

1- مقدمة:

حققت أبحاث التحكم الإنشائي في مواجهة الانفجارات القريبة والزلازل تقدماً مميّزاً عبر العقود الثلاثة الأخيرة [1,2,3]. يمكن أن يصنف التحكم الإنشائي في ثلاثة مجموعات، وهي:

1- أنظمة التحكم غير النشطة حيث تزود الجسور بأدوات تصميمية أو مخدّات لا تحتاج إلى طاقة خارجية للعمل.

2- أنظمة التحكم النشط حيث تزود الجسور بسنسورات وأجهزة حاسوب وأدوات توزيع القوة لتضيف إلى البناء طاقة خارجية ناتجة عن قوى التحكم تعاكس في عملها تأثير حمولات الانفجارات القريبة والزلازل.

3- أنظمة التحكم نصف النشط حيث نستخدم طاقة صغيرة لتغيير بعض المواصفات الهندسية للجسر.

أنظمة التحكم غير النشطة تعرف أيضاً بأنظمة تبديد الطاقة التي تعتبر طريقة فعالة وغير مكلفة لتخفيف المخاطر الزلزالية والانفجارات القريبة على الجسور. بواسطة أدوات تبديد الطاقة الموجودة في الجسور، تتبدد كمية كبيرة من الطاقة الداخلة على الجسر. ومنه سيكون الضرر على جسم الجسر صغير جداً، والجدير بالذكر هنا أن أدوات التبديد لا تحتاج إلى أية مصدر خارجي للطاقة وبالتالي لا نحتاج إلى تزويد الجسر بجهاز حاسوب لإجراء عملية التحكم. كما تتمتع هذه الأدوات بسهولة استبدالها بعد انتهاء الزلزال بزمان قصير وبكلفة صغيرة جداً.

عملية تبديد الطاقة يمكن أن تحقق بواسطة إحدى الميكانيزمات التالية: الانزلاق الاحتكاكي، خضوع المواد، تحول المواد، جريان السائل و... إلخ. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة خضوع مجموعة الصفائح المعدنية.

تتوضع هذه المخدّات عادة فوق شبكات التثبيت أو في العقد الإطارية [4]. وأيضاً اهتم بعض الباحثون في نوع المادة المستخدمة في المخدّم مثل: الرصاص - الفولاذ منخفض

الخضوع - النحاس بهدف تطوير ورفع نسبة تبديد الطاقة بأعلى المستويات [6,5].

قدم الباحثون [7] صفات المخدّم المعدني الجيد:

- أن يمتلك استقراراً وقدرته كبيرة في تبديد الطاقة
- أن يمتلك موديل تمثيلي للسلوك الدوري

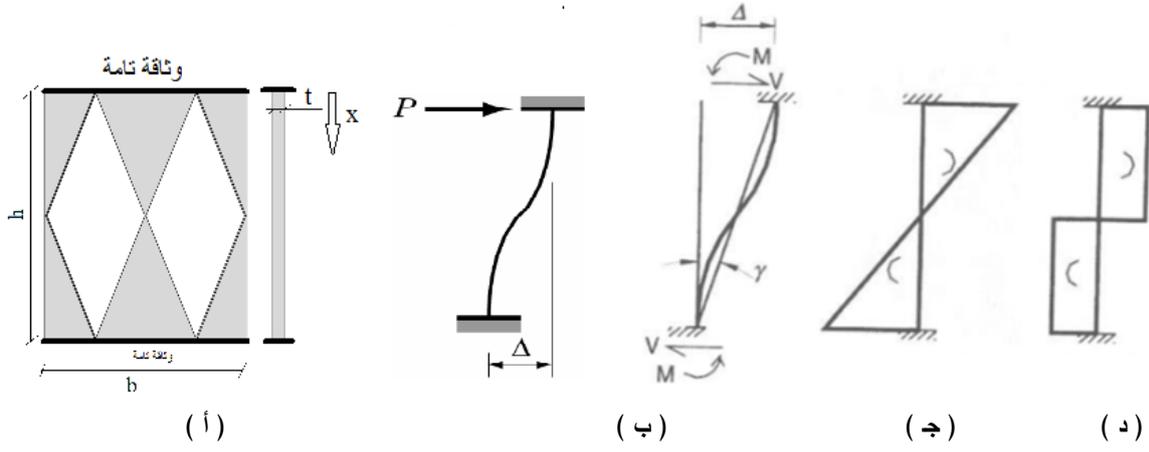
من جهة أخرى هناك العديد من المنحنيات النظرية المطورة والمنحنيات المستندة للتجارب والمعبرة عن قانون سلوك المخدّم المعدني [7,8]، حيث استخدمت بعض الأبحاث منحني التثنائي الخطية المبسط للتعبير عن الاستجابة الهستيرية [1]، واستند آخرون على منحني Bouc-Wen [3] وعلى منحني Ramberg-Osgood [6].

