات، فهي تحدد الإجراءات الفورية الواجب اتخاذها، ومسارات الإخلاء، وأدوار الجهات المعنية، مما يضمن سرعة التصرف وتقليل الفوضى، وتعرف بأنها مستند مكتوب يعدّه القائمين على السد حيث يصف هذا المستند خطة مفصلة لمنع أو تقليل آثار فشل السد أو أحد الهياكل الملحقة به [6].

تتألف خطة الطوارئ الخاصة بسد الأبرش من المحاور التالية: [11]

أولاً: تحديد مستوى الخطر:

يمثل تصنيف مستوى الخطر أحد المحاور الأساسية في خطط الطوارئ للفيضانات، حيث يتم تقسيمه إلى ثلاث درجات وفقاً لحالة السد وحجم الفيضان المحتمل وسرعة تطوره، كما هو موضح في الجدول (12).

الجدول (12) مستوى الطوارئ لحالات الفيضان الناجمة عن السدود.

مستوى الطوارئ	الحالة
1	<ul style="list-style-type: none"> - ارتفاع منسوب المياه في الخزان بنسبة 80-90% من السعة التصميمية. - زيادة معدل التدفق الوارد بنسبة 20-30% أعلى من التدفق الاعتيادي. - اكتشاف تصدعات سطحية طفيفة أو ترسيبات غير مألوفة عند فحص السد الروتيني.
2	<ul style="list-style-type: none"> - سرعة تدفق غير اعتيادية خلال ممرات التصفية أو عند النواة الغضارية. - زيادة مستمرة في تشققات السد أو الانزلاقات الطينية بمعدل محدد (مثلاً أكثر من 2 سم/شهر). - ارتفاع منسوب المياه خلف السد إلى ما يزيد عن 95% من السعة التصميمية للخزان، مع استمرار تدفق المياه.
3	<ul style="list-style-type: none"> - ظهور فتحة ابتدائية في جسم السد أو نواة السد الغضارية. - انخفاض مفاجئ في منسوب المياه خلف السد نتيجة نزيف داخلي. - معدل تدفق مفاجئ ومتزايد في المجرى السفلي يعكس بدء انطلاق موجة فيضانية.

ثانياً: الأدوار والمسؤوليات:

- مراقبي أو مشغلي السد:

1. عند رصد أو تسجيل حادثة طارئة (غير عادية)، يتم مباشرة تحديد مستوى الطوارئ استناداً إلى المعايير المحددة في الجدول (12).
2. يتم على الفور تفعيل نظام الإبلاغ لضمان إخطار المعنيين بالحالة الراهنة.
3. تزويد مكتب إدارة الطوارئ بالحالة الراهنة بهدف دعم عملية اتخاذ القرار بناءً على تحذيرات وإجراءات الإخلاء ذات الصلة.
4. إجراء عملية مراجعة دورية لتحديث وتعديل خطة الطوارئ لضمان توافرها مع المتغيرات والمستجدات الميدانية.

- مكتب الجاهزية:

1. يتولى المكتب مهام التنسيق الرئيسي لتكامل كافة أنشطة الاستجابة لحالات الطوارئ وضمان توحيد الجهود الميدانية.
2. يتولى مهمة تفعيل نظام الإنذار المبكر في القرى التالية (دير الحجر - الريحانية - تل كزل - عرب الشاطئ - الهويسة) والشروع في عملية الإخلاء العاجل للسكان وتوجيههم

إلى مواقع آمنه وقادر على استيعاب الأعداد المتوقعة، كما هو موضح في الجدول (13).

الجدول (13) خطة الإخلاء للقرى المعرضة للغمر.

مدة الإخلاء العظمى من لحظة الانهيار (hour)	أقرب مكان آمن		القرية المعرضة للغمر
	البعد عن القرية (km)	المنطقة	
3	1.4	قرية الجماسية	دير الحجر
1.5	2.6	قرية زاهد	الريحانية
3.1	1.1	قرية الجماسية	تل كزل
2.7	2.2	قرية ظهر الشمرة	الهويسة
3.5	التوجه إلى المكان الأيمن الموضح بالشكل (23)		عرب الشاطئ



الشكل (23) نقطة التوجه الآمن لسكان عرب الشاطئ والمركبات العابرة للطرقات المجاورة. 3. يشرف المكتب على تنفيذ خطة الإخلاء الفورية لكافة المنشآت، وفق التسلسل الموضح في الجدول (14).

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها

الجدول (14) يوضح تسلسل إخلاء المنشآت على حسب الأهمية وزمن التعرض للغمر.

تسلسل الإخلاء	المنشأة	تسلسل الإخلاء	المنشأة
1	روضة أطفال	7	مول تجاري
2	مدرسة (عرب الشاطي)	8	مشتل زراعي
3	تجمع منازل وشاليهات	9	معمل الأعلاف
4	مستودعات حبوب واسمنت	10	مرملة
5	محطة معالجة الصرف	11	محطة ضخ الصرف
6	مبنى شركة صناعية		

4. إصدار تعليمات لازمة بإغلاق جميع الطرق المؤدية إلى المناطق التي تم إخلاؤها.

5. يمتلك المكتب الصلاحية لتحديد وقت انتهاء حالة الطوارئ في الحوز السفلي.

- الدفاع المدني والشرطة:

1. تطبيق أنظمة الاستجابة المباشرة بما في ذلك الإخلاء المنظم للسكان، إغلاق الطرق،

وتطبيق تدابير الحماية الميدانية لحماية الأرواح والممتلكات.

2. اتخاذ الإجراءات اللازمة لتعليق حركة المرور في الطرق المعرضة للغمر ونشر

شاخصات مرورية على مسافات مدروسة كما هو موضح في الجدول (15).

3. توجيه المواطنين والمركبات المارة على الطرقات إلى المناطق الآمنة بما يتوافق مع

الجدول (15).

4. الإسهام في مراجعة وتحديث خطط الاستجابة للطوارئ بناء على التقييمات المستجدة

للمخاطر.

الجدول (15) مواقع شواخص منع المرور ونقاط الأمان لحركة المركبات.

الطريق	مكان وضع الشاخصة (المسافة عن ضفة النهر) (m)	أقرب مكان آمن للمركبات العابرة للطريق (m)
تركب - التوانين	600	بلدة تركب
بحوزي - الصفصافة	1100	قرية بحوزي
طرطوس - الصفصافة	1400	قرية ظهر الشمرة

	1000	حمص - طرطوس
قرية الجماسية	1700	تل كزل - زاهد
التوجه إلى المكان الآمن الموضح في الشكل (23)	3800	عرب الشاطئ - زاهد
	3300	طرطوس - طرابلس

7. الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تبين من الدراسة أن مدة الغمر تجاوزت (16) ساعة عند جميع القرى المتأثرة بالفيضان، إلا أن هذه الاستمرارية لم تكن مرتبطة بشدة وارتفاع الغمر، مما يعكس تأثير الخصائص الطبوغرافية والانحدار المحلي على سلوك انحسار المياه ضمن كل موقع.
- أظهرت الدراسة أن المنشآت الخدمية والحيوية كانت الأكثر عرضة للخطر، خاصة محطة المعالجة والمستودعات التي تعرضت لارتفاع غمر تجاوز (5) أمتار خلال زمن أقل من ساعتين، مما يستعدي تعزيز إجراءات الحماية عند هذه المواقع.
- ضرورة الاستجابة السريعة واتخاذ إجراءات وقائية في المنشآت التعليمية مثل روضة الأطفال والمدرسة، لكونها مواقع حساسة للغمر وتضم فئات عمرية ضعيفة.
- تبين من الدراسة أن جميع الطرقات ستعرض للغمر بعد مرور (4.9) ساعة من بداية الانهيار، وستبقى خارج الخدمة لمدة تتجاوز (19) ساعة، مما يعيق عمليات الإخلاء والاستجابة الطارئة.
- زيادة معامل الخشونة نتيجة تشجير المنطقة أدى إلى انخفاض واضح في سرعة الجريان وعرض الغمر، بينما أدى تراكم المياه الناتج عن تباطؤ الجريان إلى ارتفاع في منسوب الغمر الأعظمي، وهذا أمر يجب مراعاته عند تخطيط ودراسة إجراءات الحماية المكانية.
- تؤكد الدراسة أن إعداد خطة طوارئ واضحة تصنف مستويات الخطر وتحدد الأدوار والمسؤوليات تساهم بشكل فعال في تعزيز جاهزية الاستجابة وتقليل الآثار المحتملة للموجة الفيضانية.

التوصيات:

تحليل الموجة الفيضانية الناجمة عن الانهيار الافتراضي لسد الأبرش والتخفيف من أثارها

- ضرورة اعتماد النمذجة العددية كأداة مناسبة لتحليل سيناريوهات الفيضان الناتجة عن انهيارات السدود، بما في ذلك دمج نماذج الجريان المستقر وغير المستقر.
- ضرورة منح المنشآت التعليمية والخدمية الواقعة ضمن مناطق مهددة بالغمر أولوية في خطط الحماية والإخلاء وذلك نظراً لحساسيتها الوظيفية.
- اعتماد زيادة معامل الخشونة كأحد المعايير التصميمية في نمذجة الفيضانات، خصوصاً في المناطق ذات الخطورة العالية وذلك لدوره الفعال في إعادة توزيع الطاقة وتقليل الأضرار.
- ينبغي توجيه الدراسات المستقبلية نحو مقارنة بدائل أخرى لتقليل آثار الموجات الفيضانية مثل انشاء مناطق غمر موجه، أو تحسين المقاطع العرضية للمجري المائية، إلى جانب دراسة تأثير الخصائص المكانية والتوزع العمراني للمنطقة على سلوك الفيضانات.

8. تقييم المنهجية:

نقاط القوة:

- اعتماد نموذج (HEC-RAS) المعروف بموثوقيته العالمية في محاكاة الجريان غير المستقر الناتج عن انهيار السدود.
- الاستناد إلى القياسات الميدانية في معايرة النموذج الرقمي، مما ساهم في تقليل هامش الخطأ وزيادة دقة النتائج.
- توظيف النموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) لإجراء تحليل طبوغرافي ثلاثي الأبعاد للتوزع المكاني للغمر.

نقاط الضعف:

- الاعتماد على فرضيات تجريبية لانهيار السد قد لا تعكس بدقة جميع خصائص السد المدروس.
- محدودية دقة البيانات المكانية في المناطق التي تتسم بتباينات دقيقة في الارتفاع.
- صعوبة قياس التدفقات الصغيرة بدقة عالية بسبب القيود المرتبطة بالأدوات المستخدمة.
- محدودية نطاق القياسات الحقلية من حيث التكرار المكاني والزمني، مما قد يؤثر على شمولية تمثيل النموذج.
- هذه القيود لا تقلل من صلاحية النتائج، لكنها تشير إلى الحاجة إلى مزيد من البيانات عالية الدقة ودراسات تفصيلية لتعزيز موثوقية التنبؤات المستقبلية.

9. المراجع:

المراجع العربية

- 1- مريم، امتثال (2015) – دراسة موجة فيضانية ناتجة عن انهيار سد باستخدام برنامج Hec-Ras. رسالة ماجستير في الهندسة المائية، جامعة دمشق.
- 2- إبراهيم، بتول (2019) – تخطيط الموارد المائية وإدارتها في حوض نهر الأبرش. رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة حمص.
- 3- مشروع المراقبة والإدارة البيئية المتكاملة لنهر الأبرش. (2013). تحديد الواقع البيئي الراهن للموارد المائية السطحية في حوض النهر، المرحلة الأولى. وزارة الدولة لشؤون البيئة، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد. دمشق.
- 4- نسطه، ريم (2020) – تحديد حرم المصادر المائية السطحية (دراسة حالة نهر الأبرش). رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة حمص.
- 5- حلاوة، ليلي (2014) - الإدارة الهيدروليكية للموجة الفيضانية الناجمة عن انهيار سد ترابي والتخفيف من آثارها (منطقة الدراسة مجرى نهر العاصي بين سد قطينة والرستن ومجرده). رسالة دكتورا في الهندسة المدنية، جامعة حمص.
- 6- سلوم، حنان (2022) – إعداد خطة طوارئ للسدود باستخدام برنامج Hec-Ras (حالة دراسية سد تل حوش). رسالة ماجستير في الهندسة المدنية، جامعة حمص.

