

مجلة جامعة البعث

سلسلة علوم الهندسة المدنية والمعمارية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 43 . العدد 14

1442 هـ - 2021 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب

رئيس جامعة البعث

المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير

أ. د. ناصر سعد الدين

رئيس التحرير

أ. د. درغام سلوم

مديرة مكتب مجلة جامعة البعث

بشرى مصطفى

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

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

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

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

. هاتف / فاكس : ++ 963 31 2138071

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

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

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

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

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

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

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

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

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

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

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

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

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

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

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

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

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

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

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
32-11	م. سلام نجم الدين د.م. أمجد الحلواني	دراسة أثر إضافة مخمدات احتكاكية على رفع الكفاءة الزلزالية لمبنى جملة ثنائية
74- 33	احمد الصالح د.أكرم سلامة	دراسة تغيرات خواص البيتومين المعدل بمزيج /بوليمر- كبريت/
105-75	د.م. ربيع الصفدي م. لمى برنبو	تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل

دراسة أثر إضافة مخمدات احتكاكية على رفع الكفاءة الزلزالية لمبنى جملة ثنائية

م. سلام نجم الدين¹

د.م. أمجد الحلواني²

الملخص

يقدم البحث دراسة تحليلية لسلوك مبنى جملة ثنائية مزود بوصلة قابلة للتشوه ذات مخمدات احتكاكية تربط بين جدار القص والبلاطة (البلاطة مستندة على الأعمدة) تحت تأثير حمل ديناميكي، تم بدايةً نمذجة البلاطة والجدار و تم إضافة الوصلة متضمنة مخمد احتكاكي Friction Device معيّر ومدروس وفق قوة ناظرية محددة وأربع مساند مطاطية منخفضة التخماد مقواة بالكربون Rubber Bearing بحيث تم وضع الوصلة بين البلاطة وجدار القص. عند دراسة التوافق مع التجربة كانت استجابة الوصلة ككل مستقرة تحت تأثير الحمولات المطبقة، والغرض من وجود المساند المطاطية منخفضة التخميد استقرار الجدار خارج مستويه وإعادته لوضعه الأساسي والتقليل من التشوهات المتبقية، ثم نمذجة مبنى جملة ثنائية وذلك عبر استخدام طريقة العناصر المحدودة FEM بالاستعانة ببرنامج ABAQUS 6.19، وأخيراً تمت دراسة أثر إضافة الوصلة للمبنى وأثر تغيير أماكن تموضع المخمدات على سلوك المبنى وعلى رفع الكفاءة الزلزالية له. حيث كانت نتيجة إضافة الوصلة، انخفاض في قيم القص القاعدي، وحصة جدران القص من قوة القص، وقيم التسارعات الطابقية دون زيادة في الانزياح الجانبي.

¹ طالبة ماجستير - قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق - سورية.

² مدرس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية - جامعة دمشق - سورية.

الكلمات المفتاحية: مخمد احتكاكي FD، طريقة العناصر المحدودة FEM، الجملة الثنائية، مساند مطاطية منخفضة التخماد مقواة بالكربون RB، وصلة قابلة للتشوه.

Studying the effect of Friction Dampers on Seismic upgrading of Dual reinforced concrete Building

Salam Najm Al-Deen¹

Amjad ALhlwani²

Abstract.

This research presents analytic study of Dual reinforced concrete Building behavior equipped with deformable connection consisting of Friction Dampers used to connect the shear walls system to the floor system . Shear wall and floor system were initially modeled then the connections consist Friction Damper(FD) and carbon fiber-reinforced laminated low-damping rubber bearings(RB)were added between floor system and shear wall to achieve a model matching the reality. The response of connection was stable under applied loads and the response of RB provides the required out-of plane stability to shear wall and reset and reduce the residual deformations. After that, shear walled-framed dual system building was modeled using ABAQUS 6.19 software, finally the effect of adding the connection and the effect of adjusting the friction damper position on the dynamic behavior and seismic upgrading of building were studied. It was notable that the addition of the connection was decreasing of the base shear values, shear wall shear of base shear force, and the floor acceleration without increasing of lateral drift.

¹ *Master student in the Structural Earthquake Engineering Department at Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR) - University of Damascus– Syria.*

² *Assistant Prof. in the Structural Earthquake Engineering Department at Higher Institute of Earthquake Studies and Research (HIESR) - University of Damascus– Syria.*

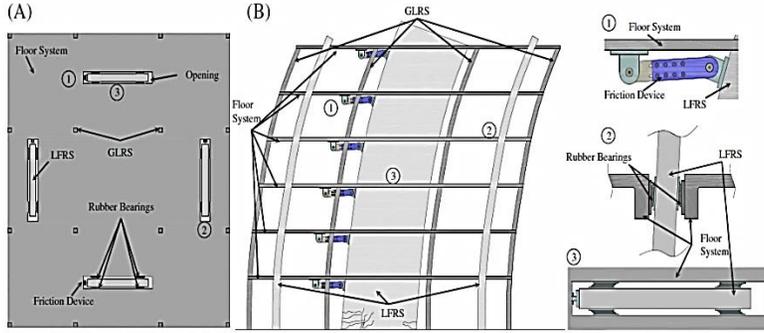
Keywords: Friction Device (FD), Finite Element Method (FEM), Dual System, low-damping rubber bearings, Deformable Connection.

دراسة أثر إضافة مخمدات احتكاكية على رفع الكفاءة الزلزالية لمبنى جملة ثنائية

1-مقدمة البحث:

عند تعرض المبنى المقاوم للزلازل للهزات والحركات الأرضية، تنتقل قوى العطالة من البلاطة لجدران القص عبر اتصال صلب، وهذه القوى المتولدة ممكن أن تؤدي لاستجابة غير مرنة وأضرار متعددة بالجدران، [5]. يمكن إضافة أنظمة تحكم زلزالي، تستخدم في مقاومة قوى الزلازل، وتبديد الطاقة الزلزالية، وأيضاً تقليل الأضرار التي قد تحدث في المنشأ. وتقسم أنظمة التحكم إلى: (أنظمة العزل الزلزالي القاعدي وأنظمة تبديد الطاقة). وتتخلص أنظمة تبديد الطاقة ب: المخمدات الصلبة:(المخمدات المعدنية،مخمدات الاحتكاك)،والمخمدات للزجة:(المخمدات اللزجة السائلة واللزجة المرنة)، [3].

تم العمل بهذا البحث على تزويد المبنى المقاوم للزلازل ذو الجملة الثنائية بوسيلة تعمل على الفصل بين الجدران (بوصفها مكونات لمقاومة القوى الأفقية فقط)، وبين البلاطة (بلاطة مستندة على الإطارات حصراً التي تنقل حمولات الثقالة للأساسات)، وتتصرف زلزالياً بسلوكها المرن، وينقل شبه معدوم للقوى بينها وبين الجدران. الوسيلة المعتمدة بين البلاطة والجدار هي: (FD+RB) Connection وهي عبارة عن: مخمد احتكاكي (Friction Damper) FD حيث يستخدم كوسيلة لرفع الكفاءة الزلزالية وذلك نظراً لكلفته الاقتصادية المنخفضة ولسلوكه الواضح المستقر المتماثل بين الشد والضغط وقدرته على تبديد الطاقة الزلزالية أثناء الإثارات الزلزالية، وصفائح من المطاط منخفضة التخماد مقواة بالكربون (carbon fiber-)RB reinforced laminated low-damping rubber bearings ويوضح الشكل [1] مثلاً تخطيطياً لمبنى مزود بوصلات احتكاك-مطاط.

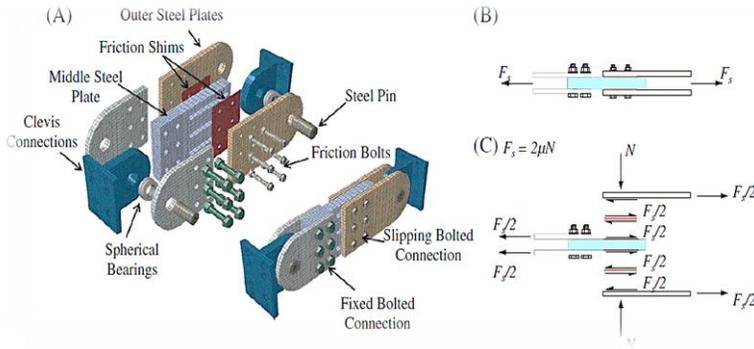


الشكل [1]: وصلة (FD)+(RB) ضمن مبنى جداري بيتوني مسلح، A مسقط للمبنى، B مقطع للمبنى و(1) حركة نسبية بين الجدار والبلاطة، (2) دوران نسبي بين الجدار والبلاطة، و(3) حركة أفقية بينهما.

مكونات الوصلة:

1. مخمد احتكاكي (Friction Damper):

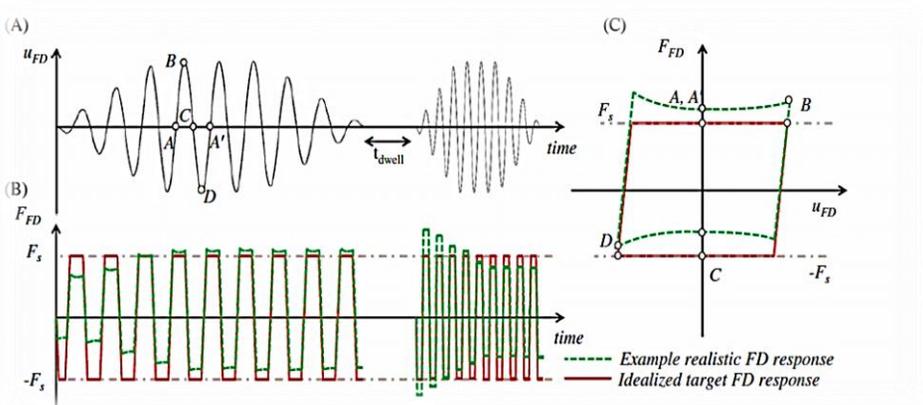
منذ عام 1980 تم البدء بتطوير مخمدات احتكاكية فعالة لتحسين الاستجابة الزلزالية للمنشآت بهدف تبطئ حركة المبنى، وتعتمد في تبديد الطاقة على ميكانيكية الاحتكاك الصلب المتطور بين جسمين صلبين منزلقين على بعضهم البعض حيث تلعب دور مهم بالتحكم بالحركة وبالتالي تبديد الطاقة على شكل حراري خلال الإثارة الزلزالية، [2]. ويوضح الشكل [2] مكونات المخمد الاحتكاكي:



الشكل [2]: تفصيل أجزاء أداة الاحتكاك، (B) و(C) مخطط الجسم الطليق الأمثلي للمخمد الاحتكاكي.

خواص المخمد الاحتكاكي:

يتصرف بشكلٍ أساسي بسلوكٍ ثنائي الخطية، مع صلابة بدائية مرتفعة جداً، وشكل الحلقة يدل على قدرتها على تبديد الطاقة في كل دورة حركة، كما هو مبين بالشكل [3]، ويتبع لحمولات معينة لتقديم التخميد المطلوب غير حساس للتأثيرات الحرارية، [6].



الشكل [3]: استجابة مخمد الاحتكاك والمقارنة بين السلوك الواقعي والسلوك الأمثلي.

2- المساند المطاطية منخفضة التخماد (Rubber Bearing).

يتألف المسند المطاطي منخفض التخماد من طبقات من المطاط الطبيعي أو الصناعي، يؤمن الاستناد المرن بسبب الصلابة الجانبية المنخفضة، مسلح بصفائح من الفولاذ أو الكربون لتأمين الصلابة الناظرية اللازمة لتحمل الحمولات والضغط المطبق، يسلك سلوكاً مرناً وليس لديه القدرة على تبديد الطاقة بشكلٍ كافٍ وتتراوح قيمة التخماد % (2-3) من قيمة التخماد الحرج، [6]. يوضح الشكل [4] توضع مخمد الاحتكاك والمساند المطاطية بين البلاطة وجدار القص.



الشكل [4]: توضع مكونات الوصلة ضمن مبنى بيتوني مسلح.

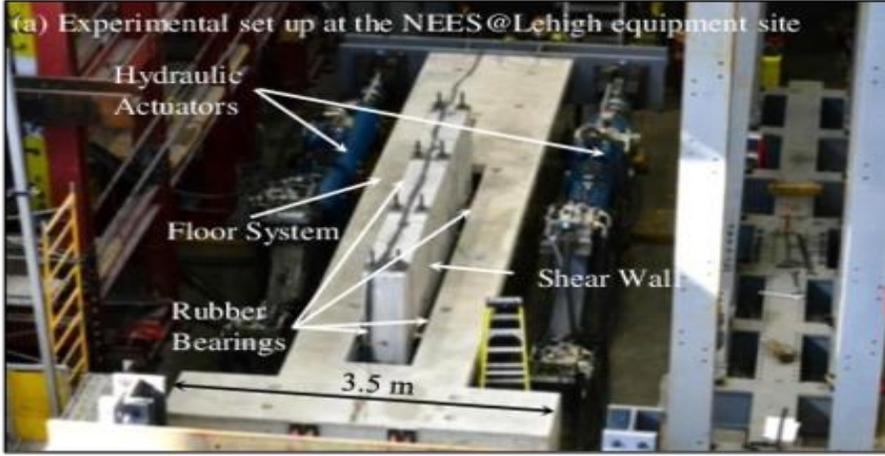
2-هدف البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة مبنى جملة ثنائية مزود بوصلة ذات مخمدات احتكاكية ومساند مطاطية بين البلاطة و جدار القص، وذلك باستخدام طريقة العناصر المحدودة عن طريق برنامج ABAQUS 2019 [1]، ودراسة تأثير الوصلة على السلوك الكلي للمبنى، وعلى رفع الكفاءة الزلزالية، ويهدف أيضاً لإيجاد التوزيع الأفضل للمخمدات على كامل المقطع الطولي لنموذج المبنى.

3- مواد وطرائق البحث:

3-1: معايير الوصلة التجريبية:

تم اختيار نموذج تجريبي من إحدى الدراسات المرجعية التجريبية Tsamper2017 [3]، حيث تمت نمذجة البلاطة وجدار القص ومكونات الوصلة باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM وبالاعتماد على برنامج ABAQUS 6.19، ومن ثم معايرة نتائج النموذج التحليلي مع نتائج النموذج التجريبي تحت تأثير انتقالات دورية. يوضح الشكل [5] النموذج التجريبي للبلاطة والجدار والوصلة القابلة للتشوه ضمن المخبر، والشكل [6] النموذج التحليلي للبلاطة-جدار قص والوصلة بينهما.



الشكل [5]: التجهيزات المخبرية للوصلة بالمخبر.

3-1-1: توصيف النموذج التحليلي:

تمت نمذجة البلاطة والجدار مع تمثيل الشروط المحيطة:

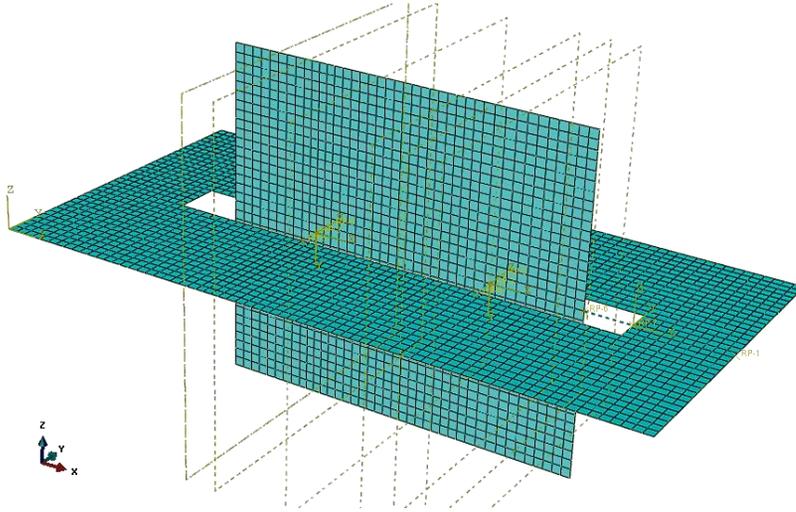
- نمذجة البلاطة (Shell) بسماكة 15cm وأبعادها (3.5*7) m ، والجدار (Shell) بسماكة 40cm محاط بفتحة (0.5*5)m ضمن البلاطة. خواص المادة المستخدمة:

E(N/m ²)	Density(kg/m)	المادة
30*10 ⁹	2500	Concrete

- نمذجة المخمد الاحتكاكي والمساند المطاطية بواسطة Connectors:

تعريف connector نوع Friction بمعامل تخميد 0.45 وقوة ناظرية N=1800kN ، وأربعة connectors لها خواص المساند مطاطية ولكل منها: سلوك elasticity ب: Kc=656 kN/mm قساوة ناظرية ، Keff=1.5 kN/mm قساوة قصية

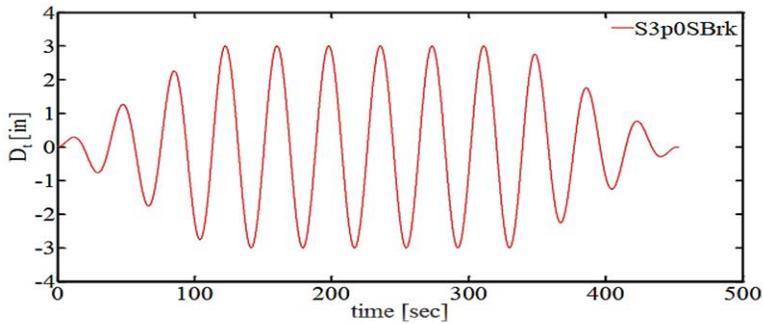
C=0.944 kN.S/mm معامل التخماد



الشكل [6]: نموذج بلاطة- جدار قص.

- تطبيق نموذج التحميل:

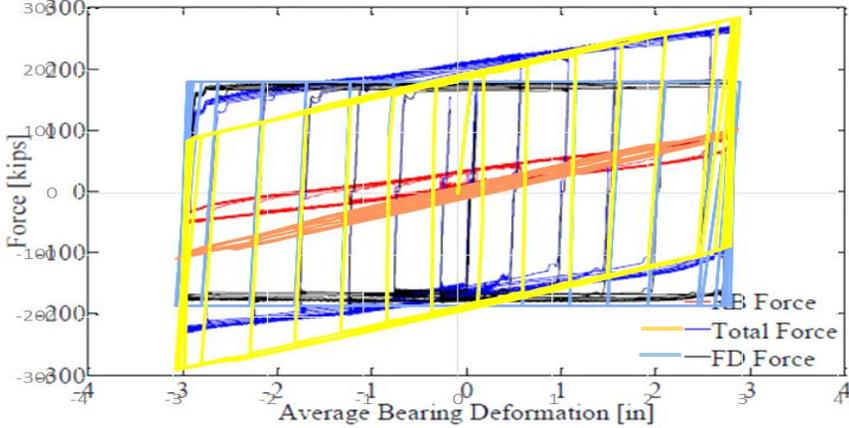
التحميل المطبق كما هو موضح بالشكل [7] وهو تحميل دوري وباتجاه المحور X مطبق بنقطة reference point على حافة البلاطة.



الشكل [7]: التحميل المطبق.

3-1-2: نتائج معايرة التجربة ومناقشتها:

يوضح الشكل [8] الاستجابة لوصلة الاحتكاك مطاط بين البلاطة-جدار القص في الدراستين التجريبية والتحليلية، ويلاحظ مدى التوافق الكبير بين الدراستين، وهذا يشير لكفاءة البرنامج المستخدم في تمثيل الواقع، وفي الوصول إلى نتائج مرضية.



الشكل [8]: حلقات الاستجابة التجريبية (القوة الكلية باللون الأزرق)، والتحليلية (القوة الكلية باللون الأصفر).

نلاحظ : القوة الكلية للاحتكاك منطبقة بين النموذج والتجربة $FD=180kips$ ، بينما سلوك المطاط بنموذج المخبر غير متناظر بين الشد والضغط (المبين باللون الأحمر ضمن الشكل (8)) ، أما بالنموذج التحليلي يظهر سلوك المطاط متناظر تماماً هذا مايفسر انطباق الحلقة بحالة الشد تقريبا أما بحالة الضغط الاختلاف بسلوك المطاط أدى لاختلاف بالسلوك الكلي للوصلة بحالة الضغط. تمت المقارنة بين القساوت التجريبية والقساوت التحليلية عند كل دورة تحليل، وإيجاد الفروق النسبية بينهما كما هو مبين بالجدول (1)، كما ويبين الجدول (2) الفرق النسبي بين كمية الطاقة المبددة بين النموذجين التجريبي والتحليلي.

الجدول (1): القساوات التجريبية والتحليلية والفروق النسبية بينهما.