2- أهمية البحث وأهدافه:

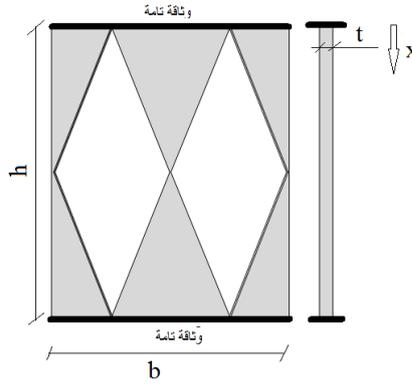
يقدم هذا البحث مقارنة بين مجموعة من الصفائح لاختيار الصفيحة المثلى من حيث الشكل والتي تحقق استقراراً في سلوكها الديناميكي وتحقق جدوى تخميد أعظمية بحيث توظف كمخدّم معدني من النمط ADAS. حيث سيتم بناء 4 نماذج حاسوبية باستخدام برنامج ABAQUS معرضة لانتقالات قسرية دورية. ونموذج واحد معرض لانتقالات غير دورية بهدف دراسة التشوهات الأعظمية، ثم تحليل استجابتها الديناميكية اللامرنة، وإجراء مقارنة بين نسب التخميد ونسب المطاوعة ونسب تبديد الطاقة.

3- الصفائح المستخدمة في الدراسة:

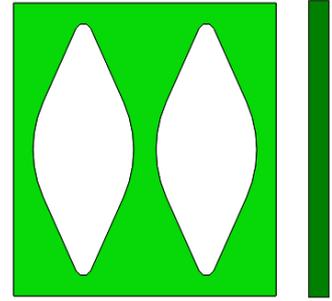
الأبعاد الأولية للصفائح المدروسة مبيّنة في الأشكال (1) و (4)، والتي تعتمد مبدأ الانحناء الثابت لكامل الصفيحة أثناء تعرضها لحمولات القص كما يوضحه المنحني (1-د). الشقوق الموجودة في الصفيحة ذات نهايات مدورة بهدف تخفيض تركيز الإجهادات في الزوايا. توضع هذه الصفائح عادة فوق شبكات التثبيت كما هو موضح بالشكل (2) و (3). اعتماداً على التحليل الميكانيزمي للندن للصفيحة المبيّنة في الشكل (1)، والموضح أسفلاً، يمكن كتابة مايلي:



صورة حقيقية للصفحة
والمخضعة لمجموعة من الاختبارات الدورية
(هـ)



الشكل المكافئ الحسابي للصفحة
والمستخدم في فترة التحليل الميكانيزمي للندن
(أ)



الشكل الحقيقي للصفحة
والمستخدم في النمذجة العددية باستخدام برنامج
ABAQUS
(و)

الشكل 1 : شكل اللصفيحة الفولاذية المدروسة

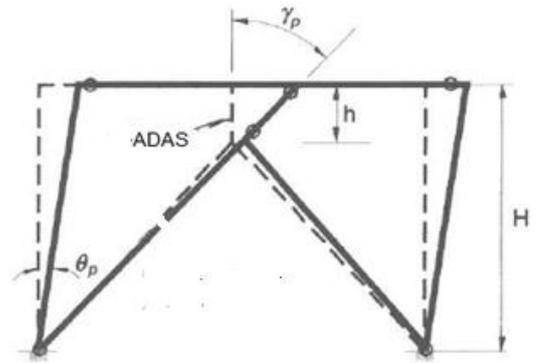
- أ- الشكل المكافئ للصفحة ب- مخطط التشوه ج- عزم الانعطاف د- الانحناء: $M_x/EI_x = \text{const}$
هـ - صورة حقيقية و- الشكل الحقيقي في بيئة ABAQUS

الصفحة عند القاعدة وهو متناقص بشكل خطي حتى الصفر عند منتصف ارتفاع الصفحة، E معامل المرونة الطولي للصفحة، $V+M$ ردود فعل الوثاقة (عزم انعطاف وقوة قص) نتيجة تطبيق الانتقال القسري النسبي Δ بين نهايتي الصفحة، f_y إجهاد الخضوع للصفحة و k_d الصلابة المرنة للصفحة، يمكن أن نكتب:

- عرض الصفحة عند المسافة x :

$$b_{(x)} = \left(1 - \frac{2x}{h}\right)b : 0 \leq x \leq \frac{h}{2} \quad (1)$$

- مساحة وعزم عطالة مقطع الصفحة (الذي يبعد المسافة x عن الوثاقة):



الشكل (2): إطار الجسر المزود بمخمد من النمط ADAS

يبين الشكل (1) صفحة فولاذية تشكل إحدى صفائح مخمد معدني مطور من النمط ADAS، وباعتبار t سماكة الصفحة، h ارتفاع الصفحة، x متغير ضمني يأخذ القيم من الصفر (عند النهاية العريضة للصفحة) حتى $h/2$ (نصف الارتفاع الكلي للصفحة)، b عرض

$$M_e = \frac{f_y I_{(x=0)}}{t} = \frac{f_y b t^2}{6} \quad (10)$$

▪ ومنه يمكن حساب القوة المترافقة مع العزمين المرين واللدن عند $x=0$:

$$P_y = \frac{M_e}{\frac{h}{2}} = \frac{f_y b t^2}{3h} \quad (11)$$

$$P_p = \frac{M_p}{\frac{h}{2}} = 1.5 \frac{M_e}{\frac{h}{2}} = \frac{f_y b t^2}{2h} \quad (12)$$

▪ يمكن حساب الانتقال Δ_{yd} الموافق للقوة P_y :

$$\Delta_{yd} = \frac{P_y}{k_d} = \frac{f_y h^2}{2Et} = 0.5 \varepsilon_{yd} \frac{h^2}{t} \quad (13)$$

4- طريقة البحث (النمذجة الحاسوبية):

سيتم اعتبار الفرضيات التالية خلال مرحلة النمذجة:

❖ العدد الإجمالي للصفائح هو خمس صفائح في كل مخمد.

