

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 44 . العدد 14

1443 هـ - 2022 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) مئتا 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
42-11	د.إحسان الطرشة د.عبد الرحمن عيسى م.محمد رافع أبو حسين	دراسة تأثير جدران البلوك الإسمنتي على الأداء الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة
86-43	م. مضر عبيدو د. تراث غريب	دراسة تأثير تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون على السلوك الزلزالي للإطارات
108-87	د. نجلا الحسن	تأثير الروابط البنيوية على تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية
138-109	م. نغم طالب د.فايز سليمان د.يسام سلطان د.ياسم علي	دراسة تأثير إضافة الجرافيت في تقادم الخلانط الإسفلتية الساخنة

158-139	م. ياسر ناصر د. عبد الرحمن عيسى	"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة الحملات الانفجارية"
---------	------------------------------------	--

دراسة تأثير جدران البلوك الإسمنتي على الأداء الزلزالي للإطارات البيتونية المسلحة

د.م إحسان الطرشة¹ د.م عبد الرحمن عيسى² م. محمد رافع أبو حسين³

المُلخَص

يقدم هذا البحث دراسة تحليلية لمعرفة السلوك اللاخطي للإطارات البيتونية الحاوية على جدران البلوك الإسمنتي (الإطارات الملية)، ومقارنة التغيرات الطارئة على سلوك الإطارات البيتونية نتيجة لإدخال تأثير جدران البلوك خلال عملية التحليل. تم اعتماد طريقة الدعامه القطرية المكافئة والمقترحة من قبل مجموعة من الباحثين لتمثيل جدران البلوك الإسمنتي أثناء التحليل، تم الاعتماد على نموذج مكون من ست طوابق وأربع مجازات لمقارنته مع باقي النماذج التي تم إدخال تأثير جدران البلوك ضمنها والتي تختلف عن بعضها البعض بنسبة الإملاء ومكان توضع الجدران مع الحفاظ على استمرارية وجود جدران البلوك من الأسفل إلى الأعلى تجنباً لتشكل الطابق الضعيف. أظهرت الدراسة التحليلية زيادة صلابة الإطار حيث وبلغت نسبة الزيادة 69% في النموذج الثالث، وانخفضت قيم الانتقالات في الإطارات بشكل واضح نتيجة لإدخال صلابة الجدران أثناء التحليل حيث بلغت نسبة الانخفاض 71% في النموذج الثالث، كما تغيرت قيم القوى الداخلية ضمن الأعمدة حيث ازدادت القوة المحورية وتناقصت بنسب مختلفة حسب أماكن توضع الجدران بالنسبة للأعمدة، بينما تناقصت قيم عزم الانعطاف بشكل عام نتيجة لمقاومة الجدران جزءاً من قوة القص القاعدي.

الكلمات المفتاحية: إطارات ملية، جدران البلوك، الدعامه القطرية المكافئة، تحليل استاتيكي لاختي، SAP2000 .

¹ أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- الجامعة الوطنية- حماه- سوريا

² أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا

³ طالب دراسات عليا (ماجستير) في قسم الهندسة الإنشائية- كلية الهندسة المدنية- جامعة البعث- حمص- سوريا

Effect of Cement Block Walls on the Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame

Dr. Eng. Ihssan AL Tarsha¹

Dr. Eng. Abd Alrahman Isaa²

Eng. Mohammad Rafea AL Abo Husin³

Abstract

This research presents an analytical study to investigate the nonlinear behavior of the concrete frame which contain the cement block walls (infilled frames) and to compare the changes in the behavior of the concrete frame as a result of introducing the effect of the cement block walls during the analysis process. The method of the equivalent diagonal strut proposed by a group of researchers was adopted to represent the cement block walls. During the analysis, a model consisting of six stories and four spans was relied upon to compare it with the rest of the models in which the effect of the block walls was introduced, which differ from each other by the percentage fullness and the placement of the walls While maintaining the continuity of the block walls from the bottom to the top to avoid the formation of a weak story. The analytical study showed an increase in the rigidity of the frame, as the percentage of increase was 69% in the third model, and the values of the displacement in the frames decreased clearly as a result of the introduction of the stiffness of the walls during the analysis, as the percentage of decrease was 71% in the third model, and the values of the internal forces within the columns also changed, as the axial force increased And they decreased in different proportions according to the places where the walls were placed in relation to the columns, while the values of the bending moment decreased in general as a result of the walls resisting part of the base shear force.

Key words: infilled frame, block walls, equivalent diagonal strut, pushover analysis , SAP2000.

¹ Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Wataniya Private University, Hama, Syria.

² Professor, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Baath University, Homs, Syria.

³ Postgraduate Student, Structural Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, AL-Baath University, Homs, Syria.

1- مقدّمة:

ينتشر استخدام جدران البلوك الإسمنتي في أعمال البناء بشكل واسع في جميع أنحاء العالم ومن ضمنها الجمهورية العربية السورية، حيث تستخدم جدران البلوك الإسمنتي كجدران خارجية لحماية المنشآت من العوامل المحيطة وكجدران داخلية لتقسيم فراغ هذه المنشآت، يتم إدخال هذه الجدران بحسب تصنيفها خلال عملية التصميم التقليدية كحمولات دائمة تؤثر على العناصر الحاملة لها مع إهمال أي دور لها في مقاومة الحمولات المؤثرة على المنشأ باعتبارها عناصر غير إنشائية.

يغلب استخدام نظام الإطارات البيتونية المسلحة في المباني حيث تؤمن هذه الإطارات مطاوعة جيدة أثناء الزلازل إلا أنها تمتلك صلابة جانبية قليلة ربما تؤدي إلى إزاحة جانبية كبيرة غير مرغوب فيها أثناء الزلزال، يتم بناء جدران البلوك داخل هذه الإطارات البيتونية بعد تصلبها، وتكون على تماس مباشر معها دون وصلات.

وفق [1] Penelis & Kappos تمتلك جدران البلوك عموماً متانة وصلابة كبيرتين، وهي تؤثر بشكل ملحوظ على استجابة الجملة الإنشائية وسلوكها تحت تأثير الحمولات الأفقية وفقاً لما يلي:

- تزيد من صلابة المنشأ وتخفف الدور الأساسي له، مما يرفع من قيمة القص القاعدي.
- تعدل توزيع الصلابات.
- تزيد من قدرة المنشأ على تبديد الطاقة.
- تتحمل جدران البلوك جزءاً من الأفعال الزلزالية وبالتالي تساعد الجملة الإنشائية في ذلك.

قد تساهم هذه الجدران من خلال صلابتها مع الإطارات المحيطة بها في مقاومة المباني للحمولات الجانبية الناتجة عن حدوث الزلازل، ويسمى نظام (جدار - إطار) بالإطارات المليئة (Infilled frame).

يعد تمثيل هذه الجدران أثناء التحليل بشكل دقيق أمراً ليس بالسهل بسبب كثرة المتغيرات المؤثرة في سلوكها أثناء تعرضها للحمولات الجانبية، من أجل هذه الأسباب عمد الكثير من الباحثين لإجراء التجارب على الإطارات المليئة لفهم آلية عملها تحت تأثير الحمولات الجانبية والعمل على إيجاد نماذج مبسطة يمكن الاعتماد عليها في عملية التحليل عند دراسة المباني الحاوية على مثل هذه الأنظمة (الإطارات المليئة).

تشير التجارب إلى أن جدران الإملاء تزيد من الصلابة الجانبية للإطارات، كما أنها تزيد الكتلة مما يؤدي إلى قوة زلزالية أكبر ودور اهتزاز أقل حيث يعتبر هذا تحسن في الاستجابة الزلزالية للإطارات بالمقارنة مع الإطارات الخالية من الجدران، لذلك من المهم الأخذ بعين الاعتبار الفعل المشترك بين جدران البلوك والإطارات المحيطة بها خلال تحليل وتصميم هذه الإطارات.

2- هدف البحث:

إجراء دراسة تحليلية للمقارنة بين الاستجابة الزلزالية للإطارات المستوية في حال إهمال جدران البلوك الإسمنتي وعند أخذ هذه الجدران بعين الاعتبار من خلال مقارنة الانتقالات و القوى الداخلية ضمن أعمدة الإطار.

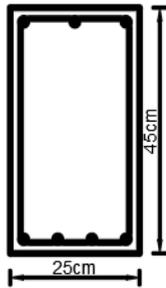
3- مواد وطرق البحث:

بالاستعانة ببرنامج SAP2000 تم إجراء تحليل استاتيكي لاخطي (Pushover) لأربع نماذج من الإطارات البيتونية، تختلف عن بعضها البعض بعدد فتحات الإطار الحاوية على جدران البلوك ومكان توضع هذا الجدران كما هو موضح بالجدول (1)، يوضح

الشكل (1) مقاطع كل من أعمدة وجوائز الإطارات والتي تم فيها استخدام بيتون ذو مقاومة على الضغط $f'_c = 20 MPa$ و فولاذ تسليح ذو إجهاد خضوع $f_y = 400 MPa$.

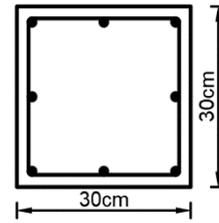
الجدول (1) وصف نماذج الإطارات وعدد المجازات المملوءة بالجدران.

النموذج	الرمز	الوصف
الأول	BF	لم يتم إدخال تأثير صلابة جدران البلوك الشكل (2)
الثاني	FIF	جدران البلوك موجودة في جميع مجازات الإطار الشكل (3)
الثالث	IIS1	جدران البلوك موجودة في مجاز واحد الشكل (4)
	IIS2	جدران البلوك موجودة في مجاز واحد الشكل (5)
	IIS3	جدران البلوك موجودة في مجاز واحد الشكل (6)
	IIS4	جدران البلوك موجودة في مجاز واحد الشكل (7)
الرابع	I2S1	جدران البلوك موجودة في مجازين الشكل (8)
	I2S2	جدران البلوك موجودة في مجازين الشكل (9)
	I2S3	جدران البلوك موجودة في مجازين الشكل (10)



مقطع الجوائز

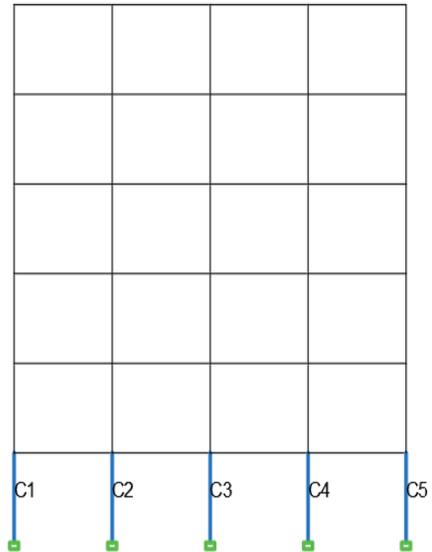
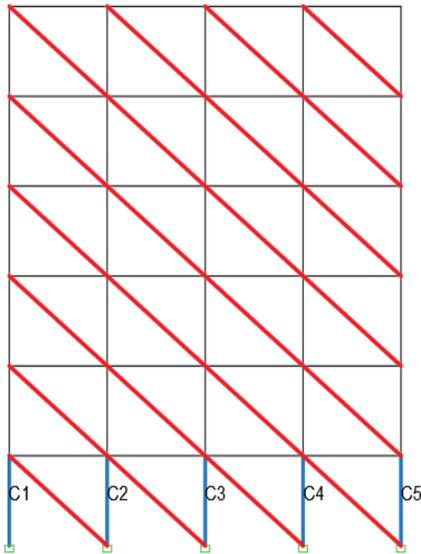
(التسليح علوي 3T12 سفلي 4T12)



مقطع الأعمدة

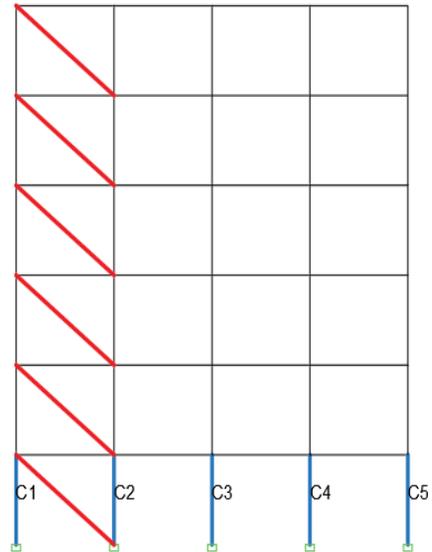
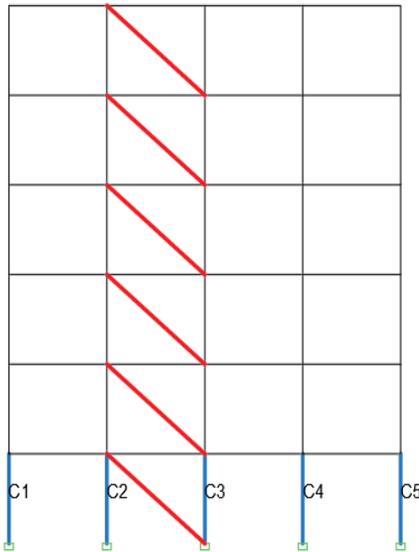
(التسليح 8T12)

الشكل(1):مقطع كل من أعمدة وجوائز الإطارات



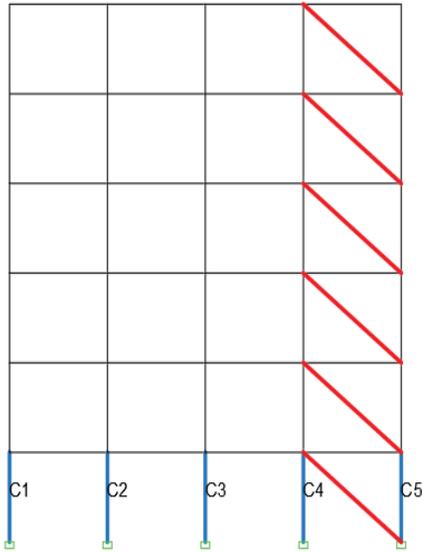
الشكل(3): النموذج FIF

الشكل(2): النموذج BF

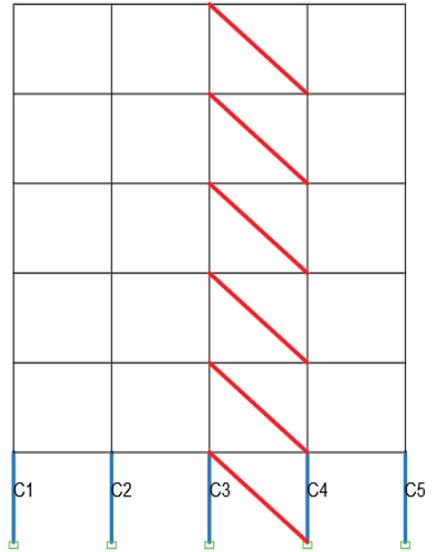


الشكل(5): النموذج IIS2

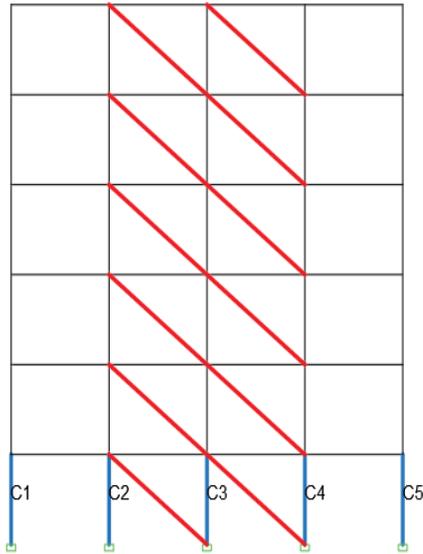
الشكل(4): النموذج IIS1



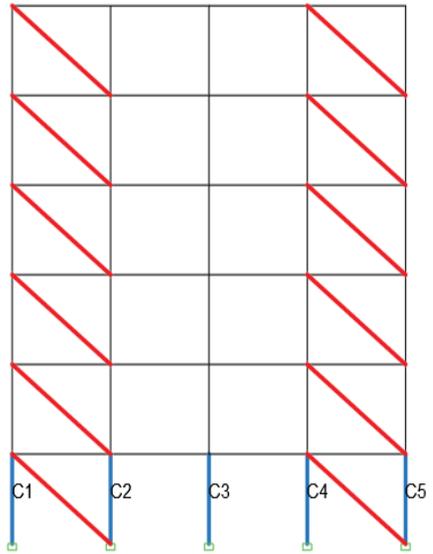
الشكل (7): النموذج I1S4



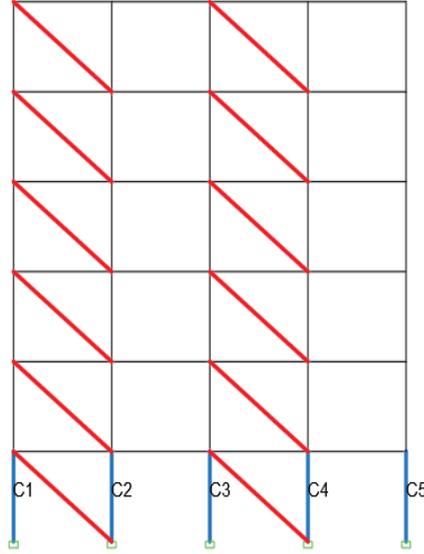
الشكل (6): النموذج I1S3



الشكل (9): النموذج I2S2



الشكل (8): النموذج I2S1



الشكل (10): النموذج I2S3

ومن أجل نمذجة جدران البلوك ضمن برنامج SAP2000 تم الاعتماد على العلاقات المقترحة من قبل الوكالة الفدرالية الأمريكية للطوارئ FEMA306 [2] لتمثيل الدعامة القطرية المكافئة الشكل (11) بالسماكة الفعلية للجدار التي يتصل من خلالها مع الإطار (t_{inf}) وطول قطر الجدار (d_{inf}) والعرض الفعال W المعطى بالعلاقة:

$$W = 0.175d_{inf} \cdot (\lambda_h \cdot H_{inf})^{-0.4} \quad (1)$$

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_c \cdot I_c \cdot H_{inf}}} \quad (2)$$

حيث:

$t; H_{inf}; E_{inf}$ - عبارة عن السماكة والارتفاع ومعامل المرونة الطولي للجدار على التوالي.

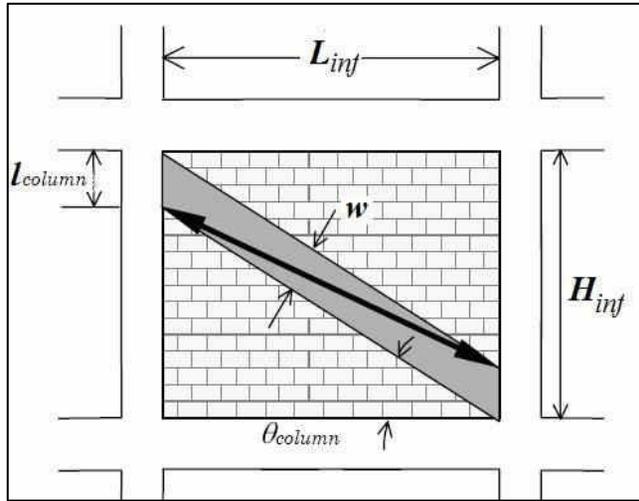
θ - الزاوية بين قطر الجدار والأفق.

E_c - معامل المرونة الطولي للعمود.

I_c - عزم العطالة للأعمدة.

H - إجمالي ارتفاع الإطار.

λ_h - معامل لا بعدي (يأخذ بعين الاعتبار تأثير الصلابة النسبية للجدار على الإطار).



الشكل (11): توضيح موضع الداعمة بالنسبة لعناصر الإطار [3]

تم حساب أبعاد الدعامة القطرية المكافئة باستخدام العلاقات الموضحة سابقا (1-2) مع الأخذ بعين الاعتبار المواصفات التالية لجدران البلوك الإسمنتي، $t = 200 \text{ mm}$ ،

$$E_{inf} = 3300 \text{ MPa} , H_{inf} = 305 \text{ cm} , L_{inf} = 400 \text{ cm}$$

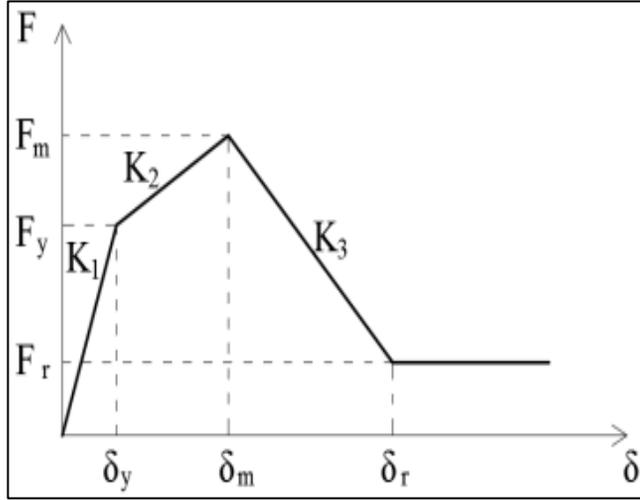
من أجل نمذجتها ضمن برنامج SAP2000.

$$\lambda_h = \sqrt[4]{\frac{E_{inf} \cdot t \cdot \sin 2\theta}{4E_c I_c H_{inf}}} = \sqrt[4]{\frac{3300 \cdot 200 \cdot \sin(2 \cdot 37.33)}{4 \cdot 25491 \cdot \left(\frac{300 \cdot 300^3}{12}\right) \cdot 3050}} = 0.001319$$

$$W = 0.175 d_{inf} \cdot (\lambda_h \cdot H_{inf})^{-0.4} \\ = 0.175 \cdot 5030 \cdot (0.001319 \cdot 3050)^{-0.4} = 475 \text{ mm}$$

إلا أن تقدير الخصائص اللاخطية لمقاومة وصلابة جدران البلوك أثناء الاستجابة غير المرنة هي القضية الأولية التي يجب مراعاتها في التحليل اللاخطي. ولذلك من الضروري تكوين علاقات واقعية بين القوة والإزاحة قادرة على تمثيل السلوك اللاخطي للدعامة المكافئة، وذلك ليس بالأمر السهل. لذلك، تم تقديم العديد من المقترحات المختلفة لتحديد خصائص صلابة ومقاومة جدار البلوك ومجموعة من القوانين لرسم العلاقة اللاخطية بين القوة و الإزاحة F-D و المكونة من ثلاثة أو أربعة أجزاء والتي تم تطويرها بشكل أساسي لجدران البلوك الصلبة من خلال مجموعة من الأبحاث [4] - [9].

النموذج المقترح من قبل [5] Panagiotakos and Fardis والذي تم الاعتماد عليه في تعريف المفصل اللدن للدعامة القطرية المكافئة، والذي يظهر علاقة القوة-إزاحة لجدار البلوك كما في الشكل (12).



الشكل (12): علاقة القوة-إنتقال لجدار البلوك والمقترحة من قبل [5]

يتكون النموذج المقترح من قبل [5] Panagiotakos and Fardis من أربعة أجزاء. تم تحديد ميل الجزء الأول والممثل بصلاصة القص الأولية للجدار غير المتشقق (K_1)، على النحو التالي:

$$K_1 = \frac{G_w \cdot L_{in} \cdot t_w}{H_{in}} \quad (3)$$

حيث: G_w - معامل القص للجدار. H_{in} و L_{in} - ارتفاع وطول الجدار. t_w - سماكة الجدار.

ترتبط قوة الخضوع (F_y) المسببة للتشقق الأولي ضمن الجدار (قوة التشقق) بمقاومة الشد للجدار (F_{tp}) والتي يتم الحصول عليها من اختبار الضغط المائل، ويتم تحديد قيمة (F_y) باستخدام المعادلة التالية:

$$F_y = F_{tp} \cdot L_{in} \cdot t_w \quad (4)$$

يتوافق الجزء الثاني مع تشكل مسار الضغط القطري داخل جدار البلوك. وفقاً لذلك، فإن الصلابة المحورية للدعامة القطرية المكافئة (K_2) تعطى بالعلاقة:

$$K_2 = \frac{E_{me} \cdot a_w \cdot t_w}{r_w} \quad (5)$$

يفترض النموذج المقترح أن تكون النسبة بين أقصى قوة (F_m) وقوة التشقق (F_y) تساوي 1.3. يتم تحديد الإزاحة (δ_m) المقابلة للقوة القصوى (F_m) من العلاقة التالية:

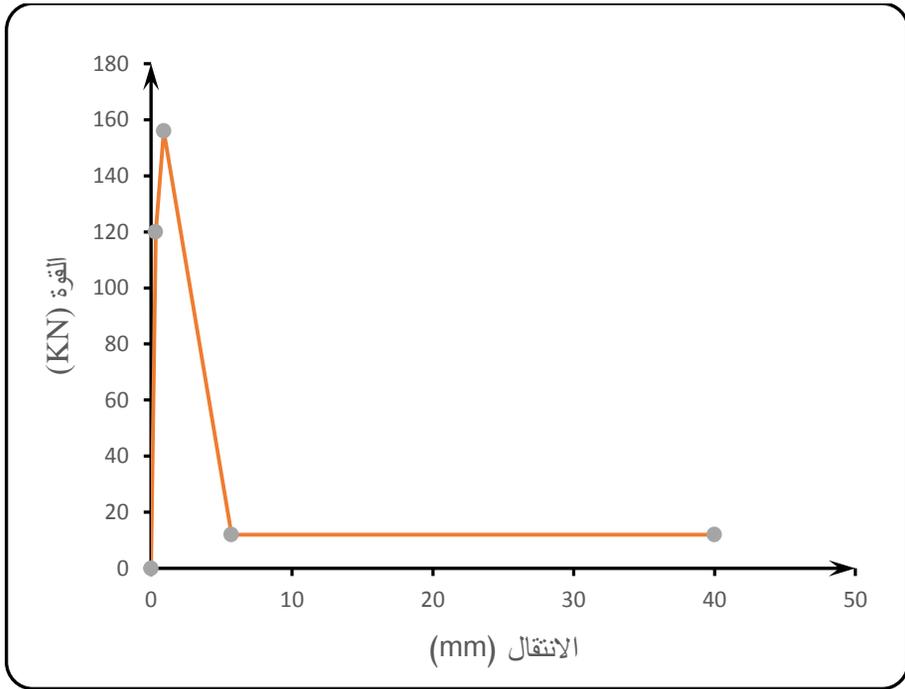
$$\delta_m = \delta_y + \frac{F_m - F_y}{K_2} \quad (6)$$

حيث: δ_y الإزاحة الموافقة للقوة المسببة لظهور التشققات ضمن الجدار.

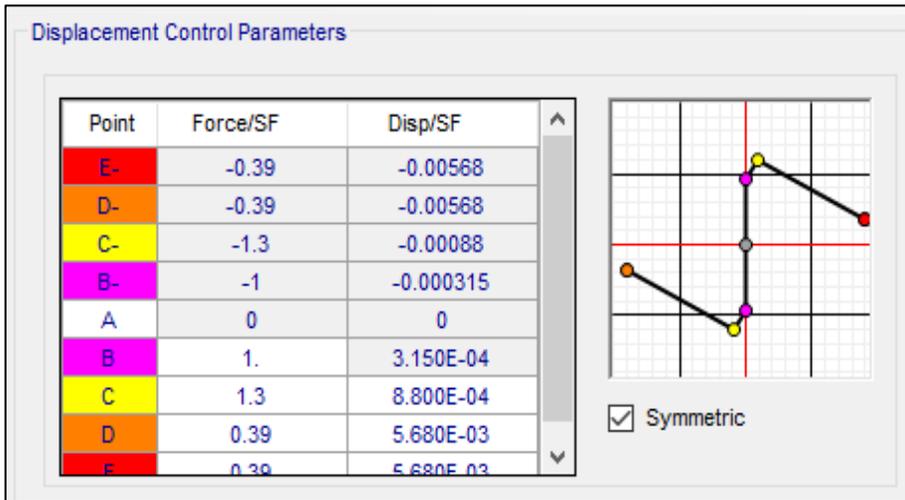
يفترض النموذج المقترح أن تتراوح صلابة الجدار والممثلة بالجزء الثالث من مخطط القوة-إزاحة والتي توافق وصول الجدار الى مرحلة اللدونة بين القيم ($0.005K_1 \leq$ $K_3 \leq 0.1K_1$) ويفترض أن القوة المتبقية (F_r) التي يمكن للجدار مقاومتها تتراوح بين القيمتين ($0.05F_y \leq F_r \leq 0.1F_y$) بينما يتم حساب الإزاحة الموافقة لها (δ_r) من خلال العلاقة التالية:

$$\delta_r = \delta_m + \frac{F_m - F_r}{K_3} \quad (7)$$

يصف الجزء الرابع من المخطط والمميز بقوة متبقية ثابتة الحالة النهائية لجدار البلوك. يبين الشكل (13) العلاقة قوة-إزاحة لجدران البلوك المستخدمة في كافة نماذج الدراسة بعد حساب العلاقات (3-7) اللازمة لرسمه، والذي تم إعماله في تمثيل المفصل اللدن ضمن الدعامة القطرية المكافئة للجدران أثناء التحليل الاستاتيكي اللاخطي ضمن برنامج SAP2000 كما هو موضح في الشكل (14).



الشكل (13): علاقة القوة-الانتقال لجدار البلوك



الشكل (14): تعريف المفصل اللدن الخاص بالدعامة القطرية المكافئة

4- النتائج ومناقشتها:

1-4 منحنى الدفع:

تم إجراء تحليل استاتيكي لاختي (Pushover) لمعرفة التغيرات الناتجة في استجابة النماذج المختلفة نتيجة لإدخال جدران البلوك الإسمنتي أثناء التحليل، تم تعريف حالات التحميل اللازمة لهذا التحليل بما يتوافق مع [10] [11] كما يلي:

حالة التحميل الأولى: وهي عبارة عن تطبيق حمولات شاقولية (Gravity) ممثلة بالحمولات الميتة المطبقة على الإطار بشكل متزايد حتى الوصول إلى كامل القوة الشاقولية المعرفة والتي تمثل بداية لحالة التحميل الثانية والممثلة بالقوة الجانبية المعبرة عن الزلزال ، حيث يتم تحليلها بطريقة استاتيكية لاختية يكون التحكم فيها بالقوة، يوضح الشكل (15) تعريف هذه الحمولات.

حالة التحميل الثانية: وهي عبارة عن تطبيق حمولات جانبية أفقية (Lateral) متزايدة تستعمل في دفع الجملة ورسم منحنى الدفع. تم استخدام نموذج حمولات مشابه للطور الأول، وتطبق هذه القوة بالاتجاه X انطلاقاً من نتائج التحليل اللاختي الخاصة بحالة التحميل الأولى، تم تعريف حالة التحميل الثانية كما هو موضح بالشكل (16).

S Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Gravity [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [Gravity]

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.
Load Pattern	DEAD	1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: MSSSRC1

[OK] [Cancel]

الشكل (15): تعريف حالة التحميل الأولى

S Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: push over [Set Def Name] [Modify/Show...]

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- Continue from State at End of Nonlinear Case [Gravity]

 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	-1.
Mode	1	-1.

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

- Load Application: Displ Control [Modify/Show...]
- Results Saved: Multiple States [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Analysis Type:

- Linear
- Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters:

- None
- P-Delta
- P-Delta plus Large Displacements

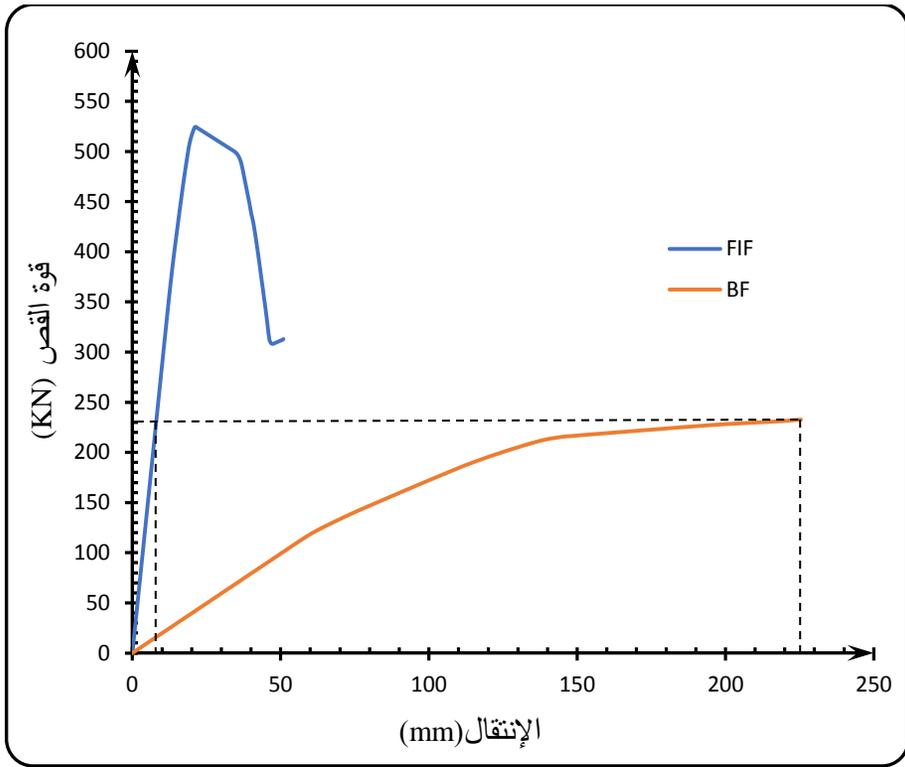
Mass Source: MSSSRC1

[OK] [Cancel]

الشكل (16): تعريف حالة التحميل الثانية

4-1-1 مقارنة نتائج منحنى الدفع للنموذج الثاني مع النموذج الأول:

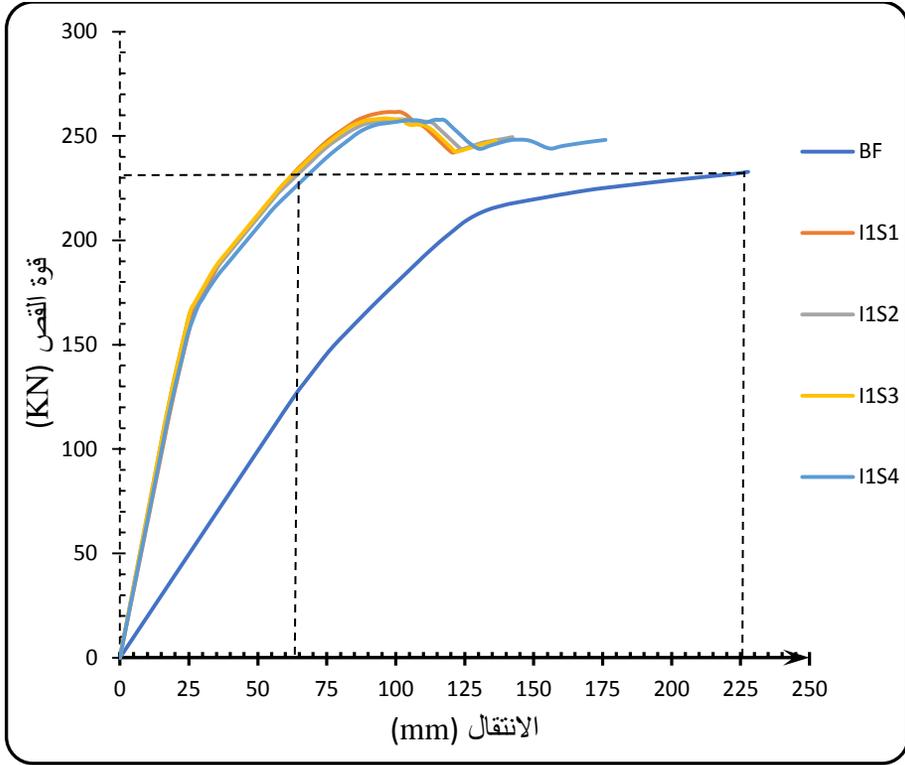
يبين منحنى الدفع لكل من النموذجين (BF, FIF) الموضح بالشكل (17) الزيادة الكبيرة في صلابة النموذج (FIF) نتيجة لإدخال تأثير جدران البلوك الإسمنتي المتواجدة في جميع المجازات، حيث بلغت هذه الزيادة %93. بينما بلغت قيمة الانتقالات الموافقة لقوة القص KN 232 في النموذج (BF) 225mm وفي النموذج (FIF) 8.08mm، أي انخفضت قيمة الانتقالات نتيجة ادخال تأثير جدران البلوك بنسبة %96.4.