المراجع الأجنبية

- 7- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of Google Earth and Google Earth Engine. Remote Sensing, 13(18), 3778.
- 8- Da Tamiru, H., & Dinka, M. O. (2021). Application of ANN and HEC-RAS model for flood inundation mapping in lower Baro Akobo River Basin, Ethiopia. Journal of Hydrology: Regional Studies, 36, 10855.
- 9- Khayyal, H. K., Zeidan, Z. M., & Beshr, A. A. (2022). Creation and spatial analysis of 3D city modeling based on GIS data. Civil Engineering Journal, 8(1), 105.
- 10- De Doncker, L., Troch, P., Verhoeven, R., Bal, K., Meire, P., & Quintelier, J. (2009). Determination of the Manning roughness coefficient influenced by vegetation in the river Aa and Biebrza river. Environmental fluid mechanics, 9, 549-567.
- 11- Plans, D. E. A. (2013) - Guidelines for Developing Guidelines for Developing Dam Emergency Action Plans, Publication no. 92-22.

تأثير عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة

م. بتول طه الشامي

د. هويدا خزام

الملخص:

يدرس البحث أهمية تصميم الفراغات الداخلية للمتاحف وبالأخص فراغات العرض المتحفي التي تؤثر على حركة الزائر وسهولة توجيهه، وعلى المعماري مراعاة العوامل التي تساعد الزوار على إدراك الحركة وسهولة التنقل ضمن الصالات، بالإضافة لدراسة العناصر التي تؤثر على تغيير الحركة، وهناك عدة أنواع لمسارات الحركة ضمن الفراغات والتي تتشكل من خلال عناصر التصميم الداخلي كالجدران والاثاث والإضاءة والألوان والتكنولوجيا، للوصول الى تصميم مناسب يؤمن مساراً حركياً واضحاً وسهلاً ضمن صالات العرض ويجذب الزوار ويجعل زيارتهم للمتحف ممتعة من خلال التصاميم المفتوحة الواسعة ذات الطابع الحديث والتقنيات الذكية، والتقسيمات الداخلية للجدران الموجهة للحركة بشكل غير مباشر والإضاءة المناسبة.

الكلمات المفتاحية: الحركة، المتاحف، صالات العرض، إدراك المستخدم، مسار الحركة

The Influence of Interior Design Elements on Visitor Movement in Contemporary Museums

Dr. Howaida Khuzam

Ar. Batoul Taha Al Shami

Abstract:

"The study examined the importance of designing museum interior spaces, particularly the exhibition halls, which influence visitor movement and ease of wayfinding. The architect must consider factors that help visitors perceive movement and navigate easily within the halls, in addition to studying the elements that affect changes in movement. There are several types of movement paths within spaces, shaped by interior design elements such as walls, furniture, lighting, colors, and technology. This aims to achieve a suitable design that ensures a clear and easy movement path within the exhibition halls, attracts visitors, and makes their museum visit enjoyable."

Keywords:

movement, museums, galleries, user perception, movement path

1. المقدمة:

تصميم صالات العرض في المتاحف لا يقتصر على التوزيع المكاني للمحتويات، بل يشمل أيضاً الاهتمام بحركة الزوار وتفاعلهم مع المعارضات، من خلال عناصر التصميم الداخلي وتوجيه الحركة، وتوفير بيئات مناسبة للإضاءة والراحة، يمكن للمتحف أن يخلق تجربة غنية تعزز من فهم الزوار وتجعل الزيارة أكثر تفاعلاً وممتعة. وتؤثر أنواع الحركة داخل صالات العرض في المتاحف بشكل كبير على كيفية تفاعل الزوار مع المعارضات وتجربتهم التعليمية، من الحركة الخطية إلى التفاعلية، تتنوع الأساليب المستخدمة لتحقيق أفضل تجربة تعليمية وجمالية للزوار وتعتبر حركة الأشخاص عنصراً أساسياً في تصميم المساحات المعمارية لأنها تؤثر على وظيفة المكان، بالإضافة الى توضع الأثاث والمعارضات وأشكال الجدران والألوان المستخدمة والإضاءة بكل أنواعها ضمن فراغ العرض.

2. هدف البحث:

يهدف البحث الى دراسة تأثير عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في المتاحف المعاصرة على حركة الزوار للوصول لمعالجات تصميمية من شأنها أن تساعد الزائر على حركة أفضل.

3. منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي: من خلال تقديم قاعدة نظرية ومراجع تتعلق بعناصر التصميم الداخلي للمتاحف بالإضافة لمسارات الحركة التي يمكن استخدامها في التصميم وصولاً لصالات العرض والحركة داخلها ومن ثم الانتقال لتحليل أمثلة عالمية وعربية لمعرفة أفضل تصميم لحركة الزائر.

4. الحركة في العمارة

1-4. مفهوم الحركة في العمارة يشير إلى الطريقة التي يتنقل بها الأشخاص داخل الفضاءات المعمارية وكيفية تنظيم الفضاءات لتوجيه حركة المستخدمين بطريقة فعّالة وسلسة. الحركة في العمارة لا تقتصر فقط على التنقل المادي داخل الفضاء، بل تشمل أيضاً كيفية تأثير التصميم على التجربة الحسية والمعنوية للأفراد أثناء تنقلهم داخل المبنى أو الموقع. تعتبر حركة الأشخاص عنصراً أساسياً في تصميم المساحات المعمارية لأنها تؤثر على وظيفة المكان، تدفق الأشخاص، والراحة العامة. التصميم المعماري يؤثر بشكل مباشر على الحركة داخل الفضاء، فالمسارات المفتوحة، والتوجيه المكاني الجيد، والإضاءة المناسبة كلها جوانب تشكل كيف تتحرك الناس داخل المكان.

في العمارة الحديثة، يتم الاهتمام بتحقيق توازن بين الفضاءات المفتوحة والمغلقة، بحيث يتم توجيه الحركة بطريقة سلسة ومناسبة لكل جزء من المبنى، الحركة في العمارة هي عنصر أساسي يشمل كافة جوانب التنقل والتفاعل داخل الفضاءات المعمارية، يتضمن ذلك التصميم الجيد للمسارات، والتنقل الوظيفي، وتوجيه المستخدمين بطريقة تساهم في تحسين التجربة المكانية والوظيفية. [1] ومن جوانب مفهوم الحركة في العمارة:

. التنقل الفيزيائي:

- يتعلق بكيفية انتقال الأشخاص داخل المساحة عبر الممرات، الادرار، المصاعد، والغرف المختلفة. يشمل ذلك التوجيه المكاني، مثل التأكد من أن المسارات واضحة وسهلة الاستخدام، وبالتالي تساهم في تجربة تنقل مريحة وسلسة.

. التدفق:

- يشير إلى كيفية تنظيم المسارات بحيث يحقق تصميم المكان تدفقاً منطقياً للحركة. مثلاً، في المباني العامة أو التجارية، يجب أن يُصمم المدخل والممرات والبوابات بطريقة تشجع الأشخاص على التنقل بشكل طبيعي من نقطة إلى أخرى دون حدوث اختناقات أو تداخل.

. التوجيه المكاني:

- يرتبط بكيفية توجيه الناس داخل المكان باستخدام إشارات مرئية أو ضوء أو ألوان أو تفاصيل معمارية تساعد الأفراد على تحديد الاتجاهات، استخدام الفضاء والمواد المعمارية يمكن أن يؤثر على الشعور بالاتجاه داخل المكان.

. الحركة والتفاعل مع الفضاء:

- الحركة في العمارة ليست مجرد انتقال مادي، بل أيضاً جزء من التفاعل النفسي والعاطفي مع الفضاء، تصميم المساحات بطريقة يمكن أن يؤثر في مشاعر الشخص وتفاعله مع المكان. على سبيل المثال، المساحات الواسعة والمفتوحة قد تعطي إحساساً بالحرية، بينما المساحات الضيقة قد تخلق شعوراً بالخصوصية أو الراحة.

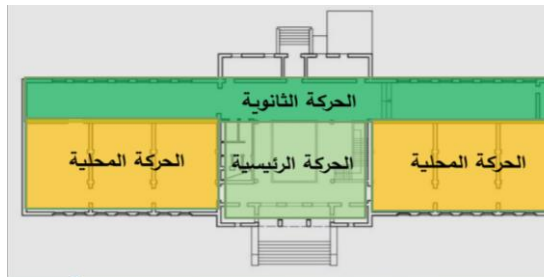
2-4. أنواع الحركة:

يوجد أنواع أساسية للحركة تتنوع بالأهمية لتأمين وصول جيد بين الفراغات وهي:

- **الحركة الرئيسية:** تشمل المسارات الرئيسية التي تربط بين الأماكن الأكثر أهمية في المبنى، مثل المداخل، الممرات الرئيسية، أو المدخل الرئيسي.

- **الحركة الثانوية:** تشمل المسارات الأقل أهمية التي قد تكون مخصصة للموظفين أو لأغراض خدمية. [1]

- **الحركة المحلية:** تشمل الحركة داخل الغرف أو الأقسام داخل المبنى، كما في الشكل (1).



الشكل (1) متحف تدمر وأنواع الحركة. المصدر: [10]

3-4. نظام الحركة في العمارة

يشير إلى الطرق التي يتم بها توجيه الأشخاص داخل الفضاءات المعمارية لضمان التنقل السلس والفعال. يشمل هذا النظام التصميم المعماري للممرات، الادرار، المصاعد، التي تمكن الأفراد من الوصول إلى مختلف مناطق المبنى أو الموقع بسهولة وأمان. يعتمد نجاح هذا النظام على عدة عوامل منها تدفق الحركة، التوجيه المكاني، والأمان، بالإضافة إلى تلبية احتياجات الأفراد في بيئات مختلفة مثل المباني السكنية، التجارية، العامة، والصناعية، وعناصر نظام الحركة (الانتشار) هي:

- الممرات: تشكل الشرايين الرئيسية التي تُربط بين الغرف أو الأماكن داخل المبنى.
- الادرار والمصاعد: توفر الوصول بين الطوابق. في العمارة الحديثة، تتداخل الادرار مع المصاعد لتحقيق تدفق مرّن في الفضاءات متعددة الطوابق، كما في الشكل (2)
- المسارات المخصصة: خاصة بالمساحات المفتوحة أو المواقع الحضرية، مثل المسارات داخل الحدائق أو المدن. [6]



الشكل (2) الممرات والادرار في متحف المستقبل دبي. المصدر: [11]

5. المتاحف:

5-1. تعريف المتحف:

تعريف المتحف وفقاً للنظام الأساسي للمجلس الدولي للمتاحف الذي اعتمده الجمعية العامة الثانية والعشرون في فيينا، النمسا، في 24 آب: 2007 المتحف مؤسسة دائمة غير هادفة للربح في خدمة المجتمع وتنميته، مفتوحة للجمهور، تكتسب وتحافظ على التراث المادي وغير المادي للبشرية وبيئتها، وتحفظه وتواصله وتعرضه لأغراض التعليم والدراسة والتمتع.[2]

5-2. أنواع المتاحف:

- أنواع المتاحف تبعاً للشكل الإداري:

- المتاحف الإقليمية - المتاحف القومية - المتاحف المحلية - المتاحف التابعة لجهات متخصصة
- المتاحف الخاصة (ملكية خاصة)
- أنواع المتاحف تبعاً لتخصصها:

المتاحف الحربية - متاحف التاريخ الطبيعي - متاحف الفن المعاصر - متاحف العلوم والتكنولوجيا
المتاحف المتخصصة

5-3. لمحة تاريخية عن المتاحف:

- في العصور القديمة، لم تكن المتاحف بمعناها الحالي اليوم، فكان المصريون يعتبرون المعابد المصرية أشبه بالمتاحف وكان الوصول للمتحف بشكل مباشر من غير دراسة للموقع الخارجي وكانت التكوينات المعمارية بسيطة الشكل ومتناظرة، وتستخدم مواد محلية منسجمة مع البيئة المحيطة وكانت المتاحف (مثل المتحف المصري) معتمدة على المعارض الثابتة وغير التفاعلية، الحركة كانت محكومة بالأدوات البسيطة، وكان الزوار غالباً يسرون عبر المسارات الثابتة نحو المعارض.

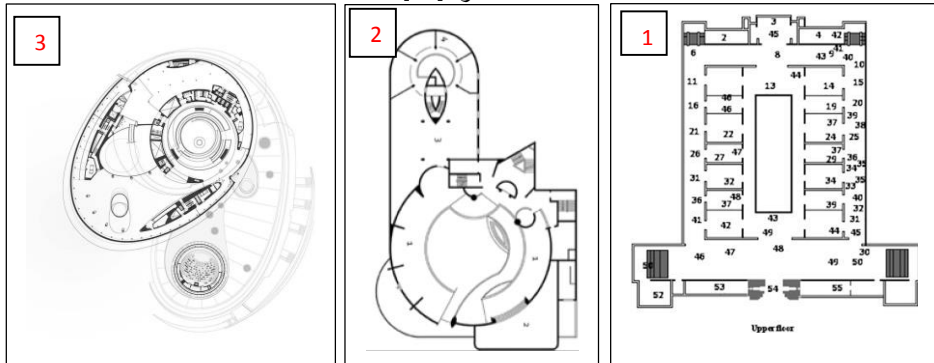
- مع تطور الفكر المعماري، بدأ ظهور المساحات الواسعة التي تتيح حرية في الحركة أكثر (مثل متحف الفن الحديث)، وكان هناك دراسة واسعة للواجهات والتكوينات الخارجية لجعلها عنصراً جذاباً، كما في الشكل (3)، بالإضافة للتصميم الداخلي وتنوع أشكال المساقط الأفقية مثل "متحف غوجنهايم" تعكس هذا التغيير في الحركة، حيث أصبح التنقل بين المعروضات جزءاً أساسياً من التجربة. [7].