❖ الإطار الفولاذي من النوع الخاص المقاوم للزوم مزود بشبكات تربط يعلوها مخمد معدني من النمط ADAS كما هو موضح في الشكل 3 والجدول 1.

❖ الصفائح متماثلة من حيث السماكة $t = 8 \text{ mm}$ ، ومن حيث مادة الصنع (الفولاذ الطري ST30) الشكل 1 والجدول 2.

نوع الفولاذ المستخدم للإطار وشبكات التبريط يشابه فولاذ الصفائح باستثناء إجهاد الخضوع $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$

❖ مساند الإطار مساند ثابتة.

❖ زمن التحليل $T \leq 1 \text{ sec}$ مرتبط تماماً بوصول التشوهات اللدنة الرئيسية للقيمة $\varepsilon_{PE} = 0.2$ ، والتي تعبر عن ظهور شقوق في صفائح المخمد وبالتالي خروجه من العمل.

❖ يتعرض الإطار عند مسانده الثابتة إلى انتقالات دورية تحاكي أحمال الزلازل الشكل 5.

من أجل تحليل هذا الإطار تم الاستفادة من برنامج

ABAQUS6.12 الذي يعتمد طريقة العناصر المنتهية

$$\left. \begin{aligned} A_{(x)} &= (1 - \frac{2x}{h})bt \\ I_{(x)} &= \frac{b_x t^3}{12} = \frac{bt^3}{12} (1 - \frac{2x}{h}) \end{aligned} \right\} : 0 \leq x \leq \frac{h}{2} \quad (2)$$

▪ عزم الانعطاف M على طول الصفيحة والناجح عن تطبيق القوة P عند النهاية العلوية، الشكل (1-ب):

$$M = \frac{P}{2}(h - 2x) = \frac{Ph}{2}(1 - \frac{2x}{h}) : 0 \leq x \leq \frac{h}{2} \quad (4)$$

▪ نلاحظ أن قيمة انحناء الصفيحة (curvature)

M/EI ثابتة على طول ارتفاعها ولا تتعلق ب x ، وهذا يؤدي إلى تلدن الصفيحة بصورة كاملة بأن واحد.

$$\frac{M_{(x)}}{EI_{(x)}} = \frac{6Ph}{Ebt^3} = \text{const} \quad (5)$$

▪ يمكن التعبير عن طاقة التشوه الكلي للصفحة بأخذ

تشوهات القص والانعطاف معا بالعلاقة التالية:

$$U = 2 \left[\frac{1}{2} \int_0^{h/2} \frac{[M_{(x)}]^2}{EI_{(x)}} dx + \frac{1}{2} \int_0^{h/2} \frac{[V_{(x)}]^2}{\frac{10}{6} G A_{(x)}} dx \right] \quad (6)$$

G: معامل المرونة العرضاني.

▪ ولكن من ناحية أخرى يمكن بالاعتماد على الشكل (1-ب) وباستخدام نظرية كاستيلانو كتابة العلاقة التالية:

$$\Delta = \frac{\partial U}{\partial P} = 2 \left[\int_0^{h/2} \frac{[M_{(x)}] \left[\frac{\partial M_{(x)}}{\partial P} \right]}{EI_{(x)}} dx + \int_0^{h/2} \frac{[V_{(x)}] \left[\frac{\partial V_{(x)}}{\partial P} \right]}{\frac{10}{6} G A_{(x)}} dx \right] \quad (7)$$

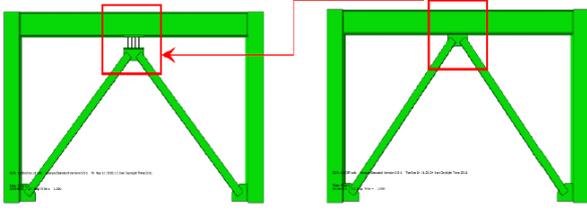
▪ بالتعويض وإجراء التكامل مع إهمال تأثير تشوهات القص لصغر قيمها نحصل على:

$$\Delta = P \left(\frac{3h^3}{2Et^3b} \right) \quad (8)$$

▪ وبالتالي الصلابة المرنة الحقيقية للصفحة بأخذ تشوهات الانعطاف فقط:

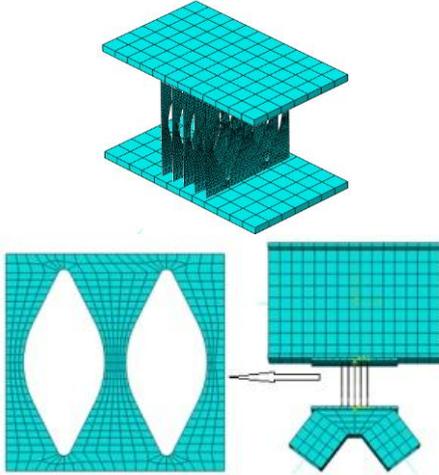
$$k_d = \frac{P}{\Delta} = \frac{2Et^3b}{3h^3} \quad (9)$$

▪ العزم المرن الأعظمي للصفحة:

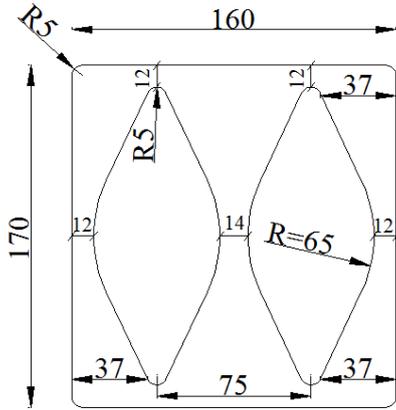


الجدول 1 المواصفات الهندسية للإطار الفولاذي

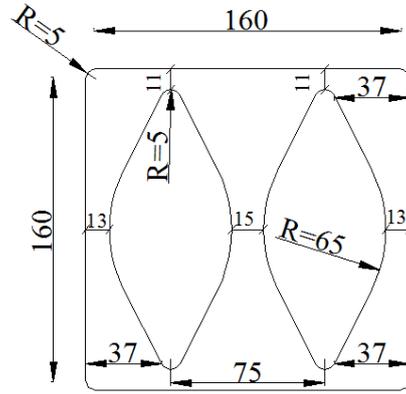
نوع العنصر	الأبعاد
جائز	IPE400
عمود (mm)	Box 300×300×20
شبكات تريبط (mm)	Box 140×140×8
ارتفاع طبقي (m)	3.2
مجاز الإطار (m)	4.5



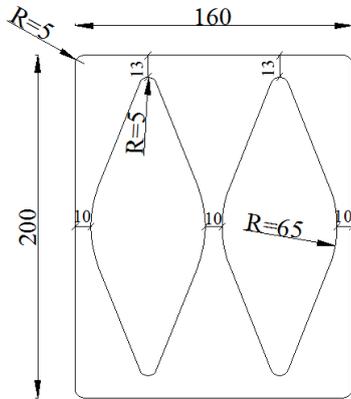
الشكل 3: الإطار الفولاذي المستخدم في الدراسة وتفاصيل المخذم المعنني



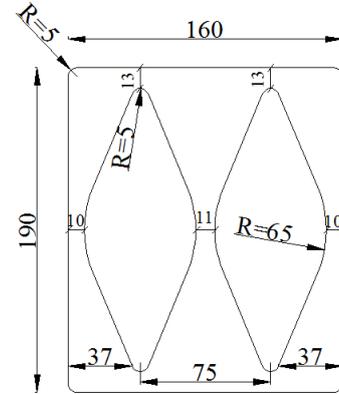
SL-2



SL-1



SL-4



SL-3

الشكل 4: أبعاد الصفائح المستخدمة في الدراسة

5- النتائج والمناقشة:

* تم تعريض إطار الجسر لـ 9 دورات تحميل الشكل 5، أظهرت صفائح المخمد خلالها استقرار في سلوكها اللدن دون الإشارة إلى التراجع الطفيف الحاصل في الصلابة والمقاومة.

* عناصر الإطار الرئيسية (جائز، عمود وشبكات تريبط) بقيت ضمن مجال المرونة، في حين أن صفائح المخمد دخلت في مجال اللدونة. (من هنا تظهر أهمية هذه المخمدات).

* يوضح الشكل 6 المنحنيات الهستيرية (قوة - انتقال) للمخمدات الأربعة، الإشارة الموجبة تشير إلى أن القوة والانتقال بنفس الاتجاه.

* من الواضح دخول صفائح المخمدات بأكملها في مجال اللدونة في نفس اللحظة تقريبا وهذا عائد إلى امتلاك الصفيحة انحناء ثابت واستقرار للسلوك الهستيري مع تغير متدرج بين مجال المرونة واللدونة الشكل 6.

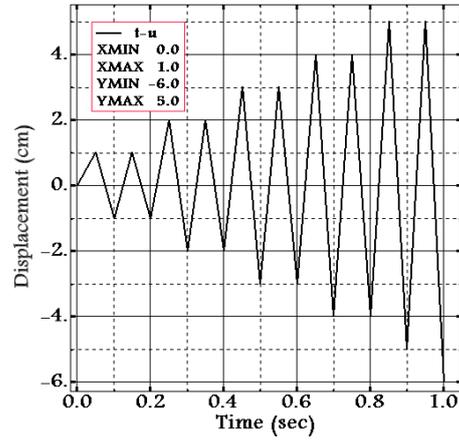
* استجابة المخمدات الأربعة الناتجة أقل من الانتقال القسري المطبق عند قاعدة الإطار، وهذا مبين في الشكل 6 حيث نلاحظ أن قيمة الانتقال الأعظمي في المخمد SL-2 يساوي 37.9mm وهو أقل من قيمة الانتقال القسري الأعظمي المطبق 60mm المبين في الشكل 4.

* الشكل 7 يبين قيم التشوهات اللدنة للمخمدات الأربعة.

5- 1 قوة الخضوع والصلابة المرنة الابتدائية

Yield and initial stiffness of Damper:

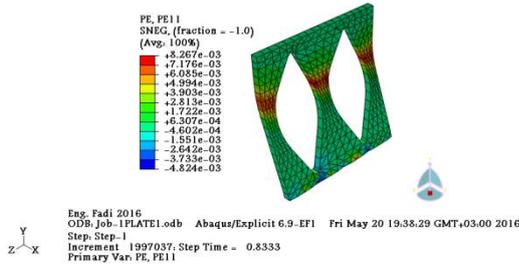
الخصائص الهندسية لكل مخمد موضحة في الجدول 4، باعتبار $V_{y,FI}$ المقاومة المرنة للمخمد وفق طريقة العناصر المنتهية (برنامج ABAQUS) وهي بالتعريف نقطة الانحراف المرئي عن الخطية الابتدائية، V_y المقاومة المرنة للمخمد باستخدام المعادلة 11، حيث سيأخذ معامل المعايرة C قيمة أعظمية $C=1.04$.