الشكل (17): منحنى الدفع للنموذجين BF, FIF

4-1-2 مقارنة نتائج منحنى الدفع للنموذج الثالث مع النموذج الأول:

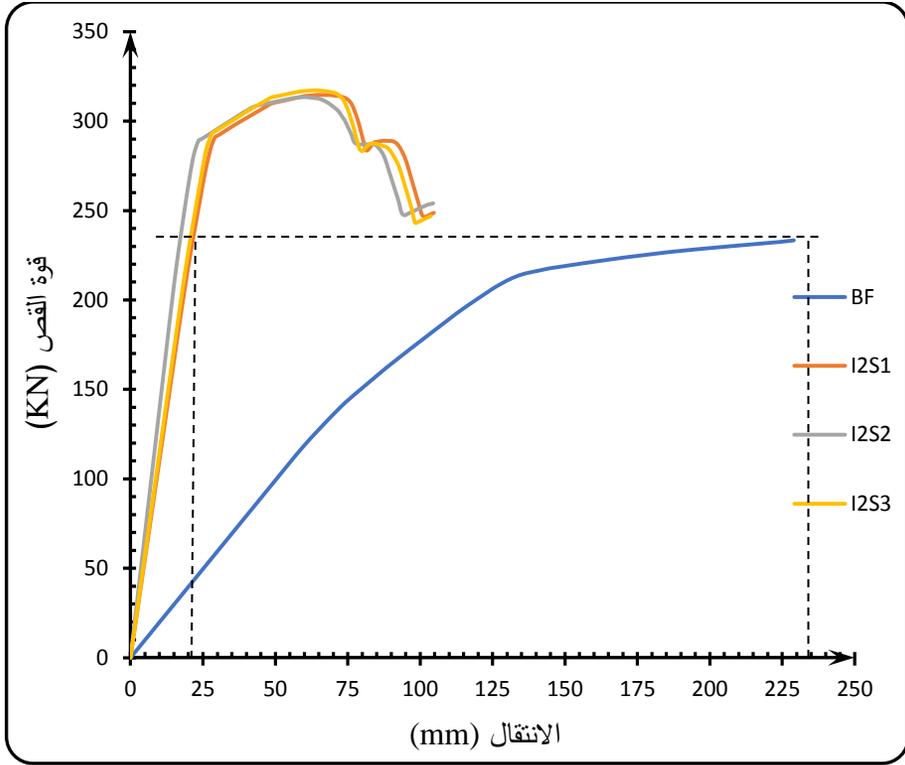
من خلال مقارنة منحنيات الدفع للنموذجين الأول (BF) والثالث (IIS1, IIS2, IIS3, IIS4) الموضحة بالشكل (18) يتبين زيادة قيمة صلابة الإطار في النموذج الثالث والحاوي على جدران البلوك الاسمنتي في مجاز واحد عن قيمة صلابة الإطار في النموذج الأول بنسبة 69%. بينما بلغت قيمة الانتقالات الموافقة لقوة القص 232 KN في النموذج الأول (BF) وفي النموذج الثالث (IIS1, IIS2, IIS3, IIS4) 225mm، أي انخفضت قيمة الانتقالات نتيجة ادخال تأثير جدران البلوك بنسبة 71%.



الشكل (18): منحنى الدفع للنماذج BF, IIS1, IIS2, IIS3, IIS4

3-1-4 مقارنة نتائج منحنى الدفع للنموذج الرابع مع النموذج الأول:

من خلال مقارنة منحنيات الدفع للنموذجين الأول (BF) والرابع (I2S1, I2S2, I2S3) الموضحة بالشكل (19) يتبين زيادة قيمة صلابة الإطار في النموذج الثالث والحاوي على جدران البلوك الاسمنتي في مجازين عن قيمة صلابة الإطار في النموذج الأول بنسبة 83%. بينما بلغت قيمة الانتقالات الموافقة لقوة القص 232 KN في النموذج الأول (BF) 225mm وفي النموذج الثالث (I1S1, I1S2, I1S3, I1S4) 21mm، أي انخفضت قيمة الانتقالات نتيجة ادخال تأثير جدران البلوك بنسبة 90.6%.



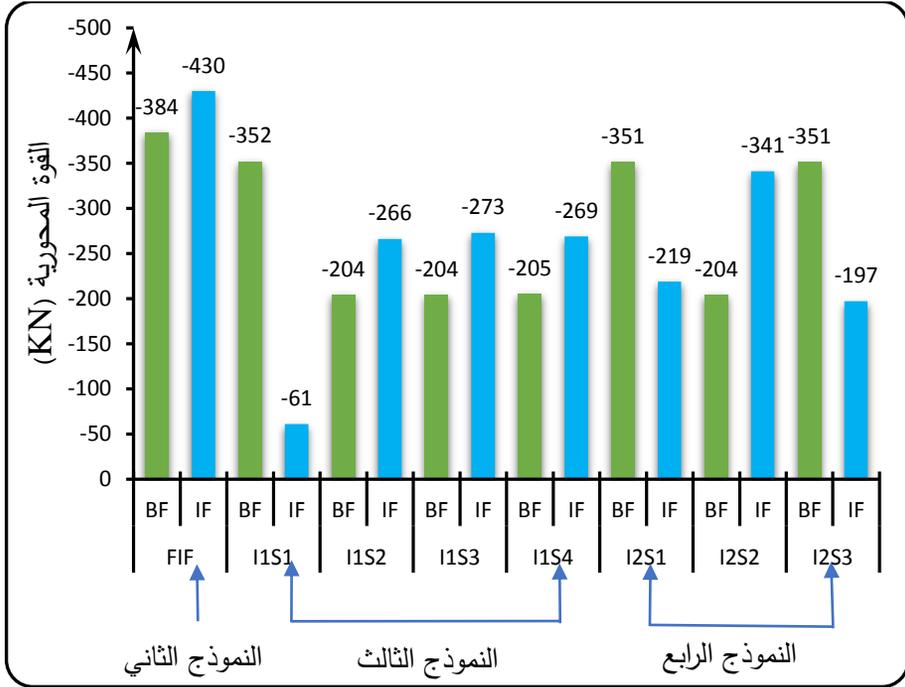
الشكل (19): منحنى الدفع للنماذج BF, I2S1, I2S2, I2S3

2-4 القوى الداخلية ضمن الأعمدة:

تمت مقارنة قيم القوى الداخلية (قوة محورية، عزم انعطاف) ضمن الأعمدة (C1,C2,C3,C4,C5) والموضحة في الشكل (2) وذلك عند قوة قص واحدة (232 KN) في جميع النماذج.

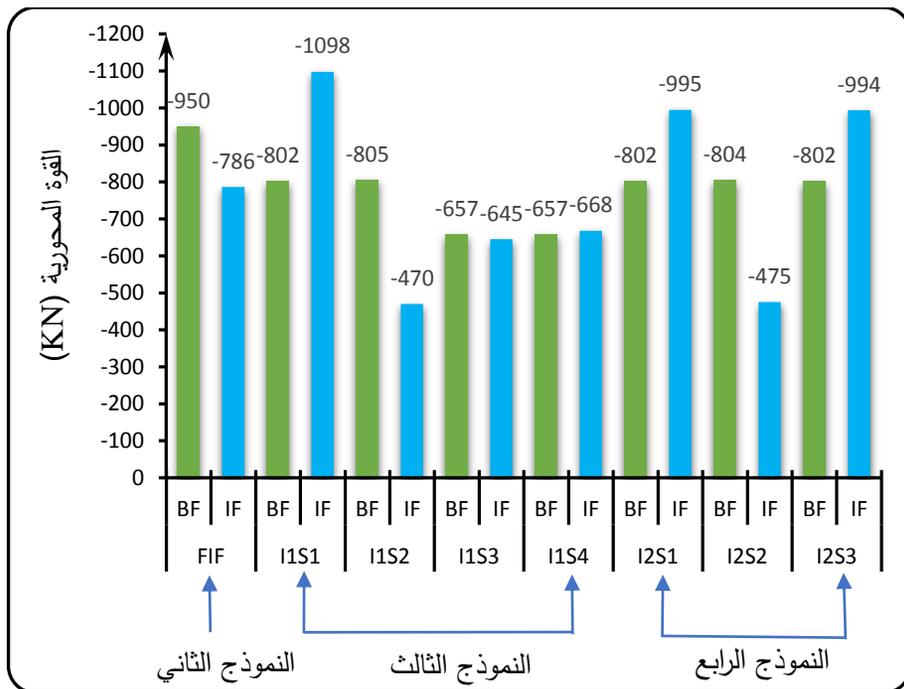
1-2-4 القوة المحورية ضمن الأعمدة:

يبين الشكل (20) تغير قيم القوة المحورية ضمن العمود C1. من خلال المخطط يتضح زيادة قيمة القوة المحورية في النموذج FIF بنسبة 12%، بينما بلغت نسبة الزيادة في النماذج (IIS2, IIS3, IIS4) 30%، في حين وصلت نسبة الزيادة إلى 67% في النموذج I2S2. بينما انخفضت قيمة القوة المحورية بنسبة 82% في النموذج IIS1، وبنسبة 37% في النموذج I2S1 وبنسبة 43% في النموذج I2S3، وذلك نتيجة وجود الدعامة القطرية الممثلة للجدران حيث تقوم بشد العمود الواقع قبلها من جهة تطبيق القوة مما يؤدي الى انخفاض القوة المحورية ضمنه، بينما تقوم بضغط العمود الواقع بعدها مما يسبب زيادة القوة المحورية ضمنه.



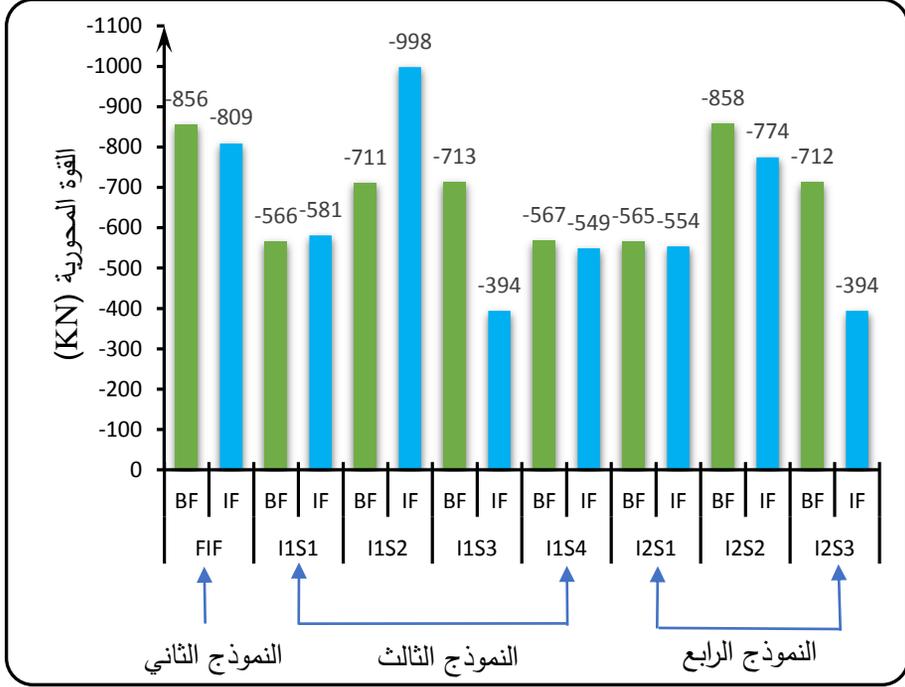
الشكل (20): قيم القوة المحورية ضمن العمود C1 لجميع النماذج

يبين الشكل (21) تغير قيم القوة المحورية ضمن العمود C2. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة القوة المحورية في النموذج FIF بنسبة 17%، في حين بلغت نسبة الانخفاض في النموذجين (I1S2, I2S2) 41%، بينما زادت قيمة القوة المحورية في النموذجين (I2S1, I2S3) بنسبة 24%. في حين بلغت الزيادة في القوة المحورية بنسبة 37% في النموذج I1S1، وفي النماذج I1S3, I1S4 لم يظهر تغير واضح في قيمة القوة المحورية ضمن العمود C2.



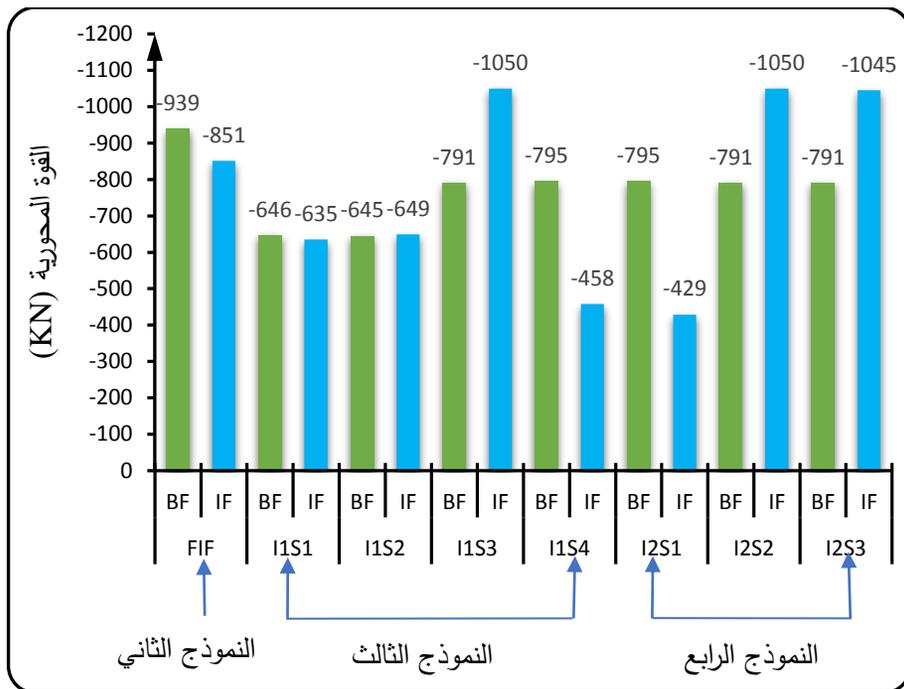
الشكل (21): قيم القوة المحورية ضمن العمود C2 لجميع النماذج

يبين الشكل (22) تغير قيم القوة المحورية ضمن العمود C3. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة القوة المحورية في النموذج FIF بنسبة 6%، في حين بلغت نسبة الانخفاض في النموذجين (I1S3, I2S3) 45% وبنسبة 10% في النموذج I2S2. بينما زادت قيمة القوة المحورية بنسبة 40% في النموذج I1S2، وكان تغير قيم القوة المحورية في النماذج (I1S1, I1S4, I2S1) طفيفاً.



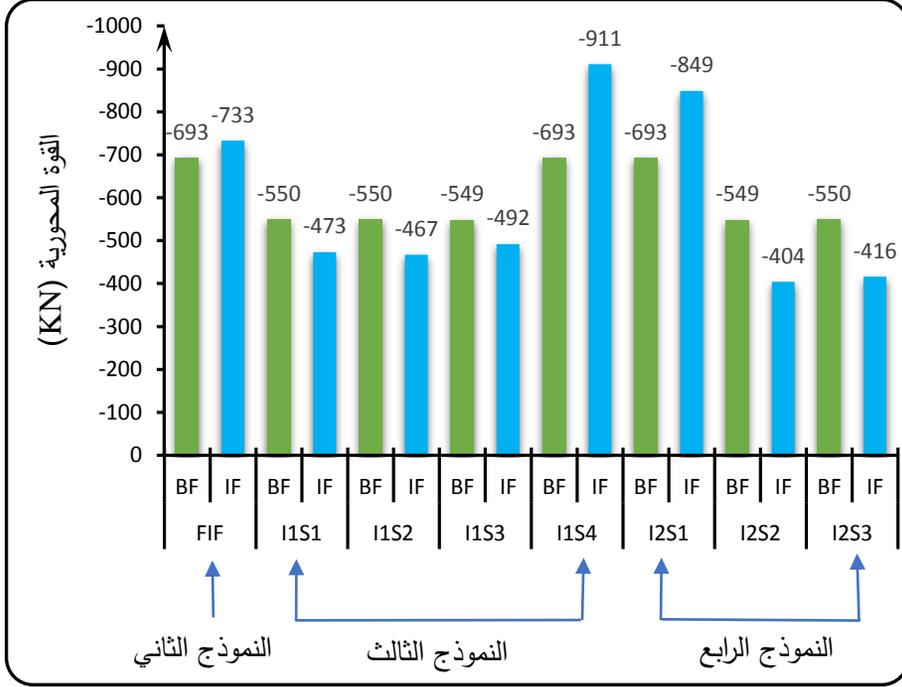
الشكل (22): قيم القوة المحورية ضمن العمود C3 لجميع النماذج

يبين الشكل (23) تغير قيم القوة المحورية ضمن العمود C4. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة القوة المحورية في النموذج FIF بنسبة 9%، في حين بلغت نسبة الانخفاض في النموذج I1S4 42% وبنسبة 46% في النموذج I2S1. بينما زادت قيمة القوة المحورية في النماذج (I1S3, I2S2, I2S3) بنسبة 32%، وكان تغير قيم القوة المحورية في النموذجين (I1S1, I1S2) طفيفاً.



الشكل (23): قيم القوة المحورية ضمن العمود C4 لجميع النماذج

يبين الشكل (24) تغير قيم القوة المحورية ضمن العمود C5. من خلال المخطط يتضح زيادة قيمة القوة المحورية في النموذج FIF بنسبة 6%، بينما بلغت نسبة الزيادة في النموذج I2S1 بنسبة 22% وفي النموذج I1S4 بنسبة 31%. بينما انخفضت قيمة القوة المحورية في النماذج (I1S1, I1S2, I2S3, I2S2, I2S3) بالنسب التالية (14,15,10,26,24) على التوالي.



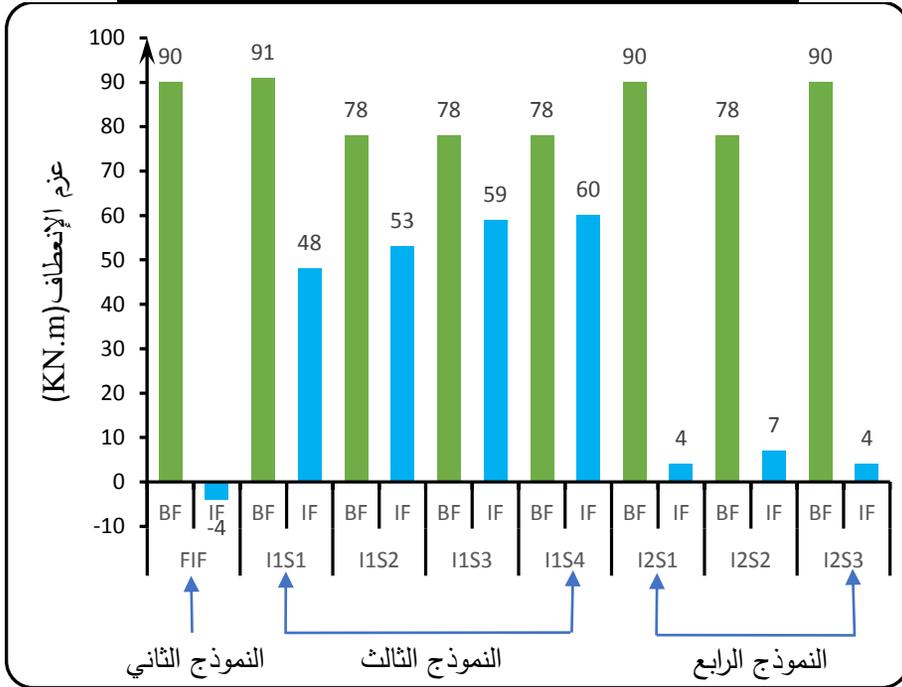
الشكل (24): قيم القوة المحورية ضمن العمود C5 لجميع النماذج

4-2-2 عزم الانعطاف ضمن الأعمدة:

يبين الشكل (25) تغير قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C1. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة عزم الانعطاف في جميع النماذج بنسب متفاوتة، وذلك نتيجة لانخفاض قيمة قوة القص التي يقاومها عناصر الإطار نتيجة تحمل جدران البلوك لجزء من قوة القص، بالإضافة الى تغير سلوك الإطارات في الفتحات الحاوية على الجدران من العمل الإطارى الى العمل الشبكي. يبين الجدول (2) نسبة تغير عزم الانعطاف في العمود C1 لكل نموذج.

الجدول (2) نسب انخفاض قيم عزم الانعطاف في العمود C1.

النموذج	نسبة الانخفاض	النموذج	نسبة الانخفاض
FIF	95%	I1S4	23%
I1S1	47%	I2S1	95%
I1S2	32%	I2S2	91%
I1S3	24%	I2S3	95%

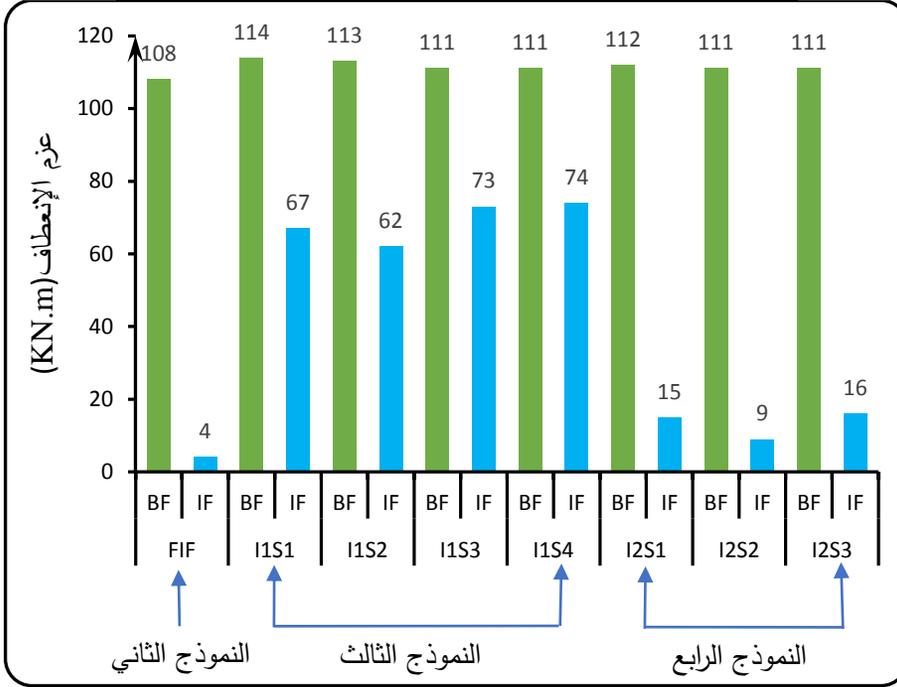


الشكل (25): قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C1 لجميع النماذج

يبين الشكل (26) تغير قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C2. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة عزم الانعطاف في جميع النماذج بنسب متفاوتة، يبين الجدول (3) نسبة تغير عزم الانعطاف في العمود C2 لكل نموذج.

الجدول (3) نسب انخفاض قيم عزم الانعطاف في العمود C2.

النموذج	نسبة الانخفاض	النموذج	نسبة الانخفاض
FIF	96%	I1S4	33%
I1S1	41%	I2S1	86%
I1S2	45%	I2S2	92%
I1S3	34%	I2S3	85%

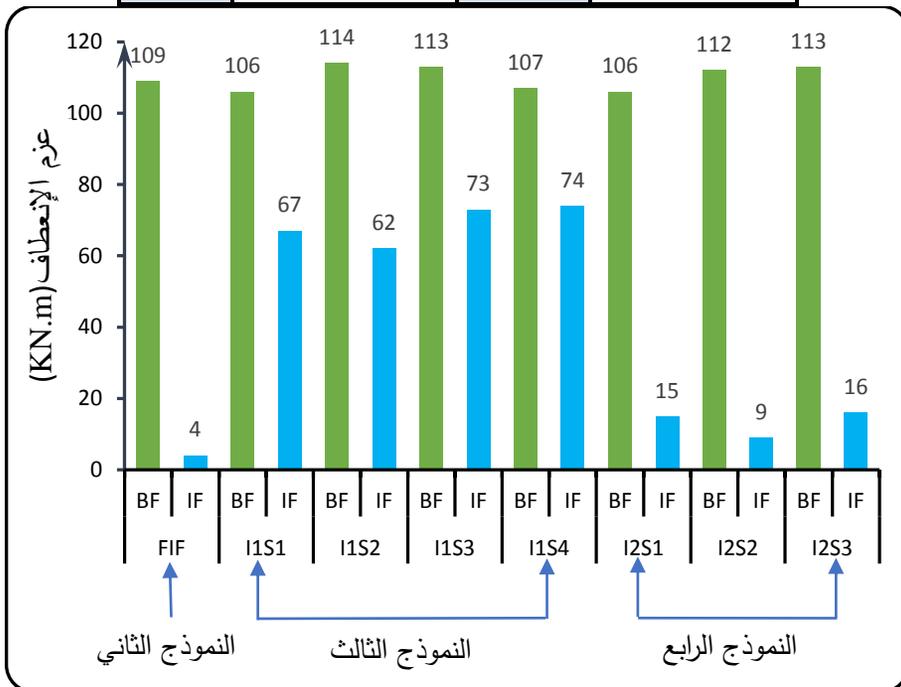


الشكل (26): قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C2 لجميع النماذج

يبين الشكل (27) تغير قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C3. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة عزم الانعطاف في جميع النماذج بنسب متفاوتة، يبين الجدول (4) نسبة تغير عزم الانعطاف في العمود C3 لكل نموذج.

الجدول (4) نسب انخفاض قيم عزم الانعطاف في العمود C3.

النموذج	نسبة الانخفاض	النموذج	نسبة الانخفاض
FIF	96%	I1S4	31%
I1S1	36%	I2S1	86%
I1S2	45%	I2S2	92%
I1S3	35%	I2S3	85%

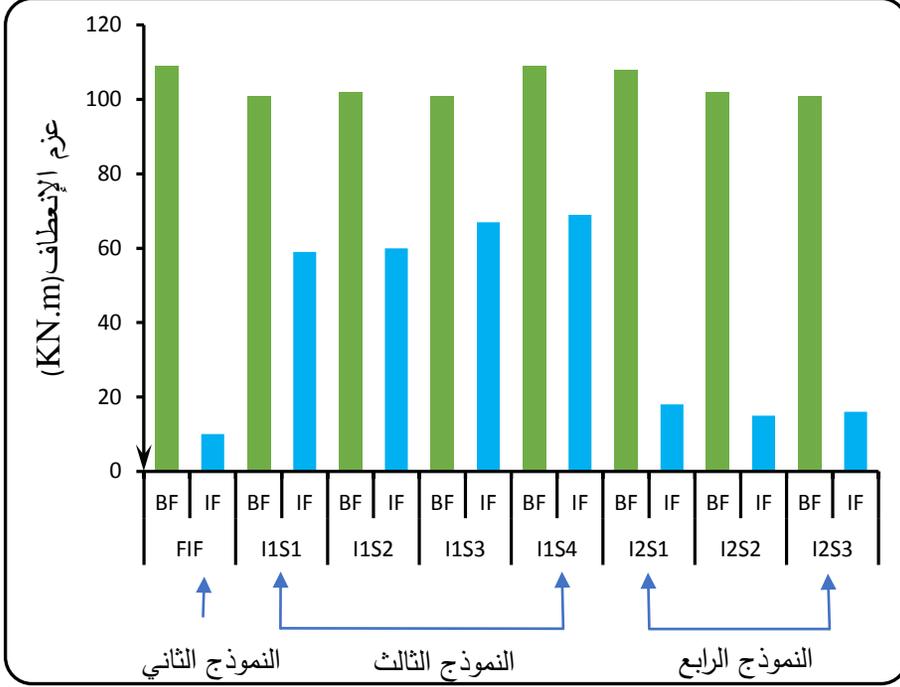


الشكل (27): قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C3 لجميع النماذج

يبين الشكل (28) تغير قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C4. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة عزم الانعطاف في جميع النماذج بنسب متفاوتة، يبين الجدول (5) نسبة تغير عزم الانعطاف في العمود C4 لكل نموذج.

الجدول (5) نسب انخفاض قيم عزم الانعطاف في العمود C4.

النموذج	نسبة الانخفاض	النموذج	نسبة الانخفاض
FIF	96%	I1S4	35%
I1S1	40%	I2S1	86%
I1S2	44%	I2S2	92%
I1S3	36%	I2S3	85%

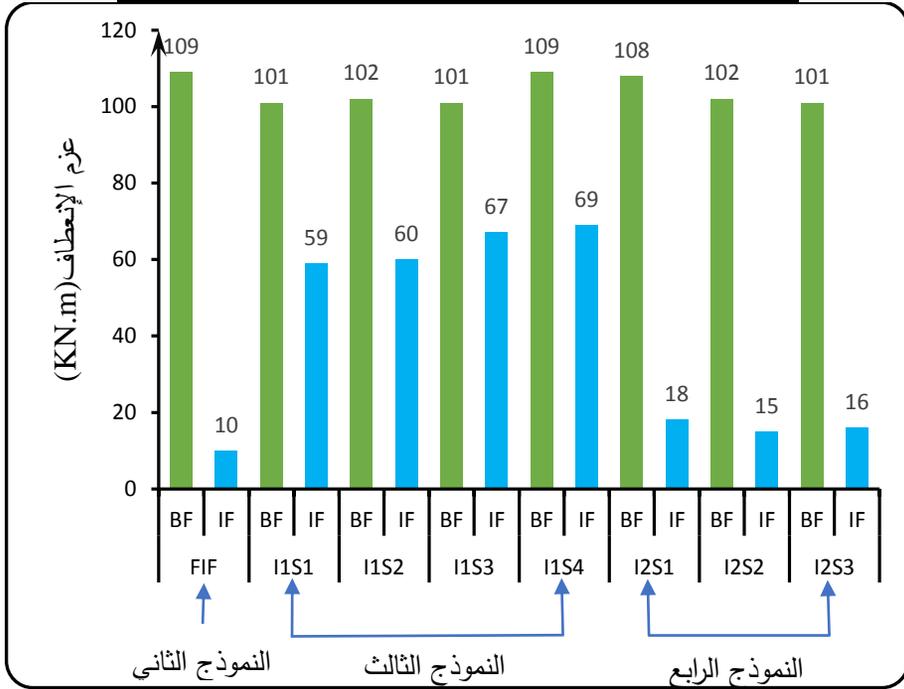


الشكل (28): قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C4 لجميع النماذج

يبين الشكل (29) تغير قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C5. من خلال المخطط يتضح انخفاض قيمة عزم الانعطاف في جميع النماذج بنسب متفاوتة، يبين الجدول (6) نسبة تغير عزم الانعطاف في العمود C5 لكل نموذج.

الجدول (6) نسب انخفاض قيم عزم الانعطاف في العمود C5.

النموذج	نسبة الانخفاض	النموذج	نسبة الانخفاض
FIF	96%	I1S4	36%
I1S1	41%	I2S1	83%
I1S2	41%	I2S2	85%
I1S3	33%	I2S3	84%



الشكل (29): قيم عزم الانعطاف ضمن العمود C5 لجميع النماذج

5 الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 الاستنتاجات:

- 1) إن ادخال صلابة جدران البلوك الاسمنتي أثناء تحليل الإطارات الحاوية عليها يزيد من صلابة الإطار بشكل كبير، حيث وصلت نسبة الزيادة في النموذج الثاني (FIF) الشكل (3) 93%.
- 2) انخفاض الانتقالات يتعلق بعدد مجازات الإطار الحاوية على جدران البلوك الاسمنتي، حيث وصلت نسبة الانخفاض الى 96.4% في النموذج الثاني (FIF) الشكل (3)، بينما كانت نسبة الانخفاض في النموذج الثالث (IIS1, IIS2, IIS3, IIS4) الأشكال (4,5,6,7) 71%.
- 3) إن تأثير وجود جدران البلوك الاسمنتي على القوى المحورية في الأعمدة يكون أعظماً عندما يكون العمود متصل بجدار وحيد، حيث تزداد القوة المحورية بنسبة 36% عند توضع الجدار قبل العمود من جهة تأثير القوة الأفقية الجانبية، بينما نقصت هذه القوة بنسبة 40% عند توضع الجدار بعد العمود من جهة تأثير القوة الأفقية الجانبية.
- 4) انخفاض قيم عزوم الانعطاف في الأعمدة في جميع النماذج، مما يدل على تحول السلوك الإطار من العمل الإطاري الى العمل الشبكي.

5-2 التوصيات:

- 1- إجراء أبحاث مماثلة على نماذج تختلف فيها عدد مجازات الإطار وأماكن توضع جدران البلوك.
- 2- البحث في تأثير عدم استمرارية جدران البلوك الاسمنتي على كامل ارتفاع الإطار.
- 3- إجراء أبحاث مماثلة على الجملة الثنائية المكونة من إطارات وجدران قص.

- [1] G. Penelis and A. J. Kappos, “**Earthquake-Resistant Concrete Structures,**” 1996.
- [2] ATC, “**FEMA 306: Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings.**” Applied Technology Council Redwood City, CA, 1998.
- [3] G. Al-Chaar, “**Evaluating strength and stiffness of unreinforced masonry infill structures,**” 2002.
- [4] S. H. Bertoldi, L. D. Decanini, and C. Gavarini, “**Telai tamponati soggetti ad azioni sismiche, un modello semplificato: confronto sperimentale e numerico,**” in Proc. Atti del 6° Convegno Nazionale L’ingegneria Sismica in Italia, Perugia, Italy, 1993.
- [5] T. B. Panagiotakos, and M. N. Fardis, “**Proposed nonlinear strut models for infill panels,**” University of Patras, Greece, 1st Year Progress Report of HCM-PREC8 Project, 1994.
- [6] K. B. Hanoglu, “**Fiber reinforced plastic overlay retrofit of hollow clay tile masonry infilled reinforced concrete frames,**” PhD Thesis, Bogazici University, Istanbul, Turkey, 2002.
- [7] M. Dolsek, and P. Fajfar, “**The effect of masonry infills on the seismic response of a four-storey reinforced concrete frame-a deterministic assessment,**” Engineering Structures, vol. 30(7), pp. 1991–2001, 2008.
- [8] H. Rodrigues, H. Varum, and A. Costa, “**Simplified macro-model for infill masonry panels,**” Journal of Earthquake Engineering, vol. 14(3), pp. 390-416, 2010.
- [9] M. H. Tsai, and T. C. Huang, “**Numerical investigation on the progressive collapse resistance of an RC building with brick infills under column loss,**” World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 58, pp. 946–953, 2011.
- [10] TARSHA I and FATTOUM S, (2016) “Usage of Nonlinear Static Seismic Analysis for Dual Systems (Frame-Wall Structures)” **AL-Baath University Journal.** Vol.38 (In Arabic).

[10] TARSHA I and AL-KHADOR H, (2019) “Studying the behavior of Wall-Frame Structures with Curtailed Shear Walls using Non-linear Static Analysis”. **AL-Baath University Journal**. Vol.41 (In Arabic).

دراسة تأثير تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون على السلوك الزلزالي للإطارات

طالب الدراسات العليا: م. مضر عبيدو كلية الهندسة المدنية-جامعة البعث

إشراف الدكتورة: تراث غريب

ملخص البحث:

يتضمن البحث دراسة السلوك الزلزالي للإطارات البيتونية ذات الأعمدة المطوقة باستخدام ألياف الكربون (CFRP) في الأبنية السكنية غير المصممة لمقاومة الزلازل، عن طريق التحليل الستاتيكي اللاخطي (تحليل الدفع المتتالي pushover analyses) للنماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام برنامج (Diana).

تمّ في هذا البحث معايرة مجموعة نماذج لدراسات تجريبية مرجعية بغاية الوصول إلى دقة مقبولة في توصيف سلوك المواد المدروسة، ثم تم تصميم نماذج إطارات بيتونية مسلحة اعتماداً على الكود العربي السوري تحت تأثير الأحمال الشاقولية المفترض وجودها في الأبنية السكنية، حيث تمت دراسة النماذج تحت تأثير عدة متغيرات وهي: عدد الطوابق (1-2-3)، عدد الفتحات (1-2)، وعدد لفات ألياف الكربون (1-2-3). أثبتت الدراسة أن تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون قادر على تحسين السلوك الزلزالي للإطارات غير المصممة زلزالياً، حيث تزداد فعالية التطويق بازياد عدد اللفات المستخدمة، كما أنه كلما ازداد عدد الطوابق ازدادت الحاجة لاستخدام عدد أكبر من اللفات للوصول لسلوك مقبول عند المنطقة الزلزالية المدروسة، أما بالنسبة للنماذج ذات الفتحتين فقد كان تطويق أعمدتها ذو فعالية أكبر من النماذج ذات الفتحة الواحدة.

