تحسين سلوك الأبنية العالية باستخدام نظام العزل القاعدي الهجين ومخمدات الاحتكاك الدورانية

د. م. هاله توفيق حسن *

الملخص

تستخدم أنظمة العزل الزلزالي لتخفيض قوة القص القاعدي والتسارعات والإزاحات الطابقية مقارنة بالمنشآت من دون عزل، وذلك في الأبنية ذات الصلابة العالية (منخفضة الارتفاع)، وتنخفض فعالية العزل الزلزالي مع زيادة ارتفاع المنشأ، من حيث تخفيض قوة القص القاعدي والإزاحات الطابقية، ومن ثَمَّ كان لا بُدَّ من البحث عن نظام عزل وتخميد هجين فعال في تخفيض قوة القص والإزاحات الطابقية والتسارعات للأبنية العالية (التي يعجز العزل القاعدي عن تحسين استجابتها).

هَدَفَ البحث إلى دراسة أثر استخدام مخمدات الاحتكاك الدورانية (STORY FD: SFD) بقدرات تحمل مختلفة في مستويات الطوابق على كامل ارتفاع البناء المعزول باستخدام نظام عزل هجين مكون من العوازل المطاطية المزودة بنواة رصاصية (LRB)، وعوازل الانزلاق المسطحة (FSB)، ومقارنتها باستجابة الأبنية المعزولة باستخدام نظام عزل هجين (FSB+LRB)، مع إضافة مخمدات الاحتكاك الدورانية (FD) عند القاعدة من حيث (الدور والانتقالات والإزاحات الطابقية للمنشأ وتوزيع القوى القصية).

سَيُحَلَّلُ زلزالياً بناء عالٍ بارتفاع 20 طابقاً، بطريقة التحليل الديناميكي اللاخطي (Nonlinear Dynamic Analysis)، بمساعدة برنامج (SAP2000 v15)، بتأثير السجل الزمني لزلزال السنترو (El-Centro) .

أظهرت النتائج أن استخدام مخمد الاحتكاك الدوراني (STORY FD: SFD) على مستوى الطوابق للمنشأ المعزول بنظام العزل والتخميد الهجين (LRB+FSB+FD)، كان تحسيناً قليلاً لأداء المنشأ من حيث تخفيض الانتقالات (Displacements) والإزاحات الطابقية (Drift) مع زيادة الارتفاع، ولكن كان له أثر سلبي في قوة القص القاعدية (Base shear) إذْ أدى إلى زيادة في قوة القص القاعدية مع زيادة مرونة المنشأ، في حين استخدام مخمد الاحتكاك الدوراني (STORY FD: SFD) على مستوى الطوابق للمنشأ المعزول بنظام العزل الهجين (LRB+FSB) دون إضافة مخمد الاحتكاك (FD) عند القاعدة كان له أثر كبير في تحسين أداء المنشأ من حيث تخفيض الإزاحات الطابقية (Drift)، ولكن كان له أثر سلبي في قوة القص القاعدية (Base shear) والانتقالات (Displacements) إذْ أدى إلى زيادة في قوة القص القاعدية وانتقالات المنشأ.

الكلمات المفتاحية: العزل الزلزالي، العزل القاعدي، استجابة الأبنية، التحكم السلبي، التخميد، الإزاحات الطابقية.

* مدرس في قسم الهندسة الإنشائية الزلزالية–المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية–جامعة دمشق.

1- المقدمة (Introduction):

تكمن اهمية العزل الزلزالي في أنَّها أحد الحلول الهندسية الفعالة المستخدمة للحد من خطر الزلازل على الأبنية وغيرها من المنشآت المهمة، إذْ إنَّ العزل الزلزالي القاعدي للمنشأ يكون من خلال وضع طبقات مرنة أفقياً بين المنشأ وأساساته، ممَّا يسمح للانتقال النسبي للمنشأ عند هذا المستوى، ويكون السلوك اللدن محدوداً ضمن أنظمة العزل، دون الحاجة لفرض شروط مطاوعة المنشأ فوق مستوي العزل، ويعتمد نجاح نظام العزل الزلزالي لأي منشأ اعتماداً اساسياً على نوعية المساند المستخدمة في نظام العزل المفترض أن تؤمن المرونة الأفقية والتخامد المطلوب، فضلاً عن قوة إرجاع تعيد المبنى إلى وضعه الأولي.

تنخفض فعالية العزل الزلزالي مع زيادة ارتفاع المنشأ. إن انخفاض فاعلية العزل الزلزالي على الأبنية العالية دفعنا للبحث عن حلول لتحسين الاستجابة الزلزالية للأبنية العالية من خلال إضافة مخمدات الاحتكاك التي تضيف قساوةً وتخميداً للمنشأ فوق طابق العزل القاعدي ومن ثَّمَ يمكن تحسين استجابة البناء العالي المعزول زلزالياً.

2- هدف البحث:

هَدَفَ البحث إلى دراسة إضافة مخمد الاحتكاك الدوراني (Story_FD) في الطوابق على كامل ارتفاع المنشأ المزود بنظام العزل الزلزالي القاعدي الهجين (LRB+FSB+FD)، لتبيان فاعلية إضافة المخمدات في الطوابق في تخفيض الإزاحات الطابقية (DRIFT).

