

التقنيات المعاصرة في تخفيض الاستجابة الزلزالية (دراسة النسبة SR^* في الجمل الإطارية المزودة بمخمدات معدنية مطورة $ADAS^{**}$)

د. محمد فادي عبد القادر نقرش⁽¹⁾

الملخص

مع ظهور أنظمة تبديد الطاقة وأنظمة التحكم الإنشائي الزلزالي لتصميم المنشآت وتقديمها، أصبحت الطريقة التقليدية التي تعتمد على تصميم أبعاد مقاطع المنشأة لتحقيق الفعالية الزلزالية غير مجدية. لذا تناول هذا البحث مخمداً معدنياً مطوراً من النمط ADAS لتحسين السلوك الديناميكي للجمل الإطارية المعرضة للزلازل، ومن ثم لتحقيق اشتراطات التقييم والتصميم الإنشائي بأقل كلفة مادية مقارنة بالطرائق التقليدية الشائعة.

يتمتع التحكم باهتزازات الجمل الإطارية بواسطة هذه المخمدات بـ:

1. تقليل الأضرار الملحقة بالجملة المقاومة للحمولات الشاقولية، ومن ثم تقليل التكاليف الإصلاحية بعد حدوث الزلازل.

2. إمكانية استبدال المخمدات التالفة بعد وقوع الزلازل دون الحاجة إلى تدعيم العناصر الحاملة للحمولات الشاقولية.

وقد استخدم برنامج ABAQUS لنمذجة منشأة مكونة من خمس طوابق وتحليلها بهدف تقييم المقدرة الامتصاصية لمخمد معدني خضوعي مطور من النمط ADAS (Added Damping And Stiffness) عند عمله لحماية المنشأة من الزلازل. وغيّرت النسبة SR لنظام التخميد (مخمد - شبكة تريبب) ورصد الاستجابة الديناميكية المتمثلة بالتسارع الطابقي، والإزاحة الطابقية ونسبة التخميد المضافة الى الطابق. إذ تمثل النسبة SR صلابة نظام التخميد إلى صلابة الطابق غير الحاوي على نظام التخميد، وقد بينت النتائج تزايد نسب التخفيض في تسارع الطابق الأول من 42% حتى النسبة 72%، مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.1g$ للزلازل السينترو El Centro ومن 64% حتى النسبة 83% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.4g$ للزلازل نفسه. وتزايد نسبة التخميد المكافئ للطابق الأول من 17.2% حتى 26.7%، مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.1g$ للزلازل السينترو، ومن 25.6% حتى 29.2% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.4g$ للزلازل نفسه.

الكلمات المفتاحية: تبديد الطاقة، مخمد معدني، التحليل اللاخطي، نسبة التخميد المكافئة.

SR^* : نسبة صلابة مجموعة التخميد إلى صلابة الطابق
 $ADAS^{**}$: (Added Damping And Stiffness)

⁽¹⁾ دكتوراه، قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، سورية.

A Modern Technique to Reduce the Seismic Response (The SR Ratio in the Frame Systems with Developed Dampers ADAS*)

Dr. MHD. Fadi Abdul Kader Nakrash⁽¹⁾

Abstract

To achieve desirable seismic performance, the traditional method of design the dimension of structural members is discarded by introducing energy dissipation systems and control system. So this search summarizes a developed metallic damper for earthquake protection of structures, This strategy is attractive for two primary reasons:

- 1- Damage to the gravity-load-resisting system is substantially reduced, likely leading to major reductions in post-earthquake repair cost.
- 2- Earthquake-damaged dampers can be easily replaced without the need to shore the gravity framing.

This study use ABAQUS software to evaluate energy absorption capacity of developed hysteretic steel damper for earthquake protection of five- story - building by change the SR Ratio and read the Seismic Response (story drift, story acceleration and damping ratio) in the Frame. The result shows reduction of first story acceleration increases from 42% to 0.72% when SR reduces five times (El Centro PGA=0.1g), and from 64% to 83%, when SR reduces five times (El Centro PGA=0.4g). The equivalent damping increases from 17.2% to 26.7% when SR reduces five times (El Centro PGA=0.1g), and from 25.6 to 29.2 at PGA=0.4g.

Keywords: Energy dissipation, Metallic damper ADAS, Nonlinear Analysis.

* ADAS:(Added Damping And Stiffness)

⁽¹⁾ PhD. Department of Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Damascus University, Syria.

1- مقدمة:

تتوضع هذه المخمّدت عادة فوق شبكات التبريط، أو في العقد الإطارية. اهتم بعض الباحثين بنوع المادة المستخدمة في المخمّد مثل: الرصاص - والفولاذ منخفض الخضوع - والنحاس بهدف تطوير نسبة تبديد الطاقة ورفعها بأعلى المستويات [5,6].

لخص الباحثون صفات المخمّد المعدني الجيد [1]:

- أن يمتلك استقراراً وقدرة كبيرة في تبديد الطاقة.
- أن يمتلك نموذجاً تمثيلاً للسلوك الدوري.

من جهة أخرى هناك العديد من المنحنيات النظرية المطورة والمنحنيات المستندة الى التجارب المعبرة عن قانون سلوك المخمّد المعدني [7]، وقد استخدمت بعض البحوث منحني الثنائي الخطية المبسط للتعبير عن الاستجابة الهستيرية [1]، واستند آخرون الى منحني Bouc-Wen، والى منحني Ramberg-Osgood [7]

2- أهمية البحث وأهدافه:

يقدم هذا البحث دراسة تأثير النسبة SR في الاستجابة الزلزالية لإطار معدني يحوي مخمّدت معدنية من النمط ADAS. إذ تمثل النسبة SR نسبة الصلابة الأفقية لنظام التخميد إلى صلابة الطابق غير المزود بنظام التخميد. ويقصد بصلابة نظام التخميد صلابة شبكات التبريط المزودة بالمخمّد ADAS. أجريت الدراسة باستخدام برنامج ABAQUS حيث تم نمذجة منشأة طابقيه فولاذية مكونة من خمسة طوابق مزودة بالمخمّدت ADAS القديمة. هذه المنشأة اختيرت في مخبر ديناميك الإنشاءات في جامعة National Chiao Tung الصينية من قبل الباحث (Chun-Yi Lin, 2004) الأمر الذي ساعد على توثيق النموذج الحاسوبي ومعايرته، ومن ثم الانطلاق منه لدراسة النسبة SR لأنظمة التخميد المطورة، ودراسة أثرها في الإزاحات الطابقيه والتسارعات الطابقيه، ونسبة التخماد المكافئة تحت زلزال السينترو ذي الشدات المختلفة.

