

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

طالب الدكتوراه: علاء برممو - المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية -
جامعة دمشق

الدكتورة المشرفة: ميادة الأحمد الكوسا

المشرفة المشاركة: د. هالة حسن

المخلص

تستخدم أنظمة العزل والتخميد الزلزالي عند قاعدة المنشآت لتخفيض قوة القص القاعدي والتسارعات والإزاحات الطابقيه بالمقارنة مع الأبنية ذات الصلابة العالية (منخفضة الارتفاع)، وتتخفف فعالية العزل الزلزالي مع زيادة ارتفاع المنشأ، بالتالي كان لا بد من البحث في تطوير نظام عزل وتخميد فعال في تخفيض قوة القص والإزاحات الطابقيه والتسارعات للأبنية العالية.

تم في هذا البحث دراسة أثر استخدام السلوك الهستيرري لأسلاك خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) كأجهزة تخميد وإعادة تمركز، وذلك لتطوير نظام عزل هجين مكون من عوازل الانزلاق المسطحة (FSB)، والعوازل المطاطية المزودة بنواة رصاصية (LRB)، ومقارنتها مع استجابة الأبنية المعزولة باستخدام نظام عزل هجين (FSB+LRB) لوحده، وذلك لتوفير تبديد أكبر للطاقة دون التسبب بزيادة الإزاحات المتبقية.

تم إجراء التحليل الزلزالي لبعض الأبنية المدروسة بارتفاعات طابقيه متزايدة، بطريقة التحليل الديناميكي اللاخطي (Nonlinear Dynamic Analysis)، وبمساعدة برنامج (SAP2000 v22)، واستعمال السجل الزمني لزلزال السنترو (El-Centro). أظهرت

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

النتائج فعالية استخدام أسلاك خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) كأجهزة تخميد وإعادة تمركز لتكميل عمل نظام العزل القاعدي (LRB+FSB+SMAs). كان له أثر كبير في تحسين أداء المنشأ لمقاومة الزلازل وخصوصاً في تخفيض الانتقالات (Displacements) وقوة القص القاعدية (Base shear) مع زيادة الارتفاع، وانسيابية الإزاحات الطابقية (Drift).

الكلمات المفتاحية: العزل الزلزالي، خلائط ذاكرة الشكل (SMAs)، المرونة الفائقة، العزل القاعدي، التخميد، الإزاحات المتبقية.

Comparison Studies of the Effectiveness of Base Isolation Systems (Friction and Rubber) with Shape Memory Alloy Dampers (SMAs) to Improve the Seismic Response of Isolated Buildings

ABSTRACT

Increased resistance to earthquake forces is not always a desirable solution for buildings which house contents that are irreplaceable or simply more valuable than the actual primary structure (eg museums, data storage Centre's, etc.). Base isolation and seismic dampers can be employed to minimize inter-story drifts and floor accelerations via specially designed Isolation and dampers System at the structural base, or at higher levels of the superstructure.

In this research we'll examine the response of isolated buildings using the flag-shaped hysteretic behavior of Shape Memory Alloys (SMAs) can be conveniently used for developing efficient isolation systems consisting of Lead-Rubber Bearings (LRB), Flat Sliding Bearings (FSB), and compared with the response to the isolated buildings with (LRB+FSB), about providing energy dissipation without implying residual displacements.

We will conduct seismic analysis of the twenty-story building height Where we'll as a way "TIME HISTORY ANALYSIS", with help of SAP2000 v22, and using a registry timetable for earthquake (El-Centro).

Numerical simulation results indicated that developing the base Isolation system (LRB + FSB) by using shape memory alloy wires ((SMAs)) as a re-centering damper can reduce structure's displacement, Base shear, Drift flow response effectively ,with increase the Story

Consequently, it is considered as a very effective solution to use shape memory alloy with the protection and isolating systems about earthquakes effects on structures and buildings.

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلائط ذاكرة الشكل
(SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

KEYWORDS: Seismic isolation, Shape memory alloys, Super elasticity, basement isolation, Residual roof displacement, drift.

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلائط
ذاكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

1- مقدمة:

يعتبر العزل الزلزالي من أهم الطرق الإبداعية للتصميم الزلزالي، حيث يهدف إلى حماية المنشأ من الخطر الناتج عن الزلازل، وذلك بتخفيض القوى الزلزالية التي يتعرض لها المنشأ وليس بمقاومة تلك القوى بشكل مباشر، حيث تصمم العوازل الزلزالية القاعدية بصلاية صغيرة بالإتجاه الأفقي لكن يجب أن تحقق التوازن لتخفيض القوة التي يتم نقلها عبر العازل إلى الجملة الإنشائية، وبين الانتقال للعازل ليكون بالحد المقبول، وذلك خلال التعرض للزلازل بالإضافة إلى قوة إرجاع تعيد المبنى لوضعه الأولي وتقلل من الانتقالات المتبقية.

ومع ذلك، حتى إذا كانت العوازل مصممة جيداً، فإن عددًا قليلاً من أنظمة العزل الفعلية تمنع حدوث أضرار كبيرة في الجملة الإنشائية كالتشققات في البيتون، بالتالي تحتاج هذه العوازل إلى الإصلاح أو الاستبدال بعد الزلازل لإعادة الجملة الإنشائية إلى وضعها الأصلي عند الاساسات.

بالتالي هناك مطلب آخر لنظام العزل، وهو قدرة الإرجاع الكافية لتعيد المبنى لوضعه الأولي، وتقلل من الانتقالات المتبقية. وللحصول على هذه الغاية تم التركيز لتحسين قوة إعادة التمرکز لمختلف أنظمة العزل، ([10] Kelly) . وعلى سبيل المثال اقترح ([10] Kelly) الجمع بين عوازل الانزلاق المسطحة (FSB)، والعوازل المرنة (LRB)، للاستفادة من الميزات الأفضل لكل نوع من العوازل، حيث استخدمت العوازل المسطحة لتأمين دور أكبر للمنشأ، بينما استخدمت العوازل المطاطية لتأمين إعادة التمرکز. كما قام ([11] Mokha) بدراسة تجريبية لاستخدام عازل النواس الاحتكاكي، حيث يتم حمل الجملة الإنشائية على سطح انزلاق مقعر لتأمين قوة الإرجاع.

في الآونة الأخيرة فإن فئة من المواد الذكية تسمى خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) أصبحت مكوناً رئيسياً في تطبيقات العزل الزلزالي ([12] K. Wilde)، وذلك للعديد من خصائصها المميزة كتأثير ذاكرة الشكل ((shape memory effect (SME))، والمرونة الفائقة ((super elasticity (SE))، وقدرتها لتبديد الطاقة من خلال حلقات هستيرية كبيرة، والعمر التصميمي الكبير، ومقاومتها العالية للعوامل الجوية، وبناءً على هذه

الخواص تم تطوير العديد من أجهزة تبديد الطاقة من خلائط ذاكرة الشكل، حيث قام ([13] Clark) وآخرون للمرة الأولى بتقديم مخمد من خلائط ذاكرة الشكل الذي يتكون من مجموعتين متوازيتين من أسلاك (SMAs) مسبقة الشد، كما قام ([14] Dolce) وآخرون بتطوير هذا المخمد بإضافة مجموعات أخرى من أسلاك (SMAs) تعمل لإعادة التمرکز. أجرى ([15] Ling) وآخرون اختبارات على الخواص الميكانيكية لأسلاك خلائط (SMAs) Ti-Ni، ثم تمت المحاكاة البرمجية للحلقة الهستيرية لمخمد إعادة التمرکز، وأثبتت نتائج المحاكاة العددية فعالية المخمد لتقليل الانتقالات. تركز الدراسة على استراتيجية أنظمة العزل التقليدية (LRB) و (FSB)، وذلك باستخدام سلوك المرنة الفائقة لمواد حفظ ذاكرة الشكل (SMAs)، حيث تتميز هذه المواد بقدرتها لإعادة التمرکز بالإضافة لتبديد الطاقة. بالتالي يمكن التقليل من الازاحات الطابقيه وانتقال المبنى، مقارنةً مع المباني الموثوقة أو المعزولة بنظام العزل التقليدي وذلك باستعمال برنامج (SAP2000 v22)، وذلك بطريقة التحليل الديناميكي اللاخطي (Nonlinear Dynamic Analysis)، حيث ستعرض قاعدة المنشأ لـ 20 sec من زلزال EL Centro.