الكلمات المفتاحية: الأعمدة المطوقة، ألياف الكربون، السلوك الزلزالي.

The effect of column confinement using CFRP upon the seismic behaviour of frames

Eng.MODAR ABEDOW

Dr.Eng.TURATH GHAREEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

This research includes an analytical study using nonlinear static analysis (Pushover), to evaluate the seismic performance of the old-designed frames (without seismic considerations) after confining their columns using CFRP sheets.

Several experiments were modelled and verified using (DIANA) software, in order to achieve acceptable accuracy in describing the behaviour of the studied materials, and then, 16 non-seismically designed frames with the following parameters: (storey number, bay number, and CFRP sheets number), were analysed using the pushover procedures.

The study showed that the confinement has a significant impact on the seismic behaviour of the models, where the efficiency of the confinement increases by increasing the number of CFRP sheets and the number of bays, however, the higher storey number requires higher number of CFRP sheets to approach the acceptable behaviour.

Key Words: Confined columns, CFRP, seismic behaviour.

1. مقدمة البحث:

الجمال الإنشائية التي تم تصميمها وفق الكودات القديمة على الأحمال الشاقولية فقط بدون الأخذ بعين الاعتبار حمولات الزلازل وما تزال بحالة اشغال وظيفي لابد من تدعيمها للوصول إلى سلوك أفضل عند التعرض للحمولات الزلزالية.

تعتبر ألياف الكربون من المواد التي أصبح من الشائع استخدامها في تدعيم العناصر البيتونية مؤخرًا، وذلك لما تمتلكه من مقاومة عالية على الشد مقارنة بوزنها الحجمي الصغير، إضافة إلى سهولة التعامل معها.

هناك العديد من الدراسات التجريبية والتحليلية التي أجريت بغرض التنبؤ بسلوك الأعمدة البيتونية المطوقة باستخدام ألياف الكربون تحت تأثير الحمولات الشاقولية فقط أو تحت تأثير الحمولات الشاقولية والجانبية معاً، ولكن معظم هذه الدراسات هو على مستوى العنصر كأن تتم دراسة عمود ظفري أو عقدة من إطار، وإن كان هناك من الدراسات التجريبية ما أجري على مستوى الإطار فإنه محدود بالقيود البعدية للمختبر حيث يتم تصغير الإطار المدروس بمقياس معين.

النمذجة ثلاثية الأبعاد باستخدام البرمجيات التي تتبع طريقة العناصر المحدودة توفر الإمكانية للحصول على عدد مقبول من النماذج التي تتيح لنا فرصة دراسة كافة المتغيرات المطلوبة.

منهج البحث هو المنهج التحليلي، حيث تم استخدام برنامج DIANA في التحليل لقدرته على تحليل النماذج ثلاثية الأبعاد إضافة لقدرته على اجراء التحليل اللاخطي للمواد وإدخال اجهادات التماسك بين حديد التسليح والبيتون كما يمكننا من أخذ تأثير اللاخطية الهندسية أثناء التحليل.

تم تقسيم مراحل البحث إلى أربعة مراحل:

A. الدراسات المرجعية.

B. المعايرة: حيث تم في هذه المرحلة معايرة مجموعة من النماذج التجريبية المرجعية بهدف الوصول إلى نموذج تحليلي ذو معايير مقبولة من حيث الدقة في توصيف الإطارات ذات الأعمدة المطوقة بألياف الكربون.

C. تصميم نماذج الدراسة وتحليلها: حيث تم تصميم مجموعة من النماذج بناءً على الكود العربي السوري ثم تم تحليلها قبل وبعد تطويقها بألياف الكربون حيث أجري تحليل كل نموذج بعد تطويقه بعدد مختلف من اللفات (1,2,3)

D. مناقشة النتائج وتحليلها.

2. هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة تأثير اختلاف عدد لفات التطويق بألياف الكربون باختلاف عدد الطوابق والفتحات للإطارات المصممة على الأحمال الميئة والحية وفق الكود العربي السوري وذلك من خلال إجراء تحليل الدفع المتتالي (Push over analysis).

الدراسة المرجعية:

1. الدراسة المرجعية الأولى: عمود ظفري مستطيل مطوق بألياف الكربون ومعرض لانزياح جانبي دوري وحمولة ضغط محوري:

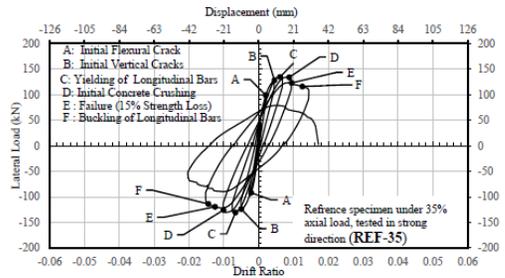
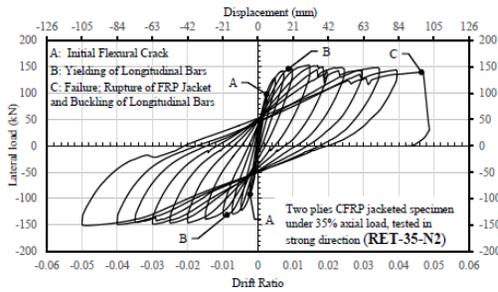
قام الباحثون [5] Cem ،Mustafa Comert ،Hamid Farrokh Ghatte و Demir، و Alper Ilki (2016)، بإجراء اختبار على 5 نماذج من الأعمدة البيتونية

الظفرية المستطيلة الشكل بأبعاد (300x600mm) غير المصممة لمقاومة الزلازل، حيث تمّ تطويق ثلاث عينات بألياف الكربون في منطقة المفصل اللدن.

تمّ اختبار النماذج تحت تأثير ضغط محوري ثابت وانزياح جانبي دوري، حيث تمّ تعريض عينة (مطوقة) لانزياح جانبي باتجاه المحور الضعيف للعمود وعينتين (مطوقتين) باتجاه المحور القوي للعمود أما العينتين المرجعيتين (الغير مطوقتين) فقط تمّ تعريض احدهما لانزياح دوري باتجاه المحور القوي للعمود والأخرى باتجاه المحور الضعيف.

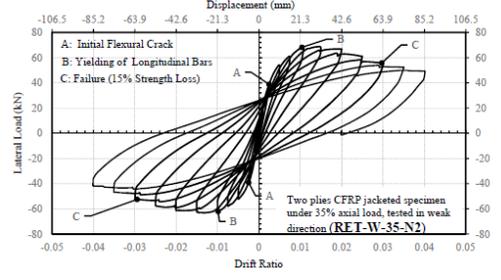
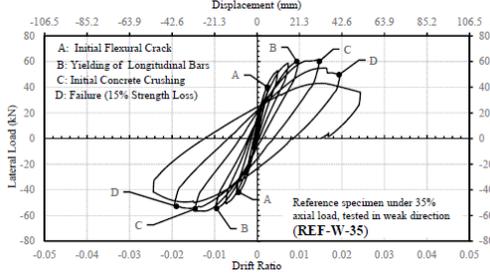
متغيرات الدراسة: اتجاه تطبيق الحمولة الجانبيّة، عدد لفّات ألياف الكربون (1،2).

أظهرت نتائج الدراسة أنّ تقنيّة التطويق بألياف الكربون للعينات ذات الأعمدة المستطيلة المقطع العرضي بنسبة استطالة (2) ذات فاعليّة جيّدة في تحسين المطاوعة وسعة تبديد الطاقة. كما أن العينات المطوقة بلفتين من ألياف الكربون أبدت تحسّناً بالمطاوعة بنسبة 90% بالنسبة للعينات المعرّضة لانزياح جانبي باتجاه المحور القوي و 50% بالنسبة للعينات المعرّضة لانزياح جانبي باتجاه المحور الضعيف، الأشكال (1) و (2) تبيّن المخططات الهستيريّة للعينات المدروسة.



الشكل (1) مخططات (قوة-انزياح) الدورية للعينات المختبرة بالاتجاه القوي (REF-35: غير مطوقة، RET-35-N2: مطوقة بلفتين)

دراسة تأثير تطويق الأعمدة باستخدام ألياف الكربون على السلوك الزلزالي للإطارات



(REF-W-35: غير مطوقة، RET-W-35-N2: مطوقة بلفنتين)

II. الدراسة المرجعية الثانية: إطار بفتحتين وطابقين مطوق بألياف الكربون في مناطق العقد (جائز-عمود) ومعرض لحمولة ضغط محوري على الأعمدة وانزياح جانبي دوري في الجوائز:

قام الباحثون [7] Weihong Chen و Weirong Shou و Zehui Qiao (2019) بإجراء دراسة تجريبية على نموذجين من الإطارات: الأول غير مصمم زلزاليا وغير مطوق والآخر مطابق له بالتفاصيل الانشائية ولكن مطوق في مناطق العقد. النماذج المختبرة ذات عدد طوابق: 2 و ارتفاع طابقي: 1500mm وعدد فتحات: 2، عرض الفتحة: 2000mm.

تمّ تصميم النماذج على اعتبار أنها جزء من إطار بفتحتين وخمس طوابق حيث تمّ تقدير الحمولات الشاقوليّة المنقولة إلى الأعمدة كما يلي: 191.08 KN للعمودين الطرفين و 269.24 KN للعمود الوسطي، وكانت مقاطع الأعمدة المعتمدة هي مقاطع مربعة (200*200) mm بتسليح طولي 8Ø10mm، ومقاطع الجوائز مستطيلة (200*150) mm بتسليح طولي 4Ø10mm.

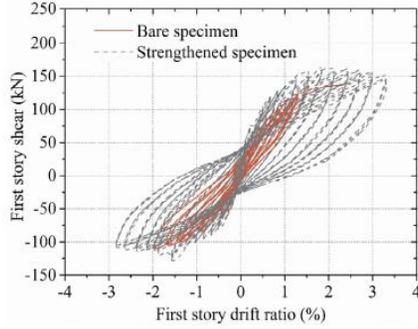
أما بالنسبة لأماكن التطويق في النموذج المطوق فقد تمّ استخدام ألياف الكربون على شكل لفات مطوقة لنهايات الأعمدة والجوائز وعقد اتّصالهم.

تمت التجربة بتطبيق قوة جانبية في مستوي كل طابق كمحاكاة لقوى الطور الديناميكي الأول من الاهتزاز (بشكل مثلث مقلوب)، وتمت مكافأة القوى المنقولة من الطوابق العليا إلى الطابق الثاني باعتبار أن القوة الجانبية تزداد بمقدار $1F$ مع ازدياد عدد الطوابق، مما يؤدي إلى أن القوة المنقولة من الطوابق الثالث والرابع والخامس تساوي $(5F+4F+3F=12F)$ لتصبح نسبة القوة المطبقة على الطابق الثاني إلى القوة المطبقة على الطابق الأول: $14/1$ ، وهذا ما تم اعتماده في نظام الحمولة الجانبية المطبقة بواسطة المكابس الهيدروليكية.

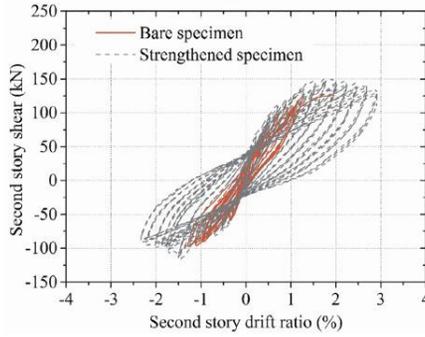
وقد أظهرت نتائج الدراسة ما يلي:

1. الشقوق التي ظهرت بالعينة المطوقة صغيرة عند انزياحات طابقية نسبية كبيرة مقارنة بالشقوق التي ظهرت بالعينة الغير مطوقة عند نفس الانزياحات مما يؤكد على أن التطويق بألياف الكربون يخفف الضرر الناتج عند وصول العناصر إلى المرحلة اللدنة.
2. تأثير التطويق على زيادة الصلابة الجانبية للإطار ضئيل في حين أنه قد زاد قوة القص القاعدي للإطار بنسبة 20%.
3. معاملات تراجع قدرة التحمل للعينة المطوقة كانت قيمها بين 0.949 و 0.991 وهي قريبة من الواحد مما يدل على أن العينة المطوقة تمتلك قدرة تحمل مستقرة.
4. مؤشر اللدونة للعينة المطوقة ازداد بنسبة 14% عن العينة الغير مطوقة.
5. أبدت العينة المطوقة تحسنا واضحا في سعة تبديد الطاقة حيث كانت تساوي 3.1 أضعاف سعة تبديد الطاقة للعينة الغير مطوقة.

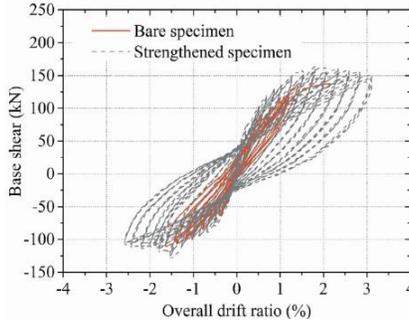
الأشكال (3 و 4 و 5) تبين المخططات الهستيرية على شكل مقارنة بين النموذجين المطوق والغير مطوق.



الشكل (3) مقارنة المخطط الهستيرتي (قوة طابقيّة-انزياح طابقي) عند مستوي الطابق الأول للعينتين المطوّقة والغير مطوّقة



الشكل (4) مقارنة المخطط الهستيرتي (قوة طابقيّة-انزياح طابقي) عند مستوي الطابق الثاني للعينتين المطوّقة والغير مطوّقة



الشكل (5) مقارنة المخطط الهستيرتي (قوة القص القاعدي-انزياح الطابق الثاني) للعينتين المطوّقة والغير مطوّقة

3. مواد وطرق البحث:

3-1 مقدمة:

البرنامج المعتمد في الدراسة هو برنامج DIANA الذي يعتمد طريقة العناصر المحدودة في التحليل كما يتيح امكانية التحليل اللاخطي وذلك من خلال ادخال أثر اللاخطية الفيزيائية والهندسية.

النماذج التي تمت دراستها هي نماذج ثلاثية الأبعاد 3D وذلك للحصول على أكبر دقة ممكنة من خلال مراقبة السلوك اللاخطي لكافة عناصر النموذج، كملاحظة التلدن في قضبان التسليح وانهيار الضغط أو الشد في البيتون وعلاقة التماسك ما بين قضبان التسليح والبيتون المحيط بها وتمزق ألياف الكربون.

الخطوة الأولى في الدراسة التحليلية هي بناء نموذج حاسوبي دقيق باستخدام العلاقات المناسبة لتوصيف سلوك كافة المواد المدروسة في النموذج، ولتحقيق ذلك لابد من التحقق من صحة العلاقات من خلال المقارنة مع نماذج تجريبية موثوقة.

تم في هذا البحث معايرة أربعة نماذج تجريبية من أبحاث مختلفة تشمل عدة حالات: (عمود ظفري مربع، عمود ظفري مستطيل، عقدة طرفية، وإطار).

3-2 العلاقات المستخدمة لتوصيف سلوك المواد:

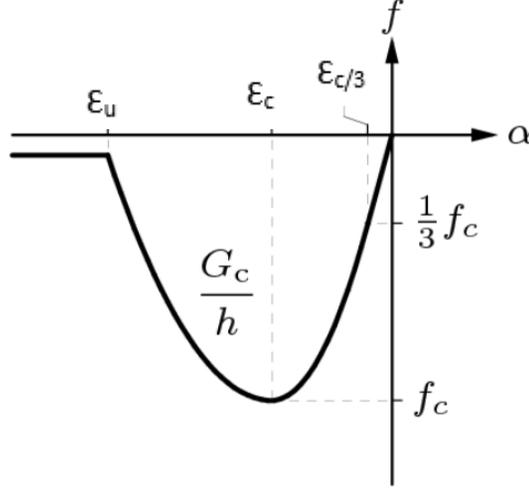
1. سلوك البيتون تحت تأثير اجهاد الضغط:

تم استخدام نموذج [12] parabolic المتوقر في برنامج DIANA، وهو عبارة عن علاقة تعتمد على طاقة الانكسار بالضغط ويعبر عنها بالعلاقة (1) و الشكل (6).

حيث نلاحظ أن المنحني يتكون من ثلاثة أجزاء:

(1) الجزء الأول ينتهي بالوصول إلى ثلث المقاومة الأعظمية للبيتون على الضغط.

- (2) الجزء الثاني ينتهي بالوصول إلى المقاومة الأعظمية للبيتون على الضغط.
 (3) الجزء الثالث يصف سلوك انهيار البيتون على الضغط وهو مرتبط بطاقة الإنكسار.



الشكل (6) منحنى Parabolic النموذجي لسلوك البيتون المضغوط

$$f = \begin{cases} -f_c \frac{1}{3} \frac{\epsilon_j}{\epsilon_{c/3}} & \text{if } \epsilon_{c/3} > \epsilon_j > 0 \\ -f_c \frac{1}{3} \left(1 + 4 \left(\frac{\epsilon_j - \epsilon_{c/3}}{\epsilon_c - \epsilon_{c/3}} \right) - 2 \left(\frac{\epsilon_j - \epsilon_{c/3}}{\epsilon_c - \epsilon_{c/3}} \right)^2 \right) & \text{if } \epsilon_c > \epsilon_j > \epsilon_{c/3} \\ -f_c \left(1 - \left(\frac{\epsilon_j - \epsilon_c}{\epsilon_u - \epsilon_c} \right)^2 \right) & \text{if } \epsilon_u > \epsilon_j > \epsilon_c \\ 0 & \text{if } \epsilon_j > \epsilon_u \end{cases}$$

$$\alpha_{c/3} = \frac{1}{3} \frac{f_c}{E} \quad \alpha_c = \frac{5}{3} \frac{f_c}{E} = 5 \alpha_{c/3} \quad \alpha_u = \alpha_c - \frac{3}{2} \frac{G_c}{h f_c}$$

العلاقة (1) 'الذ' بمنحنى Parabolic النموذجي لسلك البيتون المضغوط

$\epsilon_{c/3}$

ϵ_c

$\epsilon_{c/3}$

ϵ_u

ϵ_c

حيث:

f_c : مقاومة البيتون الاسطوانية على الضغط.

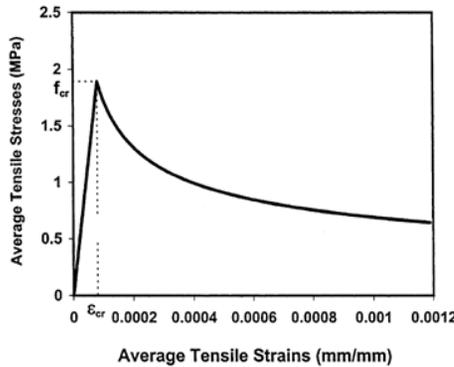
ϵ_c : التشوه الطولي للبيتون عند الوصول لمقاومة الضغط الأعظمية f_c .

G_c/h : طاقة الانكسار على الضغط تتراوح بين $10-25 \text{ N.mm/mm}^2$.

h : طول العنصر المدروس.

II. سلوك البيتون تحت تأثير اجهاد الشد:

تم استخدام علاقة [10] Belarbi and Hsu 1994 التي تصف سلوك الشد في البيتون، حيث يتكون منحنى الشد من قسمين: الأول خطي صاعد ينتهي بالوصول إلى اجهاد التشقق في البيتون f_{cr} ، والثاني لاخطي يمثل التدهور في مقاومة البيتون على الشد، الشكل (7).



الشكل (7) منحنى Belarbi and Hsu لوصف سلوك الشد في البيتون

$$\sigma_1 = E_c \varepsilon_1 \quad \varepsilon_1 \leq \varepsilon_{cr}$$

$$\sigma_1 = f_{cr} \left(\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_1} \right)^{0.4} \quad \varepsilon_1 > \varepsilon_{cr}$$

$$f_{cr} = (0.31 \sim 0.62) \sqrt{F'c}$$

العلاقة (2) الخاصة بمنحني Belarbi and Hsu لوصف سلوك الشد في البيتون

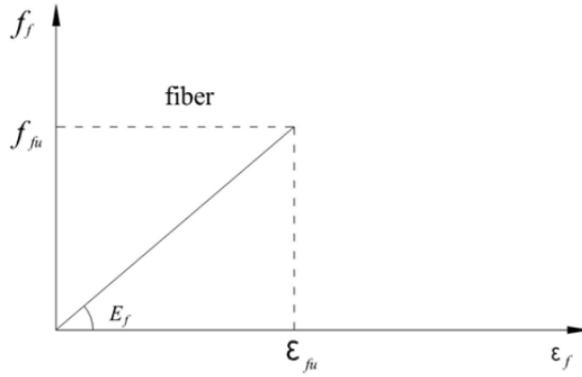
حيث:

f_{cr} : مقاومة الشد الأعظمية للبيتون.

ε_{cr} : التشوه الطولي للبيتون عند التشقق.

III. سلوك فولاذ التسليح:

منحي اجهاد-تشوه الخاص بحديد التسليح يتألف من ثلاثة أجزاء: الأول خطي ويعبر عن مرحلة المرونة، والثاني يعبر عن مرحلة الخضوع حيث يزداد التشوه مع ثبات الاجهاد، أما الجزء الثالث فيعبر عن مرحلة التقسية حيث تزداد الاجهادات مع زيادة التشوهات حتى الوصول الى اجهاد الانهيار وهي مرحلة غير خطية. بشكل عام يمكن أثناء استخدام النمذجة للعناصر المحدود مكافأة هذا المنحني بمنحني مكافئ ثلاثي الخطية [13] Crisfield, M.A حيث يتم التعبير عن المرحلة الثالثة (مرحلة التقسية) بمستقيم يحدّد بنقطتين: الأولى هي نهاية مرحلة الخضوع أما الثانية فهي نقطة بلوغ اجهاد الانهيار، يبين الشكل (8) المنحني المكافئ المستخدم للتعبير عن سلوك قضبان حديد التسليح.



الشكل (9) سلوك الشد لألياف الكربون

حيث:

F_{fu} : اجهاد التمزق (الانقطاع).

ϵ_{fu} : التّشوه النهائي عند الانقطاع.

E_f : معامل مرونة ألياف الكربون.

7. سلوك البيتون المطوّق بألياف الكربون:

طوّر الباحثان [2] Fahmy and Wu (2010) علاقة تصف سلوك البيتون المضغوط المطوق بألياف الكربون اعتماداً على حقيقة أن سلوك البيتون المطوق باستخدام أي نوع من ألياف الكربون يجب أن يكون نفسه عندما تكون الصلابة الجانبية لألياف الكربون نفسها، كما أكدا على أن النقطة الأخيرة من منحنى (اجهاد-تشوه) الخاص بالبيتون المطوق تعتمد على سعة التشوه لألياف الكربون المستخدمة.

شملت العلاقة التأثير المشترك للتطويق تحت تأثير ألياف الكربون وحديد التسليح في منطقة النواة (المنطقة البيتونية داخل قضبان التسليح العرضي) مما أعطى توصيف السلوك دقة أكبر في النتائج.

يتكون المنحني من جزئين: الأول من الدرجة الثانية والثاني من الدرجة الأولى، كما قسم الباحثان المقطع العرضي للعمود لمنطقتين:

a. الأولى: منطقة التغطية: وهي المنطقة التي تتعرض لتأثير التطويق بألياف الكربون فقط.

b. الثانية: منطقة النواة: وهي المنطقة المطوّقة بألياف الكربون وحديد التسليح معاً.

الشكل (10) والعلاقة (3) تبيّنان منحنى سلوك البيتون المضغوط المطوق بألياف الكربون.

$$f_c = E_c \varepsilon_c - \frac{(E_c - E_2)^2 \varepsilon_c^2}{4f_o} \quad \text{if } 0 < \varepsilon_c < \varepsilon_{ct}$$

$$f_c = f_o + E_2 \varepsilon_c \quad \text{if } \varepsilon_{ct} < \varepsilon_c < \varepsilon_{cc}$$

$$E_{2,0} = k_e m_2 (245.61 f_{co}^{m_1} + 0.6728 E_l)$$

$$\varepsilon_{ct} = 2f_o / (E_c - E_2) \quad \varepsilon_{cc} = \frac{f_{cc} - f_o}{E_2}$$

$$f_{cc,o} = f_{co} + k_1 f_{l,f} + 4.1 \times f_{ls} \times \left(\frac{A_g}{A_{cc}} \right) + \Delta f_{cc,i}$$

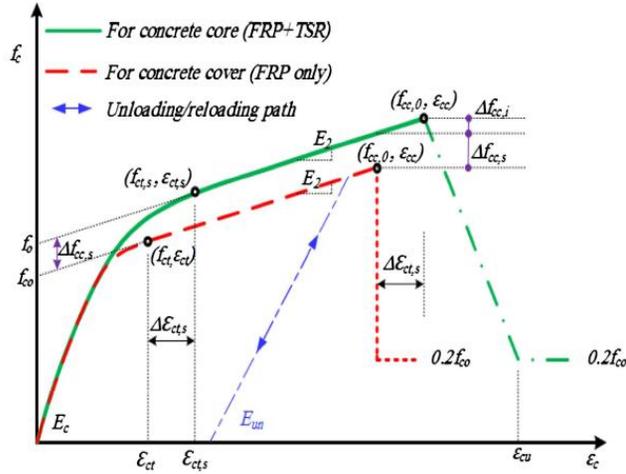
$$\Delta f_{cc,i} = E_2 \varepsilon_{cts} = E_2 (\varepsilon_{cts} - \varepsilon_{ct})$$

$$f_{l,f} = \frac{2t_f f_f}{\sqrt{b^2 + h^2}}$$

$$f_{ls} = K_v \times K_h (0.5 f_y \times \rho_{st})$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_{cc} + \frac{0.9 \rho_s f_y}{300}$$

العلاقة (3) لوصف منحنى (اجهاد_تشوه) Fahmy and Wu



الشكل (10) منحنى (اجهاد_تشوه) Fahmy and Wu للأعمدة المستطيلة المطوقة بألياف الكربون

حيث:

- f_{cc} : مقاومة الضغط الأعظمية للبيتون المطوق.
- f_{1s} : مقاومة الضغط المكتسبة في بيتون النواة نتيجة تطويق أساور التسليح العرضية.
- f_{1f} : مقاومة الضغط المكتسبة في البيتون نتيجة التطويق بألياف الكربون.
- $E_{2,0}$: ميل الفرع الثاني من مخطط الضغط ويتعلق بمقاومة الضغط للبيتون الغير مطوق
- f_{c0} ، ومعامل مرونة ألياف الكربون E_1 .
- ϵ_{ct} : التشوه الطولي للبيتون المطوق عند نهاية الفرع الأول.
- ϵ_{cc} : التشوه الطولي للبيتون المطوق عند نهاية الفرع الثاني.
- ϵ_{cu} : التشوه الطولي النهائي لبيتون النواة المطوق بألياف الكربون وأساور التسليح.
- ke : معامل يدخل تأثير استطالة المقطع العرضي.
- m_1 و m_2 : معاملان لإدخال تأثير نوع البيتون (عالي المقاومة أو عادي المقاومة).
- A_{cc} و A_g : مساحة المقطع الكلية ومساحة مقطع النواة على الترتيب.

K_h و K_v : معاملي ادخال فعالية حديد التسليح في التطويق شاقوليا وأفقيا على الترتيب.

3-3 معايرة النماذج التجريبية:

تم في هذا البحث معايرة 7 نماذج تجريبية من أبحاث مختلفة تشمل الحالات التالية:

1. نموذج عمود ظفري مربع غير مطوّق وغير مصمّم زلزالياً [4] (N4C0A45)
2. نموذج عمود ظفري مستطيل غير مطوّق وغير مصمّم زلزالياً [5] (REF-35)
3. نموذج عمود ظفري مستطيل مطوّق وغير مصمّم زلزالياً [5] (RET-35-N1)
4. نموذج عقدة طرفية غير مصمّمة زلزالياً وغير مطوّقة [6] (ND)
5. نموذج عقدة طرفية غير مصمّمة زلزالياً ومدعّمة باستخدام ألياف الكربون وشرائح الكربون المتموضعة قريباً من السطح [6] (NDSB2)
6. نموذج إطار بفتحتين وطابقين غير مصمّم زلزالياً وغير مطوّق (Bare Specime) [7]
7. نموذج إطار بفتحتين وطابقين غير مصمّم زلزالياً ومطوّق في نهايات الجوائز والأعمدة وعقد اتصالهم: [7] (Strengthened Specimen)

3-3-1 تفاصيل ونتائج المعايرة رقم 5:

نموذج عقدة طرفية غير مصمّمة زلزالياً ومدعّمة باستخدام ألياف الكربون وشرائح الكربون المتموضعة قريباً من السطح [6] (NDSB2) :

• وصف النموذج:

يتألف النموذج من عقدة (عمود-جائز)، مقطع العمود والجائز mm (300*200)، طول الجائز mm (1500)، وارتفاع العمود mm (2100)، الشكل (11).

التسليح الطولي لكل من الجائز والعمود نفسه وهو: 6T16 والتسليح العرضي نفسه أيضا: R6.5/150mm وسماكة طبقة التغطية $t=30\text{mm}$ ماعدا التغطية الجانبية للجائز $t=46\text{mm}$ لتجنب اصطدام تسليح الجائز بتسليح العمود.

تمّ تطويق طرفي العمود في منطقة اتصاله مع الجائز بلفّتين من ألياف الكربون، كما تمّ حفر 4 خنادق (أثلام) بعمق 20mm وعرض 18mm على وجهي العقدة بشكل موازي للجائز وتستمر حتى مسافة 150mm بعيدا عن وجه العمود، الشكل (12).

• خواص المواد المستخدمة:

مقاومة الضغط لعينات البيتون الأسطوانية بعد 28 يوم: $F_c=35.31\text{ Mpa}$.

اجهاد الخضوع لحديد التسليح: الطولي: $F_y=518\text{ Mpa}$ ، العرضي: $F_y=400\text{ Mpa}$

سماكة ألياف الكربون المستخدمة لتطويق العمود: $t=0.334\text{ mm}$ واجهاد الشّد الأعظمي الذي تتحمّله: $F_r=3600\text{ Mpa}$ ، ومعامل المرونة: $E_r=240\text{ Gpa}$.

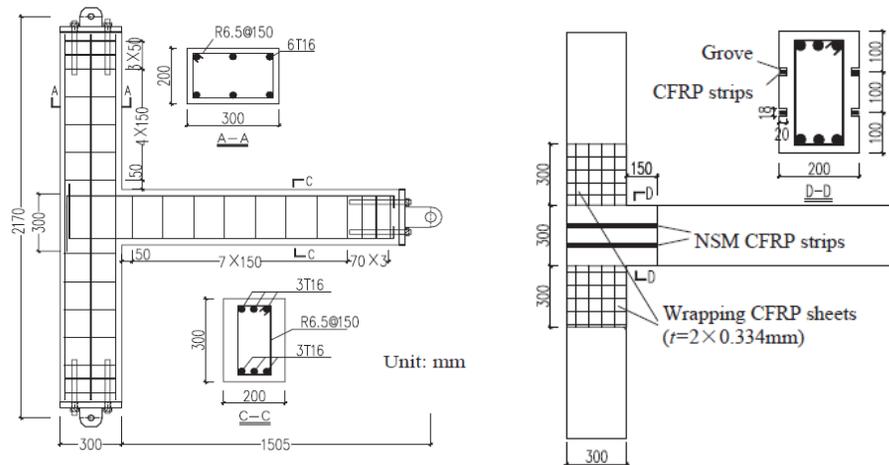
شرائح الكربون المستخدمة ذات سماكة 2mm وعرض 16mm، حيث يتوضّع في كل خندق ثلاث شرائح مكونة قضيب كربون بسماكة 8mm (عرض شرائح الكربون 6mm + سماكة الغراء المحيط بها 2mm).

اجهاد الشّد الأعظمي لشرائح الكربون المتموضعة قريبا من السطح (ضمن الخندق):
 $F_r=2461\text{ Mpa}$ ، ومعامل المرونة لها: $E_r=148\text{ Gpa}$.

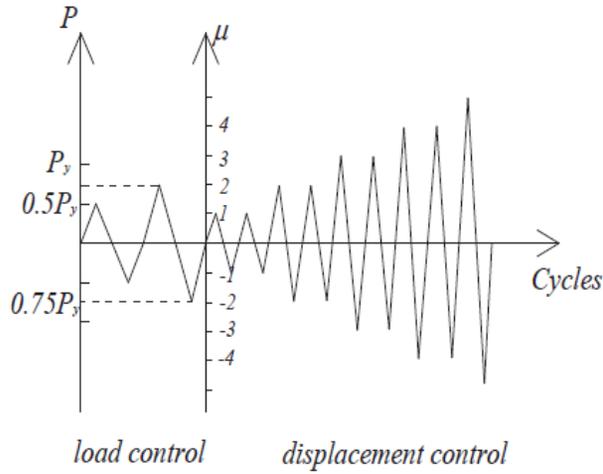
• القوى المطبّقة:

قوة ضغط محوريّة على العمود بنسبة 10% من قدرة تحمّل المقطع البيتوني على الضغط، وهي ثابتة وتساوي: $P=200\text{ KN}$ ، مطبّقة بواسطة مكبس هيدروليكي.

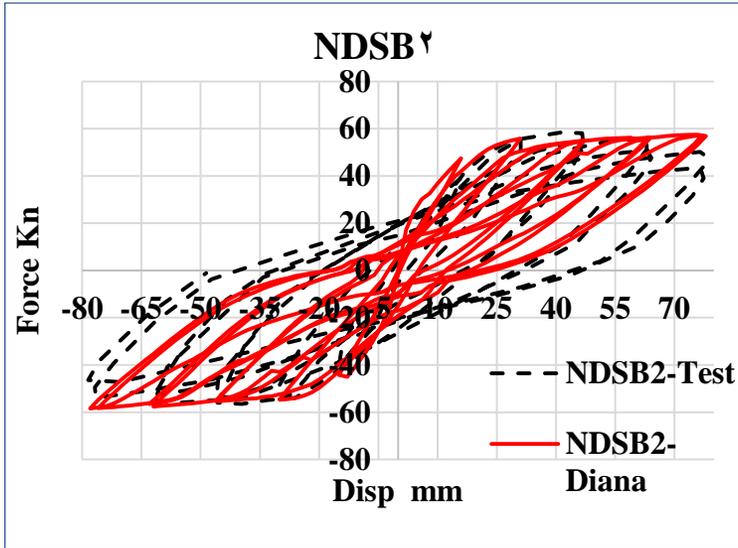
انزياح جانبي دوري مطبق بوساطة مكبس هيدروليكي مثبت على النهاية الحرة للجائز، حيث تمّ اعتماد نظام التحكم بالانزياح بغية تقدير التناقص في مقاومة العينة للقوى الجانبية بعد الوصول إلى ذروة المقاومة، الشكل (12) يظهر نظام الانزياح الدوري المتّبع في التجربة.