حققت بحوث التحكم الإنشائي في مواجهة الرياح والزلازل تقدماً مميّزاً عبر العقود الثلاثة الأخيرة. يمكن أن يصنف التحكم الإنشائي في ثلاث مجموعات [1]، وهي:

- 1- أنظمة التحكم غير النشطة إذ تزود المنشآت بأدوات تصميمية أو مخمّدت لاحتاج إلى طاقة خارجية للعمل.
- 2- أنظمة التحكم النشط إذ تزود المنشآت بحساسات وأجهزة حاسوب وأدوات توزيع القوة لتضيف إلى البناء طاقة خارجية ناتجة عن قوى التحكم تعاكس في عملها تأثير حمولات الرياح والزلازل.
- 3- أنظمة التحكم شبه النشط حيث نستخدم طاقة صغيرة لتغيير بعض المواصفات الهندسية للمنشأة.

أنظمة التحكم غير النشطة تعرّف أيضاً بأنظمة تبديد الطاقة التي تعدّ طريقة فعالة وغير مكلفة لتخفيف المخاطر الزلزالية على المنشآت. بواسطة أدوات تبديد الطاقة الموجودة على المنشأة، تتبدد كمية كبيرة من الطاقة الداخلة على المنشأة [2,3]. ومنه سيكون الضرر على المنشأة الأم وساكني المنشأة صغيراً جداً، والجدير بذكره هنا أن أدوات التبديد لا تحتاج إلى أي مصدر خارجي للطاقة، ومن ثم لا تحتاج إلى تزويد المنشأة بجهاز حاسوب لإجراء عملية التحكم. كما تتمتع هذه الأدوات بسهولة استبدالها بعد انتهاء الزلزال بزمن قصير وبكلفة صغيرة جداً.

يمكن أن تتحقق عملية تبديد الطاقة بواسطة إحدى الآليات الآتية: الانزلاق الاحتكاكي، وخضوع المواد، وتحول المواد، أو جريان السائل و... إلخ. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة خضوع المواد المعدنية إذ يمكن مشاهدة العديد من المخمّدت المعدنية مصورة في المرجعين [4,5]. من المخمّدت المعدنية الشائعة: الصفائح المثلية الشكل TADAS، والصفائح ذات شكل قرص العسل، وتثبيت شبكات التبريط المقيدة [6].

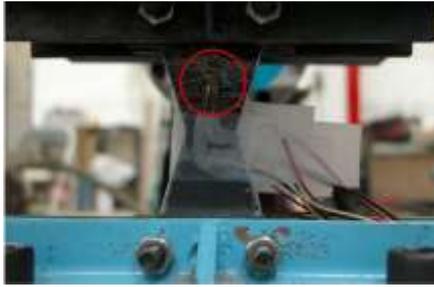
3- المخمد المطور المستخدم في الدراسة:

المخمد المطور المستخدم في الدراسة هو مجموعة من الصفائح الفولاذية ذات حد خضوع متوسط وذات شكل هندسي خاص اختيرت بعناية فائقة عبر سلسلة من الاختبارات الدورية لها لتحديد مقدرتها التشوهية الانعطافية الدورية، ورسم منحنياتها الهستيرية ومن ثم تحديد مقدرتها

في امتصاص الطاقة، المنشأة الفولاذية المدروسة والمخمدات القديمة موضحة في الشكل (1) والجدولين (1) و(2). في حين يبين الشكل (2) المخمدات المطورة المستخدمة في دراسة النسبة SR، والشكل (3) يوضح تشوه الإطار الحاوي على مخمد من النمط ADAS.



