

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 13

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

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

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (20000) ل.س عشرون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (50000) ل.س خمسون ألف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مننأ دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (3000) ل.س ثلاثة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
30-11	محمد الصوص د. معلا الخضر د. ماجد الاسعد	أثر استخدام الحصويات الناعمة المُعاد تدويرها على الفراغات الهوائية وعلى قوة الضغط في الخلطات الخرسانية
56- 31	د.م نسرین الجبيلي	دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي
88-57	ايثار النعيمي د. ميرنا سعود	مقاومة الحواجز الخرسانية المُسلّحة للأحمال الانفجارية
122-89	غسان محمود عبود العنتبلي	تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

أثر استخدام الحصىات الناعمة المُعاد تدويرها على الفراغات الهوائية وعلى قوة الضغط في الخلطات

الخرسانية

طالب الدراسات العليا: محمد الصوص كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق
اشرف الدكتور: معلا الخضر + د. ماجد الاسعد

الملخص

تتكون الخلطة الخرسانية من الإسمنت، الحصىات الناعمة والخشنة بالإضافة إلى الماء، وتُعد الفراغات الهوائية من المؤثرات الهامة في بنية الخليط الخرساني.

يُبين هذا البحث أثر استخدام حصىات ناعمة مُعاد تدويرها (FRA) على كلٍ من الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة العادية مقارنةً مع الخلطة الخرسانية الحاوية على حصىات طبيعية - مقالع (NA) باستخدام جهاز قياس حجم الفراغات الهوائية في الخليط الخرساني بحسب الكود الأمريكي. وعلى قوة الضغط للعنصر الخرساني المتصلب الناتج الحاوي على حصىات ناعمة مُعاد تدويرها (FRA) وفق النسب المعتمدة، فزيادة نسبة الاستبدال تتغير نسبة الفراغات الهوائية وتتنخفض قوة الضغط للعنصر الخرساني الناتج.

الكلمات المفتاحية: الفراغات الهوائية، نسبة الاستبدال، قوة الضغط، الخلطة الخرسانية الطازجة، حصىات مُعاد تدويرها.

The Effect of Using Fine Recycled Aggregate (FRA) on Air Voids and on Compressive Strength in Concrete Mixes

Abstract

The concrete mixture consists of cement, fine and coarse Aggregate, in addition to water, and air voids are important influences in the structure of the concrete mixture.

This article shows the effect of using fine recycled Aggregate (FRA) on each of the air voids in the regular fresh concrete mix compared to the concrete mix containing Natural Aggregate - Quarries (NA) using a device to measure the size of the air voids in the concrete mixture according to ASTM code. And on the compressive strength of the resulting hardened concrete element containing Fine recycled Aggregate (FRA) according to the approved proportions, With an increase in the replacement ratio, the percentage of air voids changes, and the compressive strength of the resulting concrete element decreases.

Key Words: Air Voids, Replacement Ratio, Compressive Strength, Fresh Concrete Mix, Recycled Aggregate.

1- المقدمة Introduction:

انعكس استخدام الطرق التقليدية في التعامل مع النفايات الخرسانية C&DW (Construction And Demolition Waste) سلباً على البيئة والاقتصاد، وتعددت الأسباب التي أدت لزيادة كميات هذه النفايات حول العالم، لذلك اهتمّ الباحثون بدراسة نواتج معالجة هذه النفايات الخرسانية C&DW بُغية الحصول على حصويات معاد تدويرها (Recycled Concrete Aggregate) RCA ومعرفة صفاتها وخصائصها لتوسيع مجالات استخدامها للأعمال الخرسانية والطرقية، ودراسة أثر استخدام هذه الحصويات على الصفات الميكانيكية والفيزيائية للخلطات الخرسانية الناتجة بهدف تنويع مصادر الحصول على الحصويات المستخدمة في الأعمال الخرسانية وتحقيق مبدأ التنمية المستدامة والحفاظ على البيئة، كونها من أكثر المواد المستخدمة حول العالم بعد المياه، فبلغت كمية الخرسانة المستعملة حول العالم عام 2006 ما يقارب 30 مليون طن [3].

تُعد الفراغات الهوائية أحد المؤثرات البنوية الهامة على جودة الخليط الخرساني وديمومته، من حيث نسبتها، طريقة توزيعها، أبعادها، شكلها، حجمها واتصالها مع بعضها البعض تؤثر على الصفات النهائية للعنصر الخرساني الناتج، وإن التحكم بها يؤدي إلى الحصول على منتج خرساني يتميز بمواصفات جيدة يدوم لسنوات عديدة، وبالعكس فإن نسب الفراغات الهوائية غير المدروسة في الخلطة الخرسانية تنعكس سلباً على صفات العنصر الناتج، لذا فالأفضل هو تحديد هذه النسبة بشكل مدروس يتناسب مع باقي مكونات الخلطة وفق أسس التصميم المعتمدة، أحياناً ولأغراض تصميمية يتم استعمال إضافات كيميائية بهدف الحصول على نسبة عالية من الفراغات الهوائية للوصول لأنواع خاصة من الخرسانة ذات استخدامات مُحددة في الهندسة المدنية. ويبقى الهواء متواجداً في الخلطات الخرسانية ضمن الفراغات الموجودة أصلاً فيها وعندما تحيط الروبة الإسمنتية بهذه الفراغات تعمل كغلاف حافظ يمنع دخول مكونات الخلطة إليها

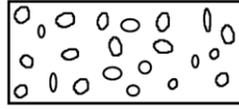
مما يساعد على تشكيل الفراغات الهوائية، وعندما تبدأ الخرسانة بالتصلب تأخذ هذه الفراغات شكلها النهائي [6].

تتصف الخرسانة النموذجية بأنها مادة مسامية بطبيعتها مع شبكة مترابطة من الفراغات الشعرية التي تؤدي إلى زيادة النفاذية، ولكي تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلا بد من اتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة.

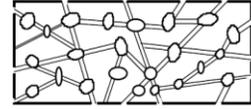
شكل رقم (1) أنواع مسامية المواد



نفاذية عالية ومسامية منخفضة



مادة مسامية ولكن غير منفذة



مسامية عالية ونفاذية عالية

أنجزت أبحاث كثيرة تهدف لدراسة آلية وماهية تشكل الفراغات الهوائية في الخلطات الخرسانية الطازجة والمتصلبة، حيث خلصت [5] إلى تحديد مجموعة من العوامل التي تؤثر على نسبة، شكل، حجم الفراغات الهوائية ضمن الخلطات الخرسانية وطريقة اتصالها مع بعضها البعض ومن هذه العوامل:

- 1- نسبة الماء المُستعمل في الخلطات الخرسانية W/C ، درجة حرارته وطريقة إضافة الماء عند الخلط.
- 2- الصفات الفيزيائية والميكانيكية للحصىيات المُستعملة في الخلطات الخرسانية، مع مراعاة نوعها ومصدرها.
- 3- التركيب الكيميائي للإسمنت وعياره.
- 4- نوع الإضافات الكيميائية المُستخدمة.
- 5- تكنولوجيا الصب وأساليب المعالجة المُتبعة.

2- هدف البحث Aim Of The Research:

يهدف هذا البحث إلى:

- 1- دراسة تغيير نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة العادية عند استخدام حصىيات ناعمة مُعاد تدويرها FRA وفق نسب معتمدة ومقارنتها مع الخلطة الخرسانية الناتجة من حصىيات طبيعية NA باستخدام جهاز قياس

حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية، وفق الكود الأمريكي

: ASTM-2004 Volume 04.02 Concrete And Aggregate

- 2- دراسة أثر الحصويات الناعمة المُعاد تدويرها FRA على قوة الضغط للعنصر الخرساني المتصلب الحاوي عليها وفق النسب المعتمدة مقارنةً مع المزيج المُتحكم الحاوي على حصويات طبيعية NA.

3- مواد وطرق البحث Materials And Methods Of The Research:

1-3 المواد المستعملة Used Materials:

- إسمنت بورتلاندي عادي، نوع أول إنتاج معمل عدرا، صنف N-32.5
- نواتج هدم عناصر بيتونية إنشائية متنوعة حاملة (بلاطات، أعمدة، جوائز) وغير حاملة (قواطع داخلية، سيراميك وبورسلين)، مأخوذة من منطقة شمال غرب مدينة دمشق، للاستفادة منها كحصويات مستعملة في الخلطات الخرسانية.
- حصويات ناعمة وخشنة طبيعية NA لتحضير التركيب المرجعي CM من مقلع بريف مدينة دمشق.

2-3 العمل المخبري Laboratory Work:

تمّ تحضير عينات الحصويات المطلوبة للخلطات الخرسانية بمعدل ثلاث نماذج لإجراء الاختبارات وأخذ وسطي ثلاث قيم، وبعد تحضير العينات المطلوبة يتم اختبار الحصويات وفق التجارب الآتية.

الجدول رقم (1) التجارب المُعتمدة على الحصىبات بحسب الكود الأمريكي ASTM:

التجارب المُعتمدة على الحصىبات		
المواصفة:	الرمز:	التجربة:
ASTM-C136	D_{max}	تحديد القطر الأعظمي للحصىبات الخشنة:
ASTM-C136	D_{min}	تحديد القطر الأصغري للحصىبات الخشنة:
ASTM C127&C128	Bulk Dry Sp. Gr	تحديد الوزن النوعي الكلي الجاف:
ASTM C127&C128	Bulk SSD Sp. Gr	تحديد الوزن النوعي الكلي المشبع:
ASTM C127&C128	Apparent Sp. Gr	تحديد الوزن النوعي الظاهري:
ASTM C127&C128	Abs	تحديد قابلية الامتصاص:
ASTM-C131	L. A	تحديد قساوة الحصىبات (لوس أنجلوس):
ASTM-C029	ρ_{bulk}	تحديد الوزن الحجمي:
ASTM-D2419	SE	تحديد المكافئ الرملي:
ASTM-C136	N_k	تحديد معامل النعومة:
ASTM-C566	w	تحديد محتوى الرطوبة:

في هذا المقال سنمیز بين ثلاثة أنواع من الحصىبات:

- 1- حصىبات المقال NA.
- 2- حصىبات مُعاد تدويرها ناعمة FRA.
- 3- الخليط وفق النسب المُعتمدة من الحصىبات الناعمة المكونة UA.

الجدول رقم (2) يوضح أنواع الحصىيات المُستخدمة في البحث:

أنواع الحصىيات المُستخدمة في التجارب		
الاختصار:	المصطلح:	الرمز:
:NFA	رمل مقالع.	Natural Fine Aggregate.
:NCA	بحص مقالع.	Natural Coarse Aggregate.
:FRA	حصىيات ناعمة مُعاد تدويرها.	Fine Recycled Aggregate
:UA	حصىيات مستخدمة.	Used Aggregate
الحصىيات المستخدمة - خليط الحصىيات المقالع والمُعاد تدويرها (UA):		
:UA.1	نسبة استبدال 50% من الحصىيات الناعمة يعطي تركيب أول DM.1	
:UA.2	نسبة استبدال 75% من الحصىيات الناعمة يعطي تركيب أول DM.2	

تمّ التركيز على دراسة الحصىيات المُعاد تدويرها RCA لاستبدالها عوضاً عن الحصىيات الطبيعية NA ضمن الخلطة الخرسانية بنسب مختلفة، ففي بعض الدراسات [8] بلغت نسبة الاستبدال 100% لكلا النوعين الناعم والخشن لأثرها الكبير على السلوك الميكانيكي للخلطات الخرسانية، ومن أجل تجربة مقاومة العنصر للضغط وجد الباحثون [9] انخفاض نتيجة التجربة بمقدار من 5% إلى 20% عند استعمال حصىيات معاد تدويرها بنسبة تبلغ 75% من الوزن الكلي، في حين وجد آخرون [10] بأن النفايات الخرسانية المُعاد تدويرها، المغسولة والخاضعة لتجربة التدرج الحبي أدت إلى انخفاض قوة الضغط بمقدار 57%، ولاحظ آخرون [2] انخفاض قوة الضغط للخرسانة الناتجة من حصىيات ناعمة معاد تدويرها بشكل خطي مع زيادة نسبة الاستبدال وهذا ظهر واضحاً بنسبة استبدال 60% بعمر 14 يوم. وأما بالنسبة للفراغات الهوائية يختلف محتوى الفراغات الهوائية بين 1.8% و 2.5% بحسب الدراسة [11] وكانت العلاقة بين الفراغات الهوائية ونسب الاستبدال للحصىيات الناعمة علاقة خطية، وبقيت نسبة الفراغات الهوائية ضمن القيم المقبولة أثناء التصميم.

وفي حال عدم استخدام مولدات الفقاعات الهوائية أو عدم تحديد محتوى الفراغات الهوائية فهذه تسمى بالخرسانة غير المحجوزة (non-air entrained concrete) وهذا لا يعني وجود 0% من الفراغات هوائية لأن الخلطة يمكن أن تحتوي على نسبة من الفراغات الهوائية تتراوح بين 1% إلى 4% [7].

اهتمّ الباحثون [4] بدراسة تغيّر نسب الاستبدال على السلوك الميكانيكي للخرسانة الناتجة، وتمّ الحصول على حصىبات ناعمة مدوّرة من عناصر مصنعة ضمن المخبر ضمن الشروط النظامية مع استخدام المدنات، وبعد الطحن والاستخدام توصلوا لإنتاج خرسانة ذات مقاومة جيدة على الضغط وعلى الشد بالفلق والاهتراء مع معامل مرونة للعناصر الناتجة ضمن حدود مقبولة وذلك بنسب استبدال تصل ل 30%.

في هذا البحث سيتم دراسة أثر استبدال الحصىبات الناعمة المقالع NFA بحصىبات ناعمة مُعاد تدويرها FRA من بقايا نفايات خرسانية C&DW وفق نسبي استبدال معتمدتين 50% و 75% للحصىبات الناعمة وباقي كمية الحصىبات الناعمة المطلوبة هي حصىبات مقالع NFA.

الجدول رقم (3) يوضح الخلطات الخرسانية المُصممة وتركيبها الحصري:

التركيب الحصري للتراكيب الخرسانية المُصممة:			
Mix Name	NCA (%)	NFA (%)	FRA (%)
Control Mix – CM	100	100	0
Design Mix 1– DM.1	100	50	50
Design Mix 2– DM.2	100	25	75

وبعد إجراء التجارب المطلوبة على عينات الحصىبات المختلفة سيتم تصميم الخلطة الخرسانية وفق الطريقة الأمريكية المتبعة في التصميم ASTM 211-1 مع اعتبار المقاومة الأسطوانية المميزة التصميمية $f'_c = 220 \text{ Kg/Cm}^2$ ، ونسبة الماء إلى الاسمنت $W/C=0.54$ ، وهبوط المخروط من 25مم إلى 100مم، وسنعمد مقاييس

مرجعية ثابتة تطبق على كافة العينات المحضرة بالإضافة إلى كمية ونوع الإسمنت المستخدم والحصويات الخشنة الطبيعية NCA، بحيث نتابع متغير واحد هو تغيير نسبة الفراغات الهوائية مع تغيير نسبة الاستبدال المعتمدة للحصويات الناعمة المستبدلة بحصويات ناعمة مُعاد تدويرها FRA، وانعكاس ذلك على مقاومة الضغط للعنصر الناتج.

وسيتم دراسة الخصائص لكل خليط على حدىً وبالتالي سيتم دراسة الخليط الخرساني ثلاث مرات بثبات نسبة الماء إلى الإسمنت W/C وبثبات مواصفات الحصويات الخشنة NCA

وبعد تشكيل العينات وفق النسب المُعمدة يتم الحصول على الخرسانة الطازجة لإجراء التجارب عليها، ففي حالة الخرسانة الطازجة يتم معرفة حجم الفراغات الهوائية بطريقة الضغط حسب الكود الأمريكي بحسب المواصفة: ASTM C231/C231M أصل التجربة أن العنصر الوحيد القابل للضغط في الخرسانة الطازجة هو الفراغات الهوائية، يتألف الجهاز من حجرة معلومة الحجم نقوم بملئها بالخرسانة ومن ثم إغلاق الجهاز ورفع الضغط فيه بواسطة الماء، ويزيادة الضغط تمتلئ هذه الفراغات بالماء ومن خلال مقياس موجود على الجهاز نستطيع معرفة حجم الفراغات الهوائية [1] وهي واحدة من أقدم الطرق المُتبعة لمعرفة حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة، ولا تستخدم هذه الطريقة للخرسانة المصنوعة من الحصويات الخفيفة أو الحصويات ذات المسامات الكبيرة، تم استعمال الجهاز المتوافر في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق. والجدير بالذكر بأن الفراغات الهوائية مكون مهم من المكونات البنوية للخرسانة وخاصةً في الخرسانة المتعرضة لدورات الصقيع والذوبان، لأنها تشكل مساحات فارغة تعمل كخزانات تحفظ الخرسانة من التلف وتخفف الضغط الحاصل على الخرسانة نتيجة تجمد الماء الممتص، وهي تؤدي إلى تحسين قابلية التشغيل Workability بالإضافة إلى تقليل النزيف Bleeding والفصل Segregation،

فيجب الانتباه إلى محتوى الفراغات الهوائية عند التصميم، من أجل تحقيق المواصفات الفنية المطلوبة للخلطة الخرسانية. [1]

شكل رقم (2) يوضح جهاز الضغط لقياس نسبة الفراغات الهوائية.



جهاز الضغط لمعرفة حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة

ومن أجل كسر العينات الأسطوانية الناتجة عن الخلطات الخرسانية لمعرفة مقاومة الشد بالضغط Compressive Strength، تم استعمال مكبس الضغط الهيدروليكي المتواجد في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، بحسب الكود الأمريكي وفق المواصفة رقم: ASTM C39/C38.

شكل رقم (3) يوضح المكبس الهيدروليكي لكسر العينات الأسطوانية.



كسر العينات الأسطوانية في مخبر الكلية لمعرفة مقاومة الشد بالضغط

3-3 تحضير العينات Sample Making:

تم إحضار الحصىات الطبيعية الناعمة NFA والخشنة NCA من مقلع في ريف دمشق، وتم تحضير عينات الحصىات بمعدل ثلاث نماذج لإجراء الاختبارات المطلوبة وأخذ وسطي ثلاث قيم، وبالنسبة للحصىات المُعاد تدويرها تم الحصول عليها من منطقة شمال غرب مدينة دمشق، فتم فرز النفايات والأنقاض الخرسانية C&DW فرز أولي وفيما بعد تم تكسيرها وطحنها ليصار إلى تحضيرها وفق التدرجات الحبية للمواد الناعمة المعمول بها، وبعد تحضير عينات الحصىات بنسبة استبدال (50%، 75%) بمعدل ثلاث نماذج لتشكيل خليط وإجراء الاختبارات وأخذ وسطي ثلاث قيم، تمت التجارب في مخبر مواد البناء في كلية الهندسة المدنية بدمشق، والنتائج موضحة في الجدول التالي:

الجدول رقم (4) يوضح مواصفات الحصىات الخشنة NCA:

مواصفات الحصىات الخشنة الطبيعية NCA:		
Test:	Value:	Unit:
D_{max}	25	Mm
D_{min}	19	Mm
Bulk Dry Sp. Gr	2.697	—
Bulk SSD Sp. Gr	2.714	—
Apparent Sp. Gr	2.774	—
Abs	2.631	%
L. A	0.182	%
ρ_{bluk}	1525.182	Kg/m ³
w	0.00043	%

الجدول رقم (5) يوضح مواصفات الحصىيات الناعمة:

مواصفات الحصىيات الناعمة:					
Test:	Value: NFA	Value: UA.1	Value: UA.2	Value: FRA	Unit:
S. E	73	66	64	58	%
N _k	2.98	2.71	2.63	2.30	—
Bulk Dry Sp. Gr	2.776	2.485	2.412	2.129	—
Bulk SSD Sp. Gr	2.801	2.589	2.512	2.237	—
Apparent Sp. Gr	2.848	2.772	2.681	2.386	—
Abs	0.908	4.167	4.156	5.053	%
ρ_{bluk}	1858.52	1754.22	1704.36	1640.00	Kg/m ³
w	0.30	2.80	2.20	1.58	%

تمّ اعتماد طريقة التصميم في الكود الأمريكي ASTM 211-1، وتمّ تحضير المكونات والنسب المكونة للخلطة الخرسانية بالوزن من أجل 1 متر مكعب من الخلطة الخرسانية وقياس هبوط المخروط الآتي وبعد 30 دقيقة، وتمّ أخذ العينات من الخلطة الطازجة لمعرفة حجم الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة بحسب الكود الأمريكي وفق المواصفات المتبعة، وتمّ تنفيذ عينات أسطوانية 15*30 وفق نسب التصميم.

الجدول رقم (6) يوضح تركيب الخلطة لكل نوع من أنواع الخلطات المُعتمدة:

مكونات الخلطات الخرسانية المُستعملة من أجل 1 متر مكعب:					
Mix Type:	C: Kg/m ³	W: Kg/m ³	Aggregate: Kg/m ³		
			NCA:	NFA:	FRA:
CM	379.63	205	930.75	868.72	0
DM.1	379.63	205	961.28	384.47	384.47
DM.2	379.63	205	976.53	181.80	545.39

تمّ أخذ تسع عينات من التراكيب بمعدل ثلاث عينات من كل نسبة وتمّ ترقيمها وحفظها وفق الشروط المخبرية المعتمدة، ليصار إلى كسرها في الوقت المطلوب.

شكل رقم (4) تحضير العينات وحفظها ضمن الشروط المخبرية



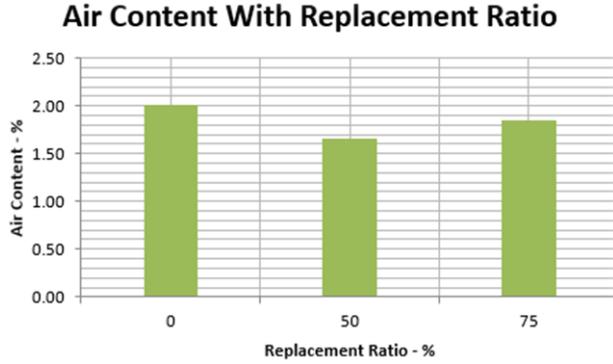
تحضير العينات وحفظها

4- مناقشة النتائج Discuss Of The Results:

بعد إجراء التجارب المخبرية وفق الخطوات المتبعة، بثبات نسبة الماء إلى الإسمنت W/C نجد في التركيب المرجعي CM نسبة الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة بعد قياسها بواسطة الجهاز قد بلغت 2% وهي ضمن النسب المعتمدة في التصميم، ومن أجل التركيب الأول DM.1 بنسبة استبدال 50% تتخض نسبة الفراغات لتصبح 1.65%، بينما وللتركيب الثاني DM.2 عند نسبة استبدال 75% تزداد نسبة الفراغات الهوائية مقارنةً مع الخليط الأول لتصبح 1.85%، وتبقى ضمن النسب التصميمية المسموحة.

الجدول رقم (7) يوضح محتوى الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة:

Mix Type:	Air Content (%):
CM	2%
DM. 1	1.65%
DM. 2	1.85%



الشكل رقم (5) يوضح تغير نسبة الفراغات الهوائية للخلطة الطازجة.

وجميع النسب الناتجة للتجربة ضمن النسب المُعتمدة للتصميم، يُعتقد أن سبب التغير في نسبة الفراغات الهوائية يُعزى إلى زيادة نسبة المواد الناعمة في الحصىات المُعاد تدويرها FRA فتشكل كمادة مألئة في الخليط الناتج وهذا يظهره التدرج الحبي للحصىات المُستخدمة، وسلوك الماء مع الحصىات المُعاد تدويرها الشرهة له أصلاً بفعل المونة القديمة الملتصقة على سطحها وتمتص بذلك كمية أكبر منه مخلّفةً مكانها فراغات هوائية بعد تبخرها أو استعمالها، فالماء المتواجد ضمن الحصىات بحالتها الطبيعية يتفاعل مع الإسمنت لإتمام تفاعلات الإماهة والماء الإضافي المتبقي ضمن الفراغات المتواجدة بين الحصىات تعمل كحاجز مع المونة الإسمنتية تمنع باقي مكونات الخلطة الخرسانية إلى الوصول لهذه الفراغات مما يساعد على تشكيل الفراغات الهوائية، وهذا يتضح على نسبة الفراغات الهوائية مع نسبتي الاستبدال 75% و50% مقارنةً مع المزيج المتحكم CM الذي يمثل النسبة المعيارية.

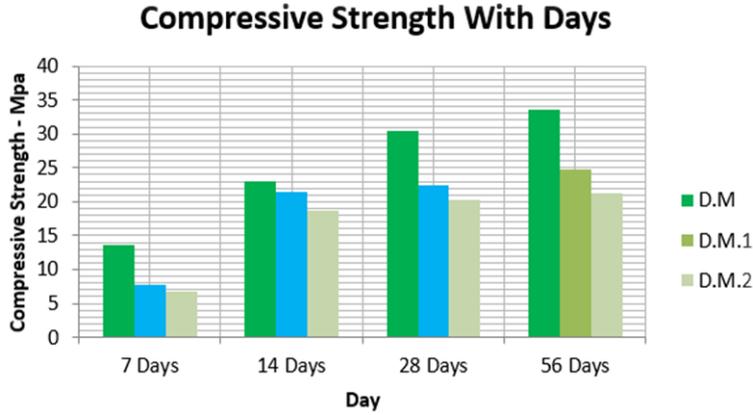
إنّ تدرج حجم الفراغات الهوائية، نسبته، وطريقة اتصالها ومواصفات الحصىات الداخلة في تركيب الخلطة الخرسانية تؤثر على خواص الخلطة الخرسانية بحالتها الطازجة والمتصلبة. فتقلّ مقاومة الضغط للعنصر المتصلب مع زيادة نسب الاستبدال للحصىات

الناعمة في الخلطة الخرسانية وذلك لأن التقدم بالعمر يزيد من مقاومة الضغط للعجينة الإسمنتية الجديدة وتصيح المنطقة الانتقالية بين سطح الحصىيات المُعاد تدويرها والعجينة الإسمنتية القديمة الملتصقة على سطحه نقطة ضعف في النسيج الناتج، وبالتالي بزيادة نسبة الاستبدال تقلّ مقاومة الضغط للعنصر الناتج مقارنةً مع المزيج المتحكم.

في حالة التركيب المرجعي CM بلغت مقاومة العنصر على الضغط 30.49 MPa بعمر 28 يوم، ومن أجل التركيب الأول بنسبة استبدال 50% بلغت مقاومة العنصر للضغط 22.46 MPa وعند التركيب الثاني بنسبة استبدال 75% بلغت مقاومة العنصر للضغط 20.29 MPa عند نفس العمر، ويلاحظ أنه يترافق انخفاض نسبة الفراغات الهوائية مع مقاومة الضغط، ومن النتائج نجد انخفاض مقاومة الضغط بنسبة تتراوح بين (26.34 و 33.45)%.

الجدول رقم (8) يوضح نتائج مقاومة العنصر الناتج على الضغط مقدرة ب Mpa:

Mix Type	Days 7	Days 14	Days 28	56 Days
CM	13.54	23.09	30.49	33.47
DM. 1	7.76	21.43	22.46	24.76
DM. 2	6.77	18.62	20.29	21.21



الشكل رقم (6) يوضح العلاقة بين قوة الضغط ونسب الاستبدال، ومنه يتبين أنه بزيادة نسبة الاستبدال تنخفض قيمة مقاومة العنصر للضغط بمختلف الأعمار.

5- الاستنتاجات والتوصيات : Conclusions and Recommendations

1-5 الاستنتاجات:

- يتأثر محتوى الفراغات الهوائية في الخلطة الخرسانية الطازجة بنسبة الحصىيات المُعاد تدويرها في الخلطة، وتتطابق نسبة الفراغات الهوائية في التركيب المرجعي CM مع نسبة الفراغات الهوائية النسبة المعتمدة عند التصميم.
- تنخفض مقاومة الضغط للعنصر الخرساني بزيادة نسبة استخدام المواد المُعاد تدويرها. بسبب طبيعة الحصىيات المُستخدمة من جهة والفراغات الهوائية من جهة أخرى.
- تُستخدم الحصىيات المُعاد تدويرها في الخلطات الخرسانية بشكل جزئي مع الحصىيات الطبيعية بنسب مدروسة شريطة التحقق من مصدرها وإجراء التجارب اللازمة لاتخاذ القرار باستخدامها أو استبعادها.

2-5 التوصيات:

- متابعة البحث في إمكانية استخدام الحصويات المُعاد تدويرها لاختلاف مواصفاتها تبعاً لمصدرها، لتحسين النتائج التي توصل إليها العلماء وتعميم تجربة إعادة التدوير لتحقيق مبدأ التنمية المستدامة.
- توطين صناعة تدوير C&DW لاستخدامها كحصويات في الأعمال الهندسية المختلفة ضمن الأطر الناظمة.