الشكل (11) أبعاد وتفاصيل تسليح وتدعيم النموذج NDSB2



الشكل (12) نظام الحمولة الدورية الجانبية المطبقة على النموذج NDSB2



الشكل (13) معايرة مخطط (قوة-انزياح) الدوري للنموذج (NDSB2)

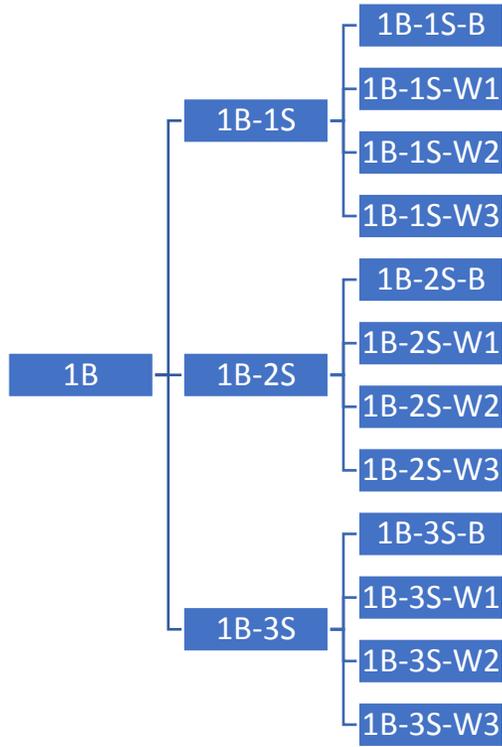
3-3-2 نسب مطابقة المعايرة مع النماذج التجريبية:

يبين الجدول التالي نسب المطابقة بين قوة القص الأعظمية (باتجاه الدفع الموجب) للنموذج التجريبي والتحليلي كنسبة من قيمة القوة في النموذج التجريبي:

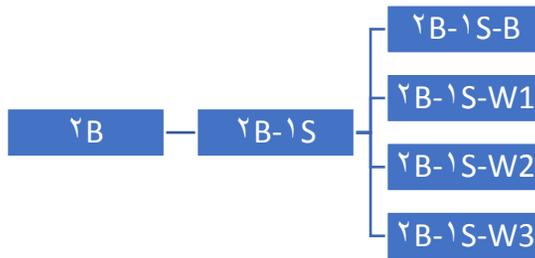
Model	P(DIANA)/P(Test)
N4C0A45	1.05
REF35	0.99
RET35N1	0.99
ND	1.06
NDSB2	0.98
Bare Specimen S2	0.78
Bare Specimen S1	0.77
Bare Specimen Overall	0.76
Strengthened Specimen S2	0.85
Strengthened Specimen S1	0.87
Strengthened Specimen Overall	0.86

3-4 نماذج الدراسة:

تم تقسيم نماذج البحث إلى مجموعتين رئيسيتين: المجموعة الأولى (1B) وهي إطارات بفتحة واحدة مع تغيير عدد الطوابق (1-2-3) وعدد اللفات، والمجموعة الثانية (2B) هي إطارات بفتحتين وطابق واحد مع تغيير عدد اللفات، يبين الشكلان (14) و (15) أسماء وتصنيف النماذج المستخدمة حيث يتكوّن اسم النموذج من ثلاثة حقول، يرمز الحقل الأول إلى عدد الفتحات (B) والحقل الثاني إلى عدد الطوابق (S) والحقل الثالث إلى حالة التدعيم (غير مطوق=B، ومطوق بعدد X من اللفات=Wx).



الشكل (14) أسماء وتصنيف نماذج المجموعة الأولى ذات الإطارات بفتحة الواحدة

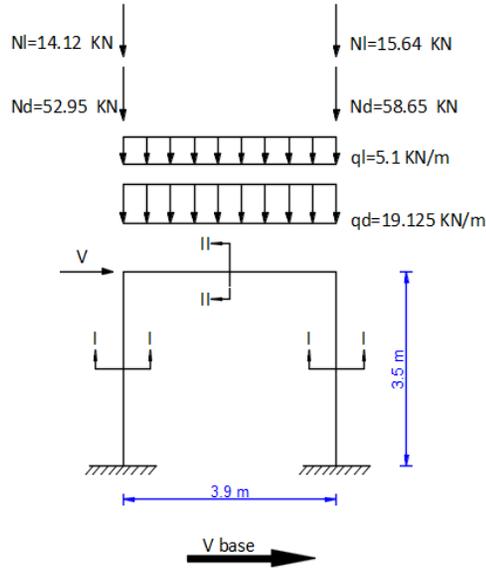


الشكل (15) أسماء وتصنيف نماذج المجموعة الثانية ذات الإطارات بفتحتين

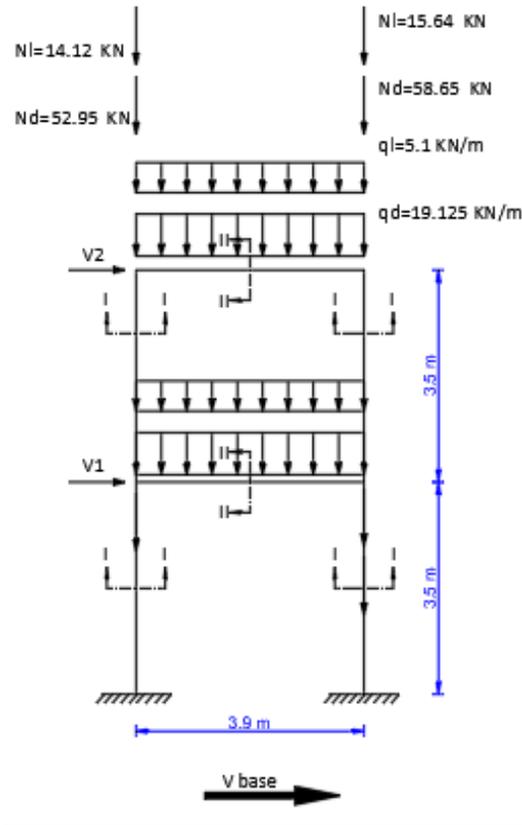
تمّ تصميم النماذج وفق الكود العربي السوري [14] تحت تأثير الأحمال الشاقوليّة فقط، ثمّ تمّ تحليل هذ النماذج وفق طريقة الدّفع المتتالي (pushover analysis).

الفرضيات التصميميّة للنماذج:

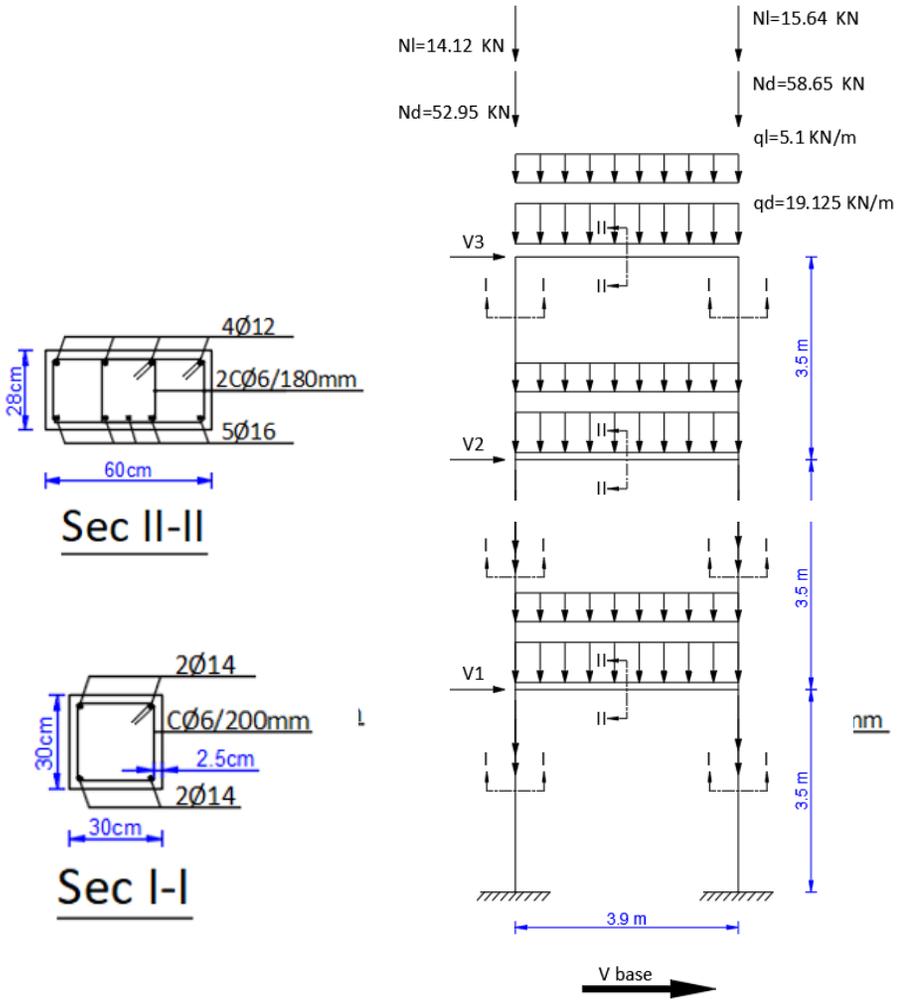
- المقاومة الاسطوانيّة للبيتون على الضغط: $f_c=20$ Mpa
- اجهاد خضوع فولاذ التسليح الطولي: $F_y=360$ Mpa، والعرضي: $F_{yt}=245$ Mpa، ومعامل مرونتهما $E=210$ Gpa.
- سماكة ألياف الكربون $t=0.167$ mm ومقاومة الشّد الأعظمية لها: $F_r=4340$ Mpa ومعامل مرونتها: $E=240$ Gpa.
- تمّ حساب حديد التسليح تحت تأثير الحمولات الشاقوليّة فقط حسب التركيب الأساسي للكود العربي السوري: $1.4DL + 1.7 LL$
- الحمولة الحية المفروضة تساوي $(2 KN/m^2)$ والحمولة الميتة المفروضة هي حمولة الوزن الذاتي للبلاطة + حمولة التغطية التي تساوي $(2 KN/m^2)$.
- تمّ اعتبار أن زوايا الأعمدة تمّ تدويرها بنصف قطر 30 درجة قبل التطويق
- تمّ اعتبار أن الأعمدة مطوقة بألياف الكربون على كامل ارتفاعها في النماذج المطوقة



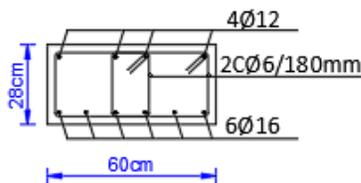
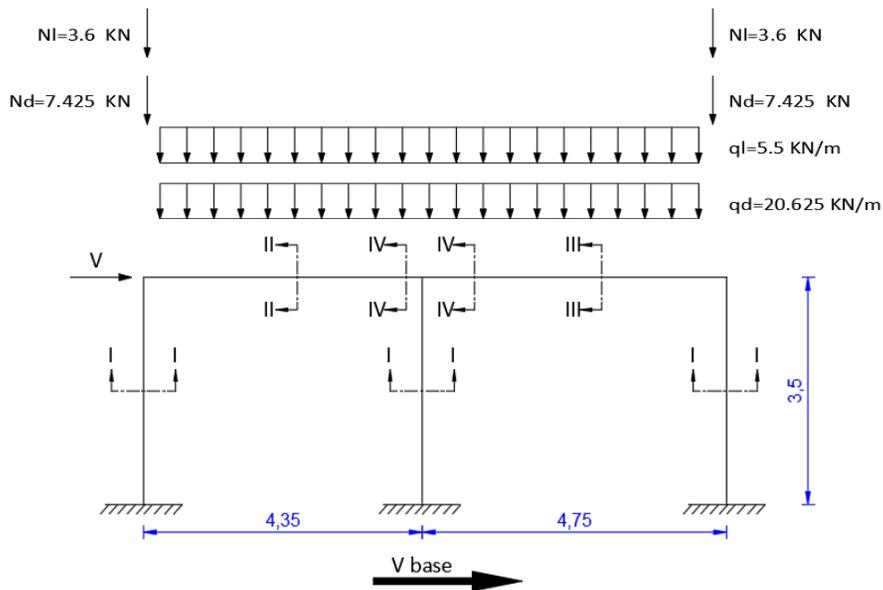
الأشكال من (16) وحتى (19) تبين التفاصيل الإنشائية للنماذج المدروسة:



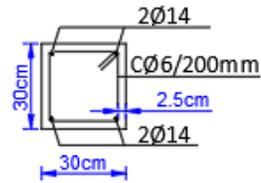
الشكل (16) التفاصيل الانشائية لنماذج الإطارات بطابق وفتحة واحدة وبطاقين وفتحة واحدة



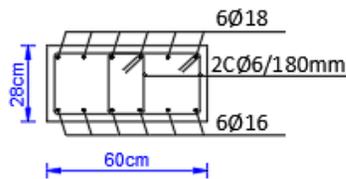
الشكل (17) التفاصيل الإنشائية لنماذج الاطارات بثلاث طوابق وفتحة واحدة



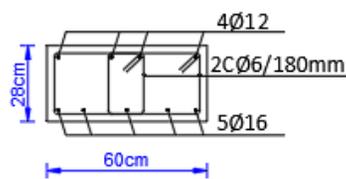
Sec III-III



Sec I-I

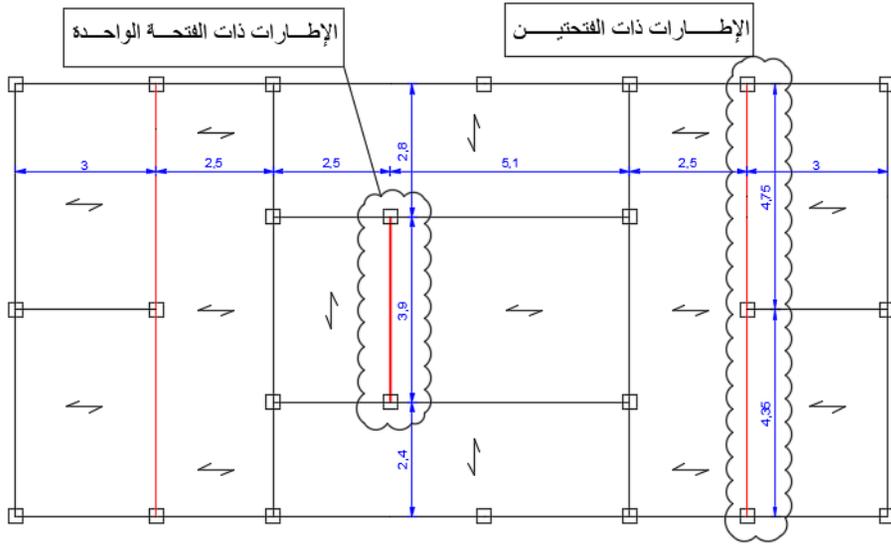


Sec IV-IV

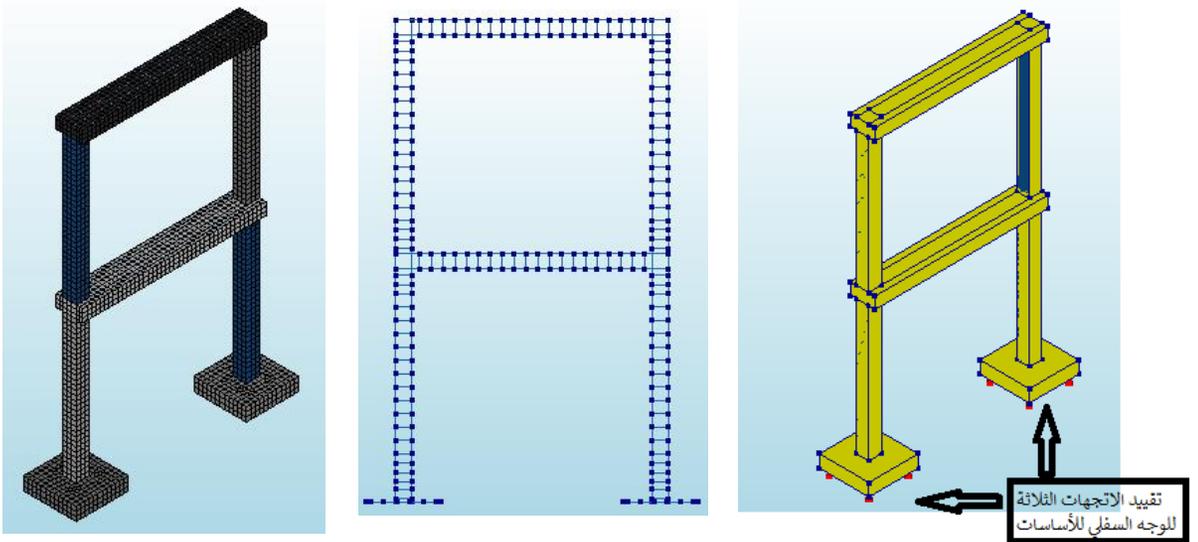


Sec II-II

الشكل (18) التفاصيل الانشائية لنماذج الاطارات بطابق واحد وفتحتين



الشكل (19) يبيّن موقع الإطارات المدروسة ضمن المسقط واتجاه فرش الهوردي وبالتالي اتجاه نقل الحمولات



الشكل (20) يبين نمذجة الإطار (1B-2S-W2) ضمن برنامج DIANA وشكل النموذج المقسم إلى عناصر بطول ضلع 100 mm

4. النتائج ومناقشتها:

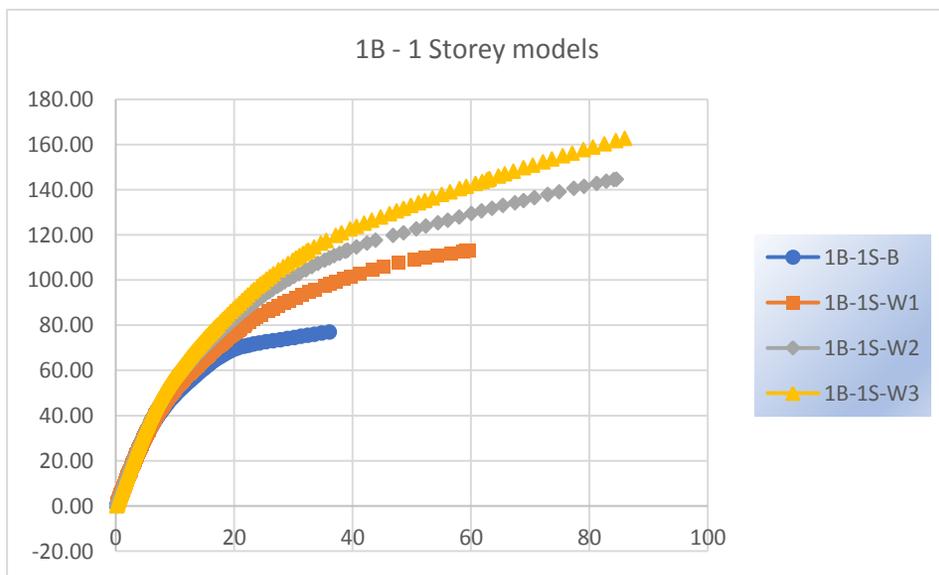
1-4 نتائج النماذج بالنسبة لتغير عدد اللفات:

1. نماذج طابق واحد وفتحة واحدة:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
1B-1S-B	36.78	77.24	0.74	-	-	-
1B-1S-W1	59.76	113.28	0.73	1.62	1.47	0.99
1B-1S-W2	84.57	144.67	0.71	2.30	1.87	0.96
1B-1S-W3	85.98	162.75	0.70	2.34	2.11	0.95

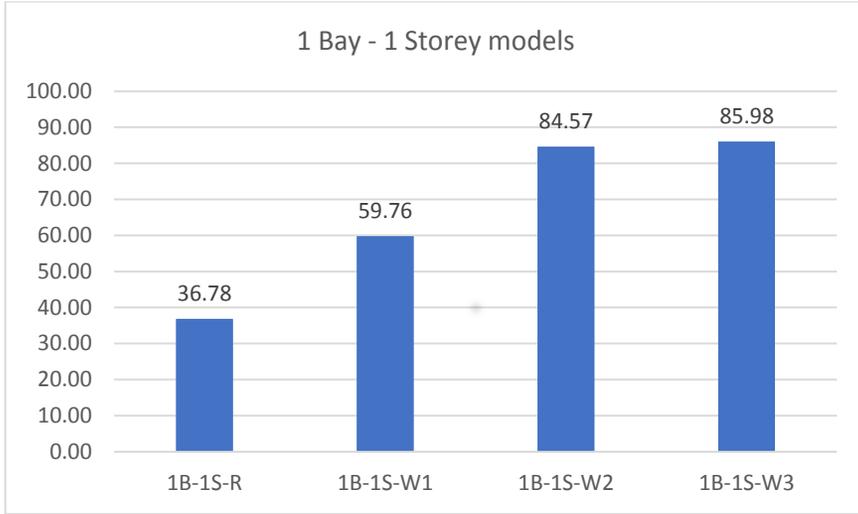
جدول (1) مقارنة قوة القص القاعي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور

الاهتزاز T للنماذج بطابق واحد وفتحة واحدة



الشكل (21) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحة واحدة عند

تغير عدد اللفات



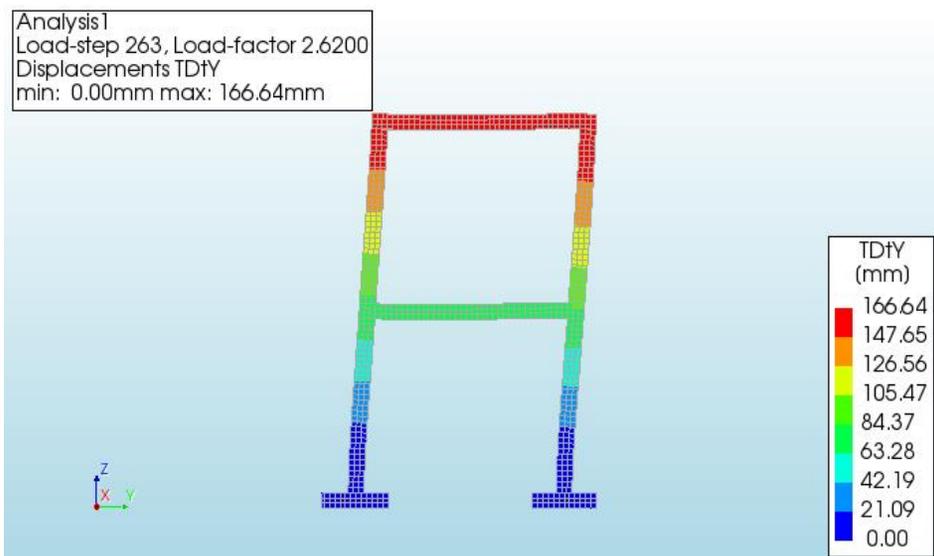
الشكل (22) مقارنة الانزياح الطابقي لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات

- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بطابق واحد وفتحة واحدة أعطى ما يلي:
 - ✓ قوّة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (46%-87%-110%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (62%-129%-133%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (98%-95%-94%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوّق.

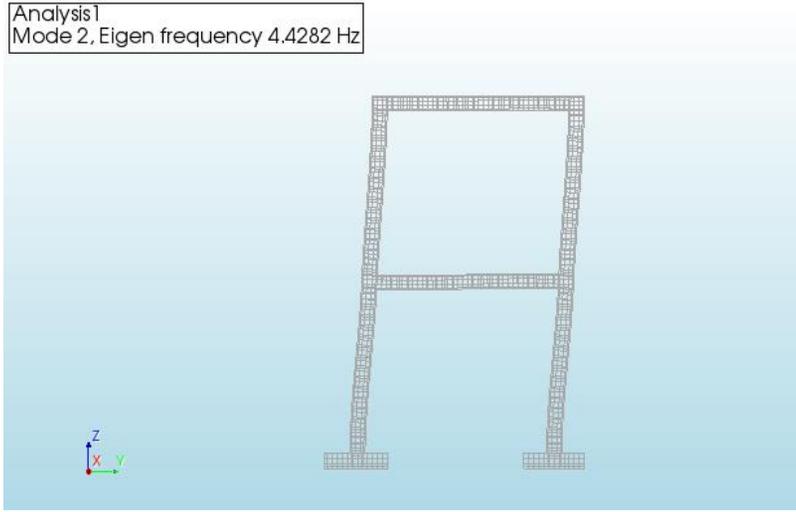
2. نماذج طابقيين وفتحة واحدة:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
1B-2S-B	96.51	76.64	1.46	-	-	-
1B-2S-W1	141.95	98.20	1.44	1.47	1.28	0.99
1B-2S-W2	166.64	108.83	1.42	1.73	1.42	0.97
1B-2S-W3	183.47	116.92	1.40	1.90	1.53	0.96

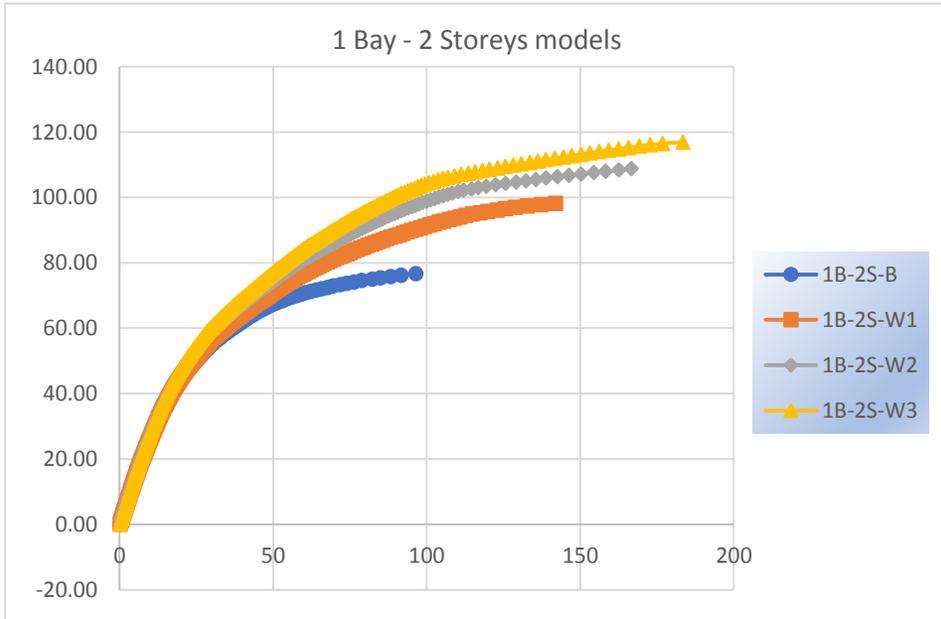
جدول (2) مقارنة قوة القص القاعدي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور الاهتزاز T للنماذج بطابقيين وفتحة واحدة



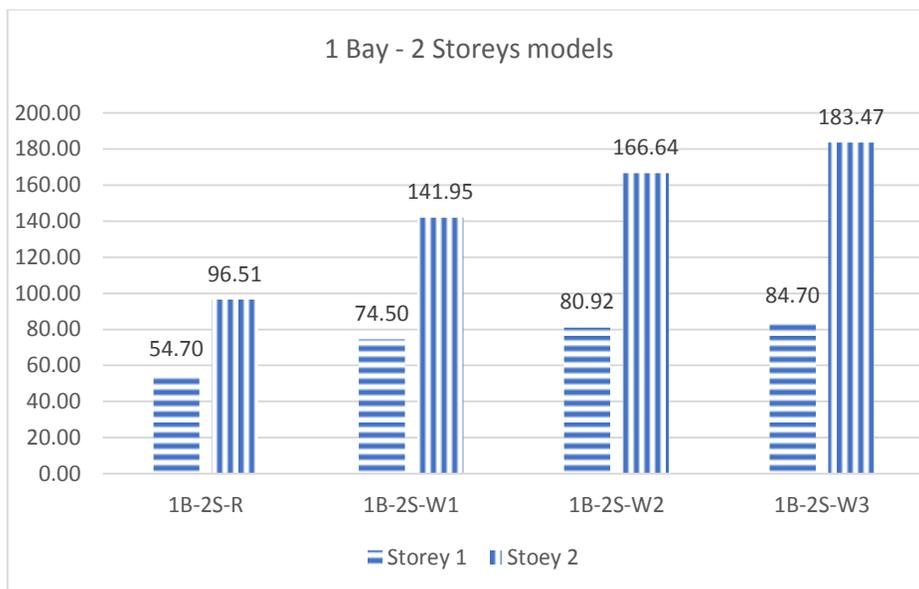
الشكل (23) يبيّن شكل التشوه للنموذج (1B-2S-W2) عند خطوة التحليل الأخيرة وقيم الإنزياحات الأفقية المرافقة في اتجاه الدّفع



الشكل (24) يبين تواتر الإهتزاز الجيبي للنموذج (1B-2S-W2)



الشكل (25) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بطابقين وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات



الشكل (26) مقارنة الانزياح الطائفي لنماذج الإطارات بطابقين وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات

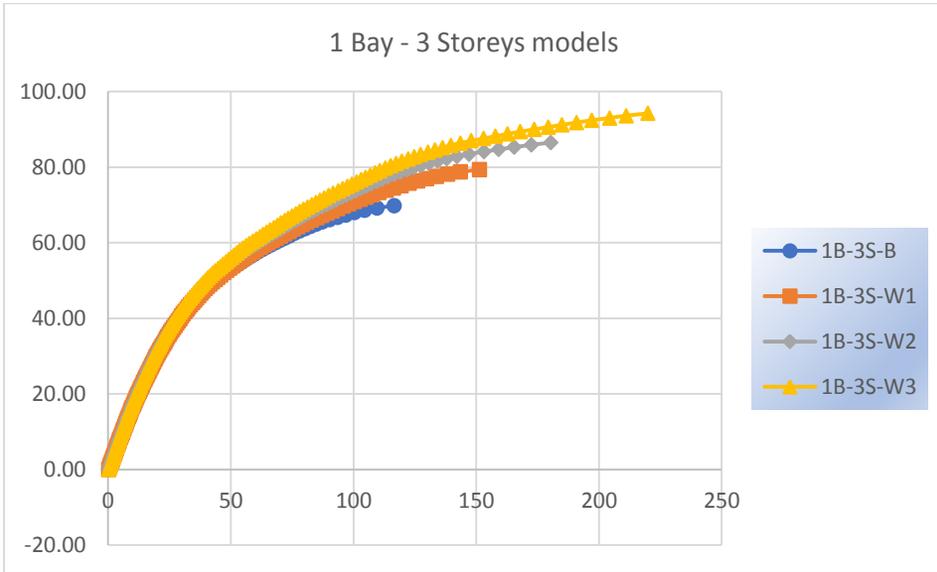
- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بطابقين وفتحة واحدة أعطى ما يلي:
 - ✓ قوة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (28%-42%-52%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (47%-72%-90%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (98%-97%-96%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوّق.

3. نماذج ثلاث طوابق وفتحة واحدة:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
1B-3S-B	116.58	69.78	2.23	-	-	-
1B-3S-W1	151.41	79.36	2.20	1.30	1.14	0.99
1B-3S-W2	180.35	86.49	2.17	1.55	1.24	0.97
1B-3S-W3	219.94	94.22	2.15	1.89	1.35	0.96

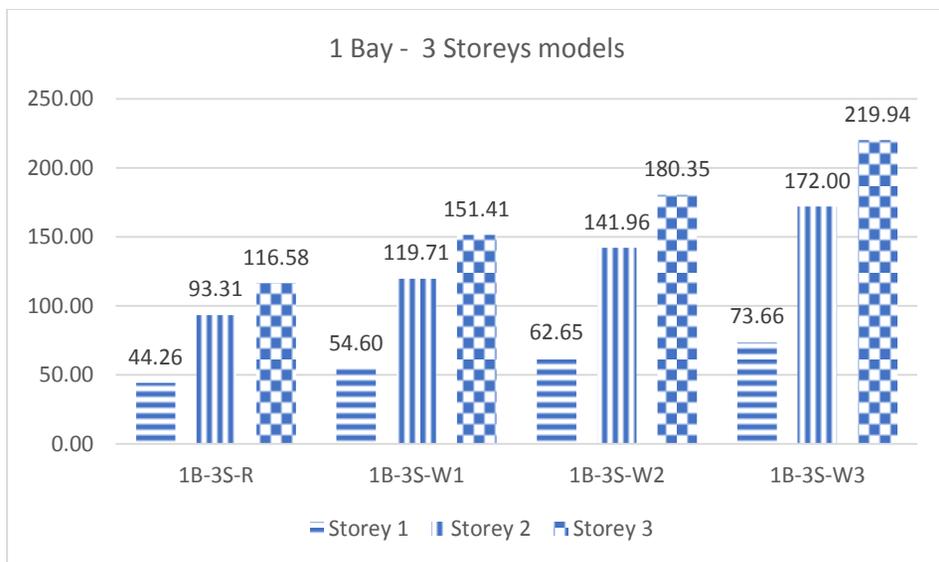
جدول (3) مقارنة قوة القص القاعدي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور

الاهتزاز T للنماذج بثلاث طوابق وفتحة واحدة



الشكل (27) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بثلاث طوابق وفتحة واحدة

عند تغيير عدد اللفات



الشكل (28) مقارنة الانزياح الطائفي لنماذج الإطارات بثلاث طوابق وفتحة واحدة عند تغيير عدد اللفات

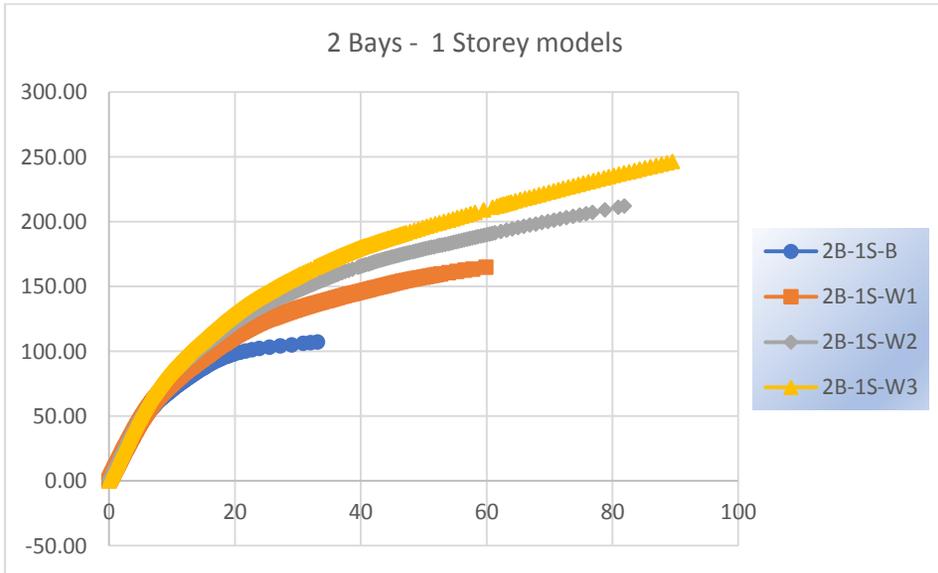
- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بثلاث طوابق وفتحة واحدة أعطى ما يلي:
 - ✓ قوّة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (14%-24%-35%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (30%-55%-89%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (98%-97%-96%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوّق.

4. نماذج طابق واحد وفتحيتين:

Model	D max	V max	T	Ds/Db	Vs/Vb	Ts/Tb
	mm	KN	Sec			
2B-1S-B	33.13	107.05	0.87	-	-	-
2B-1S-W1	59.89	164.97	0.86	1.81	1.54	0.99
2B-1S-W2	81.91	212.05	0.84	2.47	1.98	0.97
2B-1S-W3	89.54	246.48	0.83	2.70	2.30	0.95

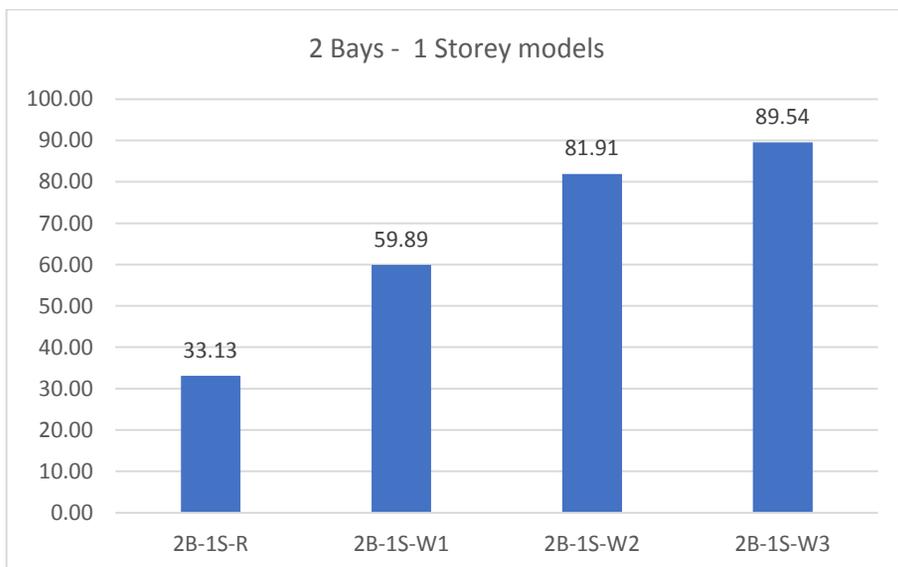
جدول (4) مقارنة قوة القص القاعدي V_{max} ، والانزياح الأعظمي D_{max} ، ودور

الاهتزاز T للنماذج بطابق واحد وفتحيتين



الشكل (29) مقارنة منحنيات الاستطاعة لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحيتين عند

تغيّر عدد اللفات



الشكل (30) مقارنة الانزياح الطائفي لنماذج الإطارات بطابق واحد وفتحيتين عند تغيير عدد اللفات

- نلاحظ أن تغيير عدد اللفات للنماذج بطابق واحد وفتحيتين أعطى ما يلي:
 - ✓ قوّة القص القاعدي للنماذج المطوّقة ازدادت عنها للنموذج الغير مطوّق بنسبة (54%-98%-130%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.
 - ✓ الانتقال الأعظمي للنماذج المطوّقة ازداد عنه للنموذج الغير مطوّق بنسبة (80%-147%-170%) في النماذج المطوّقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب.