- تطور التصميم التفاعلية واستخدام التقنيات الحديثة (الواقع الافتراضي، التطبيقات الذكية) التي تسمح للمستخدم بالتفاعل مع المعروضات بطريقة غير تقليدية، بالإضافة للواجهات التفاعلية والاضاءة الذكية وغيرها من التقنيات المستخدمة لجذب الزوار وتسهيل حركتهم، مع تطور في تصميم المساقط، كما في الشكل (4).



الشكل (3) تتطور الشكل الخارجي لتصميم المتحف

المصدر: [12]



الشكل (4) تتطور تصميم المساقط الافقية لجعلها أكثر تفاعلاً

المصدر: [12]

6. فراغات الحركة الرئيسية في المتاحف:

تبدأ حركة المستخدم داخل المتحف من البهو الرئيسي ومن ثم التنقل بالممرات للوصول لصالات العرض او الفعاليات الأخرى، باستخدام الادراج او المصاعد أو الرامبات، وسيتم استعرض فراغات الحركة الرئيسية وهي في المخطط (1):



مخطط (1) مخطط فراغات الحركة للزائر، المصدر: عمل الباحثة

- يعد تصميم صالات العرض في المتاحف من العناصر الحيوية في إنشاء تجربة متحفية فعّالة ومؤثرة، تهدف صالات العرض إلى توفير بيئة تتناغم فيها العناصر المعمارية والفنية مع حركة الزوار، مما يعزز من التفاعل مع المعارضات ويسهم في فهمها بشكل أفضل، يتطلب تصميم صالات العرض التوازن بين الجمال والوظيفة لضمان تجربة ممتعة للزوار [2]

6-1. عوامل تصميم صالات العرض:

- الأبعاد والتخطيط المكاني: من المهم أن تكون صالات العرض واسعة بما يكفي لاستيعاب حركة الزوار ولكن دون أن تكون مفرطة في الفضاء بحيث تضيق التجربة المتحفية. التخطيط المكاني يجب أن يتيح للزوار الشعور بالراحة أثناء التنقل. [3]

تأثر عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة

- توجيه حركة الزوار: تصميم المسارات داخل صالات العرض يجب أن يوجه حركة الزوار بشكل غير مباشر وفعال، إما باستخدام الممرات، أو تغيير الاتجاهات بين المعارضات، قد يتم استخدام الإضاءة أو الألوان أو المنحنيات في الجدران لإرشاد الزوار دون أن يشعروا بأنهم موجهين بشكل صارم، كما في الشكل (5). [1]



الشكل (5) توجيه حركة الزوار من خلال اكساء الارضيات

المصدر: [11]

- الإضاءة: الإضاءة هي عنصر مهم جداً في تصميم صالات العرض، يمكن استخدام الإضاءة

لإبراز المعارضات وإضافة تأثيرات درامية على المعارض، من المهم أن تكون الإضاءة مرنة بحيث يمكن تعديلها حسب نوع المعارضات، يمكن استخدام اضاءة مركزة على المعارضات معينة لجذب الانتباه وتوجيه الحركة بتجاهها، بالإضافة لاستخدام الإضاءة الطبيعية لتوضيح الفراغ بشكل كامل وتوضيح مسارات الحركة وتوضع المعارضات. [3]

- الأثاث: اختيار الأثاث في الصالات يجب أن يكون عملياً ويخدم الزوار، مثل توفير مقاعد أو أماكن استراحة، ويمكن استخدام عناصر عرض متحركة وقابلة للتغيير حسب احتياجات الصالة تؤدي الى تغيير مسار حركة الزائر بشكل غير مباشر، ومن الممكن توضع المعارضات بشكل يناسب فراغات العرض كما في الشكل (6)، بالإضافة للتقنيات الحديثة التي تتواجد على المعارضات او جدار العرض او باقي عناصر الفراغ الداخلية [3]



الشكل (6) تنوع توزيع المعروضات بما يتناسب مع شكل الفراغ

المصدر: [12]

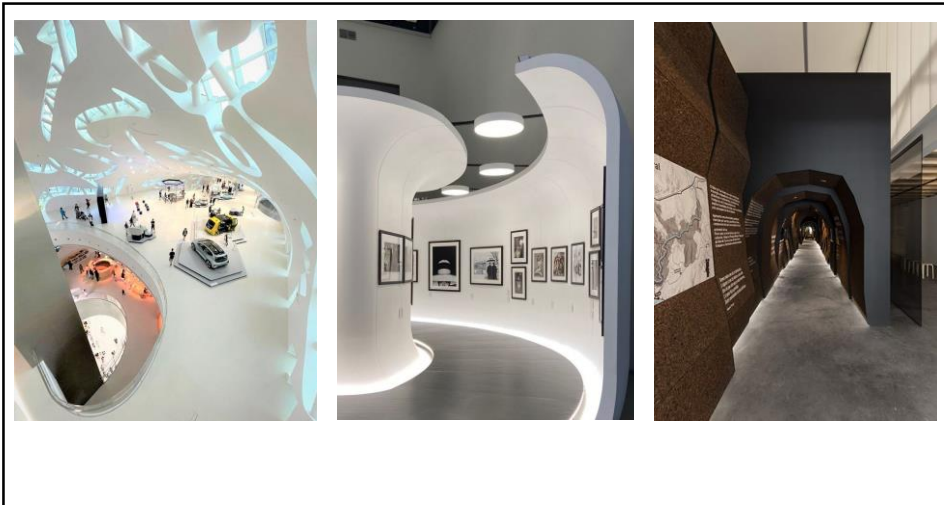
2-6. أنواع التصاميم المعمارية لصالات العرض:

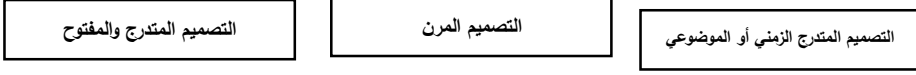
- **التصميم المفتوح:** في بعض المتاحف الحديثة، يتم تصميم صالات العرض بحيث تكون المساحات مفتوحة بدون جدران فواصل بين المعارض. هذه التصميمات تتيح حرية الحركة وتسمح للزوار بتجربة التنقل بسلاسة بين المعروضات. [2]

- **التصميم المتدرج:** في هذا النوع من التصاميم، يتم تحديد مستويات مختلفة للمتحف من خلال الادرار أو المصاعد، مما يخلق تنوعاً في التجربة البصرية ويحفز الزوار على استكشاف المعروضات في بيئة متعددة الأبعاد [2].

- **التصميم المتدرج الزمني أو الموضوعي:** في بعض المتاحف، يتم تنظيم المعارض حسب الزمن أو الموضوع، حيث يتم استخدام المسارات أو المعابر الضيقة لربط الفراغات وتوجيه الزوار عبر فترة زمنية أو موضوع معين الشكل (7).

- **التصميم المرن:** المتاحف الحديثة تميل إلى استخدام تصاميم مرنة لصالاتها بحيث يمكن تغيير ترتيب المعروضات أو حتى بناء المعارض المؤقتة بسهولة. تشمل هذه التصاميم استخدام أسطح قابلة للتغيير ومساحات متعددة الاستخدامات الشكل (7). [3]



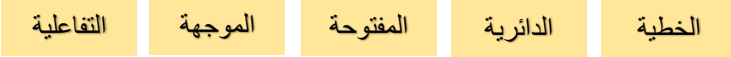


الشكل (7) أنواع تصاميم صالات العرض

المصدر: [13]

3-6. أنواع مسارات الحركة داخل صالات العرض:

تتنوع مسارات الحركة ضمن صالات العرض من خلال عدة أنواع يوضحها المخطط (2):



- **خطية:** حيث يتحركون (2) مخطط مسارات الحركة ضمن الصالات، المصدر: عمل الباحثة. تُستخدم هذه الحركة في المتاحف التي تحتوي على معروضات متسلسلة تاريخياً أو تحكي قصة معينة. [6]

- **الدائرية:** حيث يمكنهم التحرك حول مجموعة من المعروضات بشكل دائري أو حلزوني. تُستخدم هذه الحركة في المتاحف التي تعرض قطعاً فنية كبيرة أو معروضات يتمتع الزوار بمشاهدتها من زوايا متعددة. [3]

- **المفتوحة:** يسمح للزوار بالتنقل بحرية تامة بين المعروضات دون وجود مسار محدد أو ملزم وتُستخدم بشكل شائع في المتاحف المعاصرة أو المتاحف التي تعتمد على عرض المعروضات بطريقة غير تقليدية، الشكل (8).

- **الموجهة:** يتم توجيه الزوار باستخدام إشارات أو وسائل إرشادية لاتباع مسار معين داخل صالات العرض يُستخدم في المتاحف التي تعرض معروضات معقدة أو يتطلب ترتيب المعروضات في تسلسل معين لإيصال فكرة أو رسالة تعليمية. [3]

- **التفاعلية:** تعزز التفاعل الشخصي مع المعروضات باستخدام تقنيات مثل الشاشات التفاعلية أو المحاكاة التي تشجع الزوار على التفاعل مع المحتوى ويتم استخدام هذه الحركة في المتاحف التي تعتمد على التكنولوجيا الحديثة مثل الواقع المعزز (AR) أو الواقع الافتراضي (VR). [3]



الشكل (8) حركة مفتوحة ضمن الصالات. المصدر: [13].

7. إدراك المستخدم في العمارة

7-1 مفهومه: هو عملية تفسير وفهم العناصر المعمارية والبيئة المبنية من قبل الأفراد عند تفاعلهم مع المساحات والمباني، يشمل ذلك كيف يرى الأشخاص، يشعرون ويتفاعلون مع المساحات من خلال العناصر المكانية مثل الألوان، الضوء، المواد، التوزيع المكاني، والهيكل العام للمبنى، يمكن أن يؤثر هذا الإدراك في تجربة المستخدم بشكل كبير، سواء كانت في مبنى سكني، تجاري، ثقافي أو أي نوع آخر من المباني. [4].

7-2. العوامل التي تؤثر على إدراك المستخدم:

أ. التصميم المكاني:

- **الفضاء والتنقل:** كيفية تنظيم المساحات والتفاعل بينها، مثل الممرات، الفتحات، والمداخل. يمكن للمستخدم أن يشعر بالراحة أو الارتباك بناءً على طريقة ترتيب المساحات ووضوحها لسهولة الحركة.

- **الأبعاد والنسب:** ارتفاعات الأسقف، المسافات بين الجدران، واتساع الغرف تؤثر بشكل كبير على شعور المستخدم بالراحة أو الانزعاج. المساحات الصغيرة قد تؤدي إلى شعور بالاختناق، بينما المساحات الواسعة قد تؤدي إلى الشعور بالعزلة. [4].

ب. الضوء والظل:

- الإضاءة الطبيعية والاصطناعية لها تأثير كبير على كيفية رؤية المساحة. الضوء يمكن أن يبرز أو يخفي التفاصيل المعمارية ويؤثر على الإحساس بالدفء أو البرودة في المكان.
- توزيع الضوء: قد يؤدي الضوء القادم من نوافذ معينة إلى إضفاء جو من الراحة أو الضيق داخل المساحات المغلقة الشكل (9).

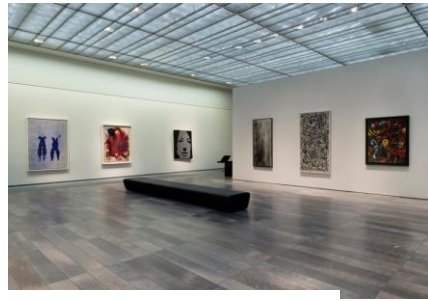


الشكل (9) خلق جو من الإضاءة المريحة

المصدر: [11]

ج. المواد والألوان:

- المواد مثل الخشب، الحجر، الزجاج، والمعادن يمكن أن تخلق انطباعاً مختلفاً حسب نوعها وتركيبها. المواد الطبيعية قد تعزز الإحساس بالراحة والارتباط بالطبيعة، بينما المواد الحديثة قد توجي بالحدائثة والتكنولوجيا. [4]
- الألوان تلعب دوراً مهماً في تغيير المزاج والإحساس بالمساحة، الألوان الفاتحة قد تجعل الغرف تبدو أكبر وأكثر إشراقاً، بينما الألوان الداكنة قد تضفي عمقاً وغموضاً الشكل (10).