القساوة الجانبية (Kip/in)			
الحلقة	القساوة التجريبية Kip/in	القساوة التحليلية Kip/in	الفروق النسبية (%)
1	1060.54	776.9	26.8%
2	315.07	285.29	9.36%
3	186.62	183.2	1.8%
4	134.81	141.65	4.83%
5	108.3	119.66	9.5%
6	91.45	102.3	10.6%
7	88.86	96.14	7%

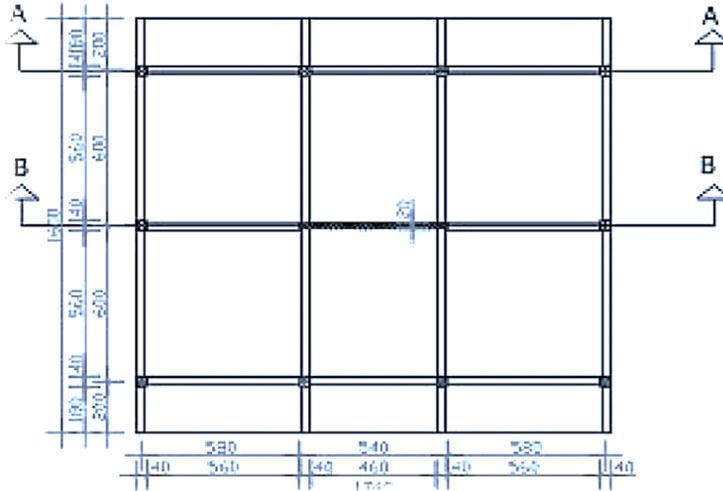
الجدول (2): مقارنة كمية الطاقة المبددة في النموذجين التجريبي والتحليلي.

كمية الطاقة الكلية المبددة (Kip.in)			
الحلقة	النموذج التجريبي	النموذج التحليلي	الفروق النسبية (%)
1	109.17	179.5	36%
2	463.89	509.11	9%
3	833.62	876	4.9%
4	1212.82	1224.68	1%
5	1585.51	1572.21	1%
6	1928.02	1960.55	1.6%
7	2093.68	2152.15	2.7%

كانت النتائج متقاربة ولم تتجاوز الفروقات النسبية الـ 10% لجميع الحلقات باستثناء الحلقة الأولى بسبب الاختلاف بالقساوة الابتدائية للمخمد الاحتكاكي بين النموذج والتجربة.

3-2 معايرة مبنى جملة ثنائية:

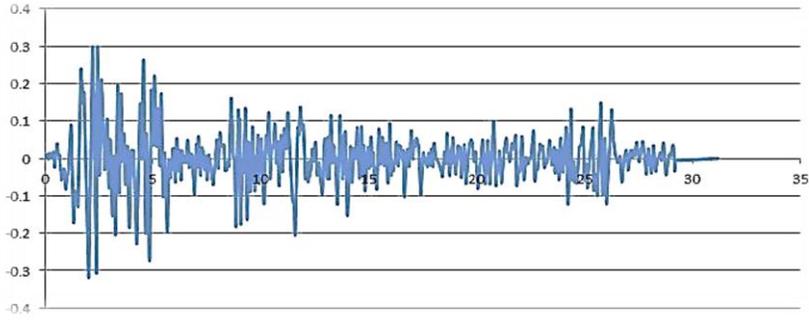
مبنى جملة ثنائية من 10 طوابق، المسقط الأفقي للمبنى من إطارين وإطار-جدار قص بالاتجاه المدرس x، [4]، كما هو موضح بالشكل [9].



الشكل [9]: المسقط الأفقي للمبنى المدرس.

3-2-1: توصيف نموذج المبنى المعتمد:

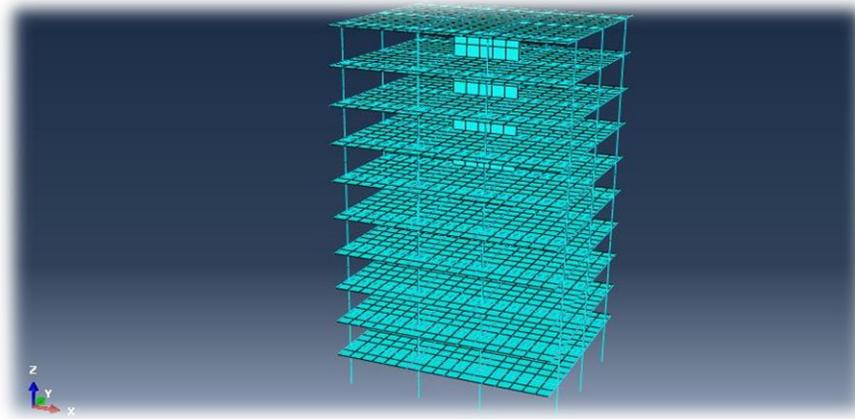
الارتفاعات الطابقية 3m فقط الطابق الأرضي 3.75m ، أبعاد الأعمدة (60*60)cm، وجميع الجوائز (30*50)cm سماكة الجدار 20cm، الحمولات: $DL= 9kN/m^2$ ، $LL=3.5kN/m^2$ ، التحليل الديناميكي Time History والزلزال المطبق: (Elcentro) شدته 0.3g كما هو موضح بالشكل [10].



الشكل [10]: السجل الزمني لزلزال Elcentro.

تمت النمذجة على برنامج Abaqus 6.19، النموذج موضح بالشكل [11]، البلاطات والجدران نوع shell بينما الإطارات نوع Frame Beam element.

المواد المستخدمة: البيتون : $f_c=35 \text{ mPa}$ ، فولاذ التسليح: $f_y= 400\text{mPa}$ مع تمثيل الشروط المحيطية حيث المبنى موثوق من الأسفل، ومطبق الحمل الزلزالي بالاتجاه x.

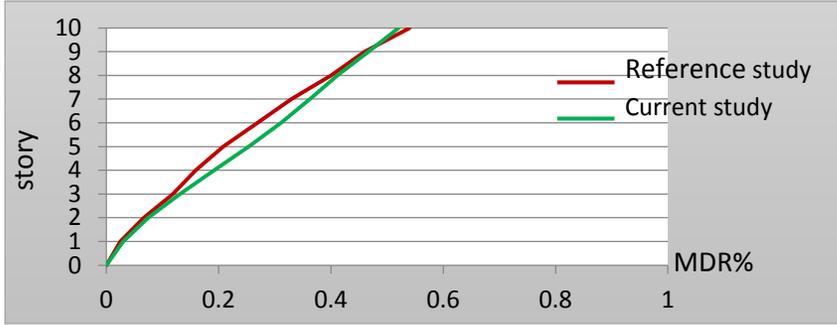


الشكل [11]: النموذج التحليلي للمبنى.

2-2-3: نتائج المعايرة للمبنى:

1-2-2-3: نسبة الانزياح الأعظمية MDR%:

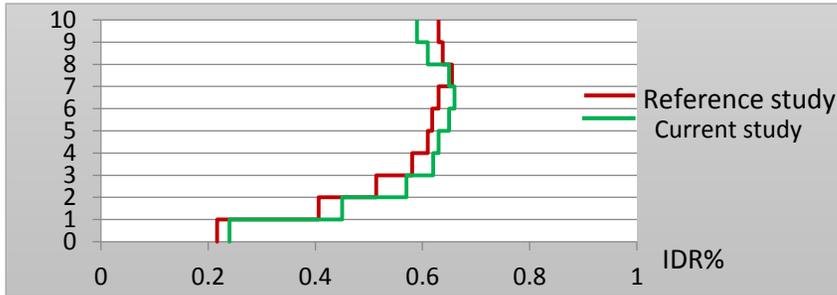
يوضح الشكل [12] نسبة الانزياح الأعظمية لمبنى الدراسة المرجعية، ولنموذج المبنى التحليلي حيث لم يتجاوز الفرق النسبي بينهما الـ 3.7%.



الشكل [12]: نسبة الانزياح الأعظمية الـ MDR% لنموذج الدراسة، ولنموذج التحليلي للمبنى المعتمد.

2-2-2-3: نسبة الانزياح الداخلية IDR%:

عند مقارنة قيم الانزياحات الداخلية للنموذج التحليلي مع نموذج الدراسة المرجعية كما هو موضح بالشكل [13] نلاحظ أن أكبر نسبة اختلاف هي 10% عند الطابق الثالث.



الشكل [13]: نسبة الانزياح الداخلية الـ IDR% لنموذج الدراسة، ولنموذج التحليلي للمبنى المعتمد.

3-2-2-3: نسبة حصة جدار القص من قوة القص القاعدي:

حصة جدار القص لنموذج المبنى كانت 77% من قوة القص القاعدي وهي مطابقة للدراسة المرجعية.

بعد الانتهاء من معايرة المبنى والتحقق من دقة النموذج تم دراسة أثر تزويد الوصلة على سلوك المبنى.

3-3: إضافة الوصلة للمبنى:

1-3-3: توصيف النموذج:

1- إعادة النمذجة لمبنى الجملة الثنائية كما في الخطوة السابقة ولكن دون تعريف اتصال صلد بين الجدار ونظام البلاطة.

2- تعريف مكونات الوصلة (المخمد الاحتكاكي والمساند المطاطية) عن طريق الـ connectors كما تم تعريفها عند معايرة تجربة [3], Tsamper 2017.

3- الربط بين البلاطة والجدار بالـ connectors عند كل مستوي اتصال.

2-3-3: نتائج إضافة الوصلة لنموذج المبنى:

1- القص القاعدي وحصة جدار القص:

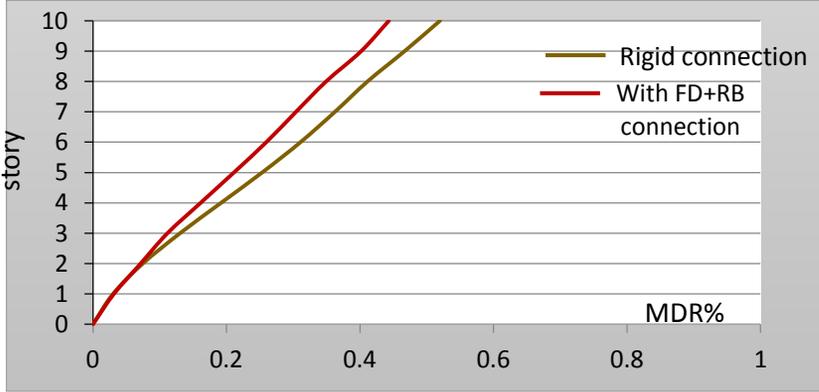
انخفض القص القاعدي بنسبة 19% بعد اعتماد طريقة الوصل بين البلاطة وجدار القص عن طريق وصلة احتكاك - مطاط كما هو مبين بالجدول (3).

الجدول (3): المقارنة بين قيم القص القاعدي لنموذج المبنى التحليلي ولنموذج المبنى مع وصلات الـ FD و RB.

الفرق النسبي %	النموذج مع وصلات	النموذج باتصال صلد	
19%	7140	8815	القص القاعدي (kN)
	5350	6845	حصة جدار القص (kN)

2-نسبة الانزياح الجانبي الأعظمية%MDR:

أثرت الوصلة على الانزياح الجانبي للمبنى حيث انخفضت الـ MDR بنسبة 15%، كما هو موضح بالشكل [15].



الشكل [15]: نسبة الانزياح الأعظمي لنموذج المبنى مع وبدون وجود الوصلات.

3- التسارعات الطابقية:

نتيجة التخماد الحاصل وتبديد الطاقة انخفضت قيم التسارعات الطابقية بنسبة تصل لـ 30% للطوابق الوسطية وبنسبة 17% بالنسبة للطابق الأخير، موضحة بالجدول (4)، وأيضاً بالشكل [16].



الشكل [16]: قيم التسارعات الطابقية لنموذجي المبنى (الاتصال الصلد التقليدي وحالة

وجود الوصلات)

الجدول(4): المقارنة بين قيم التسارعات الطابقية لنموذج المبنى التحليلي ونموذج المبنى مع وصلات الـFD و الـRB.

Floor Acceleration(m/s ²)			
الفرق النسبي %	النموذج باتصال صلد	النموذج مع وصلات	الطابق
-4%	4.18	4.35	1
8%	5.93	5.46	2
18%	6.91	5.68	3
21%	7.16	5.69	4
28%	7.02	5.04	5
30%	7.12	5.01	6
32%	7.68	5.21	7
18%	6.18	5.08	8
9%	7	6.37	9
17%	11.7	9.74	10

بعد إضافة الوصلة على كافة الطوابق تم البحث عن أفضل طريقة ممكنة لتوزيع الوصلات على كامل المقطع الشاقولي للمبنى لإعطائه سلوكاً أفضل.

3-3: تغيير أماكن توزيع الوصلة على كامل المقطع الطولي للمبنى..

بناءً على عدة محاولات تم التوصل لأفضل حل ممكن وهو:

إضافة مخمدي احتكاك على كامل ارتفاع المبنى مخمد في الطابق الخامس وآخر في الطابق العاشر فقط، والإبقاء على المساند المطاطية عند كل مستوى ترابط بين الجدار والبلاطة للحفاظ على استقرار الجدار خارج المستوى.

فكانت نتائج المقارنة:

□ القص القاعدي وحصّة جدار القص:

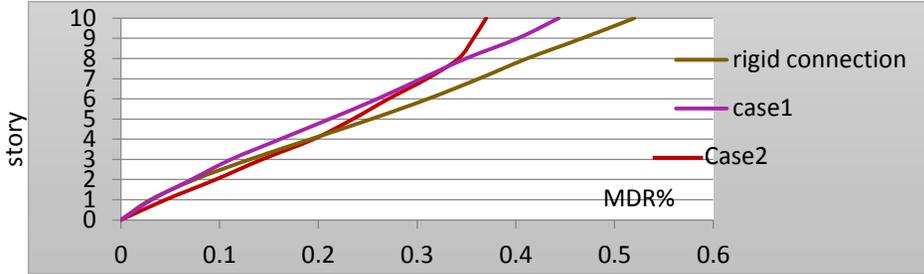
جدول (5): الفرق بين قوة القص القاعدي بحالة المبنى باتصال صلد ونموذج المبنى مع الوصلات، وحصّة جدار القص من قوة القص في كل حالة .

الفرق النسبي %	نموذج التوزيع المعتمد للمخمدات	الفرق النسبي %	النموذج مع وصلات	النموذج باتصال صلد	
48%	4600	19%	7140		القص القاعدي (kN)
	31% 1430		75% 5350	78% 6845	حصّة جدار القص (kN)

انخفضت قوة القص القاعدي بنسبة 48% وذلك بسبب السماح بالحركة النسبية عند المستويات الطابقية.

□ نسبة الانزياح الأعظمية MDR%:

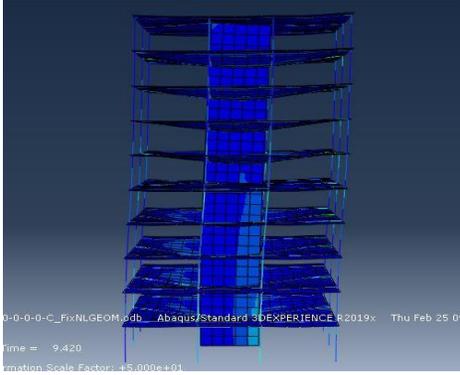
قيم MDR% للحالات الثلاث السابقة موضحة بالشكل [17].



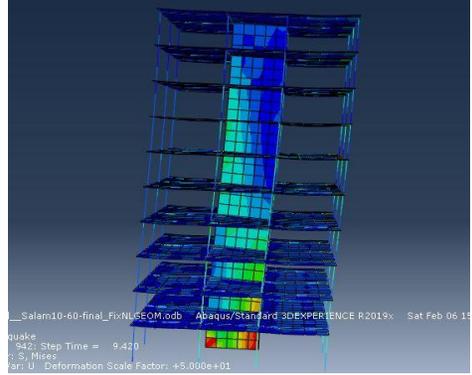
الشكل [17]: نسب الانزياح الأعظمية MDR% لنماذج مبنى الـ 10 طوابق حالات وجود الوصلات وبدون وجود وصلات.

نلاحظ أن الانزياحات الجانبية انخفضت بنسبة 29% بحالة التوزيع المعتمدة للمخمدات عن حالة الاتصال الصلد، حيث إضافة وصلات التخميد غيرت من نمط

الاهتزاز للنموذج، ويبين الشكل [18] الفرق بين الإجهادات المتولدة بالجدار بحالة اتصال صلد وحالة وجود مخمدي احتكاك في نفس اللحظة الزمنية.



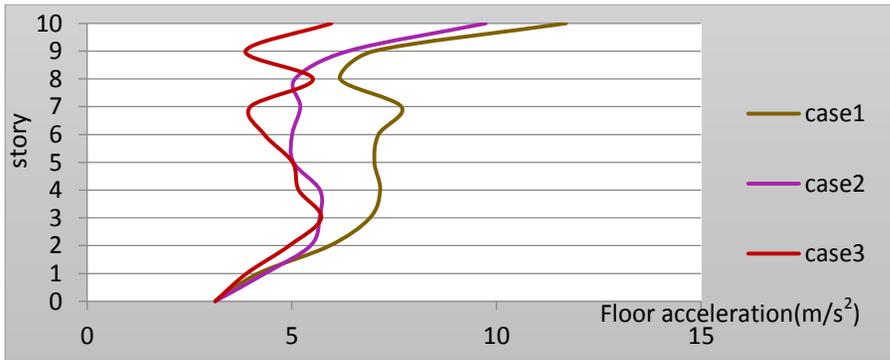
الشكل [18-2]: الإجهادات المتشكلة في الجدار بحالة مخمدي احتكاك.



الشكل [18-1]: الإجهادات المتشكلة في الجدار بحالة الاتصال الصلد.

التسارعات الطابقية:

تمت مقارنة قيم التسارعات الطابقية للحالات الثلاث (1-حالة اتصال صلد-2-حالة مخمدات على كامل الطوابق-3-حالة مخمدي احتكاك فقط) كما هو مبين بالشكل [19]، والجدول (7).



الشكل [19]: قيم التسارعات الطابقية لنماذج مبنى الـ 10 طوابق للحالات الثلاث.

جدول (7): الفرق بين قيم التسارعات الطابقية بحالة المبنى بالاتصال الصلب وحالات وجود الوصلات.

Floor Acceleration(m/s ²)					
الفرق النسبي %	Case3	الفرق النسبي %	Case2	Case1	الطابق
7%	3.9	-4%	4.35	4.18	1
17%	4.94	8%	5.46	5.93	2
17%	5.72	18%	5.68	6.91	3
28%	5.17	21%	5.69	7.16	4
28%	5.02	28%	5.04	7.02	5
39%	4.33	30%	5.01	7.12	6
48%	3.99	32%	5.21	7.68	7
11%	5.52	18%	5.08	6.18	8
45%	3.87	9%	6.37	7	9
49%	5.97	17%	9.74	11.7	10

انخفضت قيم التسارعات الطابقية بنسب وصلت لـ 49% بالطابق الأخير في حالة وجود مخمدي احتكاك فقط على كامل ارتفاع المبنى.

4- نتائج البحث:

تم في هذا البحث دراسة سلوك وصلة قابلة للتشوه مكون من مخمد احتكاكي وأربعة مساند مطاطية بين البلاطة وجدار القص، والتأكد من سلوكها المستقر تحت تأثير حمل دوري، حيث تم إجراء التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المحدودة FEM، كذلك تمت معايرة مبنى جملة ثنائية تحت تأثير حمل ديناميكي ومن ثم تم إضافة الوصلة للمبنى ودراسة أثر وجودها رفع الكفاءة الزلزالية، تم التوصل إلى النتائج التالية:

1. عدم اعتماد الاتصال الصلب بين مكونات الجملة التثائية والاستعاضة عنه بوصلة قابلة للتشوه تحوي مخمد احتكاك يرفع من الكفاءة الزلزالية للجملة.
2. اعتماد نمذجة مكونات الوصلة (مخمد الاحتكاك والمساند المطاطية) ضمن نموذج المبنى تعطي السلوك المستقر والمماثل للواقع.
3. إضافة وصلة احتكاك - مطاط لمبنى جملة تثائية خفضت من قيمة القص القاعدي، ومن حصة جدار القص من قوة القص عند تطبيق تحليل ديناميكي، ومن قيم التسارعات الطابقية، وحافظت على استقرار المنشأ.
4. توزيع الوصلات بحيث مخمدي احتكاك فقط ضمن نموذج مبنى الـ10 طوابق (على الطابقين 5 و10) رفع من الكفاءة الزلزالية للنموذج أكثر مما هو حاصل في حالة توزيع الوصلات على كامل الطوابق.

5- المراجع:

- 1- Abaqus. (2019). ABAQUS user's manual. Version 6.19.
- 2- Castaldo, P. (2014). Integrated seismic design of structure and control systems. New York: Springer International Publishing.
- 3-Franklin Y.cheng,Hongping jiang and Kangyu lou.(2008).,SMART STRUCTURES innovative systems for seismic response control.
- 4-Sigmund, V., Guljas, I., & Hadzima-Nyarko, M. (2008, January). Base shear redistribution between the R/C dual system structural components. In *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- 5- Tsampras, G., Sause, R., Fleischman, R. B., & Restrepo, J. I. (2017). Experimental study of deformable connection consisting of buckling-restrained brace and rubber bearings to connect floor system to lateral force resisting system. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(8), 1287-1305.
- 6- نجار داليا. (2017)،تطور نموذج عددي لمسند عزل مطاطي باستخدام خلطة ذاكرة الشكل لرفع الكفاءة الزلزالية للمنشآت الخرسانية المسلحة ،أطروحة دكتوراه مجازة في الهندسة الإنشائية الزلزالية ، المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية ، جامعة دمشق.