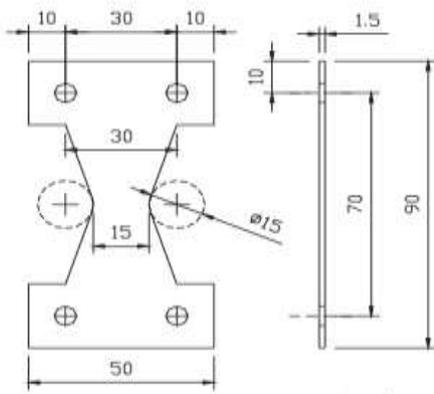
(ب) أمكنة المخمدات



(ج) شكل صفائح المخمد

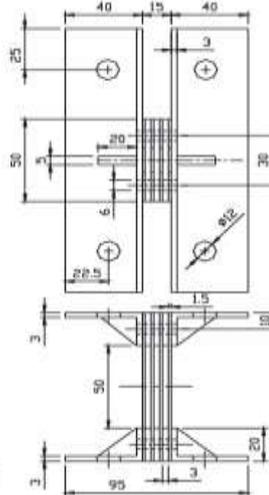


(أ) المنشأة المدروسة



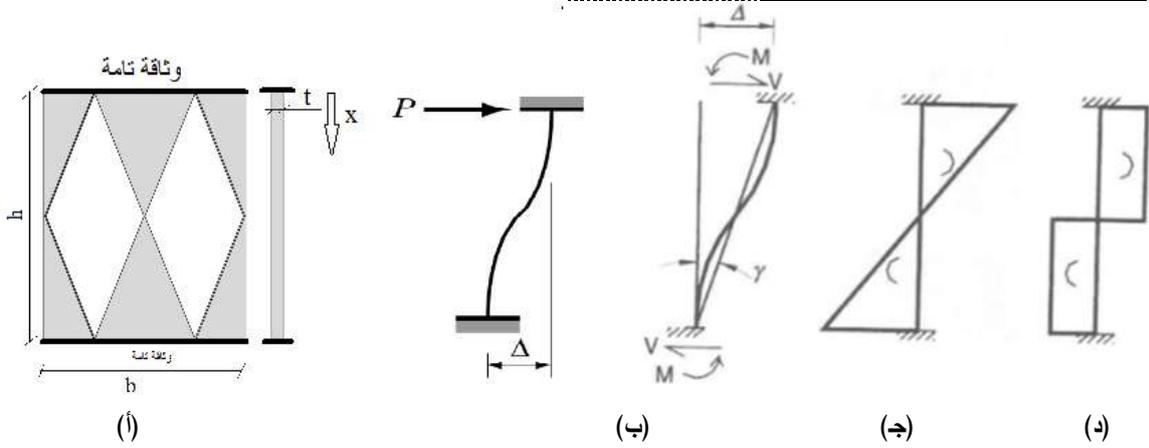
الوحدات بـ mm
تفاصيل وصل المخمد مع الإطار و شبكات التبريد

(د) تفاصيل صفائح المخمد القديم

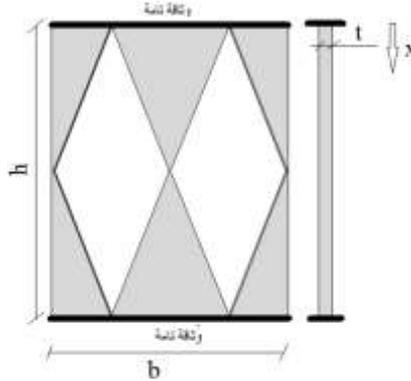


الشكل (1) المنشأة المختبرة بمخبر التحكم الإنشائي بجامعة National Chiao Tung الصينية (Chun-Yi Lin, 2004)

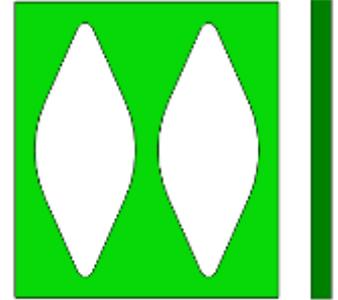
الجدول (2) مواصفات نظام التخميد		الجدول (1) مواصفات المنشأة	
210	معامل يونغ (GPa)	2	طول المنشأة في المسقط الأفقي (m)
3	عرض الصفیحة (cm)	2	العرض في المسقط الأفقي (m)
1.5	عرض الصفیحة عند الاختناق (cm)	1.3	الارتفاع الطابقي المتكرر (m)
5	ارتفاع الصفیحة (cm)	1.5	ارتفاع الطابق الأرضي (m)
4	عدد الصفائح في كل مخمد	82.28	كتلة الطابق الأخير (kg.sec ² /m)
430	إجهاد الخضوع (MPa)	84.75	كتلة الطابق المتكرر (kg.sec ² /m)
75×80×1×5	مقطع شبكة التثبيت (mm) IBE80	85.13	كتلة الطابق الأرضي (kg.sec ² /m)
		100×50×5×7	مقطع العمود العرضي (mm) IBE100
		100×50×5×7	مقطع الجائز العرضي (mm) IBE100
		0.0011	مساحة مقطع العمود والجائز (m ²)



صورة حقيقية للصفیحة
المخضعة لمجموعة من الاختبارات الدورية
(هـ)



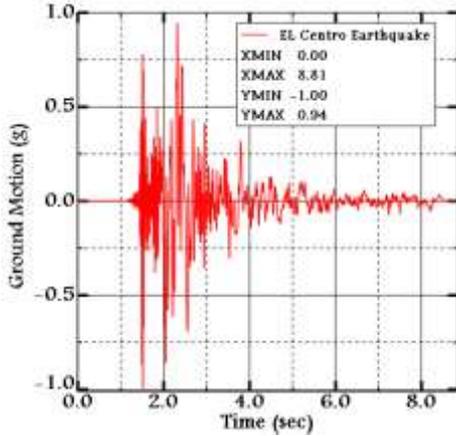
الشكل المكافئ الحسابي للصفیحة
المستخدم في استنتاج المخططات ب، ج، د
(أ)



الشكل الحقيقي للصفیحة
المستخدم في النمذجة العددية باستخدام برنامج
ABAQUS
(و)

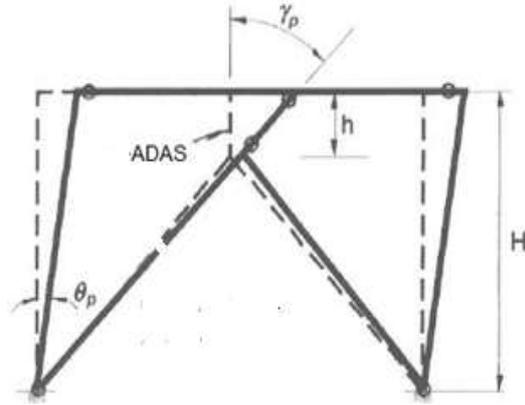
الشكل (2) شكل صفائح المخمد المطور

- أ - الشكل المكافئ للصفیحة، ب- مخطط التشوه، ج - عزم الانعطاف، د - الانحناء: $M_x/EI_x = \text{const}$ ،
هـ - صورة حقيقية، و- الشكل الحقيقي في بيئة ABAQUS.