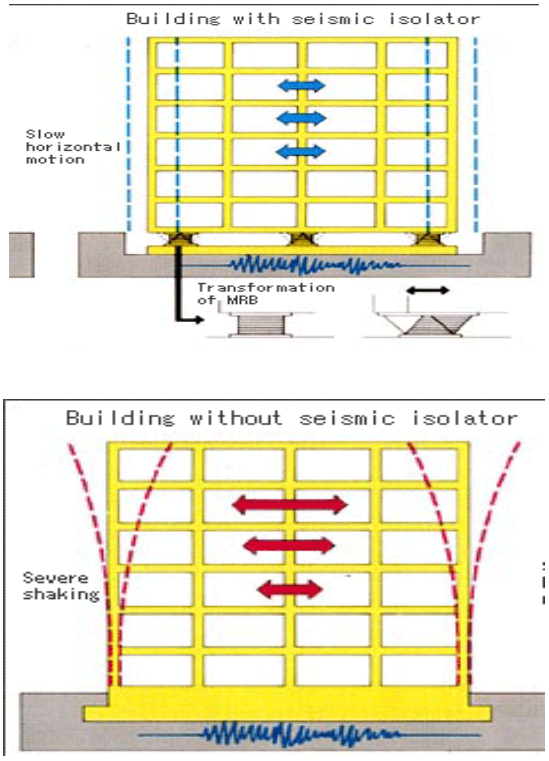
كما هَدَفَ البحث إلى دراسة نموذج البناء معزول عند القاعدة بنظام العزل الهجين (LRB+ FSB) مع إضافة المخمدات الدورانية على ارتفاع الطوابق (SFD) بقدرات تحمل مختلفة من 50kN إلى 150kN، إذْ قدرة تحمل المخمد هي القوة اللازمة للوصول إلى سعة الانتقال الأعظمية للمخمد.

3- تقنيات العزل الزلزالي ومبادئه:

يعتمد مبدأ العزل الزلزالي على فصل المنشأ عن المحرض الزلزالي بعناصر مرنة في الاتجاه الأفقي وعالية الصلابة في الاتجاه الشاقولي فيصبح المنشأ وكأنه كتلة صلبة تتحرك فوق مستوي العزل.

تؤدي هذه العناصر إلى زيادة دور المنشأ فضلاً عن تبديد الطاقة نتيجة التخامد؛ ممَّا يحد من مقدار القوة الزلزالية المنقولة لجملة الإنشائية، ومن ثَّمَ يخفف الضرر الذي قد تتعرض له العناصر الإنشائية وغير الإنشائية.

يخضع المنشأ التقليدي من دون عزل زلزالي خلال الهزة الأرضية إلى إزاحات طابقية مهمة قد تقود إلى انهيار المنشأ، في حين يهتز المنشأ المعزول كجسم صلب بتشوه كبير عند القاعدة، كما هو مبين في الشكل (1). **[1]**

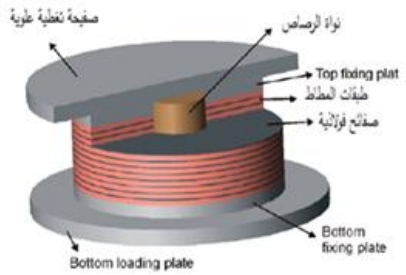


الشكل (1): مقارنة استجابة المنشأ المعزول زلزالياً مع المنشأ المُوَثَّق عند أساساته [1]

4- أهم انواع وسائل العزل والتخميد وميزاتها:

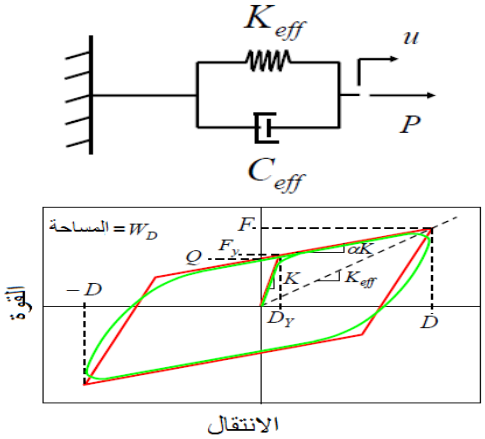
العازل المطاطي المزود بنواة من الرصاص:

يعتمد العازل على التصرف اللدن لنواة من الرصاص لتبديد الطاقة، وعلى المطاط في توليد قوى الإرجاع، ومن أهم المساند المطاطية المستخدمة في عزل المنشآت المساند المطاطية منخفضة التخامد أو عالية التخامد أو المزودة بنواة رصاصية، الشكل (2). **[2]**.



الشكل(2): المساند المطاطية LRB. **[2]**

يبيّن الشكل (3) النموذج الرياضي الخطي للعازل المطاطي وخواصه المتمثلة بـ C_{eff} & k_{eff}، سلوك العازل المتمثل بالعلاقة بين قوة القص (F)، والانتقال في المسند المطاطي (D). **[2]**

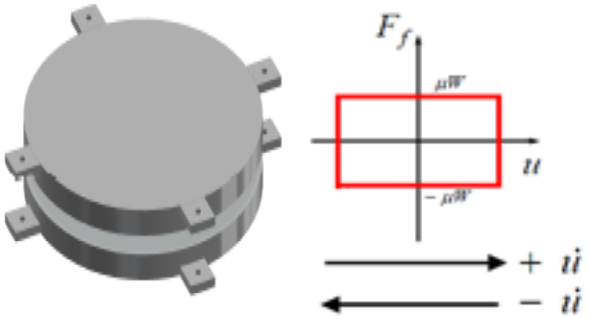


الشكل (3): النموذج الرياضي للعازل المطاطي وتوضيح العلاقة بين القوة والانتقالات.[2]

عوازل الانزلاق المسطحة: [2]

(Flat Sliding Bearing: FSB)

توفر عوازل الانزلاق (FSB)، شكلاً مرناً تماماً للحلقة التخلفية (hysteresis shape)، وذلك من دون تشوه صلب بعد تجاوز القوة المطبقة لمعامل الاحتكاك (friction coefficient) في لحظة تطبيق الحمل الشاقولي، مما يجعل هذا النوع من العوازل مرغوباً فيه من منظور تصميم المنشآت، وذلك لأنَّ قوة القص القاعدي (base shear) تكون مقيدة بقوة الانزلاق للعازل (sliding_force). **[2]**



الشكل (4): يبيّن علاقة القوة–انتقال لعازل الانزلاق Flat Sliding Bearings. **[2]**

في الحياة العملية لا تُسْتَخْدَمُ عازل الانزلاق وحده وذلك لسببين:

1. إنَّ الانتقالات غير مقيدة، وذلك لعدم وجود قوة تركيز (centering force).
2. إنَّ تأثير الاحتكاك من المرجح أن يتطلب قوة لبدء انزلاق العازل (FSB) أكبر من القوة المطلوبة للحفاظ على الانزلاق.