2- هدف البحث:

يهدف البحث لدراسة أثر استخدام سلوك المرنة الفائقة لخلائط ذاكرة الشكل كأجهزة تخميد وإعادة تمرکز مع نظام العزل الزلزالي القاعدي (LRB+FSB)، على استجابة المنشأ من حيث (تبديد الطاقة، والانتقالات المتبقية، وتخفيض الإزاحات الطابقيه (DRIFT)، وتوزع القوى القصية على ارتفاع المبنى).

3- منهجية ومجال البحث:

- عرض ملخص ومراجعة للأبحاث السابقة
- دراسة نظرية وطرق نمذجة العوازل والمخمدات المستخدمة في البحث.
- الدراسة التحليلية باستخدام برنامج (SAP2000-V22) ومناقشة النتائج:

نمذجة ودراسة البناء الخرساني المعزول الشكل (7-a) بمواصفات الدراسة المرجعية (Mahfouz, 2011 [18]) بعدة ارتفاعات (ثمانية، إثنا عشر، ستة عشر طبقاً)، باستخدام السجل الزمني لزلزال إلسنترو الشكل (7-c) وإجراء المقارنات لحالات الدراسة:

- الحالة الأولى: النموذج موثوق مع أساساته.
- الحالة الثانية: باستخدام وسائل العزل القاعدي (العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية) (LRB،FSB).
- الحالة الثالثة: باستخدام وسائل العزل القاعدي (العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية مع إضافة التخميد وإعادة التمرکز من خلائط ذاكرة الشكل عند قاعدة البناء) (LRB، FSB،SMAs).

4- خلائط ذاكرة الشكل (shape memory alloys SMAs): (L. Janke [16])

تتميز خلائط ذاكرة الشكل (shape memory alloys SMAs) بالقدرة على العودة إلى شكلها الأصلي تماماً، من خلال عدة تأثيرات كزيادة شدة الحرارة حتى في حال وجود الحمولات الكبيرة، كما تتميز بقدرتها على تبديد الطاقة عند خضوعها لأحمال تكرارية، كذلك يمكن استخدام هذه الخلائط ذات الخصائص المميزة كحساسات (تختلف مقاومتها الكهربائية بتغير حالة ارتصاص ذراتها) أو كمشغلات (محركات).

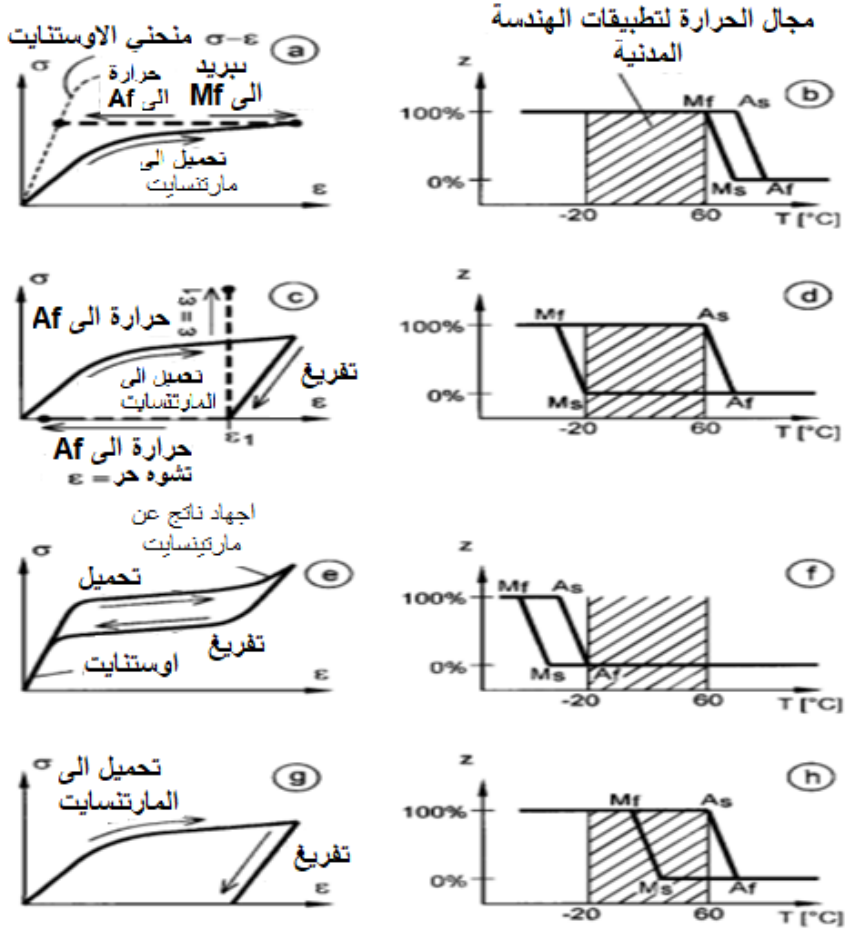
4-1 أطوار مواد خلائط ذاكرة الشكل (SMAs): (L. Janke [16])

تملك (SMAs) كمعظم الخلائط المعدنية أكثر من تركيب بلوري (crystal structure or polymorphism)، والذي يعتمد على درجة حرارة المادة والضغط الخاضعة له، يدعى الطور في الحرارة العالية بـ (austenite) حيث تكون الذرات أكثر انتظاماً وتزداد صلابة المادة، ويدعى الطور في درجات الحرارة الأدنى بـ (martensite) حيث تكون ذرات المادة أقل ترصاً، وتكون المادة أقل صلابةً وقابليةً للتشوه. إن قدرة خلائط (SMAs) على تبديل حالتها الكهربائية والحرارية والميكانيكية بين هذين الطورين هو ما يمنحها أهمية في تطبيقات الهندسة المدنية.

يوجد حتى الآن أكثر من 30 نوع من هذه الخلانط، ولكن قليل منها لديه القدرة ليتم استخدامه في تطبيقات الهندسة المدنية في ظروف حرارة معينة وتكاليف مقبولة، أهمها خلانط النيكل تيتانيوم (Ni-Ti) وخلانط الحديد المنغنيز والسيليكون (Fe-Mn-Si).

4-2- الظواهر المميزة لخلانط ذاكرة الشكل: (L. Janke [16])

- تعرف خلانط ذاكرة الشكل بقدرتها للعودة لشكلها الطبيعي عند تعرضها للحرارة بعد أن تكون اكتسبت تشوهات لدنة زائفة (pseudo plastic deformations) في طور الحرارة المنخفضة الشكل (1) (d & c)، ومن هنا اكتسبت تسمية خلانط ذاكرة الشكل. عند تقييد عودة المواد لحالتها قبل التشوه تتولد إجهادات في المادة يمكن استغلالها لإدخال قوة جديدة للمنشأ (قوة إرجاع - قوة سبق إجهاد).