الشكل (4) السجل الزمني لزلزال السينترو بشدات مختلفة
 (بجب ضربه بقيمة PGA) $PGA = 0.1g$ and $0.4g$

يبيّن الشكل (5) النموذج المعتمد في الدراسة إذ تم نمذجة جزء من الجائز في وسطه بطول 60cm بعنصر C3D8R (An 8- وباستخدام التقسيم الفراغي - node liner brick, reduced integration) وهو مكون من 8 عقد، وكل عقدة مكونة من ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاثة. مع تخفيض للنقاط التكاملية عند إجراء تكامل غوص (Gauss). أما ماتبقى من الإطار فتمت نمذجته بعناصر 3D-Line وبالقطع العرضي نفسه وباستخدام التقسيم (A 2-node B31 Liner beam in Space). تم نمذجة جزء من شبكات التريبط بطول 15cm بعنصر 3D-Solid وبتقسيم C3D8R، وما تبقى من شبكات التريبط بعناصر 3D-Line، وباستخدام التقسيم (A 2-node T3D2 linear 3-D truss) وهو عنصر شبكي مؤلف من عقدتين، وكل عقدة تحوي ثلاث درجات حرية هي ثلاثة انتقالات. تُمدج المخمد بعناصر 2D-Shell وبتقسيم (A 4-node doubly curved thin or thick S4R shell, reduced integration, finite membrane strains) وهو عنصر قشري مؤلف من أربع عقد، وكل عقدة تحوي ست درجات حرية ثلاث انتقال وثلاث دورانات، عدد الصفائح 4. أما الربط بين المخمد وعناصر



الشكل (3) إطار مزود بمخمد من النمط ADAS

4- طريقة البحث (النمذجة الحاسوبية):

الهدف من النمذجة هو دراسة أثر تغيير النسبة SR في المنشأة، ورسم منحنيات تبديد الطاقة لها إثر تعرضها لشدات مختلفة من زلزال السينترو. يبيّن الجدول (3) خصائص الفولاذ المستخدم، كما يبيّن الشكل (4) السجل الزمني لزلزال السينترو.

الجدول (3) خصائص الفولاذ المستخدم (الوحدات : N, m)

Density	Plastic Property		Elastic Property	
	True Yield Stress	True Plastic Strain	Poisson's Ratio	Young's Modulus
7800 Kg / m ³	240×10^6	0	0.3	206.1×10^9
	316.5×10^6	0.35		
	توابت مادة الفولاذ:			
	نسبة إجهاد خضوع الديناميكي إلى الستاتيكي $\dot{\epsilon} = D(R-1)^n$			
	n	D		
	5	40		
Damping				
Beta			Alpha	
0			50	

حرية (دورانات وانتقالات) ومن ثمّ مقلوب عدد درجات الحرية ($\frac{1}{DOF} = 0.000004$) وفق الجدول (4).

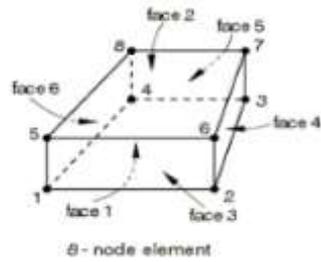
الجدول (4) خصائص التقسيمات المستخدمة في النموذج

<i>S4R</i>	<i>C3D8R</i>	التقسيم
quad	hex	شكل Shape
112.59/ 67.11	109.65/70.35	الزاوية الأصغر/الأعظمية Min/Max angle
6.96e-7	5.96e-7	متوسط معامل التشوه الهندسي Geometric deviation factor
0.00335/0.00220	0.0100/0.00500	نسبة أطول طول إلى أقصر طول Shortest/Longest edge
1.52	2.00	متوسط نسبة المنظور Aspect ratio
3.88e-7	7.18e-7	متوسط التزايد الزمني المستقر Stable time increment

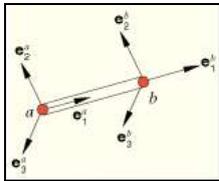
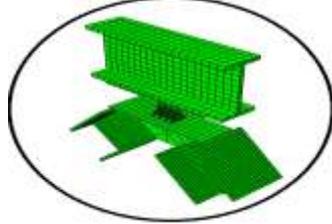
الإطار فكان من النوع *Tie* وبين العناصر الخطية والحجمية من النوع *Coupling*، وبين العناصر الخطية من النوع Beam أو *Join*.

تم نمذجة العنصر المساحي (سقف) لتحديد وزن المنشأة باستخدام العنصر *2D-Shell* بسماكة 43mm من الفولاذ بهدف تحديد كتلة المنشأة (اذ وزن المنشأة كاملة 4.14 طناً). من أجل ضمان دقة النمذجة يجب اختيار عدد كبير من التقسيمات *Fine meshes*، مع الانتباه إلى عدم طول مدة التحليل الحاسوبي.

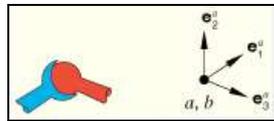
ولكن مع توفر الحواسيب فائقة الأداء أصبحت الدقة هي الهدف الأساسي لذلك ضبط 38110 عنصر لكامل الموديل في النموذج المطلوب، ومن ثمّ 235494 درجة