تُحَدَّدُ خصائص نظام عزل الانزلاق (Flat Sliding) بالاعتماد على العلاقة الآتية:

$$F(t) = \mu W \sin \dot{U}$$

مخمد الاحتكاك الدوراني (FD):

(Rotation Friction Dampers):

صُمِّمَ هذا الجهاز لتبديد الطاقة الزلزالية وحماية المباني من الأضرار الهيكلية والبنيوية خلال الزلازل المعتدلة والحادة.

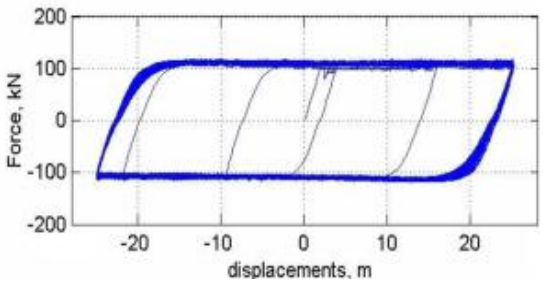
ويستخدم مخمد الاحتكاك الدوراني (FD) مع أنظمة عزل أخرى مثل (LRB)، أو(FSB) وغيرها، كمخمدات مكملة للسيطرة على تشوه العوازل، وأيضاً لتشكيل أنظمة عزل هجينة.

تتأثر الاستجابة الشاملة للمبنى بشكل رئيس بخصائص

المخمد مثل (لحظة الانزلاق والاحتكاك والخصائص اللزجة جنبا إلى جنب مع الترددات الطبيعية للمنشأ).

اِخْتُبِرَ مخمد احتكاكي بقدرة كبيرة (120 KN)، إذْ بُنِيَ واِخْتُبِرَ في جامعة DTU في الدنمارك، وقد طُبِّقَتِ الأحمال بترددات وسعات انتقال مختلفة. [3]

تشير نتائج الاختبار، الشكل (5)، إلى استقرار كبير في الأداء للمخمد خلال دورات تحميل كثيرة، وذلك لـ 100 دورة تحميل، مع تردد 0.5 HZ، وسعة انتقال 25 mm، ومما ساعد المخمد على الأداء الجيد هو استخدام وسادة خاصة للاحتكاك في المفصل الذي يربط ألواح المخمد. [3]



الشكل (5): يبيّن نتائج اختبار المخمد خلال دورات التحميل[3]

تُحَدَّدُ القوة في المخمد من خلال المعادلة الآتية:

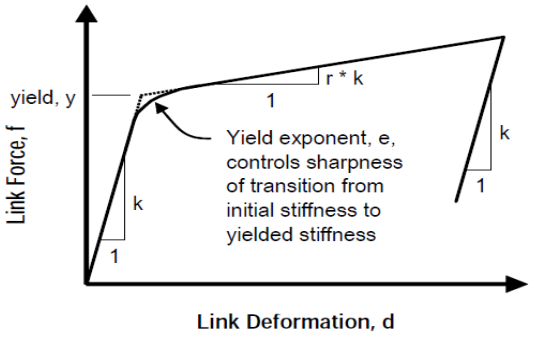
$$F = r.k.d + (1 - r).y.z$$

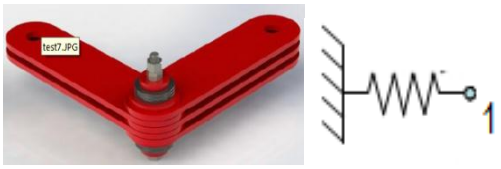
إذْ:

$$-1 \leq z \leq 1 :Z$$

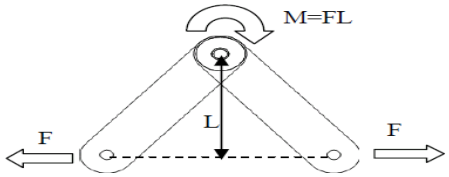
The hysteretic variable where the initial value of z is zero.

يبيّن الشكل (6) النموذج الرياضي للمخمد الاحتكاكي:





الشكل (6): علاقة القوة – انتقال للمخمد (FD) ونموذج المخمد الرياضي [4]، [5].



الشكل (7): آلية عمل المخمد الاحتكاكي الدوراني (FD) [5].

5-نظام العزل الهجين المستخدم في البحث:

يتكون نظام العزل الهجين من ثلاثة أنواع مختلفة من أجهزة العزل، تعمل في وقت واحد:

1) العوازل المطاطية (LRB): وهي عوازل ذات تخميد صغير أو معدوم توضع بهدف تأمين قوة إرجاع.
2) مخمدات الاحتكاك الدورانية (FD): وهي مخمدات تقوم بتبديد كميات ملحوظة للطاقة اِسْتُعْمِلَتِ مخمدات الاحتكاك الدورانية عند قاعدة المنشأ في مستوي العزل(FD)، وفي الطوابق على طول ارتفاع المنشأ (Story_FD).
3) عوازل الانزلاق (FSB): التي تتميز بتخميد منخفض وقساوة منخفضة من خلال عتبة انزلاق منخفضة.