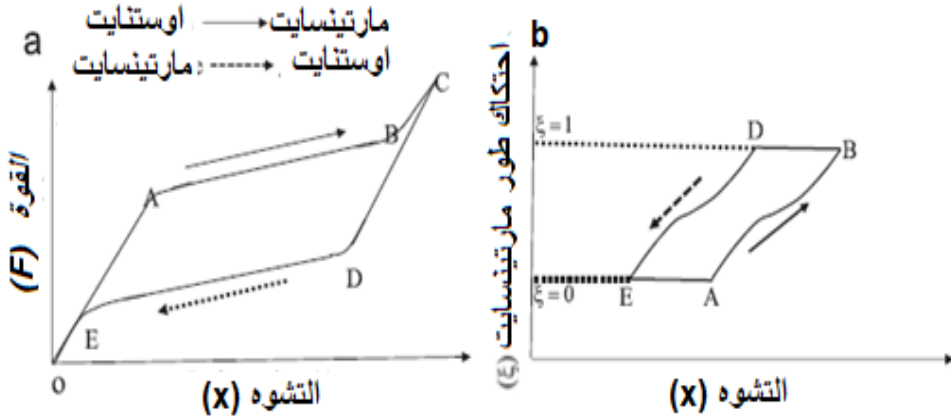
الشكل (1) منحنيات التشوهات والاجهادات الرئيسية لخلائط ذاكرة الشكل مع مخططات وأطوار التبدل الحراري (a) و (b)، ظاهرة استعادة الشكل (c & d)، ظاهرة المرونة الزائفة (super elasticity) (e & f)، تخميد طور Martensite (g & h). (L. Janke [16]).

- تملك خلائط SMAs ظاهرة أخرى هامة تدعى المرونة الزائفة (super elasticity or pseudo elasticity)، تحدث هذه الظاهرة عندما تتحول المادة بين طورَي (austenite) و (martensite) دون تغيير درجة حرارتها لكن من خلال تطبيق اجهادات على المادة مما يمنح هذه الخلائط شكل حلقة هستيرية مميز مرن ومبدد للطاقة الشكل (1) (e & f).

- أخيراً يجب ذكر خاصية ذاكرة الشكل باتجاهين حيث تملك بعض الخلائط القدرة على تذكر شكلين مختلفين تبعاً لدرجة حرارتها، ويتم ذلك من خلال تدريبها في شروط ميكانيكية وحرارية خاصة.

5- نمذجة ومحاكاة سلوك المرونة الفائقة لـ خلائط (SMA) : (Wilde, [17])

يتم الاعتماد على المرونة الفائقة لخلائط ذاكرة الشكل واستخدامها بشكل رئيسي لتبديد الطاقة في أنظمة العزل، في هذا الفصل سيتم تقديم أحد المعلومات النظرية للسلوك التجميعي للمرونة الفائقة والتي تعتبر من أهم خواص خلائط ذاكرة الشكل SMA والموضحة في الشكل (2)، في ظل شروط درجات حرارة متجانسة وأعلى من A_f ، ويتعرض مواد SMA لدورة تحميل وتفريغ ميكانيكي،



الشكل (2): a - يبين سلوك المرونة الفائقة b - انفعال طور التحول (martensite)

تكون خلائط ال SMA بداية وقبل تطبيق الحمل في طور (austenite) (AO)، وإثناء التحميل يبدأ التحول إلى طور (martensite) (AB) وتؤدي إلى أكبر قيمة للإجهاد. ومن ثم ينتهي التحول التدريجي في البنية المجهرية من طور (austenite) إلى طور (martensite) عند النقطة B.

يمكن تحديد جزء martensite في أي لحظة بـ ξ الشكل (2-b). عند التحميل الإضافي أو الزائد يظهر جزء martensite مرة أخرى متحول بشكل كامل وذلك دليل على الإجهاد الزائد (BC).

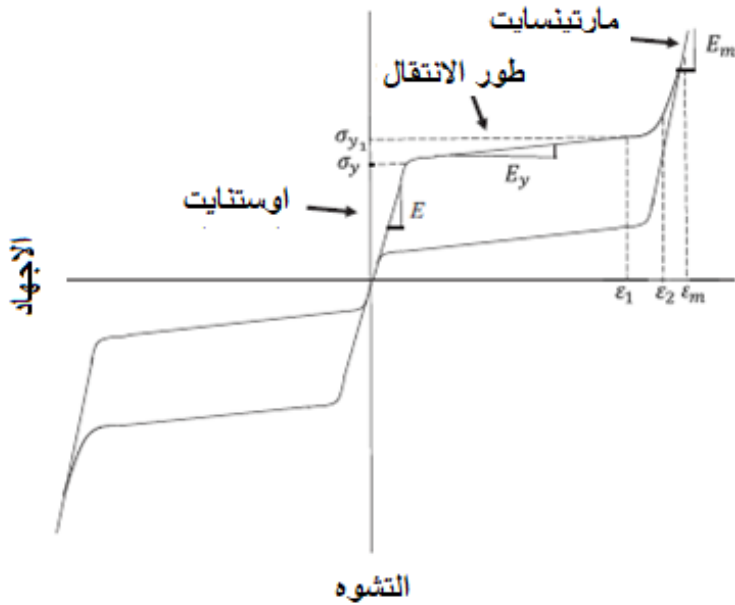
أثناء تفريغ الحمل (الجزء CD في الشكل (2-a)) يستعيد martensite شكله بشكل تدريجي إلى الخلف متحولاً من (martensite) إلى ((DE) austenite)، ويكون مصحوباً بتناقص في جزء (martensite) (ξ). تتحقق درجة اكتمال الـ (martensite) والمشار إليها في النقطتين B و E في الشكل (2a). يلاحظ أنه لا يبقى أي ازاحة متبقية بعد الانتهاء من عملية التحول الخلفي خلال عملية التفريغ للحمولة، وهذا خلافاً للسلوك التقليدي لإجهاد الانفعال لدى المعادن، وباعتبار (AE) تعبر (austenite) عن (BD) تعبر عن (martensite) فإن:

$$\xi AE + \xi BD = 1$$

..... (1)

هناك ميزتين مهمتين للحلقة الهستيرية لـ خلائط SMA:

- الحلقة الهستيرية كافية لتبديد الطاقة الزلزالية.
- لا تترك الحلقة الهستيرية أي ازاحة متبقية بعد انتهاء تبديد الطاقة.



الشكل (3) يبين تخطيط الحلقة الهستيرية لسلوك المرونة الفائقة [17]

من الشكل (3) شكل الحلقة الهستيرية يشكل دورة التحميل ومساحتها تشكل كمية الطاقة المبددة، على كل الأحوال للتوسع في الانفعال الذي يحصل عنده قساوة أكبر مثلما يحصل عند التحول إلى سلوك (Martensite) وفق نموذج (G-C)، تم التعبير عن التوسع بالنموذج المعدل من قبل وايلد وآخرون [17] Wilde et al وفق المعادلة :

$$\frac{d\sigma}{dt} = E \left[\frac{d\varepsilon}{dt} - \left| \frac{d\varepsilon}{dt} \right| \left(\frac{\sigma - \beta}{Y} \right)^n \right] u_I(\varepsilon) + E_m \left(\frac{d\varepsilon}{dt} \right) u_{II}(\varepsilon) + (3a_1 \frac{d\varepsilon}{dt} \varepsilon^2 + 2a_2 \text{sign}(\varepsilon) \frac{d\varepsilon}{dt} \varepsilon + a_3 \frac{d\varepsilon}{dt}) u_{III}(\varepsilon) \dots \dots \dots (2)$$

في هذه المعادلة تمثل:

σ N/m²: الاجهاد الخطي، ε mm: الانفعال /التشوه، E N/m² عامل المرونة لـ Austenite، Em N/m² هو عامل المرونة لـ Martensite ، المتغير t هو زمن

لتحديد نسبة اجهاد/تشوه (stress/strain) ، البارامترات a_1, a_2, a_3 هي ثوابت للتحكم بالمنحني المتعلق بتحول الطور، المتغيرات $u_I(\varepsilon), u_{II}(\varepsilon), u_{III}(\varepsilon)$ يعبر عنها كما يلي:

$$u_I(\varepsilon) = (1 - u_{II}(\varepsilon) - u_{III}(\varepsilon)) \dots \dots \dots (3.a)$$

$$u_{II}(\varepsilon) = \begin{cases} 1 & |\varepsilon| \geq \varepsilon_m \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots (3.b)$$

$$u_{III}(\varepsilon) = \begin{cases} 1 & \varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} > 0 \text{ and } \varepsilon_1 < |\varepsilon| < \varepsilon_m \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots (3.c)$$

بينما المصطلح $u_{II}(\varepsilon)$ ($d\varepsilon / dt$) في Eq(2) لوصف السلوك المرن لـ martensite، يتم تنشيطه لأن التشوه أعلى من ε_m ، والتشوه المقصود هو الذي يتم عنده اكتمال التحول من (austenite) إلى (martensite).

التحول الانسيابي للمنحني من E_y إلى E_m يتم الحصول عليه بإضافة عامل ثالث وأخير إلى المعادلة (2) ويقدر خلال التحميل وفي نطاق $\varepsilon_1 \varepsilon \varepsilon_m$.
 β : هو إجهاد إرجاع أحادي البعد، والذي يوصف بمعادلة:

$$\beta = E a \left\{ \varepsilon^{in} + f_t |\varepsilon|^c \operatorname{erf}(\alpha \varepsilon) \left[H \left(-\varepsilon \frac{d\varepsilon}{dt} \right) \right] \right\} \dots \dots \dots (4)$$

حيث تمثل ε^{in} التشوه غير المرن وتعطى وفق العلاقة:

$$\varepsilon^{in} = \left\{ \varepsilon - \left(\frac{\sigma}{E} \right) \right\} \dots \dots \dots (5)$$

المتغير α هو ثابت يتحكم في الميل (على غرار نسبة الصلابة) لمنحني $\sigma - \varepsilon$ ويتم تعريفها وفق:

$$\alpha = (E_y / (E - E_y)) \dots \dots \dots (6)$$

حيث E_y معامل المرونة وهو يمثل الميل بعد الخضوع.
التابع $\text{erf}(x)$ و $H(x)$ هو تابع واحدة الخطوة ويحدد على أنه:

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \dots \dots \dots (7.a)$$

$$H(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \dots \dots \dots (7.b)$$

حيث ان المعاملات c, a, f, t تتحكم باستعادة التشوه المرن خلال مرحلة التفريغ للحمل.
في الوقت الحاضر، معظم خلائط SMA تكون في شكل أسلاك، وهي تخضع للتحميل المحوري الدوري وبالتالي يتم التعبير عن قوة الإرجاع اثناء التقيد للسلك ب المعادلة:

$$FS = A * \sigma \dots \dots \dots (8)$$

حيث أن:

A : تمثل كامل مساحة السلك SMA،

σ : إجهاد التحميل المحوري في السلك SMA.

6- الدراسة التحليلية:

تم إجراء التحليل الزلزالي للبناء المعزول بنظام العزل (LRB+ FSB) مع إضافة أجهزة التخميد وإعادة التمركز (SMAs) الشكل (7-a) وذلك تحت تأثير 20 ثانية من السجل الزمني لـ زلزال السنترو الشكل (7-c)، وتم تطوير نموذج المنشأ باستخدام برنامج "V22 SAP2000" حيث تم إجراء الدراسة لثلاث مباني بارتفاعات (ثمان طوابق، إثنا عشر طابقاً، ستة عشر طابقاً)، وإجراء التحليل للمنشأ الموثوق مع أساساته، والمنشأ المعزول باستخدام (العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية) (LRB،FSB) والمنشأ المعزول باستخدام (العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية مع إضافة مخمدات خلاط ذكرة الشكل عند قاعدة البناء) (LRB، FSB،SMAs).

6-1- حالات الدراسة:

أولاً: المنشأ الموثوق بدون استخدام وسائل العزل الزلزالي.

ثانياً: المنشأ العزول باستخدام وسائل العزل الاحتكاكي (العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية) (LRB،FSB).

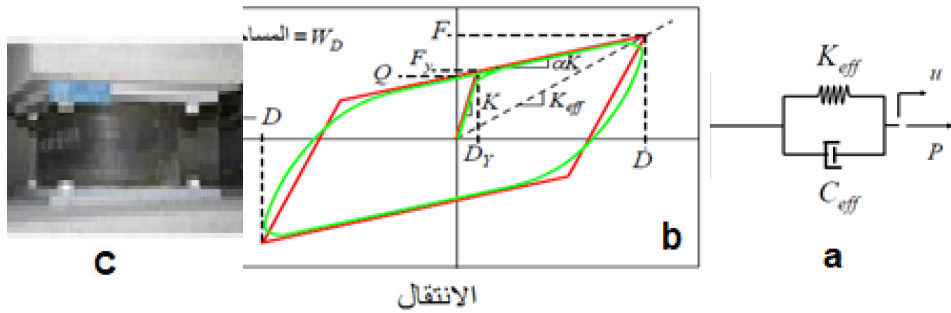
فيما يلي يبين الشكل (4) الموديل الرياضي الخطي للعازل المطاطي وخواصه المتمثلة بالبارامترين k_{eff} & C_{eff} ، حيث:

K_{eff} : الصلابة الفعالة الموافقة للانتقال التصميمي.

C_{eff} : التخميد الفعال المرتبط بالانتقال التصميمي.

وكذلك سلوك العازل المتمثل بالعلاقة بين قوة القص، والانتقال في المسند المطاطي.

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلاط ذكرة الشكل
(SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني



الشكل (4) (a) الموديل الرياضي للعازل المطاطي، (b) توضيح العلاقة بين القوة والانتقالات، (c) شكل العازل.

[1]

كما يبين الشكل (5) الحلقة الهستيرية وشكل عازل الانزلاق (Flat Sliding Bearings) والذي تحدد خواصه بالاعتماد على شرطين (parameters) ويوضح ذلك بالمعادلة التالية:

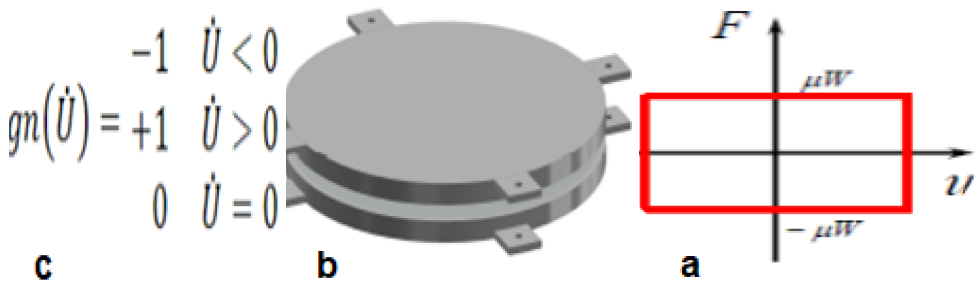
$$F(t) = \mu W \text{sign } \dot{U} \dots \dots \dots (9)$$

حيث:

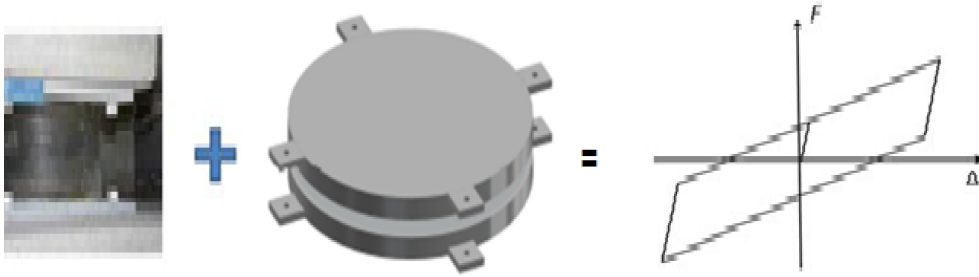
μ : هو معامل احتكاك سطح الانزلاق (coefficient of friction for the sliding)

W : مجموع القوى الزلزالية،

$\text{sign}(\dot{U})$: تابع إشارة

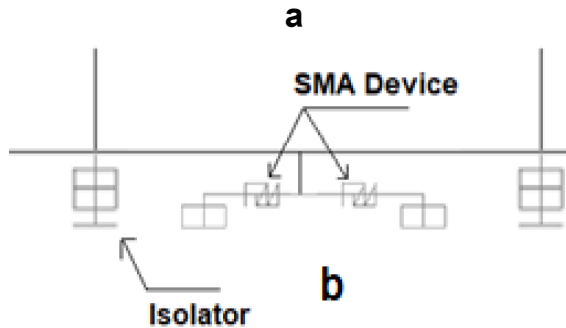
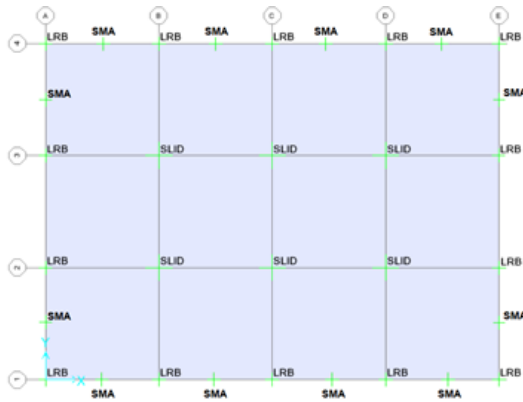


الشكل (5) يبين (a) الحلقة الهستيرية لعازل الانزلاق Flat Sliding Bearings متمثلة بعلاقة القوة-انتقال، (b) شكل العازل، (c) قيم تابع الإشارة

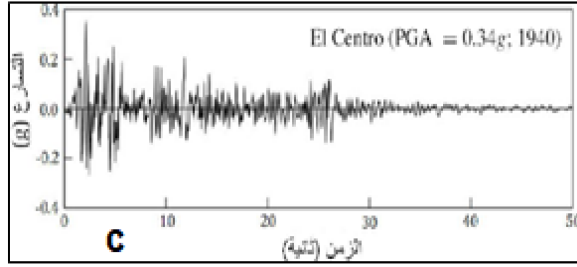


الشكل (6) يوضح الحلقة الهستيريرية لنظام العزل الهجين (LRB·FSB)

ثالثاً: باستخدام وسائل العزل الاحتكاكي (العوازل المطاطية والعوازل الانزلاقية مع إضافة مخمدات خلائط ذاكرة الشكل عند قاعدة البناء) (LRB، FSB·SMAs)، يوضح الشكل (7) مسقط المنشأ المدروس وتوضع أجهزة العزل والتخميد تحت تأثير زلزال السنترو:



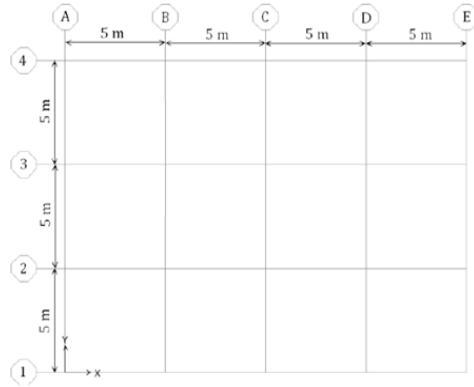
دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلاط ذاكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

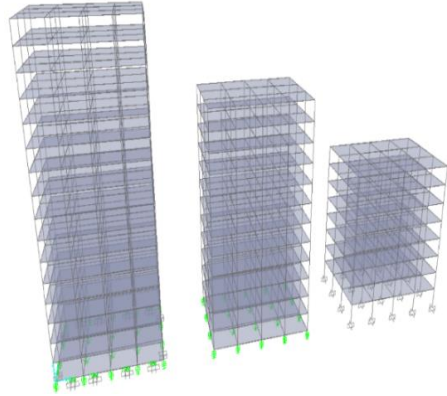


الشكل (7): (a) نموذج المنشأ ب 8 طوابق باستخدام برنامج "SAP2000 V22" وتوضيح لتوزيع العوازل الزلزالية، (b) حالات توضع مخمدات SMAs على مسقط البناء لحالات الدراسة تحت تأثير 20 ثانية من زلزال السنترو (c)

2-6- مواصفات المنشأ والمواد المستخدمة في التحليل:

يبين الشكل (8) البناء المدروس من البيتون المسلح، وبارتفاع طابقي يساوي 3 m، أبعاد الأعمدة: (50X50) cm، أبعاد الجوائز: (70X30) cm، البلاطة مصمتة بسماكة 15 cm، أحمال التغطية: 3KN/m^2 الأحمال الحية: 3KN/m^2 ، تم تخصيص ديفرام صلب عند كل طابق في النموذج الفعلي للبناء.





الشكل (8) يبين مسقط البناء المدروس وعدد الطوابق لحالات الدراسة [15]
المساند المطاطية المستخدمة بالدراسة من نوع (LRB) وخصائصها كما يلي:

$$\begin{aligned} k_{eff} &= 825 \text{ KN/M} && \text{الصلابة الفعالة:} \\ C_{eff} &= 67.140 \text{ KN.Sec/m} && \text{التخميد الفعال:} \\ f_y &= 54.43 \text{ KN} && \text{قوة السيالان:} \end{aligned}$$

كما أن عوازل الانزلاق المسطحة من نوع (FLAT SLID BEARING) تم اعتبار قوة الاحتكاك تساوي 10% من الحمولة الميتة: $F(t) = \mu W$ $F(t) = 0.10WD$ تم استخدام خلائط ذاكرة الشكل Ferrous SMA (FNCATB) في البحث بالقيم العددية الموضحة بالجدول (1) وذلك بمراعاة:

- الشروط البيئية المحيطة / الحرارية / للمنطقة التي ستستخدم بها خلائط ذاكرة الشكل.
- قيم الانفعال الأعظمي المسموح بها لخلطة ذاكرة الشكل المستخدمة.
- قدرة الخلطة على تبديد أكبر للطاقة.
- مطابقة نتائج بيانات مخطط (اجهاد-انفعال) التجريبية والتحليلية في نموذج G-C المعدل، [12].
- تم تمثيل نموذج المرونة الفائقة لمخمدات خلائط ذاكرة الشكل SMA وذلك من خلال تحديد خواص اثنين من العناصر، عنصر multi-linear plastic link

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلاط ذكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

تمثيل حلقة تبديد الطاقة (الحلقة الهستيرية)، وعنصر multi-linear elastic link لإزاحة حلقة تبديد الطاقة عن المركز وذلك في حالات التعرض لإجهاد الشد، وربطهما على التوازي ومن تراكب السلوك للعناصر يتم الحصول على الحلقة الهستيرية لتبديد الطاقة لمخمدات خلاط ذكرة الشكل SMA ضمن برنامج العناصر المحدودة SAP2000-V22 . [19]