الشكل (10) ألوان فاتحة والوان داكنة لصالات العرض، المصدر: [12]

د. الأنماط والشكل:

- **الخطوط والأشكال:** الأشكال الهندسية الواضحة أو المنحنية يمكن أن تثير شعورًا بالتنظيم أو الفوضى، على سبيل المثال، الأشكال المستديرة قد توحى بالراحة والمرونة، بينما الأشكال الزاوية قد تشعر المستخدم بالاستقرار.

- **التكرار والتنسيق:** تكرار الأشكال أو الأنماط المعمارية يساهم في تسهيل الإدراك ويخلق إحساسًا بالانسجام والتناغم. [4]

هـ. التفاعل مع البيئة المحيطة:

- كيف يتفاعل المستخدم مع البيئة المحيطة بالمبنى، سواء كانت بيئة طبيعية أو حضرية، هو جزء من الإدراك المعماري، على سبيل المثال، المساحات التي تتفاعل بشكل جيد مع المناظر الطبيعية أو البيئة الحضرية يمكن أن تكون أكثر جذبًا للمستخدم. [4]

8. عناصر التصميم الداخل لصالوات العرض:

هي المكونات الأساسية التي تشكل المساحات داخل المبنى وتؤثر بشكل كبير على الوظيفة والجمالية، هذه العناصر تعمل معًا لتحقيق بيئة مريحة ووظيفية للمستخدمين، تنقسم إلى عناصر مادية (الجدران، الأرضيات، الأسقف، النوافذ، الأثاث، التكنولوجيا) وعناصر غير مادية (الإضاءة، الألوان، المواد) أهم هذه العناصر كما يلي:

. الجدران:

الجدران هي الحدود التي تحدد الفراغات الداخلية وتوفر الخصوصية، وتعمل على تقسيم المساحات إلى غرف أو مناطق محددة، قد تكون الجدران ثابتة أو قابلة للتعديل (مثل الجدران المتحركة)، الجدران لا تقتصر على الفواصل بين الغرف، بل تلعب دورًا في تأثير الإضاءة والتهوية داخل الفراغ. [8]

. السقف:

تأثر عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة

السقف هو العنصر الذي يحدد حدود الفراغ من الأعلى، ويلعب دورًا في تحديد ارتفاع الغرفة والإحساس بالاتساع أو الضيق، تأثير السقف على الفراغات يتضمن الأبعاد البصرية، الإضاءة، والتأثيرات الصوتية.

يلعب الارتفاع دورا كبيرة في وضوح الرؤية كما هو موضح في الشكل (11) المتحف المصري، هذا الارتفاع الشاهق الذي يتناسب مع المعروضات.[8]



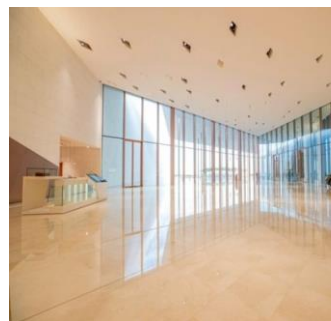
الشكل (11) المتحف المصري، المصدر: [10]

. الأرضيات

تشكل الأرضيات الأساس المادي الذي نقف عليه، ولها تأثير كبير على الإحساس بالراحة والوظيفية في الفضاء، والمواد المستخدمة في الأرضيات (خشب، سيراميك، إسمنت، أو سجاد) تؤثر في الجودة الجمالية والوظيفية.[8]

. النوافذ

تسمح بدخول الضوء الطبيعي والتهوية إلى الفراغ الداخلي، كما تساهم في توفير الاتصال البصري مع الخارج، مما يعزز الإحساس بالمساحة، وتحديد مواضع النوافذ وحجمها يؤثر بشكل كبير على الإضاءة والتهوية الداخلة للفراغات الشكل (12).[8].



الشكل (12) متحف عمان

. الأثاث والتجهيزات

المصدر: [12]

الأثاث جزء أساسي من تكوين الفراغ الداخلي حيث يعكس الاستخدام الفعلي للفراغ، تشمل هذه العناصر الكراسي، الطاولات، الأسيرة، المكتبات، الأثاث يساهم في توفير الراحة والوظائف المطلوبة من الفضاء، وتساعد في تحديد الحركة حولها. [4]

. الإضاءة

الإضاءة، سواء كانت طبيعية (من النوافذ) أو اصطناعية، لها تأثير عميق على خلق جو الفراغ الداخلي، تساعد الإضاءة في تحديد الملامح البصرية للمساحة وتحديد التوجهات البصرية، تتنوع مصادر الإضاءة بين الإضاءة العامة، المباشرة، وغير المباشرة. [5]

. الألوان والمواد

اختيار الألوان والمواد في الفراغ الداخلي له تأثير كبير على الإحساس بالحجم والجو العام، الألوان الفاتحة تجعل المساحة تبدو أكثر اتساعاً، بينما الألوان الداكنة قد تجعلها أكثر حميمية، المواد مثل الخشب، المعدن، الزجاج، وغيرها تحدد أيضاً المظهر الجمالي والراحة الحسية للفراغ، الشكل

[5].(13)



الشكل (13) متحف اللوفر ابوظبي. المصدر: [12]

. التفاعل والتكنولوجيا

الوسائط المتعددة: توفير شاشات عرض، شاشات تفاعلية، ومعدات صوتية لتحسين فهم الزوار للمعروضات.

التفاعل الرقمي: استخدام تطبيقات أو أجهزة موجهة لتوفير معلومات إضافية للزوار مثل تقنيات الواقع المعزز أو الواقع الافتراضي، الشكل (14). [2].



الشكل (14) تقنيات العرض من خلال الشاشات التفاعلية المصدر: [13]

9. الدراسة التحليلية

- تم دراسة مثالين (عالمي وعربي) بسبب تميز الشكل الخارجي الذي أثر على الفراغات الداخلية بالإضافة لتصميم داخلي مميز.
- لمعرفة حركة الزوار المناسبة داخل صالات العرض تم دراسة النقاط التالية:
 - عناصر التصميم الداخلي (الإضاءة، الجدران، الاسقف، الارضيات، الألوان، الأثاث، الدلالات الارشادية، التقنيات الحديثة)
 - نوع تصميم صالات العرض (مفتوح، مرن، متدرج)
 - نوع الحركة (دائري، خطي، مفتوح، موجه، تفاعلي)

9-1. متحف الفن الحديث في أودنباذاري في تركيا (Museum Modern Odunpazarı)

(- OMM

. تاريخ الإنشاء: 2014

. المصمم : Kengo Kuma and Associates (KKAA)

. نوع المتحف: فن معاصر

المتحف يُعتبر امتدادًا لروح حي أودنباذاري، حيث يدمج بين الطابع المحلي والعناصر الحديثة، يقع في منطقة ذات طابع تاريخي وتُعد أودنباذاري مركزًا ثقافيًا مهمًا في إسكي شهير، تصميم المتحف يدمج بدقة مع البيئة المحيطة من خلال الحفاظ على تناسق المقياس والمواد، مما يساهم في خلق توازن بين الجديد والقديم. [12] الشكل (15).



الشكل (15) متحف اودنباذاري من الخارج. المصدر: [12]

ية،

ف

الابيض الذي يعطي اتساعا ووضوحا للصالة، مع

ح المسارات. [12]

والارضيات المحددة بلونين توجه حركة الزائر في صالات العرض بشكل غير مباشر نحو المعروضات كما في الشكل (16). بالإضافة لشكل الجدران المنكسر الموجه، الشكل (17).

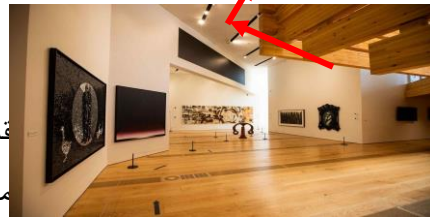
تأثر عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة



الشكل (16) توجيه المسار من خلال اكساء الارضيات واستخدام الألوان الفاتحة للفراغات. المصدر: [12]
الاسقف مرتفعة لدخول الإضاءة لها وضوح للمسارات وسهولة التنقل، تعطي شعوراً بالاتساع الإضاءة داخل المتحف تعتمد بشكل رئيسي على الإضاءة الطبيعية التي تتدفق من النوافذ الزجاجية، مما يعزز الجو المشرق والطبيعي داخل الفراغ، ويؤثر على شعور الزائر وحركته، تم تزويد الفضاءات بإضاءة صناعية مرنة يمكن تعديلها وفقاً لنوع المعرض ونوعية الفن المعروض. تم استخدام الشاشات التفاعلية لتشكيل عنصر جذب يوجه الحركة نحوها [12] ، الشكل (18).

الشكل (18) الإضاءة المركزية وشاشات العرض، المصدر: [12]

الشكل (17) الجدران المنكسرة الموجهة، المصدر: [12]



على الخشب، الخرسانة، والفولاذ، توضع المعروض

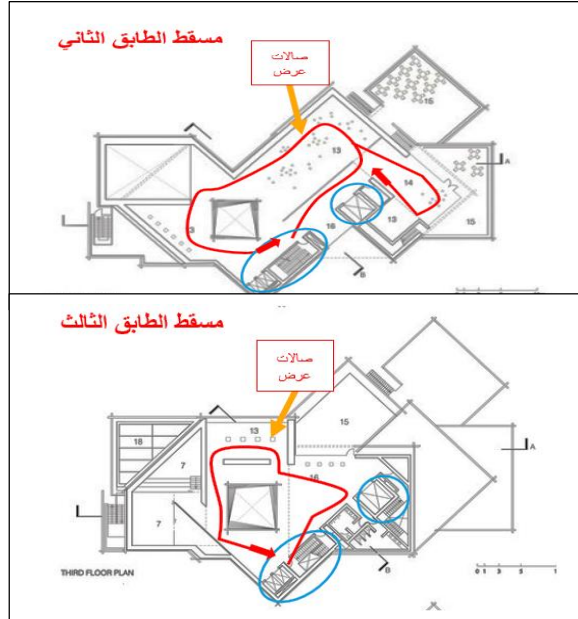
بتجاهها بالإضافة لوجود إرشادات توضيحية تساعد في تسهيل الحركة.

ب. نوع تصميم صالات العرض:

تم تصميم صالات العرض بشكل مفتوح بدون استخدام فواصل او جدران بين صالات الطابق الواحد، وتسهيل الوصول للمساعد والادراج من خلال التصميم المتدرج لربط مستويات المعارض.

ج. نوع الحركة:

تشكلت حركة دائرية حول الميزانين الذي أعطى وضوحاً للمسارات كما في الشكل (19)، بالإضافة للجدران المنكسرة التي رسمت خط السير لمشاهدة المعروضات بشكل كامل داخل صالة العرض.



الشكل (19) حركة الزائر ضمن صالات العرض. المصدر: [12]

ملاحظات	التأثير على الحركة	صالات العرض	عناصر التصميم الداخلي المادية وغير المادية	
وجهت الجدران المنكسرة مسار الحركة بشكل غير مباشر في الفراغات.	-	-	مستقيمة	الجدران
	✓	*	منكسرة	
	✓	*	مرتفعة	الاسقف

تأثر عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة

الاسقف المرتفعة أعطت اتساع للمكان وشعور الزائر بالراحة والوضوح.	-	-	منخفضة	
تم توجيه الحركة من خلال استخدام لوان اخر في مادة اكساء الأرضية.	✓	*	محددة بالوان	الارضيات
	-	-	لون واحد	
النوافذ الكبيرة ساعدة في دخول الإضاءة الطبيعية لتوضيح المسارات.	✓	*	كبيرة	النوافذ
	X	*	صغيرة	
الإضاءة المركزة على المعروضات وجهة الزائر باتجاهها.	✓	*	طبيعية	الإضاءة
	✓	*	صناعية	
	✓	*	مركزة	
أعطت اتساعا للمكان وشعور الزائر بالراحة في التنقل.	✓	*	فاتحة	الألوان
	-	-	داكنة	
ثبات المعروضات اثر على جعل الحركة دورانية، مع وجود حركة حول الميزانين.	-	-	متحركة	المعروضات
	✓	*	ثابتة	
ربط المستويات للوصول بسهولة، بالإضافة لوضوح مكانها.	✓	*	ادراج ومصاعد	عناصر الاتصال
	-	-	رامبات	
وجهت الحركة بسهولة.	✓	*	دلالات ارشادية	

تقنيات حديثة	*	✓	جذبت الزائر ووجهت حركته.
نوع الحركة	دائرية	✓	دائري يسمح برؤية جميع المعروضات والفراغ.
الخلاصة			
ساعدت كلاً من عناصر التصميم الداخلي المادية وغير المادية على توجيه حركة الزائر بشكل واضح، وكانت الحركة الدائرية ضمن الصالات موضحة كل المسارات.			