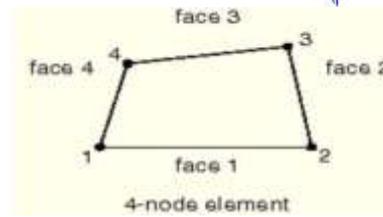
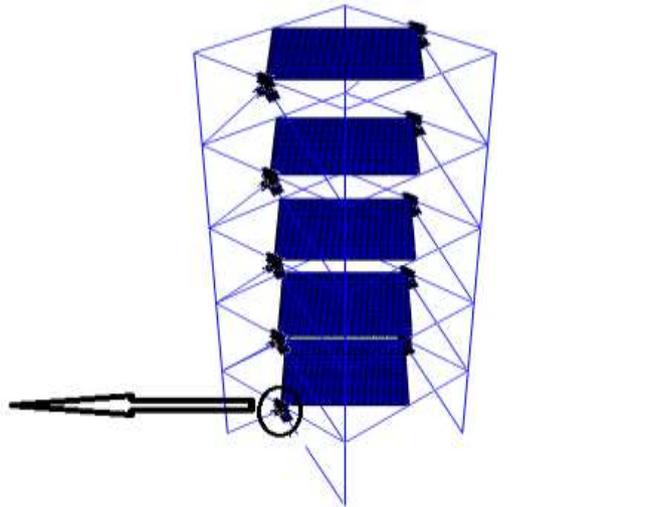
C3D8R



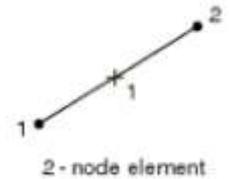
Beam



Join



S4R



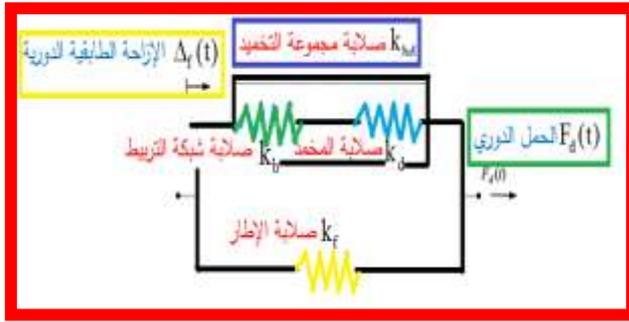
B31

الشكل (5) المنشأة ضمن بيئة برنامج ABAQUS (التواتر الطبيعي لها دون أنظمة التخميد $\omega = 1.46 Hz$) وتفصيلات العناصر المستخدمة في النمذجة (ABAQUS Documentation, 2016)

تحديد متغيرات التصميم المهمة للمخمدات المعدنية، إذ يبين الشكل (6-أ) إطاراً بفتحة واحدة مزوداً بمخمد معدني هستييري، ونظراً إلى أن نظام التخميد يقصد به (المخمد - شبكات التثبيت)، فإن الشكل (6-ب) يوضح رسماً تخطيطياً للصلابة الجانبية المركبة لهذا النظام وطريقة حسابها.

5- العوامل الأساسية المؤثرة في نظام التخميد:

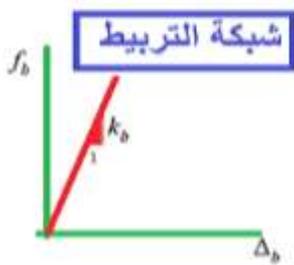
تقرّب استجابة (انتقال - قوة) للمخمدات المعدنية تحت تأثير التحميل الدوري القسري عادة باستخدام نموذج متعدد الخطية، مثل ثنائي الخطية، ونموذج المرونة-اللدونة التامة Complete Elastic-Plastic، كما يمكن استخدام نموذج ثنائي الخطية البسيط في



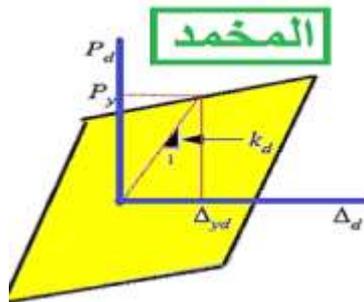
(ب)



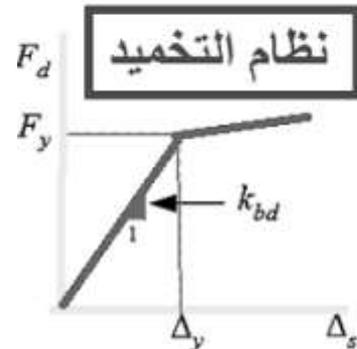
(i)



+



(→)



الشكل (6) إطار مزود بمخمد معدني وطريقة حساب الصلابة المكافئة

$$B/D = \frac{K_b}{K_d} \quad (2)$$

SR: كما أنّ هناك معياراً آخر مهماً في التصميم هو

$$SR = \frac{K_{bd}}{K_f} \quad (3)$$

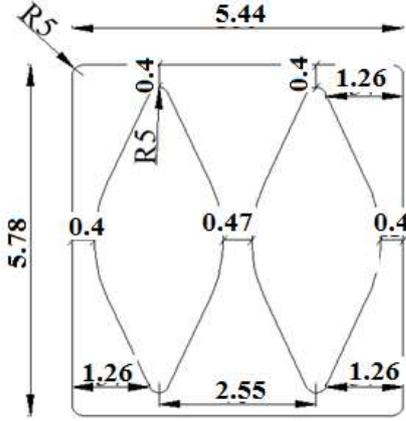
K_f صلابة الإطار دون شبكات تثبيت.

وخلال هذه الدراسة نفترض أن المنشأة الأصل وشبكات التثبيت الداعمة تبقى مرنة خلال مرحلة الزلزال، ومن ثمّ تحدّد قيم تلك الصلابات والنسب بشكل متوافق مع

يمكن الحصول على الصلابة الأفقية المركبة لهذا النظام K_{bd} نظراً إلى أن K_d هي صلابة المخمد المعدني، و K_b هي صلابة شبكات التثبيت، من العلاقة:

$$K_{bd} = \frac{1}{\frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_b}} = \frac{K_d}{1 + \frac{1}{B/D}} \quad (1)$$

إذ إنّ نسبة صلابة شبكات التثبيت إلى المخمد تعطى بالعلاقة:



الشكل (7) الصفيحة المستخدمة في النمذجة (cm)

6- النتائج والمناقشة:

قمنا بتغيير النسبة SR ورصدنا تابع الهدف المتمثل بقيم الإزاحة الطابقية والتسارع الطابقي والطاقة المتبددة، نظراً إلى أن الإزاحة الطابقية هي مقياس للتشوهات المحتملة في العناصر الإنشائية وغير الإنشائية، والتسارع الطابقي هو مقياس لقوى القص والاجهادات في العناصر الإنشائية الرئيسية، أما الطاقة المتبددة فهي معيار آخر لتقييم فعالية أداء المخمد.