دراسة تغيرات خواص البيتومين المعدل

بمزيج /بوليمر.كبريت/

م. احمد الصالح . جامعة البعث . كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث

د.م أكرم سلامة . جامعة البعث . كلية الهندسة المدنية – جامعة البعث

الملخص :

يعد الرصف البيتوميني (الرصف المرن) النوع الأكثر انتشاراً لإنشاء الطرق في الجمهورية العربية السورية، كما هو مستخدم بشكل واسع في كافة أنحاء العالم، حيث تبلغ نسبة الطرق في العالم التي تعتمد في إنشائها على هذا النوع من الرصف حوالي 98%، ويعزى ذلك إلى سهولة وسرعة إنشائه وصيانته.

وقد استخدم البيتومين المعدل بالبوليمر، لتحسين أداء الرصف البيتوميني في مجالات عديدة ، أهمها : التخلص من تشققات الرصف المتولدة عن تأثير الإجهادات الحرارية، والحمولات المتكررة، كما تعمل على زيادة مقاومة الرابط البيتوميني عند درجات الحرارة المرتفعة ، ومنح الرابط البيتوميني قساوة عالية عند تعرضه لدرجات حرارة الخدمة العالية [4] . وقد لوحظ أن البيتومين المعدل بالبوليمرات فقط يعاني من عدم استقرار في البنية الهيكلية تحت تأثير العوامل الجوية المناخية ، ومن تكرار الحمولات أيضاً ، وذلك بعد فترة قصيرة من تنفيذه ووضعه في الاستثمار، ويعزى ذلك إلى تلدن البوليمرات ذات البنية غير المشبعة ، مما دعى إلى البحث عن إضافة مادة متفاعلة لتعزيز تشابك جزيئات البوليمر للحفاظ على خواص البيتومين المعدل طيلة فترة استثمار طبقات الرصف . وقد تم العمل في البحث على تعديل البيتومين المحلي، بإضافة مادة كيميائية محسنة Polyethylene (PE)، ومادة متفاعلة لتعزيز التشابك بين جزيئات البوليمر هي الكبريت Sulfur (S) بهدف استخدامه لتصميم خلطات بيتومينية مستوفه للشروط الفنية و لمواصفات وزارة المواصلات السورية . ويحسن من مقاومتها تحت تأثير الحمولات العالية والعوامل المناخية والحرارية و ظروف الاستثمار الأخرى .

الكلمات المفتاحية : . تعديل البيتومين بالبوليمر . تعديل البيتومين بالكبريت . إضافة

S,PE للخلطات الإسفلتية .

Study of Changes In Properties of Modified Bitumen With a Mixture / Polymer - Sulfur /

Abstract

Bituminous paving is the most widespread type of road in the syrian Arab Republic, and that is widespread in all regions of the world, where the percentage of roads that depend on this type of paving is about 98% in the world, thanks to the ease and speed of its construction.

Polymer modified bitumen has been used to improve the performance of bituminous paving in many areas, including reducing paving cracks caused by thermal stresses, repeated loads, increasing the resistance of the bituminous bond to the fatigue caused by high temperatures, associated with the construction, and giving the bituminous bond high strength at high service temperatures. it has been observed that polymer-modified bitumen suffers from instability in the structural structure under the influence of climatic weather factors and repeated loads after a short period of its implementation and investment. Due to the unsaturated structure of the polymers, they are subjected to plasticization, which prompted a search for the addition of a reactant to enhance the crosslinking of the polymer molecules. To maintain the improved properties of the modified bitumen throughout the investment period of the paving layers.

In our research, we worked on modifying the local bitumen, by adding an improved chemical (PE), and a reactant to enhance the crosslinking is sulfur (S), so that the modified bitumen is used to design bituminous mixtures that meet the conditions of the bituminous mixture design, and improve its resistance to high loads and thermal climatic factors and all conditions Investment.

**Keywords: Modification of bitumen with polymer -
Modification of bitumen with sulfur**

1: المقدمة :

استخدمت الخلطات الإسفلتية المعدلة بالإضافة في مجالات عديدة لمشاريع المواصلات ، ولأهداف متنوعة أهمها الحد من تشكل التشوهات و التشققات الناتجة عن الإجهادات الحرارية والحمولات الثقيلة المتكررة ، واكتساب القدرة العالية لمقاومة كافة الظروف المناخية من أمطار وصقيع وغيرها .

يعد الرصف البيتوميني النوع الأكثر انتشاراً لإنشاء الطرق في الجمهورية العربية السورية، ويستخدم بشكل واسع في كافة مناطق العالم، حيث بلغت نسبة الطرق المنفذة من هذا النوع من الرصف حوالي 98% في مختلف أنحاء العالم^[1]، لسهولة وسرعة إنشائه وصيانتته .

يجب أن يحقق المجدول الاسفلتي مجموعة من المتطلبات الأساسية، من قدرة تحمل لكافة الحمولات المتوقع مرورها، وثبات ومقاومة جيدة للتشوهات الناتجة عن مرور الحمولات الكبيرة عند درجات الحرارة المرتفعة، وتأمين سطح كئيم يؤمن تصريف ملائم وجيد للمياه ، إضافة إلى الأمان والراحة لمرور المركبات . وغالبا ما تؤدي ظروف الاستثمار والعوامل المناخية إلى حدوث التشوهات وظهور التشققات وتشكل الحفر على سطح الرصف والذي تؤدي بدورها لإنقاص عمر الرصف وانخفاض مستوى الأمان، إضافة إلى التكلفة العالية للصيانة المتكررة .

ومن هنا كان لا بد من البحث الدائم والمستمر، عن مواد محسنة ذات مقاومة عالية تحد وتمنع من تأثر الرصف المرن في طبقاته العلوية و المكونة من المجدول البيتوميني والتي يجب أن تؤمن الحماية للطبقات الأدنى منها ، من التأثير بكافة العوامل والظروف المحيطة ، إضافة إلى دورها كطبقة حاملة، معرضة بشكل مباشر للعوامل المناخية والحرارية، إضافة إلى الحمولات السنتاتيكية والديناميكية العالية حيث النقص في الثبات (المقاومة) يؤدي إلى نشوء التشوهات ، وتشكل الحفر والأخاديد على سطح الرصف، وبالتالي إنقاص عمر الرصف ونقص الأمان أيضاً ، إضافة إلى الكلفة المستمرة للصيانة المتكررة^[2].

يعد البيتومين من ناتج تكرير المصافي (Petroleum Asphalt) ، العامل الأساسي لصناعة المجلول البيتوميني لأنه يلعب دور المغلف والرابط للحصويات، وهنا تبرز أهمية الحفاظ على خواصه قدر الإمكان، حيث يتعرض البيتومين إلى مجموعة من التغيرات في خواصه ، تبدأ عند إنتاج المجلول البيتوميني في درجات حرارة مرتفعة، وتستمر هذه التغيرات حتى مرحلة استثماره وتعرضه للحمولات والظروف الجوية المختلفة، تؤدي هذه المتغيرات إلى منعكسات سلبية على أداء البيتومين ضمن المجلول البيتوميني، مما يسبب فقدان البيتومين للكثير من خواصه الأولية، التي قد تصل إلى درجة يصبح فيها غير صالح للاستخدام^[3].

استخدم الرابط البيتوميني المعدل منذ أكثر من 50 سنة، وقد لاقى اهتماماً إضافياً في العقد الماضي، وعلى الرغم من أن استخدام البيتومين المعدل مكلف أكثر من استخدام البيتومين العادي، لكنه يزيد من عمر الرصف البيتوميني، ويتم ذلك التعديل من خلال إضافة عدة مواد، كالبوليمرات (المرنة أو اللدنة)، أو المواد المائلة (الإسمنت البورتلاندي - الكلس) والألياف الصناعية (البوليستيرين - الألياف الزجاجية .. إلخ) والإطارات البالية، وغيرها من الإضافات وذلك لتحسين خواص البيتومين، مع عدم الإقلال من أهمية الصفات الأساسية للبيتومين^[3].

وقد استخدم البيتومين المعدل بالبوليمر، لتحسين أداء الرصف البيتوميني لأهداف عديدة، منها التخلص من تشققات الرصف الناتجة من تأثير الإجهادات الحرارية، والحمولات المتكررة، وتحسين مقاومة الرابط البيتوميني على التعب الناتج عن درجات الحرارة المرتفعة و المرافقة لمرحلة الإنشاء، ومنح الرابط البيتوميني قساوة عالية عند درجات حرارة الخدمة العالية، ومنحه مرونة أكبر عند درجات حرارة الخدمة المنخفضة، وللوصول أيضاً إلى التصاق وترابط أكبر بين الحصويات و البيتومين في حالة الرطوبة^[4].

2 : هدف البحث وأهميته :

يهدف بحثنا هذا على تعديل البيتومين المحلي، بإضافة مادة كيميائية محسنة Polyethylene (PE)، ومادة متفاعلة لتعزيز الترابط (التشابك) بين جزيئاتها هي الكبريت Sulfur (S) بهدف استخدامه لتصميم خلطات بيتومينية محققة الشروط الفنية،

وذات مقاومة جيدة للحمولات العالية والعوامل المناخية والحرارية الظروف الاستثمارية الأخرى .

وتعود أهمية البحث إلى تناوله مسألة تحسين مقاومة الرصف المرن لتأثيرات درجات الحرارة المتفاوتة والحمولات العالية ومختلف الظروف الاستثمارية . فاستخدام الخلطات الاسفلتية المعدلة يهدف إلى الحد من ظاهرة التعب للمجبول الاسفلتي وتحقيق مقاومة أكبر لإجهادات الشد وقوى القص ،بالتالي التخلص من التشوهات في طبقات الرصف الاسفلتية وخاصة عند درجات الحرارة المرتفعة (التخذد . الزحف . الفوران) .

3 . المتطلبات الفنية للمجبول البيتوميني:

يجب أن يحقق المجبول البيتوميني مجموعة من المتطلبات الأساسية، أهمها تأمين قدرة تحمل كافية للحمولات المتوقع مرورها، وثبات ومقاومة جيدة للتشوهات المتشكلة من تأثير غزارة الحركة المرورية ذات الحمولات الكبيرة عند درجات الحرارة المرتفعة ، وتأمين سطح كتيح يحقق تصريف ملائم وجيد للمياه، إضافة إلى الأمان لمستخدمي الطرق . ترتبط التغيرات التي يتعرض لها الرصف المرن، بمقدار وحجم تعرض الرابط البيتوميني للهواء، فزيادتها يزداد تعرض الرابط البيتوميني للهواء، وتزداد إمكانية تعرض طبقات الرصف السفلية للهواء، وبالتالي تزيد إمكانية حدوث التشوهات وانخفاض الديمومة^[6]. ويلاحظ تراجع تأثير العوامل الجوية في حالة السطوح المرصوفة بشكل جيد، أو ذات البنية المغلقة، بينما يكون تأثير العوامل الجوية ملحوظاً في حالة الأغشية ذات البنية المفتوحة^[5]، كما تتعلق ديمومة الخلطات البيتومينية بنسبة البيتومين، فالخلطات التي تكون فيها نسبة البيتومين غير كافية، تكون أقل مقاومة لهذه العوامل، وبالتالي أكثر قابلية لحدوث العيوب والتشوهات^[5]، و من جهة ثانية فإن زيادة نسبة البيتومين تؤدي إلى تخفيض نسبة الفراغات الهوائية ، التي يجب ألا تقل عن حدود المواصفات المسموحة كي يتمكن الرصف المرن من استيعاب الضغط الناتج عن غزارة مرور المركبات، وتجنباً لحدوث ظاهرة الفوران، كما أن زيادة نسبة البيتومين تؤدي إلى انخفاض قيم الثابت .

تعين نسبة البيتومين المثالية بحيث تكون كافية لتغليف الحصىيات بشكل مناسب، ويجب أن تتحقق عند هذه النسبة متطلبات التصميم الفنية المناسبة من الثبات و الانسياب ، نسبة فراغات مليئة بالبيتومين و نسبة فراغات هوائية وكثافة.

إن طرق تصنيع المجلول البيتوميني غير المناسبة، تقلل من عمر الرصف المرن مثل التسخين الزائد للبيتومين قبل خلطه بالحصىيات بالإضافة إلى تخزين المجلول البيتوميني في درجات حرارة الخلط لمدة طويلة، إذ يؤدي ذلك إلى انخفاض درجة غرز البيتومين، وبالتالي إلى تقسيته، لذلك يجب مراعاة عدم تسخين الرابط البيتوميني بشكل زائد، والذي يؤدي إلى تشكيل الكاربيد، كما يجب أن تتم عملية الإنتاج بأقل زمن ودرجة حرارة ممكنين، وبشكل يسمح بالتغليف الجيد لجميع الحصىيات، حيث أن خواص البيتومين تتغير بشكل ملموس خلال عملية الخلط^[5]، ويتم تحديد درجة حرارة الخلط بشكل يوافق اللزوجة المطلوبة لتغليف الحصىيات بالبيتومين بشكل كامل.

يجب أن تحقق مواد الرصف المتطلبات الفنية، فالحصىيات يجب أن تكون ذات سطح خشن، وأن تكون من ناتج تكسير الحجارة القاسية، ذات مقاومة جيدة للاحتكاك، والضغط الناتج عن مرور العربات، وإضافة لما ذكر، يجب أن تتمتع الحصىيات بخواص التصاق جيدة، وبمقاومة كبيرة لانتزاع الغشاء البيتوميني عنها نتيجة تأثير الرطوبة والمياه، ويجب أن يحقق التدرج الحبي للمواد الحصىوية، الحدود المسموحة للمواصفات التي توصي بها وكالات الطرق، بحيث تكون عنده الفراغات ضمن الحدود المسموحة^[6].

4. البيتومين :

يعد البيتومين من أكثر مواد البناء استخداماً في العالم، فقد استخدم منذ فترة طويلة في سورية، ويحصل عليه من الطبيعة، أو عبر تقطير النفط ، أو من بعض التوضعات التي يتجمع فيها بقايا البترول المتدفق من جوف الأرض. ومع تطور عملية التقطير توفر إمكانية الحصول على بيتومين جيد لأعمال الرصف، ويعتبر البيتومين الناتج عن تقطير النفط هو الأكثر استخداماً في العالم في الوقت الحالي ، ونميز بين البيتومين الطبيعي والناتج عن تقطير النفط باطلاق اسم الاسفلت على الأول والبيتومين على الثاني .

1. 4 البيتومين ناتج تكرير البترول:

يتم الحصول عليه كنتاج عن عملية تقطير البترول في المصافي، ويعتبر النوع الأكثر استعمالاً في إنشاء الرصف المر، وتختلف كمية البيتومين التي يمكن الحصول عليها من البترول، باختلاف مصدر ونوع البترول المستخدم في عملية التكرير، وتتعلق بقيمة كثافة البترول حسب معهد النفط الأمريكي

(American Petroleum Institute gravity) واختصاراً (API gravity) .

فعندما تكون قيمة API gravity مرتفعة، يكون محتوى البيتومين صغيراً وعندما تكون قيمة API gravity صغيرة يكون محتوى البيتومين كبيراً، مثال:

API gravity = 15 تكون نسبة البيتومين الممكن الحصول عليها 60%.

API gravity = 35 تكون نسبة البيتومين الممكن الحصول عليها 10%.

ويتم إنتاج البيتومين بدرجات مختلفة من اللزوجة أهمها:

(Ac2.5، Ac5، Ac10، Ac20، Ac40)

وتتناسب هذه الدرجات مع تصنيف الروابط البيتومينية حسب درجة الغرز وهي:

(200-300، 120-150، 85-100، 60-70، 40-50)

2. 4 مكونات البيتومين:

البيتومين مركب هيدروكربوني بوزن جزيئي مرتفع تتراوح بين (1000-3000)mol.

ويدخل في تركيبه الكيميائي مجموعة من العناصر بنسب مختلفة وهي:

- الكربون Carbon(C) تتراوح نسبته بين (82-87)%.
- الهيدروجين Hydrogen(H) تتراوح نسبته بين (10-15)%.
- الأوكسجين Oxygen(O) تتراوح نسبته بين (2-3)%.
- الكبريت Sulfur(S) تتراوح نسبته بين (0.2-7)%.
- الأزوت Nitrogen(N) تتراوح نسبته بين (0.1-1)%.

إضافة إلى آثار خفيفة من بعض المعادن، مثل الفاديوم والنيكل والكوبالت والحديد.

إن التركيب البنيوي للبيتومين معقد جداً، فهو عبارة عن سلاسل من الفحوم الهيدروجينية ذات التراكيب المختلفة، والتي تتجمع ضمن مجموعات رئيسية وهي [7]:

◆ الإسفلتين Asphaltene:

وهو عبارة عن جزيئات من بودة ضخمة سوداء، ذات بنية جزيئية تتراوح بين (1000-3000)mol ولها أحد الصيغتين $(C_nH_n)_x$ ، $(C_nH_{2n})_x$.

◆ المالتين Maltene:

هي جزيئات تحيط بجزيئات الإسفلتين، ولها تركيب قريب منه ، بنسبة هيدروجين أكبر من الكربون، ووزن جزيئي أقل يتراوح بين (700-1200)mol ويقسم المالتين تبعاً إلى الوزن الجزيئي إلى مجموعتين:

وزن جزيئي منخفض (700-1000)mol.

وزن جزيئي مرتفع (1000-1200)mol.

ويحتوي الهيدروكربون الداخل في تركيب المالتين على الأوكسجين والآزوت، وبعض المعادن الأخرى وتتصف جزيئات المالتين بلون يميل إلى السواد، وتكون بحالات مختلفة من السائل اللزج إلى الجسم الصلب الهش، وتتراوح كثافتها بين $(0.99-1.088)g/cm^3$.

◆ الزيت Oil:

هو خليط من مركبات هيدروكربونية مشبعة وغير مشبعة ذو بنية تتراوح بين (200-600)mol، ويتميز الزيت بلزوجة عالية، ولون فاتح إلى بني غامق، وتوجد فيه نسبة من البرافين الذي يعتبر غير مفيد في البيتومين.

يعطي الإسفلتين القساوة والهشاشة للبيتومين ، كما يعطي المالتين اللزوجة والاستطالة والالتصاق ، ويعطي الزيت خاصة السيالان. وبالاعتماد على المكونات الثلاثة، تتحدد خواص البيتومين المختلفة ، وسلوكه عند تعرضه للعوامل المؤدية للتعب [9].

3 . 4 تصنيف البيتومين Asphalt Classification:

في البداية كان البيتومين يصنف بالاعتماد على نتائج الغرز في خمسة أنواع هي :
(200-300، 120-150، 85-100، 60-70، 40-50).

ومع بداية عام 1970م ولغاية عام 1980م ظهر تصنيف آخر، يعتمد على نتائج تجربة اللزوجة، تم وفقها تقسيم البيتومين إلى خمسة أضعاف :
(Ac2.5، Ac5، Ac10، Ac20، Ac40)

يشير الرقم بجانب الرمز الذي هو اختصار لـ Asphalt-cemet ، إلى اللزوجة بالبواز مقسومة على 100 ضمن المجال $\pm 20\%$ فعلى سبيل المثال، عندما يشار إلى البيتومين Ac10، فهذا يدل على أن اللزوجة هي 1000 ± 200 .

وهناك تصنيف آخر يعتمد على التركيب المجموعي للبيتومين يسمى كوليانوسكي وميخايوف (Kolbanwski&Michwf)، ويسمح هذا التصنيف بتوقع سلوك المواد أثناء استخدامها على سطح الطريق، ويبين بنيتها بالإضافة إلى خواصها الريولوجية، ويقسم البيتومين وفق هذا التصنيف كما هو مبين بالجدول (1) إلى ثلاثة أصناف وهي [7]:

:Zel-1

▪ يقابل بنية ذات سلسلة من الحلقات الموصولة بالإسفلتين القاسي، والمثبتة بأغشية رقيقة من المالتين القليل تواجده في الزيت، ويتصف هذا الصنف بأنه سريع التأثير بالتعب، ويعود السبب في ذلك إلى كمية الإسفلتين المرتفعة، وكمية المالتين الغير كافية، ويتميز بمجال لدن كبير بسبب وجود كمية كبيرة من الزيت، الذي يخفض من درجة الكسر لهذا البيتومين، ولا تتغير لزوجته بشكل كبير مع الحرارة، وله دليل غرز كبير ($Ip=0.6-4.4$) وتماسك قليل.

:Zol -2

▪ في هذه الحالة يكون البيتومين عبارة عن جملة متصلة من الإسفلتين المجزأ، المثبتة بأغشية سميكة من المالتين، ويتصف هذا الصنف بأنه غير مقاوم للحرارة، نظراً إلى بنيته التي تحوي على القليل من الإسفلتين، والكثير من المالتين، ويتمتع بسهولة ودرجة تليينه صغيرة، وعند انخفاض درجة الحرارة يصبح هشاً، إذ أن الكمية الكبيرة

من المالتين تجعل البيتومين ذا حساسية كبيرة للحرارة، فتتغير لزوجته بشكل كبير مع الحرارة، ويتعرض للتعب بسرعة.

ZEL-ZOL-3:

هو الصنف الوسط بين الصنفين السابقين، حيث يحتوي على سلسلة مكثفة من الإسفلتين المثبتة بالمالتين، ويتميز بمقاومته الجيدة للحرارة، ويحافظ على لدونته في درجات الحرارة المنخفضة، ويقاوم التشوهات في درجات الحرارة المرتفعة، ويظهر في حالته اللزجة المرنة تماسكاً كبيراً، بالإضافة إلى التطاول، ولا يتأثر بشكل كبير بالتعب.