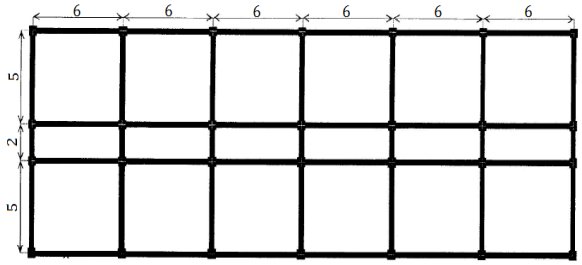
6- الدراسة التحليلية:

أُجْرِيَتِ الدراسة التحليلية للبناء العالي من عشرين طابقاً، كما هو مبيّن في الشكل (8) والجدول (1)، وذلك بتأثير زلزال السنترو الشكل (9).

الجدول (1): مواصفات البناء المدروس [6].

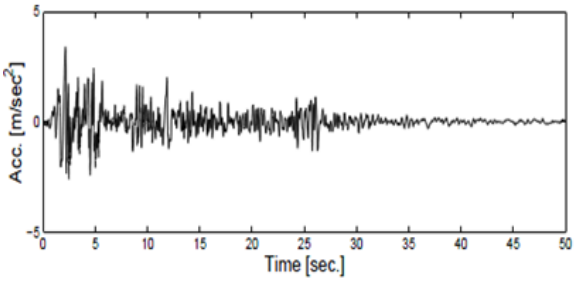
الارتفاع طابقي	3m
أبعاد الجوائز	70X30cm
أبعاد الاعمدة	50X50cm
سماكة البلاطة مصمتة	15cm
أحمال التغطية	3KN/m²
الأحمال الحية	3KN/m²

يبيّن الشكل (8) المسقط الأفقي للبناء البيتوني المدروس المكون من إطارات مقاومة للعزوم:



الشكل (8): مسقط البناء المدروس [6].

يبيّن الشكل (9) سجل زلزال السنترو المستخدم في الدراسة التحليلية:



الشكل (10): سجل زلزال السنترو [4].

مراحل الدراسة التحليلية:

اولاً: باستخدام العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية مع إضافة مخمدات الاحتكاك الدورانية عند قاعدة البناء، وفي الطوابق على ارتفاع المنشأ (FD+FSB+LRB+Story_FD)، وبقدرة تحمل 150 KN للمخمد الدوراني.

ثانياً: باستخدام العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية مع إضافة مخمدات الاحتكاك الدورانية فقط في الطوابق، وعلى ارتفاع المنشأ(FSB+LRB+Story_FD) بعدة قدرات تحمل للمخمد الدوراني (50&100&150KN).

ثالثاً: مقارنة النتائج بنتائج دراسة سابقة [14] اِسْتُخْدِمَ فيها نظام العزل الهجين (FD+ FSB+ LRB) عند القاعدة فقط.

يبيّن الجدول (2) خصائص المساند المطاطية (LRB) المستخدمة:

الجدول (2): خصائص المساند المطاطية (LRB). [6]

$keff$	$1400\ KN/M$
$k1$	$7350\ KN/m$
PT	$250\ KN$
α	10%

اِسْتُخْدِمَتْ عوازل الانزلاق المسطحة من نوع (FSB) إذْ عُدَّتْ قوة الاحتكاك تساوي 10% من الحمولة الميتة:

$$F(t) = \mu * W = 0.1 * W_D$$

اِسْتُخْدِمَتْ الخواص اللاخطية الآتية لنمذجة مخمد FD وذلك كما في [7]:

- الصلابة الأولية للمخمد k:

$$k = 50000 \longrightarrow 150000\ KN/m$$

- القوة في المخمد عند بداية الخضوع:

$$\text{Yield force} = 50 \longrightarrow 150KN$$

مع تثبيت بقية البارامترات:

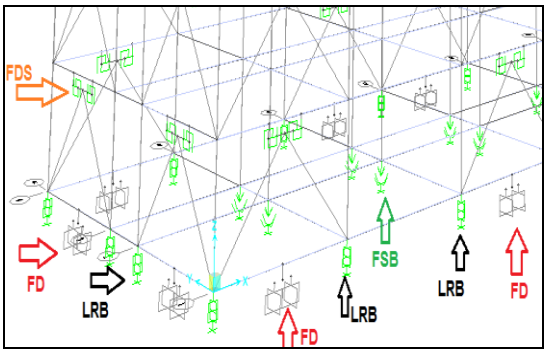
- r: نسبة الصلابة اللدنة إلى الصلابة الأولية

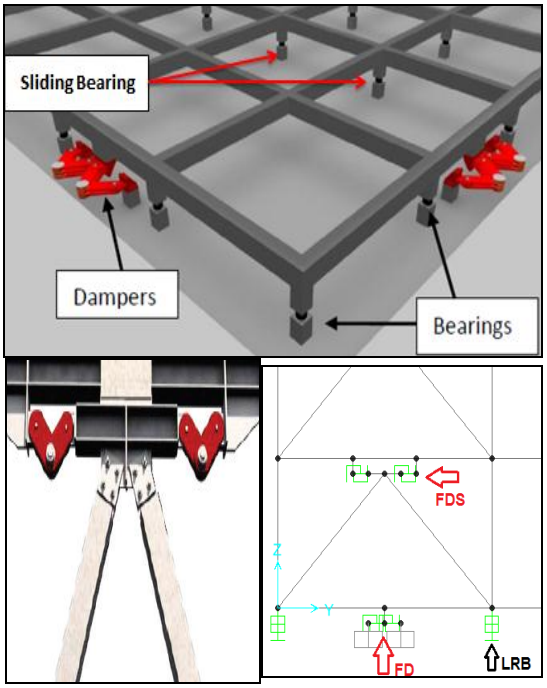
$$\text{Yield ratio} = r = 0.00001$$

- e: المعامل الذي يسيطر على شكل الانتقال من المجال المرن إلى المجال اللدن، وكلما زادت قيمته ازدادت شدة الانحناء في الشكل (6)، اعتمدنا قيمة للمعامل (e):

$$\text{Yield exponent, } e=20$$

يوضّح الشكل (10) نموذج المنشأ باستخدام برنامج (SAP2000) [4]، وأماكن توزع العوازل الزلزالية، وأماكن توضّع المخمدات (SFD) على طوابق البناء.