:References المراجع

- [1] AARRE, T., 1998 – Control of Air Content in Concrete, CONCRETE TECHNOLOGY, Vol.19. 1 – 8
- [2] AHMAD, S.H., FISHER, D.G., AND SACKETT, K.W., 1996 - Properties of Concrete Made with North Carolina Recycled Coarse and Fine Aggregates, Centre for Transportation Engineering Studies, North Carolina State University, Raleigh, June. 85p
- [3] ALSAYYED, M., 2011 - Uses and Benefits of Recycled Concrete Aggregate (RCA), Lecture. An najaah University Nablus, April. 3-9
- [4] ALVES, S.V., AND CORREA, A.F., 2013 – MECHANICAL BEHAVIOUR OF CONCRETE WITH INCORPORATION OF RECYCLED CERAMIC FINE AGGREGATES, Tecnico Lisboa, March. 11 – 21
- [5] RUSSTECHNET, 2017- Factors Which May Influence Air Content,<https://www.russtech.net/uploads/productnotes/factors-which-may-influence-air-content.pdf>
- [6] HOVER, K., 1993 – Why is there air in concrete, Part 1 of a 4-part series, The Concrete Construction Magazine, January. 31-33
- [7] HOVER,K., 2019 – BENEFITS OF REAL-TIME MONITORING OF AIR CONTENT IN FRESH CONCRETE, https://www.cidra.com/sites/default/files/document_library/BI0682-Hover-Paper-Final-011719.pdf
- [8] KUMUTHA,R., AND VIJAI,K., 2010 - Strength Of Concrete Incorporating aggregates Recycled From Demolition Waste, ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.5, NO.5, MAY. 64 - 71

[9] RAKSHVIR, M., AND BARARI, S.V., 2006 – Studies On Recycled Aggregate-Based Concrete, Waste Management & Research, SAGE Journal, Vol.24, Issue.3. 225-233

[10] RICHARD, A., ALLAIN, P., AND VEUILLE, M., 2010 – Concrete with crushed, graded and washed recycled construction demolition waste as a coarse aggregate replacement, Structural Survey Journal, Vol.28, Issue.2. 142 - 148

[11] YAPRAK, H., ARUNTAS, H.Y., DEMIR, I., SIMSEK, O., AND DURMUS, G., 2011 – Effect of the fine recycled concrete aggregate on the concrete properties, International Journal of the Physical Sciences, Vol.6, MAY. 2455-2461

أثر استخدام الحصويات الناعمة المعد تدويرها على الفراغات الهوائية وعلى قوة الضغط في الخلطات الخرسانية

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

الباحثة: د.م نسرين الجبيلي *

الملخص

يعتبر تحديد مقاومة البيتون على القص مسألة هامة في التصميم الإنشائي، باعتبار أن الانهيار على القص انهيار هش مفاجئ يتأثر بالعديد من العوامل، فمعظم الكودات التصميمية تعتمد علاقات تجريبية لحساب مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي. كما تعتمد العلاقات التجريبية المقترحة من قبل عدد من الباحثين معطيات تجريبية ومفاهيم نظرية، مما يسبب اختلافات وتناقضات في قيم مقاومة القص المحسوبة. الهدف الرئيسي لهذا البحث هو الوصول للعلاقة الأكثر دقة في توقع مقاومة القص الحدية للجوائز البيتونية المسلحة. ولتحقيق الهدف تمت دراسة علاقات مقاومة القص الواردة في الدراسات المرجعية، ثم أجريت دراسة تحليلية احصائية لهذه العلاقات تضمنت تقييم أدائها في توقع مقاومة القص الحدية لنتائج اختبار 168 جائزاً بيتونياً تم جمعها من الدراسات المرجعية، واختبار حساسيتها لتغير العوامل الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص. أوضحت الدراسة أن علاقة الكود CEB-FIP هي علاقة محافظة وتأخذ بدقة تأثير العوامل الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص، وتعطي قيماً أدق لمقاومة القص الحدية مقارنة بالعلاقات الأخرى الواردة في الدراسات المرجعية.

الكلمات المفتاحية: الجائز البيتوني المسلح، مقاومة القص، نسبة مجاز القص للارتفاع الفعال لمقطع الجائز، التحليل الإحصائي.

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

Study the equations of predicting shear strength for reinforced concrete beams without web reinforcement

Dr. Nisrin ALJUBAYLI *

Abstract

Determining the shear strength of concrete is an important problem in structural design, as the shear failure of concrete beams occurs suddenly, without warning. Most of design codes based on empirical equations to predict the shear strength of the reinforced concrete beams without web reinforcement, as well as the empirical equations suggested by researchers were developed based on theoretical concepts and experimental results, This causes differences and inconsistencies in predicting the shear strength of reinforced concrete without web reinforcement.

The main objective of this study is to determine the equation that presents more accurate predictions than other equations available in the literature. Therefore, study the shear strength equations available in the the literature was performed, then a statistical study of these equations was made including evaluation their performance in predicting the ultimate shear strength of 168 beams collected from the literature and testing of its sensitivity to change of the main factors affecting the shear strength.

The study showed that the CEB-FIP code equation is a conservative equation and carefully takes the effect of the main factors affecting the shear strength and predicts the shear strength more accurately compared to other equations available in the literature.

Key words: reinforced Concrete beam, shear strength, Shear span to depth ratio, statistical Analysis.

* Director of works, Department Of structural Engineering– faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

1- مقدمة:

يعتبر البيتون مادة هشّة ذات مقاومة ضعيفة على الشد والقص، ويحدث انهيار العناصر البيتونية على القص بشكل مفاجئ دون سابق إنذار. يتأثر انهيار الجوائز البيتونية على القص بمتغيرات عدة، كمقاومة البيتون على الضغط f'_c ، نسبة مجاز القص للارتفاع الفعال للمقطع a/d ، نسبة التسليح الطولي (تسليح الشد) ρ ، الارتفاع الفعال للمقطع d ، القطر الأعظمي للحصويات المستخدم d_a ، كثافة البيتون (بيتون خفيف الوزن أو بيتون عادي)، طبيعة التحميل، طبيعة الاستناد، مقاومة البيتون على الشد، والألياف المستخدمة ونوعها. لذلك فإن التنبؤ بمقاومة البيتون على القص يمثل مسألة هامة ومعقدة في التصميم الإنشائي.

يتم تحديد مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي على القص من خلال مساهمة آليات نقل القص الرئيسية التالية:

- 1- مساهمة البيتون غير المتشقّق في منطقة الضغط، 2- العمل الوتدي للتسليح الطولي، 3- مساهمة السطح البيئي للشق في نقل القص والناجئة عن تشابك الحصويات، مجموع هذه الآليات الرئيسية الثلاثة يسمى عمل الجائز The beam action. هناك آلية أخرى تساهم في مقاومة القص، وهي مساهمة العمل القوسي The beam arch action، والتي تزداد فعاليتها مع انخفاض النسبة a/d . بشكل آخر، يمكن القول أن مقاومة البيتون النهائية للقص v_u تساوي مجموع مساهمات عمل الجائز والعمل القوسي. وبحسب [3,2,1] يتحكم العمل القوسي في انهيار الجوائز القصيرة ($a/d < 2.5$)، بينما يتحكم عمل الجائز في انهيار الجوائز المتوسطة والنحيفة ($a/d \geq 2.5$).

بشكل عام، تعتبر المتغيرات الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة وبدون تسليح عرضي هي $(f'_c, d, \rho, a/d)$ [2,1].

2- علاقات مقاومة القص لعناصر البيتون المسلح بدون تسليح عرضي.

توصي كودات التصميم الحالية مثل [4] ACI318-08 و [5] BS8110-97 و [6] NBR 6118/07 و [7] CEB-FIP باستخدام علاقات تجريبية لحساب مقاومة القص للجوائز البيتونية. إن جميع العلاقات المتاحة في الكودات التصميمية اشتقت

بالاعتماد على نتائج اختبارات تجريبية وحتى الآن لا يوجد علاقة فيزيائية منطقية لتوقع مقاومة القص، وسنقوم باستعراض بعض هذه العلاقات:

- يوصي الكود التصميمي ACI 318-08 بالعلاقة التجريبية التالية [4]:

$$v_c = \left(0.16\lambda \sqrt{f'_c} + 17\rho \frac{V_u d}{M_u} \right) \leq 0.29\lambda \sqrt{f'_c} \quad (1)$$

حيث: $f'_c \leq 70 \text{ Mpa}$ ، ρ : نسبة التسليح الطولي، f'_c : مقاومة الببتون على الضغط، M_u و V_u : قوة القص والعزم المصعدين المطبقين على المقطع والحاصلين في آن واحد. مع ملاحظة أن $\frac{V_u d}{M_u} = \frac{d}{a}$ للجائز البسيط المحمل بحمولة مركزة أو بحمولتين متناظرتين. λ : معامل يأخذ بعين الاعتبار الخصائص الميكانيكية المنخفضة للببتون الخفيف، ويأخذ القيم التالية: $\lambda=1$ من أجل الببتون العادي. و $\lambda=0.85$ من أجل الببتون الخفيف الحاوي رمل عادي و $\lambda=0.75$ من أجل الببتون الخفيف الحاوي حصويات خفيفة ورمل خفيفين. تصبح هذه العلاقة محافظة (underestimated) من أجل $a/d = 3.6$ وتعطي قيماً أقل من القيم التجريبية من أجل $a/d = 1.5$ ، وتصبح هذه العلاقة غير آمنة من أجل نسب التسليح الصغيرة [1].

- يوصي الكود BS8110 بالعلاقة التالية [5]:

$$v_c = 0.79(100\rho)^{1/3}(400/d)^{1/4}(f_{cu}/25)^{1/3} \quad (2)$$

حيث: $400/d \geq 1$, $0.15 \leq \rho \leq 0.3$, $f_{cu} \leq 40 \text{ MPa}$

f_{cu} المقاومة المكعبية للببتون على الضغط، MPa .

يهمل الكود BS 8110-97 تأثير مقاومة الضغط التي تفوق 40 MPa في تقييم مقاومة القص كما يهمل تأثير العمل القوسي للجائز (تأثير النسبة a/d).

- اقترح الكود CEB-FIP علاقة تجريبية معتبراً تأثير أبعاد مقطع الجائز كما هو

مبين في الصيغة التالية [6,7]:

$$v_c = 0.15 \left(\frac{3d}{a} \right)^{\frac{1}{3}} \left[1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right] (100\rho f'_c)^{1/3} \quad (3)$$

- تعتبر علاقة الكود البرازيلي NBR 6118/07 تأثير مقاومة الببتون على الضغط

فقط وتهمل تأثير المتغيرات الرئيسية الأخرى كما هو مبين في الصيغة التالية [6]:

$$v_c = 0.126(f'_c)^{2/3} \quad (4)$$

بحسب [6] إن هذه العلاقة تبالغ في تقييم تأثير مقاومة البيتون على الضغط f'_c ، كما أن هذه العلاقة أقل محافظة مقارنة ببقية علاقات الكودات الأخرى المدروسة CEB-FIP و ACI-318 وذلك من أجل عينة الاختبار التي شملت 136 جائزاً بيتونياً مسلحاً. من خلال دراسة العلاقات السابقة نجد أنّ جميعها تتجاهل العمل القوسي للجائز (تأثير النسبة a/d)، بالإضافة إلى أنّ لكل منها متغيرات وقيود مختلفة، فالعلاقات المقترحة من قبل

BS8110-97 [5], ACI318-08[4] و CEB-FIP [7] تأخذ في الاعتبار مقاومة البيتون على الضغط والتسليح الطولي، لكن العلاقة الموصى بها من قبل [6] NBR 6118 تعتبر مقاومة البيتون على الضغط فقط وتتجاهل تأثير المتغيرات الأخرى، وهذا يسبب اختلافات وتناقضات في تنبؤات مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة [3,6].

لقد طور باحثون علاقات مختلفة لحساب مقاومة الجوائز البيتونية على القص بالاعتماد على مفاهيم نظرية ونتائج تجريبية، كعلاقة Zsutty (1968) وعلاقة Mphonde and Frantz(1984) [1]، وعلاقة Ahmad(2018) [3] ، وسنستعرض بعض هذه العلاقات:

- اقترح الباحث Zsutty(1968) علاقته بالاعتماد على تقنية تحليل الانحدار (regression analysis) للنتائج التجريبية المتوفرة لحوالي 200 جائز. تضمنت العلاقة المتغيرات الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص $(f'_c, d, \rho, a/d)$ بالإضافة لاعتباره تأثير العمل القوسي للجائز، إذ يحدث انهيار الجائز تحت تأثير العمل القوسي من أجل $\frac{a}{d} < 2.5$ ، وتحت تأثير عمل الجائز من أجل $\frac{a}{d} \geq 2.5$ ، لذلك أوصى بالعلاقين التاليين [8]:

$$v_u = 2.3 \left(f'_c \rho \frac{d}{a} \right)^{1/3} \quad \text{for } \frac{a}{d} \geq 2.5 \quad (5)$$

$$v_u = 2.3 \left(f'_c \rho \frac{d}{a} \right)^{1/3} \times 2.5 \left(\frac{d}{a} \right) \quad \text{for } \frac{a}{d} < 2.5 \quad (6)$$

- توصل الباحثان Mphonde and Frantz (1984) لعلاقة تمكن من حساب مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة استخدام تقنية تحليل الانحدار للنتائج

التجريبية، تعتبر هذه العلاقة تأثير مقاومة البيتون على الضغط f'_c فقط، ولها الشكل التالي [1]:

$$v_u = 0.366(f'_c)^{1/3} + 0.49 \quad (7)$$

ولهذه العلاقة تطبيقات محدودة وتقتصر على الحالة التي تكون فيها $a/d=3.6$ ، $21 \leq f'_c \leq 103 \text{ MPa}$ [1].

• طور الباحث Ahmad (2018) علاقته اعتماداً على تقنية تحليل الانحدار للنتائج التجريبية لـ 279 جائزاً بيتونياً، معتبراً المتغيرات $(f'_c, d, \rho, a/d)$ ، ولها الشكل التالي [3]:

$$v_c = 2.09 f_c^{0.24} \rho^{0.35} (a/d)^{-0.18} d^{-0.23} \quad (8)$$

4- أهمية البحث وأهدافه:

توصي الكودات بعلاقات تجريبية لحساب مقاومة القص، معظمها يتجاهل العمل القوسي للجائز (تأثير النسبة a/d) ولكل منها متغيرات وقيود مختلفة، هذا يسبب اختلافات وتناقضات في تنبؤات مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة [3,6].

تختلف علاقات حساب مقاومة القص الواردة في الدراسات المرجعية من حيث تأثير المتغيرات وقيودها، ولكل علاقة ميزات ومساوئ، وعدد قليل منها قادر على الربط الجيد بين مقاومة القص والمتغيرات الرئيسية المستقلة $(f'_c, d, \rho, a/d)$ [1,3].

كان الهدف الرئيسي لهذا البحث هو الوصول للعلاقة الأكثر دقة في توقع مقاومة القص الحدية للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي، وذلك من خلال إجراء دراسة تحليلية إحصائية للعلاقات الواردة في الدراسات المرجعية تضمنت تقييم أدائها في توقع مقاومة القص واختبار حساسيتها لتغير العوامل الأساسية المؤثرة على مقاومة القص $(f'_c, d, \rho, a/d)$.

5- مواد وطرق البحث:

اعتمد هذا البحث على إجراء دراسة نظرية لعلاقات مقاومة القص الواردة في الدراسات المرجعية وأيضاً على المنهج المتبع من قبل (Kang and Kim (2011) [9] لإنجاز الدراسة التحليلية الإحصائية لهذه العلاقات. جُمعت نتائج اختبار جوائز بيتونية مسلحة بدون

تسليح عرضي (168) جائزاً بيتونياً من الدراسات المرجعية [10,11,12,13,14] مع المحافظة على أسماء هذه العينات حسب ورودها في المراجع. يبين الجدول (1) تفاصيل ونتائج اختبار هذه الجوائز، حيث: V_u تمثل حمولة القص الحدية المسببة للانهايار مقدرة بـ kN، و v_u مقاومة القص الحدية وتساوي $v_u = V_u / (bd)$ ، b, d : أبعاد مقطع الجائز مقدرة بـ (mm)، تراوحت القيم $0.72\% \leq \rho \leq 12.2$ و $12.2 \leq f'c \leq 80 \text{MPa}$ و $9.42\% \leq a/d \leq 1150$ و $85 \leq d \leq 1150$ و $0.81 \leq a/d \leq 9.74$. ولإنجاز الدراسة التحليلية الاحصائية للعلاقات الواردة في الدراسات المرجعية أستخدم برنامج Excel، حيث تم حساب كل من القيمة المتوسطة mean ومعامل التباين (COV)، والحد الأدنى minimum والحد الأقصى maximum ومعامل الارتباط R للنسب v_u / v_n (مقاومة القص الحدية التجريبية المقاسة إلى مقاومة القص المحسوبة على أساس العلاقات المدروسة). تعتبر القيمة المتوسطة القريبة من الواحد قيمة إحصائية جيدة تدل على التصميم الاقتصادي المحافظ، في حين يعتبر معامل التباين (COV) مؤشر إحصائي جيد للدقة في توقع مقاومة القص. أما الحد الأدنى الحد الأقصى فتعتبر قيم إحصائية جيدة لتحقيق عامل الأمان والتصميم الاقتصادي على التوالي. وعندما يكون معامل الارتباط $|R| \geq 0.8$ يتحقق التطابق الجيد بين النتائج التجريبية والحسابية التي تعطيها العلاقة.

الجدول (1) تفاصيل الجوائز ونتائج اختبارها المعتمدة في الدراسة

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجائز
[10]	1.60	57.9	175	207	4.50	4.00	44.6	B61-R
	3.48	181.0	200	260	3.46	3.56	45.7	1.2/1
	3.02	157.0	200	260	2.50	1.15	41.6	2.3/1
	2.63	150.0	200	285	4.04	1.81	42.4	2.6/1
	1.51	79.3	200	263	3.00	2.80	32.6	SFSCCBo
	2.44	24.9	120	85	3.54	1.54	23.1	V1A
	2.91	29.7	120	85	3.54	1.54	23.1	V1B
	3.56	36.3	120	85	3.54	1.54	57.0	V4A
	3.57	36.4	120	85	3.54	1.54	57.0	V4B
	2.72	54.8	130	155	3.55	1.59	57.0	V7A
2.32	46.7	130	155	3.55	1.59	57.0	V7B	

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوانز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجانز
[10]	2.78	28.4	120	85	3.53	1.54	36.1	VP1A
	2.65	27.0	120	85	3.53	1.54	36.1	VP1B
	6.89	64.4	110	85	1.94	1.84	75.3	V12A
	5.43	50.8	110	85	1.94	1.84	75.3	V12B
	1.23	40.5	150	219	2.80	1.91	41.2	A00
	1.51	49.5	150	219	2.00	1.91	41.2	Boo
	2.76	23.5	50	170	2.41	2.37	32.5	PCB1
	5.33	45.3	50	170	1.62	2.37	32.5	PCB2
	8.76	74.5	50	170	0.81	2.37	32.5	PCB3
	3.31	42.4	101	127	4.80	3.12	35.1	A1
	3.23	41.4	101	127	4.80	3.12	35.1	A2
	3.56	45.6	101	127	4.80	3.12	35.1	A3
	1.15	14.4	100	125	3.20	0.80	32.5	A
	3.59	34.8	85	114	2.00	3.13	52.0	P35
	6.18	59.9	85	114	2.00	3.13	53.0	P38
1.36	42.5	150	209	2.87	1.08	44.8	1	
[11]	2.00	52.0	135	193	2.50	2.40	27.2	B10
	2.53	66.0	135	193	2.50	3.07	25.7	B11
	2.46	64.0	135	193	2.50	3.07	25.1	B12
[10]	1.24	22.3	100	180	3.00	1.26	22.2	B31
	2.65	29.3	85	130	2.00	2.00	50.0	Sp1
	1.88	20.8	85	130	2.50	2.00	50.0	Sp2
	1.82	20.1	85	130	3.00	2.00	50.0	Sp3
	2.14	23.7	85	130	2.00	2.00	35.9	Sp4
	1.69	18.7	85	130	2.50	2.00	30.5	Sp5
	1.97	21.8	85	130	3.00	2.00	35.9	Sp6
	1.69	22.1	100	131	2.34	1.72	21.0	A
	1.63	64.5	150	263	1.90	1.34	42.3	S1
	3.22	126.9	150	263	1.90	1.34	43.2	S2

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجانز
[10]	7.14	125.0	100	175	2.00	4.71	80.0	1
	3.28	57.4	100	175	3.00	4.71	80.0	4
	3.60	63.0	100	175	3.00	9.42	80.0	14
	2.96	51.8	100	175	4.50	9.42	80.0	17
	2.99	52.4	100	175	4.50	9.42	80.0	20
	2.66	46.6	100	175	6.00	9.42	80.0	21
	3.12	54.6	100	175	6.00	9.42	80.0	22
[12]	3.49	305.0	250	350	1.50	0.72	32.4	SN1
	2.06	180.0	250	350	2.50	0.72	32.4	SN2
	1.60	140.0	250	350	3.50	0.72	32.4	SN3
[2]	3.31	67.6	120	170	1.50	1.33	23.1	NN1
	2.43	49.5	120	170	2.00	1.33	23.1	NN2
	1.69	34.5	120	170	2.50	1.33	23.1	NN3
	1.03	21.0	120	170	3.00	1.33	23.1	NN4
	3.90	79.5	120	170	1.50	1.33	43.7	NM1
	2.80	57.2	120	170	2.00	1.33	43.7	NM2
	2.05	41.8	120	170	2.50	1.33	43.7	NM3
	1.51	30.9	120	170	3.00	1.33	43.7	NM4
	4.41	90.0	120	170	1.50	1.33	53.8	NH1
	3.47	70.7	120	170	2.00	1.33	53.8	NH2
	2.44	49.8	120	170	2.50	1.33	53.8	NH3
2.02	41.2	120	170	3.00	1.33	53.8	NH4	
[13]	1.32	79.0	230	260	3.00	1.00	50.0	B3-1
	1.14	68.0	230	260	3.50	1.00	50.0	B3-2
	1.01	60.4	230	260	4.00	1.00	50.0	B3-3
	0.96	57.4	230	260	4.50	1.00	50.0	B3-4
	0.85	50.7	230	260	5.00	1.00	50.0	B3-5
	0.83	49.8	230	260	5.50	1.00	50.0	B3-6
	0.64	38.5	230	260	6.00	1.00	50.0	B3-7

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجانز
[13]	1.93	115.7	230	260	3.00	1.50	50.0	B4-1
	1.73	103.3	230	260	3.50	1.50	50.0	B4-2
	1.50	89.6	230	260	4.00	1.50	50.0	B4-3
	1.33	79.6	230	260	4.50	1.50	50.0	B4-4
	1.16	69.5	230	260	5.00	1.50	50.0	B4-5
	1.05	62.5	230	260	5.50	1.50	50.0	B4-6
	0.92	55.1	230	260	6.00	1.50	50.0	B4-7
	2.47	147.7	230	260	3.00	2.00	50.0	B5-1
	2.07	124.0	230	260	3.50	2.00	50.0	B5-2
	1.70	101.6	230	260	4.00	2.00	50.0	B5-3
	1.60	95.8	230	260	4.50	2.00	50.0	B5-4
	1.43	85.7	230	260	5.00	2.00	50.0	B5-5
	1.28	76.8	230	260	5.50	2.00	50.0	B5-6
	1.16	69.6	230	260	6.00	2.00	50.0	B5-7
[14]	0.79	390.6	914	541	2.50	1.02	25.2	LD1-N
	0.86	427.0	914	541	2.50	1.02	25.2	LD1-S
	0.77	381.9	914	541	2.50	1.02	30.1	SR2-S
	0.97	279.4	533	541	3.01	1.05	31.1	LD6-N
	0.87	252.4	533	541	3.01	1.05	31.1	LD6-S
	0.60	367.2	533	1151	3.00	0.98	23.9	LD7-N
	0.51	310.4	533	1151	3.00	0.98	24.9	LD7-S
	1.27	101.0	203	390	2.34	2.07	30.6	4A3
	1.27	101.0	203	390	2.34	3.1	29.9	5A3
	1.41	67.4	152	314	2.91	3.43	30.2	11A2
	1.55	56.2	152	238	3.85	4.52	30.1	12A2
	1.21	58.5	152	316	2.89	2.68	19.3	18A2
	1.21	58.5	152	316	2.89	2.68	19.9	18B2
	1.12	54.0	152	316	2.89	2.68	22.6	18C2
1.12	54.0	152	316	2.89	2.68	22.1	18D2	

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجانز
[14]	0.79	38.5	152	319	2.87	0.80	19.9	13A2
	0.74	27.3	152	243	3.77	1.05	20.7	14A2
	0.85	40.7	152	316	2.89	1.34	20.1	15A2
	1.03	49.6	152	316	2.89	1.34	20.7	15B2
	1.05	38.4	152	240	3.81	1.77	22.2	16A2
	1.10	40.7	152	243	3.77	2.09	22.0	17A2
	1.12	54.0	152	316	2.89	2.68	19.8	18A2
	1.17	42.9	152	240	3.81	3.53	20.5	19A2
	1.24	45.1	152	238	3.85	4.52	21.0	20A2
	1.31	63.1	203	238	3.85	5.09	19.9	21A2
	0.87	33.9	152	256	4.77	0.99	21.9	1AC
	0.83	32.1	152	254	4.80	1.32	23.0	2AC
	1.05	41.0	152	256	4.77	1.99	20.8	3AC
	1.00	38.7	152	254	4.80	2.63	16.5	4AC
	1.01	38.7	152	252	4.83	3.35	18.3	5AC
	1.42	54.3	152	250	4.87	4.29	22.8	6AC
	0.72	28.0	152	256	5.96	0.99	18.9	1CC
	0.81	31.5	152	254	6.00	1.32	20.8	2CC
	0.95	36.9	152	256	5.96	1.99	20.5	3CC
	1.07	41.3	152	254	6.00	2.63	20.5	4CC
	1.19	45.8	152	252	6.04	3.35	20.3	5CC
	1.20	45.8	152	250	6.09	4.29	20.5	6CC
	1.01	39.4	152	256	7.16	1.99	18.8	3EC
	1.12	43.4	152	254	7.20	2.63	21.2	4EC
	1.07	41.2	152	252	7.24	3.35	19.5	5EC
	1.15	43.9	152	250	7.30	4.29	19.1	6EC
	0.86	33.5	152	256	8.35	1.99	22.4	3GC
	0.97	37.5	152	254	8.40	2.63	21.0	4GC
1.03	39.8	152	252	8.45	3.35	21.9	5GC	

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجائز
[14]	1.11	42.4	152	250	8.52	4.29	21.3	6GC
	0.78	30.3	152	256	9.54	1.99	22.2	3JC
	0.87	33.9	152	254	9.60	2.63	22.2	4JC
	1.10	42.3	152	252	9.66	3.35	22.8	5JC
	0.98	37.4	152	250	9.74	4.29	21.4	6JC
	1.35	51.8	152	252	3.62	3.35	20.1	6C
	1.39	54.0	152	256	3.58	1.99	34.5	3AAC
	1.45	56.2	152	254	3.60	2.63	29.2	4AAC
	1.40	54.0	152	252	3.62	3.35	32.8	5AAC
	1.53	58.4	152	250	3.65	4.29	34.4	6AAC
	1.28	49.9	152	256	4.77	1.99	31.9	3AC
	1.29	49.9	152	254	4.80	2.63	30.5	4AC
	1.30	49.9	152	252	4.83	3.35	32.8	5AC
	1.42	54.3	152	250	4.87	4.29	34.1	6AC
	1.30	50.2	152	254	6.00	2.63	38.4	4CC
	1.42	54.7	152	252	6.04	3.35	37.4	5CC
	1.37	52.4	152	250	6.09	4.29	38.4	6CC
	1.37	53.2	152	254	7.20	2.63	36.8	4EC
	1.08	41.6	152	252	7.24	3.35	37.4	5EC
	1.09	41.6	152	250	7.30	4.29	33.8	6EC
	1.04	40.7	152	256	3.58	1.99	12.5	3AAC
	1.05	40.7	152	254	3.60	2.63	12.9	4AAC
	1.23	47.3	152	252	3.62	3.35	15.4	5AAC
	1.18	45.1	152	250	3.65	4.29	13.4	6AAC
	0.94	36.5	152	256	4.77	1.99	13.7	3AC
	0.94	36.5	152	254	4.80	2.63	12.9	4AC
	1.12	43.2	152	252	4.83	3.35	15.4	5AC
	1.07	41.0	152	250	4.87	4.29	12.4	6AC
	0.72	28.0	152	256	5.96	1.99	12.2	3CC

المرجع	v_u (MPa)	V_u (kN)	b mm	d mm	a/d	ρ	$f'c$ (MPa)	اسم الجائز
[14]	0.94	36.4	152	254	6.00	2.63	17.1	4CC
	0.90	34.7	152	252	6.04	3.35	14.7	5CC
	1.02	39.1	152	250	6.09	4.29	13.7	6CC
	0.96	37.2	152	254	7.20	2.63	14.3	4EC
	0.94	36.3	152	252	7.24	3.35	15.1	5EC
	0.89	86.9	203	483	3.16	1.56	16.8	C
	1.44	55.0	152	250	7.30	4.29	36.3	PCa
	1.44	55.0	152	250	7.30	4.29	36.3	PCb
	1.18	45.8	152	254	6.00	2.63	35.7	OCa
	1.35	52.4	152	254	6.00	2.63	39.0	OCb
	1.22	141.8	254	456	4.01	2.23	38.3	OCa
	1.15	132.9	254	456	4.01	2.23	38.3	OCb

6- النتائج ومناقشتها:

تم حساب مقاومة القص الحسابية v_n على أساس العلاقات المدروسة (1)، (2)، (3)، (4)، (5)، (6)، (8) من أجل 168 عينة، وبيّن الجدول (2) قيم النسبة v_u/v_n بالإضافة للقيم الإحصائية المعتمدة في الدراسة.