1-6 التسارع الطابقي Story Acceleration

يبين الجدول (5) والشكلان (8) و(9) نسب التخفيض الحاصلة في التسارعات الطابقية العظمى مع تغيير النسبة SR . إذ تتزايد نسب التخفيض في الطابق الأول من 42% حتى النسبة 72% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.1g$ ومن 64% حتى النسبة 83% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.4g$. باستثناء النسبة $SR = Y/4$ التي أعطت نتائج غير مرضية للطابق نفسه عند شدات مختلفة لـ PGA .

قيم الصلابة الأولية للمخمدات المعدنية الخضوعية، كما أن الصلابة الأولية للمخمد تعطي وفق العلاقة:

$$K_d = N \frac{2Ebt^3}{3h^3} \quad (4)$$

قوة الخضوع للمخمدات P_y التي ترتبط بإزاحة الخضوع للمخمد Δ_{yd} ومن ثم إزاحة الخضوع للنظام Δ_y :

$$P_y = K_d \Delta_{yd} = K_{bd} \Delta_y \quad (5)$$

ومن أجل أغراض التصميم يمكن أن نعبر عن المعادلة باستخدام المتغيرات SR , B/D و N لنجد أن:

$$P_y = SR \cdot K_f \left(1 + \frac{1}{B/D}\right) \Delta_{yd} \quad (6)$$

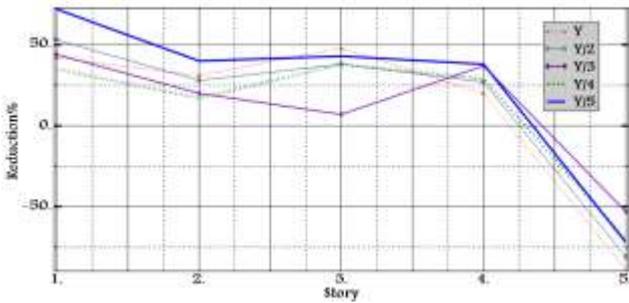
$$N = SR \cdot k_f \left(1 + \frac{1}{B/D}\right) \frac{3h^3}{2Ebt^3} \quad (7)$$

توضّح هذه المعادلة الأخيرة العلاقة بين متغيرات موديل ثنائي خطية مفترض، ويمكن أن نقول هنا أن سلوك المخمد المعدني يتأثر بثلاثة متغيرات أساسية، وهي: عدد الصفائح N ، ونسبة الصلابة B/D ، ونسبة الصلابة SR .

إن النموذج ثنائي الخطية السابق يستخدم في التعبير عن السلوك العددي للمخمد المعدني، كما أن التعقيدات العددية المرتبطة بهذا الموديل والنتيجة عن الانتقال الحاد من الحالة غير المرنة إلى الحالة المرنة في أثناء حالات التحميل، وإعادة التحميل يزداد مع زيادة زمن التحليل للنظام الإنشائي. وإن وجود مثل هذه التغيرات الحادة في الصلابة يستدعي ضرورة استخدام برامج تمتلك قدرة عالية لتعيين مواضع نقاط الانتقال وتجنب حالات الخطأ، الأمر الذي يحققه برنامج ABAQUS، وقد صغرت أبعاد الصفيحة في الشكل (2) لاستخدامات النمذجة بمقياس (3.4) (الشكل 7).

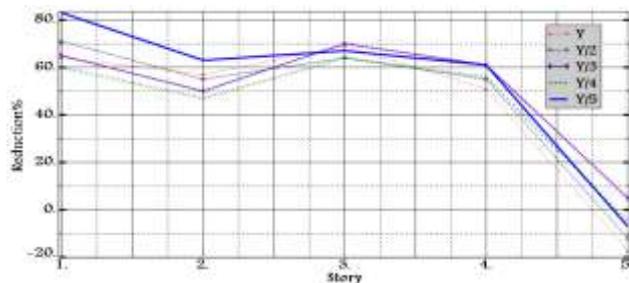
أما الطابق الخامس فقد انخفض التأثير السلبي لزرع المخمدات في المنشأة من النسبة -89% حتى النسبة -72% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.1g$ ومن النسبة -17% حتى النسبة -7% عند الشدة $PGA=0.4g$ ، باستثناء النسبة $SR = Y/4$ التي أعطت نتائج غير مرضية للطابق نفسه عند شدات مختلفة لـ PGA .

أما الطابق الثالث فقد تأثر بصورة عكسية مع إنقاص النسبة SR ، عند الشدات الزلزالية جميعها. ومن هنا نوصي بعدم تثبيت النسبة SR في الطوابق جميعها، واختيار هذه النسبة بما يحقق تواضع الهدف المطلوبة، وهذا يفسر بالسلوك المعقد للمخمد الهستيري، وتأثره بالنسبة SR .