النتيجة: تصميم صالات العرض يحقق حركة واضحة وسهلة للزوار من خلال النقاط التالية في الجدول (1)، مفتاح الجدول (✓ أثر، x لم تأثر، - غير موجود، * موجود)

2-9. متحف الفن الإسلامي في الدوحة

. تاريخ الإنشاء: 2008

. المصمم: leoh Ming Pei

. نوع المتحف: فن إسلامي معاصر

تصميم المتحف يُعتبر واحداً من أبرز الأمثلة على الهندسة المعمارية المعاصرة المستوحاة من التراث الإسلامي، ما يعكس الطابع الهندسي البسيط والراقي في العمارة الإسلامية، ويضفي عليه طابعاً دائماً ومتجدداً في نفس الوقت. ويضم أكثر من 18 قاعة عرض دائمة، بالإضافة إلى قاعات للمعارض المؤقتة، موزعة على طابقين رئيسيين، بالإضافة لقاعة خاصة بالمحاضرات والأنشطة التعليمية، مع مكتبة متخصصة. [13]



الشكل (20) متحف الفن الإسلامي. المصدر: [13]

- تصميم المبنى:

بالنسبة لتصميم المبنى نلاحظ التالي:

أ. عناصر التصميم الداخلي:

القاعات تحتوي على مساحات شاسعة مما يسمح بتوزيع الأعمال الفنية بشكل يسمح للزوار بالتفاعل مع كل قطعة على حدة، مما يشجع على الحركة الدورانية الحرة دون إرباك، وضع القطع الفنية في نقاط محورية (مثل نهايات الممرات أو تحت القبة) يجذب الزوار بشكل طبيعي، بينما توفر المساحات المفتوحة مناطق للراحة والتأمل، مما ينظم الحركة، بالإضافة للأسقف المرتفعة التي تعطي اتساعاً للمكان ووضوحاً للمسارات التي تربط بين الصالات، مع وجود دلالات ارشادية موضحة موزعة بشكل مناسب. [13]

اعتماد لون واحد للأرضيات، فتوجيه الحركة يتم بترتيب فراغات العرض بشكل متسلسل، والفتحات الكبيرة في الجدران أعطت استمرارية بصرية لربط صالات العرض ببعضها البعض وشكلت مساراً مستقيماً ومن ثم دائرياً للتقليل بشكل سلسل بالإضافة للتوزيع الجيد للمعروضات على الجدران وفي وسط فراغات العرض ليتم السير حولها والمشاهدة الكاملة للمعروضات، الشكل (21).



الشكل (21) تسلسل صالات العرض وانفتاحها على بعضها. المصدر: [13]

استخدام الأضواء والظلال لخلق تجارب بصرية مثيرة تُبرز الأعمال الفنية المعلقة على الجدران أو المعروضة داخل واجهات زجاجية، الربط بين القاعات يتم عبر ممرات تُضبط بعناية بحيث لا يشعر الزائر بالملل أو التكرار لتشكل مسار خطي دائري يربط الصالات، مع توضع مناسب



للمعروضات الثابتة. وجود شاشات تفاعلية تجذب الزائر وتوجه حركته باتجاهها كما في الشكل (22).



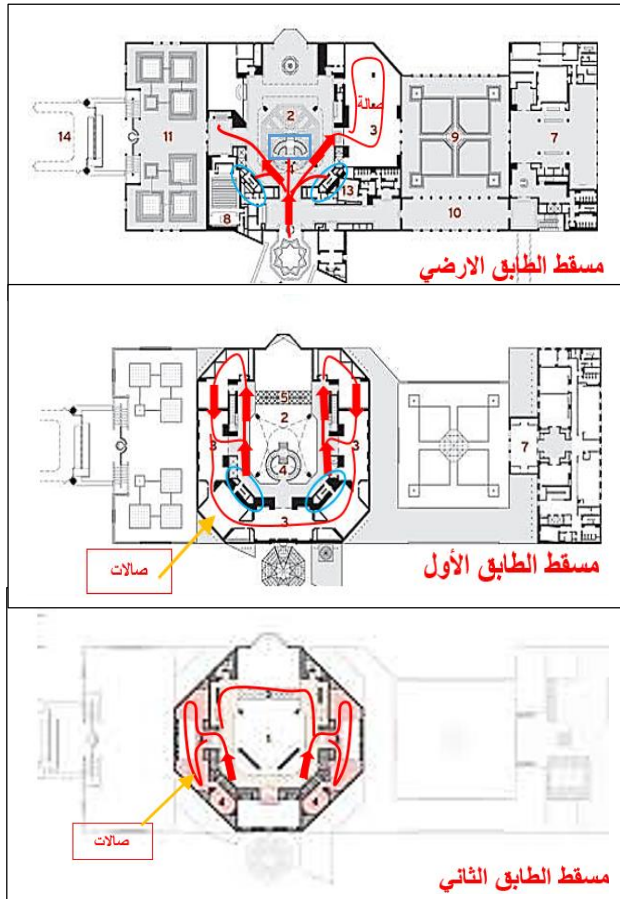
الشكل (22) توضع المعروضات وشاشات العرض
المصدر: [13]

ب. نوع تصميم صالات العرض:

يتم تصميم المعارض داخل المتحف (التصميم المتدرج الزمني) بحيث تكون متصلة ببعضها البعض عبر مسارات واضحة تتيح الانتقال السهل بين القاعات عبر تسلسل زمني.

ج. نوع الحركة:

القاعات الرئيسية في المتحف تتميز بأنها موزعة بشكل تدرجي لتعكس التسلسل الزمني أو الموضوعي للأعمال الفنية مما يعطي حركة خطية دائرية، الشكل (23).



تأثر عناصر التصميم الداخلي لصالات العرض في حركة الزائر بالمتاحف المعاصرة

الشكل (23) حركة الزوار ضمن صالات العرض

المصدر: [13]

النتيجة: تصميم صالات العرض يحقق حركة واضحة وسهلة للزوار من خلال النقاط التالية في

الجدول (2)، مفتاح الجدول (✓ أثر، x لم تأثر، - غير موجود، * موجود)

جدول (2) جدول تحليل متحف الفن الاسلامي

ملاحظات	التأثير على الحركة	صالات العرض	عناصر التصميم الداخلي المادية وغير المادية	
			الجدران	الاسقف
توجيه الحركة بشكل غير مباشر.	-	-	مستقيمة	الجدران
	✓	*	منكسرة	
سهولة رؤية مسارات الحركة.	✓	*	مرتفعة	الاسقف
	-	-	منخفضة	
سهولة الوصول بلا مشتتات للحركة.	-	-	محددة بالوان	الارضيات
	✓	*	لون واحد	

النوافذ	كبيرة	-	-	ادخال اضاءة طبيعية من النوافذ
	صغيرة	*	x	الكبيرة، مما وضح مسارات الحركة.
الإضاءة	طبيعية	*	✓	توضيح المسارات ضمن الفراغات.
	صناعية	*	✓	
	مركزة	*	✓	
الألوان	فاتحة	*	✓	أعطت اتساعاً للفراغات بالإضافة للألوان الداكنة في صالات العرض للانسجام.
	داكنة	-	-	
المعروضات	متحركة	-	-	حركة ثابتة حول المعروضات.
	ثابتة	*	✓	
عناصر الاتصال	ادراج ومصاعد	-	-	ساعدت لربط المستويات بشكل شاقولي لحركة سهلة.
	راميات	-	-	
دلالات ارشادية		*	✓	وضوح الحركة وعدم الضياع.
تقنيات حديثة		*	✓	عنصر جذب.
نوع الحركة		خطي، دائري	✓	الوصول لجميع العناصر ورأتها.
الخلاصة				
<p>أثرت عناصر التصميم الداخلي على الحركة، باستثناء الفتحات التي كانت صغيرة لم تتدخل الإضاءة الطبيعية للفراغات، نوع الحركة الخطي أعطى تأثيراً على التنقل الاجباري في مسار محدد خطية، والحركة الدائرية تعطي حرية في الحركة أكثر.</p>				

10- نتائج الدراسة التحليلية:

- أثر شكل صالات العرض المفتوحة على بعضها بشكل إيجابي على وضوح المسارات لدى الزائر وسهولة الحركة، كما في متحف اودنباراري ومتحف الفن الإسلامي.
- أعطت الاسقف المرتفعة والفتحات الكبيرة مجالاً لدخول الإضاءة وتوضيح الممرات وسهولة تنقل الزائر خلال الفراغات دون وجود حواجز بصرية، كمتحف الفن الإسلامي.
- أثرت الإضاءة الاصطناعية والمركزة في صالات العرض على توجيه حركة الزائر بشكل إيجابي وواضح، كمتحف اودنباراري.
- كان شكل الجدران المنكسرة وغير المستقيمة موجهاً لحركة الزائر بشكل غير مباشر وبحركة انسيابية بين فراغات العرض وإثارة عنصر الاكتشاف، كمتحف اودنباراري.
- أعطت الارضيات المزخرفة بطلاً لحركة الزائر بسبب انشغاله بالنظر اليها وتأملها، كمتحف الفن الإسلامي، وأثرت الارضيات التي تتكون من أكثر من لون او مادة اكساء على حركة المستخدم باتجاه معين، كمتحف اودنباراري.
- الألوان الفاتحة للصالات تعطي شعوراً بالاتساع وحرية الحركة، كمتحف اودنباراري ومتحف الفن الإسلامي.
- لعبت التقنيات الحديثة عنصر جذب للزائر وعنصراً تفاعلياً مشوقاً يوجه حركة الزائر بشكل واضح نحوها، كمتحف اودنباراري ومتحف الفن الإسلامي.

11- النتائج العامة:

- تصميم الفراغات المفتوحة ذات الارتفاعات العالية مع وجود ميزانين لها تأثير في تعزيز الاستمرارية البصرية ورؤية مسارات الحركة بوضوح.
- تؤثر العناصر المعمارية في تشكيل حركة الزائر ضمن صالات العرض لتعطي أشكالاً متنوعة تسهل الحركة.
- تشكل الجدران بأشكالها المختلفة دوراً مهماً في توجيه حركة الزائر بشكل غير مباشر من خلال التصميم الجيد لها.

- توفير الإضاءة الكافية للفراغات واختيار الألوان المريحة يشعر الزائر بالارتياح، والإضاءة المركزة للمعروضات ووجود شاشات العرض التفاعلية تشكل عنصر جذب.
- تصميم الارضيات بشكل يوجه الحركة بشكل غير مباشر من خلال ادخال مواد اكساء إضافية مما يوضح المسارات.
- توضع الدلالات الإرشادية في أماكن التقاطعات بشكل مدروس له دور في عدم ضياع الزائر خلال حركته ضمن الصالات.

12- التوصيات:

- أن يراعي المعماربيون في الكليات الهندسية تصميم صالات عرض تتيح حركة واضحة وممتعة للزوار وتفاعلية توجه حركتهم.
- يوصي البحث النقابات والجامعات والمكاتب الهندسية للتوجيه الى المعماربيين والطلاب بضرورة الاهتمام بتصميم المتاحف بشكل يواكب العصر والتطور التقني لما له أهمية في مجال العمارة.

المراجع:

1. عبد الغني، ألفت سليمان. (2014- ديسمبر). تطور مفهوم الحركة وانعكاسه على الناتج المعماري. مؤتمر الأزهر الهندسي الدولي الثاني عشر، كلية الهندسة جامعة الأزهر، مصر.

2. تقى الدباغ، فوزي رشيد. 1979- علم المتاحف. مطبعة جامعة بغداد، العراق. ص120.
3. صالح، سامال. 2011- تصميم المتاحف، بحث منشور، الموسوعة العربية، مصر.
4. اسماعيل، أيمن محمد. 2007 - إدراك الفكر التصميمي للاتجاهات المعاصرة في عمارة المتاحف. رسالة ماجستير، جامعة عين شمس، القاهرة. ص 102 - 110.
5. د. معاد، عبد الرزاق د. دبس وزيت حسام. 2008 - البعد الوظيفي والجمالي للألوان في التصميم الداخلي المعاصر. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد: 24 العدد: 2-11.