الجدول (2) قيم النسبة (v_u/v_n) تبعاً لعلاقات مقاومة القص المدروسة والنتائج التجريبية بالإضافة للقيم الإحصائية المعتمدة في الدراسة

v_u/v_n (8)	v_u/v_n (5) (6)	v_u/v_n (4)	v_u/v_n (3)	v_u/v_n (2)	v_u/v_n (1)	v_u	اسم الجائز
0.85	0.95	1.01	1.09	0.83	1.31	1.60	B61-R
1.92	1.95	2.16	2.38	1.97	2.77	3.48	1.2/1
2.38	2.28	2.00	2.78	2.57	2.72	3.02	2.3/1
1.96	1.99	1.72	2.48	1.96	2.35	2.63	2.6/1
0.96	0.97	1.17	1.19	1.04	1.41	1.51	SFSCBo
1.65	2.28	2.39	2.07	1.73	2.90	2.44	V1A
1.97	2.72	2.85	2.46	2.07	3.45	2.91	V1B
1.94	2.46	1.91	2.23	1.87	2.78	3.56	V4A
1.94	2.47	1.91	2.24	1.87	2.78	3.57	V4B
1.68	1.86	1.46	2.00	1.64	2.12	2.72	V7A
1.43	1.59	1.24	1.71	1.40	1.80	2.32	V7B
1.69	2.24	2.02	2.03	1.70	2.69	2.78	VP1A

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

v_u/v_n (8)	v_u/v_n (5) (6)	v_u/v_n (4)	v_u/v_n (3)	v_u/v_n (2)	v_u/v_n (1)	v_u	اسم الجائز
1.61	2.13	1.92	1.93	1.62	2.56	2.65	VP1B
2.95	2.60	3.07	3.03	3.11	4.44	6.89	V12A
2.33	2.05	2.42	2.39	2.45	3.51	5.43	V12B
0.80	0.82	0.82	0.96	0.85	1.08	1.23	A00
0.92	0.72	1.00	1.05	1.04	1.27	1.51	Boo
1.62	1.69	2.15	1.93	1.80	2.56	2.76	PCB1
2.91	1.92	4.15	3.27	3.48	4.59	5.33	PCB2
4.22	1.26	6.83	4.27	5.72	6.22	8.76	PCB3
1.83	2.35	2.45	2.39	1.78	3.12	3.31	A1
1.78	2.30	2.39	2.34	1.74	3.05	3.23	A2
1.97	2.53	2.63	2.57	1.92	3.36	3.56	A3
0.97	1.16	0.90	1.17	1.00	1.21	1.15	A
1.50	1.34	2.05	1.65	1.65	2.53	3.59	P35
2.58	2.29	3.48	2.82	2.83	4.32	6.18	P38
1.05	1.07	0.85	1.24	1.09	1.19	1.36	1
1.26	1.36	1.75	1.54	1.42	2.00	2.00	B10
1.49	1.62	2.31	1.84	1.69	2.48	2.53	B11
1.45	1.58	2.27	1.80	1.65	2.43	2.46	B12
1.05	1.19	1.24	1.33	1.15	1.50	1.24	B31
1.35	1.16	1.55	1.49	1.48	2.04	2.65	Sp1
1.00	1.11	1.10	1.14	1.05	1.49	1.88	Sp2
1.00	1.14	1.06	1.17	1.02	1.46	1.82	Sp3
1.18	1.05	1.56	1.34	1.34	1.90	2.14	Sp4
1.01	1.18	1.38	1.21	1.12	1.66	1.69	Sp5
1.17	1.38	1.44	1.41	1.23	1.84	1.97	Sp6
1.15	1.28	1.76	1.40	1.33	1.96	1.69	A
1.16	0.81	1.07	1.30	1.32	1.41	1.63	S1
2.28	1.58	2.07	2.55	2.57	2.75	3.22	S2
2.58	2.01	3.05	2.79	2.77	3.90	7.14	1
1.27	1.32	1.40	1.47	1.27	1.93	3.28	4
1.10	1.15	1.54	1.28	1.11	1.83	3.60	14
0.97	1.08	1.27	1.20	0.91	1.66	2.96	17
0.98	1.10	1.28	1.22	0.92	1.68	2.99	20
0.92	1.07	1.14	1.19	0.82	1.57	2.66	21
1.08	1.26	1.33	1.39	0.96	1.84	3.12	22
3.36	1.69	2.72	3.68	4.05	3.51	3.49	SN1
2.17	1.97	1.61	2.58	2.39	2.14	2.06	SN2

v_u/v_n (8)	v_u/v_n (5) (6)	v_u/v_n (4)	v_u/v_n (3)	v_u/v_n (2)	v_u/v_n (1)	v_u	اسم الجائز
1.80	1.72	1.25	2.24	1.86	1.69	1.60	SN3
2.37	1.47	3.24	2.69	2.94	3.60	3.31	NN1
1.83	1.58	2.37	2.17	2.15	2.75	2.43	NN2
1.32	1.48	1.65	1.63	1.50	1.97	1.69	NN3
0.83	0.96	1.01	1.05	0.91	1.22	1.03	NN4
2.39	1.39	2.49	2.56	2.79	3.22	3.90	NM1
1.81	1.47	1.79	2.03	2.01	2.39	2.80	NM2
1.38	1.45	1.31	1.59	1.47	1.78	2.05	NM3
1.05	1.14	0.97	1.25	1.09	1.34	1.51	NM4
2.57	1.47	2.46	2.70	2.95	3.33	4.41	NH1
2.13	1.70	1.93	2.34	2.32	2.69	3.47	NH2
1.56	1.61	1.36	1.77	1.63	1.93	2.44	NH3
1.33	1.42	1.12	1.56	1.35	1.62	2.02	NH4
1.08	1.04	0.77	1.28	1.11	1.11	1.32	B3-1
0.96	0.95	0.66	1.15	0.95	0.96	1.14	B3-2
0.87	0.88	0.59	1.07	0.85	0.86	1.01	B3-3
0.85	0.87	0.56	1.06	0.80	0.82	0.96	B3-4
0.76	0.79	0.50	0.97	0.71	0.73	0.85	B3-5
0.76	0.80	0.49	0.98	0.70	0.72	0.83	B3-6
0.60	0.64	0.38	0.78	0.54	0.55	0.64	B3-7
1.38	1.34	1.13	1.63	1.42	1.59	1.93	B4-1
1.26	1.26	1.01	1.53	1.26	1.43	1.73	B4-2
1.12	1.14	0.88	1.39	1.10	1.25	1.50	B4-3
1.02	1.05	0.78	1.28	0.97	1.12	1.33	B4-4
0.91	0.95	0.68	1.16	0.85	0.98	1.16	B4-5
0.83	0.88	0.61	1.08	0.77	0.89	1.05	B4-6
0.74	0.80	0.54	0.98	0.67	0.79	0.92	B4-7
1.59	1.55	1.44	1.89	1.64	1.98	2.47	B5-1
1.37	1.37	1.21	1.67	1.38	1.69	2.07	B5-2
1.15	1.17	0.99	1.43	1.13	1.40	1.70	B5-3
1.11	1.15	0.94	1.40	1.06	1.33	1.60	B5-4
1.01	1.07	0.84	1.30	0.95	1.19	1.43	B5-5
0.92	0.99	0.75	1.20	0.85	1.08	1.28	B5-6
0.85	0.92	0.68	1.12	0.77	0.98	1.16	B5-7
0.87	0.73	0.73	1.04	0.99	0.90	0.79	LD1-N
0.95	0.80	0.80	1.14	1.08	0.99	0.86	LD1-S
0.81	0.68	0.63	0.96	0.91	0.82	0.77	SR2-S

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

v_u/v_n (8)	v_u/v_n (5) (6)	v_u/v_n (4)	v_u/v_n (3)	v_u/v_n (2)	v_u/v_n (1)	v_u	اسم الجائز
1.04	0.88	0.78	1.26	1.12	1.02	0.97	LD6-N
0.94	0.80	0.70	1.14	1.01	0.92	0.87	LD6-S
0.83	0.61	0.57	0.99	0.94	0.71	0.60	LD7-N
0.69	0.51	0.47	0.82	0.78	0.59	0.51	LD7-S
0.96	0.80	1.03	1.14	1.09	1.23	1.27	4A3
0.83	0.71	1.05	1.01	0.96	1.16	1.27	5A3
0.88	0.86	1.15	1.10	0.97	1.31	1.41	11A2
0.87	0.95	1.27	1.14	0.91	1.44	1.55	12A2
0.92	0.94	1.34	1.20	1.06	1.41	1.21	18A2
0.91	0.93	1.31	1.19	1.05	1.40	1.21	18B2
0.82	0.82	1.11	1.05	0.93	1.22	1.12	18C2
0.82	0.83	1.13	1.06	0.93	1.23	1.12	18D2
0.91	0.90	0.85	1.15	1.02	1.04	0.79	13A2
0.75	0.83	0.78	1.00	0.80	0.95	0.74	14A2
0.81	0.81	0.91	1.03	0.91	1.06	0.85	15A2
0.98	0.98	1.08	1.25	1.10	1.28	1.03	15B2
0.88	0.98	1.06	1.17	0.94	1.26	1.05	16A2
0.87	0.96	1.11	1.16	0.93	1.30	1.10	17A2
0.85	0.86	1.22	1.10	0.97	1.29	1.12	18A2
0.78	0.89	1.24	1.06	0.85	1.33	1.17	19A2
0.76	0.86	1.30	1.03	0.82	1.33	1.24	20A2
0.77	0.89	1.41	1.06	0.85	1.39	1.31	21A2
0.94	1.06	0.88	1.29	0.96	1.11	0.87	1AC
0.80	0.90	0.81	1.10	0.81	1.02	0.83	2AC
0.91	1.03	1.10	1.26	0.93	1.31	1.05	3AC
0.83	0.97	1.23	1.18	0.87	1.35	1.00	4AC
0.74	0.87	1.15	1.06	0.78	1.25	1.01	5AC
0.91	1.06	1.40	1.28	0.94	1.56	1.42	6AC
0.84	0.99	0.80	1.20	0.83	0.99	0.72	1CC
0.84	0.99	0.85	1.20	0.83	1.06	0.81	2CC
0.85	1.01	1.00	1.22	0.85	1.21	0.95	3CC
0.87	1.04	1.13	1.26	0.87	1.33	1.07	4CC
0.89	1.07	1.27	1.30	0.89	1.46	1.19	5CC
0.82	0.99	1.27	1.20	0.82	1.42	1.20	6CC
0.96	1.18	1.14	1.43	0.93	1.37	1.01	3EC
0.94	1.14	1.16	1.39	0.90	1.40	1.12	4EC
0.84	1.04	1.17	1.26	0.81	1.36	1.07	5EC

v_u/v_n (8)	v_u/v_n (5) (6)	v_u/v_n (4)	v_u/v_n (3)	v_u/v_n (2)	v_u/v_n (1)	v_u	اسم الجائز
0.83	1.04	1.28	1.25	0.81	1.44	1.15	6EC
0.80	0.99	0.86	1.21	0.75	1.08	0.86	3GC
0.83	1.04	1.01	1.27	0.78	1.23	0.97	4GC
0.81	1.01	1.05	1.23	0.76	1.27	1.03	5GC
0.80	1.02	1.15	1.23	0.75	1.35	1.11	6GC
0.75	0.94	0.78	1.15	0.68	0.99	0.78	3JC
0.76	0.97	0.88	1.17	0.69	1.09	0.87	4JC
0.87	1.11	1.08	1.35	0.79	1.34	1.10	5JC
0.72	0.94	1.01	1.13	0.66	1.20	0.98	6JC
0.92	1.02	1.44	1.24	1.01	1.54	1.35	6C
1.00	1.05	1.04	1.27	1.04	1.34	1.39	3AAC
0.99	1.06	1.22	1.28	1.05	1.47	1.45	4AAC
0.86	0.91	1.09	1.10	0.90	1.31	1.40	5AAC
0.85	0.90	1.15	1.09	0.89	1.35	1.53	6AAC
0.99	1.09	1.01	1.33	0.99	1.31	1.28	3AC
0.92	1.02	1.05	1.24	0.92	1.32	1.29	4AC
0.83	0.92	1.00	1.12	0.83	1.25	1.30	5AC
0.83	0.92	1.07	1.12	0.83	1.31	1.42	6AC
0.91	1.02	0.90	1.24	0.85	1.22	1.30	4CC
0.92	1.04	1.01	1.27	0.87	1.32	1.42	5CC
0.81	0.92	0.96	1.12	0.77	1.24	1.37	6CC
1.01	1.17	0.99	1.42	0.92	1.33	1.37	4EC
0.72	0.84	0.77	1.02	0.66	1.02	1.08	5EC
0.69	0.81	0.83	0.98	0.64	1.06	1.09	6EC
0.96	1.10	1.53	1.34	1.10	1.58	1.04	3AAC
0.87	1.00	1.52	1.22	1.00	1.50	1.05	4AAC
0.90	1.02	1.58	1.24	1.01	1.57	1.23	5AAC
0.82	0.95	1.66	1.15	0.94	1.51	1.18	6AAC
0.89	1.06	1.30	1.29	0.96	1.41	0.94	3AC
0.83	0.99	1.36	1.21	0.89	1.41	0.94	4AC
0.87	1.03	1.44	1.25	0.92	1.51	1.12	5AC
0.80	0.98	1.59	1.18	0.87	1.50	1.07	6AC
0.73	0.91	1.08	1.10	0.76	1.17	0.72	3CC
0.80	0.97	1.13	1.18	0.81	1.28	0.94	4CC
0.73	0.90	1.19	1.10	0.75	1.27	0.90	5CC
0.78	0.97	1.42	1.18	4.29	1.44	1.02	6CC

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

v_u/v_n (8)	v_u/v_n (5) (6)	v_u/v_n (4)	v_u/v_n (3)	v_u/v_n (2)	v_u/v_n (1)	v_u	اسم الجائز
0.88	1.12	1.30	1.36	2.63	1.44	0.96	4EC
0.79	1.00	1.23	1.21	3.35	1.35	0.94	5EC
0.94	0.88	1.07	1.23	1.56	1.20	0.89	C
0.89	1.05	1.04	1.27	4.29	1.35	1.44	PCa
0.89	1.05	1.04	1.27	4.29	1.35	1.44	PCb
0.84	0.95	0.87	1.16	2.63	1.15	1.18	OCa
0.95	1.06	0.93	1.29	2.63	1.26	1.35	OCb
0.97	0.89	0.86	1.23	2.23	1.13	1.22	OCa
0.91	0.84	0.80	1.15	2.23	1.06	1.15	OCb
1.17	1.19	1.35	1.47	1.23	1.66	-	Mean
4.22	2.72	6.83	4.27	5.72	6.22	-	Maximum
0.60	0.51	0.38	0.78	0.54	0.55	-	Minimum
48.30	37.10	55.40	38.70	55.90	50.90	-	COV %
0.91	0.92	0.90	0.92	0.90	0.90	-	R
104	71	47	10	92	19	-	عدد العينات غير الآمنة ($v_u/v_n < 1$)

من خلال نتائج التحليل الإحصائي للنسبة v_u/v_n الواردة في الجدول (2) تبين ما يلي:

- جميع العلاقات المدروسة، ACI318, BS8110, CEB-FIP, NBR6118، هي علاقات محافظة، باعتبار أن القيمة المتوسطة $mean (v_u/v_n > 1)$ ، لكن لديهم مستوى أمان مختلف، فعلى سبيل المثال المعادلة إن علاقة ACI318 لها هامش أمان كبير بلغ وسطياً 66%. في حين أن العلاقات BS8110 و Zsutty و Ahmad لها قيم منخفضة للمتوسط $mean$ ، وهي 1.23 و 1.19 و 1.17 على التوالي. ترجع هذه القيم المنخفضة للمتوسط إلى وجود عدد كبير نسبياً من القيم غير الآمنة ($v_u/v_n < 1$) والتي تبلغ 92 ، 71 ، 104 على التوالي. هذه القيم (النقاط)

التي لها ($v_u/v_n < 1$) يمكن رؤيتها في الأشكال (4)، (3)، (2)، (1) تحت خط الواحد ($v_u/v_n = 1$).

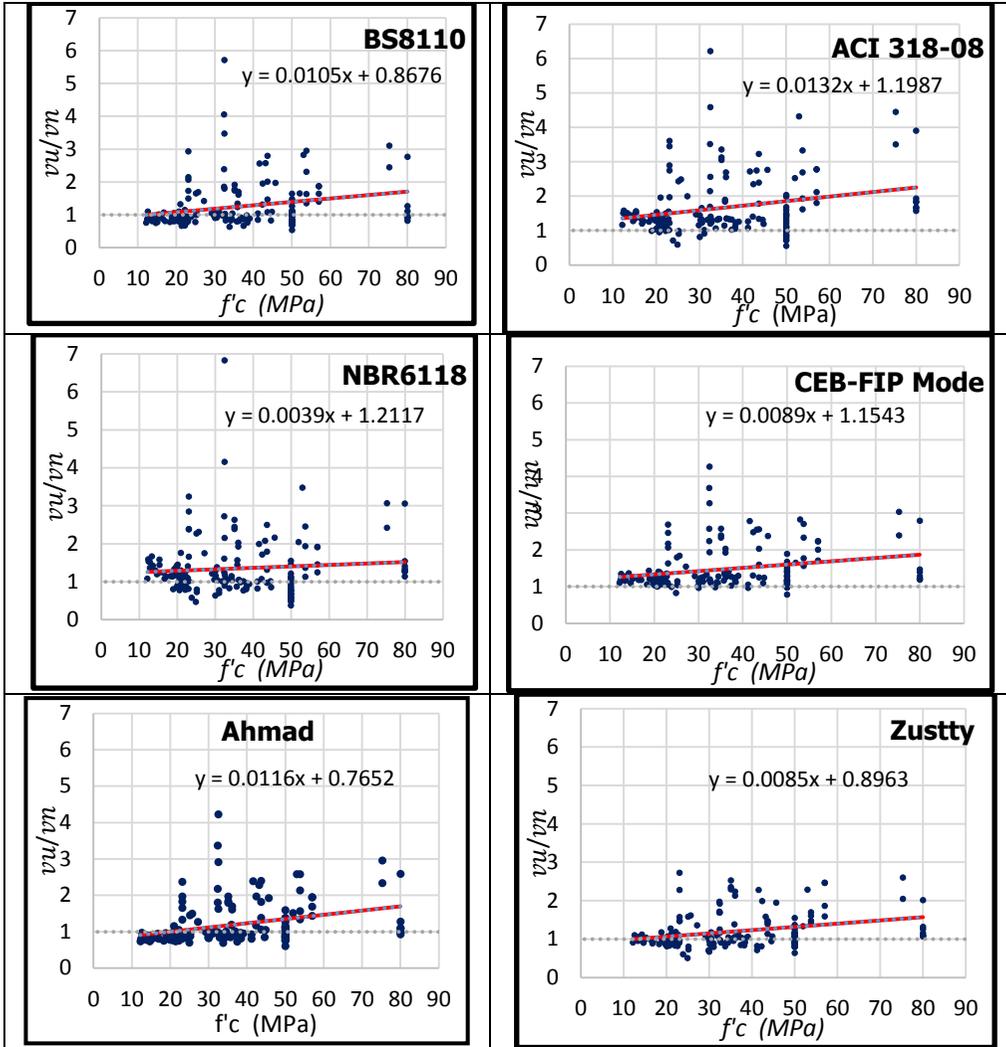
- إن قيم معامل التباين COV لعلاقات الكودات ACI318, BS8110, NBR6118، مقارنة، في حين تبدي العلاقات CEB-FIP و Zsutty قيماً أقل لعامل التباين مقارنة بالعلاقات الأخرى وهي 38.7 ، 37.1 على التوالي.

- تظهر العلاقات CEB-FIP, Zsutty أعلى قيمة لمعامل الارتباط 0.92 ، وهذا يعني أن هناك تطابقاً جيداً بين القيم التجريبية والقيم الحسابية مقارنة بالعلاقات الأخرى المدروسة، إلا أن علاقة Zsutty أعطت توقعات غير آمنة، حيث بلغ عدد القيم غير الآمنة 71 قيمة ($v_u/v_n < 1$) أي أن العلاقة تتبالغ في تقييم قوة القص المسببة للانتهيار لما يقارب 42% من العينات. ومن أجل علاقة Ahmad تصل نسبة العينات غير الآمنة إلى 62% من العينات المدروسة.

من أجل تقييم تأثير (حساسية the sensitivity) العلاقات المدروسة لتغير العوامل الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص، تم إيجاد العلاقة بين النسبة v_u/v_n والعوامل ($f'_c, d, \rho, a/d$) بشكل مستقل كما هو موضح في الأشكال (4)، (3)، (2)، (1). وبحسب [9،15] يعتبر ميل خط الانحدار الخطي للنسب v_u/v_n (the slope of the linear regression line of ratios) مؤشر إحصائي جيد لتقييم حساسية العلاقات المدروسة. تجدر الإشارة إلى أن التصميم المحافظ (الآمن) يحدث عندما تقع النقاط فوق خط الواحد ($v_u/v_n = 1$).

يوضح الشكل (1) أن العلاقات ACI-318 و BS8110 تظهر تأثيراً واضحاً لتغير f'_c . حيث لوحظ انخفاض في مستوى الأمان للجوائز ذات المقاومة على الضغط $f'_c < 40MPa$ ، في حين أن مقاومة القص التي تنبأت بها علاقة CEB-FIP و Zsutty متوافقة مع مقاومة القص التجريبية للجوائز ذات $f'_c < 40MPa$. وأن العلاقات BS8110 و NBR6118 و Ahmad تتبالغ في تقييم تأثير f'_c ، في حين أن

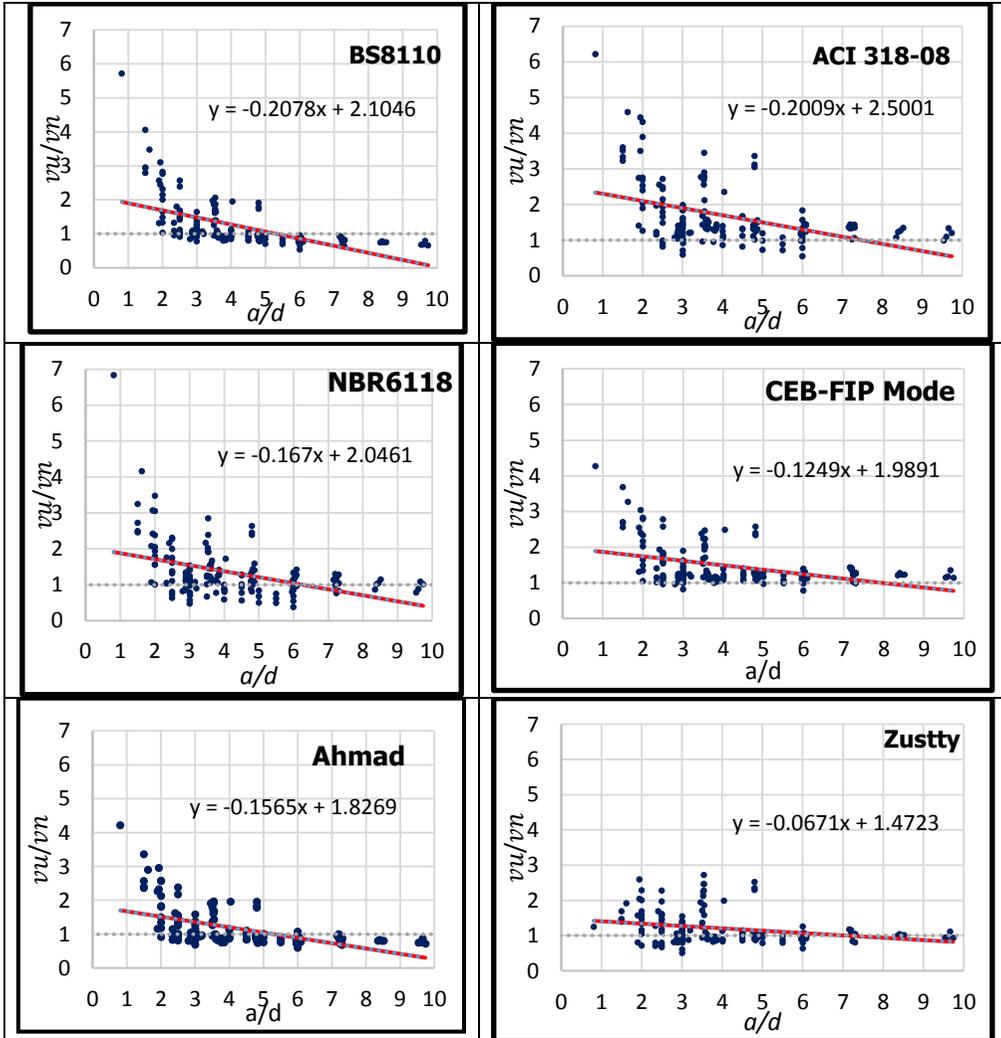
ACI-318, CEB-FIP قدمت نتائج متحفظة بدرجة كافية.



الشكل (1) العلاقة بين النسبة v_u/v_n ومقاومة البيتون على الضغط من أجل العلاقات المدروسة

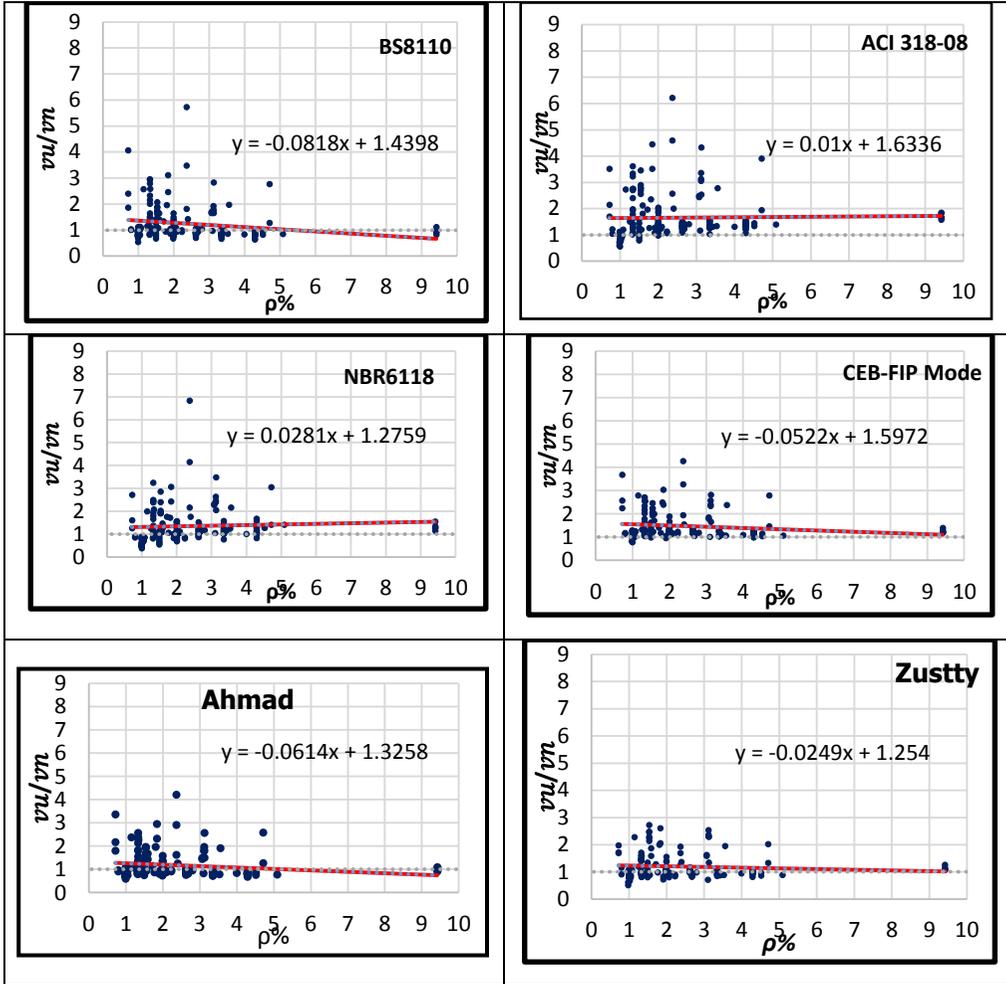
يوضح الشكل (2) التأثير الواضح لـ a/d على قيم مقاومة القص الحسابية، حيث يلاحظ تبعثر وتشتت لقيم v_u/v_n تبعاً للنسبة a/d وذلك بالنسبة لمعظم العلاقات المدروسة، باستثناء علاقة Zsutty التي تأخذ بالحسبان تأثير العمل القوسي للجوائز، إلا أنها علاقة غير متحفظة لعدد كبير من الجوائز $a/d \geq 2$. بالنسبة لجميع العلاقات المدروسة، ينخفض مستوى الأمان مع زيادة القيمة a/d ، مما يعني أن هناك مبالغة في التقدير (overestimation) كلما ازدادت النسبة a/d . تبدو

العلاقات ACI318 و BS8110 غير متحفظة لعدد كبير من الجوائز ذات ($a/d \geq 2.5$)، بينما تبدو كلا من العلاقات Ahmad و NBR6118 غير آمنة لعدد كبير من الجوائز ذات ($a/d > 2$).



