

## مقارنة بين الصفائح المصمتة والمفرغة - بشكل حرف X - المستخدمة في المخمدات المعدنية ADAS من حيث (نسبة التخماد & نسبة المطاوعة & نسبة تبديد الطاقة)

الدكتور منير الأطرش\*

الدكتور أكرم صفور\*\*

محمد فادي عبد القادر نقرش\*\*\*

(تاريخ الإيداع 8 / 2 / 2015. قُبِلَ للنشر في 27 / 5 / 2015)

### □ ملخص □

تُقدم هذه المقالة دراسة عددية وتحليلية لمجموعة من الصفائح بشكل حرف X بهدف اختيار الصفيحة الأفضل للعمل كمخمد معدني من النمط ADAS والذي يهدف بدوره لامتناس وتخميد الطاقة الزلزالية في الجمل الإطارية للمنشآت. تمتص وتُخمد الطاقة من خلال دخول الصفيحة دفعة واحدة في مرحلة اللدونة تحت تأثير تشوهات قص دورية لامرنة، على اعتبار أن الصفيحة مثبتة بوثاقة تامة من الطرفين. يتم إثبات فعالية الصفائح المدروسة من خلال بناء خمسة نماذج حاسوبية ضمن بيئة برنامج ABAQUS ومقارنة النتائج مع نتائج التحليل للانهييار اللدن. حيث أظهر التحليل اللاخطي أن جميع الصفائح تتمتع بسلوك هيسٲيري مستقر وتقوم بامتصاص الطاقة بدرجة ممتازة، وذلك عند تعرضها لانتقالات دورية قسرية.

والجدير بالذكر أيضا أن الأبعاد الهندسية الخارجية للصفائح وخصائص الفولاذ المستخدم هي حصيلة أبحاث عالمية محكمة، في حين تهتم هذه المقالة بدراسة أثر وجود فتحات صغيرة - دائرية وطولية - في هذه الصفائح لرفع جدوى التخميد بأعلى درجة ممكنة.

**الكلمات المفتاحية:** تبديد الطاقة - المخمد المعدني ADAS (إضافة تخميد و صلابة) - التحليل اللاخطي اللامرنة

\* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

\*\* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

\*\*\* طالب دكتوراه - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

## Comparison Between Filled and Hollow X-Shape Plates in Dampers ADAS (Damping Ratio & Ductility Ratio & Energy Dissipation Ratio)

Dr. Mounir AL Atrach \*

Dr. Akram sakkour \*\*

MHD. Fadi Abdul Kader Nakrash \*\*\*

(Received 8 / 2 / 2015. Accepted 27 / 5 / 2015)

### □ ABSTRACT □

This article summarizes a numerical and mathematical comparison between filled and hollow X-shape plates to develop a new steel energy dissipative damper for structures protection of earthquakes. The plate is a weld from two ends. Energy is dissipated through flexural yielding when the plate is subjected to inelastic cyclic deformation. The performance of the plate was verified by five models by software ABAQUS and plastic mechanism analysis. Results showed that the plate exhibited stable hysteresis and dissipate energy with excellent values. It is Important to say all dimensions of plates and quality of steel are verified by international articles. This article's interest lies in studying the effect of openings on plate's dissipation energy.

**Keywords:** Energy dissipation – Metallic damper ADAS –Nonlinear Analysis

---

\* Professor- Department of Structural Engineering-Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia–Syria

\*\* Associate Professor– Dep. of Structural Engineering, Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia Syria

\*\*\* Postgraduate Student- Dep. of Structural Engineering, Civil Engineering-Tishreen University–Lattakia–Syria

**مقدمة:**

حققت أبحاث التحكم الإنشائي في مواجهة الرياح والزلازل بمختلف صنوفها تقدماً مميّزًا عبر العقود الثلاثة الأخيرة (Soong, 1997; Soong, 2002; Boardman, 1983). يمكن أن يصنف التحكم الإنشائي في ثلاثة مجموعات:

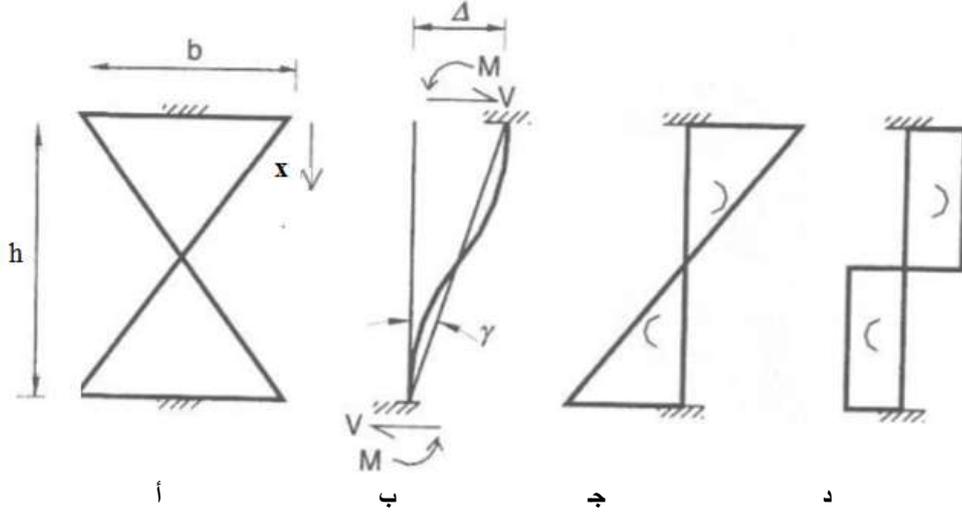
- 1- أنظمة التحكم غير النشط حيث تزود المنشآت بأدوات تصميمية أو مخمدات لا تحتاج إلى طاقة خارجية للعمل.
  - 2- أنظمة التحكم النشط حيث تزود المنشآت بحساسات وأجهزة حاسوب وأدوات توزيع القوة لتضيف إلى البناء طاقة خارجية ناتجة عن قوى التحكم تعاكس في عملها تأثير حملات الرياح والزلازل.
  - 3- أنظمة التحكم نصف النشط حيث تستخدم طاقة صغيرة لتغيير بعض المواصفات الهندسية للمنشأة.
- أنظمة التحكم غير النشط تعرف أيضا بأنظمة تبديد الطاقة والتي تعتبر طريقة فعالة وغير مكلفة لتخفيف المخاطر الزلزالية على المنشآت. بواسطة أدوات تبديد الطاقة الموجودة في المنشأة، تنبذ كمية كبيرة من الطاقة الداخلة على المنشأة، ومنه سيكون الضرر على المنشأة وساكنيها صغير جدا. تتمتع هذه الأدوات بسهولة استبدالها بعد انتهاء الزلزال بزمان قصير وبكلفة صغيرة جدا.
- عملية تخميد وامتصاص الطاقة الاهتزازية يمكن أن تحقق بواسطة إحدى الميكانيزمات التالية: الانزلاق الاحتكاكي، خضوع المواد، تحول المواد phase transformation of metals، جريان السائل و... إلخ. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة خضوع المواد المعدنية حيث يمكن مشاهدة العديد من المخمدات المعدنية مصورة في المرجعين (Martines, 1993; Perry, 1993) والشكل (4)، من المخمدات المعدنية الشائعة: الصفائح المثلية الشكل TADAS (Bergman, 1987; Tsai, 1993)، الصفائح ذات شكل قرص العسل (Kobori, 1992) وتحنيب شبكات التريبط المقيدة (Clark, 1999).
- تتوضع هذه المخمدات عادة فوق شبكات التريبط أو في العقد الإطارية (Koetaka, 2005). وأيضا اهتم بعض الباحثون في نوع المادة المستخدمة في المخمد مثل: الرصاص، النحاس والفولاذ المعدني المطاوع القادر على التمثط والاستطالة الكافية قبل الخروج عن العمل بهدف تطوير ورفع نسبة تبديد الطاقة بأعلى المستويات (Nakashima, 1994; Llera, 2004; Rodgers, 2006).
- قدم الباحثون (de la Llera et al, 2004) صفات المخمد المعدني الجيد:
- أن يمتلك استقرار وقدرة 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 المخمد المعدني (Dolce, 2000; Williams 2006) حيث استخدمت بعض الأبحاث منحنى الثنائي الخطية المبسط للتعبير عن الاستجابة الهيسترية (Kia, 1992)، واستند آخرون (Nakashima 1995) على منحنى Bouc–Wen وعلى منحنى Ramberg–Osgood.

### أهمية البحث وأهدافه:

تقدم هذه المقالة مقارنة بين مجموعة من الصفائح لاختيار الصفيحة المثلى من حيث الشكل والتي تحقق استقرار في سلوكها الديناميكي وتحقق جدوى تخميد أعظمية بحيث توظف في تطوير مخمد معدني جديد من النمط ADAS. حيث سيتم بناء 5 نماذج حاسوبية باستخدام برنامج ABAQUS معرضة لحمولات دورية، ثم تحليل استجابتها الديناميكية اللامرنة، وإجراء مقارنة بين نسب التخماد ونسب المطاوعة ونسب تبديد الطاقة.