6. MOORE, Charles, and other, 1925- Dimensions: Space, Shape & Scale in Architecture. Architectural Record Books, New York, 183P.
7. Cunningham, J. et al, 2018- Museum Design and Exhibition Development. Routledge.
8. SCHULZC,N, 1966- Intentions In Architecture. MIT Press, Cambridge.
9. TALBOT, H, 1952- Function of the 20th Century Architecture. Columbia-New York.
10. http://www.genzymecenter.com/resources_images.html
11. https://www.commerzbank.de/buildings/buildings_.html
12. <http://www.archdaily.com/>
13. <http://www.dezeen.com/>

دراسة تجريبية في مقاومة الثقب للبلاطات الفطرية المسلحة**بقضبان BFRP**محمد فواز عباس⁽¹⁾عبد الحميد كيخيا⁽²⁾ هشام المما⁽³⁾**الملخص:**

نظراً لطبيعتها غير القابلة للصدأ ومقاومتها العالية وخفة وزنها، فإن القضبان المصنوعة من البوليميرات المسلحة بالألياف تستخدم على نطاق واسع في عمليات التشييد لا سيما في البيئات القاسية. تتضمن هذه الدراسة اختبارات تجريبية لـ خمس من البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان البوليمير المسلح بالألياف البازلتية BFRP تحت تأثير قوى محورية في الأعمدة تكافئ القوى المنقولة بين البلاطات والأعمدة في الواقع ومقارنتها بنموذج بلاطة فطرية مسلحة بالقضبان الفولاذية. تمت دراسة آلية الانهيار والشقوق والانتقالات الحاصلة ومحيط الثقب للبلاطات إضافة للقوة المسببة للثقب ومقارنتها مع القيم التحليلية التي تعطيها علاقات التصميم في الكودات، حيث أبدت نتائج الكودات قيماً متحفظة لحمولة الثقب، كما أبدت البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP انتقالات أكبر بنسبة 23.5%، وقدرة تحمل على الثقب أقل بنسبة 24.4% من البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية، وبينت نتائج الدراسة التجريبية أن زيادة سماكة البلاطة أدت لزيادة حمولة الثقب بنسبة 62% وأن زيادة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط أدت لزيادة حمولة الثقب بنسبة 18% وأن زيادة نسبة تسليح البلاطة أدت لزيادة حمولة الثقب بنسبة 22% وأن نقصان أبعاد العمود أدى إلى انخفاض حمولة الثقب بنسبة 13% وذلك وفق المواصفات المحددة لنماذج البلاطات في هذه الدراسة.

الكلمات المفتاحية: البوليميرات المسلحة بالألياف البازلتية (BFRP) - بلاطات فطرية-الثقب - الشقوق -نسبة التسليح.

(1) طالب دكتوراة - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

(2) أستاذ دكتور - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

(3) مدرس دكتور - قسم الهندسة الإنشائية-كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

Experimental Study on punching strength of Flat Slabs Reinforced with BFRP Bars

Mohammad Fawaz Abbas⁽¹⁾

Abd Al Hamed Kikhea⁽²⁾

Hisham Al mamma⁽³⁾

Abstract:

Due to its non-corrosive nature, high strength, and lightweight, fiber-reinforced polymer (FRP) bars are widely used in construction operations, especially in harsh environments. This study includes experimental tests on several flat slabs reinforced with BFRP bars under the effect of axial forces in columns equalizing the forces transferred between slabs and columns in reality and comparing them to a model of a flat slab reinforced with steel bars. The mechanism of collapse, cracks, resulting displacements, and punching perimeter of the slabs were studied, in addition to the force causing the punching and comparing it with the analytical values provided by design equations in codes. The results of the codes showed conservative values for punching load capacity, while the flat slab reinforced with BFRP bars exhibited larger displacements by 23.5% and lower punching capacity by 24.4% than slab reinforced with steel bars. The results of the experimental study showed that increasing the slab thickness increased the punching force by 62%, increasing the concrete's compressive strength increased the punching force by 18%, increasing the slab reinforcement ratio increased the punching force by 22%, and decreasing the column dimensions decreased the punching force by 13%, according to specifications for the slabs in this study.

Key words: Basalt Fiber Reinf. Polymers (BFRP), Flat Slabs, Punching, Cracking, Reinforcement ratio.

⁽¹⁾PhD student- Structural dep., Faculty of civil Engineering, Damascus Univ.

⁽²⁾ Prof. Dr. Abd Al Hamed Kikhea Structural dep., Faculty of civil Engineering, Damascus Univ.

⁽³⁾ Dr. Hisham Al mamma Structural dep., Faculty of civil Engineering, Damascus Univ.

-مقدمة 1 يُعدّ تآكل قضبان التسليح في الهياكل الإنشائية لمختلف العناصر المركبة لها أحد تحديات منظومة صناعة التشييد، حيث تحدّ مشكلة التآكل من العمر الفعلي للمنشآت الخرسانية و تبدأ هياكل المنشآت بالتدهور مع ارتفاع وتيرة التآكل وينتهي الأمر بتكسر الغطاء الخرساني وزواله، تتطلب هذه المشكلة إجراءات وقائية وعلاجية كزيادة سمك الغطاء الخرساني وتقليل نفاذية الخرسانة والعزل المائي للعناصر الإنشائية وطلاء القضبان الفولاذية بمواد ومركبات عازلة و رغم ذلك لم تكفي هذه الإجراءات لإنهاء المشكلة جذرياً إضافة إلى التكلفة الاقتصادية المترتبة على تطبيقها من جهة أخرى.

ظهرت خلال العقدين الماضيين قضبان من مركبات FRP (البوليمرات المسلحة بالألياف) كبديل واعد للقضبان الفولاذية للتغلب على مشكلة التآكل المرتبطة بالقضبان الفولاذية، ونظراً للمزايا الإيجابية التي توفرها هذه القضبان كقوة الشد الحدية الكبيرة وخفة الوزن والحيادية تجاه الحقول الكهربائية والمغناطيسية والترددات اللاسلكية، فقد تمّ استخدام قضبان التسليح من مركبات FRP في صناعة التشييد في العديد من البلدان كالولايات المتحدة الأمريكية وكندا وروسيا واليابان وبعض الدول الأوروبية، حيث نُفذت قضبان FRP في تشييد بلاطات الجسور الطرقية والجدران الاستنادية وأماكن مرآب وقوف السيارات والجدران الاستنادية وأساسات المنشآت كما في الشكل (1).

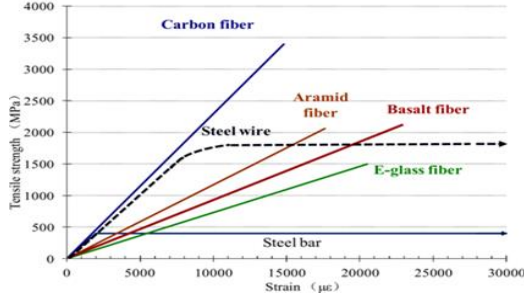
الشكل (1): نماذج لاستخدام قضبان FRP في تسليح المنشآت البيتونية. [10]

إن



البوليميرات المسلحة بالألياف هي خليط من مواد متجانسة (Isotropic) وهي الألياف (Fibre) ومادة رابطة (Matrix) وهي الراتنجات، الألياف تؤمن مقاومة عالية على الشد والراتنجات توفر

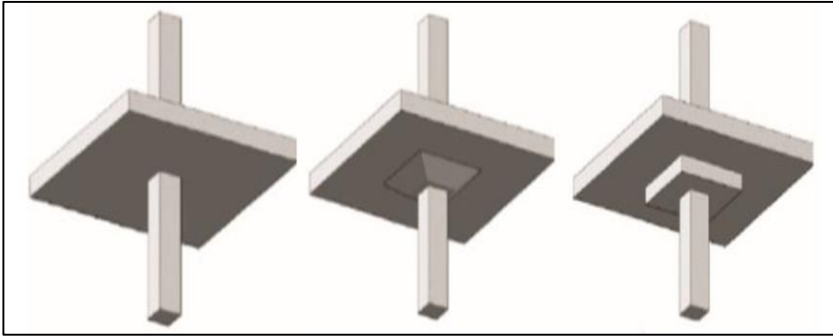
نقل الحمولة بين الألياف عبر ربطها مع بعضها إضافة لحمايتها من المؤثرات البيئية وبالتالي ينتج لدينا مادة مركبة (composite Material) غير متجانسة (Orthotropic). تتميز مركبات FRP عموماً بالسلوك الخطي المرن حتى الانقطاع وقوة الشد العالية باتجاه الألياف، مع عدم وجود حد الخضوع الذي يتميز به فولاذ التسليح التقليدي، والشكل (2) يبين سلوك (التشوه النسبي-الاجهاد) لعدد من مركبات FRP ومقارنتها بفولاذ التسليح التقليدي.



الشكل (2): مخطط (Stress-Strain) لمادة ال FRP. [11]

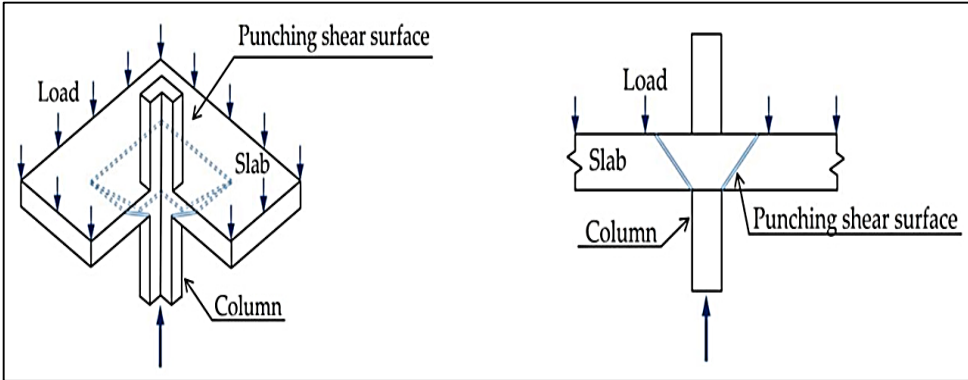
تتميز الألياف البازلتية وهي المكون الرئيسي لقضبان BFRP بقوة شد عالية ومقاومة كيميائية أفضل ومعامل مرونة أعلى ومجال أوسع في تحمل درجات الحرارة التي يمكن أن يتعرض لها المنشأ أثناء مرحلة الاستثمار وناقلية كهربائية أقل مقارنة بأنواع الألياف الأخرى كالزجاجية والارميدية، بالإضافة إلى أن صناعة الألياف البازلتية صديقة للبيئة أكثر بالمقارنة مع صناعة الألياف الأخرى، كما تتطلب طاقة أقل في الصناعة والأبخرة الناتجة تكون أقل سمية فضلاً عن توافر المواد الأولية لصناعة الألياف البازلتية وهي الصخور البازلتية في أغلب دول العالم [7].

تُعرّف البلاطات الفطرية بأنها بلاطات لا تحوي جوائزاً وتنتقل أحمالها إلى الأعمدة مباشرة ونميز منها (بلاطات فطرية تستند على الأعمدة مباشرة-بلاطات فطرية تستند على أعمدة ذات التاج- بلاطات فطرية ذات السقوط) كما في الشكل (3).



الشكل (3): أنواع البلاطات الفطرية

يعزى الانتشار الواسع للبلاطات الفطرية للمزايا والخصائص التي تؤمنها سواء كانت إنشائية



كسماكة البلاطة القليلة وبالتالي التقليل من الحمولات أو معمارية كالاستخدام الأمثل للمساحات وسهولة التقسيم المعماري للمنشأ أو اقتصادية كتوفير استخدام المواد اللازمة للإنشاء والزمن اللازم لعملية تشكيل القالب وإعطاء ارتفاع أكبر من خلال حذف الجوائز الساقطة.

نقطة الضعف الرئيسية في هذا النوع من البلاطات هو إجهادات القص الكبيرة التي تتركز في منطقة الاتصال بين البلاطة والعمود، حيث تتشكل الشقوق القطرية الداخلية في عقدة الاتصال

وتزداد سعتها تؤدي إلى انهيار البلاطة ضمن مساحة محددة حول العمود على شكل جذع مخروط أو هرم تدعى "محيط الثقب" كما في الشكل (4)، هذا الانهيار جرح ذو طبيعة هشّة (Brittle) لأنه يحدث فجأة ودون مظاهر خارجية مرئية قبل حدوثه، يسمى هذا الانهيار بالقص الثاقب.

الشكل (4): آلية انهيار الثقب في البلاطة الفطرية. [9]

بحث دراسات قليلة جداً سلوك القص الثاقب في البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP نظراً لظهور هذه القضبان حديثاً، حيث أن انخفاض معامل مرونة قضبان BFRP يؤدي إلى تطوير شقوق أوسع وأعمق، تقلل الشقوق العميقة من المساهمة في مقاومة القص للخرسانة بسبب انخفاض عمق الخرسانة في منطقة الضغط بالإضافة إلى ذلك ونظراً للاختلاف في الخواص الميكانيكية لا يمكن استخدام معادلات القص الثاقب للبلاطات الفطرية المسلحة بالفولاذ بشكل مباشر في البلاطات المسلحة بقضبان BFRP.