الشكل (8) نسبة التخفيض في التسارعات الطابقية الأعظمية

باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.1)$



الشكل (9) نسبة التخفيض في التسارعات الطابقية الأعظمية

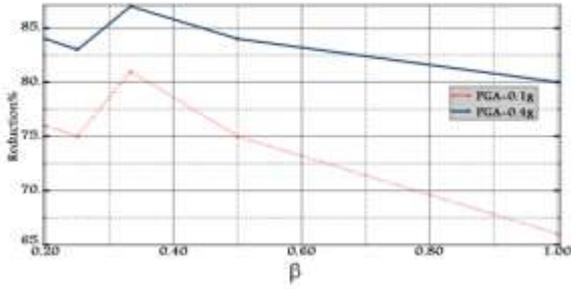
باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$

الجدول (5) دراسة أثر النسبة SR في التسارعات الأعظمية

رقم الطابق	متغيرات نظام التخميد المطور $B/D = \alpha X, SR = \beta Y$ $N = \gamma Z$	التخفيض الحاصل في التسارعات الطابقية R(%)
5	$\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$	-89
4		20
3		48
2		31
1		42
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 1$	-81
4		27
3		38
2		28
1		53
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{3}, \gamma = 1$	-53
4		37
3		7
2		20
1		44
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{4}, \gamma = 1$	-70
4		29
3		38
2		17
1		35
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{5}, \gamma = 1$	-72
4		38
3		43
2		40
1		72
5	$\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$	-17
4		51
3		69
2		57
1		64
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 1$	-12
4		55
3		64
2		55
1		71
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{3}, \gamma = 1$	5
4		61
3		70
2		50
1		65
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{4}, \gamma = 1$	-5
4		56
3		64
2		47
1		60
5	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{5}, \gamma = 1$	-7
4		61
3		67
2		63
1		83

زلزال
EL CENTRO
PGA=0.1g
($\varphi = 0.1$)

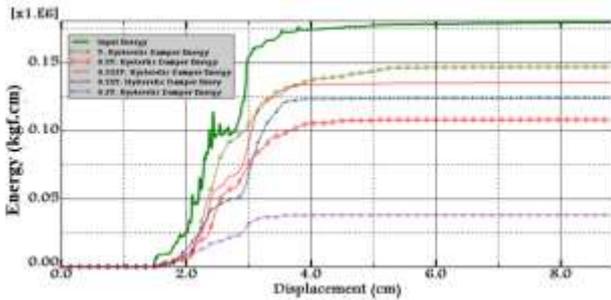
الزلزال
EL CENTRO
PGA=0.4g
($\varphi = 0.4$)



الشكل (10) نسبة التخفيض في جذر متوسط المربعات باعتبار $(\alpha = 1)$, $(\gamma = 1)$, $(\varphi = 0.1, 0.4)$

3-6 تبديد الطاقة Energy Dissipation

يبين الشكل (11) متوسط الطاقة المدخلة للمنشأة فضلاً عن منحنيات تبديد الطاقة المبددة عبر المخدّات المعدنية مع تغيير النسبة SR. يتضح من هذه المنحنيات أن طاقة المخدّات الهستيرية تنخفض مع انخفاض النسبة SR، وهذا يمكن أن يفسر بأنه مع زيادة صلابة الإطار (هذا يوافق انخفاض النسبة SR) تزداد حصة الإطار من قوى القص الطابقي مقارنة بنظام التخميد، وتنخفض قيم الإزاحة الطابقية وهذا (انخفاض القوى والتشوهات في المخدّم) سيؤدي إلى انخفاض الطاقة المبددة في المخدّم. توضح الأشكال من (12 حتى 16) انخفاض حجم الطاقة المتبددة مع انخفاض النسبة SR.



الشكل (11) الطاقة الهستيرية المتبددة في المخدّات باعتبار

$$(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$$

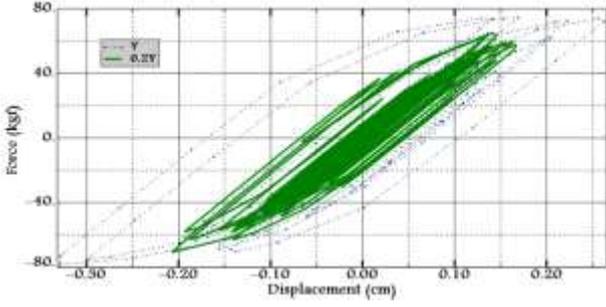
2-6 الإزاحة الطابقية Story Drift

يبين الجدول (6) والشكل (10) نسب التخفيض الحاصلة في جذر متوسط مربعات إزاحة الطابق الأول مع تغيير النسبة SR، إذ تتزايد نسب التخفيض من 66% حتى النسبة 76% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.1g$ ، ومن 80% حتى النسبة 84% مع تناقص النسبة SR خمسة أضعاف عند الشدة $PGA=0.4g$. رغم أن النسبة $SR = Y/3$ تحقق نسبة تخفيض أعظمية في الشدّات جميعها وهذا يؤكد ضرورة اختيار النسبة SR لكل طابق على حدة، ورصد تابع الهدف المطلوب.

الجدول (6) دراسة أثر النسبة SR في جذر متوسط المربعات لإزاحة الطابق الأول

X: نسبة الصلابة B/D المستخدمة في التجربة والنمجة، α : معامل لدراسة تغير النسبة B/D		Y: نسبة الصلابة SR المستخدمة في التجربة والنمجة، β : معامل لدراسة تغير النسبة SR		Z: عدد الصفائح N المستخدمة في التجربة والنمجة، γ : معامل لدراسة تغير N	
الزلزال	رقم الطابق	متغيرات نظام التخميد المطور $B/D = \alpha X$ $SR = \beta Y$ $N = \gamma Z$	التخفيض الحاصل في جذر متوسط المربعات الإزاحة الطابقية R(%)	*التخامد المكافئ %	
زلزال EL CENTRO PGA=0.1 $\varphi = 0.1$	1	$\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$	66		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 1$	75		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{3}, \gamma = 1$	81		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{4}, \gamma = 1$	75		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{5}, \gamma = 1$	76		
الزلزال EL CENTRO PGA=0.4 $\varphi = 0.4$	1	$\alpha = 1, \beta = 1, \gamma = 1$	80		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{2}, \gamma = 1$	84		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{3}, \gamma = 1$	87		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{4}, \gamma = 1$	83		
	1	$\alpha = 1, \beta = \frac{1}{5}, \gamma = 1$	84		