الشكل 5: السجل الزمني للانتقالات القسرية المطبقة

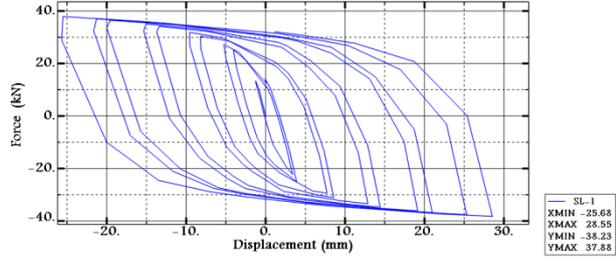
الجدول 2 خصائص الفولاذ المستخدم [الوحدات N, m]

Plastic Property		Elastic Property	
True Yield Stress	True Plastic Strain	Poisson's Ratio	Young's Modulus
240×10^6	0	0.3	206.1×10^9
316.5×10^6	0.2		
ثوابت مادة الفولاذ: نسبة إجهاد الخضوع الديناميكي إلى الستاتيكي R $\epsilon_{PL} = D(R-1)^n$ To define yield stress ratios with the Cowper-Symonds overstress law			
n	D		
5	40		
Density 7800 kg/m^3			
Damping التخامد الذاتي للفولاذ 2%			

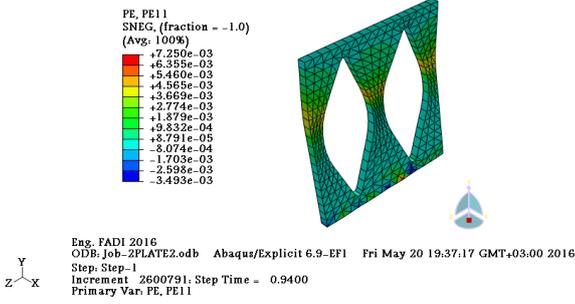


(0.83sec, -11.6cm, -21.1kN)

إحدى صفائح المخمد SL-1

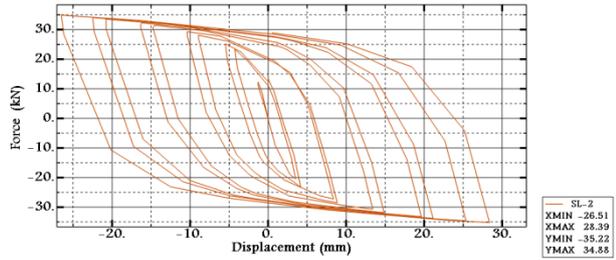


المخمد SL-1

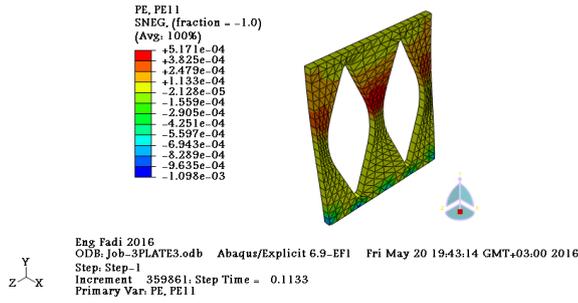


(0.94sec, -5.14cm, -26.9kN)

إحدى صفائح المخمد SL-2

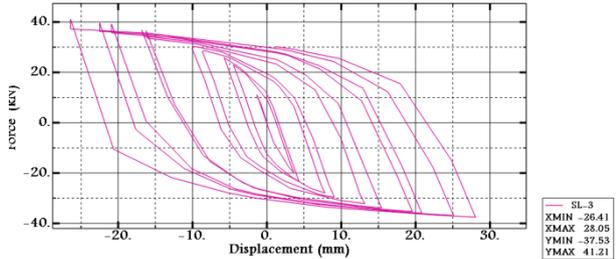


المخمد SL-2

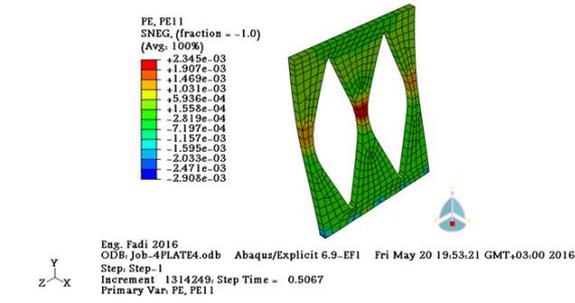


(0.11sec, -1.53cm, -1.95kN)

إحدى صفائح المخمد SL-3

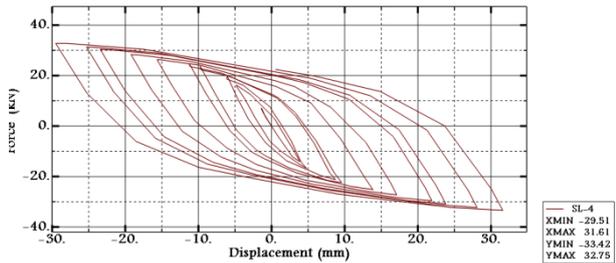


المخمد SL-3



(0.51sec, 17.1cm, -27.3kN)

إحدى صفائح المخمد SL-4



المخمد SL-4

الشكل 6: السلوك الهستيربي للمخمدات الأربعة (قوة - انتقال)

الشكل 7: التشوهات اللدنة للمخمدات الأربعة عند لحظات معينة مع ذكر مقدار القوة والإزاحة عند تلك اللحظة

2-5 المقاومة العليا ونسبة المطاوعة Peak strengths and ductility ratios

$$\mu = \frac{\delta_{max}}{\delta_y} \quad (14)$$

δ_{max} : الانتقال الأعظمي أثناء الدورة المستقرة
 δ_y : الانتقال الاسمي عند خضوع المخمد، ويحسب من الشكل 6 وهو الانتقال الحاصل لحظة الانحراف عن الخطية الابتدائية.