الجدول (1): تصنيف البيتومين وفق نتائج التركيب المجموعي:

نوع البيتومين	نسبة الإسفلتين	نسبة المالتين	نسبة الزيوت
Zel	>25	<24	>50
Zol	<15	>36	<40
Zel-Zol	20-23	30-40	45-50

4.4 تعب البيتومين:

يتم تسخين البيتومين إلى درجات حرارة مرتفعة من أجل تأمين اللزوجة الكافية لتغليف الحصى بشكل جيد، من ثم يترك المبول البيتوميني بعد الرص ليبرد في درجات حرارة الجو، مما يؤدي إلى زيادة قساوته، وتستمر هذه الزيادة مع الزمن خلال الاستثمار، ويشار إلى هذا التعب من خلال مجموعة مظاهر، يمكن ملاحظتها من خلال التصلب واللزوجة العالية للبيتومين، وازدياد التقصف والهشاشة، ويصبح البيتومين أكثر قابلية للتشوهات والعيوب نتيجة تأثير المياه والعوامل الجوية المختلفة^[8]، ويرى بعض الدارسون أن التقسية تحدث نتيجة الأكسدة، وتبخر المركبات الكيميائية الخفيفة، بالإضافة إلى ظاهرة البلمرة، ويحدث التطاير والتبخر بشكل أساسي في المزيج الإسفلتي في الفترة

الممتدة من عملية المزج حتى الانتهاء من عملية إنشاء الرصف وهذا ما نسميه التعب القصير الأمد (Short-Term-Aging) ولا تقف عملية الأكسدة التي تؤدي إلى تحول الزيت إلى مالتين والمالتين إلى إسفلتين عند مرحلة التعب القصير الأمد، وإنما تستمر وتتكاثر مع الزمن بشكل كبير خلال استثمار الرصف تحت تأثير العوامل المناخية المختلفة، وهذا ما نسميه التعب الطويل الأمد (Long-Term-Aging)^[7] ومن أهم التغيرات التي تترافق مع تعب البيتومين^[7]:

- انخفاض الاستطالة بنسبة 50% في الدرجة °C (15-25).
- انخفاض قيمة الغرز 30% في الدرجة °C (25).
- ارتفاع درجة حرارة الكسر °C (3).
- ارتفاع درجة حرارة التلين وسطياً °C (4).
- ارتفاع اللزوجة (50%) في الدرجة (135°C) و (100%) في الدرجة °C (60-90).

يوجد مجموعة من العمليات، تساهم بشكل مشترك في حدوث التعب طويل وقصير الأمد ومنها^[7]: التبخر والتطاير، الأكسدة، الكرنية.

5. الإضافات المحسنة للبيتومين:

مع تطور حركة المواصلات، و زيادة الكثافة المرورية و الحمولات المحورية للمركبات ازدادت الحاجة إلى بناء طبقات رصف متينة تمنع حدوث التشوهات، لذلك توجه المختصون للبحث عن طرق جديدة لتحسين خواص الرابط البيتوميني، بحيث يتمتع بخواص التصاق وتماسك جيدة مع الحصويات، واستمرارها خلال مدة الاستثمار والخدمة، وأن تكون تغيراته مع الحرارة قليلة ضمن المجال الحراري الذي يستثمر فيه الرصف، وأن تكون لزوجته منخفضة في درجات حرارة تصنيع ومد المبول البيتوميني وأن تكون له قدرة جيدة لمقاومة التشوهات الدائمة وتحمل الإجهادات والعوامل المؤدية إلى الانهيار^[4]، ومن أجل الحصول على رابط بخواص جيدة تم استخدام مجموعة من الإضافات كان

الهدف منها تحسين الخواص الفيزيوكيميائية للبيتومين ومن هذه الوسائط: المطاط - الأميئات - التانين - الكلس - البولميرات الكاوتشوك [8].

استخدمت الإضافات قديماً مع الخلطات الباردة المستعملة في الإنشاء على البارد، ولكن بدأت الأبحاث تتجه إلى دراسة تأثير الحرارة على كفاءة الإضافات، للتمكن من استخدامها مع الخلطات الساخنة، وعلى الرغم من أن بعض النتائج الأولية أشارت إلى تلف بعض هذه الإضافات بالحرارة، إلا أنه في ظروف معينة فإن هذه الإضافات حسنت من المقاومة لمنع انهيار الرصف، بفعل العوامل المختلفة خلال فترة الخدمة الاستثمارية.

1 . 5 البيتومين المعدل بالكلس:

تم استخدام الكلس من أجل تحسين خواص البيتومين منذ زمن بعيد، حيث كان يستخدم مسحوق الأحجار الكلسية. وتشير الأبحاث إلى أن إضافة الكلس، تؤدي إلى الحد من التغيرات التي يتعرض لها البيتومين نتيجة التعب، ويعزز قوى الالتصاق بين البيتومين والحصى، ويزيد من ممانعة انسلاخه نتيجة تأثير المياه، وبالتالي زيادة الديمومة للرصف [1].

2 . 5 البيتومين المعدل بالمطاط:

تمت تجربة انتاج خلطات معدلة بالمطاط لأول مرة في هولندا سنة 1929، وكان أول المنتجين والمستخدمين الولايات المتحدة الأمريكية عام 1947م بولاية أوهايو، حيث أضيف المطاط بنسبة (5-7.5)% وزناً من البيتومين، وانتشر مثل هذه الخلطات في باقي الولايات والمدن الأمريكية، وبينت التجارب التي أجريت في فيرجينيا عام 1950م تحسن بسيط في مقاومة الانزلاق، في طبقات الرصف الحديثة، إلا أن معامل الاحتكاك زاد زيادة ملحوظة بعد ستة أشهر من إنشاء الرصف، وقد دلت التجارب السابقة لمكتب الطرق العامة في الولايات المتحدة الأمريكية على بعض المزايا والعيوب لمثل هذه الخلطات، فعند إضافة المطاط إلى مزيج الحصى والبيتومين، ظهرت نتائج غير مرضية، أما خلط المطاط بالبيتومين أولاً فقد أدى إلى زيادة مرونة البيتومين، وقلة تأثيره

بدرجات الحرارة وانخفاض درجة قساوته مع زيادة عمر الرصف، وإلى زيادة ثبات المجبول البيتوميني [9].

3 . 5 البيتومين المعدل بالبولميرات:

بدئ بتعديل البيتومين بالبولميرات في أوائل القرن الماضي، لتحسين خواص البيتومين، وقد تكون البوليمرات سائلة كالكاتكس ، أو مواد جزيئية صغيرة لدنة بالحرارة. و تم تطوير العديد من المواد الصناعية البوليمرية التي نافست الكاوتشوك الطبيعي، بعد الحرب العالمية الثانية، حيث أجريت محاولات عديدة لاستخدام نفايات المواد البوليمرية الصناعية، لتحسين خواص البيتومين، ومع ذلك الوقت كانت أسعار البيتومين رخيصة ، بينما كانت أسعار البولميرات مرتفعة، مما أدى إلى عدم تشجيع تعديل البيتومين بالمواد البوليمرية . وفي عام 1973م ارتفعت أسعار البترول بالنسبة لأسعار البولميرات، مما أدى إلى العودة مجدداً إلى تعديل البيتومين بالبولميرات.

تم إجراء مجموعة من التجارب في فرنسا، كان الهدف منها تحديد سلوك البيتومين المعدل بالبولميرات [4]. ويتعلق تحسن خواص البيتومين بنوعه، كما بنوع المواد البوليمرية المضافة وبكميتها، حيث تقوم البولميرات التي تصلح لتعديل خواص البيتومين، ببناء شبكة في البيتومين تشبه شبكة التسليح في البيتون، وتظهر أنواع البيتومين المعدلة بالبولميرات، خواصاً ملائمة أكثر من غير المعدلة في درجات الحرارة المرتفعة والمنخفضة على حد سواء، كما أن استخدام البيتومين المعدل بالبولميرات في الخلطة البيتومينية يكسب طبقات الرصف ثباتاً كافياً ضد التشوهات في درجات الحرارة العالية، ومرونة كافية في درجات الحرارة المنخفضة وكذلك مدة استثمار طويلة [14]، وإن أي إضافة تعدل في الخواص الكيميائية للبيتومين تؤدي إلى تغير خواصه وقوامه وبنيته.

وفي حال عدم اتخاذ إجراءات معينة (تأمين درجة الحرارة مناسبة . سرعة الخلط ثابتة ومتواترة مع ثبات درجة الحرارة ، تجانس توزيع الإضافات على كامل الخليط) أثناء مزج البيتومين بالبوليمر يمكن أن يأخذ المزيج (ببيتومين - بوليمر) أحد الأشكال التالية^[4]:

الشكل الأول:

يكون المزيج في هذه الحالة غير متجانس، ولا يتم اتحاد مكونات البيتومين مع البوليمر، حيث يكونان منفصلان، وتعتبر هذه الحالة الأكثر مصادفة، ولا يرغب باستخدامها كرابط في إنشاء الطرق والمطارات.

الشكل الثاني:

المزيج متجانس بشكل كامل، وتتحد فيه جزيئات البيتومين مع البوليمرات، حيث يقوم الزيت الموجود في البيتومين بحل البوليمر وتوزيعه بشكل كامل، ومن ثم الاتحاد مع جزيئات البيتومين الأخرى، ويكون المزيج ثابتاً ظاهرياً، لكن التغيرات الناتجة بالمقارنة مع الخواص الأولية للبيتومين طفيفة، وتزداد لزوجته فقط، وهذه النتيجة غير مرغوبة في صناعة المجبول البيتوميني.

الشكل الثالث:

خواص البيتومين في هذه الحالة تتعدل بشكل فعلي ، والبوليمر الموجود ينتفخ نتيجة امتصاص بعض الزيت الموجود في البيتومين. ومن أشهر أنواع هذه البوليمرات، بولي إيثيلين (PE) ، وبولي بروبيلين (PP) ، وبولي سيثرين ، (PS) ، و إيتيل فينيل الأسيتات (EVA) وغيرها . والجدولين رقم (2) و(3) يبينان أمثلة عن بعض أنواع البوليمرات إضافة إلى التسمية العالمية حسب أيوباك (IUPAC)^[10] :

الجدول (2): بعض أنواع البوليمرات إضافة إلى التسمية العالمية حسب أيوباك (IUPAC)

ترتيب البوليمر	الإسم المألوف	التسمية حسب IUPAC
$(-CH_2CH_2-)_n$	بولي إيثيلين	بولي إيثيلين
$(-CH(CH_3)CH_2-)_n$	بولي بروبيلين	بولي بروبيلين
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ (-C-CH_2-) \\ \\ CH_3 \end{array}$	بولي أيزوبيوتيلين	بولي (1، 1-داي ميثيل إيثيلين)
$(-CH=CHCH_2CH_2-)_n$	بولي بيوتاديين	بولي (1-بيوتينيلين)
$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ (-CH=CHCH_2-CH_2-) \end{array}$	بولي أيزوبرين	بولي (1-ميثيل - 1 - بيوتينيلين)
$(-CH-CH_2-)_n$	بولي ستيرين	بولي (1-فينيل إيثيلين)
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ (-CH-CH_2-) \end{array}$	بولي (أكريلو نتريل)	بولي (1-سيانو إيثيلين)

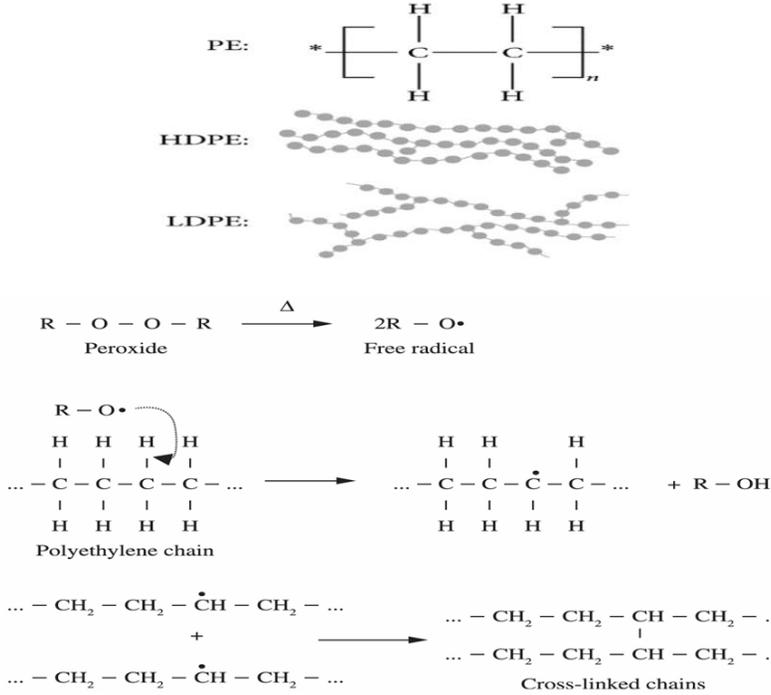
الجدول (3): بعض أنواع البوليمرات إضافة إلى التسمية العالمية حسب أيوباك (IUPAC)

ترتيب البوليمر	الإسم المألوف	التسمية حسب IUPAC
$(-CHCH_2)_n$	بولي (كحول الفينيل) Poly (vinyl alcohol)	بولي (1-هيدروكسي إيثيلين) poly (1-hydroxyl ethylene)
$(-CHCH_2)_n$	بولي (خلات الفينيل) poly (vinyl acetate)	بولي (1-ايسيتوكسي إيثيلين) poly (1-acetoxy ethylene)
$(-CHCH_2)_n$	بولي (كلوريد الفينيل) poly (vinyl chloride)	بولي (1-كلورو إيثيلين) poly (1-chloroethylene)
$\begin{array}{c} F \\ \\ (-CCH_2)_n \\ \\ F \end{array}$	بولي (فلوريد الفينيلدين) poly (vinylidene fluoride)	بولي (1، 1-داي فلورو إيثيلين) poly (1,1-difluoroethylene)
$(-CF_2CF_2)_n$	بولي (تترافلورو إيثيلين) poly (tetrafluoro ethylene)	بولي (داي فلورو ميثيلين) poly (difluoromethylene)
$(-CHCH_2)_n$	بولي (أكريلات الميثيل) poly(methyl acrylate)	بولي [1-(ميثوكسي كربونيل)-إيثيلين] poly [1-(methoxy carbonyl)ethylene]

مع استخدام البوليمرات ذات البنية غير المشبعة لتعديل البيتومين تبين بأنها تتعرض للتلدن والتحلل نتيجة تعرضها للعوامل الحرارية (ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة) والإجهاد الميكانيكي، مما يؤدي إلى تراجع تأثير هذه الإضافات عند وضع المشاريع في ظروف الاستثمار. ويعاني البيتومين المعدل بالبوليمرات من عدم الاستقرار في البنية

الهيكلية تحت تأثير العوامل الجوية المناخية و تكرار الحمولات بعد فترة قصيرة من تنفيذه ووضعه في الاستثمار ، مما لوحظ ظهور العديد من العيوب والتشققات التي أدخلت الباحثين في حيرة، رغم الدقة في التصميم والتنفيذ ومن هنا انبثقت فكرة البحث عن إضافات مساعدة تحد وتمنع ظهور أي عيوب للتمكن من الاستفادة من فعالية البوليمرات المضافة ومن أهمها هي الكبريت . إن إضافة الكبريت يعمل على استقرار البنية الهيكلية للإسفلت المعدل بالبوليمرات والمحافظة على ثباتها تحت تأثير عوامل الاستثمار ويوضح الشكل رقم (1) السلاسل الطولية الممتدة غير المترابطة في البولي إيثيلين.

الأسلوب الحالي هو إضافة المستوى المطلوب من البوليمر مع مادة متفاعلة تعزز تشابك جزيئات البوليمر حتى يتم استيفاء خواص طبقات الرصف الإسفلتية المطلوبة، من أجل ذلك سنضيف مادة متفاعلة مع البوليمر وهي الكبري. ويوضح الشكل رقم 2 الروابط بين السلاسل بعد إضافة المادة المتفاعلة (الكبريت S) .



الشكل (1) السلاسل الطولية الممتدة غير المترابطة في البولي إيثيلين.

94	95	96	(100gr-5sec-0.1×mm)·P·I
95	96	95	(100gr-5sec-0.1×mm)·P·II
93	94	93	(100gr-5sec-0.1×mm)· P·III
93	96	95	(100gr-5sec-0.1×mm)· P·IV
	95		P· (الوسطي) (100gr-5sec-0.1×mm)



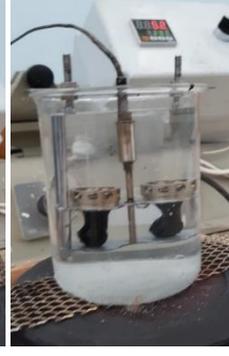
الشكل رقم (3) تجربة الغرز بدرجة حرارة 25°C للبيتومين غير المعدل A

6-2 تحديد درجة حرارة التميع (تجربة الكرة والحلقة):

أجريت تجربة تحديد درجة حرارة التميع على البيتومين غير المعدل ويوضح الشكل (4) تجربة التميع ، بينما الجدول رقم (5) نتائج التجربة .

الجدول (5) نتائج تحديد درجة حرارة التميع للرابط البيتوميني غير المعدل A

A	العينة
52	درجة التميع °C
53	
52	
53	
52.3	الوسطي °C



الشكل رقم (4) تجربة تحديد درجة حرارة التميع للرابط البيتوميني غير المعدل A

3-6 تحديد الاستطالة (قابلية السحب):

أجريت تجربة تحديد الاستطالة على البيتومين الأولي غير المعدل A والنتائج مبينة بالجدول رقم(6) ومراحل اجراء التجربة مبينة بالشكل رقم (5) :

الجدول (6) نتائج تحديد درجة حرارة التميع للرابط البيتوميني غير المعدل A

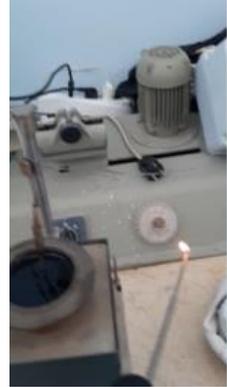
العينة	A
الاستطالة cm	159
	160
	158
	157
الوسطي cm	158.5



الشكل رقم (5) تجربة تحديد الاستطالة للرابط البيتوميني غير المعدل A

4-6 تحديد درجة الوميض للرابط البيتوميني :

أجريت التجربة على البيتومين غير المعدل A بطريقة (كليفاند) للطبق المفتوح وكانت درجة الوميض $313^{\circ}C$ ، والشكل رقم (6) يظهر تجربة تحديد درجة الوميض .



الشكل (6) تجربة تحديد درجة الوميض بطريقة (كليفلاند) للرابط البيتوميني غير المعدل

5-6 تحديد فاقد الوزن بالحرارة للرابط البيتوميني :

أجرينا اختبار فاقد الوزن بالحرارة للبيتومين غير المعدل والنتائج موضحة بالجدول (7) :
الجدول (7) نتائج تحديد الفاقد بالحرارة للرابط البيتوميني غير المعدل A

رقم العينة	نسبة الفاقد بالوزن %	الوسطي %
1	0.21	0.19
2	0.19	
3	0.18	
4	0.16	
5	0.18	

6-6 تحديد خواص الرابط البيتوميني المتبقي :

وبعد اختبار فاقد الوزن بالحرارة قمنا بإجراء التجارب السابقة (الغرز - الاستطالة - درجة حرارة التميع) على البيتومين الناتج عن تجربة الفاقد بالحرارة والنتائج موضحة في الجدول رقم (8) :

الجدول (8) نتائج تجارب على البقايا للرابط البيتوميني غير المعدل A

تحديد الخواص للرابط البيتوميني غير المعدل (البقايا) بعد تجربة فاقد الوزن بالحرارة	
53	تحديد الغرز للبقايا تحديد الغرز بدرجة حرارة 25 °C (100gr-5sec)
43.2	تحديد درجة حرارة التميع °C
127	تحديد الاستطالة (قابلية السحب) cm

. بعد تحديد الخواص الأولية للرابط البيتوميني المستخدم في البحث تم الانتقال إلى المرحلة الثانية وهي تعديل البيتومين بإضافة بوليمر بولي ايثيلين (PE) وفق أربع نسب (1-2-3-4) % ودراسة التغيرات في خواص الرابط .

7 تحديد خواص الرابط البيتوميني المعدل بـ (PE) :

1-7 تحديد الغرز للرابط البيتوميني المعدل :

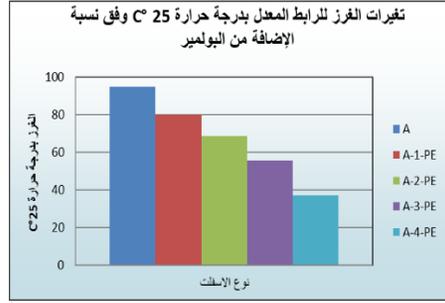
أجريت تجربة الغرز بدرجة الحرارة 25°C للبيثومين المعدل بال PE وفق أربع نسب (1-2-3-4) % .