*تقييم التخامد باستخدام التناقص اللوغاريتمي Logarithmic Decrement



الشكل (16) السلوك الهستيرتي للمخمد في الطابق الخامس
باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$

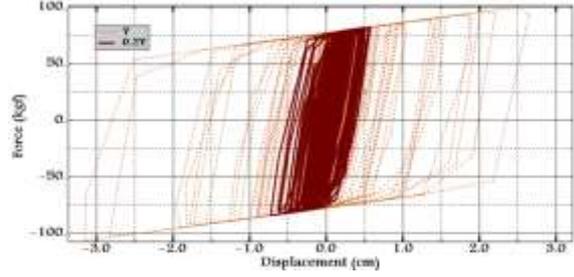
7-الاستنتاجات:

تتاولت هذا المقالة بحث فعالية النسبة SR في أداء المخمد المعدني المطور المستخدم لحماية الأبنية من الزلازل. إذ بددت هذه المخمدات كمية كبيرة من طاقة الزلزال (الهزة الأرضية) الداخلة للبناء من خلال التشوه غير المرن لصفائحها المعدنية. وتم التوصل إلى ما يأتي:

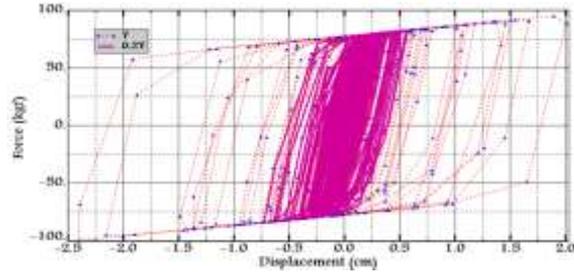
1- تؤدي النسبة SR دوراً مهماً في فعالية أداء المخمد المعدني المطور، ويجب اختيار النسبة الدقيقة لكل طابق على حدة بهدف تحقيق تسارع طاقي أصغري وإزاحة طايقية أصغرية. ويمكن الانطلاق من النسبة $SR = 2$ ، والتحكم بهذه النسبة وفق الشكل (8) حتى الشكل (10).

2- المبالغة في تصميم متغيرات نظام التخميد، من شأنها زيادة استجابات التسارع، في حين تصبح الإزاحات متناقصة.

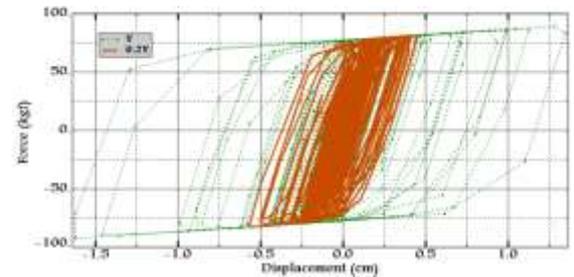
3- يضيف المخمد إلى المنشأة نسبة تخامد تصل إلى 29.2%، ونسبة التخامد هذه مرتبطة بمتغيرات نظام التخميد، ويمكن التوصل إلى نسبة تخامد أعلى عند اختيار المتغيرات بدقة.



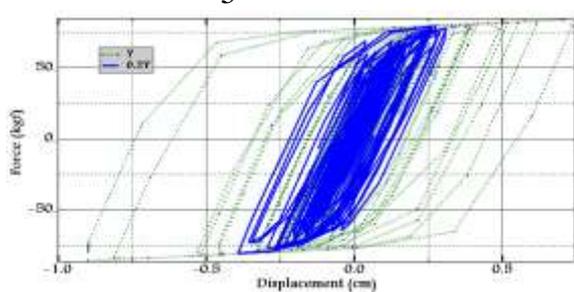
الشكل (12) السلوك الهستيرتي للمخمد في الطابق الأول
باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$



الشكل (13) السلوك الهستيرتي للمخمد في الطابق الثاني
باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$



الشكل (14) السلوك الهستيرتي للمخمد في الطابق الثالث
باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$



الشكل (15) السلوك الهستيرتي للمخمد في الطابق الرابع
باعتبار $(\alpha = 1), (\beta = 1, \frac{1}{5}), (\gamma = 1), (\varphi = 0.4)$

المراجع REFERENCES

- [1] نقرش، محمد فادي؛ الأطرش، مني؛ صقور، أكرم. (2016). اقتراح مخمد معدني مطور ADAS لامتنصص الطاقة الزلزالية في الجمل الإطارية باستخدام الحساب الديناميكي العددي. رسالة دكتوراه، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
- [2] Bahman, F. and Ramin, G. (2014). *Retrofitting steel special moment frame using ADAS metallic yielding dampers*. Nature and Science. 14(1), 106-113.
- [3] Varzaneh, M. (2014). *The Study of EADAS Elliptical Steel Damper Function in Seismic Resisting of Steel Frames*. Journal of Applied and Basic Sciences. 8 [10], 1569-1573
- [4] Teruna, Daniel R.; Majid, Chun-Yi and Budiono, B. (2015). *Experimental Study of Hysteretic Steel Damper for Energy Dissipation Capacity*. Hindawi Publishing Corporation. 631726. 12.
- [5] Rais, S.; Ounis, O. and Chebili, R. (2013, September). *Study and Modeling of Dynamic Behavior of Structures With Energy Dissipations Devices TYPE ADAS*. 2nd Turkish Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Turkey: Antakya, Hatay.
- [6] Khazaei, M. (2013). *Investigation on Dynamics Nonlinear Analysis of Steel Frames with Steel Dampers*. The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering., Iran: Civil Engineering Quchan Institute of Engineering and Technology
- [7] Chun-Yi, Lin, (2004). *A Theoretical and Experimental Study of Metallic Yielding Damper*. Hsinchu, Taiwan, Republic of China: National Chiao Tung University.

Received	2017/12/27	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2018/12/10	قبول البحث للنشر