+ كلا المقاومتين الموجبة P_{max} (downward) والسالبة P_{min} (upward) مبيّنة في الجدول 3.
 + بسبب مرحلة حد التقسية (Strain Hardening) المقاومة الموجبة P_{max} أكبر من مقاومة الخضوع $V_{y,FI}$.
 + أعطى المخمد SL-2 أكبر إزاحة 28.2mm ناتجة عن سجل الانتقالات القسرية المطبقة مقارنة مع باقي المخمّدات.
 + نسبة المطاوعة تعرف بالعلاقة:

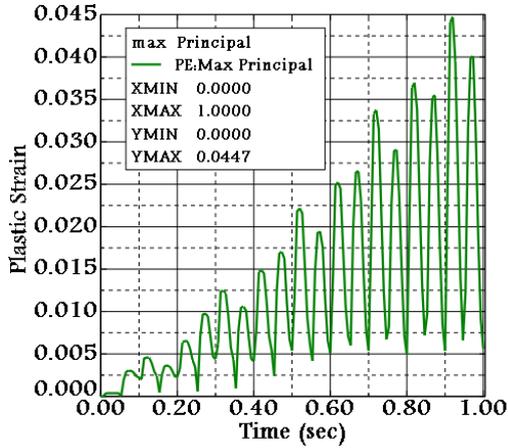
الجدول 3: تلخيص النتائج (الوحدات بـ kN,mm)

المخمد	K_d	$K_{d,FI}$	C	V_y	$V_{y,FI}$	$\frac{V_{y,FI}}{V_y}$	P_{max}	P_{min}	$\Delta_{y,FI}$	δ_{max}	μ
	العلاقة (20)	الشكل 6	$c = \frac{K_{d,FI}}{K_d}$	العلاقة (11)	الشكل 6		الشكل 6		الشكل 6	الشكل 6	العلاقة (14)
SL-1	13.74	14.03	1.02	25.6	26.1	1.02	37.88	-	1.86	28.55	15.3
SL-2	11.46	11.9	1.04	24.1	25	1.04	34.88	-	2.1	28.39	13.5
SL-3	8.21	8.52	1.04	21.6	22.4	1.04	41.21	-	2.63	28.05	10.6
SL-4	7.03	7.29	1.04	20.5	21.2	1.03	32.75	-	2.91	31.61	10.9

+ نسب المطاوعة المدرجة في الجدول محسوبة عن إزاحة المخمد العظمي والناجمة عن أثر تطبيق التحريك الديناميكي المفروض الشكل 5. في حين أن المطاوعة الحقيقية للمخمد يجب أن تحسب عند الانتقال الأعظمي للمخمد قبل انهياره وتلفه.
 + يملك المخمد SL-1 أكبر نسبة مطاوعة.

يظهر الشكل 8 المنحنيات الخاصة بتبديد الطاقة مقدرة بـ (جول)، كما يظهر الشكل 9 كيفية حساب الصلابة الفعالة ونسبة التخماد المكافئة وحجم الطاقة المتبددة.

لدى رئيسي $PE_{Principal} = 0.045$ لصفائح المخمد حدثت في اللحظة 0.95، مما يؤكد قدرة الصفائح في تحمل عدد دورات أكبر من دورات التحميل، حيث يترافق هذا التشوه مع قوة 3.4 طن للمخمد.



الشكل 10: التشوه الأعظم الرئيسي لإحدى صفائح المخمد SL-2 حتى اللحظة 1 ثانية

4-5 الصلابة الفعالة ونسبة التخميد المكافئة:

Effective stiffness and Equivalent damping ratio:

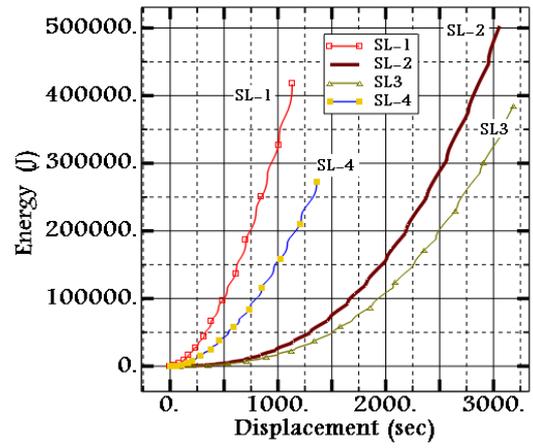
- اعتمادا على الشكل 9 يمكن تعريف الصلابة الفعالة للمخمد بإحدى العلاقتين التاليتين:

$$K_{eff} = \frac{|P_{max}|}{|\delta_{max}|} \quad (15)$$

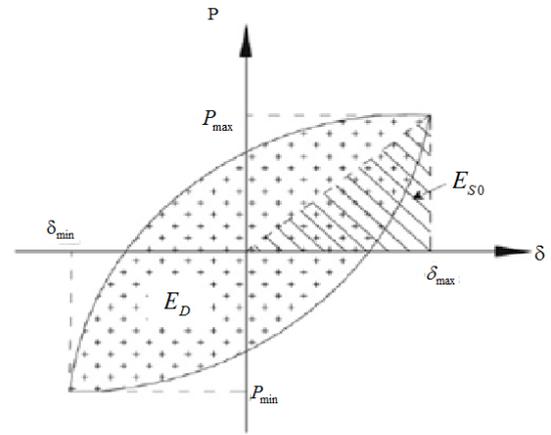
$$K_{eff} = \frac{|P_{max} - P_{min}|}{|\delta_{max} - \delta_{min}|} \quad (16)$$