✓ دور الاهتزاز لم يتأثر بشكل كبير بتغيير عدد اللفات حيث بلغ نسبة (99%-) في النماذج المطوقة بلفة ولفتين وثلاث لفات على الترتيب من دور الاهتزاز للنموذج الغير مطوق.

4-2 تقييم السلوك الزلزالي:

- التحقق من قدرة النماذج على تحقيق الطلب الزلزالي عند تغيير صنف الموقع: من أجل الوصول إلى تقييم شامل لفعالية التطويق باستخدام الياق الكربون عند مختلف أصناف التربة، تم حساب الطلب الزلزالي (الاستجابة) ممثلًا بقيمة التسارع $mm/s^2 * g$ في مدينة حمص لأصناف الموقع (A,B,C,D,E) حسب الملحق (2) للكود العربي السوري [15] ومقارنته مع التسارع الأعظمي الذي يمكن لكل نموذج الوصول إليه والمحسوب من علاقة الانتقال الهدف الواردة في الكود [9] FEMA 356، حيث تم تعويض قيمة الانتقال الهدف بقيمة الانتقال الأعظمي لمنحني استطاعة كل نموذج. تبين الجداول التالية مقارنة التسارع الأعظمي للنماذج (Max Acceleration) مع التسارع المطلوب (Demand Acceleration) عند كل صنف من أصناف الموقع:

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class $mm/s^2 * g$									
	$mm/s^2 * g$	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
1B-1S-B	0.257	0.25	OK	0.313	N OK	0.454	N OK	0.533	N OK	0.715	N OK
1B-1S-W1	0.414	0.254	OK	0.317	OK	0.46	N OK	0.541	N OK	0.715	N OK
1B-1S-W2	0.602	0.261	OK	0.326	OK	0.473	OK	0.556	OK	0.715	N OK
1B-1S-W3	0.621	0.265	OK	0.33	OK	0.48	OK	0.564	OK	0.715	N OK

جدول (5) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الطابق الواحد والفتحة الواحدة

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class $mm/s^2 * g$									
	$mm/s^2 * g$	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
1B-2S-B	0.134	0.127	OK	0.158	N OK	0.23	N OK	0.27	N OK	0.415	N OK

1B-2S-W1	0.189	0.129	OK	0.161	OK	0.233	N OK	0.274	N OK	0.419	N OK
1B-2S-W2	0.23	0.131	OK	0.163	OK	0.237	N OK	0.278	N OK	0.425	N OK
1B-2S-W3	0.258	0.132	OK	0.165	OK	0.24	OK	0.282	N OK	0.431	N OK

جدول (6) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الطابقين والفتحة الواحدة

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class mm/s ² * g									
	mm/s ² * g	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
1B-3S-B	0.069	0.083	N OK	0.104	N OK	0.151	N OK	0.177	N OK	0.271	N OK
1B-3S-W1	0.094	0.084	OK	0.105	N OK	0.153	N OK	0.179	N OK	0.275	N OK
1B-3S-W2	0.112	0.085	OK	0.107	OK	0.155	N OK	0.182	N OK	0.278	N OK
1B-3S-W3	0.136	0.086	OK	0.108	OK	0.156	N OK	0.184	N OK	0.281	N OK

جدول (7) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الثلاث طوابق والفتحة الواحدة

Model	Max Acceleration	Demand Acceleration according to site class mm/s ² * g									
	mm/s ² * g	Sa	Status	Sb	Status	Sc	Status	Sd	Status	Se	Status
2B-1S-B	0.154	0.213	N OK	0.266	N OK	0.386	N OK	0.454	N OK	0.694	N OK
2B-1S-W1	0.286	0.216	OK	0.269	OK	0.391	N OK	0.459	N OK	0.702	N OK
2B-1S-W2	0.41	0.221	OK	0.275	OK	0.4	OK	0.47	N OK	0.715	N OK
2B-1S-W3	0.444	0.223	OK	0.279	OK	0.41	OK	0.476	N OK	0.715	N OK

جدول (8) يبين حالة تحقيق النماذج ذات الطابق الواحد والفتحتين

- نلاحظ أن تقييم الأداء يختلف باختلاف صنف الموقع عند نفس المنطقة الزلزالية:
 ✓ فعالية التطويق أعظمية للنماذج بطابق واحد وفتحة واحدة حيث أنها فشلت في تحقيق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E فقط.
 ✓ النماذج ذات الطابقين وفتحة واحدة لم تحقق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E,D.

- ✓ النماذج ذات الثلاث طوابق وفتحة واحدة لم تحقق الطلب الزلزالي عند أصناف الموقع E,D,C.
- ✓ النماذج بطابق واحد وفتحتين لم تحقق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E,D.
- ✓ كافة النماذج لم تحقق الطلب الزلزالي عند صنف الموقع E وهذا دليل على عدم فعالية التطويق بعدد لفات حتى ثلاثة على السلوك الزلزالي عند هذا الصنف.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

5-1 ملخص النتائج:

1. تزداد فعالية التطويق بازدياد عدد اللفات بشكل عام حيث أن النماذج المطوّقة أبدت تحسّنا في السلوك الزلزالي من حيث ازدياد قوّة القص الأعظمية والانزياحات الطابقيّة الأعظمية في كافة النماذج.
2. تنقص فعالية التطويق بازدياد عدد الطوابق حيث أن النماذج ذات عدد الطوابق الأكبر تتطلّب عددا أكبر من اللفات لتحقيق طلب زلزالي معين مقارنة بالنماذج ذات عدد الطوابق الأقل.
3. تزداد فعالية التطويق بازدياد عدد الفتحات من حيث زيادة قوّة القص القاعدي والانزياحات الطابقيّة الأعظمية.
4. تنقص فعالية التطويق بازدياد خطورة صنف الموقع حيث أن ازدياد خطورة صنف الموقع تتطلّب عددا أكبر من اللفات.
5. يحسّن التطويق من سلوك المفاصل اللدنة في العناصر المطوّقة حيث يقلّل من دوراناتها وذلك بسبب قدرة البيتون المطوق المضغوط على المحافظة على طاقة تحمّله حتّى قيم تشوّهات أكبر من البيتون غير المطوّق مما يرفع من القدرة العزمية للعناصر ويحسّن سلوكها الزلزالي.

5-2 التوصيات:

1. دراسة تدعيم العقد (جائز-عمود) بألياف الكربون واقتراح تقنيات جديدة من شأنها أن تساهم في تحسين السلوك الزلزالي.
2. دراسة تأثير تغيير نسبة الحمولة الشاقوليّة على فعالية التطويق أثناء العمل الزلزالي.

6. المراجع

- [1] Lam L, and Teng J, 2003b, “Design-Oriented Stress-Strain Model for FRP-Confined Concrete in Rectangular Columns”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 22, No. 13, pp. 1149-1186.
- [2] Fahmy M. F. M, and Z. Wu. 2010. “Evaluating and proposing models of circular concrete columns confined with different FRP composites”, *Composites Part B*, Vol. 41, No. 3, pp. 199–213.
- [3] ACI440.2R-08, 2008 – “Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures”. American concrete institute, First printing, Farmington Hills, 80p.
- [4] Wang D.Y, Huang L, Yu T, Wang Z, 2017 – “Seismic performance of CFRP-retrofitted large-scale square RC columns with high axial compression ratios”, *J. Compos. Constr*, Vol. 21, No. 5.
- [5] Farrokh Ghatte H, M Comert, C Demir, and A Ilki, 2016 - “Evaluation of FRP confinement models for substandard rectangular RC columns based on full-scale reversed cyclic lateral loading tests in strong and weak directions”, *Polymers*, Vol. 8, No. 9, pp 323.
- [6] Wang G.L, Dai J.G, Bai Y.L, 2019 – “Seismic retrofit of exterior RC beam column joints with bonded CFRP reinforcement: An experimental study”, *Compos. Struct*, Vol. 224, No. 111018.
- [7] Chen WH, Shou WR, Qiao ZH, Cui SS, 2019 – “Seismic performance of non-ductile RC frames strengthened with CFRP”, *Compos Struct*, Vol. 221, No. 110870.
- [8] Alhaddad M, Binyahya A, Alrubaidi M, Abadel A, 2021 – “Seismic Performance of R.C Buildings with Beam-Column Joints Upgraded using FRP Laminates”, *King Saud University*, Vol. 33, No. 6, pp 386-395.

- [9] FEMA 356, 2000 – “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, 518p.
- [10] Belarbi A, Hsu TTC, 1994 – “Constitutive laws of concrete in tension and reinforcing bars stiffened by concrete”, Struct J Am concr Inst, Vol. 91, No. 4, pp 465-74.
- [11] CEB-FIP, 2010 – “CEB-FIP Model Code 2010 final draft”, International federation for structural concrete, First printing, Switzerland, 318p.
- [12] FEENSTRA, 1993 – “Computational Aspects of Biaxial Stress in Plain and Reinforced Concrete”, Delft University of Technology, Stevinweg1, 2628 CN Delft, pp159.
- [13] MA Crisfield, JL Tassoulas, 1993- “Nonlinear Finite Element Analysis of Solids and Structures”, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 119, No. 7.

[14] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، 2012، الطبعة الرابعة، نقابة المهندسين، سورية، دمشق، 404 صفحة.

[15] الملحق رقم (2) للكود العربي السوري، تصميم وتحقيق المباني والمنشآت المقاومة للزلازل، 2013، الطبعة الثانية، نقابة المهندسين، سورية دمشق، 271 صفحة.

تأثير الروابط البنيوية على تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية

الدكتورة: نجلا جميل الحسن

قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة: البعث

ملخص البحث

تتصف تربة اللوس بمقاومة عالية في حالتها الجافة ، وتتهار بنيتها بشكل مفاجئ عند تعرضها للرطوبة مما يسبب أضراراً في المنشآت المقامة عليها. أظهرت التجارب التي أجريت أنه بارتفاع قيمة الوزن الحجمي الجاف تتخفص قيمة تشوهات الزحف وبلغ انخفاض تشوهات الزحف %65 للعينات المشكلة بوزن حجمي جاف مقداره 1.65 gr/cm^3 مقارنة مع تشوهات الزحف في العينات المشكلة بوزن حجمي جاف مقداره 1.25 gr/cm^3 . بينت التجارب التي أجريت على عينات سليمة البنية من التربة وعينات مشكلة بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف ومحتوى الرطوبة أن العينات السليمة أبدت تشوهات زحف أقل مقارنة مع العينات المعاد تشكيلها وكانت أقل بـ %27 وهذه النسبة تتخفص كلما زادت الرطوبة الأولية للتربة بحيث تصبح تشوهات الزحف متقاربة لكلا العينتين عند رطوبة قريبة من رطوبة الإشباع بسبب انحلال الروابط البنيوية للتربة الإنخفاسية. أظهرت التجارب التي أجريت على عينات مشكلة بوزن حجمي جاف ثابت ومحتوى رطوبة أولي متغير أنه بزيادة الرطوبة الأولية للتربة تزداد تشوهات الزحف وبلغت الزيادة %160 عندما تغيرت الرطوبة من %5 إلى %16. بينت تجارب القص انخفاض مقاومة القص الأعظمية للعينات المشكلة مقارنة مع مقاومة القص الأعظمية للعينات السليمة التي لها نفس محتوى الرطوبة والوزن الحجمي الجاف.

الكلمات المفتاحية: الروابط البنيوية ، تشوهات الزحف ، عينات سليمة ، عينات مشكلة ، مقاومة القص الأعظمية.

Effect of structural bonds on creep deformations of Loose soils

Abstract

Loose soil has high resistance in its dry state of the soil, and its structure collapses suddenly when exposed to moisture, which causes damage to the structures. Experiments showed that by increasing the dry unit weight, the creep deformations decrease, this decrease was 65% for remolded samples with a dry unit weight of 1.65 gr/cm^3 compared with 1.25 gr/cm^3 . Experiments carried out on undisturbed and remolded samples with the same value of dry unit weight and moisture content showed that the deformations of undisturbed samples are 27% less than those of remolded ones. This percentage decreases as the initial moisture increases and the creep deformations become close for both soils when moisture reaches saturation due to loss of the structural bonds of the loose soil. Experiments conducted on remolded samples with constant dry unit weight and variable initial moisture content showed that the increase of the initial moisture increases the creep deformations, this increase was 160% when the moisture changed 5% to 16%. Experiments conducted showed the shear strength of the disturbed samples decreases compared with the undisturbed.

Key words : structural bonds , creep deformations, undisturbed samples, remodeled samples , maximum shear strength.

1-المقدمة

تعتبر تربة اللوس من أخطر أنواع الترب على المنشآت الهندسية نظراً للهبوط الكبير الذي يرافق التأسيس عليها ، وتنتشر هذه الترب في مختلف أنحاء العالم وتصادف في سورية على امتداد نهر العاصي من منطقة القصير مروراً بالرسن وصولاً إلى سهل الغاب ، وهناك الكثير من المنشآت خرجت من الخدمة بسبب التصدعات التي حصلت بها لدى تأسيسها على هذا النوع من الترب.

تتميز هذه الترب بمقاومتها الميكانيكية العالية عندما تكون في حالتها الجافة بينما تنهار بنيتها عند ترطيبها بشكل سريع يؤدي إلى حدوث هبوطات كبيرة فيها تصل لعشرات السنتيمترات مما يسبب تصدعات وتشققات وميول كبيرة في المنشآت المشادة عليها [11].

قد تكون تربة اللوس المنخفضة رملية غضارية أو غضارية رملية أو غضارية ، وقد تكون على الأغلب من اختلاط البقايا الترابية التي حملتها الرياح من المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية إلى المناطق المجاورة (الغابات) مع مخلفات بقايا الكائنات الحية التي تعيش على الطبقة العلوية من التربة ، أي أن منشأ هذه الترب هو الترسيب الجاف للجزيئات الصلبة المحملة مع الرياح و القادمة من مناطق مختلفة من العالم و التي تترسب على مناطق تغطيها نباتات عشبية كثيفة و مع الزمن تنفتت هذه النباتات لتخلف مكانها في التربة مسامات كبيرة و أفنية عمودية وهذا ما يفسر المسامية الكبيرة لهذه الترب (النسبة الكبيرة لجزيئات تربة اللوس هي من نوع السيلت كما و تحتوي جزيئات رملية) .

إن السماكات الأعظمية التي تصل إليها تربة اللوس المنخفضة تتراوح بين (15 - 20m) ويصعب بناء المنشآت على مثل هذا النوع من التربة بسبب الهبوط الكبير و غير المنتظم لأساساتها و الذي يحدث انهيار بهيكلها .

تتميز تشوهات الزحف في تربة اللوس بتشوه لحظي (أو ما يسمى بتشوه آني) كبير لحظة تطبيق الحمولة ثم تبدأ التشوهات مع الزمن ويزداد مقدار تشوهات الزحف بزيادة نسبة الغضار داخل التربة.

استعرض [4] أماكن تواجد طبقات اللوس في الصين والمخاطر الجيولوجية من وجود هذه التربة ودرس تأثير طريقة تشكل هذه الطبقات وظروف تشكلها في خصائص هذه التربة.

أظهر [3] تأثير وجود الأملاح على خصائص تربة اللوس من خلال التجارب التي أجريت على تربة يعود تشكلها إلى العصر الجليدي وتبين أن وجود الأملاح يسبب تدني مقاومة القص لتربة اللوس.

تتميز هذه التربة بالإضافة إلى مساماتها الطبيعية بوجود مسامات أخرى كبيرة تدعى بالمسامات الكبيرة و التي ترى بوضوح بالعين المجردة مع محتوى قليل لجزئيات الغضار مما يكسبها إمكانية كبيرة لتمرير الماء ، وعامل نفوذيتها يتغير أثناء الترطيب إلى أن يصبح ذو قيمة ثابتة وذلك بعد انتهاء عملية الإنخفاس.

بحث [6] في مخاطر التأسيس على تربة اللوس والأخطار الكبيرة التي يمكن أن تتعرض لها المباني المقامة على هذه التربة و أشكال الانهيارات التي تصيبها وطرق الحد من أضرارها ، ومخاطر مياه الصرف الصحي في التأثير على هذه التربة.

ذكر [7] أن التشوهات التي تحصل في هذه التربة تُعزى إلى زحف هيكل التربة ، فمن الناحية العملية إن تأثير الزمن على استقرار المنحدرات واستقرار ركائز الجسور هو دليل واضح على زحف هيكل التربة ، ومن المعروف أن التربة الإنخفاسية تُظهر تأثيرات زحف مثل الانزلاق على المدى الطويل للمنحدرات وهبوط الأعمال الهندسية مع مرور الزمن، لذلك من الضروري معرفة تأثير الزمن على التربة الإنخفاسية .

درس [9] ظاهرة الزحف في التربة الإنخفاسية و أظهر تأثير الرطوبة والإجهاد المطبق على هذه التشوهات ، و أوضح أن نظرية الزحف المتوارث الخطية توصف تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية .

بحث [1] في تأثير متانة الروابط وتأثير الرطوبة على هذه الروابط ، وأظهر تأثير الروابط على متانة التربة عندما تكون رطوبة التربة منخفضة وكلما ارتفعت رطوبة التربة قل تأثير الروابط على المتانة بحيث يتلاشى هذا التأثير من أجل الرطوبات المرتفعة.

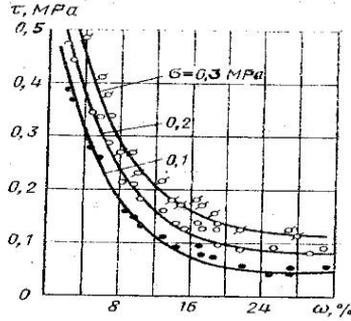
درس [11] خصائص الزحف لتربة اللوس الإنخفاسية باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور بمحتوى رطوبة منخفض وإجهاد خلية متغير، وأوضح أن ضغط الخلية ومحتوى الرطوبة لهما تأثير كبير على خصائص الزحف ، فعند ثبات ضغط الخلية وزيادة محتوى الرطوبة تزداد تشوهات الزحف ، وبالعكس تماماً فعند زيادة ضغط الخلية وثبات الرطوبة تتناقص قيمة تشوهات الزحف.

درس [12] خصائص الزحف لتربة اللوس الإنخفاسية ضمن جهاز الضغط ثلاثي المحاور مستخدماً ثلاثة أنواع من التربة ، تربة سليمة البنية وتربة معاد تشكيلها وتربة سليمة البنية في حالة الإشباع وذلك تحت ضغوط خلية مختلفة. وتوصل على أن جميع أنواع تربة اللوس تبدي خصائص تشوهات غير خطية ويكون التشوه في التربة المشبعة هو الأعلى ثم يليه العينات المعاد تشكيلها، ثم العينات سليمة البنية. مؤكداً أن الرطوبة والإجهاد والوزن الحجمي الجاف جميعها لها تأثير كبير على خصائص الزحف لتربة اللوس.

درس [11] خصائص الزحف لتربة اللوس باستخدام جهاز الضغط ثلاثي المحاور ومن أجل رطوبات مختلفة و قيم متنوعة لإجهاد التطويق ، ووضح أن إجهاد الخلية ومحتوى الماء لهما تأثير كبير إلى حد ما على خصائص الزحف ، كما أنه عمل على اقتراح علاقة رياضية مكونه من سبعة بارامترات قادرة على وصف العلاقة غير الخطية ضمن مرحلة الزحف المتسارع.

بحث [8] تأثير درجة الإشباع على مقاومة القص لتربة اللوس و تبين انخفاض مقاومة القص للتربة الإنخفاسية بزيادة الرطوبة الأولية.

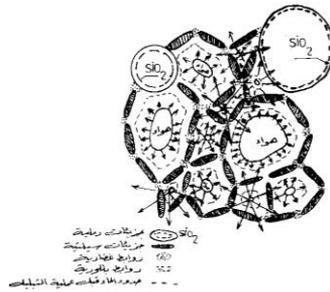
أظهر [9] أن مقاومة القص لتربة اللوس المنخفضة قبل ترطيبها تكون كباقي أنواع التربة الأخرى ، لكن زيادة الترطيب للتربة يعمل على تخفيض هذه المقاومة ويمكن وصف هذا السلوك كما في الشكل (1).



الشكل (1) انخفاض مقاومة القص مع زيادة الرطوبة [9]

لاحظ [5] تدني مقاومة تربة اللوس عندما تتهار الروابط البنيوية و تم بحث تأثير ظروف تشكل تربة اللوس على أهمية ومثانة الروابط وتبين انخفاض مقاومة القص لتربة اللوس بعد أن تُخرب روابطها من أجل الرطوبة ذاتها .

إن قوى الترابط بين جزيئات اللوس تتألف من روابط غضارية و روابط إسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة و كذلك الروابط عبر طبقة السيليكون (SiO_2) المتواجدة على محيط الجزيئات الرملية كما يبين الشكل (2). لذلك وعند ترطيب تربة اللوس فإن قوى الترابط هذه تضعف أو تتلاشى نهائياً فتتخطم قوى بنية هذه التربة ذات المسامات الكبيرة و تتشوه بشكل كبير (هبوطات كبيرة و خطيرة) ، حيث تضعف الروابط الغضارية و روابط السيليكون ، و يذوب قسم من الروابط الملحية ، كما تنعدم قوى الامتصاص في فراغات التربة.



الشكل (2) قوى الترابط بين جزيئات التربة اللوسية [5]

درس [10] تأثير الروابط البنيوية للتربة الإنخفاسية على مقاومة القص ، وتم وضع صيغ تربط بين مواصفات القص للتربة وقوة الترابط بين الذرات وتبين أن زاوية الاحتكاك الداخلي لا ترتبط بهذه القوى.

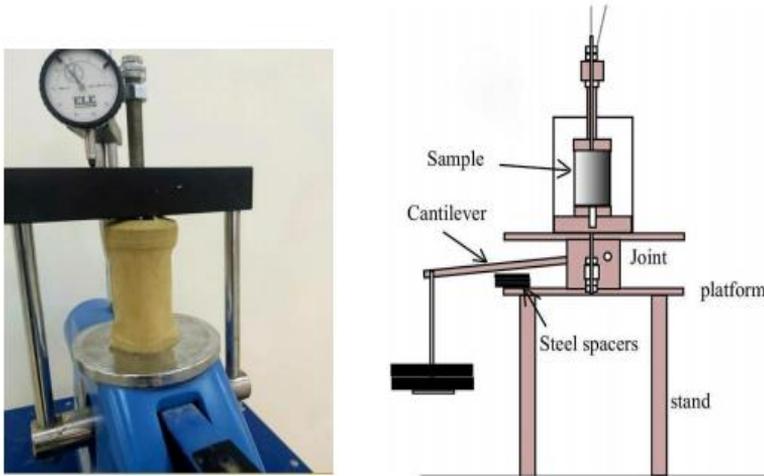
نظراً لتعقيد ظاهرة الزحف والعدد الكبير من العوامل المؤثرة عليها فقد تم تطوير العديد من النظريات لوصف سلوك الزحف لطيف واسع من المواد ، وتعد المسألة الأساسية في نظريات الزحف هي تحديد العلاقة [إجهاد ، تشوه ، زمن] ، تختلف هذه النظريات بالمعادلات التي تربط بين الإجهاد والتشوه والزمن ، بعبارة أخرى تختلف في طريقة الوصول لتلك المعادلات وفي كيفية وصف ظاهرة الزحف.

$$\varepsilon(t) = f(\sigma_i, t) \dots or \dots \sigma_i = f(\varepsilon_i, t) \dots (1)$$

2-هدف البحث

يهدف البحث إلى :

- إبراز تأثير الوزن الحجمي الجاف لعينات الضغط الحر والخاضعة لإجهاد شاقولي ثابت على سلوك الزحف في الترب الإنخفاسية.
 - إظهار تأثير الروابط البنيوية على سلوك الزحف للترب الإنخفاسية .
 - إبراز تأثير الرطوبة والروابط البنيوية على مقاومة القص لتربة اللوس ، وتأثير الروابط البنيوية بين الذرات على الإزاحة الأعظمية الموافقة لمقاومة القص الأعظمية لحالتى العينات سليمة البنية والعينات المشككة في المختبر .
- أجريت الدراسة المخبرية على الجهاز الموضح في الشكل (3) حيث وضعت العينة على جهاز التشديد لكي نضمن بقاء الإجهاد الشاقولي ثابت طيلة فترة إجراء التجربة.



الشكل (3) الجهاز المستخدم لإجراء التجارب

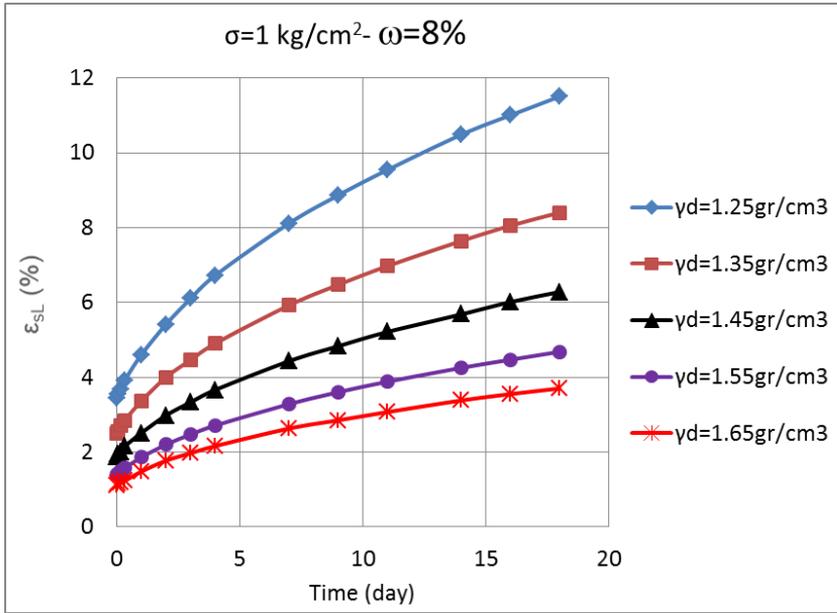
3- مواد وطرائق البحث

تم إحضار عينات التربة التي أجريت عليها التجارب من منطقة جوسيه في ريف القصير جنوب غرب مدينة حمص. حيث جُففت التربة ونُخلت على المنخل 2mm وتم تحديد الخواص الأساسية الفيزيائية والميكانيكية للتربة وفق نظام (ASTM) [2] وكانت النتائج كما هي مبينة في الجدول (1).

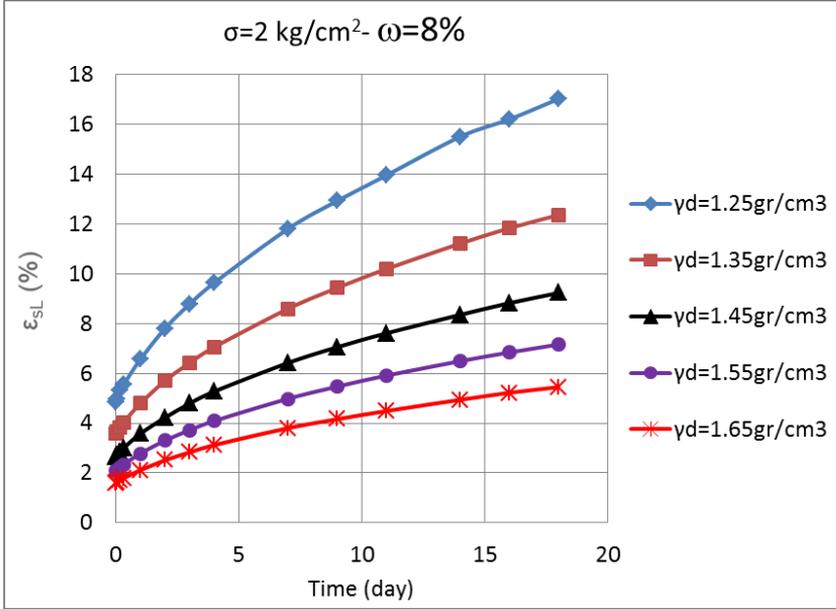
الجدول (1) الخواص الأساسية الفيزيائية والميكانيكية للتربة

جوسيه (ريف القصير)		موقع التربة
7.8	$\omega\%$	محتوى الرطوبة
1.67	$\gamma_b \text{ g/cm}^3$	الوزن الحجمي الرطب
1.55	$\gamma_d \text{ g/cm}^3$	الوزن الحجمي الجاف
2.7	G_s	الوزن النوعي
1.79	$\gamma_{dmax} \text{ g/cm}^3$	الوزن الحجمي الجاف الأعظمي
16.8	ω_{opt}	الرطوبة الأصولية
27.41	ω_{sat}	رطوبة الإشباع
0.74	e_0	دليل الفراغات الابتدائي
28.38	Sr %	درجة الإشباع
27.8	LL %	حد السيولة
17.4	LP%	حدا اللدونة
10.4	IP%	دليل اللدونة
24.6	S %	رمل
52.6	M %	سيلت
22.8	C %	غضار
24.2	ϕ°	زاوية الاحتكاك الداخلي
0.46	C kg/cm^2	التماسك
ML	USCS	نظام تصنيف التربة

3-1 دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن
 بهدف دراسة تأثير الوزن الحجمي الجاف على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن قمنا بتجهيز خمس مجموعات من التربة.
 باعتبار قيمة للرطوبة الأولية مقدارها $\omega=8\%$ و تطبيق إجهاد ناظمي ثابت قيمته $\sigma=1\text{kg/cm}^2$ ، تم تكرار التجارب خمس مرات بتغيير قيمة الوزن الحجمي الجاف في كل مرة وفق القيم ($\gamma_d=1.25 , 1.35 , 1.45 , 1.55 , 1.65 \text{ gr/cm}^3$) حيث استخدمت عينتين في كل تجربة.
 توضح الأشكال التالية (4,5) تغير تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن علماً أن كل منحنى يوافق قيمة وزن حجمي جاف وكل مجموعة توافق قيمة محددة للإجهاد الناظمي المطبق على العينة.



الشكل (4) تغير تشوهات التربة الإنخفاسية مع الزمن



الشكل (5) تغير تشوهات التربة الإنخفاسية مع الزمن

يمكننا تقسيم كل مخطط من المخططات السابقة إلى تشوهات لحظية يرمز لها $\varepsilon(0)$ تحدث مباشرة بعد تطبيق الحمولة (الحمولة تبقى ثابتة طيلة فترة إجراء التجربة) ، وتوافق التشوه عند اللحظة ($t=0$) وتسمى أيضاً التشوه الفوري أو البدائي، والجزء الآخر من التشوهات يتم مع الزمن ويرمز له $\bar{\varepsilon}(t)$ ، وبالتالي يمكن أن نعبر عن التشوهات مع الزمن للتربة الإنخفاسية بتغير الوزن الحجمي الجاف بالصيغة التالية :

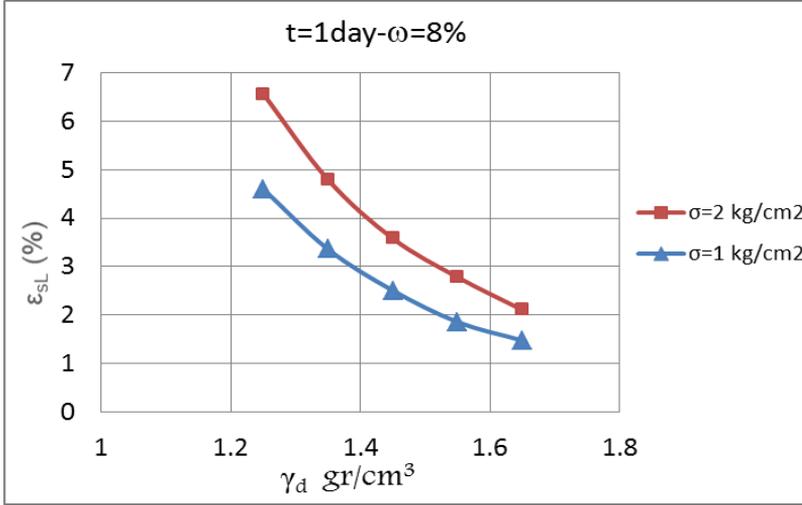
$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \bar{\varepsilon}(t) \dots \dots \dots (2)$$

كذلك وكما هو مبين من المخططات فإن تشوهات الزحف $\bar{\varepsilon}(t)$ في العينات تتكون من جزأين في الجزء الأول تتناقص سرعة التشوهات مع الزمن (مرحلة الزحف الابتدائي) حتى تصل إلى قيمة ثابتة (مرحلة الزحف المستقر) حيث نطلق على تشوهات الزحف بتشوهات الزحف المتخامدة وتكون مدته طويلة نسبياً.

$$\varepsilon(t) = \varepsilon(0) + \bar{\varepsilon}_I(t) + \bar{\varepsilon}_{II}(t) \dots \dots \dots (3)$$

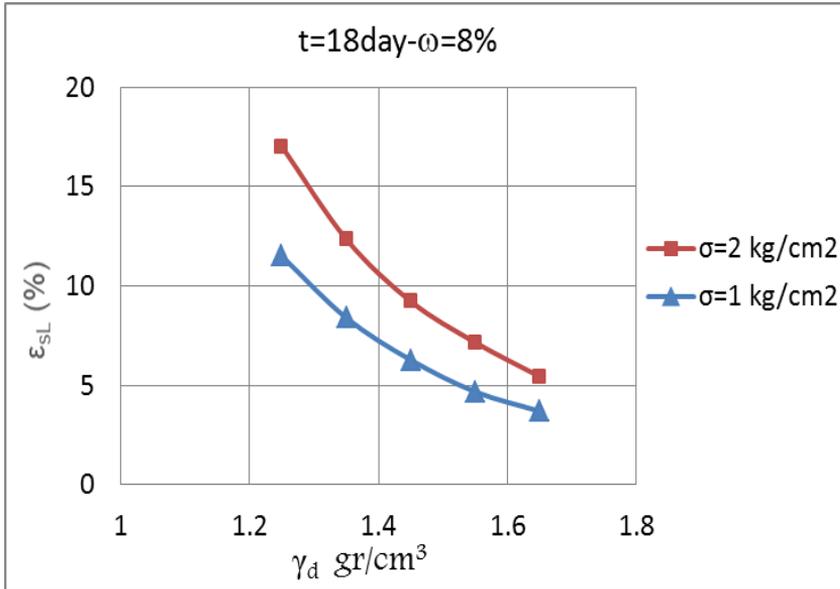
وكل مرحلة من هذه المراحل تستمر (تطول أو تقصر) تبعاً لنوع التربة وقيمة الإجهادات المطبقة ورطوبة التربة. يتمتع كل منحنى ضمن مرحلة الزحف المستقر بميل مستقيم (d_e/d_i = سرعة التشوه) يتعلق بقيمة الإجهاد المطبق وقيمة الوزن الحجمي الجاف

للعيينة. لإظهار تأثير الوزن الحجمي على تشوهات الزحف تم رسم العلاقة بين الوزن الحجمي الجاف وقيم التشوهات مع الزمن عند فواصل زمنية مختلفة (t=1-18 day) كما هو وراة في الأشكال التالية (6,7).