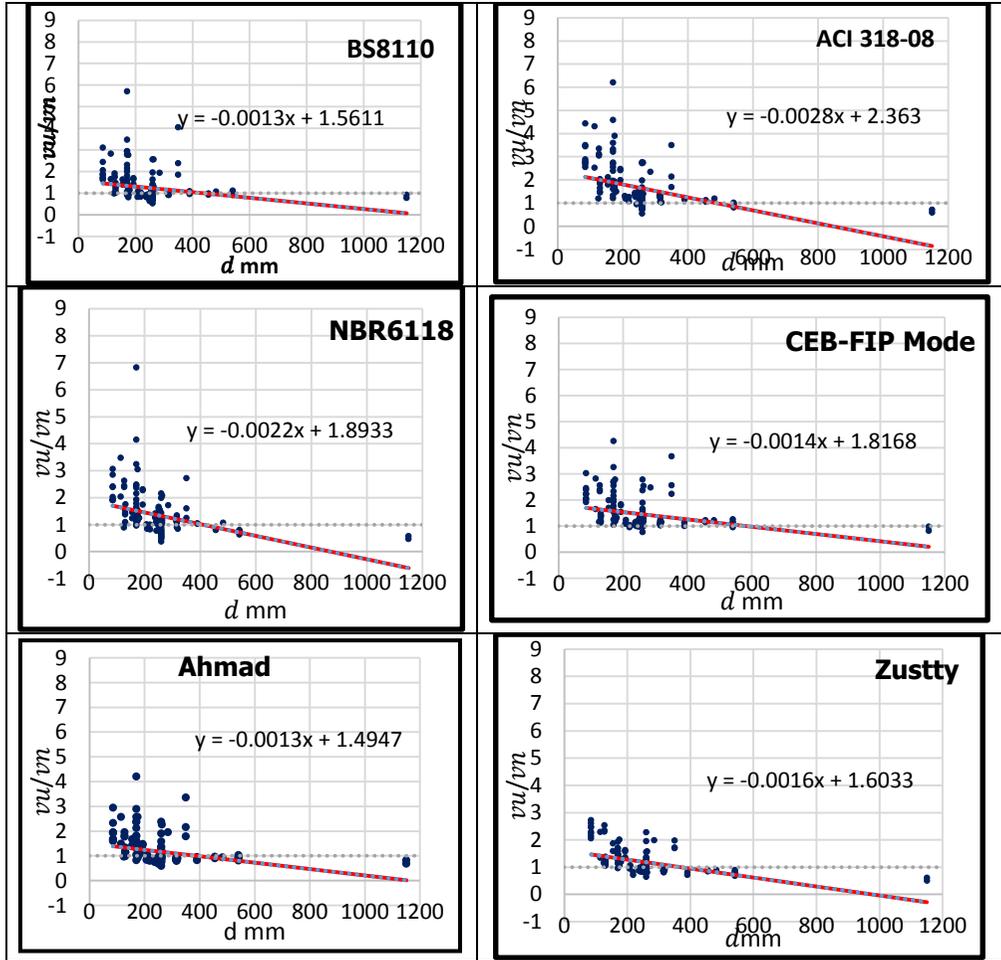
الشكل (2) العلاقة بين النسبة v_u/v_n والنسبة a/d من أجل العلاقات المدروسة يوضح الشكل (3) أن قيم مقاومة القص الحسابية متباعدة تبعاً للنسبة (ρ). حيث تبلغ معظم العلاقات في تقدير مقاومة القص للجوائز ذات $\rho < 2\%$. تعتبر العلاقات ACI318 و CEB-FIP أكثر تحفظاً للجوائز ذات $\rho > 1.5\%$ ، في حين تعطي كلا من

BS8110 و Zsutty قيماً ثابتة تقريباً (أي أن العلاقة لا تتأثر بشكل كبير بتغير النسبة ρ)



الشكل (3) العلاقة بين النسبة v_u/v_n والنسبة ρ من أجل العلاقات المدروسة

يوضح الشكل 4 تأثير (d) على مقاومة القص المحسوبة وفق العلاقات المدروسة حيث يلاحظ انخفاض مستوى الأمان مع زيادة القيمة d ويمكن ملاحظة أن العلاقات CEB-FIP, Zsutty هي الأقل حساسية للتغيرات في الارتفاع الفعال، (حيث أن ميل خط الانحدار الخطي أفقياً تقريباً).



الشكل (4) العلاقة بين النسبة v_u/v_n والنسبة d من أجل العلاقات المدروسة

7- الاستنتاجات والتوصيات:

بالاعتماد على الدراسة التحليلية، يمكن تلخيص النتائج بالتالي:

- 1- تتزايد مقاومة الجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي مع زيادة مقاومة الضغط وزيادة نسبة التسليح الطولي ونقصان النسبة a/d ونقصان الارتفاع الفعال للجوائز.
- 2- أظهرت المقارنة أن العلاقات ACI318 و CEB-FIP هما الأكثر تحفظاً. وأن علاقة Zsutty هي الأكثر تطابقاً وانسجاماً في حين أبدت العلاقة NBR6118 تشتتاً كبيراً في توقع مقاومة القص لجميع الجوائز المختبرة، بالإضافة لكونها علاقة غير محافظة لعدد كبير من الجوائز النحيفة (تصميم غير آمن لحالة $a/d > 2$).

دراسة علاقات توقع مقاومة القص للجوائز البيتونية المسلحة بدون تسليح عرضي

3- إن توقع مقاومة القص وفق علاقة Ahmad أدى إلى تصميم غير آمن بنسبة تصل إلى 62% من العينات يليها علاقة الكود BS8110 بنسبة وصلت إلى 55%، ثم علاقة الكود NBR6118 بنسبة وصلت 28%.

4- تبدو العلاقة CEB-FIP هي العلاقة الأكثر أماناً والأكثر دقة في توقع مقاومة القص للجوائز المسلحة بدون تسليح عرضي مقارنة بالعلاقات الأخرى المدروسة، كما أنها أقل تأثراً بتغير العوامل الرئيسية المؤثرة على مقاومة القص $(f'_c, d, \rho, a/d)$.

8-المراجع:

- 1- .Ghaffar .A., Javed .A., Rehman .H., Ahmed .K., and Ilyas .M. **development of Shear Capacity Equations for Rectangular Reinforced Concrete Beams** .Pak. J. Engg. & Appl. Sci . 2010; 6: 1-8.
- 2- Chao W .T., Tsong. Y., and How J. C. **Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Made with Sedimentary Lightweight Aggregate without Shear Reinforcement**. Journal of Materials in Civil Engineering , ASCE . 2009; 21(12): 730- 739.
- 3- Ahmed .F.A.**shear strength prediction of reinforced concrete shallow beams without shear reinforcements**. Journal of Engineering and Sustainable Development. 2018; 22(6):85-100.
- 4-. ACI Committee 318. **Building Code requirements for reinforced concrete** ACI 318-08 and Commentary. American Concrete Institute, 2008: pp 465.
- 5- BS8110-1. **Structural Use of Concrete – Part 1: Code of Practice for Design and Construction**||. British Standards Institution, London, UK, 1997. pp. 120.
- 6- Leandro M. T., Luiz C.A., Ricardo .G. **A Comparative Study of the Shear Strength Prediction for Reinforced Concrete Beams without Shear Reinforcement**.Applied Mechanics and Materials. 2014; Vols. 584-586: 1135-1140.
- 7- Comité Euro-**International du Béton**: CEB-FIP Model Code 1990 (CEB_FIP MC90). Bulletin D'Information No. 213/214, Lausanne, May 1993.pp.473.
- 8- Ramadan. A.I and Abd-Elshafy.A.A. **Statistical Prediction Equations for RC Deep Beam Without Stirrups**. Facing the Challenges in Structural Engineering, 2018.

- 9- . Kang .T., Kim .W., Kwak, Y.K., and Hong .S. **Shear Testing of Steel Fiber-Reinforced Lightweight Concrete Beams without Web Reinforcement.** ACI Structural Journal. 2011; 108(5): 553-561.
- 10- Eleonora .M. **Shear Capacity of Steel Fibre Reinforced Concrete Beams without Conventional Shear Reinforcement** .M.Sc. Thesis.Royal Institute of Technology (KTH). 2011.
- 11- Ayad .A .S., Khalil I. A., and Ali .F. H. **Mechanical Properties of Porcelinite Reinforced Concrete Beams.** IJCE. 2008; 10. March: pp 25.
- 12- Huang .C .H., Chen .L .H., Kang .Y. C.,Wu .C.H., and Yen.T. **Shear Behavior of Full Size Reinforced Lightweight Concrete Beam.** 2011.
- 13- Attaullah .SH., and Saeed .A. **Experimental Verification of Current Shear Design Equations for HSRC Beams.** Journal of Engineering & Technology, 2012; 31(3):409-420.
- 14- Joseph .R .J. **Behavior of Slender Beams without Stirrups: Effects of Load Distribution and Member Depth..** M.Sc. Thesis, The University of Texas at Austin,2015.
- 15- Abdoladel .Sh .**Shear in steel fiber reinforced concrete members without stirrups.** Ph.D Dissertation, The University of Alberta. 2012.

مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة

للأحمال الانفجارية

طالب الدراسات العليا: ايثار النعيمي كلية: الهندسة المدنية - جامعة: دمشق

الدكتورة المشرفة: ميرنا سعود

الملخص:

تتضمن الدراسة الحالية طريقة محاكاة بالعناصر المحدودة، أُجريت باستخدام برنامج (ANSYS14-AUTODYN) لدراسة تأثير الأحمال الانفجارية على الحواجز الخرسانية المسلحة. لقد تم أخذ نموذجين من الحواجز الخرسانية المسلحة الشائعة الاستخدام في العراق، النموذج الأول بأبعاد (ارتفاع 3000mm , عرض 1800mm , سمك 250mm) والنموذج الثاني بأبعاد (ارتفاع 4000mm , عرض 1000mm , سمك 300mm)، ثم فرضنا عرض ثاني لكل نموذج حيث تم فرض عرض 3600mm للحاجز بسمك 250mm وعرض 3000mm للحاجز بسمك 300mm . تم إجراء مقارنة بين حالتي الحاجز بالعرضين المذكورين أعلاه لكل نموذج باستخدام معلمات (Parameters)، وزن الشحنة المتفجرة من مادة (TNT) وعرض الحاجز الخرساني المسلح .

بشكل عام فإن النتائج أظهرت؛ إن مستوى الضرر للحاجز الخرساني يقل بنسبة 25% عندما يزداد عرض الحاجز. في حالة انفجار عبوة 50kg من مادة (TNT) فإن الزيادة في عرض الحاجز الخرساني مرتين للحاجز بسمك 250mm يؤدي إلى النقصان في الإزاحة القصوى بإتجاه جمل الانفجار بمقدار 1.3 مرة، بينما في حالة زيادة عرض الحاجز الخرساني ثلاث مرات للحاجز بسمك 300mm يؤدي إلى النقصان في الإزاحة القصوى بإتجاه جمل الانفجار بمقدار 2.4 مرة، في حالة انفجار عبوة 400kg من مادة (TNT) فإن الزيادة في عرض الحاجز الخرساني مرتين للحاجز بسمك 250mm يؤدي إلى النقصان في الإزاحة القصوى بإتجاه جمل الانفجار بمقدار 1.03 مرة، بينما في حالة

مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة للأحمال الانفجارية

زيادة عرض الحاجز الخرساني ثلاث مرات لحاجز بسبك 300mm يؤدي الى النقصان في الإزاحة القصوى باتجاه جمل الانفجار بمقدار 3.13 مرة.
نستنتج أيضاً من هذا البحث؛ إنه بزيادة وزن عبوة مادة (TNT) بمقدار 8مرات يؤدي الى زيادة في الضغط الأعظم للانفجار بمقدار 2.5 مرة للحواجز بعرض (1000,1800,3600)mm بينما يزداد الضغط الأعظم للانفجار بمقدار 3.5 مرة للحاجز بعرض 3000mm .

الكلمات المفتاحية : الحواجز الانفجارية، الضغط العارض، النبضة العارضة، الانفجار، الموجات الصدمية، الحاجز الخرساني، الجمل الانفجاري

Blast Resistance of Reinforced Concrete Barriers

ABSTRACT

In this study, a finite element simulation was conducted employing **ANSYS 14 – AUTODYN** software to study the effect of the blast loading on the reinforced concrete barrier. Two cases of barriers are taken from commonly used precast barriers in Iraq. Second width are assumed for every case, The comparison is conducted between every two barrier cases of different widths with same thickness of barriers using two parametric studies, **TNT** charge weight and the width of reinforced concrete barrier. Generally, the results showed that the damage level of the reinforced concrete barrier is decreased approximately **25 %** with increase the barrier width. For **50 kg** of **TNT** explosion, increasing the width of the barrier **2** times with thickness equal to **250 mm** influenced with decrease in maximum displacement **1.3** times, while when increasing the width of the barrier **3** times with thickness equal to **300 mm** influenced with decrease in maximum displacement **2.4** times. For **400 kg** of **TNT** explosion, increasing the width of the barrier **2** times with thickness equal to **250 mm** influenced with decrease in maximum displacement **1.03** times, while when increasing the width of the barrier **3** times with thickness equal to **300 mm** influenced with decrease in maximum displacement **3.13** times.

Also it is concluded that the increase in the **TNT** charge weight **8** times influenced with increase in maximum pressure **2.5** times for barrier widths (**1800, 3600** and **1000**) **mm** while for barrier width equal to **3000 mm** it is increased **3.5** times.

Keywords :blast barriers , incident pressure , incident impulse ,explosion, ,shock waves ,concrete wall , blast loading

1-مقدمة البحث:

تُستخدم الخرسانة على نحوٍ واسعٍ في البناء بالإضافة إلى كونها بُنية واقية بسبب ميزة امتصاصها الجيد للطاقة ضمن الضغوط المرتفعة، وقد استُخدمت الخرسانة أيضاً في العديد من أعمال البناء مثل الجدران، بسبب النوعية المميزة وسرعة الإنشاء والفعالية المتعلقة بالتكلفة والقوة[1]. تُقيّم العديد من الأبنية وخصوصاً الأبنية الحكومية بحسب توافقها مع المبادئ الأساسية الخاصة بالانفجارات، ومن هذه المبادئ ما قدمته اللجنة الأمنية بين الوكالات الخاصة بإدارة الخدمات العامة [6].

إن الحواجز الخرسانية المُسلّحة تُعتبر من أهم الطرق التي تحمي من الحمل الانفجاري المتولّد عن الانفجار، وقد قدّمت المعايير الموحدة للمنشآت (UFC)[10] تعليمات وتوجيهات لتصميم الخرسانة المُسلّحة المُعرّضة للحمل الانفجاري القريب من الانفجار، للطرق المُقترحة لحماية بعض المساوي مثل تصدّع الغطاء الخرساني أثناء الحمل الانفجاري والثخانة(السمائة) الكبيرة اللازمة للحاجز لحمايتها من الحمل الانفجاري [7]. وبالنتيجة فإن الانفجارات تُسبب حملاً ديناميكياً شديداً على البُنيات الإنشائية، حيث أن الضغط المرتفع يصل إلى هذه البُنيات بواسطة الانتقال عبر الجو المُحيط. يوجد مؤشّرين رئيسيين لتأثير الحمل الديناميكي: الحمل الانفجاري والمسافة الفاصلة بين البُنية الإنشائية ومصدر الانفجار[8]. يُظهر الشكل(1) طريقة الحماية الأكثر شيوعاً واستخداماً في العراق والعديد من الدول الأخرى وذلك باستخدام الحاجز الخرساني المُسلّح.

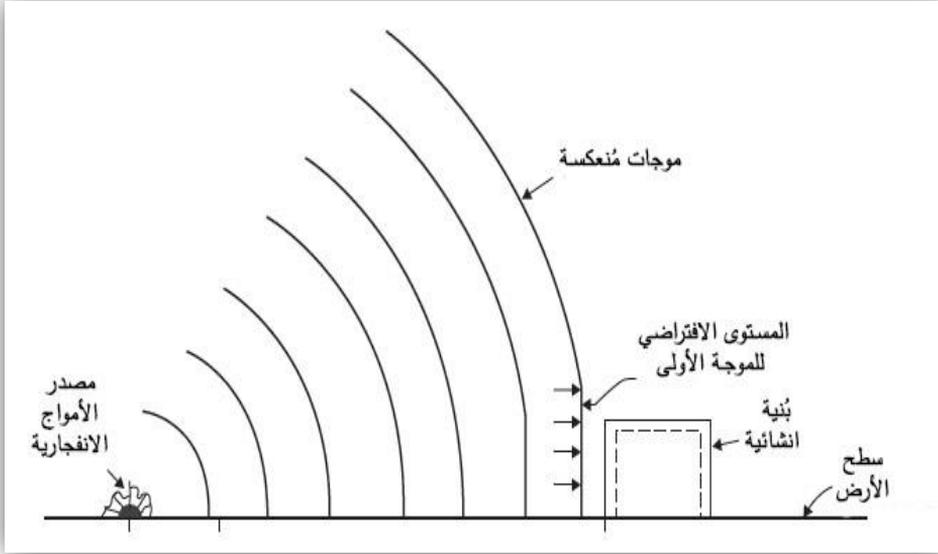


الشكل(1):الحاجز الخرساني المُسلّح[2].

1-1-الظواهر الانفجارية:

التأثير الانفجاري عبارة عن اضطراب في الضغط ناتج عن تحرير مفاجئ للطاقة. وغالباً ما يتجه تفكير الناس عند سماعهم كلمة التأثير الانفجاري أنه مرتبط بالتفجيرات مثل تفجير شحنة ناسفة مثلاً، لكن في الواقع هناك العديد من المصادر الانفجارية الأخرى والتي من المحتمل أن تسبب الأذى، مثلاً المواد الكيميائية التي قد تتعرض لتفكك سريع ضمن شروط محددة. إن التأثير الانفجاري لا ينتج دائماً عن الإحتراق: فهذه التأثيرات يمكن تكون ناتجة عن أيّ تحرير سريع للطاقة يوّلد موجة انفجارية، مثل حاضن للضغط الانفجاري والذي يتوسّع منه الهواء المضغوط، أو انتقال طوريّ سريع من حالة السائل إلى الغاز. وتنشأ الأحمال الناتجة عن التأثير الانفجاري بواسطة التوسّع السريع للمادة شديدة الطاقة، مما يؤدي إلى التسبب بإضطراب بالضغط أو موجة انفجارية تتوسّع بشكلٍ شعاعيّ مُبتعدةً عن مصدر الانفجار، كما هو واضح في الشكل(2). إن الضغط الانفجاري عبارة عن فرط في الضغط، لأنه مرتبطٌ بالشروط الجويةّ المحيطة، بدلاً من كونه مرتبطٌ بالضغط المُطلق.

فالموجات الصدمية هي موجات انفجارية عالية الضغط تنتقل عبر الهواء(أو أيّ وسطٍ آخر) بسرعة تفوق سرعة الصوت، وفي معظم الحالات تمتلك الموجات الصدمية قدرة أكبر على إحداث أضرار مقارنة مع موجات الضغط، وعندما تتحرك الموجة الانفجارية بعيداً عن المصدر؛ فإن شدة الضغط تتناقص، وتزيد مدة الحمل الانفجاري. إن التوسّع الشديد عند مركز الانفجار يتسبب بإحداث خواء (تفريغ هوائي) في منطقة المصدر وانعكاس لحركة المادة الغازية، ومن ثمّ تتوسّع منطقة الضغط السلبية هذه نحو الخارج وتسبب ضغطاً سلبياً (أقل من الضغط الجويّ المحيط)، وهذا بدوره يجذب الطور الإيجابي. إن ضغط الطور السلبية بشكلٍ عام أقل بالمقدار (القيمة المطلقة) ولكنه أطول في المدة من الطور الإيجابي، ويمكن بشكلٍ عام، أن نقول بأن الأحمال الانفجارية للمرحلة الإيجابية ذات نتائج أكبر من أحمال المرحلة السلبية، وغالباً ما يتم تجاهل الأحمال السلبية [24].



الشكل (2): انتشار الموجة الانفجارية [24].

2- مشكلة البحث:

نحتاج إلى حماية الأبنية أو المنشآت الهامة من الضرر الناتج عن التفجيرات لذلك من المهم دراسة تأثير الأحمال الانفجارية على الحواجز الخرسانية المسلحة المستخدمة لهذا الغرض.

3- الغاية:

مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة للأحمال الانفجارية.

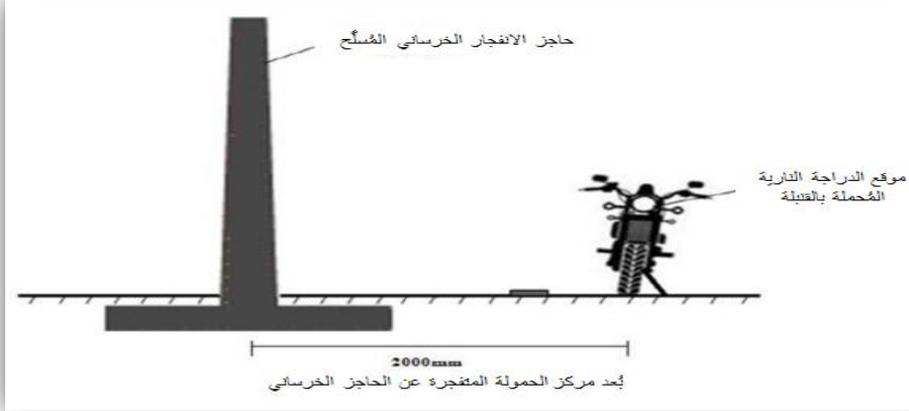
4- الهدف الرئيسي للبحث:

دراسة تأثير الجمل الانفجاري على الحواجز الخرسانية المسلحة.

5- الدراسات السابقة:

لقد عمل كل من (M.Alias و R.Norhidayu) وآخرون عام 2014 على محاكاة التأثير الانفجاري على حاجز الانفجار الخرساني المسلح المعرض لجمل انفجاري هوائي مع استخدام برنامج (ANSYS AUTODYN) [1]، وفي بحثهما قاما بإجراء

الدراسة على بُعد 2m عن الحاجز الخرساني، بكمية متفاوتة من الـ TNT تراوحت من 5kg إلى 1500kg وذلك بدءاً من قنبلة يدوية وحتى عبوة ناسفة في سيارة [17]، ويُظهر الشكل (3) موقع الدراجة النارية عن الحاجز الانفجاري.

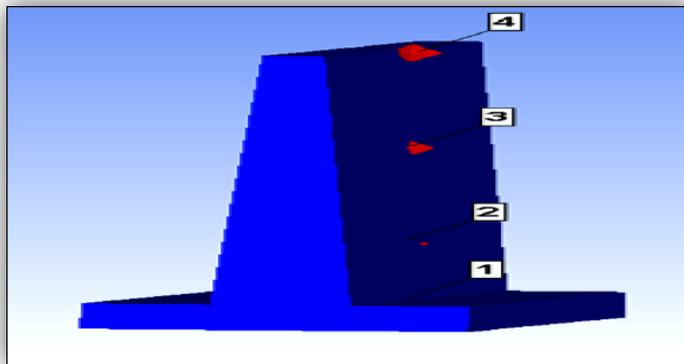


الشكل (3): توضيح لموقع الدراجة النارية بالنسبة للحاجز الانفجاري [1].

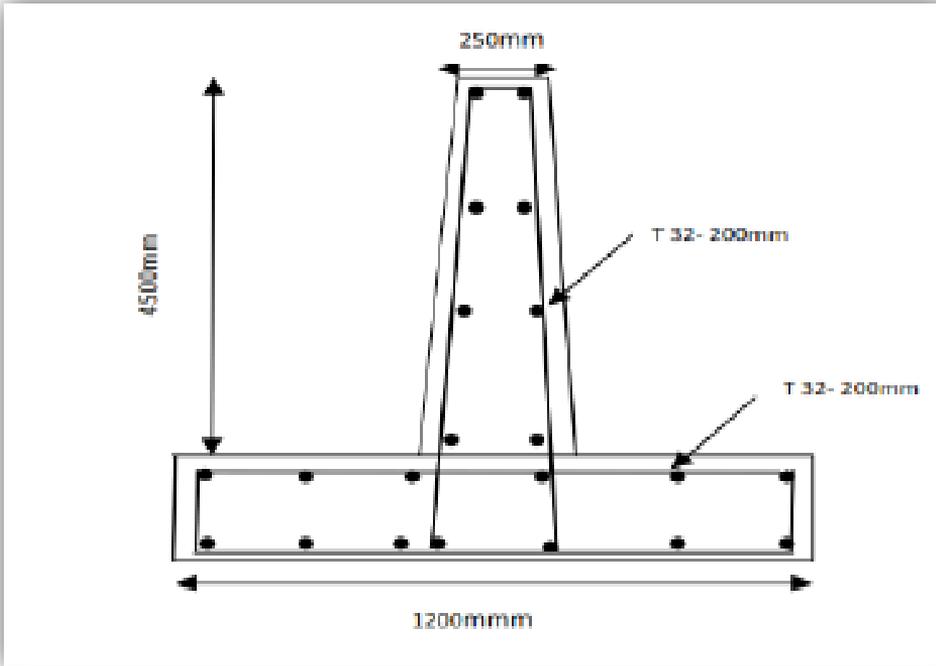
وقد تمت دراسة المدى الانفجاري للقنبلة على أساس قدرة تحميل المركبة وهذا واضح في الجدول (1). ويظهر في الشكل (4) توزُّع المقاييس الأربعة التي وُضعت على مسافات متساوية وهي 1.5m.

الجدول (1): حجم القنبلة [1].

القنبلة	وزن المادة المتفجرة (kg)
قنبلة تُحمل باليد	5
تُحمل على دراجة نارية	50
تُحمل في سيارة	400
تُحمل في شاحنة	1500



الشكل (4): مواقع المقاييس



الشكل (5): التفاصيل الهندسية للحاجز الانفجاري الخرساني المسلح [1].

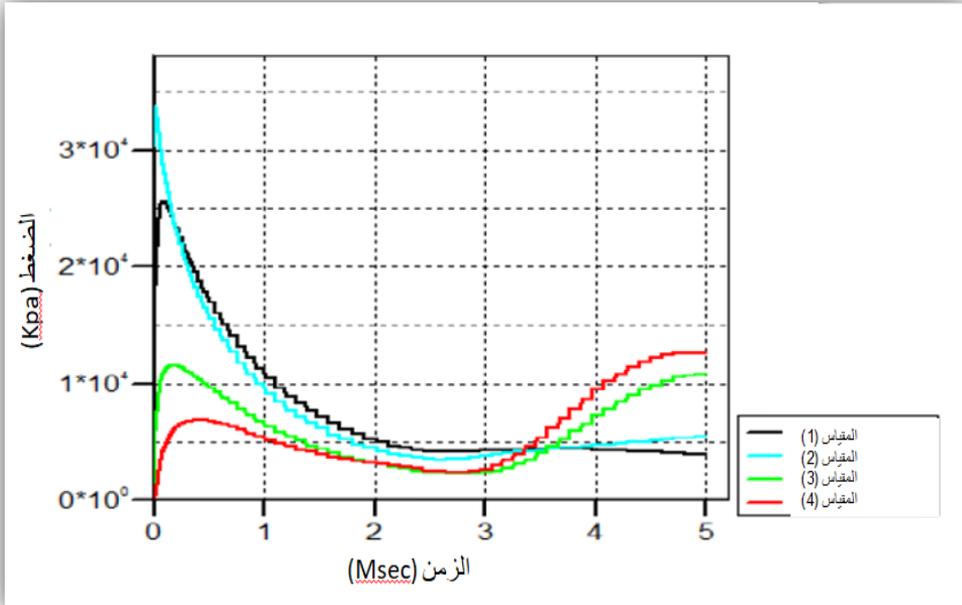
وكل جزء من البنية الخرسانية المسلحة قد تمت دراسته بشكل مفصل وفق نموذج تكويني مناسب، حيث كانت كثافات الحاجز الخرساني المسلح (الخرسانة: 2750 kg/m^3 ، الفولاذ: 7900 kg/m^3 ، الشحنة المتفجرة من مادة TNT: 1630 kg/m^3 ،

الهواء: 1.225 kg/m^3). وقد كانت مُعاملات القص التي سُجّلت للخرسانة والفولاذ هي 16700 و 80000 MPa على التوالي .

نتائج البحث:

1- من أجل شحنة متفجرة بوزن 50kg:

بالنسبة لشحنة متفجرة بوزن 50kg، فإن الضغط الأعظمي عند المقياس 2 يساوي 33.8 MPa في الزمن 0.06msec كما يبين الشكل (6).

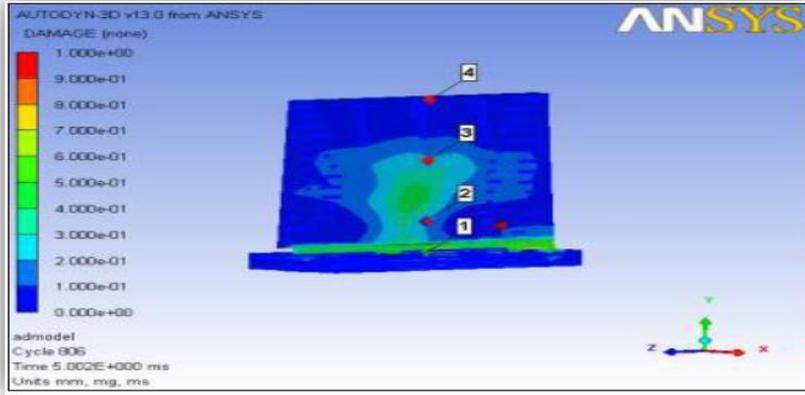


الشكل (6): مخطط بياني ضغط-زمن لشحنة متفجرة بوزن 50kg على 2m

عن حاجز في هجوم بدراجة نارية

مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة للأحمال الانفجارية

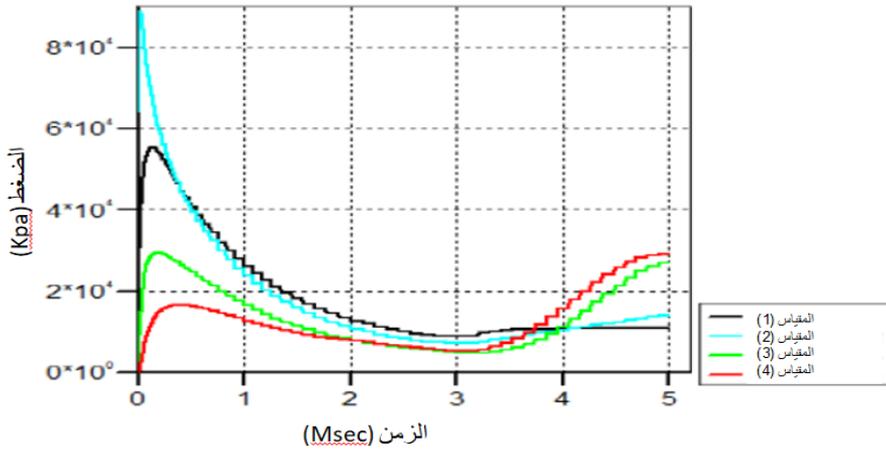
يوضح الشكل (7) نتائج المحاكاة للأضرار التي لحقت بالحاجز الخرساني، حيث وجد إن ضغط الانفجار تسبب فقط في أضرار طفيفة في منتصف و أسفل الحاجز، ومع ذلك الحاجز بقي سليماً.