- ويمكن تعريف نسبة التخميد المكافئة ζ_{eq} عن طريق حساب حجم الطاقة المتبددة المقاسة لكل دورة E_D والموضحة بالمنحنيات الشكل 6 ثم تطبيق العلاقة التالية

$$\zeta_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}} \quad (17)$$



الشكل 8: تبديد الطاقة التراكمي في المخمّات مقدرة بـ (جول)



الشكل 9: شكل توضيحي لحساب الصلابة الفعالة والطاقة المتبددة

- في المجال المرن لا يوجد تبديد للطاقة المدخلة.
- يبدأ امتصاص وتخميد الطاقة الزلزالية عند دخول الصفائح بمرحلة التشوه بالمجال المرن - اللدن، ويزداد حجم الطاقة الممتصة مع زيادة التشوهات اللدنة.
- هناك تذبذبات صغيرة في هذه المنحنيات بسبب تحرير الطاقة عند كل دورة.

- المخمّات المدروسة خفيفة الوزن مؤهلة لتبديد طاقة تقدر بحوالي 167 كيلوجول في المخمد SL-1، 250 كيلوجول في المخمد SL-2، 50 كيلوجول في المخمد SL-3 و68 كيلوجول في المخمد SL-4. من هنا يظهر أهمية اختيار صفائح المخمد SL-2 للعمل كمخمد هستيري من النمط ADAS باعتبارها تبدد أكبر حجم للطاقة.

4-6-2 توزيع التشوهات في المخمد Strain distributions in Damper

يبين الشكل 10 السلوك التشوهي لإحدى صفائح المخمد SL-2 (الذي يبدد أكبر حجم للطاقة). نلاحظ أن أعظم تشوه

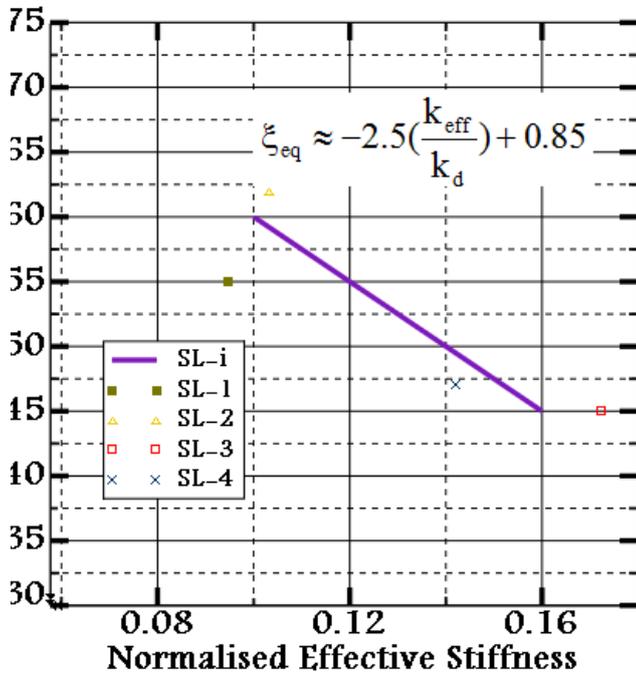
- كل دورة من دورات التحميل تعين صلابة محتملة فعالة ونسبة تخامد مكافئة للصفحة، تنخفض الصلابة الفعالة عندما تتعرض الصفحة لانتقالات أكبر، ويمكن استنتاج العلاقة التالية:

$$\xi_{eq} \approx -2.5\left(\frac{k_{eff}}{k_d}\right) + 0.85 \quad (18)$$

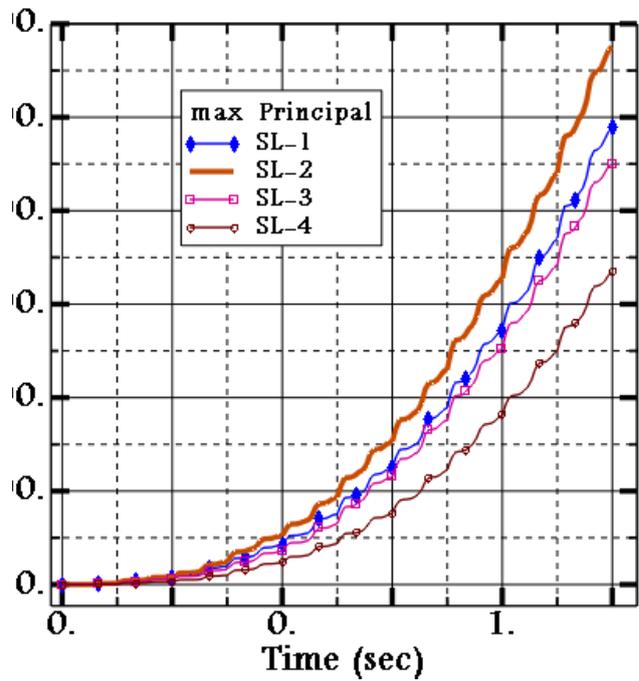
- يمكن إدراك أن نسبة التخماد المكافئة تتغير بصورة عكسية تقريبا مع الصلابة المؤثرة الشكل 12.