تحديد الغرز بدرجة حرارة 25°C $0.1 \times \text{mm}$ (100gr-5sec) قبل اختبار فاقد الوزن بالحرارة والنتائج موضحة بالجدول رقم (9) والشكل رقم (7) :

الجدول (9) نتائج الغرز بدرجة حرارة 25°C للبيثومين المعدل ب PE

A-4-PE		A-3-PE		A-2-PE		A-1-PE		العينة				
37	38	37	57	54	55	67	69	69	78	81	79	I, P,(100gr-5sec-0.1×mm)
36	38	40	56	55	56	67	67	68	80	80	82	II, P,(100gr-5sec-0.1×mm)
35	37	35	54	56	55	68	69	70	79	82	81	III, P,(100gr-5sec-0.1×mm)
37	37	38	56	55	57	69	70	71	81	79	80	IV, P,(100gr-5sec-0.1×mm)
37.1		55.5		68.66		80.16		P,(100gr-5sec-0.1×mm)الوسطي				

نلاحظ من النتائج انخفاض في درجة غرز البيثومين بإضافة نسب من PE أي زيادة في قساوة البيثومين بزيادة نسبة البوليمر المضاف له أي تحسن في الممانعة الحرارية .



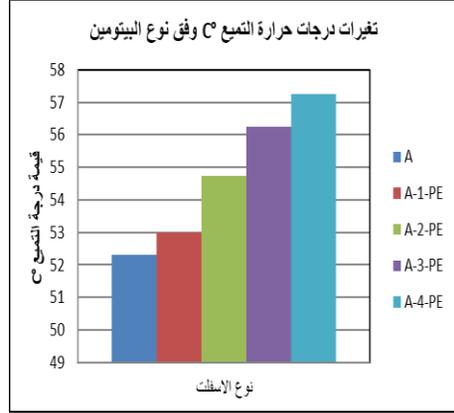
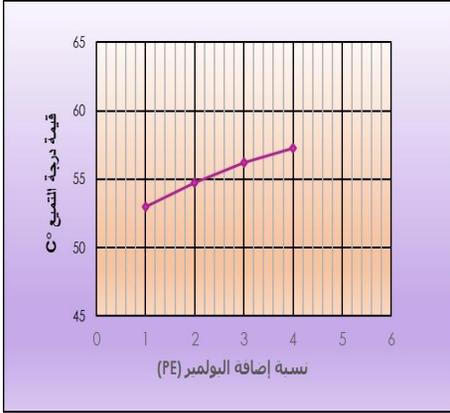
الشكل (9) تغيرات درجة الغرز بدرجة حرارة 25°C للبيثومين المعدل ب PE

2-7 تحديد درجة حرارة التميع (تجربة الكرة والحلقة):

أجريت تجربة درجة حرارة التميع على البيثومين المعدل ال PE والنتائج موضحة بالجدول رقم (10) والشكل رقم (10):

الجدول (10) نتائج تجربة تحديد درجة التميع للبيثومين المعدل بال PE

A-4-PE	A-3-PE	A-2-PE	A-1-PE	A	العينة
58	58	56	54	52	درجة التميع $^{\circ}\text{C}$
57	56	55	53	53	
56	55	54	52	52	
58	56	54	53	53	
57.25	56.25	54.75	53	52.3	الوسطي $^{\circ}\text{C}$



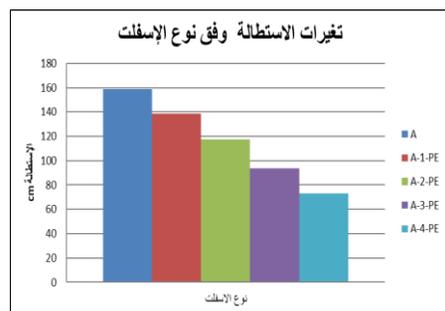
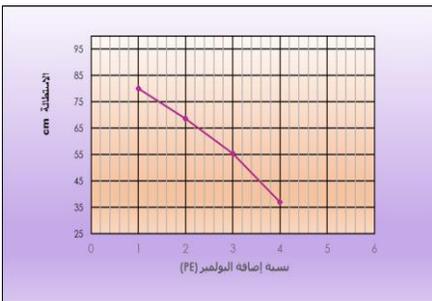
الشكل (10) تغيرات درجة التميع للبيتومين المعدل بـ PE

3-7 تحديد الاستطالة (قابلية السحب cm):

أجريت تجربة الاستطالة على البيتومين المعدل الـ PE والنتائج موضحة بالجدول رقم (11) والشكل رقم (11):

الجدول (11) نتائج تجربة الاستطالة للبيتومين المعدل بالـ PE

العينة	A	A-1-PE	A-2-PE	A-3-PE	A-4-PE
الاستطالة cm	159	140	117	93	73
	160	138	115	92	75
	158	137	119	96	71
	157	139	118	94	74
الوسطي (cm)	158.5	138.5	117.25	93.75	73.25



الشكل (11) تغيرات قيم الاستطالة للبيتومين المعدل بـ PE

تظهر النتائج السابقة زيادة في قيم درجة حرارة التميع، بزيادة نسبة إضافة البوليمر وهذا يوافق بيتومين أفسى وأكثر قدرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، التي تتعرض لها الطبقة السطحية للرصيف المرن .

إن انخفاض قيمتي الغرز والاستطالة المترافق مع ارتفاع درجة حرارة التميع ينعكس بدوره على ممانعة أكبر لدرجات الحرارة المرتفعة .

3-7 تحديد فاقد الوزن بالحرارة للرابط البيتوميني :

لدى إجراء اختبار فاقد الوزن بالحرارة للبيتومين المعدل بال PE حصلنا على النتائج موضحة بالجدول (12) :

الجدول (12) نتائج تحديد فاقد الوزن بالحرارة للرابط البيتوميني المعدل بال PE

العينة	A	A-1-PE	A-2-PE	A-3-PE	A-4-PE
الفاقد %	0.21	0.16	0.13	0.13	0.12
	0.19	0.15	0.14	0.12	0.11
	0.18	0.16	0.13	0.14	0.13
	0.16	0.17	0.15	0.12	0.11
الوسطى %	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12

وبيين الجدول (13) التغيرات في خواص البيتومين المعدل بال PE .

الجدول (13) التغيرات في خواص البيتومين المعدل بال PE

نسبة PE %	الغرز بدرجة حرارة 25 ° C	الاستطالة للبيتومين cm	درجة التميع للبيتومين C°	الفاقد في الوزن %
0	95	158.5	52.3	0.19
1	80.16	135.5	53	0.16
2	68.66	117.25	54.75	0.14
3	55.1	93.75	56.25	0.13
4	37.1	73.25	57.25	0.12

بالمقارنة بين النتائج الموضحة في الجدول رقم (13) للبيتومين المعدل ب PE وفق النسب الأربعة فإننا نجد ان نسبة الإضافة (2 %) هي النسبة المثالية لاعتمادها لتعديل البيتومين ، كون إضافة هذه النسبة أدت لزيادة الممانعة الحرارية وأعطت قيمة

أكبر لدرجة حرارة التميع مع انخفاض ملحوظ بقيمة الغرز و الاستطالة و بقاء قيمتهما ضمن الحدود المسموحة حسب المواصفات .

4-7 تحديد خواص الرابط البيتوميني المعدل بـ (PE 2%) من وزن الرابط

للبقايا بعد اختبار فاقد الوزن بالحرارة:

بعد تحديد نسبة الإضافة من الـ PE وزناً من الرابط البيتوميني قمنا بإجراء بعد اختبار فاقد الوزن بالحرارة التجارب التالية (الغرز - الاستطالة - درجة حرارة التميع) على البيتومين الناتج من تجربة الفاقد بالحرارة والمعدل بنسبة إضافة (2%) من الـ PE وتوضح النتائج في الجدول رقم (14) :

الجدول (14) نتائج تجارب على البقايا للرابط البيتوميني المعدل بـ (PE 2%)

تحديد الخواص للرابط البيتوميني المعدل (A-2-PE)	
44.6	تحديد الغرز للبقايا تحديد الغرز بدرجة حرارة °٢٥ (100gr-5sec)
56.5	تحديد درجة حرارة التميع ° C
105	تحديد الاستطالة (قابلية السحب) cm

والرابط البيتوميني المعدل بالـ PE يحقق الشروط والمواصفات المطلوبة للتجارب على البقايا بعد تجربة فاقد الوزن بالحرارة كما هو موضح في الجدول (15)

الجدول (15) نتائج التجارب للرابط المعدل بـ PE ومقارنتها مع الحدود المسموحة

الحدود المسموحة	القيمة	تحقيق الرابط البيتوميني المعدل للاشترطات بعد اختبار الفاقد بالحرارة
-0.5,+0.5	0.14	النقص في الوزن %
MIN 54 %	64.95 %	الغرز للبقايا من الأصل %
MAX 9 C °	1.75	تغير درجة حرارة التميع ° C

8. تعزيز التشابك بين سلاسل البوليمر بإضافة الكبريت :

كما ذكرنا سابقاً عند استخدام البوليمرات ذات البنية غير المشبعة تبين بأنها تتعرض للتلدن والتحلل نتيجة تعرضها للعوامل الحرارية (ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة)

والإجهاد الميكانيكي ، مما يؤدي إلى تراجع تأثير هذه الإضافات عند وضع المشاريع في ظروف الاستثمار ، و يعاني البيتومين المعدل بالبوليمرات من عدم الاستقرار في البنية الهيكلية تحت تأثير العوامل الجوية و المناخية ، و تكرار الحمولات بعد فترة قصيرة من تنفيذه ووضعه في الاستثمار . مما لوحظ ظهور العديد من العيوب والتشققات التي أدخلت الباحثين في حيرة رغم الدقة في التصميم والتنفيذ ومن هنا انبثقت فكرة البحث عن إضافات مساعدة تحد وتمنع ظهور أي عيوب للتمكن من الاستفادة من فعالية البوليمرات المضافة ومن أهم هذه الإضافات هي الكبريت ، إن إضافة الكبريت يعمل على استقرار البنية الهيكلية للإسفلت المعدل بالبوليمرات والمحافظة على ثباتها تحت تأثير عوامل الاستثمار .

الكبريت "الحر" أو "العنصري" عبارة عن مادة وفيرة ورخيصة. و الكبريت هو عبارة عن منتج ثانوي من معالجة البترول والغاز الطبيعي. تشمل مصادر الكبريت الحر مصافي البترول ووحدات تحلية الغاز الطبيعي . ويعتبر الكثير من منتجي الكبريت أنه منتج ثانوي ومهدور .

ففي عام 2005 أنتج حوالي 70 مليون طن على نطاق العالم من الكبريت كنتاج ثانوي في مصافي النفط كما هو موضح بالشكل رقم (12).

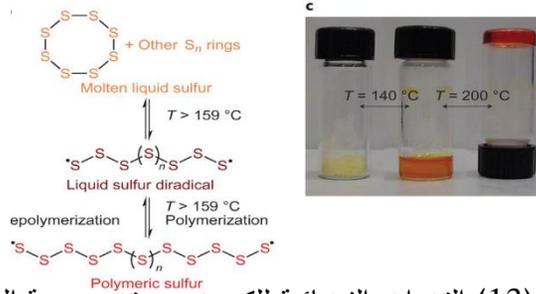


الشكل رقم (12) الكبريت كمنتج ثانوي في مصافي النفط

وبيين الجدول رقم (16) والشكل رقم(13) خواص الكبريت المستخدم .

الجدول (16) خواص الكبريت المستخدم

الخواص الفيزيائية	
الطور	صلب
الكثافة (عند ٢٥ س°)	٢,٠٧ غ/سم ^٣
كثافة السائل عند نقطة الانصهار	١,٨١٩ غ/سم ^٣
نقطة الانصهار	٢٨٨,٣٦ ك°، ١١٥,٢١ س°، ٢٢٩,٢٨ ف°
نقطة الغليان	٧١٧,٨ ك°، ٤٤٤,٦ س°، ٨٢٢,٢ ف°
النقطة الحرجة	١٣١٤ ك°، ٢٠,٧ ميغاباسكال
حرارة الانصهار	(أحادي) ١,٧٢٧ كيلوجول/مول ^١
حرارة التبخير	(أحادي) ٤٥ كيلوجول/مول ^١
السعة الحرارية (عند ٢٥ س°)	٢٢,٧٥ جول/مول·كلفن ^١



الشكل (13) التغيرات الفيزيائية للكبريت مع تغير درجة الحرارة

8-1 تحديد الفاقد بالحرارة للرابط البيتوميني :

. تم إضافة الكبريت إلى البيتومين المعدل بالبولي إيثيلين بنسبة (2 %) (A-PE2) بنسب (1-2-3-4) % من وزن الرابط المعدل ، وتم إجراء التجارب المخبرية اللازمة لتحديد التغيرات في الخواص ، والجدول رقم (17) يبين خواص البيتومين المعدل بمزيج (بوليمر. كبريت) وفق كل نسبة إضافة .

الجدول (17) يبين خواص البيتومين المعدل بمزيج (بوليمر. كبريت)

النسبة S %	الغرز بدرجة حرارة 25 ° C	الاستطاله cm	درجة التمدد C°	الفاقد في الوزن %
0	68.66	117.25	54.75	0.14
1	65.25	111.75	55.2	0.13
2	62.75	105.5	55.85	0.12
3	59.25	97.25	56.65	0.11
4	55.5	90	57.25	0.10

من خلال النتائج الموضحة في الجدول رقم (17) للبيثومين المعدل بمزيج (بوليمر . كبريت)، وفق النسب الأربعة فإننا نجد ان نسبة الإضافة (2 %) هي النسبة المثلى من الكبريت اللازم إضافتها للبيثومين المعدل بالبوليمر ، وبموجب هذه الإضافة نحصل على بيثومين معدل بمزيج (بوليمر . كبريت) ، ذو مقاومة مناسبة للحرارة لزيادة الممانعة الحرارية وقيمة أكبر لدرجة حرارة التميع مع انخفاض ملحوظ بقيمة الغرز و الاستطالة و بقاء القيم ضمن الحدود المسموحة حسب المواصفات [11] .

2-8 تحديد خواص الرابط البيثوميني المعدل بـ (2% PE + 2%S) للمتقي :

تم إجراء التجارب المخبرية على البيثومين الناتج بعد التجربة (البقايا) والمعدل بنسبة إضافة بـ (2%PE+2%S) وذلك بهدف معرفة تأثير الإضافات على البيثومين المعرض للتعب القصير الأمد، بهدف الحصول على ديمومة أكبر للبيثومين والنتائج موضحة في الجدول رقم (18) ومقارنتها مع الحدود المسموحة موضحة في الجدول رقم (19) :

الجدول (18) نتائج التجارب للرابط المعدل بـ (2%PE+2%S) للمتقي

تحديد الخواص للرابط البيثوميني المعدل (A-2-PE)	
44.8	تحديد الغرز للبقايا تحديد الغرز بدرجة حرارة ٢٥ ° (100gr-5sec)
57.85	تحديد درجة حرارة التميع ° C

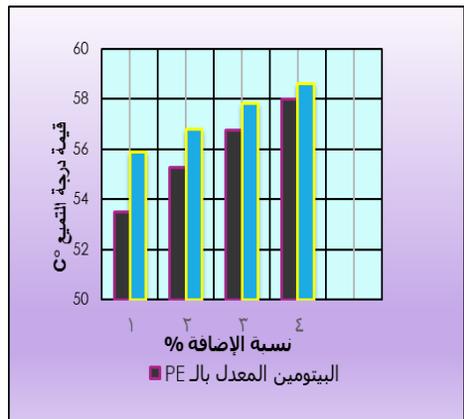
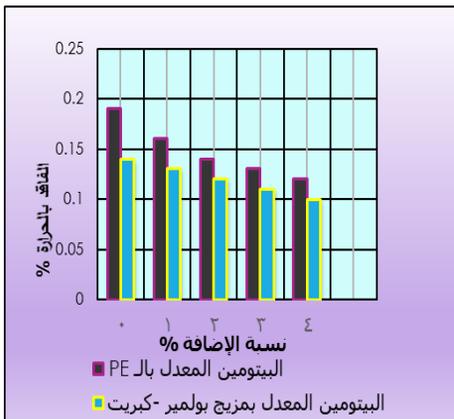
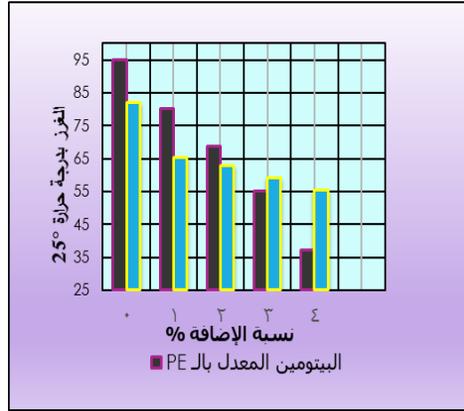
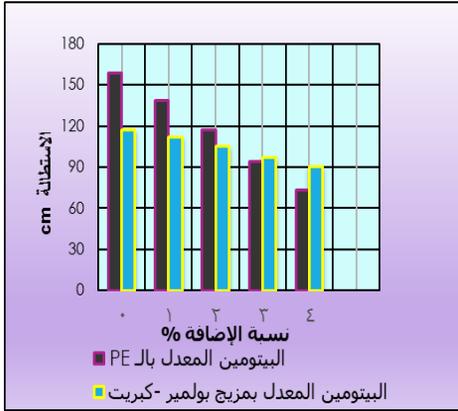
الجدول (19) مقارنة نتائج تجارب الرابط المدروس مع الحدود المسموحة

الحدود المسموحة	القيمة	تحقيق الرابط البيثوميني المعدل للاشتراطات بعد اختبار الفاقد بالحرارة
-0.5,+0.5	0.12	النقص في الوزن %
MIN 54 %	65.8 %	الغرز للبقايا من الأصل %
MAX 9 C °	2	تغير درجة حرارة التميع ° C





والشكل رقم (14) يبين التغيرات الحاصلة على نتائج خواص الرابط البيتوميني :



الشكل رقم (14) تغيرات خواص البيتومين مع الإضافات

9. الاستنتاجات :

- 1 - نلاحظ من خلال إضافة مزيج /بوليمر . كبريت / ($2\%PE+2\%S$) وزنا من البيتومين أن قيمة الغرز بدرجة حرارة $25^{\circ}C$ انخفضت بنسبة % 35 ، ليتغير مجال الغرر من 85-100 للبيتومين غير المعدل إلى المجال 60-70 للبيتومين المعدل وهذا يوافق بيتومين أفسى وأكثر قدرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة، التي تتعرض لها الطبقة السطحية للرصف المرن.
- 2 - لوحظ انخفاض قيم الاستطالة بنسبة % 34 للبيتومين المعدل بمزيج ($2\%PE+2\%S$) وزنا من البيتومين .
- 3 - إن انخفاض قيمتي الغرز والاستطالة المترافق مع ارتفاع قيمة درجة حرارة التميع للبيتومين يعكس بدوره على مقاومة أكبر لمختلف العوامل المناخية والاستثمارية خلال فترة الخدمة .
- 4 - لوحظ من خلال تجربة فاقد الوزن بالحرارة على البيتومين المعدل بمزيج / بوليمر . كبريت / وغير المعدل أن قيم النقص في الوزن لم تتجاوز الحدود المذكورة في المواصفة والتي لا تزيد قيمة الفاقد فيها % 1 بعد التسخين لمدة 5h ، وقد حسنت الإضافات المستخدمة من نسبة الفاقد بالتسخين بنسبة % 60 عند البيتومين المعدل .
- 5 - إن انخفاض قيمة الوزن بالحرارة بنسبة %60 للبيتومين المعدل مقارنة مع البيتومين قبل التعديل يدل على أن الإضافات المستخدمة قد حسنت من الممانعة الحرارية للبيتومين أثناء تعرضه للحرارة العالية، مما يبين الجدوى من استخدام هذه الإضافات لتحسين مقاومة البيتومين تجاه الحرارة التي تتعرض لها طبقة التغطية السطحية .
- 6 - نلاحظ إزدياد مقاومة الرابط البيتوميني المعدل للتعب قصير الأمد بنسبة % 30 ، وذلك من خلال التجارب التي تم إجراؤها على البقايا للرابط البيتوميني المعدل بعد تجربة الفاقد بالحرارة مما يشير إلى ديمومة أكبر للبيتومين المعدل .

10: المراجع :

- 1- Seriy N&Bill .Recyclabiti of Moisture Damaged Felexible Pavements،1993
- 2- Felice Giuliani.Effects of polymer modification on the resistant of asphalt binder ،2009
- 3- FAA.Engineering.Polymer-Moddified Asphalt،1990
- 4- Bernared Brule.Polymer use in the road construction industruy،2007
- 5- Charles WSwartz.Evaluation of eni modified asphalt.2002
- 6- Burak Sengon.Properties and microstryre of SBS polymer modified bitumen،2008
- 7- Filippo Merusi.Kerosen resistance of binder binder modified with crumb rubber.2009
- 8- Sharp A-341.fundamental properties of asphalt.1993
- 9- Jale Hacaloglu.Polysis mass spectrometric of styrene-butadiene block and random copolymer.1997
- 10 . د. عبد الله الهزاي . "كتاب علم البوليمرات" ، 1997
- 11 . الشروط والمواصفات الفنية لأعمال الطرق والجسور، "الأعمال البيتومينية" ، وزارة المواصلات السورية ، الجزء الرابع، 2002، / AASHTO14-ASTM2018/

تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل

د.م. ربيع الصفدي¹

م. لمى برنبو²

المخلص

أعطى موضوع الصدم بين المباني المتجاورة في السنوات الأخيرة خلال حدوث الزلازل أهمية كبيرة، حيث أن حادثة الصدم تحدث بحال وجود مبنيين متجاورين بخصائص ديناميكية مختلفة (الكتلة - المساواة)، وبحال اهتزازهما واقتربهما من بعضهما خلال الحركة، ونتيجة عدم وجود مسافة فصل كافية بينهما.