الشكل (7): نتائج التضرر لهجوم بدرجاة نارية على الحاجز.

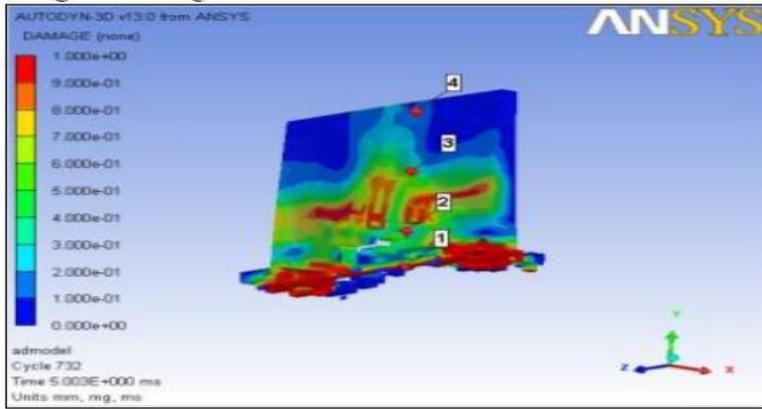
2- من أجل شحنة متفجرة بوزن 400kg:

وبالنسبة لشحنة TNT بوزن 400kg فإن الضغط الأعظمي عند المقياس 2 يساوي 89 MPa في الزمن 0.025 msec كما مبين في الشكل (8).



الشكل(8): مخطط بياني ضغط زمن لشحنة متفجرة بوزن 400kg على بُعد 2m عن الحاجز بهجوم بسيارة مُفخخة.

يوضح الشكل(9)الأضرار التي لحقت بمركز وأسفل الحاجز حيث تسبب ارتفاع الضغط الناتج عن التفجير في إنهيار أجزاء من الجدار ، لذلك فإن المباني المحمية بمثل هذا الحاجز تتعرض لأضرار جسيمة، بالإضافة إلى ذلك فقد يتسبب الحطام المتطاير نتيجة الانفجار في إصابة الأشخاص في المنطقة المحيطة.

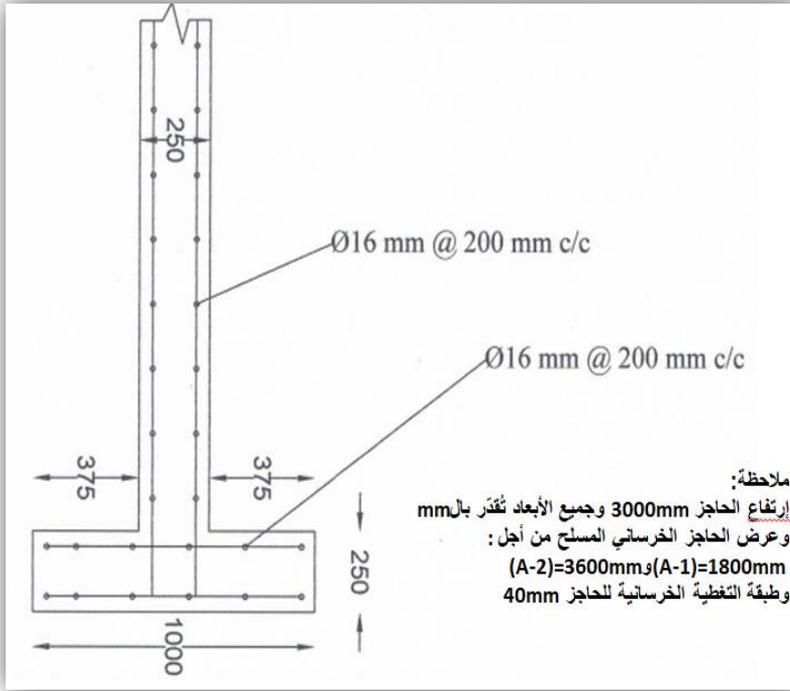


الشكل(9): نتائج الأضرار للهجوم بشحنة ناسفة في سيارة على حاجز انفجاري.

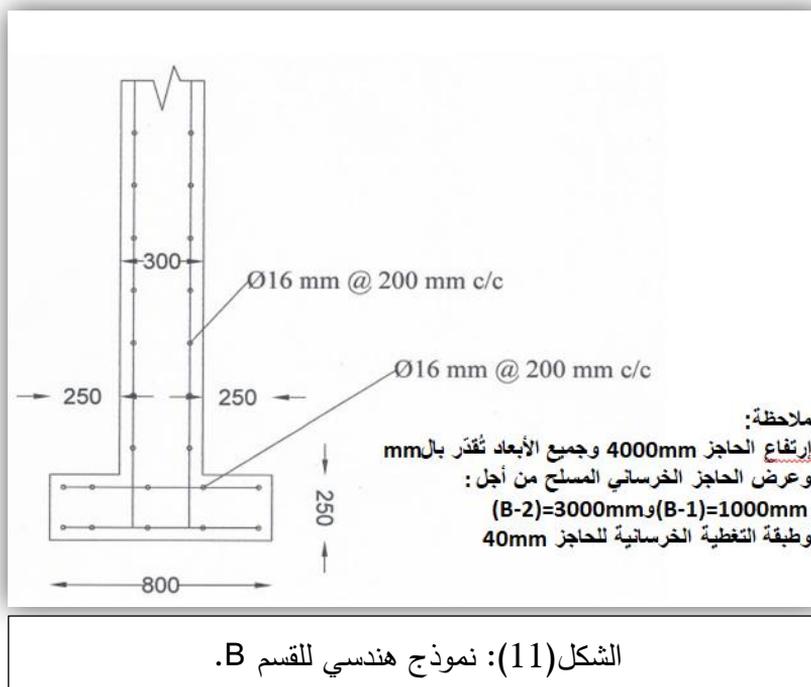
6-الدراسة التحليلية:

6-1-خصائص النماذج المدروسة:

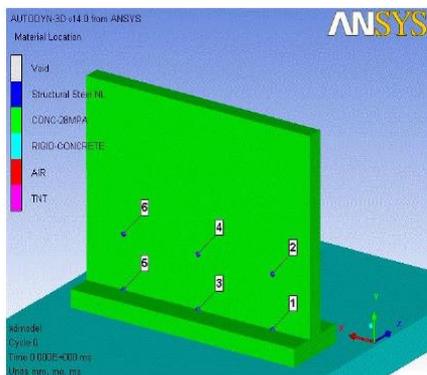
يوجد قسمين للحاجز (A و B) وكل قسم له عَرْضَيْن مختلفَيْن، حيث عرض (A-1) = 1800 mm و (A-2) = 3600 mm و (B-1) = 1000 mm و (B-2) = 3000 mm كما هو موضَّح في الشكلين (10) و(11).



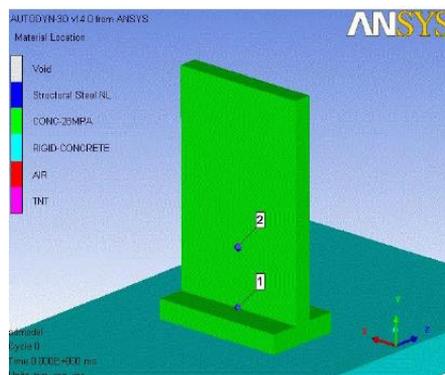
الشكل (10): نموذج هندسي للقسم A.



يُظهر الشكل (12) و(13) تفاصيل نقاط المقاييس التي وضعت على الوجه الأمامي للحاجز الخرساني المُسلح للقسم A و B.

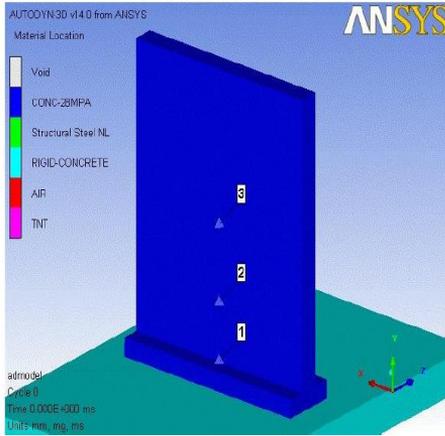


A-2 القسم (b)

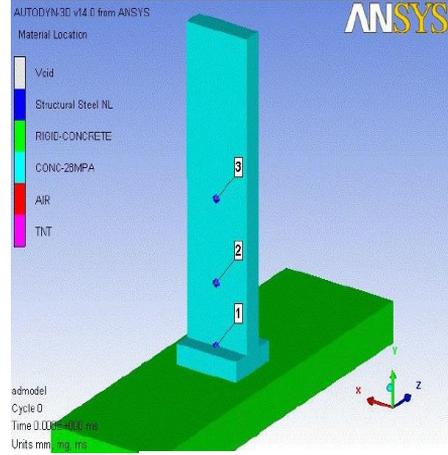


A-1 القسم (a)

الشكل (12): تفاصيل نقاط القياس للقسم A.



القسم (b) B-2



القسم (a) B-1

الشكل (13): تفاصيل نقاط القياس للقسم B.

إن المسافة المفترضة بين الوجه الأمامي للحاجز الخرساني المسلح للحالات (A-1) و (A-2) و (B-1) و (B-2) ومركز شحنة الـ TNT تساوي 2500mm، وارتفاع شحنة الـ TNT عن سطح الأرض تساوي 1000mm.

6-2- نتائج التحليل:

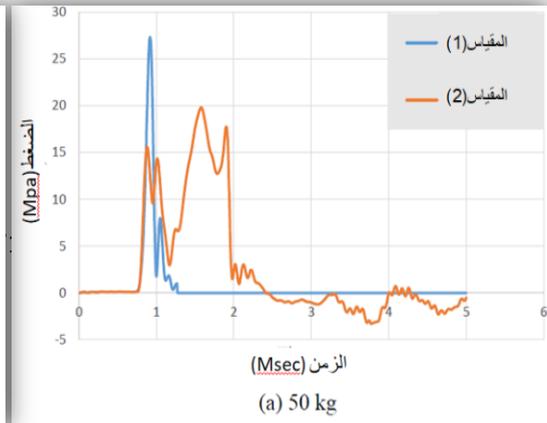
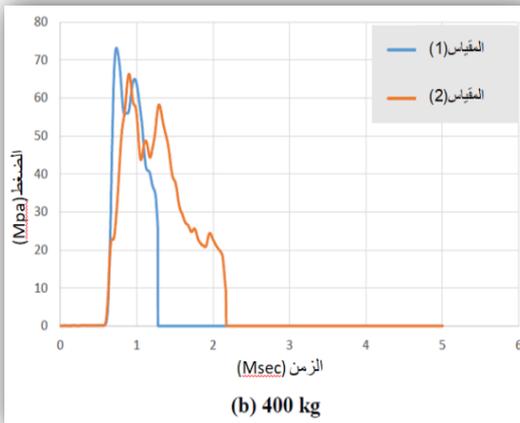
إن النتائج في هذه الدراسة التي نتجت باستخدام برنامج ANSYS 14 تركز على ثلاث ميزات (الضغط والإنزياح ومستوى الضرر) للحاجز الخرساني المسلح وهذا سيوضح بالتفصيل لاحقاً.

وقد تم توضيح إستجابة الضغط الأعظمي وقرءات الإنزياح الأعظمي في الجدول (2) من أجل الحاجز الخرساني المسلح وهي تُعبّر عن نقاط القياس التي وُضعت على الوجه الأمامي من الحاجز الخرساني المسلح.

الجدول(2): مقارنة الضغط الأعظمي والانزياح بين الحالات المدروسة.

ثخانة الحاجز = 300mm		ثخانة الحاجز = 250mm		ارتفاع الحاجز = 4000mm		ارتفاع الحاجز = 3000mm		المؤشرات
العرض 3000mm	العرض 1000mm	العرض 3600mm	العرض 1800mm	العرض 3600mm	العرض 1800mm	العرض 3600mm	العرض 1800mm	
الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 1 أثناء الانزياح الأعظمي عند نقطة القياس رقم 2	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 1 أثناء الانزياح الأعظمي عند نقطة القياس رقم 2	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 3 أثناء الانزياح الأعظمي عند المقياس رقم 4	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 1 أثناء الانزياح الأعظمي عند نقطة القياس رقم 2	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 3 أثناء الانزياح الأعظمي عند المقياس رقم 4	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 1 أثناء الانزياح الأعظمي عند نقطة القياس رقم 2	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 3 أثناء الانزياح الأعظمي عند المقياس رقم 4	الضغط الأعظمي عند نقطة القياس رقم 1 أثناء الانزياح الأعظمي عند نقطة القياس رقم 2	القيم الأعظمية عند نقاط القياس
400	50	400	50	400	50	400	50	وزن شحنة الـ TNT (kg)
65.955	18.476	226.35	80.177	67.918	27.33	73.154	27.327	الضغط الأعظمي، mpa
245.97	45.859	773.46	109.88	390.66	61.811	402.62	81.107	الانزياح الأعظمي، mm

عندما كان عرض الحاجز الخرساني المسلح يساوي 1800mm، كان الضغط الأعظمي يساوي ما بين (27.327 و 73.154 MPa لشحنة 50kg و 400kg TNT

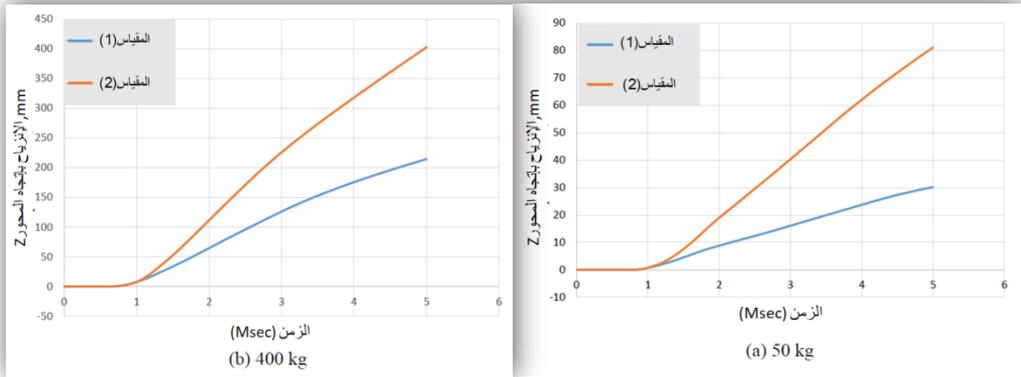


مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة للأحمال الانفجارية

على التوالي والتي سُجِّلت عند المقياس رقم 1 في حالتَي أوزان الشحنة كما هو واضح في الشكل (14).

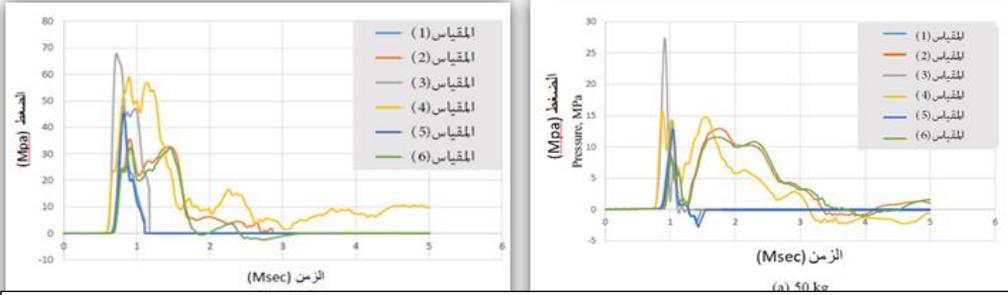
الشكل (14): تسجيل بياني ضغط-زمن للنموذج (A-1) المُعرَّض لشحنة متفجرة من الـ TNT 50kg و 400kg.

أما بالنسبة للإنزياح؛ فقد سُجِّل الانزياح الأعظمي 81.107mm و 402.620 لشحنة TNT 50kg و 400kg على التوالي عند المقياس رقم 2 حيث أن المقياس رقم 2 قد وُضِع عند نفس ارتفاع شحنات الـ TNT كما هو واضح في



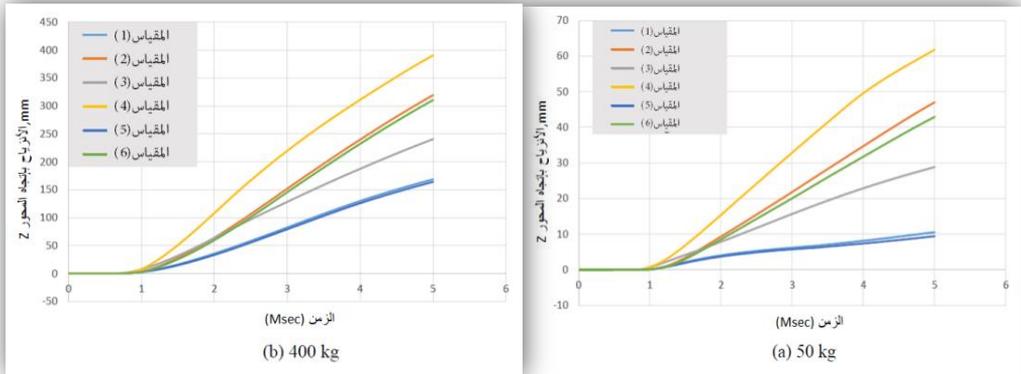
الشكل (15): تسجيل بياني انزياح-زمن للنموذج A-1 المُعرَّض لانفجار شحنة TNT 50kg و 400kg.

في حالة العرض 3600mm ، للحاجز الخرساني المسلَّح، كان الضغط الأعظمي يساوي ما بين 27.330 و 67.918 MPa لشحنتي الـ TNT 50kg و 400kg على التوالي وذلك حسبما سُجِّل في المقياس رقم 3 في حالتَي وزني الشحنة كما هو واضح في الشكل (16).



الشكل (16): تسجيل بياني ضغط - زمن للنموذج (A-2) المُعرض لتفجير TNT بأوزان شحنة 50kg و 400kg.

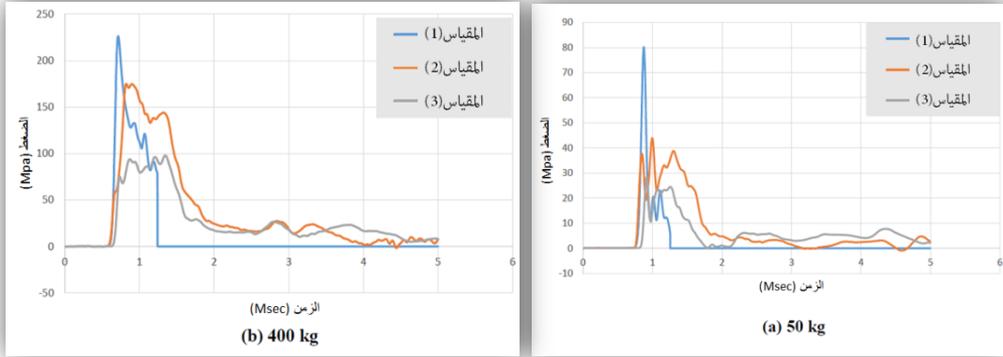
وبالنسبة للانزياح الأعظمي كان (61.811 و 390.660)mm لشحنة الـ TNT و 50kg و 400kg على التوالي قد سُجّلت عند المقياس رقم 4 حيث كان المقياس عند نفس ارتفاع شحنتي الـ TNT كما هو ظاهرٌ في الشكل (17).



الشكل (17): تسجيل بياني انزياح- زمن للنموذج A-2 المُعرض لانفجار TNT بوزن 50kg و 400kg.

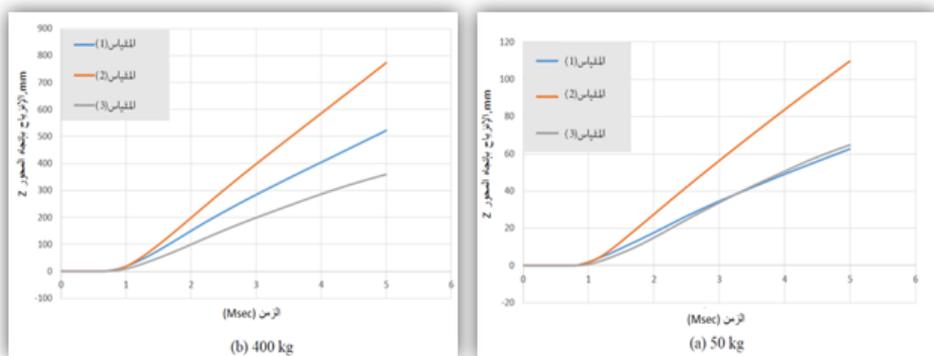
مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة للأحمال الانفجارية

عندما كان العرض 1000mm للحاجز الخرساني المسلح؛ كان الضغط الأعظمي يساوي (80.177 و 226.350) MPa لشحنة TNT 50kg و 400kg على التوالي والتي سُجِّلت عند المقياس رقم 1 في حالتَي وزنيّ الشحنة كما هو واضح في



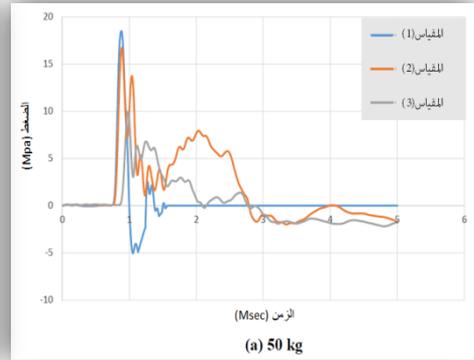
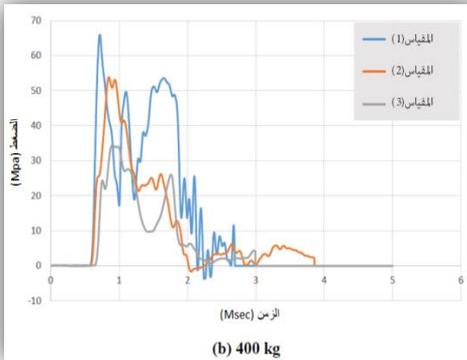
الشكل (18): تسجيل بياني ضغط-زمن لنموذج B-1 المُعرَّض لشحنة TNT 50kg و 400kg.

وقيمة الإنزياح الأعظمي (109.88 و 773.46) mm لشحنتي الـ 50kg TNT و 400kg على التوالي قد سُجِّل عند المقياس رقم 2 حيث يوجد المقياس رقم 2 على نفس ارتفاع شحنتي الـ TNT كما هو واضح في الشكل (19).



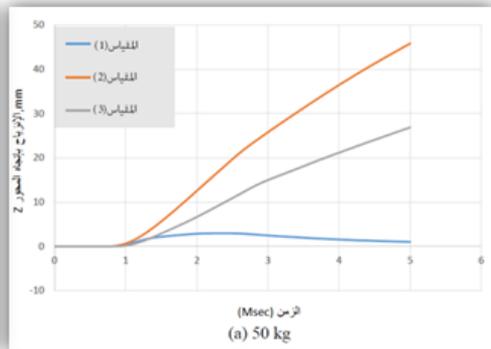
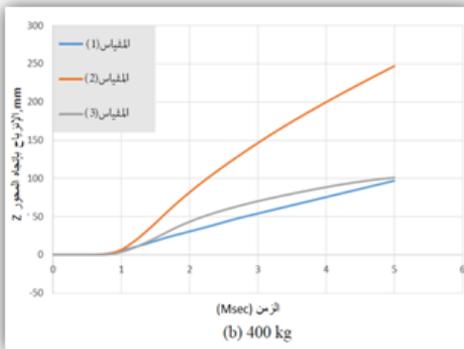
الشكل (19): تسجيل بياني انزياح-زمن لنموذج (B-1) المُعرَّض لانفجار TNT بوزن 50kg و 400kg.

وعندما كان العرض 3000mm للحاجز الخرساني المُسلَّح، كان الضغط الأعظمي مساوياً لـ 18.476 و 65.955 MPa لشحنتي الـ 50kg و 400kg على التوالي والتي سُجِّلت عند المقياس رقم 1 في حالتَي وزني الشحنة المتفجرة كما هو واضح في الشكل (20).



الشكل (20): تسجيل بياني ضغط - زمن للنموذج B-2 المعرض لشحنتي انفجار TNT بأوزان 50kg و 400kg.

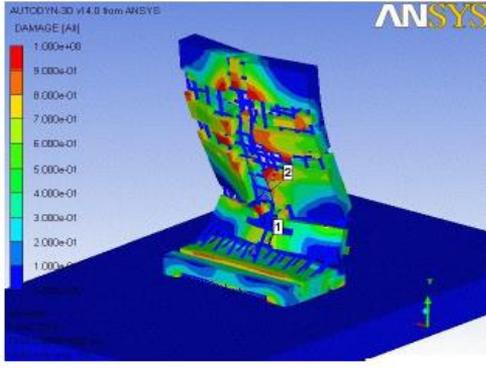
وبالنسبة للانزياح فإن الانزياح الأعظمي 45.859 و 246.970 mm لوزن شحنة الـ 50kg و 400kg قد سُجِّل عند المقياس رقم 2 حيث كان المقياس رقم 1 عند نفس ارتفاع شحنتي الـ TNT كما هو واضح في الشكل (21).



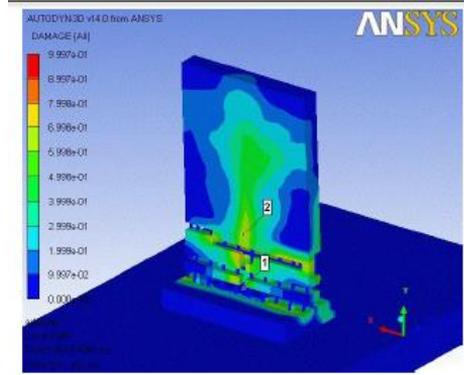
مقاومة الحواجز الخرسانية المسلحة للأحمال الانفجارية

الشكل (21): تسجيل بياني انزياح-زمن لنموذج (B-2) المُعرَّض لانفجار TNT بوزن 400kg و 50kg.

إن مستوى التضرر الذي نشأ في هذا التحليل موضَّح في درجة فشل الحواجز الخرسانية المسلحة لأربع حالات من الحواجز وكل ذلك موضَّح بشكل مُفصَّل في الأشكال (22) و (23) و (24) و (25). وتدل القيمة صفر إلى التضرر الصفري في حين أن القيمة 1 تدل على مستوى التضرر الأعظمي.

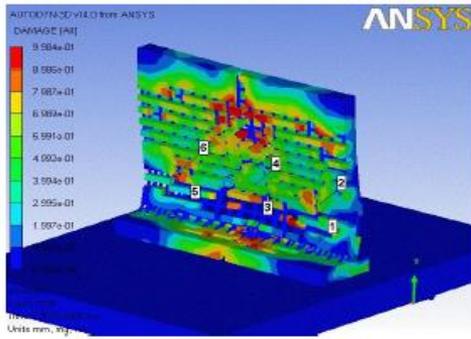


(b) 400 kg

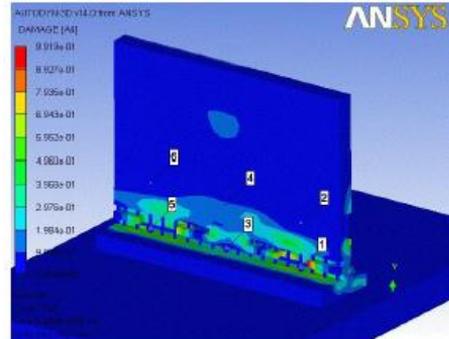


(a) 50 kg

الشكل (22): مستوى التضرر للنموذج (A-1) المُعرَّض لانفجار الـ TNT.

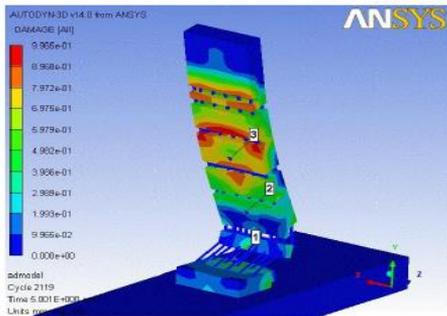


(b) 400 kg

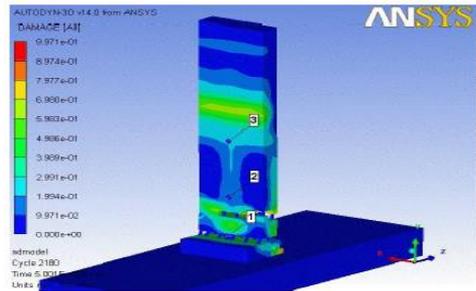


(a) 50 kg

الشكل (23): مستوى التضرر للنموذج (A-2) المعرض لانفجار الـ TNT.

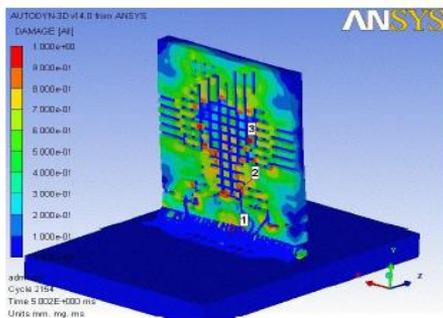


(b) 400 kg

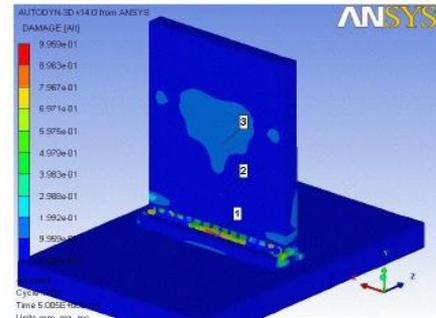


(a) 50 kg

الشكل (24): مستوى التضرر للنموذج (B-1) المعرض لانفجار الـ TNT.