الشكل (10): نموذج المنشأ باستخدام برنامج "SAP2000" وتوضيح لتوزع العوازل الزلزالية وحالات توضع المخمدات الزلزالية على إطارات البناء لحالات الدراسة.

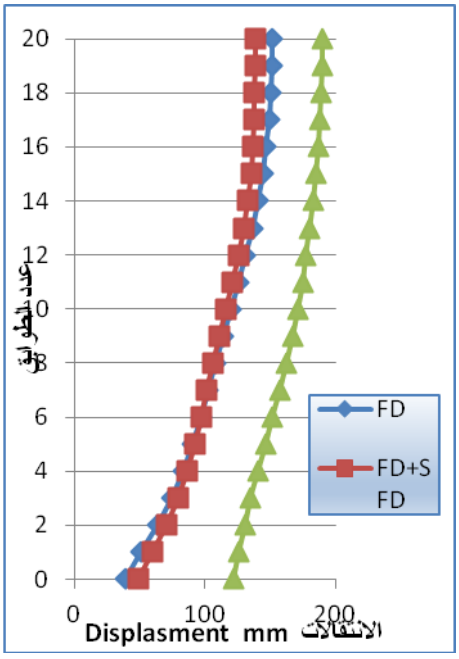
أُجْرِيَ التحليل لعدة نماذج للبناء بارتفاع 20 طابقاً؛ وذلك بهدف اختيار المخمدات والعوازل وتوزعها للحصول على النتيجة الفُضْلَى:

– نموذج البناء معزول عند القاعدة بنظام العزل الهجين والتخميد (LRB+ FSB+FD) بحسب دراسة سابقة [7] مع إضافة المخمدات الدورانية الاحتكاكية على ارتفاع الطوابق (SFD).

– نموذج البناء معزول عند القاعدة بنظام العزل الهجين (LRB+FSB) مع إضافة المخمدات الدورانية على ارتفاع الطوابق (SFD) بقدرات تحمل مختلفة من 50kN إلى 150kN، إذْ قدرة تحمل المخمد هي القوة اللازمة للوصول إلى سعة الانتقال الأعظمية للمخمد.

7-مناقشة النتائج وتحليلها:

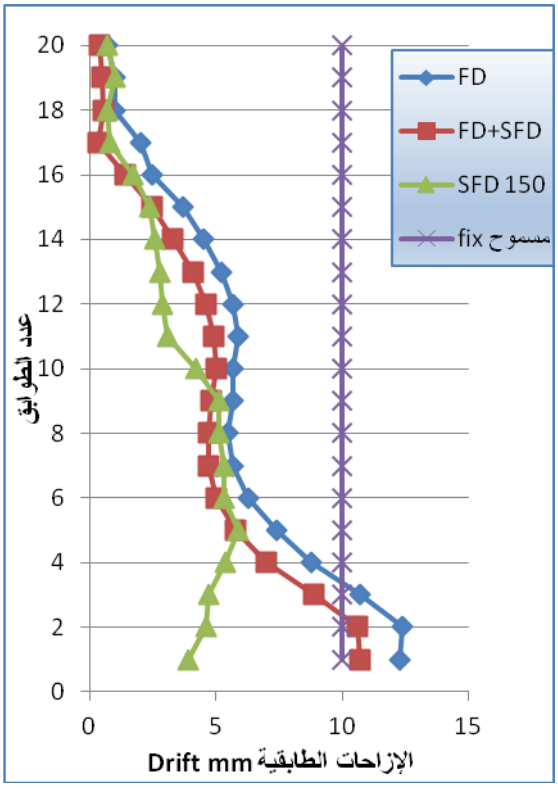
يوضّح الشكل (11) العلاقة بين الانتقالات الطابقية وعدد الطوابق لحالات إضافة المخمدات الزلزالية عند القاعدة وعلى مستوي الطوابق (FD، SFD) **للمنشأ المعزول بنظام** (FSB+LRB):



الشكل(11): انتقالات الطوابق للمنشأ بارتفاع 20 طابقاً

إذْ نلاحظ من مقارنة انتقالات المبنى المعزول والمزود بمخمدات الاحتكاك (FD) عند القاعدة والمبنى الموزد بـ(SFD) في الطوابق والمبنى الموزد بـ(FD+SFD) في الطوابق والقاعدة معاً: أنَّ إضافة المخمد SFD على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB+FD)، أدى إلى زيادة طفيفة بالانتقالات للطوابق السفلية تقريباً 6 %، وإلى تخفيف بانتقالات الطوابق العلوية تقريباً 5%، مقارنة بانتقالات المنشأ المعزول بـ (LRB+FSB+FD)، أمّا إضافة المخمد (SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB) دون استخدام المخمد الاحتكاكي (FD) عند القاعدة فأدَّى إلى زيادة الانتقالات مقدار 45%، مقارنة بانتقالات المنشأ المعزول بـ (LRB+FSB+FD). ويعود ذلك إلى أن زيادة قساوة المبنى كانت دون صلابة كافية لمستوي العزل.