لذلك تم بهذه الدراسة دراسة وتحليل الاستجابة الزلزالية الناتجة عن الصدم بين مباني من البيتون المسلح، وتم دراستها كنموذج 2D، وبمسافة فصل غير كافية. المبنى الأول مكون من ثلاثة طوابق، والثاني مكون من خمسة طوابق، علماً أن هذه المباني متساوية بالارتفاع الطابقي، ومختلفة بالارتفاع الكلي. وتم تثبيت مسافة الفاصل بين المبنيين وتغيير الكتلة الطابقية لأحد المبنيين، ودراسة أثر هذا التغيير على كل من الانتقالات والتسارعات وقوة الصدم وقوة القص الطابقية، وذلك عن طريق التحليل الديناميكي اللاخطي - السجل الزمني باستخدام برنامج ETABS.

الكلمات المفتاحية: نموذج الصدم - قوى الصدم - نموذج النابض - تحليل لاخطي - الصدم الزلزالي - خصائص ديناميكية.

¹ مدرس - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية

² طالبة دراسات عليا (ماجستير) - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية

Effect of Floor Mass variables on Impact Response Model Study of Adjacent Buildings under Seismic Loads

Dr. Rabee Alsafadi 1

Eng. Lama branbo 2

Abstract

In recent years, the pounding of adjacent building during earthquakes has been receiving considerable attention through international research.

Buildings pounding occurs due to collision of two adjacent buildings during earthquakes. These buildings are having different dynamic properties (mass & stiffness). Normally, the building vibrates relative to its initial configuration, and due to an insufficient gap between the buildings to accommodate their relative motions, the pounding takes place. So, in this study an attempt was made to study and analyze the seismic response due to pounding between the RC buildings. The structural models in this thesis are planar, i.e. 2D model, and without sufficient separation between these buildings. The structures considered in our analysis are three and five stories' buildings. In addition, the structures have different overall building height and, on the other hand, have same story heights. We have discussed in depth case of using the same gap size between buildings but different floor mass for one of them and studying that changing on displacement, acceleration, impact force and shear forces were considered for the nonlinear dynamic analysis- time history using ETABS software.

Keywords: Impact Model - Impact Force - Spring Model -Nonlinear Analysis - Seismic Pounding - Dynamic Characteristic.

1 Professor, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

2 Master student, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل

1- مقدمة (Introduction):

مع مرور الوقت وتزايد عدد السكان، ازداد توسع البناء والامتداد أفقياً وشاقولياً، وإنّ الكثير من هذه المنشآت بنيت على مقربةٍ من بعضها البعض، مما خلق مشكلةً جديدةً بالهندسة الإنشائية، وهي إمكانية حدوث الصدم المتبادل بين المباني المتجاورة أثناء حدوث الهزّات الأرضية. ويعود السبب والعامل الرئيسي المعترف به كسببٍ لصدم المباني المتجاورة، والتي تكون بمسافة فصل غير كافية، عادةً ما يكون اختلاف الخصائص الديناميكية للمباني المتجاورة. [8]

إن الصدم يسبب ضرراً سنياً على الأبنية المتجاورة في حال عدم وجود مسافات فصل كافية بين المباني أو نظام لتبديد الطاقة. [2] ومن الممكن أن يسبب انهياراً تاماً للمنشآت، أو أضراراً كبيرةً عليها، حيث لوحظ بعد زلزال Athens عام 1999 انهيار كبير حتى في أسقف بعض المنشآت. [15]

بعد زلزال المكسيك بعام 1985 لوحظ أن 15% من المباني أصيب بضرر رئيسي أو انهيار، وحيث أنّ نحو 30-20% من حالات الصدم قد سببت أضراراً إنشائية بالمباني. [11]

في زلزال the San Fernando بعام 1971 الضرر الحاصل والناجم عن الصدم بين مبنى مشفى the Olive View ودرجه الخارجي المستقل، والذي تقلّ كتلته بنحو 40 مرة عن مبنى المشفى [3] ، وخلال زلزال the Loma Prieta بعام 1989 لوحظ أكثر من 200 حالة صدم ضمن 500 بناء على بعد 90km من مركز الزلزال. [6]

وبالتالي لتخفيف أثر الصدم يجب توفير الفصل الكافي بين المباني المتجاورة، أو أن يكون البديل للفصل الزلزالي هو بالتقليل من تأثير الصدم من خلال خفض الحركة الجانبية والذي

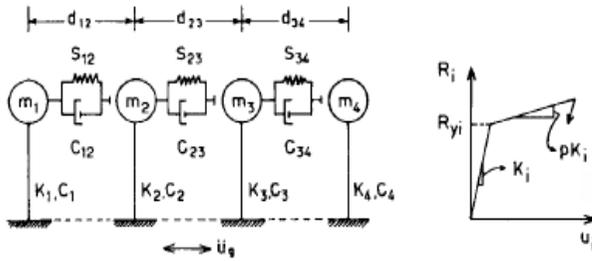
يمكن تحقيقه من خلال ضم الأبنية المتجاورة بالمواقع الحرجة أو من خلال زيادة تخميد صدم الأبنية المتجاورة من خلال وسائل تبديد الطاقة. [2]

بحال حدث صدم بين مبنيين مختلفين بالارتفاع الطابقي قد ينتج عنه أضرار كارثية، وخاصة بحال ضربت بلاطة أحد المبنيين على عمود المبنى الآخر. [14]

2-هدف البحث:

دراسة تأثير نموذج الصدم المعتمد على استجابة الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل، وذلك بحالة مبنيين مختلفين بالارتفاع الكلي، متساويين بالارتفاع الطابقي، على كل من: (الانتقالات النسبية - قوة الصدم - عدد الصدمات - التسارع المطلق - القص الطابقي).

3-الدراسات المرجعية:



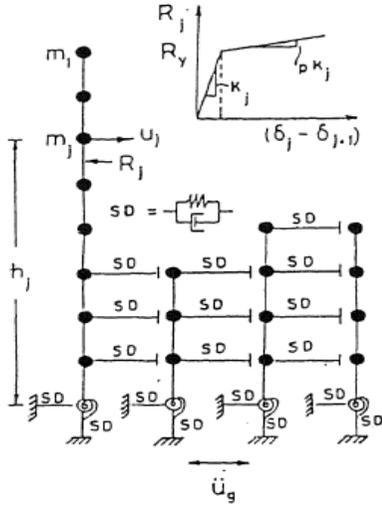
الشكل 1: نموذج المباني المتجاورة [1]

دراسة بعام 1988: [1] قام بها STAVROS A. ANAGNOSTOPOUL وقد هدفت دراسة نموذج SDOF لعدة مبانٍ متجاورة كما بالشكل 1 وتأثير العديد من البارامترات على استجابة المنشأ. والبارامترات هي: عدد الجمل بالصف وأدوارها، وحجم ومسافة الفاصل، ومقاومة الجملة الإنشائية، والحجم النسبي للكتل الإنشائية، وتخمين عنصر التأثير، وقساوة عنصر التأثير. وقد تم محاكاة الصدم عن طريق عناصر ذات تأثير لزج، كلّ واحدٍ منهم يتألف من نابض ومخمد، وتصبح هذه العناصر نشطة عندما يحدث اتصال بين كتل الطوابق المتجاورة. وذلك من أجل بعض الزلازل المُدخلة، بعض النتائج الذي تم التوصل إليها:

1. أن تأثيرات الزلازل المسببة للصدمة على الاستجابة العامة للمنشآت المتجاورة والمتوضعة في صف واحد، تتعلق بالمقام الأول بخصائص المنشأ نفسه، وعلاقته بخصائص المنشأين المجاورين له، وهل المنشأ تعرّض للصدمة من جهة واحدة، أو من جهتين (أي هل هو داخلي أم خارجي؟)، وعلى حجم ومسافة الفاصل.
2. الاستجابة بالمنشآت التي ليست مجاورة للمنشأ المدروس (أي المنشآت التي لن تكون على تماس مباشر مع المنشأ المدروس)، لن تؤثر على استجابة هذا المنشأ بشكل ملحوظ.
3. زيادة مسافة الفاصل يقلل من تأثير الصدمة واستجابة المنشأ.
4. المنشآت الخارجية (الطرفية) معرضة لصدمة من جانب واحد، وبالتالي تكون استجابتها كبيرة، أما المنشآت الداخلية تكون معرضة للصدمة من الجهتين، وبالتالي قد تكون استجابتها كبيرة أو صغيرة، فإن ذلك بحسب نسبة دور المنشأ إلى دور المنشآت المجاورة، فعندما تكون هذه النسبة أقل من الواحد، الاستجابة تكون كبيرة للمنشآت الداخلية مقارنة مع المنشآت الخارجية، وبحال هذه النسبة أكبر من الواحد فإن استجابة المنشآت الداخلية تكون صغيرة.
5. تأثير الصدمة على المنشآت غير المرنة عادةً ما يكون أكثر خطورةً من تأثير الصدمة على المنشآت المرنة.
6. بحال اختلاف كبير في كتل المنشآت المتجاورة يكون تأثير الصدمة أكثر وضوحاً على المنشأ ذي الكتلة الأقل.

دراسة بعام 1992: [14] قام بها K.V.Spiliopoulos and S.A.Anagnostopoulos

وقد هدفت لدراسة تأثير الصدمة بين مبنين متجاورين باستخدام اللاخطية ونماذج MDOF بحالة مبنين متساويين بالارتفاع وبحالة مبنين مختلفين بالارتفاع (المباني المدروسة أحدهما مؤلف من 5 طوابق، والآخر من 10 طوابق). وقد تم محاكاة الصدمة عن طريق عنصر يتألف من نابض ومخمد كما بالشكل 2. وتصبح هذه العناصر نشطة عندما يحدث اتصال



بين كتل الطوابق المتجاورة. تم استخدام مجموعتين: الأولى تتكون من 4 أبنية كلٌّ منها يتألف من 5 طوابق، والثانية تتألف من بناءين كلٌّ منهما يتألف من 10 طوابق، وتم إنشاء تحليل مرن وتحليل لامرن لعدة حالات.

والنتائج التي تم التوصل إليها تحت تأثير عدة زلازل:

1. تضخم الاستجابة الناتجة عن الصدم، تعتمد

بشكلٍ رئيسي على علاقة الدور والكتلة

بين البناءين المتجاورين، فعندما تكون

الشكل 2: نموذج المباني المتجاورة [14]

الكتل متشابهة فإنَّ استجابة البناء الأصعب تزداد، عندما يصدم البناء الأكثر مرونة

وعندما تكون الكتل مختلفة بشكلٍ كبيرٍ فإنَّ البناء ذو الكتلة الأقل ينال الضرر الأكبر.

2. في حال أبنية مختلفة الارتفاعات الكليّة تظهر مشاكل كبيرة ناجمة عن حادثة الصدم،

وعندما يكون البناء الأقصر صلباً فإن الجزء العلوي من البناء الأطول سوف يتضرر

بشكلٍ كبيرٍ.

3. الاختلاف الكبير بأدوار وكتل المباني المتجاورة تؤثر بشكلٍ كبيرٍ على الاستجابة، ولذلك

من الممكن أخذ هذا العامل كبديل لمتطلبات الفصل الزلزالي.

دراسة بعام 2006: [10] قام بها Shehata E. Abdel Raheem هدفت الدراسة لتقييم

تأثيرات الصدم الانشائي على الاستجابة العامة للمنشآت، وتحديد اجراءات تخفيض الخطر

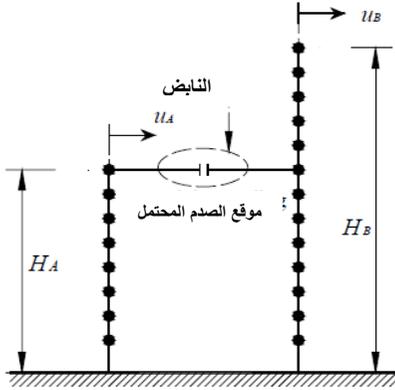
الزلزالي المحتمل من أجل المباني القائمة بالفعل وكذلك للمباني الجديدة، وذلك لتطوير وتزويد

المهندسين بالأدوات التحليلية العملية لتوقع استجابة وضرر الصدم، حيث تم دراسة مبنيين

أحدهما مؤلف من 8 طوابق ودوره (0.72 sec)، والآخر من 13 طابق ودوره (1.22 sec)

وذلك من أجل بعض الزلازل المدخلة للحالتين التاليتين:

- دراسة تأثير مسافة الفاصل على الصدم.



الشكل 3: النموذج التحليلي [10]

• دراسة تأثير تبديد الطاقة. وقد تم محاكاة الصدم عن طريق نابض نشطاً عندما يحدث اتصال بين كتل الطوابق المتجاورة كما هو موضح بالشكل 3. والنتائج التي تم التوصل إليها:

1. يزداد التسارع بسبب حادثة الصدم بين الأبنية المتجاورة، ومن الممكن أن يصل إلى عشرة أضعاف عن حالة عدم حدوث صدم.

2. حادثة الصدم تخفّض استجابة البناء عندما يكون دور الاهتزاز للبناء قريباً من الدور المميز لحركة الأرض، بينما للمبنى المجاور تكون الاستجابة أكبر.

3. زيادة مسافة الفاصل من 0.12m حتى 0.25m استطاعت أن تقلل من تأثيرات الصدم.

4. الاستجابة تكشف عن أهمية استخدام نظام تبديد الطاقة، ومن الواضح أن نظام التبديد يُركب بمستوي الصدم المحتمل، والذي سيكون أداة فعالة لتقليل أثر الصدم على المباني المتجاورة.

دراسة بعام 2014: [7] قام بها Francisco LÓPEZ-ALMANSA and Alireza KHARAZIAN

تهدف لدراسة تأثير الصدم على الانزياحات الداخلية الطابقية، وعلى قوة القصر الطابقية، وعلى التسارع المطلق، وعلى Hysteretic energy بين مبنيين متجاورين تحت تأثير الزلازل وذلك بحالة مبنيين متساويين بالارتفاع وبحالة مبنيين مختلفين بالارتفاع. وتمت محاكاة الصدم عن طريق التحليل الديناميكي اللاخطي للأبنية المعرضة للصدم تحت تأثير عدة زلازل، وذلك عن طريق نموذج للفاصل (Kelvin-Voight) بكل طابق، الاستنتاجات التي تم التوصل إليها خاصة بزلزال (Northridge):

1. زمن الاتصال (حدوث الصدم) قصير إلى حدّ ما.

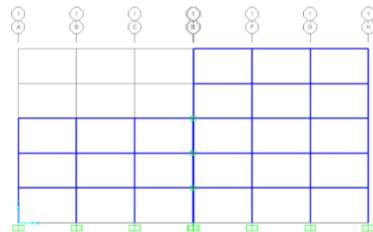
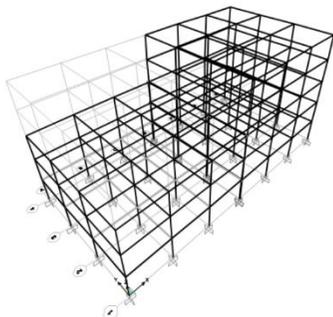
2. قوى الصدم بالطوابق السفلية صغيرة، وهي مهملة بكل الحالات.
3. يصبح الصدم أقل أهمية من أجل مسافات فصل كبيرة، وفي هذه الدراسة تبين ملاحظة أنه عندما تزيد مسافة الفاصل عن 4cm لا يوجد صدم.
4. كتلة المباني المتصادمة تزيد من تأثيرات الصدم.
5. قساوة نموذج الفاصل (عنصر التأثير) لها تأثير كبير على الصدم، وهذه النتيجة لا تتوافق مع الدراسات السابقة وتحتاج لدراسة وبحث أكثر.
6. تخميد نموذج الفاصل (عنصر التأثير) لا يملك تأثيراً قوياً على الصدم.

4- الدراسة التحليلية العددية:

قُمتُ بنمذجة مبنيين مختلفين بالارتفاع الكلي ودراسة أثر الصدم بينهما على كل من: (التسارع المطلق - الانتقال النسبي - قوة الصدم وعدد الصدمات - قوة القص الطابقي) وذلك لحالة تغير الكتلة الطابقية لأحد المبنيين وتثبيت مسافة الفاصل.

النماذج المدروسة:

هناك عدة حالات للدراسة، وكلّ حالة عبارة عن مبنيين (مبنى يتألف من ثلاثة طوابق، والمبنى الآخر خمسة طوابق) وهذه المباني من البيتون المسلح وجملتها إيطارية، تمت دراستها وتصميمها على برنامج SAP2000 وفق الكود العربي السوري لتحديد التسليح المطلوب للعناصر الإنشائية (الأعمدة والجوائز) (حيث أن الكود العربي السوري والطرق الزلزالية المعتمدة فيه مأخوذة من الكودات الأمريكية UBC97 و ACI318 المدرجة ضمن البرنامج). تمت دراسة النماذج 2D، كما في الشكل 4، ودراسة الإطار الوسطي فقط كما في الشكل 5، بافتراض أنّ الإطارات متوسطة المقاومة للعزوم، وأيضاً تم إدخال أثر تخميد البيتون للمباني (5%).



الشكل 5: النموذج 3D

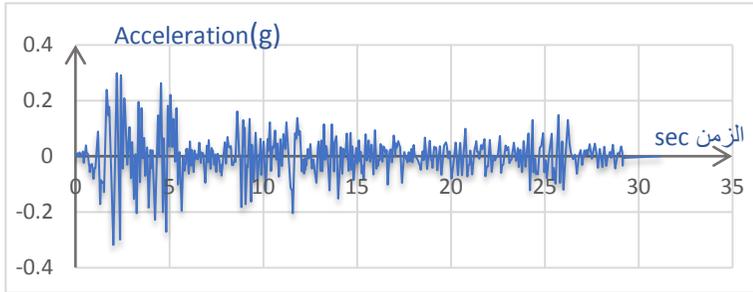
الشكل 4: النموذج 2D

نوع التحليل المستخدم ديناميكي لاخطي (Time history)، الزلزال المستخدم بالدراسة

(el centro)

موضح بالشكل

: 6



الشكل 6: علاقة تسارع الزلزال مع الزمن

الارتفاع الطابقى 3m، سماكة البلاطة 12cm، أبعاد الأعمدة والجوائز (30*40)cm (قُمتُ باعتماد هذه الأبعاد بناءً على دراسة مرجعية سابقة)، تسليح الأعمدة 8T20 (حيث قُمتُ بدراسة النماذج على برنامج SAP2000 واختيار نسبة التسليح الأكبر للأعمدة المستخلصة من الدراسة وتعميمها لكامل النماذج) وتسليح الجوائز 4T25، المجازات 5m والحمولات الميتة على البلاطة 3 KN/m^2 والحمولات الحية 2 KN/m^2 .

النموذج المستخدم بالدراسة:

تمت الدراسة وفق برنامج SAP2000 ومحاكاة سلوك الصدم باستخدام عنصر Gap element وهو يسلك سلوك نابض خطي وإنّ هذا النموذج لا يأخذ بعين الاعتبار الضياع بالطاقة وهو يؤمن نقل قوى الصدم بين المبنىين والذي ينشط عندما يحدث اتصال بين كتل الطوابق المتجاورة. قيمة الصلابة في بعض الدراسات السابقة:

- اعتمد (Shakya–Wijeyewickrema–Ohmachi) [13] عند دراسة أثر تفاعل التربة مع المنشأ على ظاهرة الصدم قيمة لصلابة النابض $K = 935000t/m$
- اعتمد (OHTA) [12] عند دراسة أثر الصدم على ثلاثة ابنية في صف واحد قيمة لصلابة النابض $K = 935000t/m$
- اعتمد (Jankowski) [4] عند دراسة أثر الصدم من خلال تحليل جملة وحيدة درجة الحرية قيمة لصلابة النابض $K = 813500t/m^{3/2}$
- حدد (Jankowski) [5] قيم لصلابات النابض $K = 790000 - 813000 - 1045000t/m$ من خلال إجراء عدة تجارب لصدم على كرات بيتونية.
- قام (Muthukumar and DesRoches) [9] بإجراء مقارنات لتحديد مزايا كلّ نموذج من نماذج الصدم وقد اعتمدا قيم صلابات لنماذج (Hertz)
- الصلابة المختارة للنابض والقريبة من الدراسات السابقة: $K = 9 * 10^6 KN/m$

مسافة الفاصل:

- تم حساب مسافة الفصل المطلوبة وفق الكود العربي السوري وفق العلاقة:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{m1}^2 + \Delta_{m2}^2}$$

$$\Delta_m = 0.7 R \Delta_s$$

Δ_{m1} : الانتقال اللدن أعلى المنشأ ذي الثلاثة طوابق.

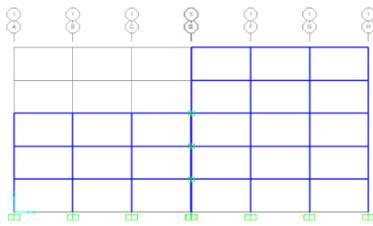
Δ_{m2} : الانتقال اللدن أعلى المنشأ ذي الخمسة طوابق.

Δ_{S1} : الانتقال المرن أعلى المنشأ ذي الثلاثة طوابق.