أجرى (Xiaoqing et al., 2019) عملاً تجريبياً لمعرفة سلوك الثقب في البلاطات البيتونية المسلحة بقضبان البوليمير المسلح بالألياف البازلتية (BFRP)، شملت الدراسة اختبار أربع بلاطات بيتونية بسيطة الاستناد على محيطها، ثلاثة منها مسلحة بقضبان (BFRP) و واحدة مسلحة بقضبان فولاذية للمقارنة، تم دراسة تأثير سماكة البلاطة، وطبقت حمولة مركزة على صفيحة معدنية في مركز البلاطة، أظهرت نتائج الاختبارات أن البلاطة المسلحة بقضبان (BFRP) أبدت انتقالات أكبر وحمولة انهيار أقل من البلاطة المسلحة بالفولاذ، كما أن زيادة سماكة البلاطة كان له أثر في زيادة حمولة الثقب وتخفيض الانتقال الحاصل عند الانهيار؛ وأظهرت النتائج أن حمولة الثقب المسببة للانهيار أقل من الحمولة المتوقعة والمحسوبة بناء على كودات التصميم والعلاقات التي توصل إليها الباحثون.

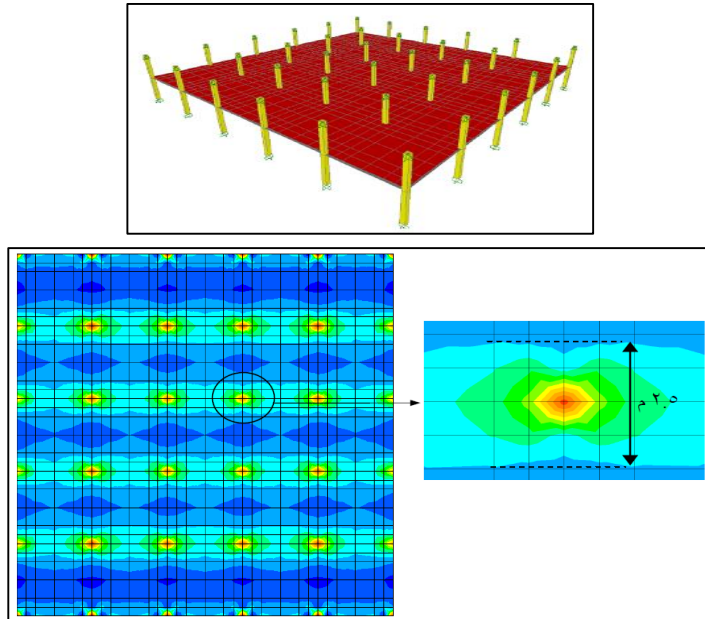
2- هدف البحث

دراسة سلوك البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP على الثقب وإعطاء صورة أوضح لأثر المتغيرات المختلفة التي تؤثر على سلوك هذه البلاطات، تأتي هذه الدراسة في إطار تقييم معادلات التصميم المقترحة وفق العديد من المنهجيات المتبعة في الكودات المختلفة لحساب قدرة تحمل البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP على الثقب.

3- مواد وطرائق البحث

3-1- توصيف نماذج البلاطات المختبرة :

تتضمن الدراسة التجريبية اختبار ست بلاطات بيتونية مسلحة تحوي عموداً مربعاً مركزي التوضع تحت تأثير قوة مركزة على العمود الوسطي ، هذه البلاطات بسيطة الاستناد، خمسة من هذه البلاطات مسلحة بقضبان BFRP، وبلاطة واحدة مرجعية مسلحة بالقضبان الفولاذية للمقارنة. من أجل تحديد أبعاد البلاطة التجريبية تم تصميم نموذج حاسوبي لبلاطة فطرية تستند على الأعمدة مباشرة، يحوي النموذج 5 فتحات في كلا الاتجاهين بطول مجاز 6 m كما في الشكل (5). أظهرت النتائج أن أبعاد الشريحة المسندية التي تحدها خطوط ذات عزوم انعطاف صفرية عند عقدة الاتصال "بلاطة-عمود" لها عرض مقداره حوالي 40 % من طول المجاز وبالتالي يمكن اعتبار استنادها بسيط، تم أخذ أبعاد هذه المنطقة بمقدار 1/2 القيمة الحقيقية والحصول على عينة اختبار ذات الأبعاد $120 \times 1250 \times 1250$ mm.



الشكل (5): نموذج البلاطة الحاسوبي ومخطط توزيع العزوم

3-2- المواد المستخدمة :

إن القضبان البوليميرية المسلحة بالألياف البازلتية BFRP المستخدمة ذات سطح محلزن ومغلف بالرمل من إنتاج شركة ألمانية (Deutsche Basalt Faser GmbH) مؤلفة من ألياف بازلتية مستمرة ذات قطر يتراوح بين 10 و 22 ميكرون مشربة براتنج فينيل الاستر (vinyl-ester)، ومحتوى الألياف (حجماً) هو 70 % من الحجم الكلي، أما قضبان التسليح الفولاذية المستخدمة فهي ذات سطح محلزن كما في الشكل (6).



الشكل (6): نماذج القضبان المسلحة بالألياف البازلتية BFRP والقضبان الفولاذية
يبين الجدول (1) ملخص الخصائص الميكانيكية لقضبان التسليح المستخدمة في نماذج البلاطات المختبرة.

الجدول (1): الخصائص الميكانيكية لقضبان التسليح المستخدمة

نوع مادة القضيب	القطر (mm)	معامل المرونة E (MPa)	الإجهاد الحدّي Ffu (MPa)	إجهاد السيلان Fy (MPa)	التشوه الحدّي (%)
BFRP	10	60000	1070	-	2.75
Steel		210000	560	420	0.2

تم استخدام مقاومتين للبيتون على الضغط C1 و C2 حيث المقاومة المميزة الاسطوانية على الضغط مساوية إلى 20 MPa للخلطة C1 و 30 MPa للخلطة C2 كما هو موضح في الجدول (2)، الإسمنت المستخدم هو الاسمنت البورتلاندي Type II ماركة 32.5، و القطر الاسمي الأعظمي للركام الخشن المستخدم يساوي 19.5 mm، ونسبة الماء إلى الاسمنت W/C مساوية إلى 0.58 و 0.46 للخلطتين C1 و C2 على التوالي حيث بلغت قيمة هبوط المخروط 19 mm للخلطة C1 وبلغت 17 mm للخلطة C2.

الجدول (2): مكونات الخلطات البيتونية المستخدمة

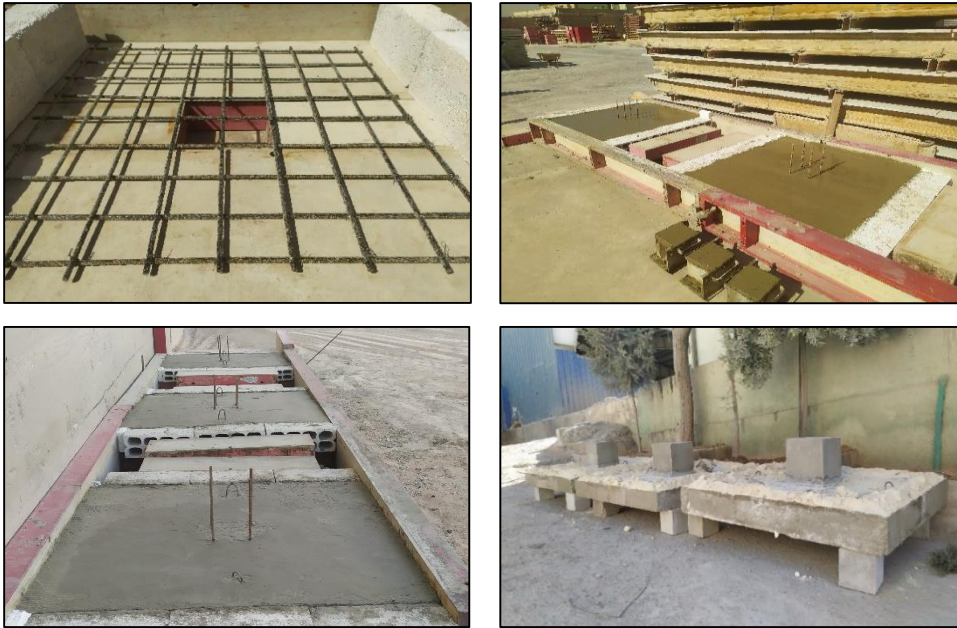
المقاومة الأسطوانية (MPa)	الإضافات (Kg/m ³)	الماء (Liter/m ³)	رمل المازار (Kg/m ³)	الرمل الخشن (Kg/m ³)	العدسية (Kg/m ³)	البحص (Kg/m ³)	الإسمنت (Kg/m ³)	الخلطة
20	2.5	175	225	745	420	555	300	C1
30	3.5	185	115	715	450	510	400	C2

تحتوي البلاطة على عمود مركزي التوضع ومربع الشكل له بروز نحو الأعلى والأسفل، تسليح البلاطة عبارة عن شبكة بالاتجاهين من قضبان (BFRP) على الوجه السفلي مع تغطية للبيتون مقدارها 25 mm، تسليح العمود عبارة عن أربع قضبان على الزوايا مع تغطية للبيتون مقدارها 25 mm، وأساور ذات تباعد 50 mm، كما في الشكل (7).

مادة قضبان التسليح	نموذج البلاطة	مقاومة البيتون على الضغط (MPa)	أبعاد العمود (mm)	سماعة البلاطة (mm)	نسبة التسليح ρ (%)
BFRP	BS-1	20	250	120	0.98
	BS-2	20	150	120	0.98
	BS-3	30	250	120	0.98
	BS-4	20	250	150	0.75
	BS-5	20	250	150	0.98
Steel	SS	20	250	120	0.98

تم صب عينات البلاطات التجريبية ذات المواصفات المحددة في الجدول (3) كما هو موضح بالشكل (8).

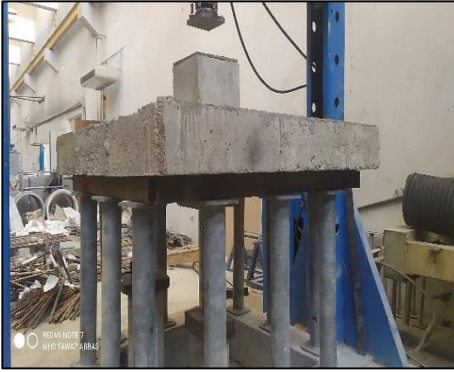
الشكل (8): مراحل عملية صب البلاطات



3-3- إجراءات وآلية الاختبار :

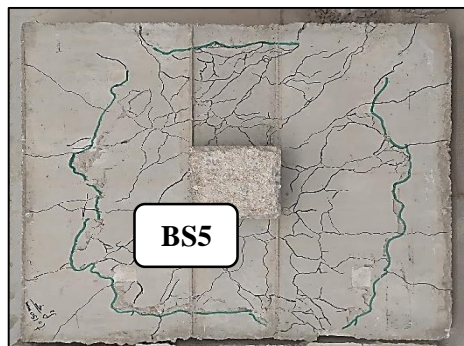
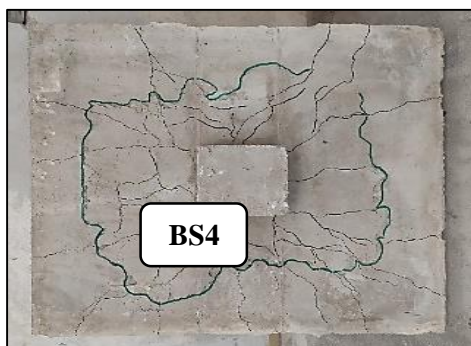
تم اختبار عينات البلاطات التجريبية على الثقب تحت تأثير حمولة مركزة على العمود، ومن أجل قياس الانتقالات الحاصلة تم تثبيت ساعات قياس التشوه بدقة 0.01 مم وذلك في مركز العمود من الأسفل و على مسافة 3d من مركز العمود بالاتجاه القطري للبلاطة، تم تطبيق الحمولة بواسطة مكبس هيدروليكي حيث تبلغ الاستطاعة القصوى لجهاز الاختبار 350 kN، مع إمكانية التحكم بمعدل تزايد القوة التي يولدها، حيث تم تطبيق هذه القوة بتزايد ثابت مساوياً إلى (1.5 kN/SEC) حتى حمولة الانهيار مع أخذ القراءة لكل تزايد من ساعة القياس، وشروط استناد البلاطة بسيطة على حوافها الأربعة وفق الاتجاه الشاقولي.