(b) 400 kg

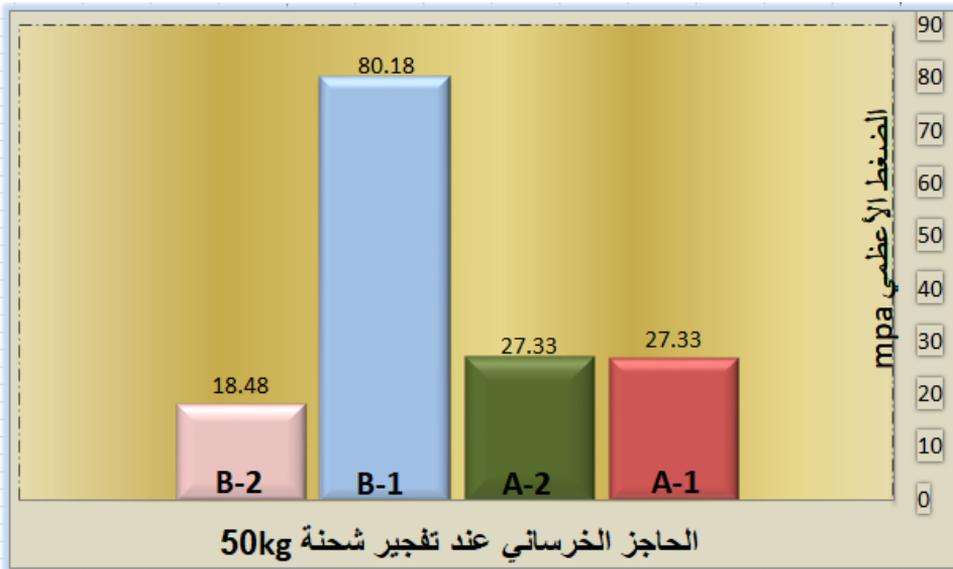


(a) 50 kg

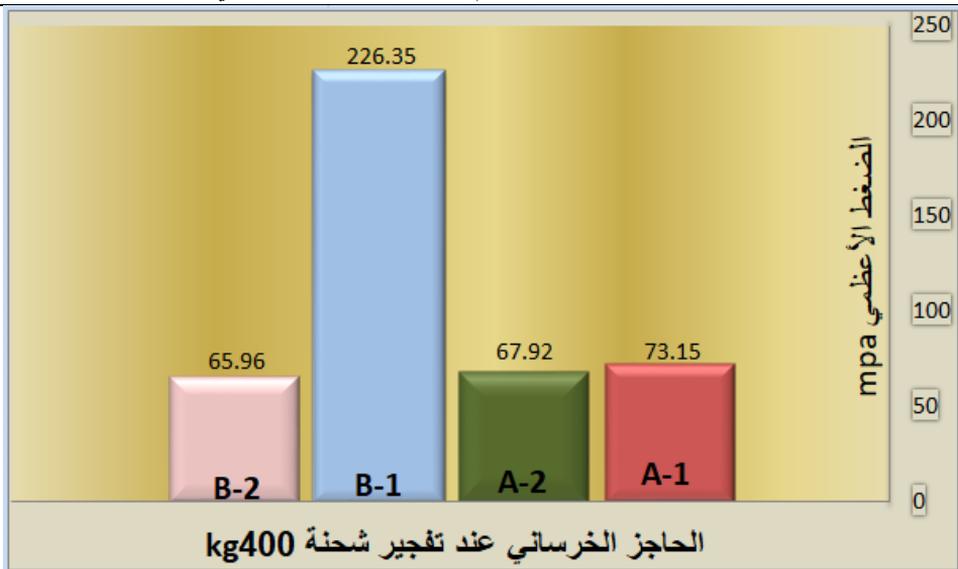
الشكل(25): مستوى التضرر للنموذج (B-2) المُعرض لانفجار الـ TNT.

المقارنة بين الحالات المدروسة :

يبين الشكلين (26)(27) مقارنة الضغط الأعظمي للنماذج المدروسة عند تفجير شحنة 50kg و400kg .



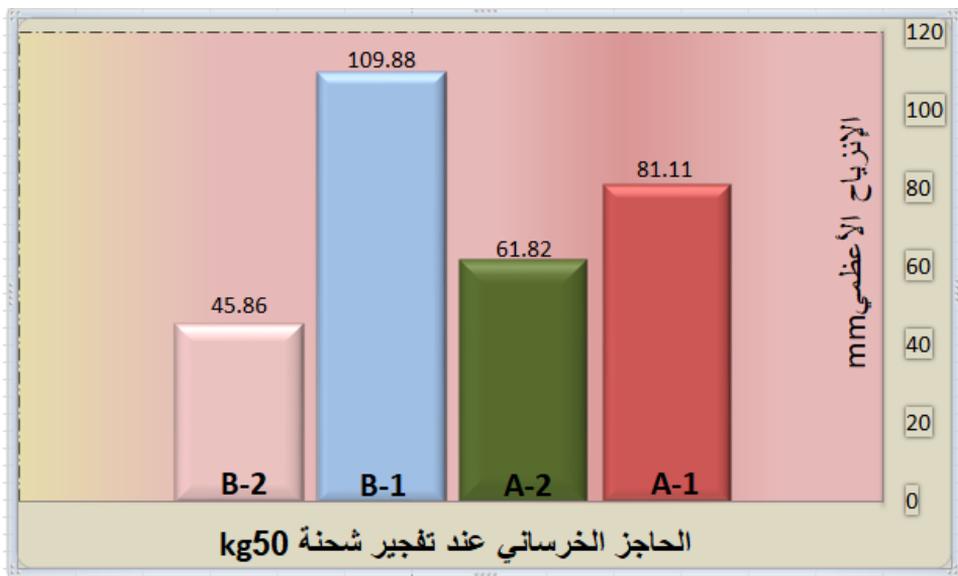
الشكل(26): قيم الضغط الأعظمي للحواجز (B-2), (B-1), (A-2), (A-1) عند تفجير شحنة 50kg.



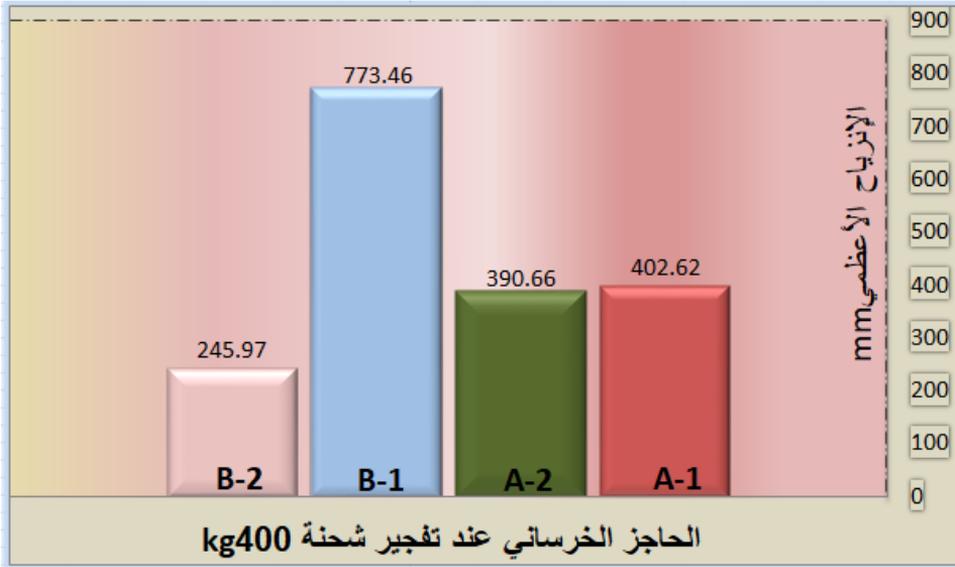
الشكل (27): قيم الضغط الأعظمي للحواجز (B-2), (B-1), (A-2), (A-1) عند تفجير شحنة 400kg.

وبيين الشكلين (28) (29) مقارنة الإنزياح الأعظمي للنماذج المدروسة عند

تفجير شحنة 50kg و 400kg.



الشكل (28): قيم الإنزياح الأعظمي للحواجز (B-2), (B-1), (A-2), (A-1) عند تفجير شحنة 50kg.



الشكل (29): قيم الانزياح الأعظمي للحواجز (A-1), (A-2), (B-1), (B-2) عند تفجير شحنة 400kg.

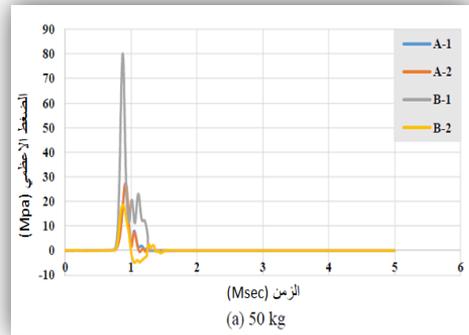
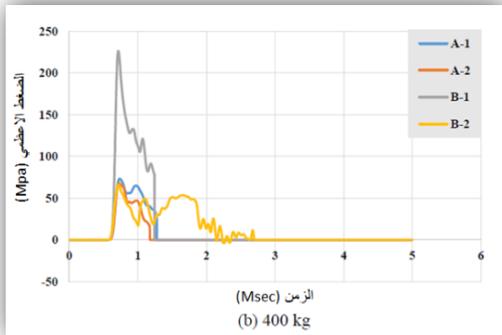
7- المناقشة:

- من النتائج التي حصلنا عليها من برنامج (ANSYS 14)، نلاحظ عدداً من النقاط التي يمكن أن نناقشها لتوضيح ما يلي:
- بالنسبة لحالات الحاجز الخرساني المسلح التي سُجّلت في هذه الدراسة فقد لوحظ بأنه عند زيادة قيمة شحنة الـ TNT ثمانية أضعاف فقد زان الضغط الأعظمي 2.5 ضعف لعرض الحواجز (1800 و 3600 و 1000) mm ، في حين أنه لُوِحِظ مع عرض الحاجز المساوي لـ 3000mm زيادة في الضغط الأعظمي 3.5 ضعف.
 - عند استخدام شحنة متفجرة من الـ TNT بوزن 50kg:
 - فإنه بالنسبة لثخانة (سماكة) الحاجز التي تساوي 250mm ، فإن زيادة عرض الحاجز ضعفين قد أدى لتناقص الانزياح الأعظمي بمقدار 1.3 ضعف. وبالنسبة لثخانة الحاجز

300mm، فإن زيادة عرض الحاجز 3 أضعاف قد أدى لتناقص الانزياح الأعظمي 2.4 ضعفاً.

▪ عند استخدام شحنة TNT متفجرة بوزن 400kg:
بالنسبة لثخانة حاجز تساوي 250mm ، فقد أدى زيادة عرض الحاجز ضعفين إلى تناقص الانزياح الأعظمي بـ 1.03 ضعف.
وبالنسبة لثخانة حاجز تساوي 300mm ، فقد أدى زيادة عرض الحاجز 3 أضعاف إلى تناقص الانزياح الأعظمي بمقدار 3.13 ضعف.

▪ عند ازدياد قيمة شحنة الـ TNT 8 أضعاف:
للحاجز بعرض 1800mm ؛ أزداد الانزياح الأعظمي بمقدار 5 أضعاف.
والحاجز بعرض 3600 mm ؛ أزداد الانزياح الأعظمي بمقدار 6.3 ضعف.
والحاجز بعرض 1000 mm ؛ أزداد الانزياح الأعظمي 7 أضعاف.
والحاجز بعرض 3000 mm ، فإن الانزياح الأعظمي قد تزايد بمقدار 5.4 ضعف.
▪ إن مستوى التضرر للحاجز الخرساني المُسلح عند ارتفاع شحنة TNT كما يلي:
بالنسبة لثخانة الحاجز التي تساوي 250mm ، فإن زيادة عرض الحاجز الخرساني المُسلح بمقدار 2 ضعف قد أدى إلى تناقص مستوى الضرر بمقدار 40%.
وبالنسبة لثخانة الحاجز التي تساوي 300mm، فإن زيادة عرض الحاجز الخرساني المُسلح 3 أضعاف قد أدى إلى تناقص مستوى التضرر بمقدار 20% لشحنة TNT ذات وزن 50kg ، في حين أن شحنة الـ TNT ذات وزن الـ 400kg قد زادت مستوى التضرر بمقدار 70%.



8-الاستنتاجات:

لقد كان الهدف من هذه الدراسة تقييم سلوك الحواجز الخرسانية المُسلَّحة المُعرَّضة لِجَمَلِ انفجاري ناتج عن انفجار شحنة الـ TNT باستخدام برنامج (ANSYS 14) . ومن نتائج التحليل توصلنا للاستنتاجات التالية:

1- تبين بأن الضغط الانفجاري المؤثر على الوجه الأمامي للحاجز قد زاد مع تزايد وزن الشحنة المُتفجرة حيث لُوَظَ متوسط زيادة بمقدار ثلاثة أضعاف في ضغط الانفجار عندما زاد وزن الشحنة المتفجرة ثمانية أضعاف.

2- أن الزيادة في عرض الحاجز الخرساني المُسلَّح تؤدي إلى تناقص في الضغط الانفجاري كما سنوضح لاحقاً:

بالنسبة للحاجز ذو ثخانة تساوي 250mm، لُوَظَ بأن الضغط الأعظمي عند تفجير 50kg من شحنة الـ TNT لا يتغير بزيادة عرض الحاجز (يبقى بنفس القيمة)، في حين أنه مع شحنة متفجرة بوزن 400kg من الـ TNT، فقد لُوَظَ انخفاض بنسبة 7% في قيمة الضغط الانفجاري.

وبالنسبة للحاجز ذو ثخانة تساوي 300mm عند استخدام شحنة TNT بوزن 50kg ، فقد لوحظ تناقص بمقدار 77% في الضغط الانفجاري، ولكن عند استخدام شحنة TNT بوزن 400kg لوحظ تناقص بمقدار 70% في الضغط الانفجاري.

3- يشير التسجيل البياني انزياح -زمن إلى مظهر الانزياح الأعظمي في نقطة على الحاجز على نفس ارتفاع شحنة الـ TNT المتفجرة.

4- يتناقص الانزياح الأعظمي للحاجز الخرساني المُسلَّح مع الزيادة في عرض الحاجز، فالنسبة لثخانة الحاجز التي تساوي 250mm، فقد كان هناك تناقص بنسبة 24%(بالنسبة للانزياح السابق) عند استخدام شحنة TNT بوزن 50kg ، بينما كان هناك تناقص بنسبة 3% عند استخدام شحنة TNT بوزن 400kg.

وبالنسبة للحاجز ذو ثخانة تساوي 300mm كان هناك تناقص بنسبة 58% عند استخدام شحنة TNT بوزن 50kg بينما كان هناك تناقص بنسبة 68% عند استعمال شحنة TNT بوزن 400kg.

5- يزداد الانزياح الأعظمي للحاجز الخرساني المسلح مع ازدياد وزن شحنة TNT ؛ يزداد الإنزياح الاعظمي 5 أضعاف عند استخدام عرض حاجز يساوي 1800mm ، وحوالي 6.2mm عند استخدام عرض حاجز يساوي 3600mm ، و 7 مرات عند استخدام عرض حاجز يساوي 1000mm ، وحوالي 5.4mm عند استخدام عرض حاجز يساوي 3000mm .

6- إن الزيادة في عرض الحاجز الخرساني المسلح يؤدي إلى تناقص في مستوى تضرر الحاجز

9-التوصيات:

نقترح التوصيات التالية لأبحاث مستقبلية:

- 1- دراسة تأثير موقع شحنة ال TNT المتفجرة (من حيث بعدها عن الحاجز) على استجابة الحاجز الخرساني المسلح الناتجة عن حمل الانفجاري.
- 2- إن سلوك الحاجز الخرساني المسلح المثبت إلى الأرض يمكن أن يخضع للدراسة مستقبلاً.
- 3- دراسة تأثير ثخانة الحاجز الخرساني المسلح على مستوى التضرر للحاجز عندما يتعرض للحمل الانفجاري.

- 1– Mohammed Alias Yusof, Rafika Norhidayu Rosdi, Norazman Mohamad Nor, Ariffin Ismail, Mohammad Azani Yahya, Ng Choy Peng (2014). "SIMULATION OF REINFORCED CONCRETE BLAST WALL SUBJECTED TO AIR BLAST LOADING" Journal Asian Scientific Research, 4(9):522–533.
- 2– Rose, T.A., Smith, P.D. and Mays, G.C. (1995). " The effectiveness of walls designed for the protection of structures against air blast from high explosives." Proceedings of the institution of civil engineers, structures & building 110 .pp.78–85.
- 3– Rose, T.A., Smith, P.D. and Mays, G.C (1997). "Design charts relating to protection of structures against air blast from high explosives." Proceedings of the institution of civil engineers, structures and building 123, pp.186– 192.
- 4– Beyer, M.E. (1986). "Blast loads behind vertical walls." proceedings of the 22nd explosives safety seminar, Anaheim, CA: Department of Defence, Explosives Safety Board.
- 5– Timothy T. Garfield (2011). "Performance of reinforced concrete panels during blast loading. "Department of civil and Environmental Engineering, The University of Utah.
- 6– Katie Wheaton (May2005). " Blast assessment of load bearing reinforced concrete shear walls." Civil Engineering, Lehigh University.

- 7- Sih Ying Kong (2012) "Development of a high performance protective barrier utilizing non – composite steel – concrete steel panels" .University of Wollongong.
- 8- Jin FAN (April 2014) "Response of Reinforced Concrete Reservoir Walls Subjected to Blast Loading". University of Ottawa
- 9- Shatha Dh. M. Al-Khazrage, 1999 (DAYNAMIC ANALYSIS OF SUSPENSION BRIDGES UNDER THE EFFECT OF IMPULSIVE LOADING), M.Sc. Thesis, College of Engineering of University of Baghdad.
- 10- UFC 3-340-02, 2008 "Structures to resist the effects of accidental explosions" U.S. Army corps of engineers, Naval facilities engineering command (preparing activity) and Air force civil engineer support agency.
- 11- Vasilis KARLOS and George SOLOMOS, 2013 "Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components" JRC TECHNICAL REPORTS.
- 12- Ray W. Clough and Joseph Penzien, 2003 "Dynamics of structures" third edition computers and structures, Inc. United States of America.
- 13- Remennikov, A.M. and Rose, T.A. (2007). "Predicting the effectiveness of blast wall barriers using neural network." International Journal of impact engineering 34, pp. 1907-1923.
- 14- Rose, T.A. , Smith, P.D. and Mays, G.C. (1998). "Protection of structures against airblast using barriers of limited robustness."

Proceedings of the institution of civil engineerings, structures & building 128, pp. 167–176.

15– Smith, P.D. (2010). “Blast walls for structural protection against high explosive threats: A review.” International Journal of protection structures1(1), pp. 67–84.

16– Cormie, D., Mays, G., and Smith, P.D. (2009). Blast effects on buildings 2nd edition, Thomas TELFORD. 17– STANAG 2280, 2008, Design threat levels and handover procedures for temporary protective structures. Brussels (BE): NATO standardization Agency.

17–STANAG 2280, 2008, Design threat levels and handover procedures for temporary protective structures. Brussels (BE): NATO standardization Agency.

18– ANSYS Manual version 14 (2011).

19– Herrmann, W (1969). “Constitutive Equation for the Dynamic Compaction of Ductile Porous Material”, J. Appl. Phys., 40, 6, pp 2490 – 2499, May 1969.

20– Butcher, B M, & Karnes, C H (1968). Sandia Labs. Res Rep. SC – RR –67 – 3040, Sandia Laboratory, Albuquerque, NM, April 1968.

21– Carroll, M M, & Holt, A C (1972). “Static and Dynamic Pore Collapse Relations for Ductile Porous Materials.” J. Appl. Phys., 43, 4, pp1626 et seq., 1972.

- 22**–WJDAN DHAIF SAHI AL – FATLAWI “Experimental and Analytical Bond – Slip Relationships for Steel Reinforcement in Concrete” University of Baghdad 2008.
- 23**– T. Ngo, P. Mendis, et al., 2007 “Blast loading and blast effects on structures” the University of Melbourne, Australia.
- 24**– Donald O. Dusenberry, 2010 “Hand book for blast-resistant design of buildings” printed in united states of America.
- 25**– Mays G. C. and P. D. Smith. 1995. Blast Effects on Buildings. London: Thomas Telford Publications.
- 26**– Stability of Buildings, 1998, Institution of Structural Engineers.
- 27**– W.M.C. McKenzie BSc, PhD, CPhys, MInstP, CEng. ”Design of Structural Elements” Teaching Fellow, Napier University, Edinburgh.

" تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة. "

عبدالله العنتبلي (1)

غسان محمود (2)

الملخص:

تعتمد معظم مراجع التصميم اليدوية وجداول المواصفات المتعلقة بخزانات السوائل على علاقات مستنتجة تحليلياً من معادلات تفاضلية تعطي نتائج تقريبية للقوى مع أخذ هبوط التربة أسفل الأساس بعين الاعتبار، ولكنها لا تعطي السلوك الحقيقي، وقد تكون نتائجها غير دقيقة. تم في هذا البحث وضع نموذج رقمي لخزان أسطواني خرساني مسلح مستند إلى أساسات شريطية قابلة للتشوه مفصولة عن بلاطة القاعدة، وإجراء تحليل خطي مرن باستعمال طريقة العناصر المحدودة، وتمت نمذجة التربة كنوابض (نموذج وينكلر)، ومقارنة النتائج مع المرجع في الجدران الإستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1] وعلاقات الكود الهندي [2]، لتحري دقة العلاقات المستعملة في هذه المراجع، حيث لم تتجاوز قيم الفروقات بين المرجع في الجدران الإستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1] والنموذج الحاسوبي 5% وذلك بالنسبة لقوة الشد الحلقي، و12% بالنسبة لعزوم الانحناء فكانت القيم في هذا المرجع مقبولة. بينما كانت الفروق في القيم القصوى بين النموذج الحاسوبي والكود الهندي [2] 14% بالنسبة لقوى الشد الحلقي ووصلت لنسبة 73% بالنسبة لعزوم الانحناء وهنا يظهر التفاوت بين الطرائق التي لا تأخذ تشوه التربة بعين الاعتبار من التي تعتبره، كما تم ملاحظة زيادة في قيم كل من الشد الحلقي وعزوم الانحناء بحال كانت التربة متغيرة وغير متجانسة أسفل الأساس الشريطي والتي يجب الانتباه لها عند التصميم للحصول على تصميم دقيق.

كلمات مفتاحية: خزانات السوائل الخرسانية، خزانات أسطوانية، معامل انضغاطية التربة، معامل استجابة التربة، الشد الحلقي .

" Foundations Deformability Influence on the Structural Behavior of Walls in RC Liquids Cylindrical Tanks."

Abdullah Alantabli⁽¹⁾

Ghassan Mahmoud⁽²⁾

Abstract:

Most of the manual design references related to fluid tanks rely on analytically inferred equations from differential equations that give approximate results for design forces taking into account soil subsidence under the foundation, but they do not give the real behavior, and their results may be inaccurate. In this research a numerical model for a cylindrical reinforced tank based on strip deformable foundation separated from the base slab, and elastic linear analysis was carried out using Finite Element Method, and the soil was modeled as springs (Winckler Model), comparing the results with The Reference in concrete RWs and liquid tanks [1] and Indian Standard [2] results, to investigate the accuracy of the equations used in these references, as the values of deviation between the Reference in concrete RWs and liquid tanks [1] and computer model did not exceed 5% for hoop tension force and 12% for the bending moment, the values in the reference [1] was acceptable. While the deviation in the maximum values between the computer model and the Indian Standard [2] were 14% for the hoop tension but it reached 73% for the bending moment. Here the discrepancy appears between the methods that do not take soil deformation into consideration, and an increase in the values of both hoop tension and bending moment in case the soil is variable and heterogeneous below the base, which must be paid attention to when designing to obtain accurate design.

Keywords : RC liquids tanks, Cylindrical tanks, Modulus of soil reaction, Hoop tension.

⁽¹⁾ MSc student, Department of Structural Engineering- Faculty of Civil Engineering- Damascus University.

⁽²⁾ Professor, Department of Structural Engineering- Faculty of civil Engineering- Damascus University.

1 - مقدمة :

تعدُّ خزانات السوائل منشآت هندسية خاصة تستعمل لحفظ المواد السائلة التي قد تكون مياهًا للشرب أو مياهًا مالحة أو للمشتقات النفطية وغيرها . وتأتي خصوصية هذه المنشآت بالدرجة الأولى من اختلاف جملها الإنشائية عن الجمل التقليدية وتبعية أداؤها الإنشائي وطبيعتها الاستثمارية بالتربة وخواصها من جهة وبالوسائل المحفوظ بها وخواصه من جهة أخرى .

يتم إنشاء خزانات السوائل من مواد بناء مختلفة (خرسانة عادية، خرسانة مسلحة، مواد معدنية، مواد بلاستيكية وغير ذلك).

وتتميز خزانات السوائل الخرسانية المسلحة بأنها أكثر اقتصادية وديمومة.

تصنف خزانات السوائل بشكل عام وفق معايير متعددة أهمها الشكل (مضلعة، دورانية، بحجرة واحدة أو متعددة الحجرات، مفتوحة أو مغطاة من الأعلى)، والتوضع بالنسبة لسطح الأرض (مطمورة جزئياً أو كلياً، سطحية، عالية)، وطرائق التنفيذ (مصبوبة بالمكان ، مسبقة الصنع) وغير ذلك.[1]

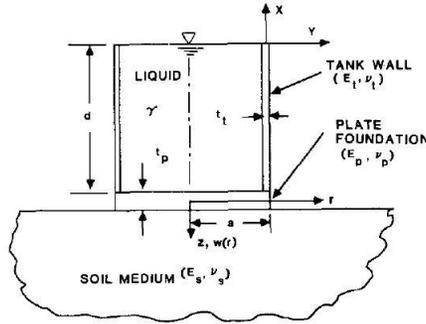
يتعلق الأداء الإنشائي لخزانات السوائل الخرسانية المسلحة بجملتها من المتغيرات، وقد قام الباحثون بعدة دراسات سابقة على الخزانات.

فقد قدم الباحثان **(J.R.BOOKER and J.C.SMALL (1981) [3]** دراسة تقنية تحليلية لسلوك لخزانات السوائل الاسطوانية المستندة على ترب مرنة متجانسة حيث تم دراسة الجدران والقاعدة والتربة تحت الخزان بشكل منفصل وصياغة مصفوفات المرونة لكل جزء على حدى للوصول إلى المصفوفة الكلية التي تأخذ الأثر المتبادل بين التربة والخزان بعين الاعتبار. وقد نوهت الدراسة إلى ضرورة توخي الحذر عند دراسة تقسيم شبكة العناصر المحدودة وذلك لتجنب الحصول على نتائج غير صحيحة.

وقد أوصت هذه الدراسة بتقديم إضافات نظرية للنموذج المدروس في هذه التقنية كإضافة سقف أو تغير مستوى المياه في الخزان.

وقدم الباحثون (1993) **A.R. Kukreti, M.M. Zamn and A. Issa** [4]

معادلات تحليلية تعطي القوى الناتجة عن سلوك الخزانات المستندة إلى ترب قابلة للتشوه، حيث تم افتراض سماكة الجدران ثابتة. ولإيجاد معادلات السهم في القاعدة تم افتراض سلسلة من المعادلات التقريبية وإيجاد المعاملات المجهولة ومن ثم تمت المقارنة مع نتائج نموذج تحليلي يستعمل طريقة العناصر المحدودة. يبين الشكل (1-1) النموذج المعتمد للخزان المدروس.



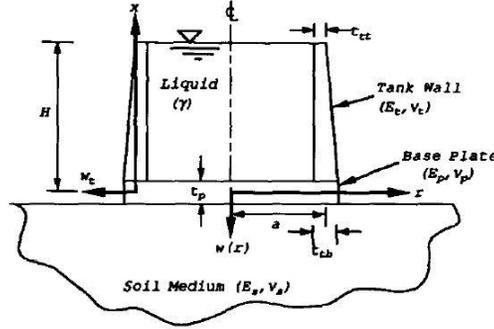
الشكل (1-1) النموذج المعتمد في الدراسة . [4]

ومن خلال مثال عددي قدمه الباحثون وجدوا أن نتائج العلاقات النظرية التي تم استنباطها في هذه الدراسة تقارب بشكل جيد النتائج الناتجة عن نموذج تحليلي يستخدم طريقة العناصر المحدودة. وتكمن أفضلية هذه العلاقات من ناحية أنها قابلة للاستعمال مهما كان الشكل للمنشأ والمواد المستعملة بجهود حسابي ضئيل ويمكن برمجتها باستخدام الحاسوب بسهولة.