الجدول (1): يبين القيم العددية لمتغيرات النازمة لسلوك خلاطات SMAs (FNCATB) في نموذج (G-C) المعدل [27]

Parameters	FNCATB
E N/m ²	5.1×10^{10}
E _m N/m ²	4.1×10^{10}
ε _m	0.15
ε _l	0.095
σ _y N/m ²	7.4×10^8
σ _l N/m ²	8.232×10^8
n	6
α	0.0187
c	0.0001
a	300
ft	0.95
A cm ²	0.5706
Volume cm ³	157.27

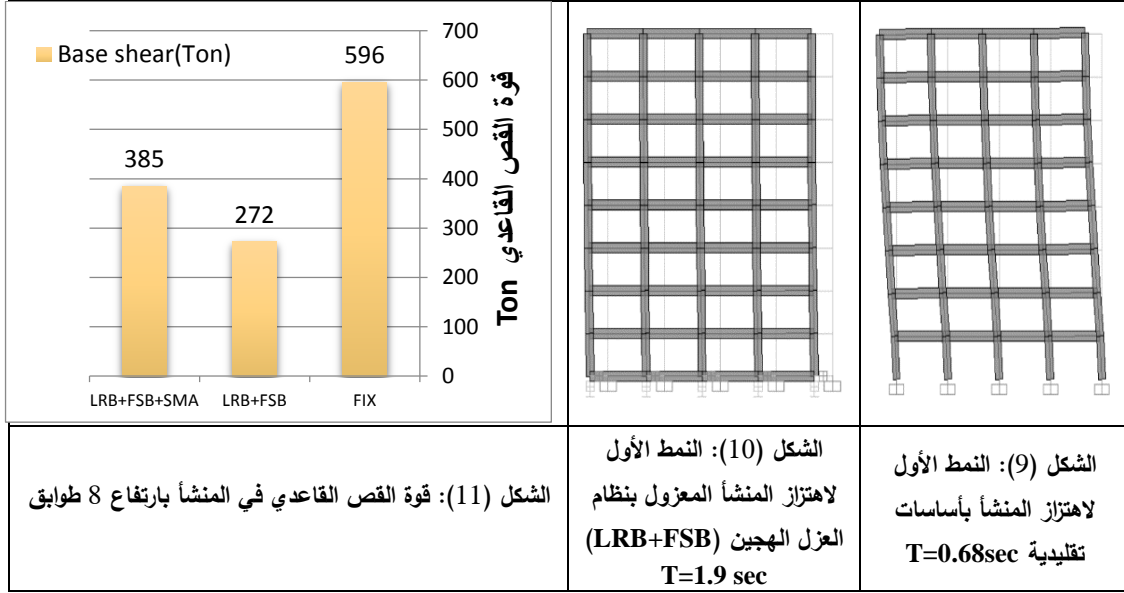
6-3- نتائج التحليل:

1-3-6. تم إجراء التحليل لكلا النموذجين للبناء بارتفاع 8 طوابق (نموذج موثوق مع

أساساته ونموذج هجين (FSB+LRB) مع إضافة مخمدات (SMAs)

وبملاحظة النتائج ومقارنة الدور وقوة القص القاعدي للمنشأ وذلك لحالات

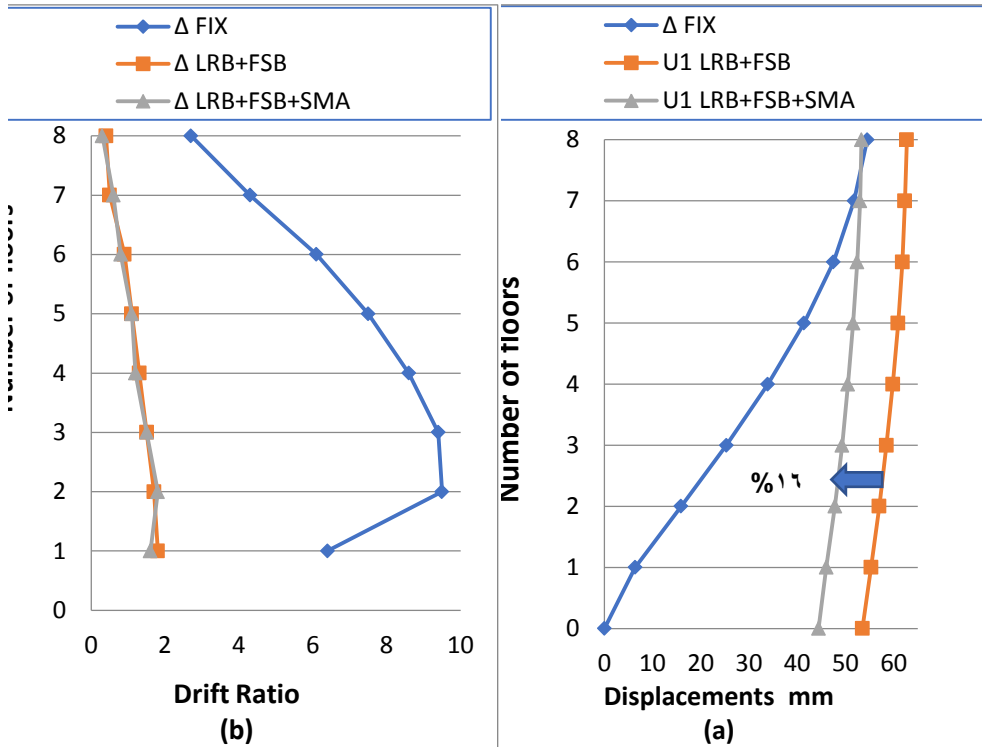
العزل في الشكل (9) و(10) و(11):



نلاحظ أن دور اهتزاز المنشأ المعزول بنظام العزل (LRB+FSB) مع إضافة SMAs في قاعدة المنشأ ($T=2.05 \text{ sec}$)، كما نلاحظ من الأشكال السابقة أن المنشأ المعزول يهتز وكأنه كتلة صلبة فوق نظام العزل، كما أن دور الاهتزاز بحالة العزل بـ (LRB+FSB+SMA) ($T=1.89 \text{ sec}$) قريب جداً من دور الاهتزاز للمنشأ بحالة (LRB+FSB)، بينما دور اهتزاز البناء الموثوق هو ($T=1.03 \text{ sec}$). كما أن استخدام خلائط (SMAs) أثبتت فعالية كجهاز تخميد مكمل مع نظام العزل، وذلك من ناحية تخفيض قوة القص الاعظمية بنسبة 36% مقارنة مع المنشأ الموثوق. وفعالية أقل بنسبة 35% مقارنة مع المبنى المعزول بنظام (LRB+FSB) وذلك لأن استخدام المخمدات يقرب المبنى من حالة المبنى الموثوق.

2-3-6. بمقارنة الانتقالات والازاحات الطابقية للمنشأ بارتفاع 8 طوابق لحالات العزل في الشكل (12)، نجد:

توضح المخططات المبينة في الشكل (12)، العلاقة بين الانتقالات الطابقية، ومنحنيات الازاحات الطابقية النسبية وذلك لحالات عزل المنشأ (LRB, FSB, SMA) والمبنى التقليدي (Fix).