تم إجراء التجارب في مخبر البيتون ومواد البناء بكلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق وفق آلية الاختبار الموضحة سابقاً.



الشكل (9): جهاز التجربة وآلية الاختبار وشروط الاستناد للبلاطات

يوضح الشكل (10) الانهيار على الثقب لنماذج البلاطات في الدراسة التجريبية وانتشار الشقوق ومحيط الثقب الحاصل فيها.



الشكل (10): آلية انهيار البلاطات والشقوق الحاصلة ومحيط الثقب

تم رصد القوة المطبقة على العمود الوسطي وتسجيل قيمة القوة المسببة لظهور الشقوق في نماذج البلاطات المختلفة وقيمة الانتقال المرافقة لها وصولاً إلى قيمة القوة المسببة لانهيار البلاطات على الثقب والانتقال النهائي الحاصل، والنتائج موضحة في الجدول (4).

الجدول (4): نتائج اختبار البلاطات

رمز البلاطة	حمولة التشقق Vcr (KN)	انتقال مركز العمود عند التشقق (mm)	حمولة الثقب Vexp (KN)	انتقال مركز العمود النهائي (mm)
BS1	55.76	1.74	157.44	17.25
BS2	44.72	2.63	137.52	14.75
BS3	83.6	2.87	185.86	22
BS4	95.24	1.23	210.24	15.85
BS5	117.67	1.87	255.63	13.65
SS1	90.36	0.76	195.86	13.2

4- النتائج و مناقشتها :

بدأت التشققات بالظهور عند حدود % (40 - 30) من الحمولة المطبقة في نماذج البلاطات المختبرة، حيث تتجه هذه الشقوق من حواف العمود باتجاه المساند بشكل قطري ومع زيادة التحميل ظهرت شقوق عرضية باتجاه أطراف البلاطة وصولاً للانهيار حيث ظهر محيط الثقب بشكل واضح كما هو واضح بالشكل (10) سابقاً.

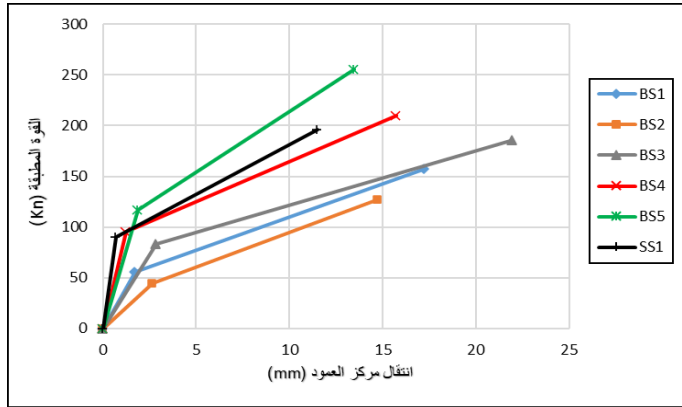
أبدت نماذج البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP شقوقاً أوسع وأكثر انتشاراً، حيث كانت قيمة عرض الشقوق 0.3 mm عند نشوئها نتيجة الحمولة المطبقة، وبلغت قيمة عرض الشقوق 0.7 mm عند حمولة الثقب المسببة للانهيار وذلك في نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP (BS1)، فيما كانت قيمة عرض الشقوق 0.1 mm عند نشوئها نتيجة الحمولة المطبقة وبلغت قيمة عرض الشقوق 0.3 mm عند حمولة الثقب المسببة للانهيار في نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بالقضبان الفولاذية (SS1)، كما كان محيط الثقب أكثر وضوحاً ويمتد على مسافة أكبر من وجه العمود مقارنة بنموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان الفولاذ.

يبين الجدول (5) بُعد محيط الثقب عن وجه العمود لنماذج البلاطات التجريبية، حيث d هو الارتفاع الفعال للبلاطة مساوياً لسماكة البلاطة مطروحاً منها مسافة التغطية 20 mm.

الجدول (5): محيط الثقب في البلاطات

رمز البلاطة	بُعد مخروط الثقب عن وجه العمود (mm)	بُعد مخروط الثقب عن وجه العمود بدلالة العمق الفعال للبلاطة
BS1	220	2.2 d
BS2	130	1.3 d
BS3	300	3 d
BS4	330	2.5 d
BS5	340	2.6 d
SS	170	1.7 d

يبين الجدول (5) زيادة محيط الثقب في نماذج البلاطات مع زيادة سماكة البلاطة وزيادة نسبة التسليح وزيادة مقاومة البيتون على الضغط ويعزى ذلك لزيادة مساهمة البيتون في منطقة الضغط مع ازدياد العمق الفعال للبلاطة وزيادة مقاومة البيتون على القص. يبين الشكل (11) العلاقة بين القوة المطبقة وانتقال مركز العمود للبلاطات المختبرة .



:(11)

الشكل

مخطط (القوة المطبقة - انتقال مركز العمود) للبلاطات

أبدى نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان الـ BFRP ذات الرمز BS1 انتقالات أكبر بنسبة 23.5% وكانت حمولة الانهيار على الثقب أقل بنسبة 24.4% من نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بالقضبان الفولاذية ذات الرمز SS1 حيث لهما نفس المواصفات وكان محيط الثقب في

دراسة تجريبية في مقاومة الثقب للبلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP

البلاطات المسلحة بقضبان الـ BFRP أكبر من البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية، يُعزى ذلك لانخفاض معامل مرونة قضبان BFRP مقارنة بمعامل مرونة الفولاذ. أدت زيادة سماكة البلاطة بمقدار 25% في البلاطات المسلحة بقضبان الـ BFRP لرفع قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 62%، كما أن زيادة نسبة التسليح بمقدار 35% في البلاطات المسلحة بقضبان الـ BFRP أدت لزيادة قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 22%، وإن زيادة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط بمقدار 50% أدت لزيادة قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 18%، فيما أدى نقصان أبعاد العمود بنسبة 40% إلى انخفاض قدرة تحمل البلاطات على الثقب بنسبة 13%.

تم تطوير إرشادات خاصة لتصميم العناصر الإنشائية المختلفة باستخدام قضبان من مركبات FRP مثل (JSCE (1997)، (CAN/CSA S806 (2012)، (ACI 440.1R (2015)، تضمنت هذه الإرشادات تصميم عناصر إنشائية مختلفة مع قضبان تسليح من مركبات GFRP و CFRP و AFRP ولا تعكس هذه الكودات أية رموز أو معاملات خاصة بالقضبان البوليميرية المسلحة بالألياف البازلتية BFRP نظراً لظهور هذه القضبان حديثاً وعدم القدرة على تحديد المعاملات والسلوك الخاص بها بدقة لقلة الأبحاث المجرىة حول هذه القضبان. تم حساب القوة المسببة للثقب وفق العلاقات التصميمية لبعض الكودات العالمية، وتمت مقارنتها بالنتائج التجريبية لنماذج البلاطات المختبرة كما هو مبين بالجدول (6).

الجدول (6): مقارنة قوة الثقب بين الدراسة التجريبية و القيم التحليلية لعلاقات التصميم في الكودات العالمية

رمز البلاطة	حمولة الثقب V_u (Kn)	V_u / V (ACI-440)	V_u / V (CSA S806)	V_u / V (JSCE)
BS1	157.44	1.50	1.11	1.34
BS2	137.52	1.83	1.36	1.56
BS3	185.86	1.58	1.15	1.29
BS4	210.24	1.59	1.15	1.35
BS5	255.63	1.72	1.28	1.50

- كانت حمولة الثقب عند الانهيار للبلاطات التجريبية المسلحة بقضبان الـ BFRP أكبر بحوالي (83% → 50%) من حمولة الانهيار وفق الكود الأمريكي ACI [2] (2015) 440.1R، بينما كانت حمولة الثقب عند الانهيار للبلاطات أكبر بحوالي (36% → 11%) من حمولة الانهيار وفق الكود الكندي CAN/CSA S806 (2012) [4]، وكانت حمولة الثقب عند الانهيار للبلاطات أكبر بحوالي (56% → 29%) من حمولة الانهيار وفق الكود الياباني JSCE (1997) [8] تبعاً للمواصفات الخاصة بنماذج البلاطات المدروسة.

5- الاستنتاجات والتوصيات :

- تم دراسة سلوك البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP على الثقب لخمس نماذج من البلاطات و تغيير بعض البارامترات لرصد أثر ذلك في سلوكها على الثقب وتمت المقارنة مع نموذج بلاطة فطرية مسلحة بالقضبان الفولاذية، وتم التوصل إلى ما يلي :
- أبدت نماذج البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP سلوكاً واحداً ونمط انهيار متشابه على الثقب.
 - أبدى نموذج البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP انتقالات أكبر وشقوقاً أوسع وأكثر انتشاراً ومحيط ثقب أوضح مقارنة بنموذج البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية والتي لها نفس المواصفات.
 - إن البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP انهارت على حمولة ثقب أقل بنسبة 24.4% من البلاطة المسلحة بالقضبان الفولاذية والتي لها نفس المواصفات.
 - أدت زيادة سماكة البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP لرفع قدرة تحملها على الثقب بنسبة 62%، رافق ذلك انخفاض في انتقال مركز العمود.
 - أدت زيادة المقاومة المميزة للبيتون على الضغط وزيادة نسبة التسليح في البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP لرفع قدرة تحملها على الثقب بنسبة 18% و 22% على التوالي، رافق ذلك زيادة في انتقال مركز العمود.
 - أدى تقليل أبعاد العمود ضمن البلاطة الفطرية المسلحة بقضبان BFRP لانخفاض قدرة تحملها على الثقب بنسبة 13%، رافق ذلك انخفاض في انتقال مركز العمود.

- كانت لزيادة سماكة البلاطة الأثر الأكبر في زيادة قدرة التحمل على الثقب في البلاطات المختبرة والمسلحة بقضبان BFRP، في حين كان تأثير المقاومة المميزة للبيتون على الضغط و نسبة التسليح على زيادة قدرة التحمل على الثقب صغير نسبياً.
- إن قيمة حمولة الثقب التي تعطىها معادلات التصميم في الكودات العالمية متحفظة مقارنة بقيمة حمولة الثقب المسببة للانهايار للنتائج التجريبية لنماذج البلاطات الفطرية المسلحة بقضبان BFRP حيث بلغ متوسط الفروقات 66.5% وفق الكود الأمريكي (2015) ACI 440.1R [2]، وبلغت 23.5% وفق الكود الكندي CAN/CSA (2012) S806 [4] ، فيما بلغت 42.5% وفق الكود الياباني (1997) JSCE [8] .

5- المراجع :

- [1] ABAQUS (2014), version 6.14-4. Dassault Systemes Simulia Corp., USA.
- [2] ACI Committee 440 (2015). "**Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars (ACI 440.1R-15).**" ACI, Farmington Hills, Michigan, USA.
- [3] BS EN 1992-1 (2004), Eurocode2, "**Design of Concrete Structures**" **Part 1-1: General rules and rules for buildings**", European committee for standardization CEN.
- [4] Canadian Standards Association (2012). "**Design and Construction of Building Structures with Fiber Reinforced Polymers (CAN/CSA S806-12).**" Rexdale, ON, Canada.
- [5] Chowdhury, I. R., Pemberton, R., & Summerscales, J. (2022). "**Developments and industrial applications of basalt fibre reinforced composite materials.**" Journal of Composites Science, 6(12), 367.
- [6] ELGABBAS, F. (2016). "**Development and Structural Testing of New Basalt Fiber-Reinforced-Polymer (BFRP) Bars in RC Beams and Bridge-Deck Slabs.**".Ph. D. Thesis, Sherbrook, Canada.
- [7] InfoMine Research Group. (2007). "**Basalt Fiber-Based Thermal Insulating Materials Market Research in Russia.**" Moscow.
- [8] JSCE, (1997). "**Recommendation for Design and Construction of Concrete Structure using Continuous Fibre Reinforced Materials.**" Concrete Engineering Series 23, Japan Society of Civil Engineering, Tokyo.

- [9] MacGregor, G., & Bartlett, M. (2000). "**Reinforced Concrete Mechanics and Design.**" 1st Edition ,Prentice Hall Canada Inc ،Scarborough ،Ontario.
- [10] Nanni, A., De Luca, A., & Zadeh, H. J. (2014). "**Reinforced concrete with FRP bars: Mechanics and design.**" CRC press.
- [11] Wu, Z., Wang, X., Iwashita, K. (2007). "**State-of-the-Art of Advanced FRP Applications in Civil Infrastructure in Japan.**" Journal of Composites & Polycon, American Composites Manufacturers Association, Tampa, FL USA.