الشكل (6) تغيير تشوهات التربة الإنخفاضية مع الزمن تبعاً لتغير الوزن الحجمي الجاف

t=1 day



الشكل (7) تغيير تشوهات التربة الإنخفاضية مع الزمن تبعاً لتغير الوزن الحجمي الجاف عند

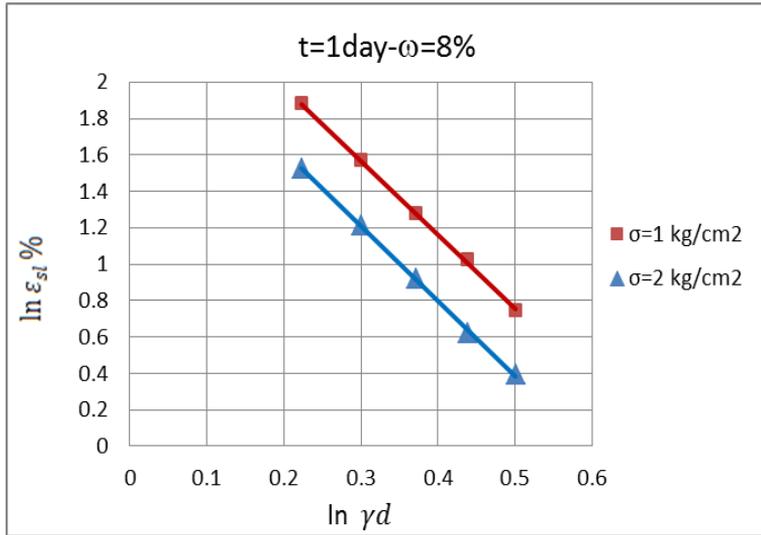
t=18day

نلاحظ من المنحنيات الواردة في الأشكال (7,6) كلما ازدادت قيمة الوزن الحجمي الجاف تتخفف قيمة التشوهات مع الزمن. من المنحنيات تم استنتاج صيغة رياضية يمكن من خلالها حساب قيمة التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية بدلالة الوزن الحجمي الجاف للتربة :

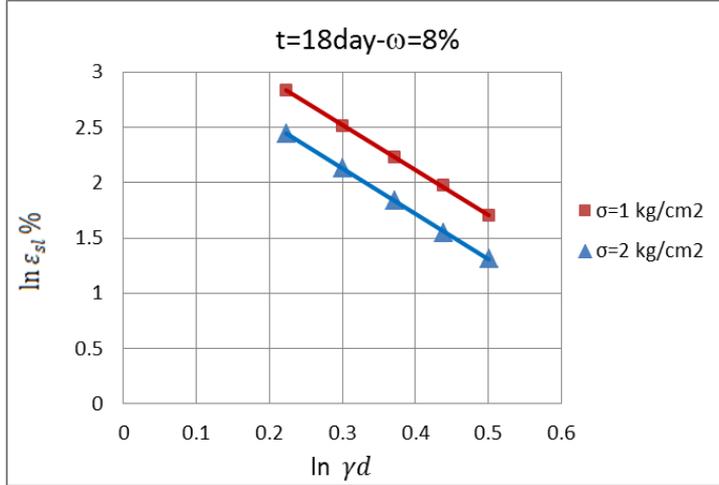
$$\varepsilon_{sl}(t) = \lambda * \gamma_d^{-m} \dots\dots\dots(4)$$

حيث λ, m ثوابت زحف يمكننا تحديدها لو رسمنا النتائج المخبرية في جملة احداثيات يكون فيها محور الترتيب $\ln \varepsilon_{sl}(t)$ ، ومحور الفواصل $\ln \gamma_d$. تبين الأشكال (9,8) تغير تشوهات الزحف مع الزمن بتغير قيمة الوزن الحجمي الجاف.

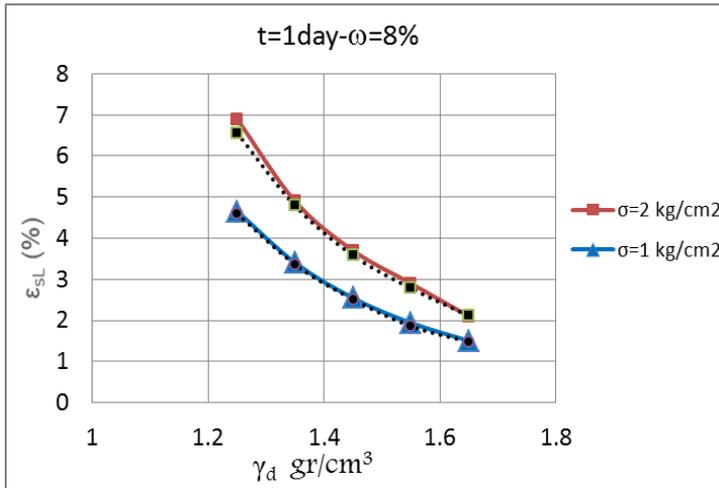
الثابت m يعبر عن ميل المستقيمات، أما تقاطع المستقيمات مع محور الترتيب فيعبر عن قيمة $\ln \lambda$.

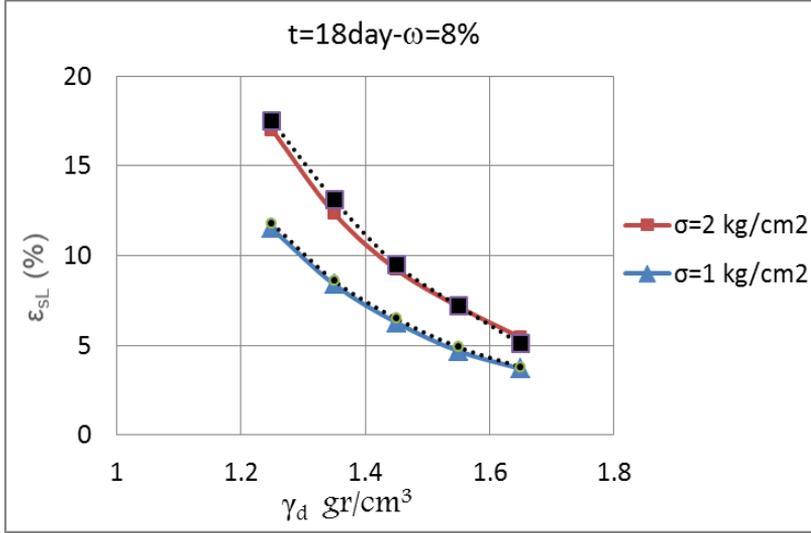


الشكل (8) تحديد الثوابت λ, m من أجل $t=1\text{day}$

الشكل (9) تحديد الثوابت λ, m من أجل $t=18\text{day}$

إن وقوع النقاط على استقامة واحدة يعطي موثوقية للعلاقة المقترحة (4) ونلاحظ أن قيمة الثابت $m=4.07$ أما قيمة الثابت λ تتعلق بقيمة الإجهاد المطبق على العينة عند حصول تشوهات الزحف. للتأكد من موثوقية العلاقة (4) فقد أجرينا مقارنة بين قيم تشوهات الزحف مع الزمن المأخوذة من التجربة ورمزنا لها بخط مستمر والمنحني الآخر المنقط يمثل قيم التشوهات مع الزمن المحسوبة من الصيغة (4)، إن العلاقة المقترحة تتمتع بدقة جيدة في وصف تشوهات الزحف للترب الإنخفاسية بتغير الوزن الحجمي الجاف. الأشكال (10,11) توضح هذه النتائج.

الشكل (10) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن $(t=1\text{day})$



الشكل (11) القيم المخبرية والحسابية للتشوهات عند زمن (t=18day)

2-3 تأثير قوى الترابط على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن

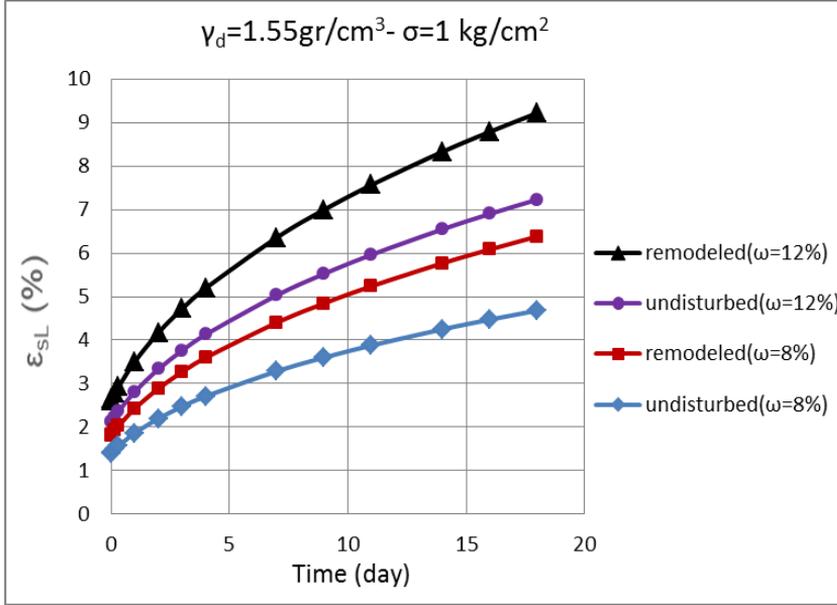
لتوضيح تأثير قوى الترابط البنيوية بين ذرات التربة على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن قمنا بتجهيز مجموعتين من العينات.

المجموعة الأولى تتكون من عینتين سليمتي البنية ، كل عينة لها محتوى رطوبة وهو $\omega=8,12\%$ على التوالي.

المجموعة الثانية تتكون من عینتين شكلتا بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف للعينة السليمة والبالغ $\gamma_d=1.55 \text{ gr/cm}^3$.

عينات المجموعة الثانية هي عينات مخربة البنية تم تشكيلها في المختبر بقيمة الوزن الحجمي الجاف المشار إليه وبمحتوى رطوبة $\omega=8,12\%$ ، وتم تحميل جميع العينات السليمة و المخربة (المعاد تشكيلها) بإجهاد قيمته $\sigma=1 \text{ kg/cm}^2$.

يبين الشكل (12) تشوهات الترب الإنخفاسية للعينات سليمة البنية والعينات المخربة.



الشكل (12) تأثير الروابط البنيوية على تشوهات الترب الإنخفاسية مع الزمن من أجل $\omega=8,12\%$ ، $\sigma=1\text{kg/cm}^2$

النتائج الموضحة في الشكل (12) تظهر أن التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية للعينات سليمة البنية هو أقل من التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية للعينات المعاد تشكيلها ومن أجل قيم مختلفة للرطوبة .

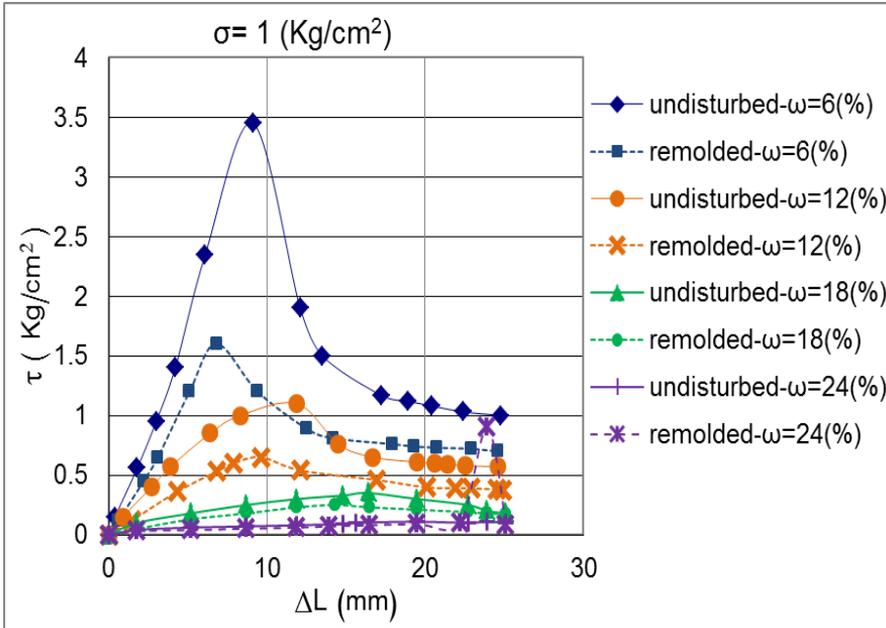
يتم تفسير ذلك بأن الروابط بين الذرات للعينات السليمة تزيد من مقاومة التربة فالروابط بين الذرات عبارة عن روابط غضارية وروابط اسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة وكذلك عبر طبقة السليكون المتواجدة على محيط الجزيئات الرملية فعند تحطيم بنية التربة وإعادة تشكيلها من جديد يؤدي ذلك إلى تحطيم هذه الروابط وتصبح التربة أكثر عرضة للتشوهات ، كما أن هذه الروابط تضعف وتتلاشي بزيادة محتوى الرطوبة للعينة لأنه عند زيادة محتوى الرطوبة يعمل الماء على إذابة الروابط الملحية والإضعاف من قوى التماسك بين الذرات وتصبح التربة أكثر عرضة للتشوه.

3-3 - تأثير قوى الترابط والرطوبة الابتدائية على مقاومة القص لتربة اللوس

لإبراز تأثير قوى الترابط البنيوية بين ذرات التربة والرطوبة الابتدائية على مقاومة القص أجريت تجارب القص المباشر على مجموعتين من العينات .

المجموعة الأولى تتكون من أربع عينات سليمة البنية، كل عينة توافق رطوبة ابتدائية محددة وهي على التوالي ($\omega = 6,12,18,24\%$).

أما المجموعة الثانية من العينات فتتكون من أربع عينات شكلت بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف للعينات السليمة البنية والبالغ ($\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$) ، و نفس قيم الرطوبة الابتدائية ($\omega = 6,12,18,24\%$) ، بحيث أجريت تجربة القص المباشر على عينتين لهما نفس الرطوبة الابتدائية ونفس قيمة الوزن الحجمي الجاف، العينة الأولى سليمة البنية أخذت من كتلة التربة و العينة الثانية تم تشكيلها في المختبر، وقصت العينات بسرعة قص ثابتة قيمتها (0.5 mm/min) بعد أن طبق عليها إجهاد ناظمي ثابت قيمته $\sigma = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$. الشكل (13) يبين نتائج تجارب مقاومة القص للتربة.



الشكل (13) تغير مقاومة القص مع الإزاحة تبعاً للرطوبة الابتدائية وروابط التربة

ويبدو من الشكل (13) أن مقاومة القص الأعظمية للتربة تزداد كلما كانت الرطوبة الابتدائية منخفضة، كذلك فإن مقاومة القص الأعظمية تكون قيمتها أكبر للعينات سليمة البنية مقارنةً مع مقاومة القص الأعظمية لعينات التربة المشكلة في المختبر من أجل نفس الرطوبة الابتدائية و نفس قيمة الوزن الحجمي الجاف ، مما يشير إلى أهمية قوى الترابط بين الذرات في زيادة مقاومة القص الأعظمية للتربة عند محتوى رطوبة منخفض، ويقل الفارق بين مقاومتي القص للعينتين كلما ازدادت الرطوبة الابتدائية للتربة بحيث يتلاشى تأثير الروابط عند الرطوبة القريبة من رطوبة الإشباع.

يبين الجدول رقم (2) نتائج مقاومة القص الأعظمية للعينات سليمة البنية والعيّنات المخربة البنية التي شكلت في المختبر بنفس قيمة الوزن الحجمي الجاف للعينات السليمة ومن أجل قيم مختلفة للرطوبة الأولية ، كما يظهر الجدول النسبة بين مقاومتي القص لكلا الحالتين ومن أجل القيم المختلفة للرطوبة.

الجدول رقم (2) نتائج مقاومة القص الأعظمية للعينات سليمة البنية والعيّنات المخربة البنية

24	18	12	6	$\omega\%$
0.1	0.35	1.1	3.45	$\tau_{\max}(\text{undisturbed}) (\text{kg/cm}^2)$
0.1	0.25	0.65	1.6	$\tau_{\max} (\text{remolded}) (\text{kg/cm}^2)$
1	1.4	1.7	2.2	$\frac{\tau_{\max} (\text{undisturbed})}{\tau_{\max} (\text{remolded})}$

يظهر من الجدول أن النسبة بين المقاومتين تتخفّض مع زيادة رطوبة التربة لتصل إلى قيمة تصبح المقاومتين متقاربتين.

تفسر الزيادة في مقاومة القص الأعظمية للعينات سليمة البنية بأن قوى الترابط بين جزيئات تربة اللوس تتألف من روابط غضارية وروابط إسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة وكذلك الروابط عبر طبقة السيليكون (SiO_2) المتواجدة على محيط الجزيئات

الرمليّة. لذلك وعند ترطيب تربة اللوس فإن قوى الترابط هذه تضعف أو تتلاشى نهائياً والروابط الملحية تذوب عندما تكون رطوبة التربة قريبة من رطوبة الإشباع مما يؤدي لانخفاض المقاومة وتصبح مقاومة القص متقاربة في حالتي العينات سليمة البنية والمخرية عند ارتفاع رطوبة التربة البدائية وقربها من رطوبة الإشباع.

أما لمعرفة تأثير الرطوبة الابتدائية على مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية لكلا العينتين السليمة والمخرية فيبدو من الجدول (3) أن مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية تزداد بزيادة الرطوبة الابتدائية للتربة، ومن أجل رطوبة ابتدائية ثابتة تكون قيمة الإزاحة أكبر للعينات السليمة البنية مقارنة مع العينات المخرية والمشكلة في المختبر.

الجدول (3) تغير مقدار الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية مع الرطوبة الابتدائية

24	18	12	6	$\omega\%$
1.0	1.1	1.2	1.3	$\Delta L(\text{undisturbed}) / \Delta L(\text{remolded})$

ويوضح الجدول الفارق بين الإزاحتين للعينتين المجربتين وتصبح الإزاحتين متقاربتين من أجل رطوبة قريبة من رطوبة الإشباع مما يشير إلى انحلال الروابط بين ذرات التربة بوجود الماء.

4- النتائج والتوصيات:

- 1- الوزن الحجمي الجاف له تأثير كبير على سلوك الزحف للترب الإنخفاسية حيث تتخفض قيمة تشوهات الزحف للتربة الإنخفاسية بزيادة قيمة الوزن الحجمي الجاف ومنه فإن رص التربة بهدف رفع قيمة الوزن الحجمي الجاف لها يساعد في التقليل من تشوهات الزحف في التربة الإنخفاسية .
- 2- استنتاج صيغة رياضية تعبر عن تغير التشوهات مع الزمن للترب الإنخفاسية بتغير قيمة الوزن الحجمي الجاف للتربة العلاقة (4).
- 3- الروابط البنوية بين ذرات التربة الإنخفاسية عبارة عن روابط غضارية و روابط اسمنتية حاصلة من الأملاح المتبلورة وكذلك عبر طبقة السليكون فعند تحطيم هذه الروابط وتشكيل عينات جديدة (عينات مخربة البنية) تبدي العينات تشوهات زحف أكبر مما تبديه العينات السليمة المحافظة على هذه الروابط ، وتصبح تشوهات الزحف متقاربة عندما تزداد رطوبة التربة وتصبح قريبة من رطوبة الإشباع .
- 4- مقاومة القص الأعظمية للتربة سليمة البنية أكبر من مقاومة القص للتربة المخربة البنية عند الرطوبات المنخفضة ، ويقل الفارق بين المقاومتين كلما زادت رطوبة التربة بحيث تصبح القيمتين متقاربتين عندما تصبح رطوبة التربة قريبة من رطوبة الإشباع.
- 5- الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية للعينات السليمة هي أكبر من الإزاحة الموافقة لمقاومة القص الأعظمية للعينات مخربة البنية وتتقارب قيمتي الإزاحة عندما تصبح رطوبة التربة قريبة من رطوبة الإشباع .
- 6- نوصي بإجراء نمذجة عددية لوصف سلوك الزحف للترب الإنخفاسية عددياً آخذين بعين الاعتبار جميع البارامترات المؤثرة على هذه التشوهات.

References:

- 1- Assallay, A.M., Rogers, C.D.F., Smalley, I.J., 1997. Formation and collapse of metastable particle packings and open structures in loess deposits. Eng. Geol. 48 (1-2), 101-115.
- 2- ASTM.D. 4318-93, Standard Tests Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- 3- Derbyshire, E., Mellors, T.W., 1988. Geological and geotechnical characteristics of some loess and loessic soils from China and Britain: a comparison. Eng. Geol. 25, 135-175.
- 4- Derbyshire, E., 2001. Geological hazards in loess terrain, with particular reference to the loess regions of China. Earth Sci. Rev. 54, 231-260.
- 5- Dijkstra, T.A., Smalley, I.J., Rogers, C.D.F., 1995. Particle packing in loess deposits and the problem of structure collapse and hydro consolidation. Eng. Geol. 40, 49-64.
- 6- Ding, Z.Q., Li, Z.H., 2009. Geological Hazards and their Prevention in Lanzhou City. Gansu Publishing House of Science and Technology, Lanzhou (472 pp).
- 7- Furong Yan and Xiaodan Yue 2019 " Analysis on Creep Characteristics and Microscopic Mechanism of Loess "
- 8- Mitchell JK. Fundamentals of soil behavior [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1976: 40-56.

- 9- Mustafaev.A.A. (1989) Foundations in collapsing and Expansive Soils Higher School Moscow.
- 10- Shao,S.J.,and Deng,G. H. 2008. The strength characteristics of loess with different structures and its application in analyzing the earth pressure on loess tunnel. China Civil Engineering Journal, 41(11),93-98
- 11- Smalley,I.J., Vita-Finzi, C., 1968. The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of "desert" loess. 38, 766-774.
- 12- WANG Song-he, LUO Ya-sheng 2009" Experimental study on creep characteristics of loess under complex stress"

دراسة تأثير إضافة الغرافيت في تقادم الخلائط الإسفلتية الساخنة

* م. نغم طالب
*** د.م باسم سلطان
** أ. د.م فايز سليمان
*** د.م باسم علي

الملخص

يتطلب الانتشار الواسع لاستخدام المجدول الإسفلتي دراسات مستمرة للتعرف على سلوكية المواد المكونة له، والعيوب والمشاكل التي يمكن أن يتعرض لها، وبالتالي البحث الدائم في تحسين مواصفاته بالشكل الذي يضمن مقاومته للعيوب والحمولات التي يمكن أن يتعرض لها، وذلك بهدف إطالة عمر خدمة طبقات الرصف وزيادة ديمومتها. وانسجماً مع هذا الطلب تم في هذا البحث دراسة تأثير الغرافيت في التقادم قصير وطويل الأمد للخلائط الإسفلتية الساخنة، وذلك بإجراء اختبارات على خواص الرابط الإسفلتي المعدل بالغرافيت بنسب مختلفة وتحديد النسب المثلى منه، وجرى بناءً على ذلك تشكيل عينات مجدول إسفلتي ساخن مرجعية وأخرى معدلة بالنسبة المثالية من الغرافيت، وتعريضها لفترتي تقادم قصير وطويل الأجل، ودراسة بعض الخواص الميكانيكية قبل وبعد التقادم مثل: ثبات مارشال - الشد غير المباشر - الحساسية بفعل الرطوبة، وحساب دلائل التقادم لتحديد تأثير الإضافة فيه. بينت نتائج الدراسة أن إضافة نسبة (10) % وزناً من الرابط الإسفلتي، تحسن من خواص مقاومة الخلائط الإسفلتية للتقادم قصير وطويل الأمد بشكل فعال مقارنة مع نتائج الخلائط غير المعدلة.

الكلمات المفتاحية : غرافيت - تقادم قصير الأمد - تقادم طويل الأمد - ثبات مارشال - الشد غير المباشر

* طالبة دكتوراه - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية
** أستاذ - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث - حمص - سورية
*** مدرس مساعد - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
**** مدرس - كلية الهندسة المدنية - الجامعة العربية الدولية - سورية

Effect of graphite on the aging behavior of asphalt binder

Abstract

The widespread use of asphalt paver requires continuous development and permanent research to identify the behavior of its constituent materials and the defects and problems that it may be exposed to, and thus research to improve its specifications in a way that ensures its resistance to defects and loads that it may be exposed to, thus extending the service life of the paving layers and increasing its durability.

In this research, the effect of graphite on the short and long-term aging of hot asphalt mixtures was studied, by determining the ideal proportions for the addition of graphite by conducting tests on the properties of the modified asphalt binder, and then producing reference samples of hot asphalt modified with the ideal proportion of graphite and subjecting them to two short aging periods. and long-term, and then study some mechanical properties before and after aging, such as Marshall stability, indirect tension, water damage test, and calculating aging indices to determine the effect of the addition on the asphalt aggregate.

The results of the study showed that adding (10) % by weight of asphalt binder is considered an optimum percentage to improve the resistance properties of asphalt mixtures to short and long term aging effectively compared to the results of unmodified mixtures.

Keywords: Graphite - short-term aging - long-term aging – Stability - ITS

* Ph.D student , Department of Traffic and Transportation ,Faculty of Civil Engineering , ALbaath University , Syria

** Professor , Department of Traffic and Transportation , Faculty of Civil Engineering , ALbaath University , Syria

*** Associate Professor, Department of Traffic and Transportation , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Syria

**** lecturer, Faculty of Civil Engineering , Arab International University, Syria

1- مقدمة :

يقسم الرصف الطرقي، وفقا لصلابته، إلى ثلاثة أنواع أساسية: - الرصف المرن- الرصف الصلب والرصف نصف الصلب. وفي سورية يستخدم الرصف المرن بشكل أساسي، حيث يستخدم المجدول الإسفلتي الساخن في رصف الطرق والمطارات وغيرها من التطبيقات [1]. يعود ذلك إلى سرعة إنشائه وسهولة صيانته وقلة تكاليف إنتاجه نسبياً مقارنة مع الرصف الصلب. هذا الانتشار الواسع لاستخدام المجدول الإسفلتي يتطلب التطوير المستمر والبحث الدائم للتعرف على سلوكية المواد المكونة له والعيوب والمشاكل التي يمكن أن يتعرض لها، والبحث، بناء على ذلك، في آليات تحسين مواصفاته بالشكل الذي يضمن مقاومته للتشوهات والحمولات التي يمكن أن يتعرض لها، وبالتالي إطالة عمر خدمة طبقات الرصف وزيادة ديمومتها.

تتضمن عملية إنشاء وتنفيذ طبقة من المجدول الإسفلتي الساخن، إنتاج المجدول الإسفلتي في درجات الحرارة التي تحددها لزوجة الرابط الإسفلتي المستخدم. وتعتبر درجة الحرارة ضرورية لتمكين عملية تليين الإسفلت إلى لزوجة كافية لتغطية حبيبات الحصىات. وبعد إنتاج الخليط الإسفلتي، يتم نقله إلى موقع التنفيذ ليتم فرش ورصه بالسماكة المطلوبة. يتطلب فرش ورص المجدول الإسفلتي درجات حرارة محددة لبناء رصف ذو جودة وأداء مثالي. وعملياً يتعرض المجدول الإسفلتي لعمليتي تقادم مختلفتين إلى حد كبير طوال فترة الخدمة [2-5] وهي:

- **مرحلة التقادم قصير الأمد (Short Term Aging STA):** و تتم أثناء عملية الخلط والانتاج ونقل وفرش المجدول الإسفلتي الساخن نتيجة للحرارة المرتفعة الناتجة عن الخلط والتعرض للهواء، تحدث الأكسدة وتطاير المواد النفطية الخفيفة الموجودة في الإسفلت.

- مرحلة التقادم طويل الأمد (Long Term Aging STA): تحدث بعد عملية الفرش، بنتيجة استمرار أكسدة الرابط الإسفلتي في درجات الحرارة المتوسطة ولفترة طويلة تصل من (5-10) سنوات.

2- إشكالية البحث :

يعتبر التقادم قصير وطويل الأمد من الظواهر المعقدة بسبب العديد من العوامل التي تؤثر في معدلته. ويشكل الإسفلت جزءاً مهماً من الخلطة الإسفلتية، ويؤثر في أداء الرصف في درجات حرارة التشغيل المنخفضة والمرتفعة حقلياً. وينتج عن التغيير الكيميائي الناتج عن الأكسدة خليط إسفلتي أكثر صلابة وهشاشة، مما يؤدي إلى حصول شقوق في درجات الحرارة المنخفضة أو بفعل التعب، أو أي شكل آخر من أشكال التشوهات [3]. ونظراً للزيادة المستمرة في حجم حركة المرور، والحمولات المحورية وتأثير درجة الحرارة، تتعرض طبقة الرصف الإسفلتي للتشقق والتخدد، لذلك، ولزيادة ديمومة الطبقة السطحية والتخفيف من التأثير السلبي لتقادم المجبول الإسفلتي سواء قصير أو طويل الأمد، تستخدم إضافات مختلفة مثل البوليميرات أو الألياف أو المواد المائلة لتعديل الخلطات الإسفلتية [4].

ويصنف الغرافيت من أشكال الكربون المستقرة، ويمتاز بموصلية كهربائية جيدة ومقاومة حرارية مرتفعة، وبخصائص كيميائية مستقرة وديمومة عالية، ويعتبر خاملاً عند اختلاطه بأي مادة أخرى تقريباً، وبسبب هذه الخصائص تتنوع استخدامات الغرافيت على نحو كبير، ويمكن أن يتواجد الغرافيت على شكل مسحوق وألياف، وعلى الرغم من وجود بعض الدراسات حول خواص الخلطات الإسفلتية المحتوية على الغرافيت، إلا أن هناك دراسات محدودة حول تأثير الغرافيت على تقادم الخلطات الإسفلتية، وبناءً عليه فإن البحث

في مجال تحسين مقاومة الخلطات الإسفلتية للتقادم بإضافة الغرافيت ينطوي على قيمة علمية اقتصادية هامة.

3- أهمية البحث و أهدافه :

يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل (مواد طبقات الرصف الطرقي المرن)، ويختص بمحور دراسة سلوك المجبول الإسفلتي تحت تأثير التقادم، يهدف هذا البحث إلى تسليط الضوء على استخدام الغرافيت كمادة مضادة لتقادم الرابط الإسفلتي خصوصاً والخلطات الإسفلتية عموماً، وذلك لغاية إطالة عمرها من خلال تحسين مقاومتها للتشوهات والتشققات التي تحصل بفعل ظاهرة الشخوخة .

و تبرز أهمية البحث من خلال التوصل لتحديد تأثير إضافة الغرافيت في الخواص الميكانيكية للخلطة الإسفلتية وتأثير المياه فيها، وذلك قبل وبعد التقادم قصير وطويل الأمد. و يهدف ذلك إلى الحد من تأثير عملية التقادم وظهور التشوهات والشقوق، وبالتالي المساهمة في حل بعض المشاكل المتعلقة بالخصائص الفنية والاقتصادية للخلطات الإسفلتية الساخنة، وتحقيق، بناء على ذلك، وفورات في المواد والمال والطاقة في مجال بناء الطرق وصيانتها.

4- دراسات مرجعية :

تتم محاكاة التقادم قصير الأجل الحقلي في المختبر باستخدام إجراء تقادم الفرن قصير المدى (STOA) Short Time Oven Aging ، والذي يتضمن تسخين خليط إسفلتي مفكك في فرن لمدة 4 ساعات عند درجة حرارة 135 درجة مئوية، تم التحقق من صحتها في دراسات سابقة مختلفة مثل Bell، CA، Weider، AJ، Fellin، M.J. ذكرت في SHRP-A-390 (1994) [14-4-3].

بينت نتائج الأبحاث والدراسات المرجعية [4] أن التقادم قصير المدى لمدة 4 ساعات يمثل بشكل كافٍ تأثير الشيخوخة خلال مراحل إنتاج المبول الإسفلتي وعمليات نقله وفرشه وورسه (عندما يكون المزيج في حالة سائبة (HRP-A-417، 1994)). كما تتم محاكاة التقادم طويل الأمد على عينات مرصوفة، تم إخضاعها إلى ظروف تقادم قصير الأمد، وتعرضها إلى الحرارة في الفرن لفترات محددة تحاكي العمر المطلوب تمثيله.

أجرت Haleh Azari (2011) [6] بحثاً لتحليل تأثير المحاكاة المخبرية للتقادم على المدى القصير في الخواص الميكانيكية للخلائط الإسفلتية. حيث قامت الباحثة بمحاكاة التقادم قصير الأمد على عينات من الخلائط الإسفلتية عند درجة حرارة 145°C وضمن مقياس زمني على فترات نصف ساعة إلى ست ساعات في الفرن ، ومن ثم قامت بقياس المعامل الديناميكي للخلائط الإسفلتية ويعتبر المعامل الديناميكي للخلائط الإسفلتية (E^*) خاصية هندسية أساسية تتعلق بأداء طبقات الرصف الاسفلتي. يتم قياس هذه الخاصية عادةً باستخدام عينة أسطوانية يبلغ ارتفاعها 150 مم وقطرها 100 مم (عينات نظامية). وهو خاصية تعتمد على درجة الحرارة والمرونة (استجابة ديناميكية) تحت الحمل المطبق. تعتبر الاستجابة الديناميكية للخلائط الإسفلتية تحت الحمل المروري خاصية مهمة في تصميم طبقات الرصف المرنة وتقييم أداء الرصف المرن باستخدام الطرق الميكانيكية. وخلصت الدراسة إلى وجود علاقة ارتباط موجبة بين زمن المحاكاة والمعامل الديناميكي للعينات.

قام Pan وآخرون (2014) [9] بفحص الخصائص الحرارية للرابط الإسفلتي المعدل بالغرافيت ،حيث وجد أنّ الغرافيت يحسن الخصائص المضادة للتقادم. كما درس Yao وآخرون (2016) [10] تأثيرات الغرافيت بجسيمات نانوية (graphite)

(nanoplatelets) بنسبة 1-2% في خصائص الرابط الإسفلتي، بينت النتائج أن الإسفلت المعدل بالغرافيت يؤدي إلى زيادة المقاومة للتخدد وللضرر الناتج عن الرطوبة. تعمل صفائح الغرافيت النانوية أيضاً على تحسين مقاومة الشقوق، و على الرغم من وجود بعض الدراسات حول الخصائص الحرارية للخلائط الإسفلتية المحتوية على الغرافيت بهدف تحسين التوصيل الحراري، إلا أن هناك دراسات محدودة حول تأثير التقادم في الخواص الفيزيائية والريولوجية للرابط الإسفلتي المعدل بالغرافيت، وأيضاً في الخواص الميكانيكية للخلائط الإسفلتية.

5- منهجية البحث ومواده:

5-1- مواد البحث:

تمّ إنجاز البحث اعتماداً على دراسة مخبرية تجريبية على عينات من الخلائط الإسفلتية (مرجعية ومعدلة)، استخدم فيها المواد التالية :

- 1- الإسفلت: استخدم في تصميم عينات البحث، إسفلت صنف (60-70)، الناتج من تكرير النفط في مصفاة بانياس، واختباره وفق المواصفات السورية والعالمية.
- 2- الحصىات : الحصىات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية هي حصىات قاسية مكسرة مصدرها مقالع حسياء، لا يزيد قطر الحبة فيها عن 19 mm . وأجريت، من أجل تشكيل عينات الدراسة، الاختبارات الخاصة بتوصيف الحصىات وفقاً للمواصفات السورية للطرق والجسور الصادرة في العام 2002 .
- 3- الغرافيت (Graphite) : استخدم في الدراسة عينات غرافيت مبينة في الشكل (1)، وتتمتع بالمواصفات التالية:

- مارة من المنخل No. 200 .

- محتوى الكربون لا يقل عن (85%).

- الرطوبة (0.6%).
- الكثافة (2.1 gr/cm^3).
- اللون أسود رمادي داكن ومظهر دهني، ويترك لطخات سوداء على الأصابع عند اللمس.



الشكل (1) نموذج من عينات الغرافيت المستخدمة في الدراسة

5-2- منهجية العمل المخبري:

تمت الدراسة المخبرية وفق المراحل الأساسية التالية:

- 1- التحقق من الخواص الفنية للمواد المستخدمة في البحث، ومطابقتها للمواصفات المتبعة في تصميم الخلائط الإسفلتية الساخنة في سوريا .
- 2- تحضير عينات لإسفلت معدل بنسب مختلفة من الغرافيت (5 ، 10 ، 15 ، 20 %) وزناً من الرابط الإسفلتي، و إجراء اختبارات الغرز ونقطة التميع ، وحساب دلائل التقادم للرابط الإسفلتي المعدل لتحديد النسبة المثالية .
- 3- تصميم خطة إسفلتية مرجعية بدون إضافات وتحديد نسبة الاسفلت المثالية والتركيب الحبي الحصى المعتمد .
- 4- عملية تعديل الخطة الإسفلتية باستخدام رابط إسفلتي معدل بنسبة الغرافيت المثالية.

5- إجراء عملية تقادم قصير وطويل الأمد على عينات الخلطة المرجعية، والأخرى المعدلة بالغرافيت، بالإضافة الى اختبار الثبات و الشد غير المباشر وحساسية الرطوبة، وحساب دلائل تقادمها لبيان مدى تأثير الإضافة في خواص التقادم .