وقدم الباحثان (1997) **Anant R. kukureti and Zahid A. Siddiqi** [5] حلاً

تحليلياً لإيجاد القوى في خزانات السوائل الاسطوانية باعتبار التفاعل بين التربة والمنشأ وذلك باستعمال طريقة التربيغات النفاضلية ومن ثم مقارنة النتائج مع نتائج نموذج تحليلي، يستعمل طريقة العناصر المحدودة من أجل خزان اسطواني خرساني وسماكة جدران متغيرة وذلك لنموذج الخزان في الشكل (1-2). إن الطريقة المستعملة في هذا البحث بسيطة ودقيقة وسهلة البرمجة وتستغرق وقتاً أقل بكثير من طريقة العناصر

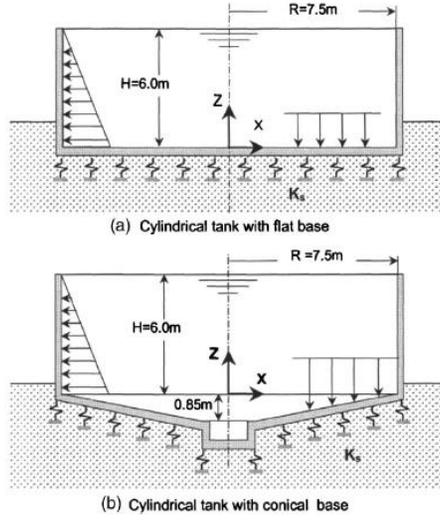
المحدودة من حيث وقت التحليل ومهارات البرمجة. وفي هذه الدراسة بعد إيجاد الانتقالات في جدران الخزان وبلاطة القاعدة في النقاط المحددة، يمكن تطوير المصفوفة المستعملة لجميع القوى والانتقالات من خلال معاملات مناسبة تضاف للمعادلات. وقد كانت نتائج هذه الطريقة مطابقة لنتائج الطرائق المستعملة كطريقة العناصر المحدودة وتم بيان ذلك من خلال مثال عددي.



الشكل (2-1) النموذج المعتمد في الدراسة . [5]

كما وقدم الباحثان **Nasreddin el Mezaini, M.ASCE(2006)** [6] دراسة بينوا من خلالها الأثر الذي يسببه تغير قساوة تربة التأسيس وشكل القاعدة الهندسي على القوى التصميمية في عناصر الخزانات الخرسانية الأسطوانية (باستعمال قاعدة مسطحة مرة ومخروطية مرة أخرى الشكل (1-3))، وذلك من خلال بناء نموذج رقمي والتحليل وفق طريقة العناصر المحدودة باستعمال برنامج (SAP2000). ومقارنة النتائج مع مواصفات جمعية الاسمنت البورتلاندي (PCA) [7] .

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

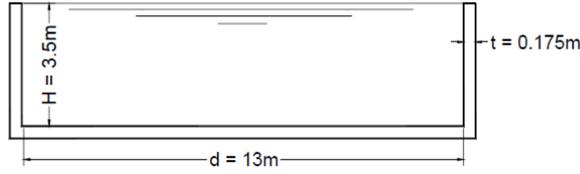


الشكل (3-1) الحالتان المدروستان شكلاً وأبعاداً [6]

وقد كانت نتائج الدراسة كما يلي :

- تتأثر الخزانات الأسطوانية الخرسانية بشكل كبير بالهبوط التفاضلي للتربة تحت قاعدة التأسيس، إذ إن أي تغيير في هبوط التربة التفاضلي يقتضي تغييراً في الأحمال التصميمية لهذه الخزانات.
- الوزن الذاتي لجدران الخزان -الذي تم إهماله في كودات التصميم- يسبب هبوطاً تفاضلياً في التربة وتشوهات في قاعدة التأسيس، والقوى الناتجة عن هذا الهبوط وهذه التشوهات أغفلت في كودات التصميم التي تمت المقارنة معها بالتالي تصبح نتائج التصميم غير دقيقة.
- الهبوط التفاضلي أسفل قاعدة التأسيس يرتبط بنوعية التربة أسفل القاعدة فكلما كانت التربة قليلة القساوة كلما كانت الهبوط أكبر.
- شكل قاعدة الخزان والتي تعبر بعبارة أخرى عن قساوتها تؤثر أيضاً في الهبوط التفاضلي للتربة فالقاعدة المخروطية تسبب هبوطاً أقل منه في حال كانت مستوية لكنها تسبب زيادة في قوى الشد الحلقي أسفل جدار الخزان.
- الطريقة الكلاسيكية والمعتمدة في أغلب كودات التصميم والتي تهمل التفاعل المتبادل بين التربة والمنشأ هي طريقة غير دقيقة وتعطي تصميماً وغير دقيق.

كما وقام الباحثان **[8] Shirish Vichare and Mandar M. Inamdar** (2010) بإجراء دراسة تحليلية، واستنتاج علاقات حساب القوى التصميمية لنموذج الخزان كما في الشكل (1-4)، والتحقق من ذلك من خلال إنشاء نموذج حاسوبي باستعمال طريقة العناصر المحدودة عبر برنامج (ABAQUS 6.8) ومقارنة النتائج مع الجداول والمخططات المستعملة في منشورات جمعية الاسمنت البورتلاندي (PCA) وجداول المواصفات في الكود الهندي.



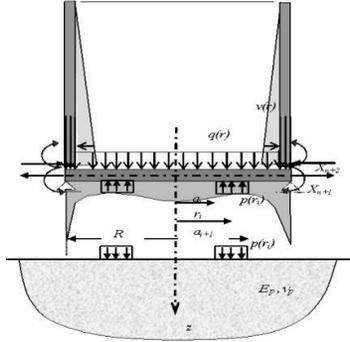
الشكل (1-4) تفاصيل الخزان المستعمل في الدراسة . [8]

وبنتيجة الدراسة توصل الباحثان للتالي:

- كان هناك توافق بين نتيجة الحل التحليلي ونتيجة النمذجة الرقمية في قيم عزم الانعطاف والشد الحلقي على ارتفاع جدار الخزان المدروس.
- قيمة عزم الانحناء الأعظمي في الدراسة (5.72 KN.m) انخفضت عن قيمتها في جداول الكودات التي ذكرت سابقا (IS3370 و PCA) والتي بلغت (8.98KN.m)، وذلك بسبب غياب الطريقة الملائمة لمعرفة السلوك الحقيقي لخزان فوق تربة متشوهة.
- قيمة الشد الحلقي العظمى في الدراسة بلغت (166 KN) بينما باستخدام الكودات بلغت القيمة (117.8 KN) وهذا يعني ارتفاع في قيمة الشد الحلقي.
- يوجد تسليح زائد وغير مبرر للعزوم يقابله نقص في التسليح للشد الحلقي الأمر الذي ينعكس على ظهور التشققات في جدران الخزانات الاسطوانية .

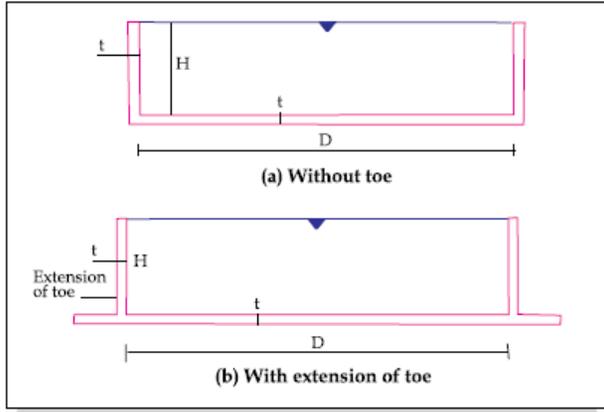
وقدم الباحثان **[9] Zora Mistrikova and Jendzelovsky** (2011) دراسة تحليلية للتشوهات والإجهادات لخزانات المياه الاسطوانية الخرسانية المستندة إلى تربة

قابلة للتشوه حيث تمت نمذجة التربة وفق ثلاث طرق مختلفة، وتم مقارنة نتائج الحسابات النظرية النهائية مع النتائج الحاسوبية. ويوضح الشكل (5-1) نموذج الخزان المعتمد.



الشكل (5-1) النموذج المعتمد في الدراسة. [9]

وخلصت الدراسة إلى أن أفضل نموذج من النماذج المدروسة هو نموذج وينكлер (خمسة عقد) ونموذج وينكлер المعدل (ستة عقد) وذلك لأغراض التصميمية نتيجةً للحصول السريع على النتائج ودقة النتائج وسهولة النمذجة، بينما تكون النماذج الحجمية أكثر ملائمة لأغراض البحث وذلك لأنه يتطلب أرضية نظرية واسعة ووقت كبيراً في النمذجة. كما وقام الباحثان **[10] Virendra P. Dehadrai and R.K. Ingle(2016)** بنمذجة نموذجين لخزان أسطواني خرساني حاسوبياً كما في الشكل (6-1)، باستعمال طريقة العناصر المحدودة، ومن ثم دراسة التغيرات التي تحدث على القوى في جدران الخزان وبلاطة القاعدة، مع الأخذ بعين الاعتبار أثر التربة تحت الخزان، ومقارنة النتائج بين نموذج بقاعدة دائرية وآخر بقاعدة دائرية مع بروز.



الشكل (1-6) الشكل العام للنموذجين المستعملين في الدراسة . [10]

وبنتيجة الدراسة تم استخلاص النتائج التالية :

- إن الدراسات وجداول الكودات التي تفترض أن جدران الخزانات الاسطوانية الخرسانية موثوقة بشكل تام عند القاعدة تسبب نقصاً في قيمة الشد الحلقي مما يؤدي إلى نقص في مقاومته وبالتالي حدوث تشققات.
- إن السلوك الحقيقي لجدران الخزانات الاسطوانية الخرسانية في نقاط الاتصال بالقاعدة بين المتمفصل والموثوق وقد لوحظ انخفاض في القوى المؤثرة بحال وجود بروز في القاعدة من عدمه لذلك فإن البروز قد يساهم في تقليل الأثر السلبي للتربة المتشوّهة على المنشأ.
- بحال كانت قاعدة الخزان بدون بروز فإن عزم الانحناء في القاعدة كما قساوة التربة تتغير بشكل غير متوقع، بينما في حال زودت القاعدة ببروز فإن العزم في قاعدة الخزان تقل بزيادة قساوة التربة.
- تصميم الجدار على الشد الحلقي باعتباره متمفصلاً في القاعدة وكذلك تصميمه على العزم بحال اعتباره موثوقاً في القاعدة سوف يؤدي إلى تصميم حذر (قيم غير دقيقة).

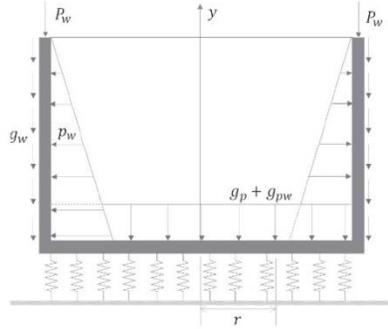
وقام الباحثون **Anand Daftardar, Shirish Vichare, Jigisha**

[11] Vashi(2017) بتوسيع مجال الجداول المعتمدة على المعامل $\frac{H^2}{Dt}$ من أجل

حرية أكبر للمصممين، حيث كان المجال يتراوح من 0.4 إلى 16 وتم توسيعه ليصبح من 0.1 إلى 100.

وبسّط الباحثون **R.L.C.SILVA, G.B.MARQUES, E.N.LAGES and S.P.C. MARQUES (2019)**

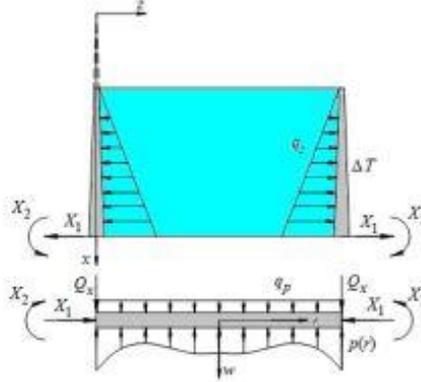
العلاقات التحليلية الموجودة في دراسات سابقة وذلك للخزانات المستندة إلى تراب قابلة للتشوه، ويبين الشكل (1-7) نموذج الخزان المعتمد في الدراسة، حيث تم افتراض حالات تراب (قليلة القساوة، متوسطة، قاسية، شديدة القساوة) والوصول إلى علاقات تضمن سهولة الوصول للقوى والعزوم النهائية في الجدران. حيث تم اعتبار حالتين للمقارنة وهما حالة الطرق المشتقة منها المعادلات والتي تعتمد على نظرية القشريات المستندة إلى تراب مرنة والتي أسموها الحل الدقيق، والمعادلات التي توصل إليها الباحثون والتي أسموها الحل التقريبي.



الشكل (1-7) النموذج المعتمد في الدراسة والقوى المؤثرة . [12]

وقد أظهرت نتائج الدراسة أن الفرق في القيم القصوى بين الحل الدقيق والتقريبي كان مقبولاً بالنسبة للقوى التصميمية في الجدران حيث لم يتجاوز أكبر فرق 0.143%، بينما وصل الفرق في القاعدة حتى 3.15% وذلك في قوى القص القطرية. ومن ثم تمت المقارنة بين أربعة أنواع مختلفة من التراب تبعاً لمعامل الانضغاطية والذي يمثل قساوة نوابض وينكلر وبنتيجة المقارنة أكدت الدراسة ضرورة اعتبار الأثر الذي يسببه هبوط التربة عند دراسة الخزانات، إذ إنه وحتى في التراب القاسية يلاحظ اختلاف في القيم بين الطرائق الكلاسيكية التي تهمل أثر التربة عن الطرائق التي تعتبره.

وقام الباحثان (2019) Pawel M.Lewinsk and Michal Rak [13] بتحليل التفاعل بين المنشأ والتربة، وذلك لخزان أسطواني ذو سماكة جدران متغيرة متعرضة لحمل حراري متدرج بين الداخل والخارج كما في الشكل (1-8)، حيث تم إجراء نمذجة حاسوبية باستعمال عنصري نمذجة مختلفين للتربة، أحدهما عنصر حجمي (فراغي) والآخر خطي (نموذج وينكلكر) والمقارنة بين النموذجين. وبنتيجة الدراسة تمت ملاحظة اختلاف كبير في النتائج بين النموذجين تحت الضغط الهيدروستاتيكي، إذ إن الهبوط في قاعدة الخزان في النموذج الفراغي كانت ناتجة عن توزيع الأحمال على كامل بلاطة القاعدة بينما كانت في الحواف فقط في النموذج الآخر، مما نتج عنه انقلاب مخطط العزم. أما بالنسبة للتدرج الحراري في الجدران فلم يؤثر على القوى التصميمية في الجدران في كلا النموذجين، إلا وأنه تحت تأثير عزوم الانحناء سبب تشققات كبيرة في الجدران.



الشكل (1-8) النموذج العام للخزان المستعمل في الدراسة والقوى المؤثرة . [13]

في هذه الدراسة سيتم بناء نموذج رقمي لخزان مياه أسطواني يستند إلى أساس شريطي قابل للتشوه، بحيث تكون القاعدة الدائرية مفصولة عن الأساس الشريطي ويتوافق النموذج مع نموذج المثال العددي المطروح في المرجع [1] كما في الشكل (1-4)، بينما كانت الدراسات السابقة تعتبر اتصال الجدران بقاعدة دائرية مستمرة أسفلها، ولم تتطرق تلك الدراسات لمثل الحالة المدروسة في هذا البحث. وسيتم نمذجة التربة وفق نوابض (نموذج وينكلكر) وتحري الأثر الذي يسببه هبوط التربة على القوى الحلقية وعزوم

الانحناء في جدران الخزان باستعمال برنامج SAP2000، ومقارنة النتائج مع العلاقات الواردة في المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1]، والذي يأخذ بعين الاعتبار الأثر المتبادل بين التربة والمنشأ في علاقاته النظرية. وبعد ذلك سيتم مقارنة نتائج الدراسة نتائج العلاقات الواردة في الكود الهندي [2]، والذي يعد من الطرق الكلاسيكية التي لا تأخذ أثر هبوط التربة بعين الاعتبار. وكذلك سيتم تحري أثر عدم تجانس التربة أسفل قاعدة الخزان على القوى التصميمية (الشد الحلقي وعزوم الانحناء) ومقارنة ذلك مع حالة اعتبار التربة متجانسة.

2 - هدف البحث :

يهدف البحث إلى تقييم الأداء الإنشائي لجدران الخزانات الاسطوانية الخرسانية المسلحة المستندة إلى اساسات قابلة للتشوه، وتدقيق العلاقات المستعملة في كودات التصميم والمراجع المتصلة وبيان أوجه الاتفاق والاختلاف وصولاً للتعديلات المناسبة على العلاقات المستعملة .

3- الدراسة المرجعية المعتمدة :

3-1- المرجع في الجدران الإستنادية وخزانات السوائل البيتونية: [1]

سيتم استعراض طريقة التصميم المستعملة في هذا المرجع وذلك لحالة الخزانات ذات القشريات الأسطوانية (ذات السماكة الثابتة) المستندة على أساس قابل للتشوه مع الأخذ بعين الاعتبار مايلي :

- ارتباط القاعدة مع الجدار مفصلي
- الجدران تستند لأساسات شريطية على تربة قابلة للتشوه وغير قابلة للتشوه .
- ضغط الماء على الجدران مثلثي (أي أن الخزان ممتلئ ومكشوف من الأعلى).
- سماكة الجدران ثابتة .

القوى الحلقية R وعزوم الانحناء M_x :

تحدد القوى الحلقية وعزوم الانحناء هنا على مرحلتين وتتخذ القيم النهائية كمحصلة للنتائج في المرحلتين:

المرحلة الأولى:

تحسب القوى الحلقية وفقاً للنظرية الغشائية باستخدام العلاقة :

$$R_h^0 = \gamma_c h r$$

وتساوي القوة الحلقية عند قاع الخزان ($h = H_0$) :

$$R^0 = \gamma_c H_0 r$$

ويساوي عزم الانحناء الصفر .

المرحلة الثانية:

وفقاً للنظرية العزمية، إذ يكتفى عندئذ بحساب عزوم الانحناء الشاقولية (باتجاه المولد) M_x وتهمل عزوم الانحناء الأفقية (باتجاه الحلقي) لصغر قيمها $M_x = 0.167M_x$ ولضعف تأثيرها على التصميم. يتم تحديد R و M_x بعد معرفة ردود الأفعال في منطقة استناد الجدران على الأساسات X_1 و X_2 ، واستخدام شرط تحقيق انعدام التشوهات في منطقة الاستناد محققاً، ويمكن كتابة علاقات التشوه كما يلي:

$$X_1(\delta_{11}^g + \delta_{11}^d) + X_2(\delta_{21}^g + \delta_{12}^d) + p\Delta r_0^0 = 0$$

$$X_1(\delta_{21}^g + \delta_{21}^d) + X_2(\delta_{22}^g + \delta_{22}^d) + p\Psi^0 = 0$$

حيث يشير الرمز العلوي g إلى تشوهات القشرية الاسطوانية والرمز السفلي d إلى تشوهات الأساس الشريطي. تحسب التشوهات الأحادية في الجدران الاسطوانية والأساس الشريطي، نتيجة تأثير ردود الأفعال المسندية الأحادية وفقاً للنظرية العزمية، والحمولة المطبقة وفقاً للنظرية الغشائية كما يلي :

$$\delta_{10}^g = \frac{\gamma_c r^2 H_0}{E_b t} ; \delta_{20}^g = \frac{-\gamma_c r^2}{E_b t} ; L = 0.76\sqrt{t r} .$$

$$\delta_{11}^g = \frac{2r^2}{L E_b t} ; \delta_{12}^g = \frac{-2r^2}{L^2 E_b t} ; \delta_{22}^g = \frac{4r^2}{L^2 E_b t} .$$

وذلك من أجل الجدران الأسطوانية (القشرية الأسطوانية)، بينما من أجل الأساس الشريطي تكون العلاقات كما يلي :

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

$$\delta_{22}^d = \frac{r^2}{CI_F r^2 + E_b I_L} ; \delta_{12}^d = \delta_{21}^d = \delta_{22}^d z ;$$

$$\delta_{11}^d = \delta_{22}^d z^2 .$$

I_F : عزم عطالة مقطع جزئي من السطح السفلي للأساس الحلقي بطول 1m وعرض 2b بالنسبة للمحور الحلقي الوسطي .

I_L : عزم عطالة المقطع العرضي للأساس الحلقي بالنسبة للمحور الوسطي بالاتجاه الأفقي .

C : معامل استجابة التربة Response Factor مقدراً بـ (KN/cm^3) ، ومن أجل الترب الصخرية $C = 1$ تقريباً .

E_b : معامل مرونة البيتون .

ويكون :

$$X_1 = \frac{\Omega}{L} \lambda_1 - 0.5 \gamma_c L H_0 \lambda_4$$

$$X_2 = \Omega \lambda_2$$

حيث : Ω - معامل يتعلق بالحمولة المطبقة ويحسب بالعلاقة :

$$\Omega = 0.5 \gamma_c L^2 (L - H_0 \lambda_3)$$

تحسب ميزات الصلابة λ_n كما يلي :

$$\lambda_1 = \frac{1 - kzL}{(1 + kz^2)(2 + kL^2) - (1 - kzL)^2}$$

$$\lambda_2 = \frac{1 - kz^2}{(1 + kz^2)(2 + kL^2) - (1 - kzL)^2}$$

$$\lambda_3 = \frac{1 - kzL}{1 + kz^2} ; \lambda_4 = \frac{1}{1 + kz^2}$$

حيث :

$$k = \frac{3tL}{4b \left(\frac{Cb^2r^2}{E_b} + 2z^3 \right)}$$

وتكون القوى الداخلية وعزوم الانحناء النهائية في مقاطع الجدران الاسطوانية:

$$N = N^0 = -\gamma_b t(H_0 - x) - \frac{Q_1}{2\pi r}$$

$$R = R^0 + \frac{2r}{L^2} [X_2 f_1(\eta) - (X_2 - LX_1) f_2(\eta)]$$

$$M_x = X_2 f_2(\eta) + (X_2 - LX_1) f_1(\eta)$$

Q_1 : الحمولة الشاقولية الخارجية المطبقة على 1m من محيط الجدار الأسطواني.

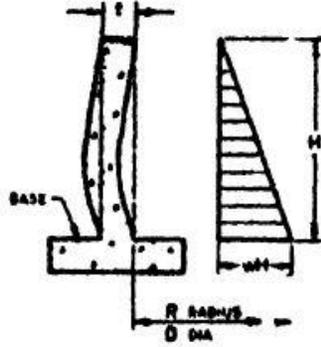
3-2- الكود الهندي : [2]

يعتمد الكود الهندي على حالتين أساسيتين للحساب، حيث يعتبر في الأولى استناد الجدران إلى القاعدة موثوقاً، ويعتبر في الثانية أن هذا الاستناد مفصلي. وقد وضحت المواصفات الهندية أن حالة الموثوق غير قابلة للتحقق عملياً، إلا أنها تشكل بداية للخوض في وضع شروط الاستناد الحقيقية .

بينما في الحالة الثانية (اعتبار اتصال الجدار بالقاعدة متمفصل)، فإن عزم الانحناء في منطقة القاعدة يكون معدوماً بينما في الواقع يكون له قيمة، كما وبينت المواصفات الهندية أن هنالك صعوبة في تقدير القيم الحقيقية للشد الحلقي وعزوم الانحناء نتيجة اختلاف التربة التي يستند إليها الجدار، وأن التصميم الآمن يكون باعتبار الاتصال بين الجدار والقاعدة مفصلياً.

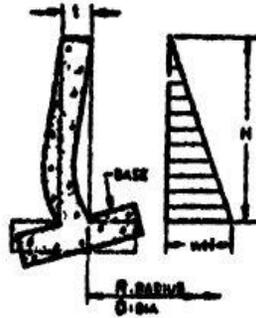
والحالات كما وردت في الكود على الشكل التالي :

- الحالة الأولى : يبين الشكل (3-1) جدار خزان اسطواني موثوق بالقاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمل مثلثي .



الشكل (1-3) جدار خزان اسطواني موثوق في القاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمولة مثلثية. [2]

- الحالة الثانية : يبين الشكل (2-3) جدار خزان اسطواني متمفصل بالقاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمل مثلثي .



الشكل (2-3) جدار خزان اسطواني متمفصل في القاعدة حر من الأعلى مطبق عليه حمولة مثلثية. [2]

3-2-1- قوى الشد الحلقي :

يتم إيجاد قوى الشد الحلقي وذلك للحالتين (موثوق ومتمفصل) وحر من الأعلى مطبق عليه حمل مثلثي وذلك تبعاً لارتفاع الخزان، من خلال العلاقة التالية :

$$T = \text{Coefficient} \times \omega HR \quad \text{kg/m}$$

حيث :

T : قوة الشد الحلقي في الشريحة المدروسة.

Coefficient : معامل مستخرج من الجداول الواردة في الكود يتعلق بالنسبة $\frac{H^2}{Dt}$

وشريحة الارتفاع في جدار الخزان وحالة الاستناد.

H : ارتفاع جدار الخزان .

R : نصف قطر الخزان الداخلي .

D : قطر الخزان الداخلي.

ω : كثافة السائل.

t : سماكة جدار الخزان.

3-2-2 عزوم الانحناء :

يتم إيجاد عزوم الانحناء وذلك للحالتين (موثوق ومتفصل) وحر من الأعلى مطبق عليه

حمل مثلثي وذلك تبعاً لشرائح تابعة لارتفاع الخزان، من خلال العلاقة التالية :

$$Moment = Coefficient \times \omega H^3 \text{ kg/m}$$

حيث :

M : عزم الانحناء في الشريحة المدروسة.

Coefficient : معامل مستخرج من الجداول الواردة في الكود يتعلق بالنسبة $\frac{H^2}{Dt}$

وشريحة الارتفاع في جدار الخزان وحالة الاستناد.

H : ارتفاع جدار الخزان.

D : قطر الخزان الداخلي.

ω : كثافة السائل.

t : سماكة جدار الخزان.

4- النتائج ومناقشتها :

4-1- التحليل الإنشائي باستعمال طريقة العناصر المحدودة (برنامج SAP2000) :

تم اعتماد النموذج المطروح كمثال في كتاب المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات

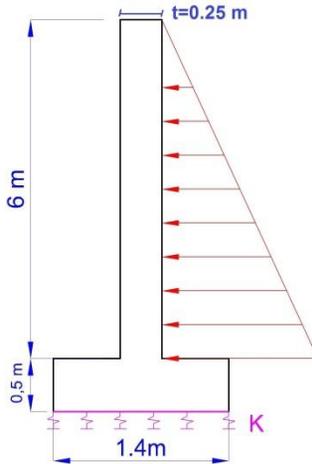
السوائل البيتونية [1] والمبين في الشكل (1-4).

4-1-1- الأبعاد وشروط النمذجة :

- أبعاد الحلة: القطر 15m، ارتفاع جدار الخزان 6m، سماكة جدار الخزان 0.25m .

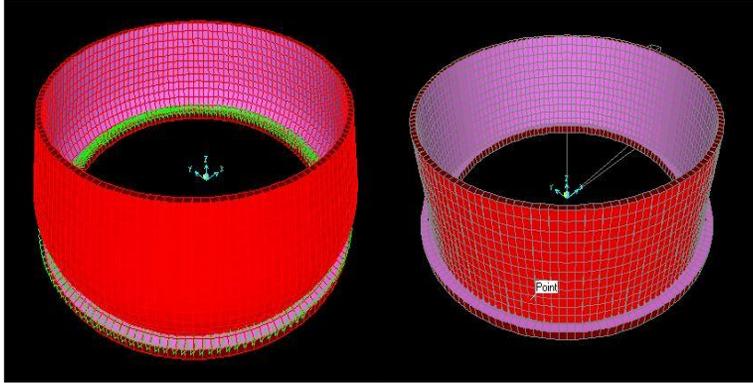
تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

- أبعاد الأساس: 0.5m بالاتجاه الشاقولي و 1.4m بالاتجاه الأفقي (أساس شريطي).
- الخزان مملوء بالسائل والسائل داخل الحلة هو الماء .
- تستند قاعدة الخزان إلى التربة مباشرة.
- تمت نمذجة التربة على شكل نوابض أسفل الأساس الشريطي و بقساوات مختلفة (K) حيث تم الأخذ بعين الاعتبار أخذ قساوات تعبر عن حالات التربة الثلاث (مرنة، متوسطة، قاسية) وهي على الترتيب 100000، 50000، 25000 (KN/m³).
- تمت نمذجة جدار الخزان كقشرية (Shell Thin) وتقسيمها إلى عناصر رباعية بأبعاد (0.5×0.5) متراً.
- معامل مرونة الببتون $E_c=2310 \text{ KN/cm}^2$ و $f'_c = 20 \text{ MPa}$
- معامل بواسون $\nu = 0.2$
- 4-1-2- القوى المؤثرة :**
- الوزن الذاتي (SW) .
- ضغط الماء على الجدران (WP).



الشكل (1-4) مقطع في الخزان المدروس والقوى المؤثرة مع الأبعاد.

4-2- حالة المقارنة بين النموذج الحاسوبي والمرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل الببتونية [1]:



الشكل (2-4) النموذج الحاسوبي المعتمد والتشوهات الناتجة عن الحمولات المطبقة .

نتج عن عملية التحليل 1728 عنصر مساحي في جدران الخزان ونظراً لعدم إمكانية عرض جميع النتائج فقد تم أخذ القيم القصوى وطباعة النتائج بغرض المقارنة. وتم استخراج نتائج التحليل الحاسوبي وتصديرها وتنظيم البيانات وفق الجداول (1-4)، (2-4) و (3-4) للمقارنة مع النتائج النظرية.

جدول (1-4) قيم الشد الحلقي وعزوم الانحناء لحالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$ وفقاً للنموذج الحاسوبي والعلاقات في المرجع [1] .

sap2000			العلاقات النظرية	
Hight(m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)
0	79.34	-7.53	65.30	-2.51
0.5	180.45	3.83	191.55	6.56
1	262.75	7.19	279.80	8.16
1.5	303.67	6.5	317.59	6.44
2	306.32	4.48	314.58	3.94
2.5	282.72	2.06	286.11	1.86
3	244.98	0.665	245.32	0.53
3.5	201.81	-0.09	200.76	-0.13
4	158.15	-0.37	156.77	-0.34
4.5	115.88	-0.36	114.86	-0.33
5	75.2	-0.23	74.99	-0.23

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة

5.5	35.58	-0.08	36.59	-0.13
6	-4.84	-0.01	-0.99	-0.05

جدول (2-4) قيم الشد الحلقي وعزوم الانحناء لحالة $K=50000 \text{ KN/m}^3$ وفقاً للنموذج الحاسوبي والعلاقات في المرجع [1].