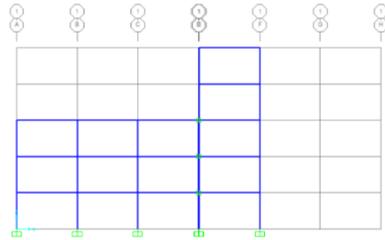
Δ_{S2} : الانتقال المرن أعلى المنشأ ذي الخمسة طوابق.

وكانت المسافة المطلوبة $\Delta = 0.1 m$ وتم اختيار مسافة 2cm ليحدث الصدم.

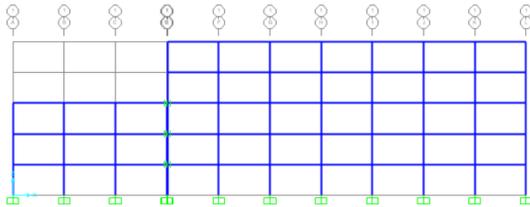
تغيير الكتلة الطابقية للمبنى الطويل وتثبيت الكتلة للمبنى القصير وتثبيت مسافة الفاصل $\Delta = 2cm$



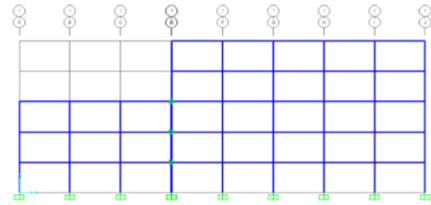
الشكل 8: النموذج (3*3 To 3*5)



الشكل 7: النموذج (3*3 To 1*5)

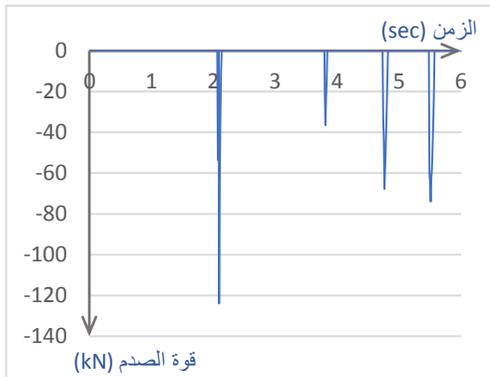


الشكل 10: النموذج (3*3 To 7*5)

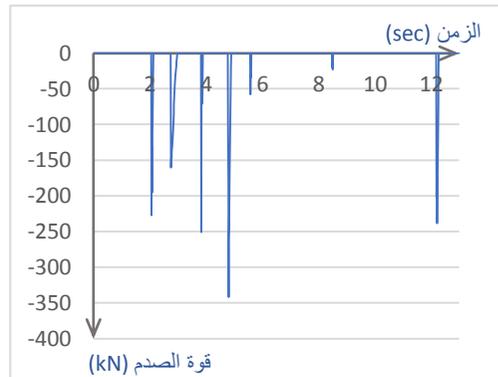


الشكل 9: النموذج (3*3 To 5*5)

● مخططات تبين تغير قيمة قوة الصدم خلال الزلازل:

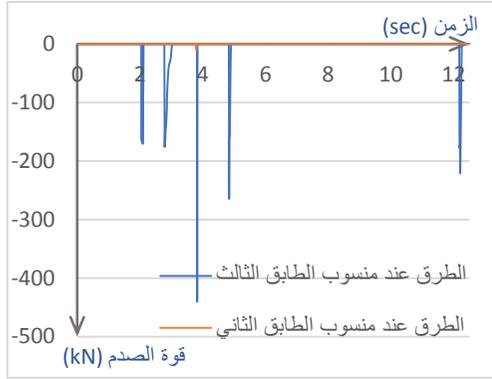


الشكل 11: علاقة قوة الصدم مع الزمن (3*3 To 1*5)

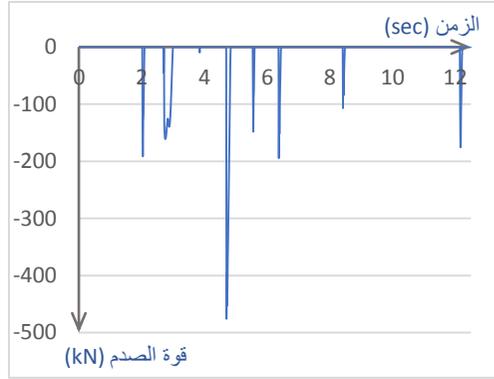


الشكل 12: علاقة قوة الصدم مع الزمن (3*3 To 3*5)

تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل



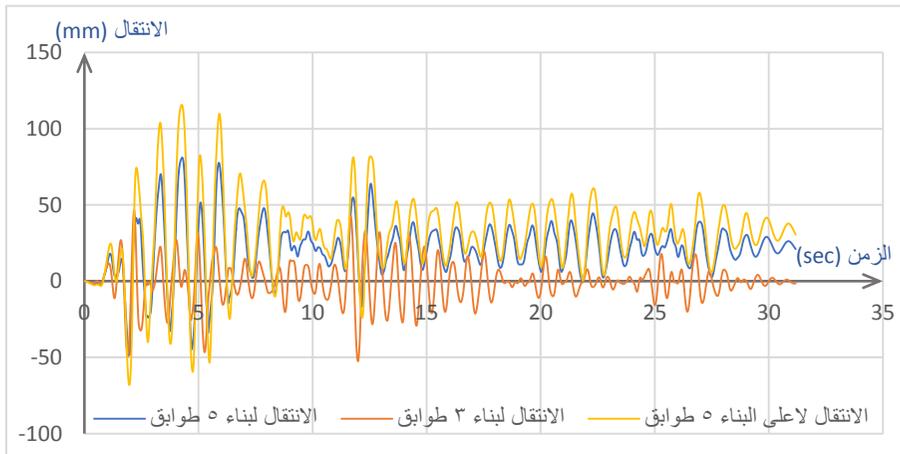
الشكل 13: علاقة قوة الصدم مع الزمن (3*3 To 5*5)

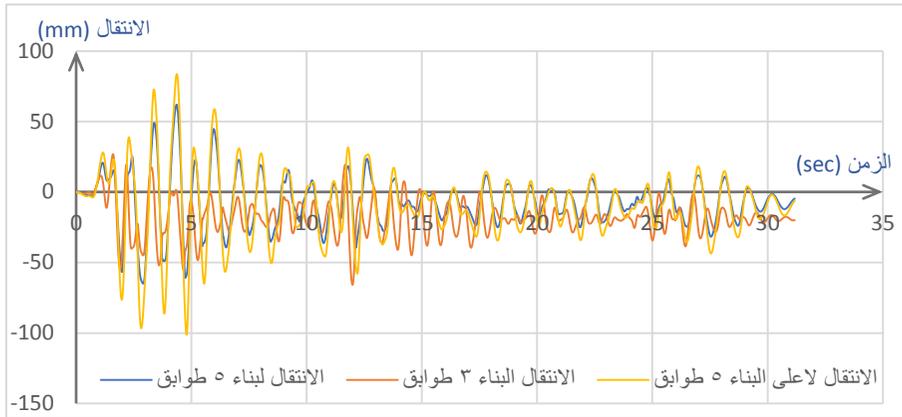


الشكل 14: علاقة قوة الصدم مع الزمن (3*3 To 7*5)

ونلاحظ من الأشكال 11 و12 و13 و14، أن قوة الصدم وعدد الصدمات تزداد بزيادة الكتلة الطابقية للبناء الطويل وذلك بمعظم الحالات، وبالشكل رقم 13 الصدم أصبح على منسوبين، وبالنتيجة تبين أن الاستجابة تزداد مع زيادة الكتلة الطابقية.

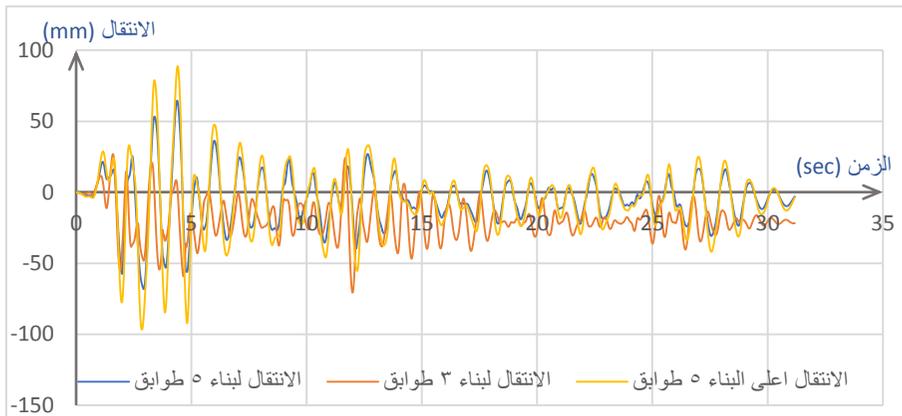
• مخططات تبين تغير قيمة الانتقالات خلال الزلازل:



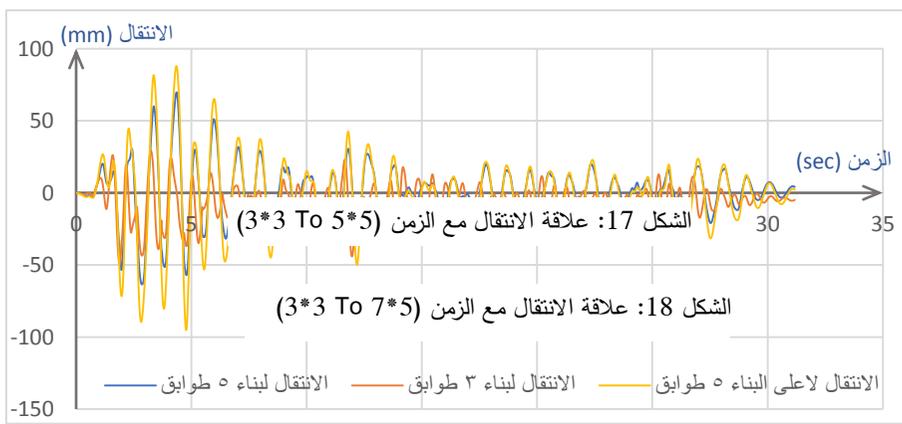


الشكل 15: علاقة الانتقال مع الزمن (3*3 To 1*5)

الشكل 16: علاقة الانتقال مع الزمن (3*3 To 3*5)



ونلاحظ من الأشكال 15 و 16 و 17 و 18، أن الانتقال فوق منسوب الصدم لبناء 5 طوابق

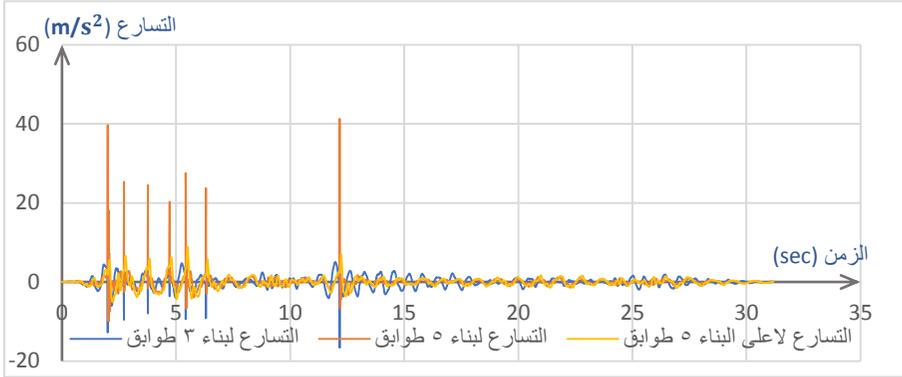


الشكل 17: علاقة الانتقال مع الزمن (3*3 To 5*5)

الشكل 18: علاقة الانتقال مع الزمن (3*3 To 7*5)

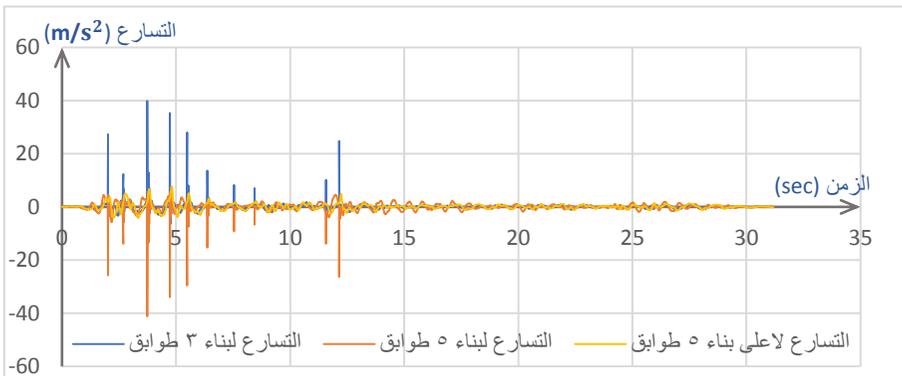
تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل

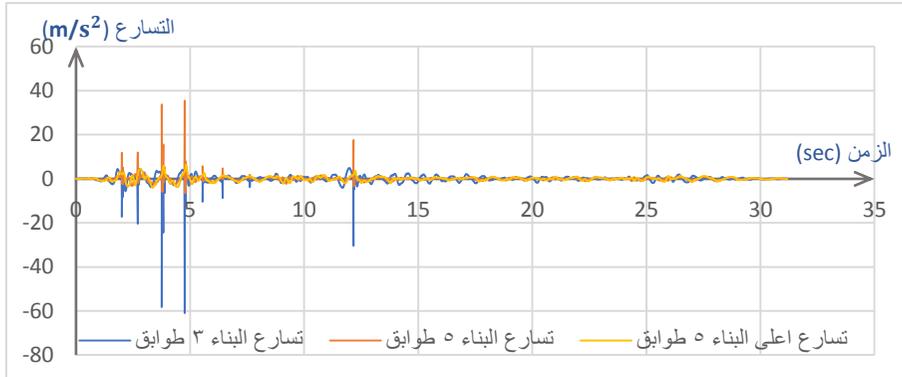
ينقص بزيادة الكتلة الطابقية للبناء الطويل، حيث تقل استجابة البناء ذي 5 طوابق مع زيادة الكتلة الطابقية له، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 14%.



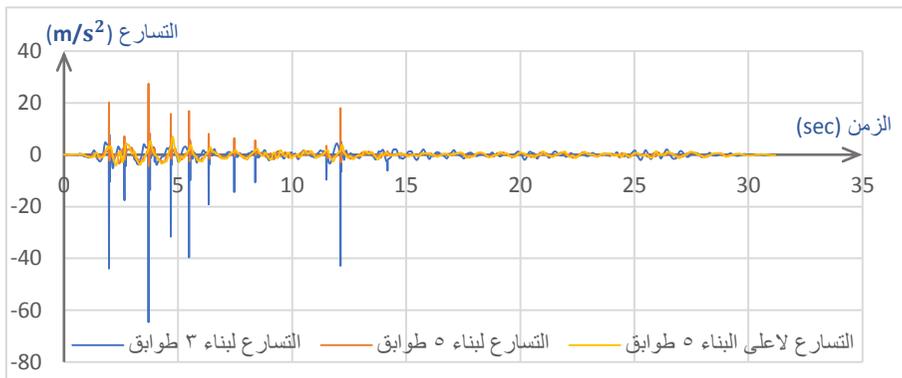
• مخططات تبين تغير قيمة التسارعات خلال الزلزال:

الشكل 19: علاقة التسارع مع الزمن (3*3 To 1*5)



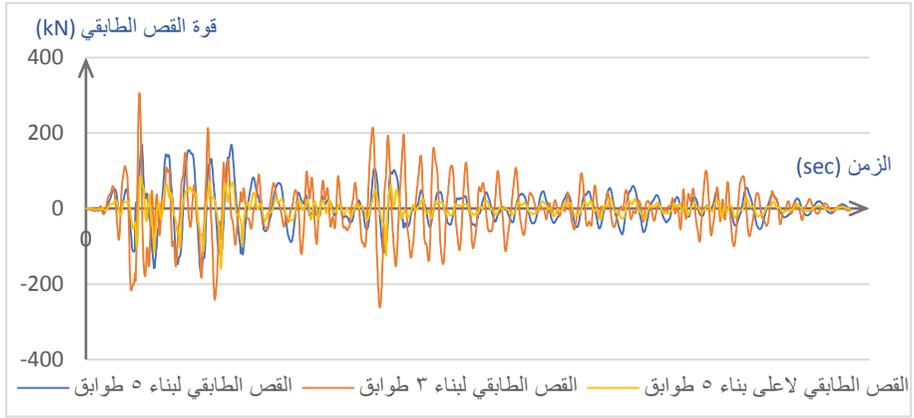


الشكل 21: علاقة التسارع مع الزمن (3*3 To 5*5)



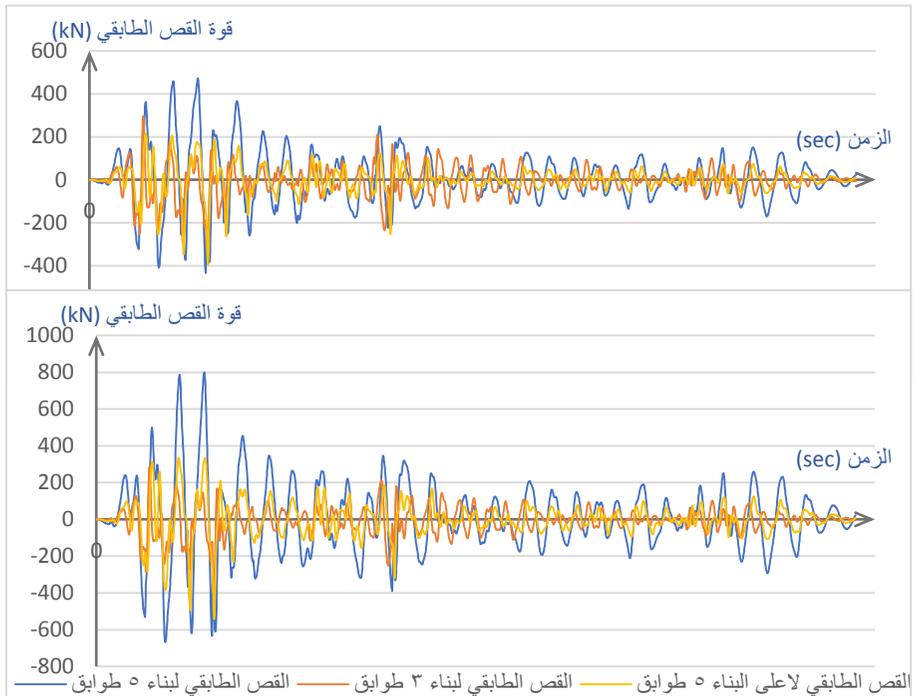
ونلاحظ من الأشكال 19 و 20 و 21 و 22، أن التسارع فوق منسوب الصدم لبناء 5 طوابق ينقص بزيادة الكتلة الطابقيه للبناء الطويل، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 21% وكذلك يقل التسارع عند منسوب الصدم، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 36%، حيث تقل استجابة البناء ذي 5 طوابق مع زيادة الكتلة الطابقيه له، ويزداد التسارع للبناء القصير عند منسوب الصدم، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 60%، حيث تزداد استجابة البناء الشكل 22: علاقة التسارع مع الزمن (3*3 To 7*5) القصير مع زيادة الكتلة الطابقيه للبناء الطويل.

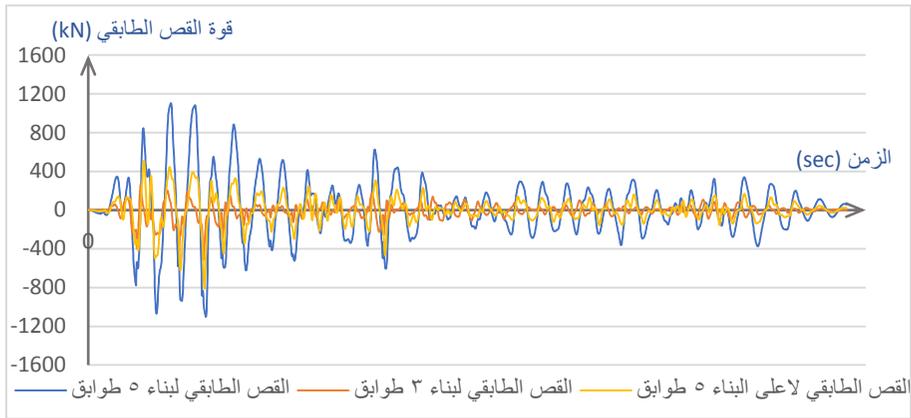
تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل



- مخططات تبين تغيير قيمة القص الطابقي خلال الزلزال:

الشكل 23: علاقة قوة القص الطابقي مع الزمن (1*5 To 3*3)





ونلاحظ من الأشكال 23 و 24 و 25 و 26، أن القص الطابقي عند منسوب الصدم لبناء 3 طوابق يزداد بزيادة الكتلة الطابقية للبناء الطويل، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 23%، حيث تزداد استجابة البناء ذي 3 طوابق مع زيادة الكتلة الطابقية للبناء ذي 5 طوابق.

النتائج التي تم
دراسة هذه

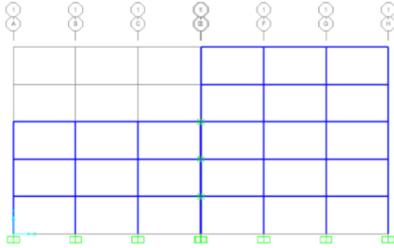
الشكل 26: علاقة القص الطابقي مع الزمن (3*3 To 7*5)

يبين الجدول 1
التوصل اليها من
الحالة.