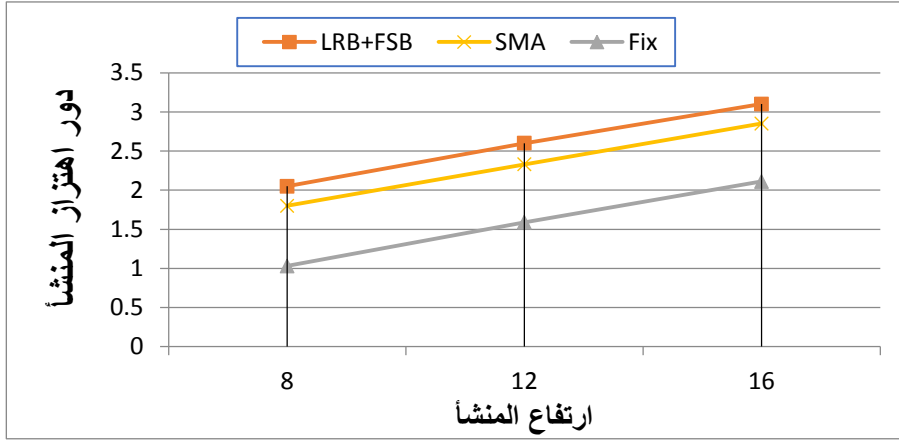
الشكل (12): يبين (a) انتقالات الطوابق و (b) الازاحات الطابقية للمنشأ بارتفاع 8 طوابق

من الشكل السابق نلاحظ فعالية استخدام خلائط (SMAs) كجهاز تخميد مكمل في قاعدة المنشأ المعزول بـ (LRB+FSB)، حيث أدى إلى تخفيض مجموع الانتقالات لطوابق المنشأ حوالي 16%، وتخفيض مجموع الإزاحة الطابقية للمنشأ 3% مقارنة مع المبنى المعزول بـ (LRB+FSB)، وذلك لفعالية استخدام المخمدات في تخفيض الانتقال المتبقي للعوازل لامتلاكها القدرة على الإرجاع.

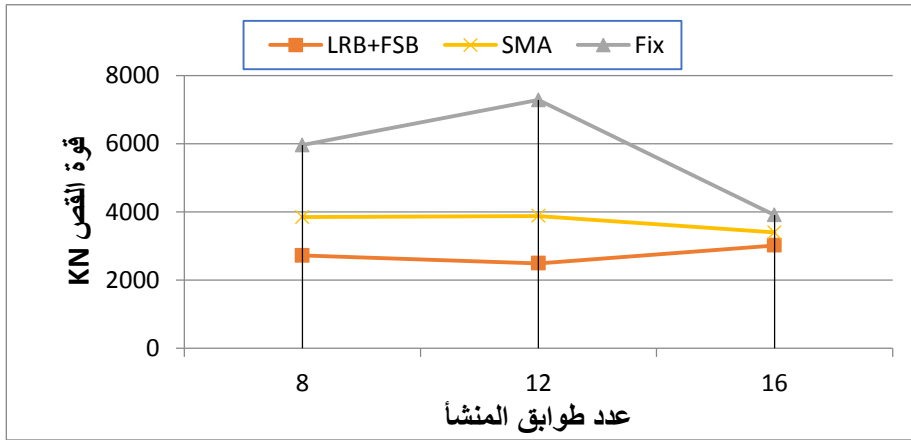
3-3-6. متابعة التحليل للمنشأ بارتفاع (12 و 16) طابق ومقارنة نتائج التحليل:

توضح المخططات المبينة في الاشكال (13-17)، قيم دور الاهتزاز و قوة القص القاعدي الأعظمية بالإضافة لقيم الانتقال في الطابق الأخير، وقيم الإزاحة الطابقية

والازاحة الطابقية الأعظمية وذلك للمنشآت بارتفاعات 8، 12 و 16 طابق ولحالات عزل المنشأ (LRB, FSB, SMA) والمبنى التقليدي (Fix).

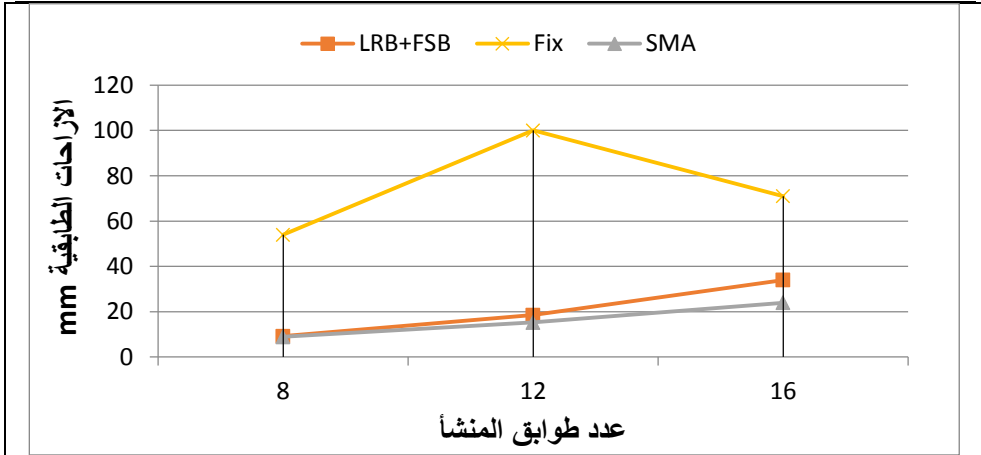


الشكل (13) يبين دور الاهتزاز للمنشآت بارتفاعات مختلفة ولحالات المنشأ المعزول والموثوق

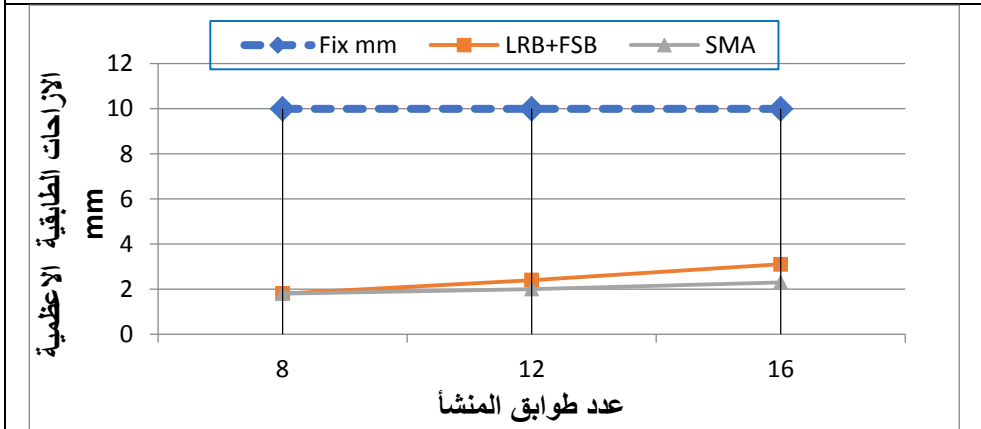


الشكل (14) يبين قوة القص القاعدي للمنشآت بارتفاعات مختلفة ولحالات المنشأ المعزول والموثوق

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني



الشكل (15) يبين مجموع الازاحة الطابقية بين الطابق الأرضي والأخير وذلك للمنشآت بارتفاعات مختلفة وحالات المنشأ المعزول والموثوق



الشكل (16) يبين قيمة الازاحة الطابقية الاعظمية وذلك للمنشآت بارتفاعات مختلفة وحالات المنشأ المعزول والموثوق

ومنه وبمقارنة الأشكال السابقة نلاحظ فعالية إضافة خلائط (SMAs) كجهاز تخميد مكمل في قاعدة المنشأ المعزول بـ (LRB+FSB)، حيث نلاحظ من الشكل (13) زيادة دور الاهتزاز للمنشأ بزيادة الارتفاع وذلك بنسبة 47% مقارنة مع المنشأ الموثوق بارتفاع 16 طابق. بينما كان دور الاهتزاز أقل بنسبة 10% مقارنة مع المنشأ المعزول بـ (LRB+FSB)، ومن الشكل (14) نلاحظ فعاليتها في تخفيض قوة القص القاعدي وخصوصاً مع زيادة ارتفاع البناء، حيث للمنشأ بارتفاع 16 طابق خفضت قوة القص