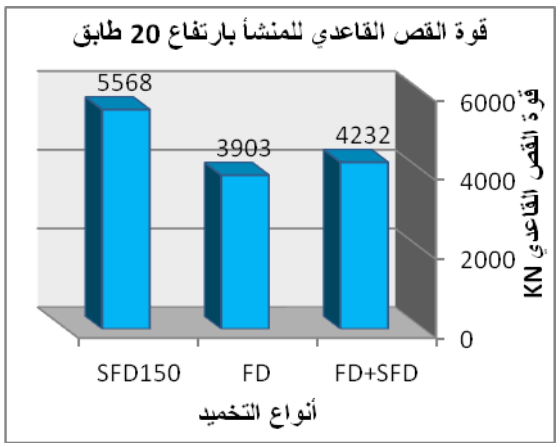
يوضّح الشكل(12) منحنيات الإزاحات الطابقية (Drift) عند مستوي كل طابق:



الشكل(12): مقارنة الإزاحات الطابقية للمنشأ بارتفاع 20 طابقاً

إذْ نلاحظ أن وضع مخمد الاحتكاك (Story FD SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB+FD)، كان له أثر إيجابي في تخفيض الإزاحة الطابقية، إذْ أدى إلى تخفيض الإزاحات الطابقية للمنشأ بنظام (LRB+FSB+FD+SFD) مقدار 21 % مع تجاوز الإزاحة الطابقية في الطابق الأول والثاني الإزاحة الطابقية المسموحة في الحالة المرنة /10mm/، أمَّا إضافة المخمد(SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB) فقط دون استخدام المخمد الاحتكاكي عند القاعدة (FD) فكان له أثر إيجابي في تخفيض الإزاحة الطابقية إذْ أدى إلى تخفيض الإزاحات الطابقية مقدار 40% مقارنة بالإزاحات الطابقية للمنشأ المعزول بـ (LRB+FSB+FD). ويعود ذلك إلى أنَّ إضافة مخمد الاحتكاك في الطوابق زادت صلابة المبنى في حين إزالته من طابق العزل أدت إلى تخفيض قساوته، ومن ثَمَّ اهتز المبنى ككتلة صلبة فوق طابق العزل لكن بمطال أكبر.

يبيّن الشكل (13) مقارنة قوة القص القاعدي لحالة المنشأ المعزول بـ(FSB+LRB) مع إضافة المخمدات الاحتكاكية:



الشكل(13): قوة القص القاعدي في المنشأ بارتفاع 20 طابقاً

إذْ نلاحظ أنَّ: استخدام مخمد الاحتكاك (SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB+FD) كان له أثر سلبي في قوة القص القاعدي إذْ أدى إلى زيادة قوة القص القاعدي مقدار 9%، أيضاً إضافة المخمد (SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB) فقط دون استخدام المخمد الاحتكاكي عند القاعدة كان له أثر سلبي في تخفيض قوة القص القاعدي، إذْ أدى إلى زيادة قوة القص القاعدي مقدار 43 % مقارنة بقوة القص القاعدي للمنشأ المعزول بـ (LRB+FSB+FD).

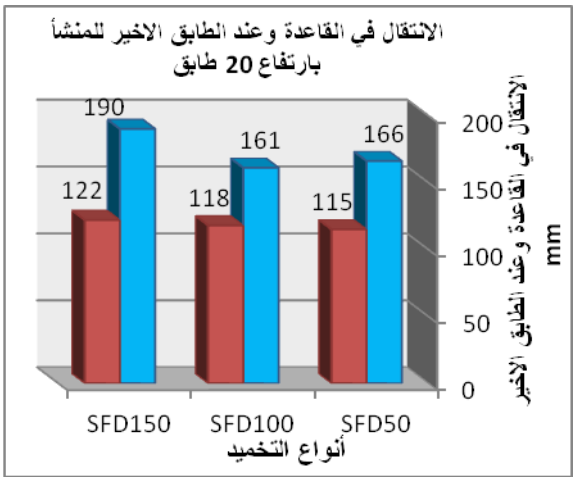
ومن ثَمَّ:

نلاحظ أنَّ استخدام مخمدات الاحتكاك الدورانية عند القاعدة وعلى ارتفاع الطوابق كان له أثر إيجابي في تخفيض الإزاحات الطابقية في حين لم يكن له تأثير يذكر في الانتقالات، وأدى إلى زيادة في قوة القص القاعدي، مقارنة بالمنشأ المعزول بنظام (LRB+FSB+FD)، أمَّا استخدام مخمدات الاحتكاك الدورانية على ارتفاع الطوابق فقط دون استخدامها عند القاعدة للمنشأ المعزول فكان أكثر فعالية في تخفيض الإزاحات الطابقية لكن أدى إلى زيادة الانتقالات وقوة القص القاعدي مقارنة بالمنشأ

المعزول بنظام (LRB+FSB+FD).