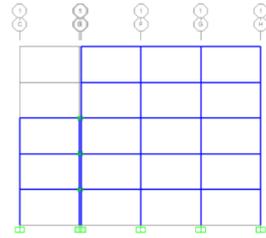
جدول 1: نتائج دراسة حالة تغيير الكتلة الطابقية للبناء الطويل وتنشيت الكتلة للبناء القصير ومسافة الفصل

النموذج	قوة الصدم (عدد الصدمات)	الانتقال أعلى البناء ذي 5 طوابق	التسارع أعلى البناء ذي 5 طوابق	التسارع لبناء ذي 3 طوابق	التسارع لبناء ذي 5 طوابق	القص الطابق لبناء ذي 3 طوابق	القص الطابق أعلى البناء ذي 5 طوابق
	kN	mm	mm	m/s^2	m/s^2	kN	kN
(3,3) TO (1,5)	123.9(4)	115.7	8.9	16.6	54.2	305.5	158.8
(3,3) TO (3,5)	341.8(7)	101.3	7.6	41.3	39.8	331.4	397.1
(3,3) TO (5,5)	440.1(5) 9.6 (1)	96.7	6.3	61	35.5	401.6	543.9
(3,3) TO (7,5)	476.1(8)	95.3	6.8	64.6	27.5	517.4	815.3

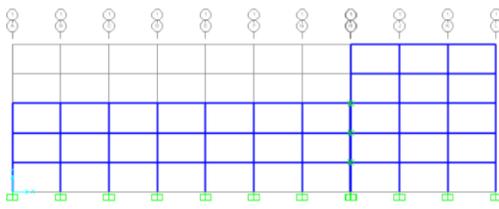
تغيير الكتلة الطابقية للمبنى القصير وتثبيت الكتلة للمبنى الطويل وتثبيت مسافة الفاصل
 $\Delta = 2cm$



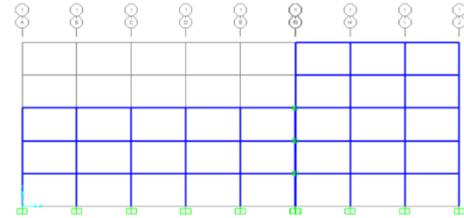
الشكل 28: النموذج (3*3 To 3*5)



الشكل 27: النموذج (1*3 To 3*5)



الشكل 30: النموذج (7*3 To 3*5) تم التطرق اليها



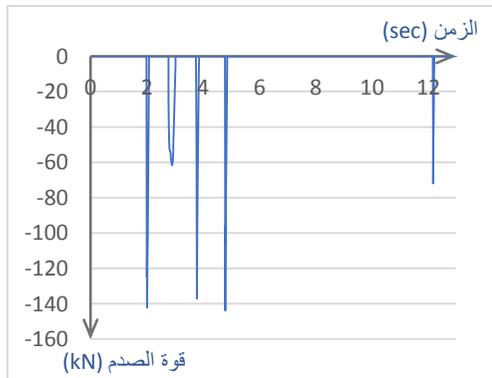
الشكل 29: النموذج (5*3 To 3*5)

المخططات:

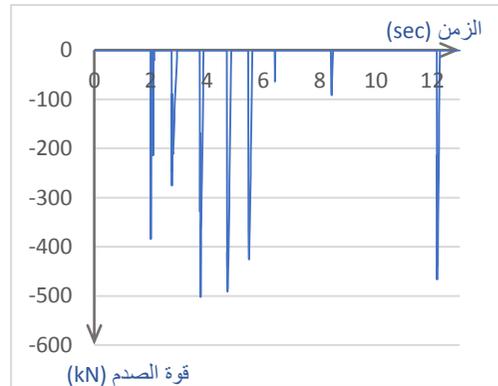
إن الحالة
 3*3 To

سابقاً ومخططاتها وضحت سابقاً وسوف يتم اعتمادها للمقارنة لاحقاً.

● مخططات تبين تغيير قيمة قوة الصدم خلال الزلزال:



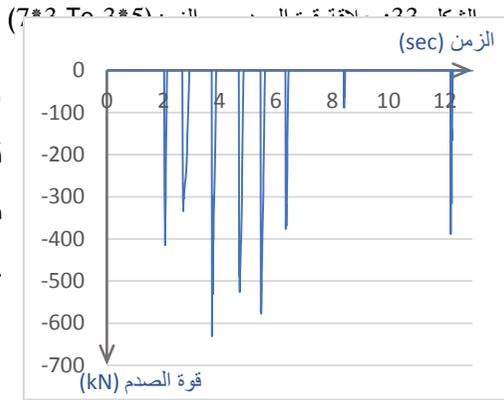
الشكل 31: علاقة قوة الصدم مع الزمن لحالة (1*3 To 3*5)



الشكل 32: علاقة قوة الصدم مع الزمن (5*3 To 3*5)

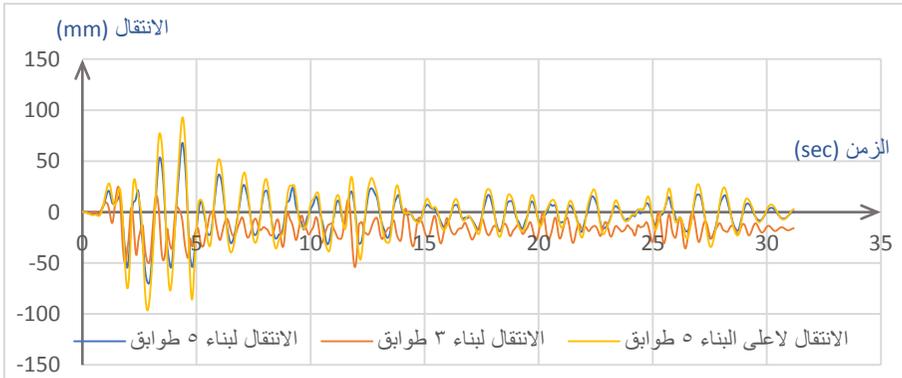
الأشكال 31 و 32
قوة الصدم وعدد
زيادة الكتلة الطابقية
حيث تزداد الاستجابة
الطابقية.

تبيّن تغيير قيمة



ونلاحظ من
و33 و12، أن
الصدمات تزداد
للبناء القصير،
مع زيادة الكتلة

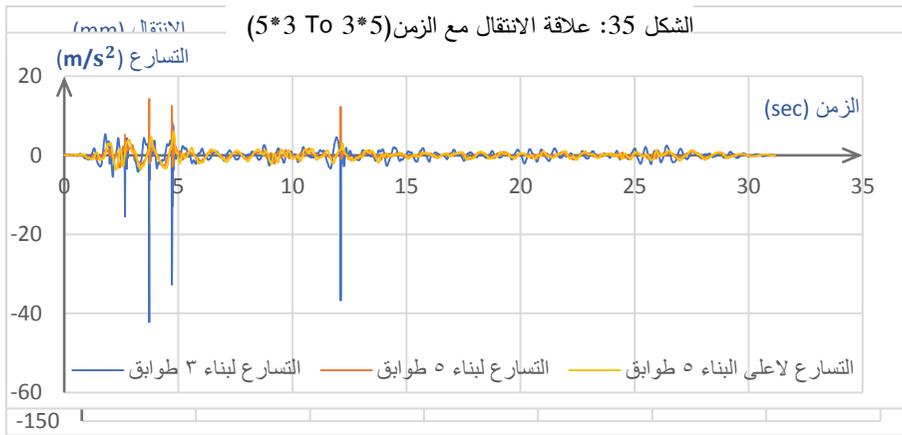
• مخططات



الانتقالات خلال الزلازل:

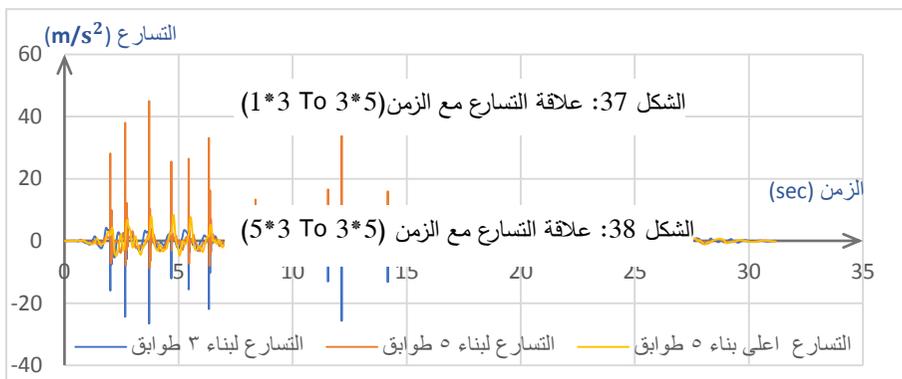
ونلاحظ من الأشكال 34 و 35 و 36 و 16، أن الانتقال فوق منسوب الصدم للبناء الطويل يزداد بزيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير، حيث تزداد الاستجابة للبناء الطويل مع زيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 5%.

● **مخططات** الشكل 34: علاقة الانتقال مع الزمن (1*3 To 3*5) **تبيّن تغير قيمة**



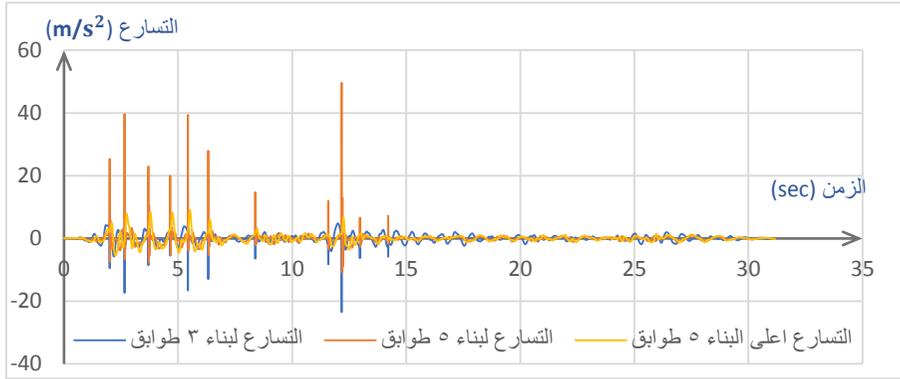
الشكل 35: علاقة الانتقال مع الزمن (5*3 To 3*5)

التسارعات خلال الزلزال:



الشكل 37: علاقة التسارع مع الزمن (1*3 To 3*5)

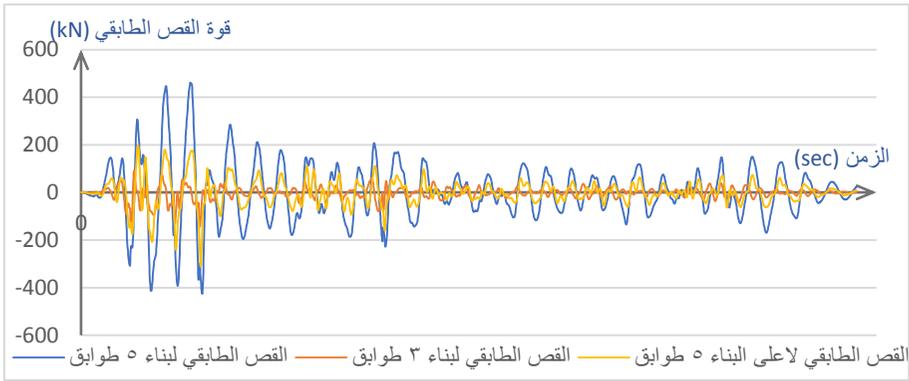
الشكل 38: علاقة التسارع مع الزمن (5*3 To 3*5)



الشكل 39: علاقة التسارع مع الزمن (3*5 To 7*3)

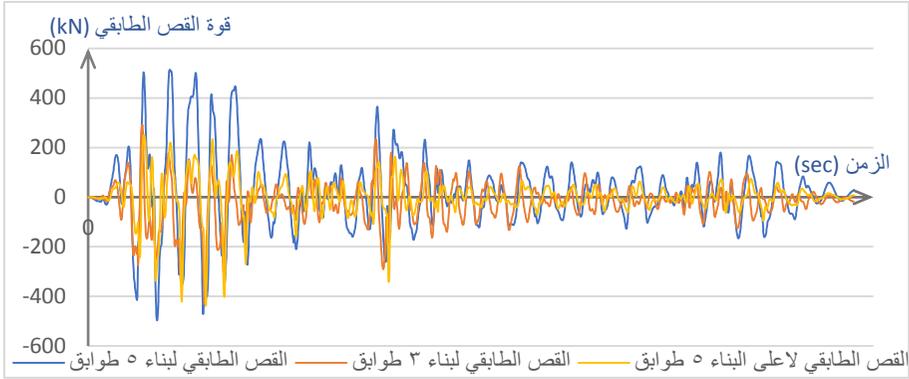
ونلاحظ من الأشكال 37 و38 و39 و20، أن التسارع فوق منسوب الصدم للبناء الطويل يزداد بزيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 21%، وكذلك عند منسوب الصدم وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 64%، حيث تزداد الاستجابة من حيث التسارع للبناء الطويل مع زيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير، وتقل للبناء القصير وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 55%، حيث تقل استجابة البناء القصير مع زيادة كتلته الطابقية.

• مخططات تبين تغير قيمة قوة القص الطابقي خلال الزلزال:

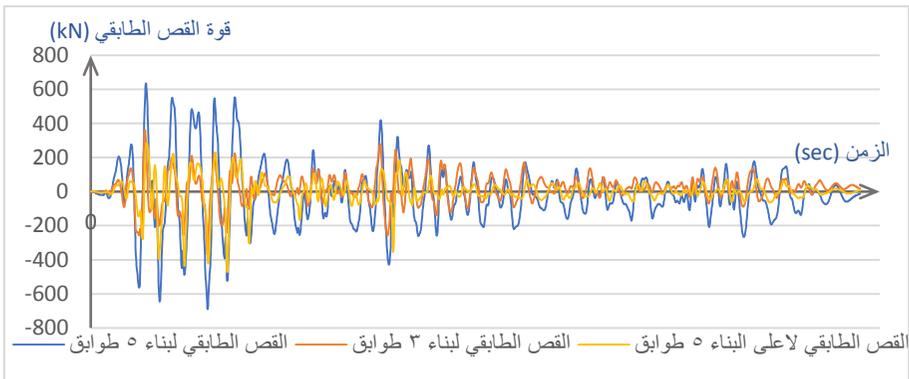


الشكل 40: علاقة القص الطابقي مع الزمن (1*3 To 3*5)

تأثير تغيير كتلة الطابق على دراسة نموذج استجابة الصدم على الأبنية المتجاورة تحت تأثير الزلازل



الشكل 41: علاقة القص الطابقي مع الزمن (5*3 To 3*5)



ونلاحظ من الأشكال 40 و 41 و 42 و 24، أن القص الطابقي فوق منسوب الصدم للبناء الطويل يزداد بزيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير، وكذلك عند منسوب الصدم، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 26%، حيث تزداد الاستجابة للبناء الطويل مع زيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير.

الشكل 42: علاقة القص الطابقي مع الزمن (7*3 To 3*5)

النتائج التي تم

يبين الجدول 2

التوصل اليها من دراسة هذه الحالة.

جدول 2: نتائج دراسة حالة تغيير الكتلة الطابقية للبناء القصير وتشبيث الكتلة للبناء الطويل ومسافة الفصل

النموذج	قوة الصدم (عدد الصددمات)	الانتقال أعلى البناء ذي 5 طوابق	التسارع أعلى البناء ذي 5 طوابق	التسارع لبناء ذي 3 طوابق	التسارع لبناء ذي 5 طوابق	القص الطابق لبناء ذي 5 طوابق	القص الطابق أعلى البناء ذي 5 طوابق
	kN	mm	mm	m/s^2	m/s^2	kN	kN
(1,3) TO (3,5)	143.9(5)	96.6	6.1	42.2	14.3	460.6	311.1
(3,3) TO (3,5)	341.8(7)	101.3	7.6	41.3	39.8	471.6	397.1
(5,3) TO (3,5)	502 (8)	106.5	8.4	26.6	45.	513.1	438.1
(7,3) TO (3,5)	631.2(8)	107.2	9	23.5	49.6	690.9	472

5- الاستنتاجات والتوصيات:

النتائج:

- 1- زيادة الكتلة الطابقية لأحد المبنيين تسبب زيادة بقوة الصدم وعدد الصدمات.
- 2- زيادة الكتلة الطابقية للبناء القصير مع ثبات الكتلة للبناء الطويل تسبب زيادة الانتقال فوق منسوب الصدم، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 5%، وكذلك التسارع فوق منسوب الصدم وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 21%، وتسبب نقصان التسارع للمبنى القصير وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 55%، وزيادتها للمبنى الطويل وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 64%، وتسبب زيادة قوة القص الطائفي عند منسوب الصدم وفوق منسوب الصدم للبناء الطويل وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 26%.
- 3- زيادة الكتلة الطابقية للبناء الطويل مع ثبات الكتلة للبناء القصير تسبب نقصان الانتقال فوق منسوب الصدم وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 14%، والتسارع فوق منسوب الصدم وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 21%، وتسبب زيادة التسارع للمبنى القصير وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 60%، ونقصانها للمبنى الطويل وقد قاربت في بعض الحالات نسبة انخفاض 36%، وتسبب زيادة قوة القص الطائفي عند منسوب الصدم للبناء القصير، وقد قاربت في بعض الحالات نسبة زيادة 23%.

التوصيات:

- إجراء أبحاث لدراسة ظاهرة الصدم بحال صدم بلاطة لعمود.
- إجراء أبحاث لدراسة ظاهرة الصدم على المباني الفراغية لإدخال أثر القتل.
- إجراء أبحاث لدراسة أثر الصدم مع إدخال أثر التربة.

6-المراجع:

- 1- ANAGNOSTOPOULOS, S. A. 1988 Pounding of buildings in series during earthquakes. Earthquake engineering & structural dynamics, 16(3), 443-456.
- 2- ANAGNOSTOPOULOS, S. A., & KARAMANEAS, C. E 2008 Use of collision shear walls to minimize seismic separation and to protect adjacent buildings from collapse due to earthquake- induced pounding, Earthquake engineering & structural dynamics, 37(12), 1371-1388.
- 3- BERTERO, V. V., & COLLINS, R. G. 1973 Investigation of the failures of the Olive View stairtowers during the San Fernando earthquake and their implications on seismic design. Earthquake Engineering Research Center, University of California.
- 4- JANKOWSKI, R. 2006 Pounding force response spectrum under earthquake excitation. Engineering Structures, 28(8), 1149-1161.
- 5- JANKOWSKI, R. 2007 Theoretical and experimental assessment of parameters for the non-linear viscoelastic model of structural pounding. Journal of theoretical and applied mechanics, 45, 931-942.
- 6- KASAI, K., & MAISON, B. F. 1997 Building pounding damage during the 1989 Loma Prieta earthquake. Engineering structures, 19(3), 195-207.
- 7- LÓPEZ-ALMANSA, F., & KHARAZIAN, A. 2014 Parametric study of the pounding effect between adjacent rc buildings with aligned slabs. 15ECEE Istanbul, Turkey.

8- MATE, N. U., BAKRE, S. V., & JAISWAL, O. R. 2015 Seismic pounding of adjacent linear elastic buildings with various contact mechanisms for impact simulation, 383-415.

9- MUTHUKUMAR, S., & DESROCHES, R. 2006 A Hertz contact model with non-linear damping for pounding simulation. Earthquake engineering & structural dynamics, 35(7), 811-828.

10- RAHEEM, S. E. A. 2006 Seismic pounding between adjacent building structures. Electronic journal of structural Engineering, 6(66), 155.

11- ROSENBLUETH E, MELI R. The 1985 earthquake: Causes and effects in Mexico City, Concrete International, No. 5, 8(1986) 23-4.

12- RYOSUKE OHTA , ANIL C. WIJEYEMICKREMA, Alirwza FARAHANI 2006 END BUILDING POUNDING DURING EARTHQUAKES, Symposium on Infrastructure Development and the Environment 2006 7-8 December, SEAMEO – INNOTECH University of Philippines, Diliman , Quezon City , PHILIPPINES.

13- SHAKYA, K., WIJEYEWICKREMA, A. C., & OHMACHI, T. 2011 Seismic pounding analysis of multi-story reinforced concrete buildings considering effects of underlying soil.

14- SPILIOPOULOS, K. V., and S. A. ANAGNOSTOPOULOS 1992 Earthquake induced pounding in adjacent buildings. Earthquake Engineer 10th World 7: 3887.

15- VASILIADIS, L., & ELENAS, A. 2002, September Performance of school buildings during the Athens earthquake of 7 September 1999. In 12th European conference on earthquake engineering (Vol. 264).

الرموز المستخدمة:

Δ_{m1} : الانتقال اللدن أعلى المنشأ ذي الثلاثة طوابق. (m)

Δ_{m2} : الانتقال اللدن أعلى المنشأ ذي الخمسة طوابق. (m)

Δ_{s1} : الانتقال المرن أعلى المنشأ ذي الثلاثة طوابق. (m)

Δ_{s2} : الانتقال المرن أعلى المنشأ ذي الخمسة طوابق. (m)

Δ : مسافة الفاصل. (m)

K : صلابة النابض. (KN/m)