القاعدي بنسبة 13% مقارنة مع المنشأ الموثوق ، بينما كانت أقل فعالية بنسبة 12% مقارنة مع المنشأ المعزول بـ(LRB+FSB)، وهو شيء منطقي لأن استخدام المخدمات يزيد صلابة طابق العزل ويقرب المبنى من حالة المبنى الموثوق، كما نلاحظ انسيابية المنحني في الشكل (15) والفعالية الجيدة في تخفيض الانتقال في الطابق الأخير وتخفيض الإزاحة الطابقية والإزاحة الأعظمية كما هو موضح بالأشكال (15) و (16) وذلك للبناء بارتفاع كبير مما يثبت فعالية إضافة مخدمات خلاط ذاكرة الشكل التي تملك خصائص المرونة الفائقة، وقدرتها على الإرجاع مع نظام العزل حيث خفضت الانتقال في الطابق الأخير بنسبة 36% ، وخفضت الإزاحة الطابقية بنسبة 30% ، وخفضت الإزاحة الطابقية الأعظمية بنسبة 25% كما خفضت الانتقال المتبقي لنظام العزل بنسبة 38%، مقارنة مع المنشأ بارتفاع 16 طابق المعزول بـ(LRB+FSB).

7- النتائج والمناقشة:

➤ استخدام مخدمات خلاط ذاكرة الشكل (SMAs) يزيد صلابة مستوى العزل (LRB+FSB) بالتالي أدى إلى تخفيض دور الاهتزاز بنسبة لنتائج دور المنشأ بارتفاعات 8 و 12 و 16 طابق تساوي (10%) مقارنة مع المنشأ المعزول بنظام العزل (LRB, FSB) والذي بدوره يزيد دور الاهتزاز بنسبة لنتائج دور المنشأ بارتفاعات 8 و 12 و 16 طابق تساوي (64%) مقارنة مع المنشأ الموثوق، والذي هو الهدف الاساسي للعزل الزلزالي (إزاحة دور المنشأ عن تواتر الهزة) .

➤ إن قدرة تبديد الطاقة لدى مخدمات خلاط ذاكرة الشكل (SMAs) هي أقل من بقية العوازل (LRB, FSB) إلا أنها وبخصائص الإرجاع التي تملكها أظهرت تأثير عزل فعال وتخفيض نتائج الانتقال المتبقي للعوازل في المنشأ بارتفاعات 8 و 12 و 16 طابق بنسبة وسطية تساوي (31%).

➤ إضافة مخدمات خلاط ذاكرة الشكل (SMAs) مع نظام العزل (LRB+FSB)، كان له أثر في تحسين أداء المنشأ المعزول، وبأخذ الوسطي لنتائج المنشأ بارتفاعات 8 و 12 و 16 طابق فإن استخدام (SMAs) أدى الى تخفيض الانتقالات (30%)،

دراسة مقارنة أنظمة العزل القاعدي (الاحتكاكي والمطاطي) مع إضافة مخمدات خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) لتحسين الاستجابة الزلزالية للمباني

وتخفيض مجموع الازاحات الطابقية (22%)، ولكن كان له أثر أقل فعالية على قوة القص القاعدية مع زيادة الارتفاع حيث أدى لزيادة فيها (35%) مع زيادة مرونة المنشأ. ➤ في حال حدوث الزلزال فإن استخدام مخمدات خلائط ذاكرة الشكل (SMAs) التي تملك خاصية المرونة الفائقة ستساهم في ديمومة نظام العزل وعدم الحاجة لاستبدال أو تجديد نظام العزل بالتالي حماية أكبر للمباني من الزلازل المستقبلية.

8- توصيات:

نتائج استخدام خلائط ذاكرة الشكل أثبتت فعاليتها في تطبيقات العزل للمنشآت إلا أنه يمكن العمل على تحسين هذه النتائج بإدخال الأثر الحراري في الدراسات التحليلية، ودراسة حالات أخرى لتوضع المخمدات كتوزيعها على كامل ارتفاع المبنى، مع اقتراح إجراء تحليل للتكلفة الاقتصادية.

9- المراجع (References):

- [1] Michael, D. Symans. **Design Examples Seismic Isolation**. Instructional Material Complementing FEMA 451.
- [2] Kelly, Trever. (2001). **Base Isolation of Structure**. Design Guideline Holmes Consulting Group.
- [3] Kelly, Naeim, F. J. (1996). **Design of seismic isolated structure**. Wiley. New York.
- [4] Jangid, RS. (2004). **Optimum friction pendulum system for near-fault motions**. Engineering Structures.
- [5] Leif, O., Imad, H. Mualla, and Yuuichi. (2004). **SEISMIC isolation with a new friction-viscoelastic damping system**. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada. August 1-6.
- [6] Earthquake Protection Systems. (2003). **Technical Characteristics of Friction Pendulum Bearings**. Vallejo, California.
- [7] Tsai CS, Chiang TC, Chen BJ.9. (2003) **Seismic behavior of MFPS isolated structure**: JC Chen, editor. Seismic engineering. ASME. p. 73–9.
- [8] Fenz DM and Constantinou MC (2005). **Behavior of the double concave Friction Pendulum bearing**. Submitted for review and possible publication in Earthquake Engineering and Structural Dynamics
- [9] Tracy Thaer. (2011). **The behavior of Seismically Isolated Buildings Using Rubber Bearing**. Master Thesis, the Higher Institute of Seismic Studies and Research, University of Damascus.
- [10] J.M.Kelly, (1982), **Aseismic base isolation**, Shock.Vib. Dig.14(5)17-25.
- [11] A. Mokha, M. Constantinou, A. Reinhorn and V. Zayas, (1991) Experimental **study of friction pendulum isolation system**, J. Struct. Eng. 117(4) 1201–1217.
- [12] Sutanu Bhowmick & Sudib Kumar Mishra. **Ferrous SMA (FNCATB) based Superelastic Friction Bearing Isolator (S-**

- FBI) subjected to pulse type ground motions.** Soil Dynamics and Earthquake Engineering 100 (2017) 34–48.
- [13] P.W. Clark, I.D. Aiken, J.M. Kelly, M. Higashino and R. Krumme, (1995), in: Proceedings of SPIE: **Smart Structures and Materials Conference**, edited by C.D. Johnson/SPIE.
- [14] M. Dolce, D. Cardone and R. Marnetto, (2000): **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**. Dyn. Vol. 29, p945
- [15] Yuhong Ling, Huihong Peng and Shuai Zhuang, (2010): **Journal of South China University of Technology**, Natural Science Edition. Chinese. Vol.38 (2010), p131.
- [16] L. Janke I, C. Czaderski, M. Motavalli and J. Ruth, (2005) " **Applications of shape memory alloys in civil engineering structures - Overview, limits and new ideas**",
- [17] Wilde K, Gardoni P, Fujino Y. (2000). **Base isolation system with shape memory alloy device for elevated highway bridges**. Eng Struct 2000;22(3):222–9.
- [18] Mahfouz Aber. (2012). **Seismic Response of Buildings Base isolated by Friction devises with restoring Properties**. Master Thesis, the Higher Institute of Seismic Studies and Research, University of Damascus.
- [19] Andrawes, B., and DesRoches, R. (2005). **Unseating prevention for multiple frame bridges using superelastic devices**. Smart Mater. Struct.,14(3), S60–S67.