بمتابعة التحليل للمنشأ بارتفاع (20) طابقاً المعزول بـ (LRB+FSB) مع إضافة مخمد الاحتكاكي على ارتفاع الطوابق بقدرات تحمل مختلفة:

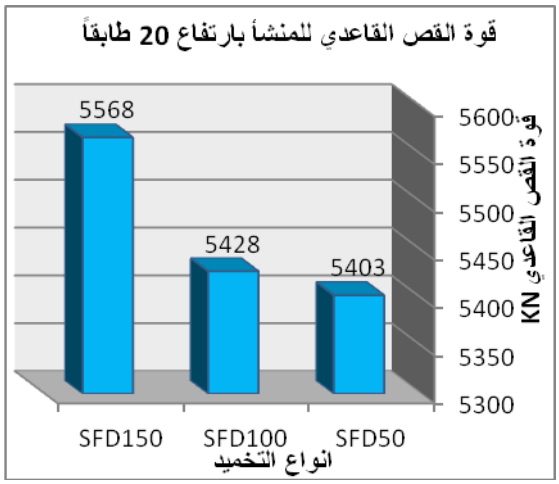
يبيّن الشكل (14) الانتقال عند القاعدة، وعند أعلى الطابق الأخير للمنشأ **المعزول بـ**(LRB+FSB) **مع** حالات استخدام المخمد الدوراني على ارتفاع الطوابق (SFD) **بقدرات تحمل مختلفة:**



الشكل(14): الانتقال عند القاعدة وفي أعلى طابق للمنشأ 20 طابقاً.

إذْ نلاحظ أنَّ وضع مخمد الاحتكاك (SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB)، بقدرة تحمل (100 KN)، كان أكثر فعالية في تخفيض انتقالات المنشأ مقارنة باستخدام مخمد بقدرة تحمل 50KN أو 150KN، إذْ أدى إلى فرق انتقال بين قاعدة المنشأ وأعلى المنشأ مقدار 42 mm في حين استخدام المخمد بقدرة 50 KN أدى إلى فرق انتقال بين قاعدة المنشأ وأعلاه 51 mm، واستخدام مخمد بقدرة 150 KN أدى إلى فرق انتقال 68 mm. وذلك يدل على أهمية اختيار استطاعة المخمد بحيث نوازن بين تخفيض الإزاحة وزيادة القص القاعدي الناتجين عن زيادة قساوة المنشأ فوق طابق العزل.

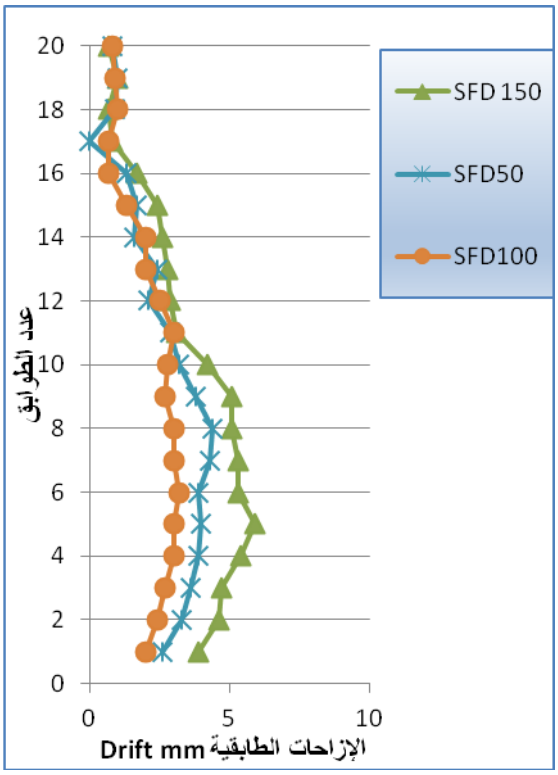
يبيّن الشكل(15) قوة القص القاعدي للمنشأ بارتفاع 20 طابقاً المعزول بـ (LRB+FSB) مع حالات استخدام المخمد الدوراني على ارتفاع الطوابق (SFD) بقدرات تحمل مختلفة:



الشكل(15): الشكل يبين قوة القص القاعدي للمنشأ 20 طابقاً

إذْ نلاحظ بمقارنة قوة القص القاعدي لحالات استخدام (SFD) بقدرات تحمل مختلفة في للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB) أنَّ زيادة قدرة تحمل مخمد الاحتكاك من قدرة تحمل قليلة 50KN إلى قدرة تحمل أكبر 100 KN أدت إلى زيادة طفيفة في قوة القص القاعدي تقريباً 25 KN، أمَّا زيادة قدرة تحمل مخمد الاحتكاك إلى 150 KN فتؤدي إلى زيادة أكبر في قوة القص القاعدي تقريباً 165 KN مقارنة باستخدام مخمد بقدرة تحمل 50 KN، ومن ثَمَّ الزيادة الكبيرة لقدرة تحمل مخمد الاحتكاك الدوراني على مستوى الطوابق لها أثر سلبي إذْ تؤدي إلى زيادة في قوة القص القاعدي. وذلك لأن زيادة قدرة تحمل المخمد تدريجياً تؤدي إلى زيادة الفرق بين التسارع أسفل البناء وأعلاه، وتسهم في عدم انتظام التسارع على ارتفاع البناء، وتؤدي إلى زيادة اهتزاز القسم العلوي للمنشأ، وكل زيادة في قدرة تحمل مخمد الاحتكاك تؤدي إلى انخفاض الطاقة في نظام العزل، وزيادة الطاقة الحركية الكامنة في القسم العلوي من المنشأ. ومن ثَمَّ: فإنَّ زيادة قدرة تحمل المخمد الاحتكاكي (زيادة معامل الاحتكاك) تؤدي إلى تقريب المنشأ المعزول من وضع المنشأ التقليدي بين الشكل

(16) الإزاحات الطابقية للمنشأ بارتفاع 20 طابقاً المعزول بـ (LRB+FSB) مع حالات استخدام المخمد الاحتكاكي الدوراني على ارتفاع الطوابق (SFD) بقدرات تحمل مختلفة KN /150–100–50/:



الشكل(16): الشكل يبين الإزاحات الطابقية للمنشأ 20 طابقاً

إذْ نلاحظ بمقارنة الإزاحات الطابقية (Drift) للمنشأ بارتفاع 20 طابقاً لحالات استخدام (STORY FD) بقدرات مختلفة أنَّ وضع مخمد الاحتكاك (SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بـ(LRB+FSB)، بقدرة تحمل (100 KN)، كان أكثر فعالية في تخفيض الإزاحات الطابقية للمنشأ مقارنة باستخدام مخمد بقدرة تحمل 50 KN أو 150 KN، إذْ أدى إلى تخفيض الإزاحات الطابقية للمنشأ مقدار 17.5% مقارنة باستخدام المخمد بقدرة 50 KN الذي أدى إلى تخفيض الإزاحات الطابقية للمنشأ مقدار **37.5%** مقارنة باستخدام مخمد بقدرة تحمل 150 KN.