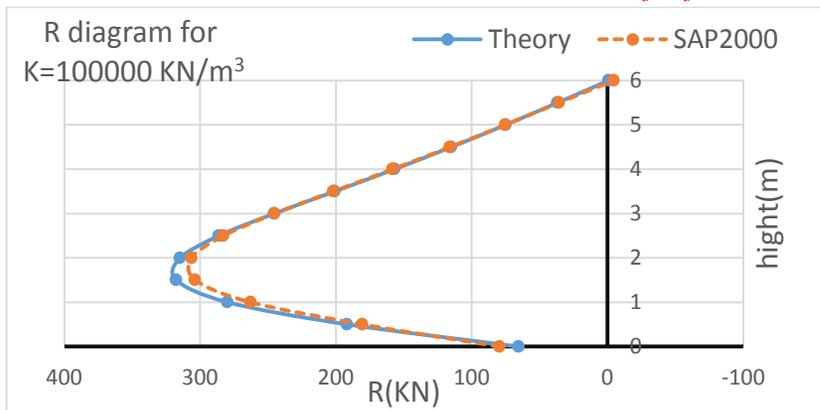
sap2000			العلاقات النظرية	
Hight(m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)
0	74.86	-5.58	72.11	0.02
0.5	186.13	5.01	205.33	7.81
1	270.49	7.74	292.30	8.56
1.5	310.03	6.68	326.03	6.40
2	310.34	4.43	319.06	3.75
2.5	284.7	2.34	287.79	1.66
3	245.59	0.905	245.45	0.39
3.5	201.71	-0.16	200.26	-0.21
4	157.81	-0.41	156.17	-0.38
4.5	115.53	-0.37	114.39	-0.33
5	74.95	-0.23	74.71	-0.22
5.5	35.46	-0.08	36.46	-0.12
6	-4.81	-0.01	-1.03	-0.04

جدول (3-4) قيم الشد الحلقي وعزوم الانحناء لحالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$ وفقاً للنموذج الحاسوبي والعلاقات في المرجع [1].

sap2000			العلاقات النظرية	
Hight(m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)	Hoop tension(KN)	Bending moment(KN.m)
0	72.15	-4.3	76.07	1.50
0.5	189.86	5.79	213.35	8.54
1	275.58	8.1	299.58	8.79
1.5	314.2	6.77	330.96	6.38
2	312.99	4.39	321.67	3.63
2.5	286	2.27	288.78	1.55
3	246	0.83	245.53	0.31
3.5	201.65	-0.21	199.97	-0.26

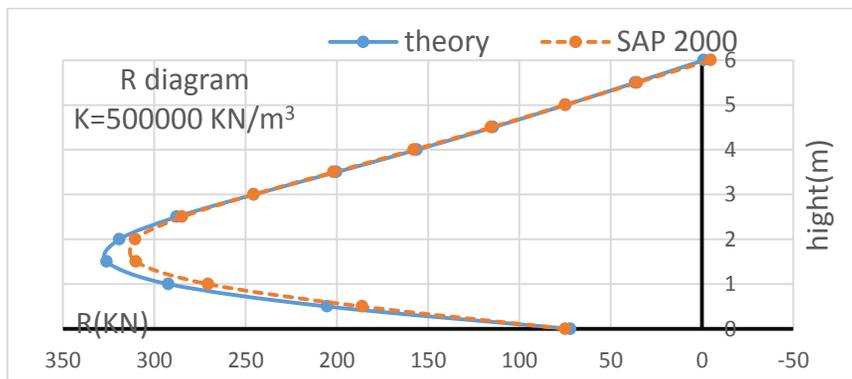
4	157.59	-0.43	155.83	-0.40
4.5	115.3	-0.39	114.12	-0.34
5	74.79	-0.23	74.55	-0.22
5.5	35.39	-0.08	36.38	-0.11
6	-4.79	-0.01	-1.05	-0.04

4-2-1- الشد الحلقي في جدران الخزان :



الشكل (3-4) مقارنة مخطط الشد الحلقي بين العلاقات التحليلية والنموذج

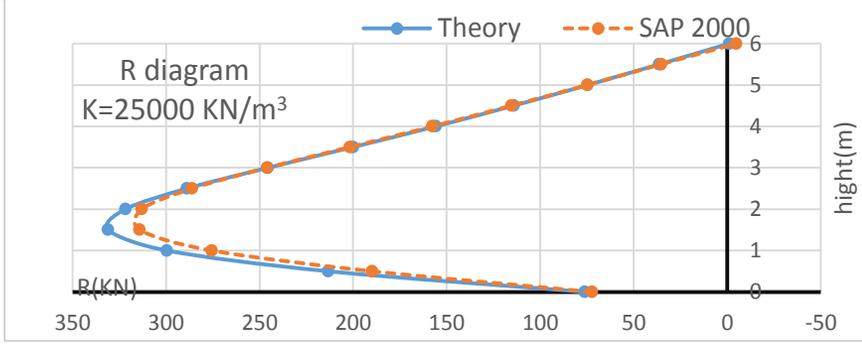
الحاسوبي حالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$.



الشكل (4-4) مقارنة مخطط الشد الحلقي بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي

حالة $K=500000 \text{ KN/m}^3$.

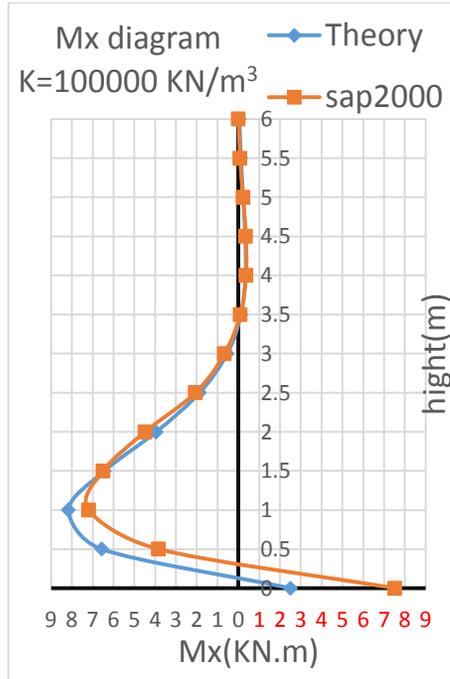
تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة



الشكل (4-5) مقارنة مخطط الشد الحلقي بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي حالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$.

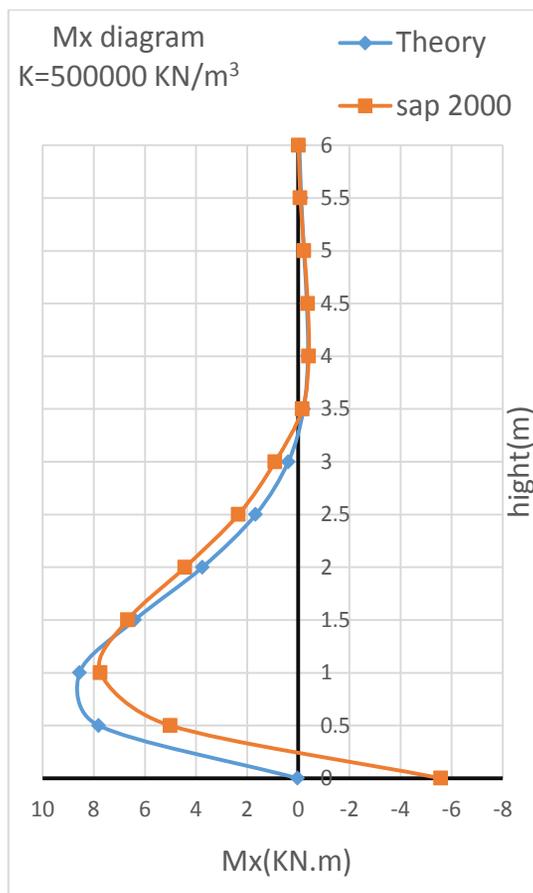
4-2-2- عزم الانحناء في جدران الخزان :

يبين الشكل (4-6) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والعلاقات التحليلية في المرجع [1] وذلك للعزوم (M_x) المتشكلة في جدران الخزان بحالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$.



الشكل (4-6) مقارنة بين مخططي عزم الانحناء من أجل النموذج الحاسوبي والنموذج التحليلي بحالة $K=100000 \text{ KN/m}^3$.

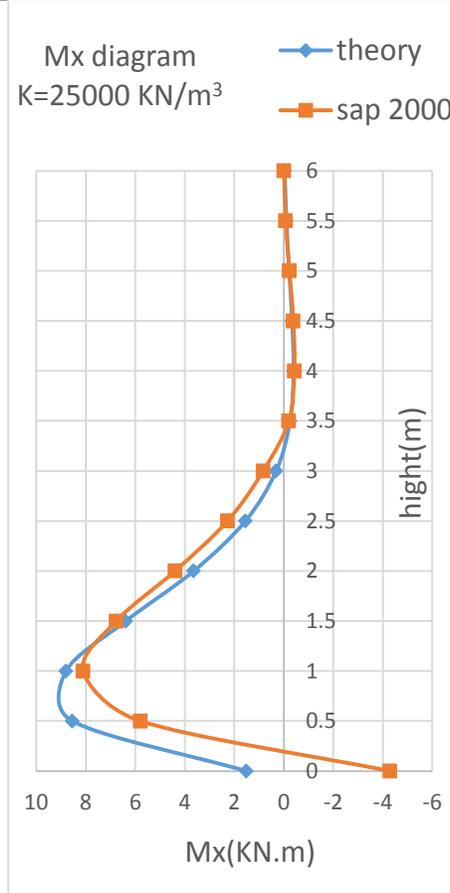
يبين الشكل (7-4) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والعلاقات التحليلية في المرجع [1] وذلك للعزوم (M_x) المتشكلة في جدران الخزان بحالة $K=500000 \text{ KN/m}^3$.



الشكل (7-4) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والنموذج التحليلي بحالة $K=500000 \text{ KN/m}^3$.

يبين الشكل (8-4) مقارنة بين النموذج الحاسوبي والعلاقات التحليلية في المرجع [1] وذلك لعزوم الانحناء (M_x) المتشكلة في جدران الخزان بحالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$.

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة



الشكل (4-8) مقارنة بين مخططي العزم من أجل النموذج الحاسوبي والنموذج التحليلي بحالة $K=25000 \text{ KN/m}^3$.

يبين الجدول (4-4) مقارنة بين القيم القصوى الناتجة عن النموذج التحليلي والنموذج الحاسوبي وذلك لقيم الشد الحلقي في جدران الخزان وذلك لحالات التربة الثلاث (مرنة، متوسطة، قاسية).

جدول (4-4) مقارنة بين القيم القصوى للشد الحلقي لحالات التربة الثلاث بين العلاقات التحليلية والنموذج الحاسوبي.

MAX Hoop tension			
K(KN/m³)	10000	50000	25000
المرجع [1]	317.59	326.03	330.96
SAP2000	306.32	310.34	314.2
deviation	4%	5%	5%

يبين الجدول (4-5) مقارنة بين القيم القصوى الناتجة عن النموذج التحليلي والنموذج الحاسوبي وذلك لقيم عزوم الانحناء في جدران الخزان وذلك لحالات التربة الثلاث (مرنة، متوسطة، قاسية).

جدول (4-5) مقارنة بين القيم القصوى لعزوم الانحناء لحالات التربة الثلاث بين النموذجين التحليلي والحاسوبي.

MAX Bending moment			
K(KN/m³)	100000	50000	25000
المرجع [1]	8.16	8.56	8.79
SAP2000	7.19	7.74	8.1
deviation	12%	10%	8%

4-3- مقارنة نتائج النموذج الحاسوبي مع نتائج علاقات الكود الهندي [2] :

تم إجراء الحساب وفقاً للمخططات الموجودة في الكود الهندي [2]. حيث يعتمد الكود الهندي في الحساب على اعتبار الجدران إما موثوقة مع القاعدة (Fixed) أو متمفصلة

مع القاعدة (Hinged) . وينظم الحساب - سواء في القوى الحلقية أو عزوم الانحناء - ما يلي :

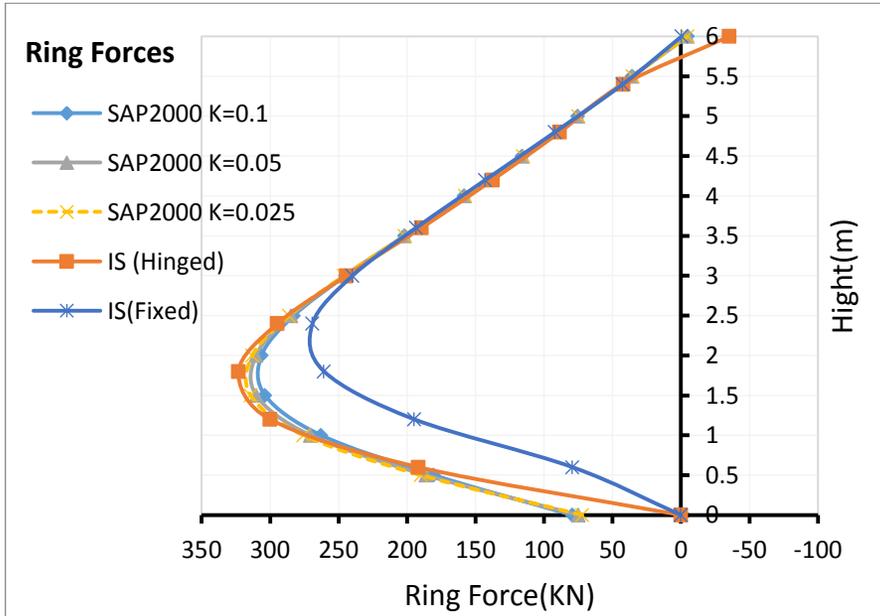
- معاملات تستخرج من الجداول تبعاً للنسبة $\frac{H^2}{Dt}$ حيث:
- H: ارتفاع الخزان، D: قطر الخزان و t سماكة الجدار .
- الوزن النوعي للسائل .
- H : ارتفاع الخزان .

ومن ثم يتم حساب عزوم الانحناء وقوى الشد الحلقي، ونلاحظ أنه لم يتم اعتبار خصائص التربة أسفل الخزان كما أن السلوك الفعلي للجدار لا يمكن تمثيله بإحدى الحالتين (موثوق أو متمفصل) وإنما السلوك الفعلي يكون بين الموثوق والمتمفصل.

- تم إجراء المقارنة مع حالات التربة الثلاث المدروسة سابقاً والناجمة من النموذج الحاسوبي مع المخطط الناتج عن علاقات الكود الهندي [2] .

4-3-1- قوى الشد الحلقي في الجدران :

يبين الشكل (4-10) مقارنة قيم الشد الحلقي تبعاً للارتفاع وفق علاقات الكود الهندي [2] مع القيم الناتجة عن النموذج الحاسوبي وذلك لحالات التربة الثلاث .



الشكل (4-10) مقارنة بين قيم قوى الشد الحلقي الناتجة عن الكود الهندي [2] والنموذج الحاسوبي لحالات التربة الثلاث.

جدول (4-6) مقارنة بين القيم القصوى للشد الحلقي لحالات التربة الثلاث في النموذج الحاسوبي وبين نتائج الكود الهندي [2].

MAX Hoop tension			
K(KN/m³)	100000	50000	25000
SAP2000	306.32	310.34	314.2
Indian Standard (Hinged)	323.025	323.025	323.025
deviation	5%	4%	3%
Indian Standard (Fixed)	269.04	269.04	269.04
deviation	12%	13%	14%

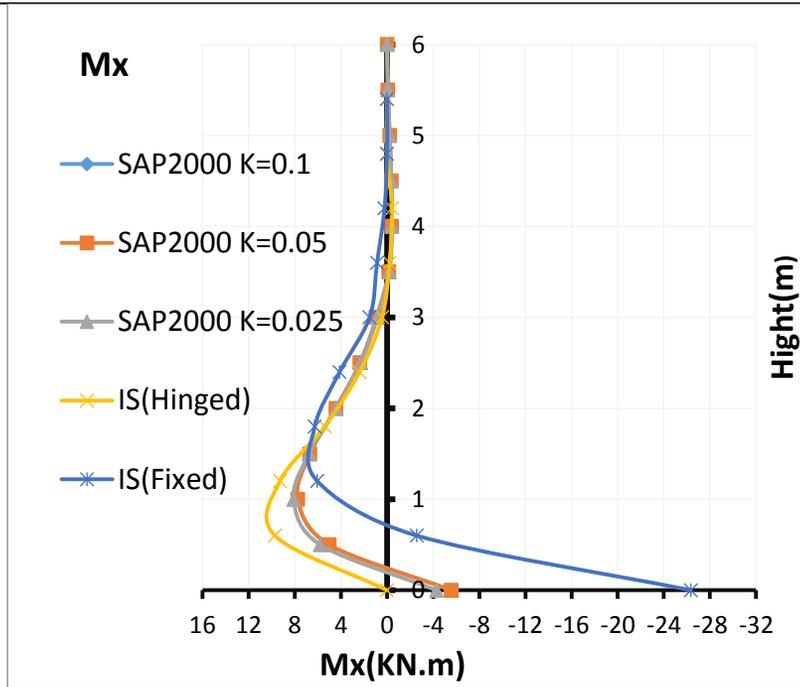
إن القيم متقاربة بحال اعتبار الكود الهندي [2] اتصال الجدران مع القاعدة متمفصل لكن يجب الأخذ بعين الاعتبار أن قيم الشد الحلقي في الكود الهندي [2] عند نقطة الاتصال (معدومة) بينما قيمتها الفعلية تصل حتى (80KN). وبحال اعتبار الاتصال موثوق وصل الفرق لنسبة 14%.

4-3-2- عزوم الانحناء في الجدران :

يبين الشكل (4-11) مقارنة قيم عزوم الانحناء تبعاً للارتفاع وفق علاقات الكود الهندي [2] مع القيم الناتجة عن النموذج الحاسوبي وذلك لحالات التربة الثلاث.

كما ويبين الجدول (4-7) مقارنة بين القيم القصوى لعزوم الانحناء لحالات التربة الثلاث الناتجة عن النموذج الحاسوبي مع القيم الناتجة عن الكود الهندي [2].

تأثير قابلية تشوه الأساسات على الأداء الإنشائي لجدران خزانات السوائل الأسطوانية الخرسانية المسلحة



الشكل (4-11) مقارنة بين قيم قوى الشد الحلقي الناتجة عن الكود الهندي والنموذج الحاسوبي لحالات التربة الثلاث.

جدول (4-7) مقارنة بين القيم القصوى لعزوم الانحناء لحالات التربة الثلاث في النموذج الحاسوبي وبين نتائج الكود الهندي.

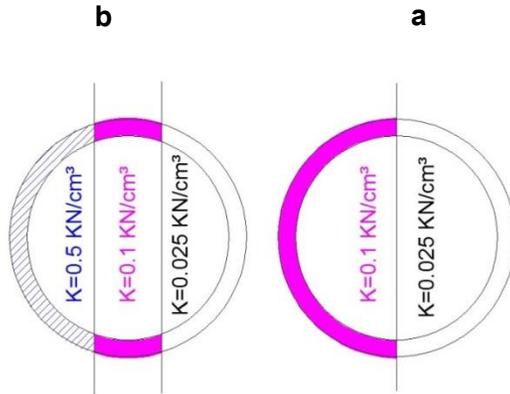
MAX Bending moment			
K(KN/cm³)	0.1	0.05	0.025
SAP2000	7.19	7.74	8.1
Indian Standard (Hinged)	9.72	9.72	9.72
deviation	26%	20%	17%
Indian Standard (Fixed)	-26.35	-26.35	-26.35
deviation	73%	71%	69%

نلاحظ فروق كبيرة في العزوم بحالة اعتبار الكود الهندي اتصال الجدران بالقاعدة متمفصل عنها في النموذج الحاسوبي وقد وصلت حتى نسبة 26%. وانقلبت إشارة العزم الأقصى بحال الموثوقة و قيم العزوم القصوى تكون عند الوثاقفة وقد وصلت الفروقات نسبة 73% .

4-4- مقارنة نتائج النموذج الحاسوبي مع نتائج المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل [1] والكود الهندي [2] بحال عدم تجانس التربة وتغير معامل الانضغاطية K :

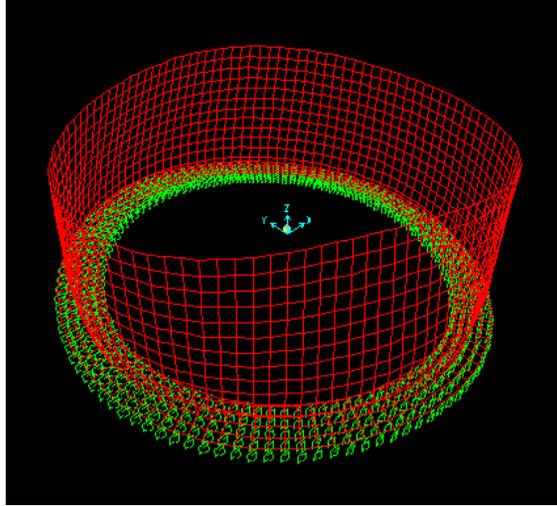
قد لا تكون تربة التأسيس متجانسة الخصائص أسفل الخزان وخصوصاً في الخزانات ذات الأقطار الكبيرة لذلك تم افتراض تغير معامل استجابة التربة أسفل الأساسات على افتراضين يوضحهما الشكل (4-12) إن القوى التي تنتج في الجدران ستكون مختلفة من نقطة لأخرى إذ إن هذا الافتراض سينتج عنه هبوط في منطقة أسفل الأساس الشريطي أكثر من الأخرى وبالتالي لا يمكن تمثيل القوى في الجدران من خلال المخططات وسيتم الاكتفاء بمقارنة القيم القصوى الناتجة في هذه الحالة مع القيم القصوى في حال اعتبار التربة متجانسة وبيان الفارق. تم افتراض حالتين:

- الحالة الأولى a :** قيمتين للمعامل K ($K=0.1$, $K=0.025 \text{ KN/cm}^3$).
- الحالة الثانية b :** ثلاث قيم للمعامل K ($K=0.1$, 0.5 , 0.025 KN/cm^3).

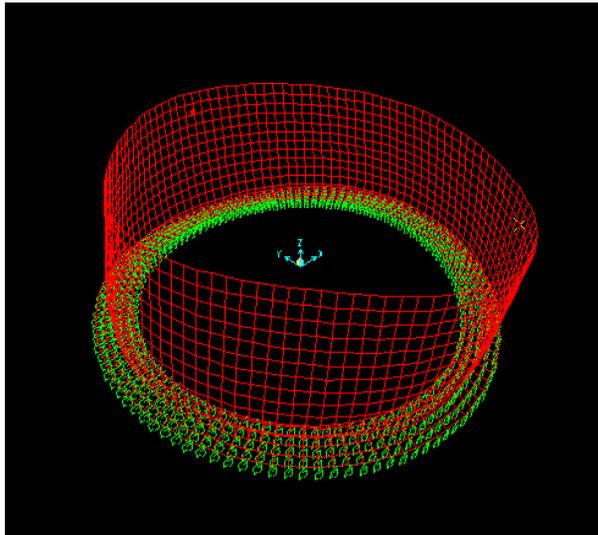


الشكل (4-12) تغير مقطع التربة أسفل الأساس الشريطي وفق النموذج المعتمد.

يبين الشكلان (13-4) و(14-4) شكل التشوه الحاصل في جدران الخزان والنتيجة عن الحالتين المدروستين.



الشكل (4-13) شكل التشوه في جدران الخزان والنتائج عن تطبيق الحالة a.



الشكل (4-14) شكل التشوه في جدران الخزان والنتائج عن تطبيق الحالة b.

يبين الجدول (4- 8) قيم قوى الشد الحلقي وعزوم الانعطاف القصوى في جدار الخزان للحالتين المدروستين (تمت المقارنة مع القيمة الأخطر بين حالات التربة الثلاث في النموذج الحاسوبي للتربة المتجانسة) :

الجدول (4- 8) القيم القصوى للشد الحلقي وعزوم الانحناء في جدار الخزان تبعاً للحالتين a,b .

-	Max Ring Force (KN)	Max Moment (KN.m)
الحالة (a)	333.9	-12.97
Max (sap2000)	314.2	8.1
deviation	%6	%37
Max (Ind standared)	323.03	-26.35
deviation	%3	%103
الحالة (b)	325.49	-14.32
Max (sap2000)	314.2	8.1
deviation	3.50%	%43
Max (Ind standared)	323.03	-26.35
deviation	%1	%84

5- النتائج والتوصيات:

5-1- النتائج :

1- تزيد قيمة قوى الشد الحلقي القصوى باستعمال العلاقات التحليلية عن قيمة القوى وفق النموذج الحاسوبي بنسبة لا تزيد عن 5% لحالات التربة المدروسة، لذلك يمكن القبول بالنتائج الناتجة عنها وفق النموذج المطروح. بينما تزيد قيمة عزوم الانحناء القصوى باستعمال العلاقات التحليلية عن قيمة القوى وفق النموذج الحاسوبي بنسبة لا تزيد عن 12% لحالات التربة المدروسة، لذلك يمكن القبول بالنتائج الناتجة عنها وفق النموذج المطروح. وبناء على ذلك يمكن القبول بنتائج العلاقات في المرجع [1] .

2- لا يعبر تمثيل جدران الخزان للحالة المدروسة بشكل وثيقة تامة مع الأساس أو بشكل مفصلي عن السلوك الفعلي لها، وإنما يكون السلوك الحقيقي بين المتمفصل والموثوق، فلا يكون الشد الحلقي معدوماً عند الاتصال بين الجدار والقاعدة كما تفترض حالة الموثوق، ولا يكون العزم معدوماً كما تفترض حالة المتمفصل.

3- وصلت الفروق في القيم القصوى للشد الحلقي بين النموذج الحاسوبي والكود الهندي [2] لنسبة 14% بحالة الشد، وصلت لغاية 73% في عزوم الانحناء. وهي قيم كبيرة وبالتالي فإنه من الضروري أخذ الأثر المتبادل بين التربة والمنشأ وعدم الاعتماد فقط على الطرائق الكلاسيكية في التصميم للوصول إلى تصميم أكثر دقة.

4- بحال تغير تجانس تربة التأسيس وتبعاً للحالة المدروسة فإن قيم الشد الحلقي زادت عن حالة النموذج الحاسوبي بتربة متجانسة وبنسبة وصلت حتى 6%، بينما وصلت نسبة الزيادة في عزوم الانحناء 43%، مما يعني ضرورة النمذجة الدقيقة للحالة المدروسة للحصول على قيم حقيقية تلافياً لحدوث نقص في قيم القوى التصميمية.

5-2- التوصيات:

تدقيق علاقات الحالات الأخرى في المرجع في الجدران الاستنادية وخزانات السوائل البيتونية [1]، والتي لم تتم دراستها (كحالة الخزانات المتعددة)، وإجراء الدراسة بتغيير الافتراضات مثل اعتبار الجدران متغيرة السماكة، أو اعتبار مخطط حمولة دفع السائل شبه منحرف، أو اعتبار الخزان مطمور، أو اعتبار وجود بلاطة تغطية (سقف الخزان).

6 - المراجع :

In Arabic

[1] MAHMOUD.G, 2004- The Reference in Concrete RWs and Liquid Tanks. Damascus University Publishes, 1st Edition, Syria, 582p.

In English

- [2] INDIAN STANDARD, 2008- Code of Practice for Concrete Structures for Storage of Liquids. Bureau of Indian Standards, Part IV-2004. New Delhi, India.
- [3] BOOKER.J.R and SMALL.J.C, 1983- The analysis of liquid storage tanks on deep elastic foundations, International Journal For Numerical and Analytical Methods in Geo-mechanics, Vol. 7, 187-207.
- [4] KUKRETI.A.R, ZAMAN.M and ISSA.A, 1993- Analysis of fluid storage tanks including foundation-superstructure interaction, Appl. Math. Modelling, Vol. 17, 618-631.
- [5] KUKRETI.A and SIDDIQI.Z, 1997- Analysis of fluid storage tanks including foundation-superstructure interaction using differential quadrature method, Appl. Math. Modelling, Vol. 21, 193-205.
- [6] EL MEZZAINI.N, 2006- Effects of soil-structure interaction on the analysis of cylindrical tanks, Practice periodical on structural design and construction, Vol. 11. 01, 50-57.
- [7] PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA), 1993- Circular concrete tanks without prestressing. PCA, Skokie III, IL, USA, 32p.
- [8] VICHARE.S and INAMDAR.M, 2010- An analytical solution for cylindrical concrete on deformable soil, International Journal of Advanced Structural Engineering, Vol. 2, No. 1, 69-90.
- [9] MISTRIKOVA.Z and JENDZELOVSKY.N, 2011- Static Analysis of the Cylindrical tank Resting on Various Types of Subsoil, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 18, NO. 5, 744-751.

- [10] DEHADRAI.V.P and INGLE.R.K, 2016- An analytical solution for hoop tension in liquid storage cylindrical tanks, The Indian Concrete Journal, p56-63.
- [11] DAFTARDAR.A, VICHARE.S and VASHI.J, 2017- An analytical solution for hoop tension in liquid storage cylindrical tanks, International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS), Vol. 4, NO. 7, 99-104.
- [12] SILVA.RL.C, MARQUES.G.B, LAGES.E.N and MARQUES.S.P.C, 2019- Analytical study of cylindrical tanks including soil-structure interaction, Ibracon Structures and Materials Journal, Vol. 12, 14 – 22.
- [13] LEWINSKI.P and RAK.M, 2019- Soil-Structure Interaction of Cylindrical Tank of Variable Wall Thickness under the Thermal Gradient Conditions, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1-10.