5-3- محاكاة تقادم الخلائط الإسفلتية مخبرياً:

أنجز الاختبار القياسي لتقادم الخلائط الإسفلتية الساخنة مخبرياً وفق المواصفة AASHTO R30 [14]، ويهدف هذا الإجراء إلى تمثيل الشخوخة التي تحدث في خليط الإسفلت بسبب عملية إنتاج وتنفيذ المجدول الإسفلتي ومرحلة الخدمة. ويتم، في حالة التقادم قصير الأمد، تطبيق عملية المحاكاة فقط على الخليط المفكك السائب (Lose Mixes). حيث يتم فرش الخليط في صينية نظيفة، بسماكة متساوية تتراوح بين 1 إلى 2 بوصة (25 - 50 مم)، يلي ذلك وضع الخليط والوعاء في فرن لمدة 4 ساعات \pm 5 دقائق عند درجة حرارة 275 ± 5 درجة فهرنهايت (135 ± 3 درجة مئوية)، وخلال هذه المدة يتم تقليب الخليط على فترات 60 ± 5 دقائق، وذلك للحفاظ على درجة حرارة منتظمة في جميع أنحاء العينة، وعند اكتمال عملية التقادم، توضع الخلطة في فرن عند 185 درجة فهرنهايت لمدة 15 دقيقة في وعاء التقادم، يتم بعدها تشكيل عينات وفق طريقة مارشال.

يتم إجراء التقادم طويل الأمد عن طريق إخضاع العينات المرصوصة المشكلة من المجدول الإسفلتي المعرض لتقادم قصير الأمد لدرجة حرارة 85 درجة مئوية في الفرن لمدة 120 ساعة (5 أيام)، وإنّ طريقة التقادم على المدى الطويل تعادل تقريباً (5-15 سنة) كعمر خدمة اعتماداً على المناخ.

ويبين الشكل (2) نماذج العينات من الخلطات الإسفلتية المعرضة لتقادم طويل الأمد مخبرياً.



الشكل (2) نماذج العينات من الخلطات الإسفلتية معرضة لتقادم طويل الأمد مخبرياً.

6- النتائج والمناقشة :

6-1- مواصفات الإسفلت المستخدم في الدراسة:

لدى إجراء تجارب تحديد خواص الإسفلت المستخدم في الدراسة حصلنا على النتائج المبينة في الجدول (1) التالي :

الجدول (1) نتائج اختبار الإسفلت المدروس.

المواصفة * [16-17-18]	حدود المواصفات	نتائج الاختبار	نوع الاختبار
ASTM D5	60-70	66.5	الغرز (Penetration Test) (25 °C)100g,5sec , (0.1mm)
ASTM D36	56-48	49.2	نقطة التميع (Softening Point Test) (°c)
ASTM D113	min 100	137	الاستطالة (Ductility) (25 °C) 5cm/min , cm
ASTM D92	min (230)	درجة الوميض 252	نقطة الوميض والاشتعال (Flash and Fire Point rest) (Cleveland cup open) (C°)
		درجة الاشتعال 276	
ASTM D70	1.01-1.03	1.03	الوزن النوعي g/cm ³
-	-	-0.725	دليل الغرز (PI)
ASTM D1754	Max 0.8	0.47	النقص في الوزن (LOSS On Heating) (%)

*بالإضافة إلى المواصفات العامة للطرق والجسور - سوريا (2002).

يمثل دليل الغرز (Penetration Index) PI مقياسا كميًا لاستجابة الإسفلت للتغير في درجة الحرارة. ومن خلال معرفة دليل الغرز لإسفلت معين، من الممكن التنبؤ بسلوكه عند الاستخدام. لذلك، يتم استخدام الروابط الإسفلتية ذات الغرز المرتفع (تسمى "الينة أو

طرية") في المناخات الباردة بينما تستخدم المواد الرابطة الإسفلتية ذات الغرز المنخفض (تسمى "صلبة أو قاسية") في المناخات الدافئة.

توجد عدة معادلات تحدد الطريقة التي تتغير بها اللزوجة مع درجة الحرارة. من أشهرها تلك التي طورها فايفر وفان دورمال والتي تنص :

$$\log P = AT + K$$

where

A = The temperature susceptibility

P = Penetration at temperature T

K = Constant

A : الحساسية الحرارية

P : الغرز في درجة الحرارة T

K: ثابت

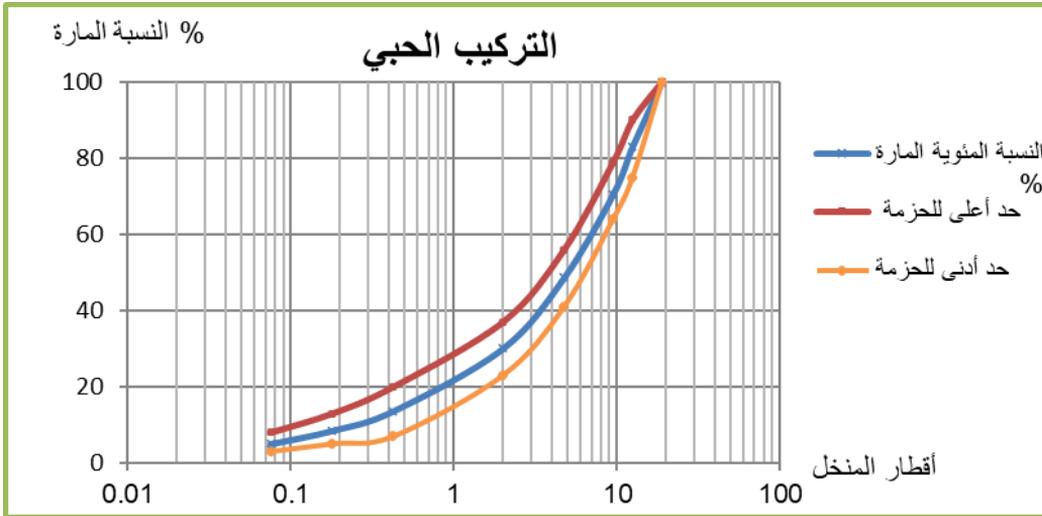
تم تطوير مجموعة من العلاقات اعتماداً على العلاقة العامة للحساسية الحرارية وأشهر معادلة لايجاد دليل الغرز هي :

$$PI = \frac{1952 - 500 \log pen - 20 \text{ softening point}}{50 \log pen - \text{softening point} - 120}$$

تبيّن نتائج الجدول (1) أنّ الإسفلت المستخدم في الدراسة هو من الصنف (60-70) ، و يحقق المتطلبات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادر عن وزارة النقل العام 2002 ، بالإضافة إلى اشتراطات ASTM.

6-2- خواص الحصويات المستخدمة في الدراسة :

أجري على الحصويات المستخدمة وفق المواصفات السورية لاعمال الطرق والجسور - 2002 التدرج (1) المقاس الأعظمي 19 مم الخاص بطبقة الاهتراء التجارب المطلوبة عند تصميم الخلطات الإسفلتية الساخنة ، وأعطت النتائج المبينة في الشكل (3) والجدول (2) التاليين:



الشكل (3) منحنى التركيب الحبي للحصويات المكسرة المستخدمة في الدراسة.

الجدول (2) نتائج اختبارات الحصىيات المكسرة المستخدمة في الدراسة

المواصفة *	نتائج الاختبار	الاختبار	
ASTM C 131	23	فاقد الاهتراء وفق لوس انجلوس (%) Los Angeles abrasion	
ASTM D 2419	76	المكافئ الرملي (%) Sand Equivalent	
ASTM C127	0.84	الامتصاص (%)	الحصىيات الخشنة
	2.596	الوزن النوعي الحجمي G_{sb} g/cm ³	
	2.618	الوزن النوعي المشبع جاف السطح G_{ssd} g/cm ³	
	2.654	الوزن النوعي الظاهري G_{sa} g/cm ³	
ASTM C128	1.25	الامتصاص (%)	الحصىيات الناعمة
	2.581	الوزن النوعي الحجمي G_{sb} g/cm ³	
	2.613	الوزن النوعي المشبع جاف السطح G_{ssd} g/cm ³	
	2.667	الوزن النوعي الظاهري G_{sa} g/cm ³	

نلاحظ من معطيات الجدول (2) والشكل (3) أنّ الحصىيات المستخدمة في تصميم الخلطة الإسفلتية محققة للمواصفات الفنية المنصوص عنها في الشروط والمواصفات الفنية للطرق والجسور الصادرة عن وزارة النقل عام 2002، ومواصفات ASTM .

6-3- تأثير إضافة الجرافيت في الرابط الإسفلتي :

لقد تمت دراسة تأثير الجرافيت في خواص الإسفلت الأساسية من جهة، وفي دلائل التقادم من جهة ثانية وفق الآتي :

أ- تأثير إضافة الجرافيت في خواص الإسفلت:

بعد التحقق من صنف الإسفلت المستخدم (60-70) وتحديد خواصه، تمّ تعديله بأربع نسب مختلفة من الجرافيت، وتشكيل عينات منه و إجراء اختبارات الغرز ونقطة التميع عليه، و إيجاد دليل الغرز له.

و نبيّن في الجدول (3) والشكل (4) نتائج الاختبارات التوصيفية للإسفلت المعدل بنسب مختلفة من الجرافيت.

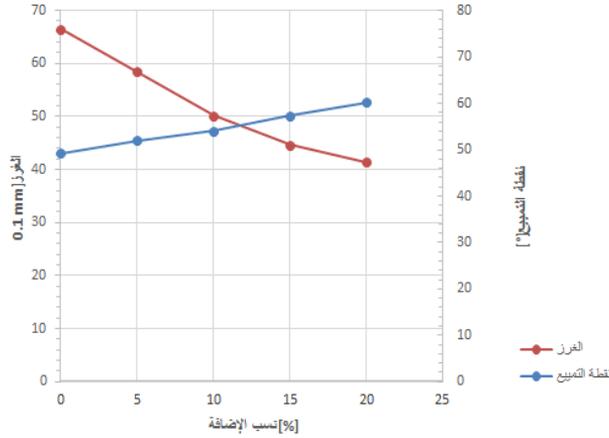
الجدول (3) نتائج توصيف الإسفلت المعدل بالجرافيت.

نسب الإضافة من الجرافيت				
20%	15%	10%	5%	الاختبار
41.4	44.7	50.2	58.5	الغرز (25°C)
60.2	57.3	54.1	52	نقطة التميع (°C)
0.609	0.202	-0.221	-0.340	دليل الغرز PI
29	35	42	76	الاستطالة (cm)

تظهر نتائج الجدولين (1) و (3) والشكل (4)، التالي:

- انخفاض الغرز مع زيادة نسبة الجرافيت المضافة ، حيث بلغت نسبة الانخفاض في الغرز (37.7 %) عند تعديل الإسفلت بنسبة (20 %) من الجرافيت.
- ارتفاع قيمة نقطة التميع مقارنة مع نقطة التميع للإسفلت غير المعدل (22.4 %) مقارنة مع نقطة التميع للرابط الإسفلتي غير المعدل،

- ارتفاع قيمة دليل الغرز مع زيادة نسبة الاضافة وانتقالها من القيمة السالبة إلى الموجبة، مما يشير إلى تحسن في الحساسية الحرارية.



الشكل (4) نتائج الغرز ونقطة التميع للإسفلت المعدل بالغرافيت.

ب- تأثير إضافة الغرافيت في تقادم الرابط الإسفلتي:

ولتحديد تأثير التقادم في خواص الرابط الإسفلتي تستخدم منهجية تقييم درجة تقادم المواد الرابطة الإسفلتية من خلال قياس خصائص (فيزيائية أو كيميائية أو ريولوجية) مثل الغرز ودرجة حرارة الكرة والحلقة (نقطة التميع) واللزوجة ونقصان الوزن قبل وبعد التقادم الموضحة في الجدولين (4) و(5) .

الدلائل المستخدمة في هذه الدراسة هي دليل تقادم الغرز (PAI) ودليل نقطة التميع (SAI):

$$PAI = \frac{Aged Pen}{Un Aged Pen} * 100$$

$$SAI = SP_{after} - SP_{befor}$$

$$DAI = \frac{DAI_{after}}{DAI_{befor}}$$

حيث أن:

PAI : دليل التقادم للغرز (Penetration Aging Index).

Aged Pen : الغرز بعد التقادم.

Un Aged Pen : الغرز قبل التقادم.

SAI : دليل نقطة التميع (Softening Point Aging Index).

SP_{after} : نقطة التميع بعد التقادم.

SP_{befor} : نقطة التميع بعد التقادم.

DAI : دليل الاستطالة

DAI_{befor} : الاستطالة قبل التقادم

DAI_{after} : الاستطالة بعد التقادم

وتبين النتائج الواردة في الجدولين (4) و (5) التقادم قصير وطويل الأمد للإسفلت المعدل بالغرافيت.

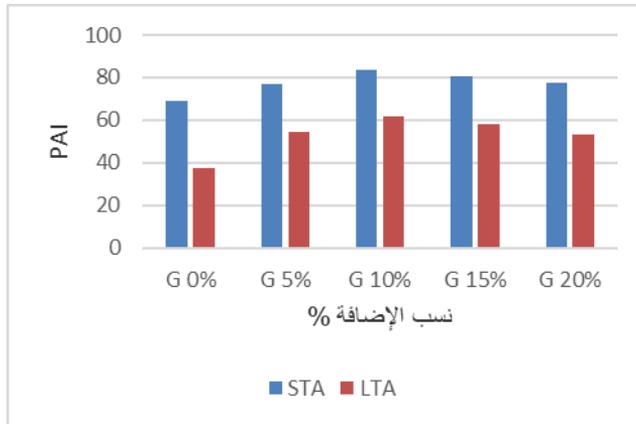
الجدول (4) نتائج التقادم قصير الأمد للإسفلت المعدل بالغرافيت.

نسب الإضافة من الغرافيت				
20%	15%	10%	5%	الاختبار
0.24	0.3	0.36	0.4	النقص في الوزن (%)
32	36	42	45	الغرز (25°C)
63.5	60.6	57.2	55.3	نقطة التميع (°C)
18	23	34	57	الاستطالة (cm)
77.3	80.5	83.7	76.9	PAI
3.3	3.3	3.1	3.3	SAI
62.07	65.71	80.95	75.00	DAI

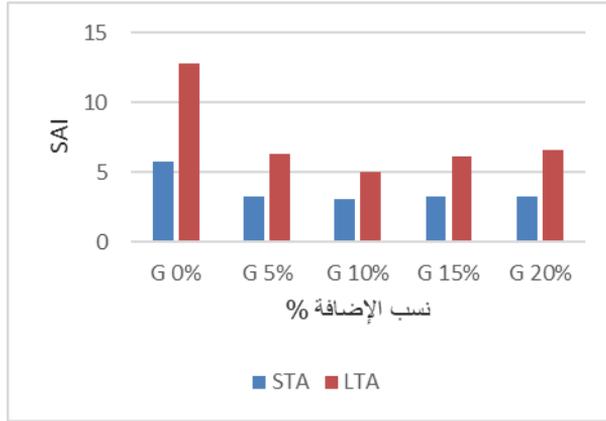
الجدول (5) نتائج التقادم طويل الأمد للإسفلت المعدل بالغرافيت.

نسب الإضافة من الغرافيت				الاختبار
20%	15%	10%	5%	
22.0	26.0	31.0	32.0	الغرز (25°C)
66.8	63.4	59.1	58.3	نقطة التميع (°C)
53.1	58.2	61.8	54.7	PAI
6.6	6.1	5.0	6.3	SAI

ويظهر الشكلين (5) و (6) علاقات تغير دليلي التقادم PAI و SAI بدلالة نسبة الغرافيت المضافة.



بالغرافيت الشكل (5) نتائج دليل تقادم الغرز للإسفلت المعدل.



الشكل (6) نتائج دليل تقادم نقطة التميع للإسفلت المعدل بالغرافيت.

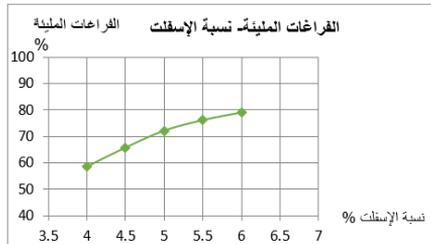
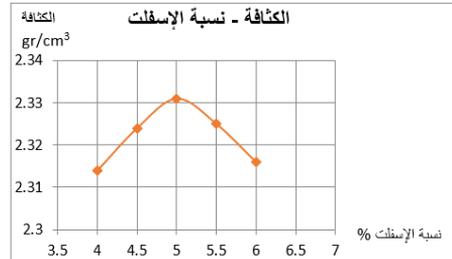
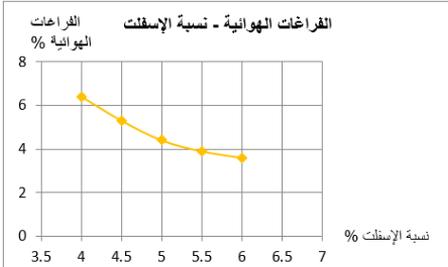
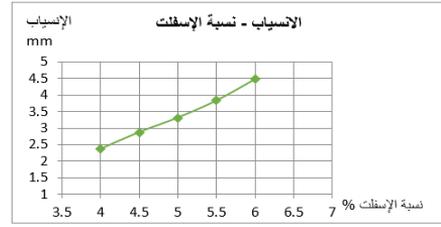
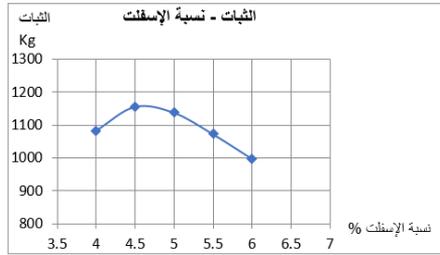
نلاحظ من معطيات الشكلين (5) و (6) ارتفاع قيمة دليل الغرز PAI تبعاً لنسبة الإضافة من الغرافيت، ويقابله انخفاض في دليل نقطة التميع، وبالتالي نقصان الفرق في درجة حرارتها خلال فترة التقادم، وهو مؤشر إيجابي. تمّ التوصل من النتائج المعروضة سابقاً، إلى أن النسبة المثالية للإضافة، والتي عندها يكون الرابط الإسفلتي مقاوماً لظروف التقادم قصير وطويل الأمد، هي (10 %)، حيث يبلغ دليل تقادم الغرز (PAI) عندها أعلى قيمة، مقارنة مع نتائج باقي النسب (كلما اقتربت النسبة من (100) تكون الإضافة فعالة بشكل أكبر في مقاومة التقادم) ، كما تظهر نتائج دليل تقادم نقطة التميع التحسن ذاته عند النسبة (10 %).

6-4- نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية:

بعد القيام بتوصيف الإسفلت والحصويات والتحقق من مواصفاتها الفنية، نبين في الجدول (6) و الشكل (7)، نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية، وذلك باستخدام طريقة مارشال المعتمدة في سورية.

الجدول (6) نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية المرجعية.

الانساياب mm	الثبات Kg	الفراغات المليئة %	الفراغات الحصوية %	الفراغات الهوائية %	كثافة أعظمية gr/cm ³	كثافة مارشال gr/cm ³	نسبة الإسفلت
2.36	1082	58.45	15.37	6.4	2.472	2.314	4.0
2.87	1156	65.71	15.45	5.3	2.454	2.324	4.5
3.31	1138	72.15	15.68	4.4	2.436	2.33	5.0
3.83	1072	76.17	16.30	3.9	2.419	2.325	5.5
4.48	996	79.06	17.07	3.6	2.402	2.316	6.0



الشكل (7) منحنيات مارشال للخلطة الإسفلتية المرجعية.

من النتائج السابقة، وبالاعتماد على منحنيات مارشال، تم تحديد نسبة الاسفلت المثالية (5.0%)، كمتوسط لنسبة الاسفلت التي تحقق أكبر قيمة للثبات وأعظم كثافة ، بالإضافة الى نسبة فراغات هوائية قدرها (4%) .

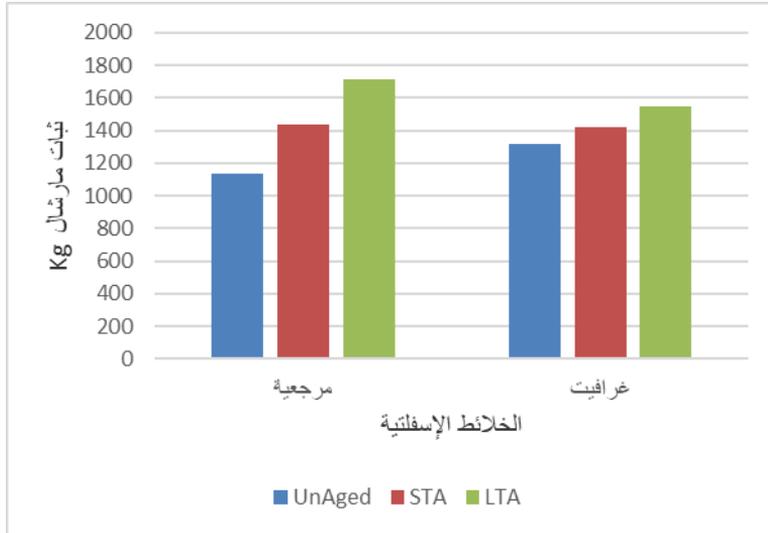
6-5- تأثير إضافة الغرافيت في تقادم الخلطة الإسفلتية:

6-5-1- تأثير إضافة الغرافيت في خصائص ثبات مارشال :

تم اجراء اختبار مارشال على عينات من خلائط معرضة لتقادم قصير وطويل الأمد وفق منهجية التقادم المبينة سابقاً، وإدراج النتائج في الجدول (7) وتمثيلها في الشكل (8). تشير النتائج إلى أن عملية التقادم تؤثر بشكل كبير في ثبات مارشال، حيث تعطي الخلائط المعرضة لفترات التقادم قصير وطويل الأمد قيم ثبات أكبر، مقارنة مع الخلطة المرجعية. ويعود السبب في ذلك إلى تحول المالتين إلى إسفلتين، وفقدان بعض مركبات الزيوت الطيارة، وبالتالي زيادة لزوجة الإسفلت، مما يؤدي إلى زيادة في القوة الرابطة بين مكونات الخرسانة الإسفلتية وجعلها أقل عرضة للتشوه اللدن وأكثر ثباتاً. تبين النتائج أن ثبات مارشال يزداد بنسبة (25.9%) عند التقادم قصير الأمد، و بنسبة (51%) عند التقادم طويل الأمد، وذلك للخلطة المرجعية. أما بالنسبة للخلطة المعدلة فيلاحظ أن لإضافة الغرافيت بالنسبة المثالية تأثير في الحد من عملية التقادم، حيث يزداد بنسبة (8.0%) عند التقادم قصير الأمد، و بنسبة (17.2%) عند التقادم طويل الأمد .

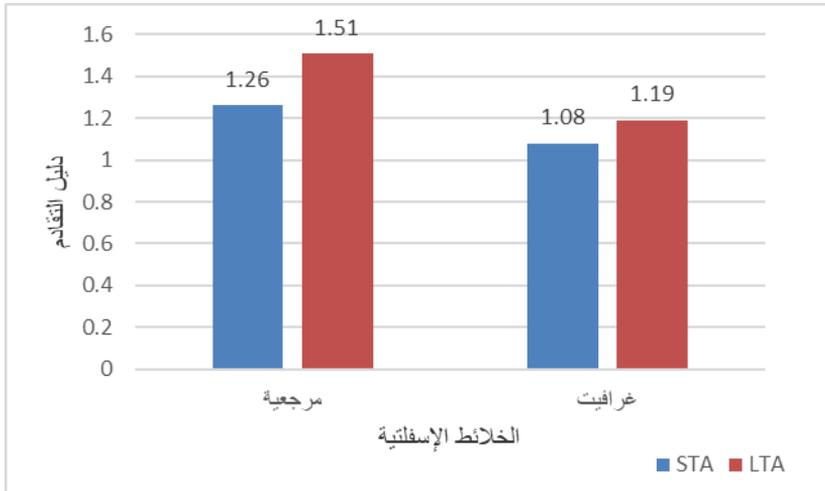
الجدول (7) نتائج ثبات مارشال ودلائل التقادم للخلطات الإسفلتية

الخلطة المعدلة بالغرافيت	الخلطة المرجعية (غير معدلة)	الخلطة
1318	1138	عينات غير متقدمة UnAged
1423	1433	عينات معرضة للتقادم قصير الأمد STA
1545	1718	عينات معرضة للتقادم طويل الأمد LTA
1.08	1.26	دليل التقادم قصير الأمد
1.19	1.51	دليل التقادم طويل الأمد



الشكل (8) نتائج ثبات مارشال للخلطات الإسفلتية.

استنادا إلى نتائج الثبات، تمّ حساب دليل التقادم قصير وطويل الأمد (الثبات بعد التقادم بالنسبة للثبات المرجعي قبل التقادم)، وذلك للخلطات غير المعدلة بالجرافيت والأخرى المعدلة منه بالنسبة المثالية وأدرجت النتائج في الجدول (7) ومثلت في الشكل (9). يلاحظ من النتائج انخفاض دليل التقادم بشكل واضح للخلائط المعدلة بالجرافيت مقارنة مع الخلطة المرجعية، حيث بلغ (1.08) في حالة التقادم قصير الأمد في حين وصل إلى (1.19) في حالة التقادم طويل الأمد. ويشير اقتراب دليل التقادم من الواحد إلى فعالية الجرافيت في الحد من تأثير التقادم على خواص الخلطة الإسفلتية.



الشكل (9) دليل تقادم الخلائط الإسفلتية (الثبات).

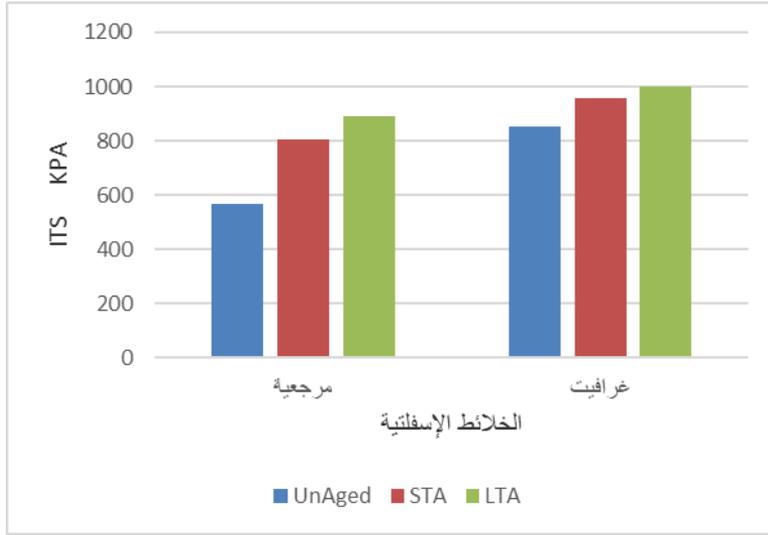
6-5-2- تأثير الإضافة الجرافيت في الشد غير المباشر:

تم تنفيذ اختبار الشد غير المباشر ITS في ظروف درجة حرارة 25 درجة مئوية [15] على عينات من الخلائط الإسفلتية المرجعية والمعدلة بالجرافيت وفي ظروف طبيعية وظروف تقادم قصير و طويل الأمد، ودونت النتائج في الجدول (8) ومثلت في الشكلين

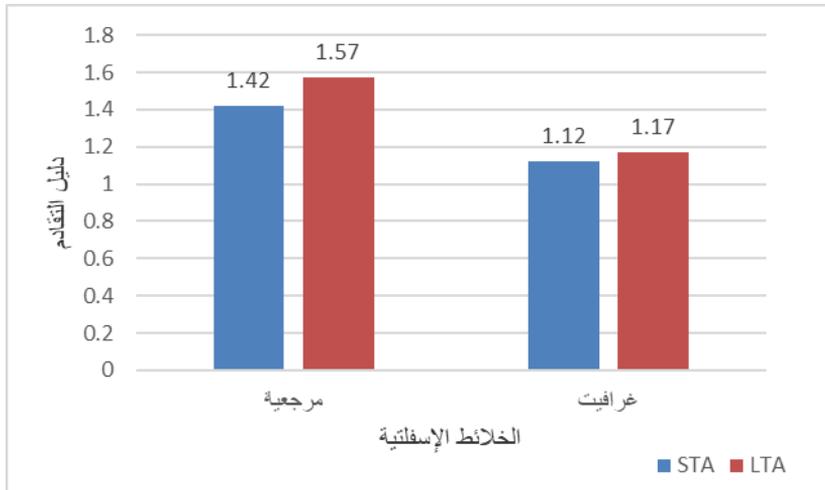
(10) و(11). ويظهر من النتائج تأثير فعالية الغرافيت في تحسين خواص الخلطة لمقاومة التقادم ، حيث بلغت نسبة التحسن في مقاومة التقادم قصير الأمد (12 %) وبنسبة (17 %)، وهذا ما يتفق مع النتائج التي توصلنا إليها عند حساب دليل الثبات كما ينسجم مع نتائج دليل التقادم في الحالتين. حيث بلغ نسبة التحسن في نتائج دليل التقادم (21.1 %) في حالة قصير الأمد و بنسبة (25.5%) في حالة طويل الأمد .

الجدول (8) نتائج الشد غير المباشر ودلائل التقادم للخلائط الإسفلتية

الخلطة المعدلة بالغرافيت	الخلطة المرجعية (غير معدلة)	الخلطة
854	567	عينات غير متقدمة UnAged
956	805	عينات معرضة للتقادم قصير الأمد STA
999	890	عينات معرضة للتقادم طويل الأمد LTA
1.12	1.42	دليل التقادم قصير الأمد
1.17	1.57	دليل التقادم طويل الأمد



الشكل (10) نتائج الشد غير المباشر للخلائط الإسفلتية



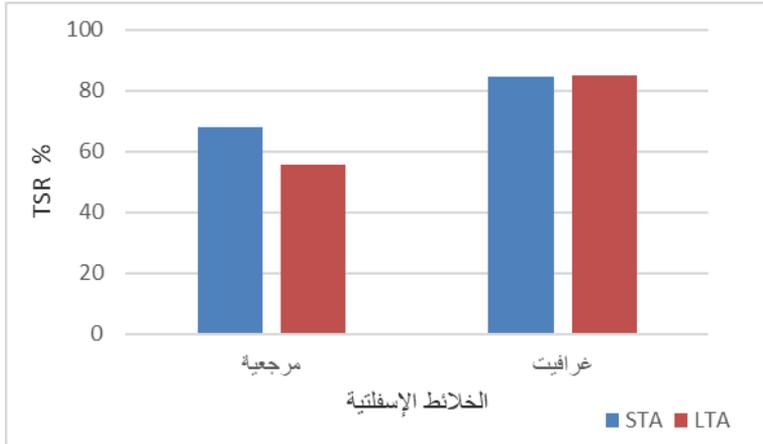
الشكل (11) دليل تقادم الخلائط الإسفلتية (الشد غير المباشر)

6-5-3- تأثير إضافة الغرافيت في حساسية الخلطة الإسفلتية للرطوبة:

بالنسبة لتأثير إضافة الغرافيت في فعالية مقاومة الخلطة لضرر المياه بعد عملية التقادم، فقد بينت النتائج المبينة في الجدول (9) والممثلة في الشكل (12) تحسنها بنسبة (24.4%) في حالة التقادم قصير الأمد، وبنسبة (53%) في حالة طويل الأمد. ويعتبر تأثير إيجابي جداً في مقاومة ضرر المياه للخلطات الإسفلتية، وبالتالي الحد من ظهور الشقوق في سطح الرصف الإسفلتي.

الجدول (9) نتائج اختبار حساسية الرطوبة TSR للخلطات الإسفلتية

الاختبار	خلطة مرجعية	الخلطة المعدلة بالغرافيت بنسبة (10%)
عينات معرضة للتقادم قصير الأمد STA	68	84.6
عينات معرضة للتقادم طويل الأمد LTA	55.7	85.2



الشكل (12) حساسية الخلطات الإسفلتية لمقاومة ضرر الرطوبة (TSR)

7- الاستنتاجات والتوصيات :

أ- الاستنتاجات:

أجري هذا البحث بهدف دراسة تأثير إضافة الغرافيت على تقادم الخلائط الإسفلتية الساخنة في ظروف التقادم قصير وطويل الأمد. و بناءً على نتائج التجارب المخبرية على عينات الخلائط الإسفلتية، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية :

- تعتبر إضافة نسبة (10 %) من مسحوق الغرافيت إلى الخليط الإسفلتي هي نسبة مثالية لتحسين مقاومته لظاهرة التقادم، والتخفيف من التأثير السلبي في خواص الرباط نتيجة التأثيرات الحرارية .
- تشير النتائج إلى أن عملية التقادم تؤثر بشكل كبير في ثبات مارشال ، حيث أن الخلائط المعدلة بالغرافيت المعرضة لفترات التقادم قصير وطويل الأمد تعطي قيم ثبات أكبر مقارنة مع الخلطة المرجعية .
- بينت النتائج فعالية إضافة الغرافيت بنسبة (10 %) في تحسين مقاومة الخلطات المعدلة للظاهرة التقادم حيث بلغ نسبة التحسن في نتائج دليل التقادم (21.1 %) في حالة قصير الأمد و بنسبة (25.5%) في حالة طويل الأمد .
- إن لإضافة الغرافيت تأثير إيجابي في زيادة مقاومة الخلائط الإسفلتية لضرر الرطوبة وخاصة بعد التعرض للتقادم مقارنة مع الخلطة المرجعية ، حيث بلغت نسبة التحسين (24.4 %) في حالة التقادم قصير الأمد و بنسبة (52.9 %) في حالة التقادم طويل الأمد .

ب- التوصيات:

استكمال الدراسات حول تأثير الغرافيت في خواص أخرى للخلطة الإسفلتية مثل مقاومة التحدد والشقوق... الخ.

- المراجع :

- 1- Airey, G. D. (2003) "**State of the art report on ageing test methods for bituminous pavement materials**". International Journal of Pavement Engineering, 4(3), 2003, pp. 165-176
- 2- Tauste, R., Moreno-Navarro, F., Sol-Sánchez, M., Rubio-Gámez, M. C. (2018)"**Understanding the bitumen ageing phenomenon: A review**". Construction and Building Materials, 192, 2018, pp. 593–609
- 3- Bell, C.A., Weider, A.J. and Fellin, M.J.(1994) "**Laboratory Aging of Asphalt-Aggregate Mixtures: Field Validation**", Oregon State University Corvallis, OR 97331, Strategic Highway Research Program, SHRP-A-390, National Research Council, Washington, DC 1994.
- 4- Baek, C., Underwood, S. and Kim, Y.R.(2014) "**Effects of Oxidative Aging on Asphalt Mixture Properties**", TRB Annual Meeting, 2012.
- 5- Brown, K., Roberts, K. and Lee, K.(2009) "**Hot Mix Asphalt Material, mixture design and construction**", 3rd Edition, National Asphalt Pavement Association, (2009).
- 6- Azari, H. (2011) "**Analysis of the Effect of Laboratory Short-Term Conditioning on Mechanical Properties of Asphalt Mixture**", Transportation Research Board 90th Annual Meeting, Washington DC 2011 Report Number 11-1427.
- 7- Gamarra, A. and Ossa, E. A. (2018)"**Thermo-oxidative aging of bitumen**". International Journal of Pavement Engineering, 19(7), 2018, pp. 641–650.
- 8- Lin, J., Hong, J., Liu, J. and Wu, S. (2016) "**Investigation on physical and chemical parameters to predict long-term aging of asphalt binder**". Construction and Building Materials, 122, 2016, pp. 753–759.
- 9- Pan, P.; Wu, S.; Xiao, Y.; Wang, P.; Liu, X. (2014)."**Influence of graphite on thermal properties and**

- anti-aging properties of asphalt binder"**, Construction and Building Materials 68: 220–226.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.069>
- 10- Yao, H.; Dai, Q.; You, Z.; Ye, M.; Yap, Y. K. (2016)" **Rheological properties, low-temperature cracking resistance, and optical performance of exfoliated graphite nanoplatelets modified asphalt binder"**, Construction and Building Materials 113: 988–996.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.152>
- 11- Liu XM, Wu SP, Ye QS, Qiu J, Li B. (2008) **"Properties evaluation of asphalt-based composites with graphite and mine powders"**. Constr Build Mater 2008; 22(3):121–6.
- 12- Liu XM, Wu SP. (2011) **"Study on the graphite and carbon fiber modified asphalt concrete"**. Constr Build Mater 2011; 25(4):1807–11.
<https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.082>
- 13- Lopes, M., Zhao, D., Chailleux, E., Kane, M., Gabet, T., Petiteau, C. and Soares, J. (2014) **"Characterization of ageing processes on the asphalt mixture surface"**. Road Materials and Pavement Design, 15(3), 2014, pp. 477–487.
- 14- AASHTO Designation R30. **STANDARD PRACTICE FOR MIXTURE CONDITIONING OF HOT MIX ASPHALT.**
- 15- ASTM Designation D6931-07. **Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixture.**
- 16- ASTM-D5-06 Designation. **Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials.**
- 17- ASTM D36/D36M Designation. **Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus).**
- 18- ASTM D2872-04 Designation **Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test).**



الجمهورية العربية السورية

جامعة البعث

كلية الهندسة المدنية

قسم الهندسة الإنشائية

"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة

الحمولات الانفجارية"

طالب الدراسات العليا: ياسر يحيى الناصر

كلية: الهندسة المدنية - جامعة: البعث

الدكتور المشرف: عبد الرحمن عيسى

**"Effect of column cross section shape in
resisting blast loads"**

"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة

"الحمولات الانفجارية"

طالب الدراسات العليا: ياسر يحيى الناصر كلية الهندسة المدنية - جامعة البعث

الدكتور المشرف: عبد الرحمن عيسى

ملخص البحث

مع التطور المتسارع لأنواع المتفجرات المختلفة وزيادة قدرتها التدميرية تم مؤخراً وفي أكثر دول العالم اعتبار أبحاث المتفجرات من الأبحاث الهامة لما لها من أهمية في التخفيف من الآثار الكارثية للانفجارات وبشكل خاص الخسائر في الأرواح البشرية من خلال حماية المنشآت الهندسية المختلفة ورفع كفاءتها لتحمل موجات الانفجار المفاجئة.