8-ملخص نتائج البحث:

أدّى استخدام نظام العزل القاعدي الهجين ومخمدات الاحتكاك الدورانية إلى النتائج الآتية:

- كان له أثر سلبي في انتقالات المنشأ بمقدار 45 % وقوة القص القاعدي بمقدار 43 %، في حين كان له أثر إيجابي في الإزاحات الطابقية بمقدار 40% مقارنة بالمنشأ المعزول بـ (LRB+FSB+FD).
- أدى إلى زيادة في قوة القص القاعدية مقدار 9% في حين خفض الإزاحات الطابقية (drift) مقدار 21% مع زيادة مرونة المنشأ، وخفض الانتقالات 5% مقارنة بالمنشأ المعزول بـ (LRB+FSB+FD).
- إنَّ استعمال قدرة تحمل منخفضة لمخمد الاحتكاك الدوراني (50KN SFD) على ارتفاع الطوابق للمنشأ المعزول بنظام العزل الهجين (LRB+FSB) لم يكن له تأثير كبير في زيادة صلابة المنشأ، ومن ثَمَّ لم يكن فعالاً بتخفيض فرق الانتقال بين أسفل المنشأ وأعلاه مقارنةً باستخدام مخمد بقدرة تحمل أكبر (100KN SFD).
- إنَّ استعمال قدرة تحمل كبيرة لمخمد الاحتكاك الدوراني (150KN SFD) في طوابق المنشأ المعزول بنظام العزل الهجين (LRB+FSB) كان له أثر كبير في زيادة الصلابة على طول ارتفاع المنشأ؛ ممَّا أدى إلى زيادة قوى القص القاعدي دون تخفيض انتقال أعلى المنشأ؛ ممَّا سبب فرقاً في الانتقال بين أسفل المنشأ وأعلاه، وزيادة الإزاحة الطابقية مقارنة بمخمد بقدرة تحمل أقل (100KN SFD).
- إنَّ استعمال المخمد (100KN SFD) في طوابق المنشأ كان الأفضل إذْ أعطى قساوة وسطية للمنشأ أدت إلى المحافظة على قوى القص القاعدية قريبة من المبنى المزود بمخمدات (50KN SFD)، مع تخفيض الإزاحة الطابقية وانتقال كل من أعلى المنشأ وأسفله.
- إنَّ استعمال المخمد الاحتكاكي في الطابق الأرضي من مبنى بنظام العزل الهجين (LRB+FSB)، من حيث الانتقالات أو قوة القص القاعدية، كان له أثر إيجابي في تخفيض الإزاحات الطابقية مع زيادة مرونة المنشأ، إذْ

خفض الإزاحات الطابقية للمنشأ 20 طابقاً بنسبة 15% مقارنة بالمنشأ المعزول بـ (LRB+ FSB).

9-**التوصيات:**

يوصي البحث بدراسة أمثلة استطاعة المخمدات في الجملة فوق مستوى العزل وفي جملة العزل الزلزالي بهدف الحصول على القساوة المُثْلَى للجملتين التي ينتج عنها أفضل استجابة للمنشأ المعزول المزود بمخمدات الاحتكاك الدورانية.

10-**مسرد المصطلحات والرموز:**

الرمز	المعنى
LRB	العازل المطاطي المزود بنواة رصاصية
FSB	عازل الاحتكاك المسطح
FD	مخمد الاحتكاك الدوراني
SFD	مخمد الاحتكاك الدوراني في الطوابق
K_{eff}	الصلابة الفعالة للعازل المطاطي
C_{eff}	التخميد الفعال للعازل المطاطي
μ	معامل الاحتكاك
W	الوزن المطبق على سطح العازل المسطح
$\sin(\dot{U})$	تابع إشارة الحركة
F	القوة في المخمد
d	الانتقال في المخمد
k	قساوة المخمد الاحتكاكي الدوراني
y	عتبة الانزلاق لمخمد الاحتكاك
r	نسبة الصلابة اللدنة إلى الصلابة الأولية
e	معامل شكل الانتقال من المجال المرن إلى اللدن

المراجع (Reference) *

- Kelly, Trever,"Base Isolation of Structure “,Design Guideline Holmes Consulting Group, (2001)
- Michael, D. Symans,”Design Examples Seismic Isolation “, Instructional Material Complementing FEMA 451.
- Naeim, F., Kelly, J, "Design of seismic isolated structures", Wiley, New York, (1996).
- SAP2000, Software Verification.
  Toyooka, T. Himeno, Y. Hishijima, H. Iemura and I. Mualla, ” VERIFICATION TESTS OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF THE NOVEL FRICTION-BASED ROTATIONAL DAMPER USING SHAKING TABLE ” , The 14 The World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Tracy Thaer, “The behavior of Seismically Isolated Buildings Using Rubber Bearing", Master, the Higher Institute of Seismic Studies and Research, University of Damascus, 2011.
- Barmo Alaa, “The behavior of multi-story buildings seismically isolated with Friction Isolation and equipped with Friction Viscous Elastic Damper", Master, the Higher Institute of Seismic Studies and Research, University of Damascus, 2013.

* تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2015/3/15