حيث E_{S0} الطاقة المخترنة في نابض مرن صلابته K_{eff} و انتقاله الأعظمي δ_{max} .

- في مجال الانتقالات الكبيرة، تعطي المخمّات نسبة تخامد أكبر وهذا مناسب مع حالة الزلازل.
- المخمد SL-2 يستطيع تأمين أكبر نسبة تخامد، الجدول 2-5.
- يوضح الجدول 4 نسبة التخماد المكافئة مع الصلابة الفعالة K_{eff} / K_d للمخمّات الأربعة.



الشكل 12: نسبة التخماد المكافئ للمخمّات



الشكل 11: منحنيات الطاقة المتبددة لكل مخمد حسب الزمن

- يمكن اعتبار كل دورة من دورات التحميل مستقلة بذاتها، بهدف تقدير نسبة الصلابة الفعالة ونسبة التخماد المكافئة.

الجدول 4 نسبة التخماد المكافئة (الوحدات بـ kN,mm)

المخمد	P_{max}	P_{min}	δ_{max}	δ_{min}	E_{S0}	E_D	K_{eff} / K_d	ζ_{eq}
SL-1	37.88	-38.23	28.55	-25.68	540.737	6791.657	0.094568	55%

SL-2	34.88	-35.22	28.39	-26.51	495.1216	6218.727	0.103244	62%
SL-3	41.21	-37.53	28.05	-26.41	577.9703	7259.306	0.172437	45%
SL-4	32.75	-33.42	31.61	-29.51	517.6138	6501.229	0.142121	47%

التأكيد أن تأثير مرحلة حد التقسية مفيد في مجالات تبديد الطاقة.

ج- الصفائح ذات الفتحات الأكبر نسبياً تسلك سلوك انعطافي أكبر ، أما الصفائح ذات الفتحات الأنحف تملك صلابة أكبر وتبديد الطاقة بنسبة أكبر لكن تعاني من تشوهات أكبر (أي انهيار أسرع).

ح- تركيز التشوهات اللدنة الكبيرة وتزايدها عند أطراف الصفائح يدفعها إلى الانهيار.

يمكن حساب نسبة التخاذم المكافئة من العلاقة التقريبية

$$\xi_{eq} \approx -0.311\left(\frac{k_{eff}}{k_d}\right) + 0.911$$

مما يسهل عملية تحليل الإطار تحليلاً ديناميكياً خطياً.

6- الاستنتاجات والتوصيات:

يقدم هذا الفصل دراسة عددية وتحليلية لمجموعة من الصفائح التي تصلح للاستخدام في المخمد المعدني ADAS الذي يهدف لتبديد الطاقة الزلزالية في الجمل الإطارية لجسور الخطوط الحديدية.

- الصفائح المستخدمة من مادة الفولاذ الطري المتوفر في السوق المحلي.
- لا يوجد تقنيات معقدة، لوضع المخمد المعدني ADAS في العمل.
- تبديد الصفائح الطاقة بواسطة دخولها في مرحلة اللدونة إثر الإجهادات الناظمية الناشئة عن عزوم الانعطاف حول محور Z-Z.

- هناك 4 مخمدات معرضة لانتقالات دورية منمذجة و فقط طريقة العناصر المنتهية بالاستعانة ببرنامج ABAQUS ، حيث كانت أهم النتائج :

أ- أثبتت نتائج التحليل أن السلوك الهيسثيري مستقر لجميع الصفائح وهناك تبديد ملحوظ للطاقة تقدر بـ 250 kJ للمخمد (SL-2)

ب- يمكن بسهولة تقدير قوة الخضوع للمخمد بواسطة التحليل الميكانيزمي اللدن والعلاقات الواردة في الفقرة 2-2 ولا سيما عندما تكون النسبة h/t محققة للشروط الواردة أعلاه.

ت- هناك توافق في قيم الصلابة المحسوبة وفق الطريقتين العددية والرياضية ضمن المجال الخطي، ويظهر الاختلاف بسبب أخذ عوامل اللاخطية المتمثلة بـ (لاخطية المادة واللاخطية الهندسية التي يأخذها بعين الاعتبار برنامج ABAQUS).

ث- نتيجة مرحلة حد التقسية (Strain Hardening)، تكون المقاومة الحديدية للمخمدات أكبر من مقاومة حد الخضوع ، لذلك يمكن

المراجع:

- [1] Abdollahzadeh, G.R. and Bayat, M. (2010). *The Influences of the Different PGA'S and Heights of Structures on Steel Braced Frame Systems Equipped with ADAS dampers*. IJRRAS. 272-278.
- [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] Bayat, S. and Abdollahzade, G.R. (2011). *Analysis of the steel braced frames equipped with ADAS devices under the far field records*. Latin American Journal of Solids and Structures. 8(2011), 163 – 181.
- [4] Daniel R. Teruna, Taksiah A. Majid and Bambang Budiono (2014). *The Use of Steel Damper for Enhancing the Seismic Performance of R/C Frame with Soft First Story*. Journal of Civil Engineering Research. 4[3A]: 191-202.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

ورد هذا البحث إلى مجلة وزارة النقل يوم الأحد
11- شباط - 2018