يقدم البحث فكرة عن سلوك الأعمدة البيتونية المسلحة وأشكال تشوهها وزيادة كفاءتها لمقاومة حمولة الانفجار وتخفيف الانتقالات الحاصلة فيها من خلال متغيرات عديدة تمت دراستها خلال البحث وهي (نسبة التسليح الطولي والعرضي وشكل المقطع العرضي للعمود.....).

تم دراسة عدة نماذج من الأعمدة (دائرية -مربعة-مستطيلة) بنسب تسليح مختلفة وتحليلها تحليلًا "ديناميكياً لاخطياً" باستخدام برنامج Abaqus اعتماداً على الكود الأمريكي لحساب متغيرات الشحنة المنفجرة ك(الضغط -الدفع الساقط -المنعكس - زمن وصول الموجة -زمن استمرار الطور الموجب والسالب -سرعة الموجة ...) باستخدام أوزان مختلفة من مادة الـ TNT شديدة الانفجار على بعد ثابت عن سطح العمود.

بعد الدراسة تمت مناقشة النتائج ومقارنة أشكال تشوه الأعمدة والانتقالات الحاصلة فيها والحمل الانفجاري الأقصى الذي يتحملة كل عمود.

كلمات مفتاحية: موجة الانفجار - عمود -انتقال-تشوه - نمذجة

"Effect of column cross section shape in resisting blast loads"

Summary

Researches on explosives are being considered of the most important topics in many countries, with the rapid development of blast materials types and the increase of their destructive capacity, due to their ability in reducing catastrophic explosions, especially the death toll, through protecting the engineering facilities and improving their ability to withstand the abrupt blast waves.

This study puts forward ideas about reinforced concrete columns behavior, their deformation, increasing their strength to withstand blast loading, and reducing displacement through changing the longitudinal and transversal reinforcement and through changing columns sections shape.

Different samples of square, rectangular, and circular columns sections were studied with different ratios of reinforcement. They have been analyzed using a dynamic non-linear analysis with Abaqus software according to US standards of the variations in explosive load, such as reverse and fallen pull and pressure, wave delivery time, negative and positive phase continuity time, and the speed of the waves. Different weights of the highly explosive TNT materials were used on a fixed distance from the surface of the column.

We discussed the results and compared the shapes of deformation for columns and their drifts, in addition to the ultimate blast load the column could withstand.

Key words:

Blast wave – column – displacement – deformation – modeling

1- مقدمة:

لقد اهتم الباحثون في السنوات الأخيرة بتقوية المنشآت وزيادة كفاءة عناصرها من أجل عدم انهيارها، وذلك من خلال رفع قدرة تحملها للحمولات المطبقة عليها، لتقاوم الجهود التي سيتعرض لها المنشأ بأمان كافٍ، وتحتاج الكثير من الأبنية خلال مراحل استثمارها للتدعيم والتقوية والدراسة الخاصة بسبب تغيير وظيفتها أو تضرر مواد بنائها نتيجة لمرور الزمن أو بسبب (تعرضها للحرائق -هزات أرضية -عيوب طارئة في التربة- حمولات مفاجئة كالانفجارات).

تسبب الانفجارات أضراراً بالغة بالمباني المحيطة بمركز الانفجار، وبشكل عام أخذ تصميم الانفجارات بعين الاعتبار للمنشآت الكيميائية والعسكرية بسبب ارتفاع المخاطر المؤثرة على هذا النوع من المنشآت، ولكن ارتفاع معدل الهجمات الإرهابية على مدى العقود القليلة الماضية أدى إلى تزايد المخاوف بشأن أداء المباني تحت تأثير الانفجار.

ومع تطور التقنيات الهندسية للأبنية، اهتم الباحثون في البحث الدائم عن أفضل المواد والطرق لرفع كفاءة عناصر المنشآت الخرسانية وخاصة الأعمدة التي تعتبر من أهم وأخطر العناصر الإنشائية في هذه المنشآت والتي قد يسبب انهيارها في كثير من الحالات انهيار المنشأ بالكامل.

2- هدف البحث:

- دراسة سلوك وأشكال انهيار الأعمدة البيتونية المسلحة المعرضة لحمولة الانفجار.
- دراسة تأثير تغير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة الحمولات الانفجارية.

- دراسة تأثير نسبة التسليح الطولي والعرضي في تحسين شكل تشوه الأعمدة الخاضعة لحمل انفجاري وزيادة مقاومتها.

3- مواد وطرق البحث:

لقد تم استخدام الطريقة التحليلية في البحث نظراً لصعوبة إجراء تجارب انفجار على الأعمدة البيتونية المسلحة لما فيها من خطورة وتكلفة عالية بالإضافة إلى أن تطور برامج النمذجة والتحليل الإنشائي مثل برنامج "Abaqus" جعل بالإمكان دراسة مثل هذه الحالات وبتنتائج مقارنة جداً للواقع.

تم نمذجة عدة نماذج من الأعمدة البيتونية المسلحة بنسب تسليح مختلفة وكذلك مقطع عرضي متغير الشكل "مستطيل ومربع ودائري" وتم تلخيص النماذج المدروسة في الجدول "1-3" وتم رسم طريقة توضعها كما في الشكل "1-3" وتفاصيل تسليحها كما في الشكل "2-3" تم اختيار سماكة الغطاء البيتوني $a=25\text{ mm}$ ومقاومة البيتون على عمر 28 يوم $F_c = 30\text{ Mpa}$ واجهاد الخضوع لفلواز التسليح الطولي 400 Mpa والعرضي 240 Mpa نسبة التحميل المحوري للأعمدة تبلغ 0.3 .

تم اختيار الأعمدة بحيث تكون قدرة تحملها متقاربة جداً ومساحة مقطعها العرضي كذلك، وذلك من أجل الوصول للاختيار الأفضل لشكل للمقطع العرضي للعمود في مقاومة الحمل الانفجاري.

الأعمدة التي تم تحليلها هي أعمدة في الطابق الأرضي اتصالها مع القاعدة وثيقة ومع الطابق الأعلى اتصال مفصلي.

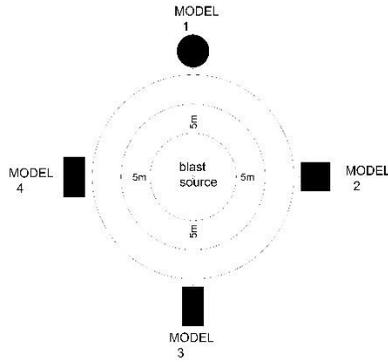
الانفجار الذي تم دراسته هو انفجار سطحي يعطي أخطر حالة بسبب حدوث تقوية لموجة الضغط عند انعكاسها عن السطوح.

تم استخدام برنامج ABAQUS V6.14-3 في النمذجة والتحليل واستخراج النتائج.

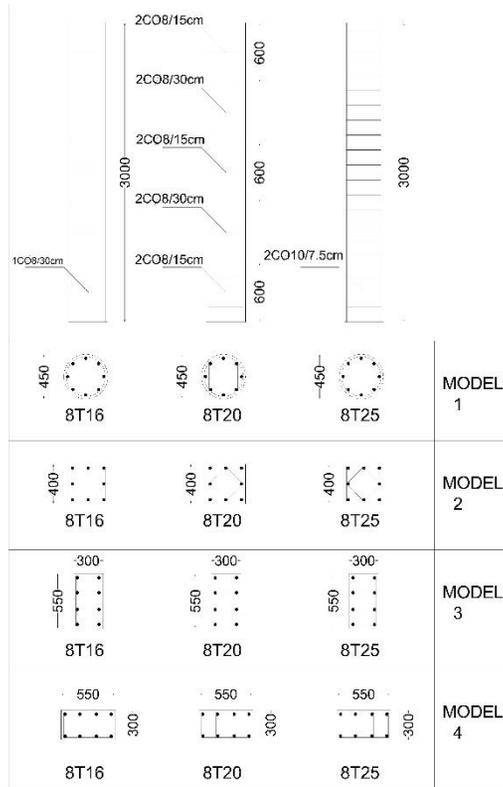
"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة الحمولات الانفجارية"

الجدول 1-3 يوضح النماذج المدروسة

نسبة التحميل المحوري %	بعد الشحنة عن سطح العمود cm	حمولة الانفجار "Kg"	تسليح المقطع		أبعاد المقطع العرضي	ارتفاع العمود cm	النموذج	المجموعة
			التسليح العرضي	التسليح الطولي				
0.3	500	75	1CØ8/30cm	8T16	D=45 cm	300	C1-1-1	1
		75	2CØ8/15-30cm	8T20	D=45 cm	300	C1-2-1	
		75	2CØ10/7.5cm	8T25	D=45 cm	300	C1-3-1	
		100	1CØ8/30cm	8T16	D=45 cm	300	C1-1-2	
		100	2CØ8/15-30cm	8T20	D=45 cm	300	C1-2-2	
		100	2CØ10/7.5cm	8T25	D=45 cm	300	C1-3-2	
		150	1CØ8/30cm	8T16	D=45 cm	300	C1-1-3	
		150	2CØ8/15-30cm	8T20	D=45 cm	300	C1-2-3	
		150	2CØ10/7.5cm	8T25	D=45 cm	300	C1-3-3	
		200	1CØ8/30cm	8T16	D=45 cm	300	C1-1-4	
200	2CØ8/15-30cm	8T20	D=45 cm	300	C1-2-4			
200	2CØ10/7.5cm	8T25	D=45 cm	300	C1-3-4			
0.3	500	75	1CØ8/30cm	8T16	40*40 cm	300	C2-1-1	2
		75	2CØ8/15-30cm	8T20	40*40 cm	300	C2-2-1	
		75	2CØ10/7.5cm	8T25	40*40 cm	300	C2-3-1	
		100	1CØ8/30cm	8T16	40*40 cm	300	C2-1-2	
		100	2CØ8/15-30cm	8T20	40*40 cm	300	C2-2-2	
		100	2CØ10/7.5cm	8T25	40*40 cm	300	C2-3-2	
		150	1CØ8/30cm	8T16	40*40 cm	300	C2-1-3	
		150	2CØ8/15-30cm	8T20	40*40 cm	300	C2-2-3	
		150	2CØ10/7.5cm	8T25	40*40 cm	300	C2-3-3	
		200	1CØ8/30cm	8T16	40*40 cm	300	C2-1-4	
200	2CØ8/15-30cm	8T20	40*40 cm	300	C2-2-4			
200	2CØ10/7.5cm	8T25	40*40 cm	300	C2-3-4			
0.3	500	75	1CØ8/30cm	8T16	55*30 cm	300	C3-1-1	3
		75	2CØ8/15-30cm	8T20	55*30 cm	300	C3-2-1	
		75	2CØ10/7.5cm	8T25	55*30 cm	300	C3-3-1	
		100	1CØ8/30cm	8T16	55*30 cm	300	C3-1-2	
		100	2CØ8/15-30cm	8T20	55*30 cm	300	C3-2-2	
		100	2CØ10/7.5cm	8T25	55*30 cm	300	C3-3-2	
		150	1CØ8/30cm	8T16	55*30 cm	300	C3-1-3	
		150	2CØ8/15-30cm	8T20	55*30 cm	300	C3-2-3	
		150	2CØ10/7.5cm	8T25	55*30 cm	300	C3-3-3	
		200	1CØ8/30cm	8T16	55*30 cm	300	C3-1-4	
200	2CØ8/15-30cm	8T20	55*30 cm	300	C3-2-4			
200	2CØ10/7.5cm	8T25	55*30 cm	300	C3-3-4			
0.3	500	75	1CØ8/30cm	8T16	30*55 cm	300	C4-1-1	4
		75	2CØ8/15-30cm	8T20	30*55 cm	300	C4-2-1	
		75	2CØ10/7.5cm	8T25	30*55 cm	300	C4-3-1	
		100	1CØ8/30cm	8T16	30*55 cm	300	C4-1-2	
		100	2CØ8/15-30cm	8T20	30*55 cm	300	C4-2-2	
		100	2CØ10/7.5cm	8T25	30*55 cm	300	C4-3-2	
		150	1CØ8/30cm	8T16	30*55 cm	300	C4-1-3	
		150	2CØ8/15-30cm	8T20	30*55 cm	300	C4-2-3	
		150	2CØ10/7.5cm	8T25	30*55 cm	300	C4-3-3	
		150	1CØ8/30cm	8T16	30*55 cm	300	C4-1-4	
150	2CØ8/15-30cm	8T20	30*55 cm	300	C4-2-4			
150	2CØ10/7.5cm	8T25	30*55 cm	300	C4-3-4			



الشكل "1-3" يبين توضع نماذج الأعمدة بالنسبة للشحنة المتفجرة



الشكل "2-3" يبين تفصيل تسليح الأعمدة المدروسة

4- المعايير ووصف التجربة: [13]

للتأكد من صحة نتائج البرنامج، تم بناء نموذج تجريبي ومقارنته مع تجربة تم إجراؤها في قاعدة القوات الكندية في "أونتاريو" والموضحة في الشكل "1-4" [3].

يبين الجدول 1-4 المقارنة بين نتائج التجربة والنموذج التحليل في برنامج Abaqus حيث أعطت النتائج تقارب كبير في القيم بين الحالتين "التجريبية والتحليلية".

تم اختبار 16 عموداً من البيتون المسلح بأبعاد العمود (300×300×3000 m)

تسليحها الطولي 4T25 وسماكة الغطاء البيتوني $a=40\text{ mm}$

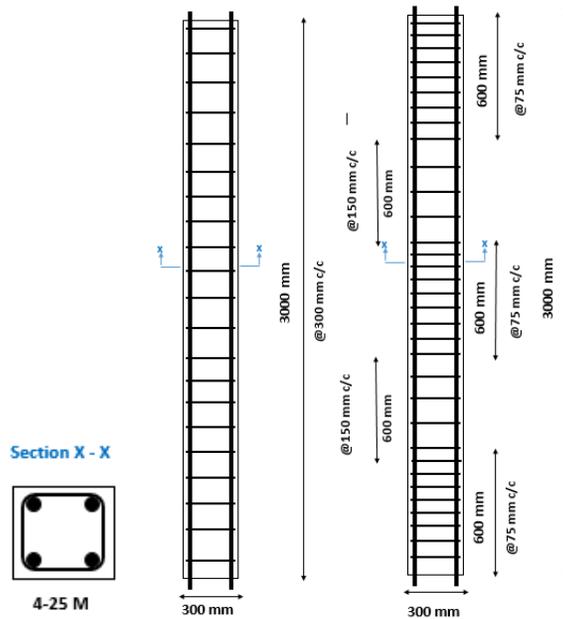
مقاومة البيتون بعد عمر 28 يوم $F_c = 41\text{ Mpa}$

واجهاد خضوع الفولاذ $F_y = 400\text{ Mpa}$

صممت ستة أعمدة لمبنى مفترض في منطقة شديدة الزلازل بتسليح عرضي بقطر 10 mm وتباعدها 75 mm على طول المفصل اللدن الذي يبلغ 600 mm عند نقطتي الاستناد، وتباعدها أساور التسليح العرضي بين منطقتي المفصل 150 mm وتم تخفيضها لـ 75 mm في منتصف العمود، ويبين الشكل (4-2-a) مقطعاً طولياً للأعمدة المصممة زلزالياً. بينما الأعمدة العشرة الأخرى نفذت تسليحها العرضي بتباعدها 300 mm على كامل طول العمود والموضحة بالشكل (4-2-b)، وتم تطبيق حمولات محورية على ثلاث من هذه الأعمدة العشرة العادية مقابل نسبة تحميل محوري تبلغ 0.3 بتقنية الاجهاد المسبق.

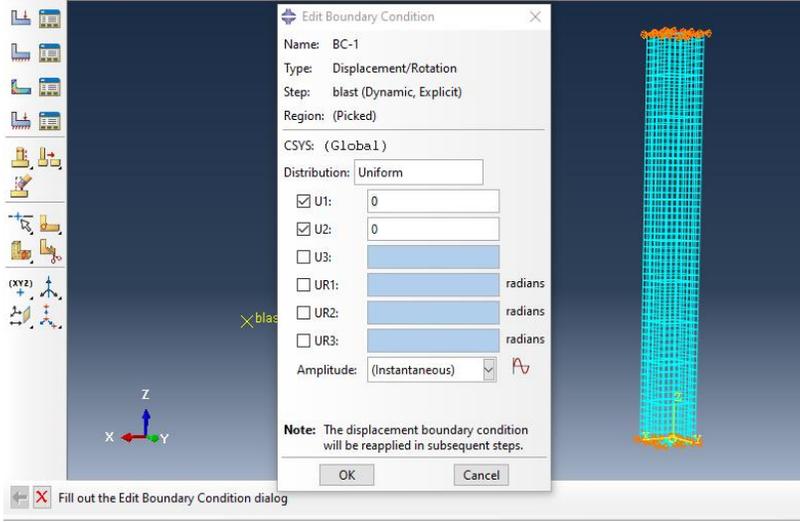


الشكل 4-1 التجربة التي تم اختبارها في قاعدة القوات الكندية في "أونتاريو" [3]

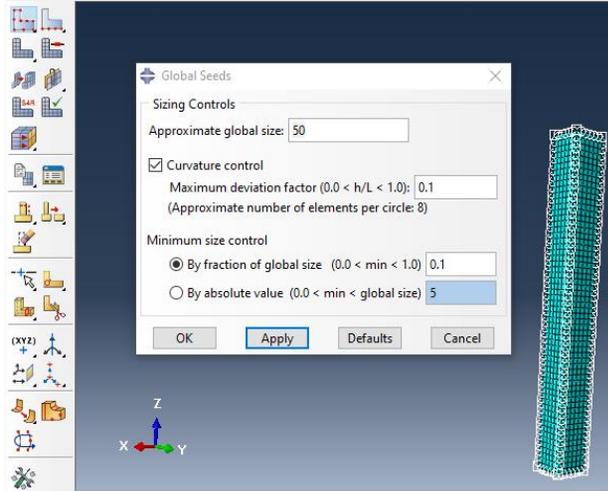


(a) مصممة زلزالياً (b) مصممة بشكل عادي

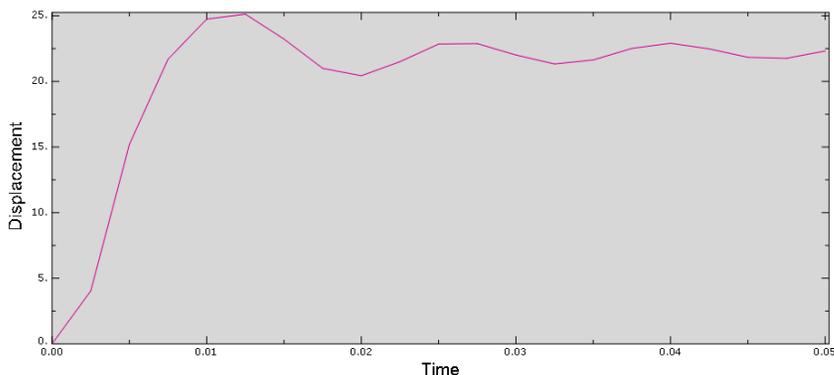
الشكل 4-2 تفاصيل تسليح الأعمدة العادية والزلزالية المستخدمة في التجربة



الشكل 4-3 نمذجة النموذج التجريبي في برنامج Abaqus



الشكل 4-4 الشبكة المستخدمة في التحليل



الشكل 4-5 مخطط انتقال-زمن للنموذج التجريبي الذي تم معايرته

الجدول 4-1 الفرق النسبي بين الدراسة التحليلية والتجريبية

	Experimental (mm)	FEM (mm)	الفرق النسبي) $\Delta\%$
Displacement	24.94	25.12	2.8 %

نلاحظ أن الفرق بين النتائج التجريبية والتحليلية لا يتجاوز الـ 5% وهي نسبة مقبولة.

5- تحليل النتائج:

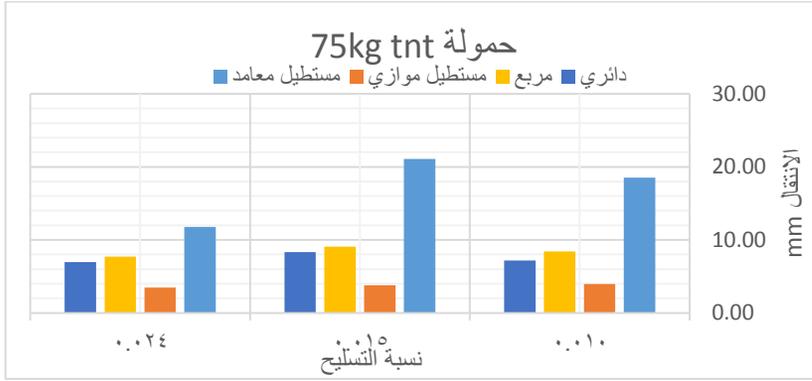
5-1 تأثير شكل المقطع العرضي للعمود على الانتقالات الحاصلة في العمود:

عند تعرض العمود لحمولة انفجار 75-100-150kg من مادة الـ TNT كانت أفضل حالة والتي أعطت أقل قيم انتقالات هي للعمود المستطيل الموازي لموجة الضغط يليه المقطع الدائري ثم المربع وأخيراً المقطع المستطيل المعامد لموجة الضغط والجدول 5-1 يبين قيم الانتقال الأعظمي والنسبي لكافة النماذج من أجل حمولة 75kg والجدول 5-2 من أجل حمولة 100kg والجدول 5-3 من أجل حمولة 150kg.

"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة الحمولات الانفجارية"

الجدول 1-5 قيم الانتقال الأعظمي والنسبي من أجل حمولة TNT (75)kg

العمود	نموذج 1 دائري	نموذج 2 مربع	نموذج 3 مستطيل موازي	نموذج 4 مستطيل معامد	نسبة التسليح
الانتقال الأعظمي mm	7.17	8.42	3.94	18.54	0.010
نسبة الانتقال	81.88	113.60	0.00	370.58	0.010
الانتقال الأعظمي mm	8.32	9.07	3.76	21.10	0.015
نسبة الانتقال	121.42	141.21	0.00	461.34	0.015
الانتقال الأعظمي mm	6.95	7.71	3.46	11.78	0.024
نسبة الانتقال	101.06	123.03	0.00	240.49	0.024



الشكل 1-5 قيم الانتقال الأعظمي لحمولة (75)kg

الجدول 2-5 قيم الانتقال الأعظمي والنسبي من أجل حمولة TNT (100)kg

العمود	نموذج 1 دائري	نموذج 2 مربع	نموذج 3 مستطيل موازي	نموذج 4 مستطيل معامد	نسبة التسليح
الانتقال الأعظمي mm	10.00	15.44	6.17	35.61	0.010
نسبة الانتقال	153.74	291.85	56.67	803.87	0.010
الانتقال الأعظمي mm	12.08	14.74	5.32	27.23	0.015
نسبة الانتقال	126.94	176.94	0.00	411.51	0.015
الانتقال الأعظمي mm	9.22	11.14	4.53	17.38	0.024
نسبة الانتقال	166.66	222.16	30.91	402.59	0.024



الشكل 5-2 قيم الانتقال الأعظمي لحمولة 100kg

الجدول 5-3 قيم الانتقال الأعظمي والنسبي من أجل حمولة TNT (75)kg

نسبة التسليح	نموذج 4 مستطيل معامد	نموذج 3 مستطيل موازي	نموذج 2 مربع	نموذج 1 دائري	العمود
0.010	262.80	23.47	97.69	19.40	الانتقال الأعظمي mm
	6570.10	495.62	2379.46	392.31	نسبة الانتقال
0.015	84.38	14.82	40.38	20.49	الانتقال الأعظمي mm
	469.26	0.00	172.42	38.22	نسبة الانتقال
0.024	37.95	7.88	19.61	10.67	الانتقال الأعظمي mm
	381.63	0.00	148.92	35.44	نسبة الانتقال

"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة الحمولات الانفجارية"



الشكل 3-5 قيم الانتقال الأعظمي لحمولة 150kg

وبالنتيجة لقد أعطى النموذج الثالث لشكل المقطع العرضي "مقطع مستطيل موازي لموجة الانفجار" أقل قيم للانتقالات في كافة حالات التسليح يليه المقطع الدائري ثم المقطع المربع وأخيرا المقطع المستطيل المتعامد مع موجة الانفجار.

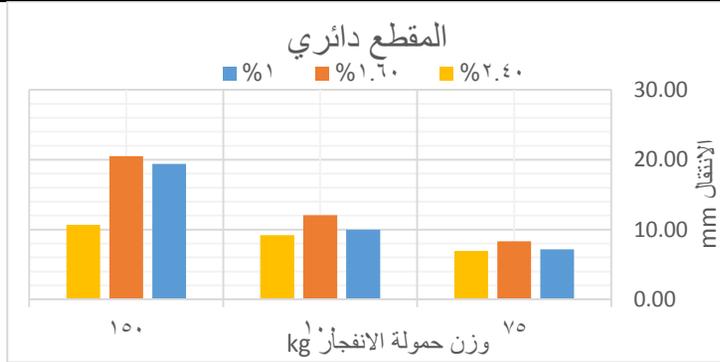
2-5 تأثير نسبة التسليح الطولي والتطويق العرضي على الانتقالات الحاصلة في

العمود:

عند تعرض نماذج الأعمدة المدروسة لحمولات انفجار بوزن 75-100-150kg من مادة الTNT وينسب تسليح مختلفة كانت أفضل حالة تسليح والتي أعطت أقل قيم انتقالات هي باستخدام تطويق عرضي للعمود ونسبة تسليح طولي 2.4% أما نسب التسليح الأخرى كانت القيم متباينة وفق الجدول 4-5 للنموذج الأول "دائري" والجدول 5-5 للنموذج الثاني "مربع" والجدول 6-5 للنموذج الثالث "مستطيل موازي" والجدول 7-5 للنموذج الرابع "مستطيل معامد"

الجدول (4-5) قيم الانتقال الأعظمي والنسبي للنموذج الأول "الدائري"

الحمولة kg	2.40	1.60	1.00	نسبة التسليح %
75.000	6.95	8.32	7.17	الانتقال الأعظمي mm
	-2.96	16.16	0.00	الانتقال النسبي %
100.000	9.22	12.08	10.00	الانتقال الأعظمي mm
	-7.75	20.83	0.00	الانتقال النسبي %
150.000	10.67	20.49	19.40	الانتقال الأعظمي mm
	-44.98	5.63	0.00	الانتقال النسبي %

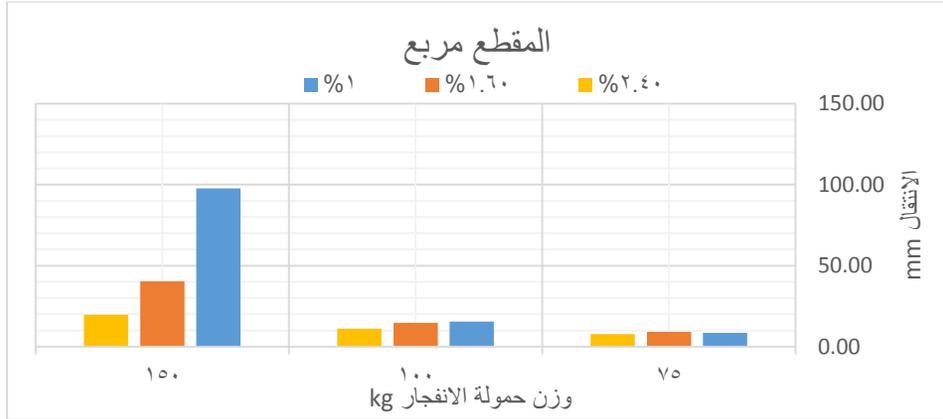


الشكل 4-5 قيم الانتقال الأعظمي للنموذج 1 الدائري

الجدول (5-5) قيم الانتقال الأعظمي والنسبي للنموذج الثاني "مربع"

الحمولة kg	2.40	1.60	1.00	نسبة التسليح %
75.000	7.71	9.07	8.42	الانتقال الأعظمي mm
	-8.34	7.75	0.00	الانتقال النسبي %
100.000	11.14	14.74	15.44	الانتقال الأعظمي mm
	-27.83	-4.52	0.00	الانتقال النسبي %
150.000	19.61	40.38	97.69	الانتقال الأعظمي mm
	-79.92	-58.66	0.00	الانتقال النسبي %

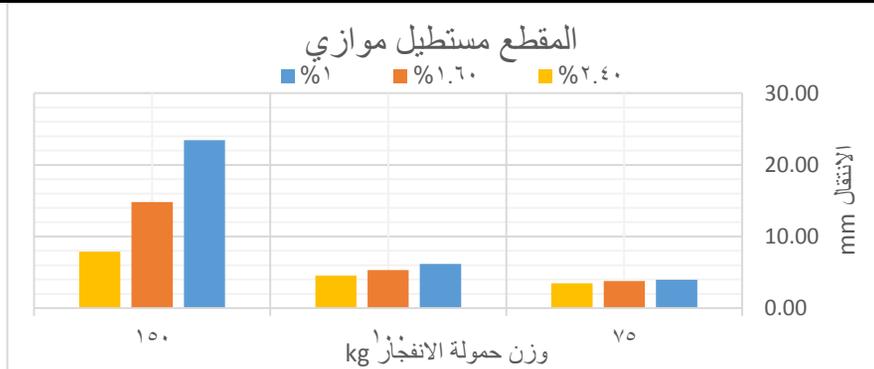
"تأثير شكل المقطع العرضي للعمود في مقاومة الحمولات الانفجارية"



الشكل 5-5 قيم الانتقال الأعظمي للنموذج 2 المربع

الجدول 5-6 قيم الانتقال الأعظمي والنسبي للنموذج الثالث

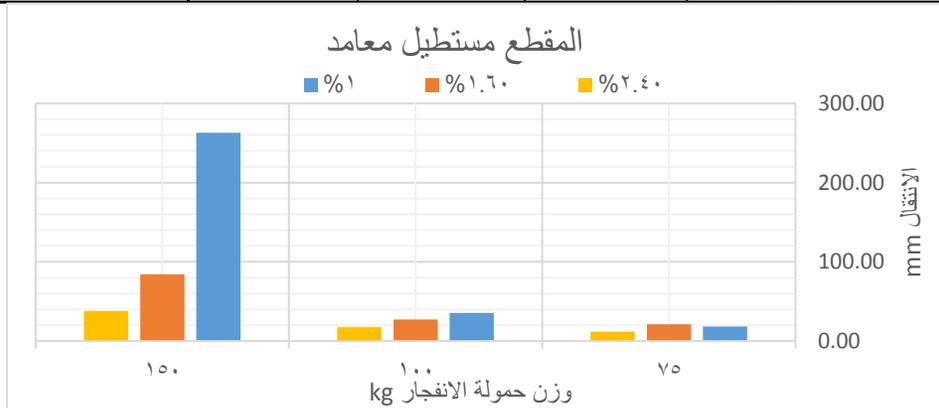
الحمولة kg	2.40	1.60	1.00	نسبة التسليح
75.000	3.46	3.76	3.94	الانتقال الأعظمي mm
	-12.22	-4.58	0.00	الانتقال النسبي %
100.000	4.53	5.32	6.17	الانتقال الأعظمي mm
	-26.65	-13.77	0.00	الانتقال النسبي %
150.000	7.88	14.82	23.47	الانتقال الأعظمي mm
	-66.42	-36.83	0.00	الانتقال النسبي %



الشكل 5-6 قيم الانتقال الأعظمي للنموذج 3 المستطيل الموازي

الجدول 5-7 قيم الانتقال الأعظمي والنسبي للنموذج الرابع

الحمولة	2.40	1.60	1.00	نسبة التسليح
75.000	11.78	21.10	18.54	الانتقال الأعظمي mm
	-36.48	13.82	0.00	الانتقال النسبي %
100.000	17.38	27.23	35.61	الانتقال الأعظمي mm
	-51.19	-23.55	0.00	الانتقال النسبي %
150.000	37.95	84.38	262.80	الانتقال الأعظمي mm
	-85.56	-67.89	0.00	الانتقال النسبي %



الشكل 5-7 قيم الانتقال الأعظمي للنموذج 4 المستطيل المعامد

وبالنتيجة: إن زيادة نسبة التسليح العرضي تقلل من قيم الانتقالات وخاصة عند استخدام التطويق العرضي للعمود.

6- النتائج والتوصيات:

1-6 النتائج:

- 1- بينت الدراسة أن أقل قيم انتقالات كانت باستخدام المقاطع المستطيلة بشكل موازي لموجة الانفجار بحيث يكون السطح المعرض للموجة أصغر ما يمكن
- 2- بينت الدراسة أنه لنسبة التسليح الطولي تأثير ضعيف في التقليل من قيم الانتقالات الحاصلة في العناصر وفي جميع الأحوال يجب ألا تقل عن 1.5% من مساحة المقطع البيتوني.
- 3- يجب استخدام التطويق العرضي وبشكل خاص في الطوابق السفلية وأعمدة الواجهات الأكثر تعرض للانفجار واستخدام أساور بقطر لا يقل عن 10mm وتباعدا لا يزيد عن 75mm.

2-5 التوصيات:

- 1- ضرورة دراسة تأثير مساحة المقطع العرضي العنصر على الانتقالات بالمقارنة مع قدرة التحمل.
- 2- ضرورة دراسة حالة المنشأ بعد تعرضه لموجة الانفجار وتقييم سلامته الإنشائية ودراسة حالات الانهيار نتيجة انهيار عمود أو أكثر.
- 3- دراسة تأثير مقاومة البيتون في تحمل الأعمدة البيتونية المسلحة لحمولات الانفجار.

المراجع المستخدمة:

العربية:

- 1-تصميم المنشآت المقاومة لحمولة الانفجار - د.م. عبد المنعم فودة-مكتبة الأنجلو المصرية -القاهرة 2011
 - 2- م.أحمد قزويني -دراسة استجابة المنشآت الهيكلية تحت تأثير الحمولات الانفجارية-جامعة دمشق 2010 - ص186
 - 3- م.محمد شاهين -نمذجة تأثير أحمال الانفجار على مبنى خرساني باستخدام برنامج LS_DYNA - الجامعة الإسلامية غزة - ص92
-

المراجع الأجنبية:

1. SOLOMOS , G ؛ KARLOS , V , 2013 , Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components , European Laboratory for Structural Assessment , Italy .
2. THEJASWI , K.P؛ KULKARN, D.K, 2016, Effect of Different Bracing Systems on the Multi-story Building Subjected to Blast Loading, International Journal of Man Machine Interface, india, VOL .4 , 96 -102.
3. CONRAD , K 2014 , Effects of blast loading on seismically detailed reinforced concrete columns , Master's thesis , Carleton University Ottawa, Ontario , Canada