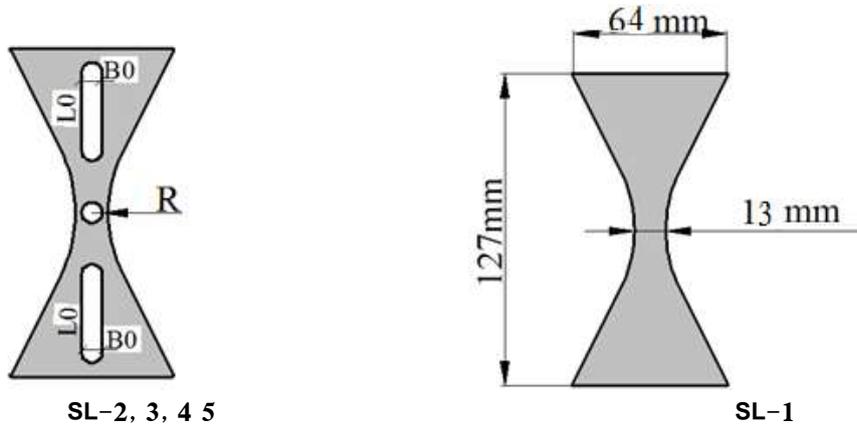
### الصفائح المستخدمة في الدراسة:

الأبعاد الأولية للصفائح المدروسة مبينة في الأشكال (1) و(2) والجدول (1)، والتي تعتمد مبدأ الانحناء الثابت لكامل الصفيحة أثناء تعرضها لحمولات القص كما يوضحه الشكل (1-د) و الفقرة 4. الفتحاح الموجودة في الصفيحة ذات نهايات مدورة بهدف تخفيض تركيز الإجهادات في الزوايا، نصف قطر هذه النهايات تساوي  $B_0/2$ ، توضع هذه الصفائح عادة فوق شبكات التبريط كما هو موضح بالشكل (3) و (4).

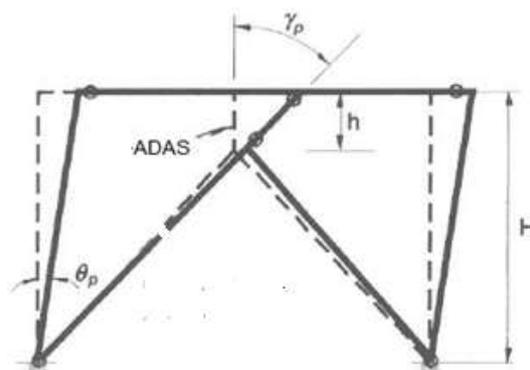
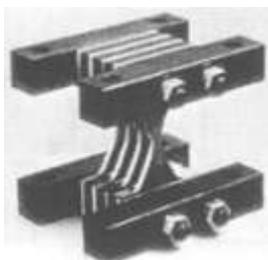


الشكل (1): صفيحة لها شكل حرف X

أ - الشكل المكافئ ب- مخطط التشوه ج- مخطط عزم الانعطاف د - الانحناء ( $M/EI$ )



الشكل (2): الصفائح الفولاذية المستخدمة في الدراسة



الشكل(4): مخمد ADAS يملك 4 صفائح لها شكل حرف X وآخر يملك 8 صفائح مثلثية الشكل

الشكل (3): إطار مزود بشبكة تريببوت مركزية ومخمد ADAS الخط المستمر يبين وضعية الإطار بعد التشوه

الجدول (1) أبعاد الصفائح المستخدمة في الدراسة (الوحدات : mm)

رقم الصفیحة	أبعاد الفتحات في الصفیحة				$L_0 / B_0$	ملاحظات حول الصفیحة
	$t$	$L_0$	$B_0$	$R$		
SL-1	6	-	-	-	-	(مصممة)
SL-2	6	-	-	4	-	(فقط دائرة)
SL-3	6	30	8	-	3.75	(فقط فتحات طولیة)
SL-4	6	30	8	4	3.75	(فتحات طولیة مع فتحة في المركز)
SL-5	6	30	4	2	7.5	(فتحات طولیة مع فتحة في المركز)

### التحليل للانهياب اللدن للصفائح:

بالعودة للشكل (1) والشكل (3) وباعتبار  $t$  سماكة الصفیحة،  $h$  ارتفاع الصفیحة،  $x$  متغير ضمني يأخذ القيم من الصفر (عند النهاية العریضة للصفیحة) حتى  $h/2$  (نصف الارتفاع الكلي للصفیحة)،  $b$  عرض الصفیحة عند القاعدة،  $E$  معامل المرونة الطولي للصفیحة،  $V + M$  ردود فعل الوثاقعة (عزم انعطاف وقوة قص) نتيجة تطبيق الانتقال  $\Delta$ ،  $f_y$  إجهاد الخضوع للصفیحة،  $k_d$  الصلابة المرنة للصفیحة،  $c = K_{d,FI} / K_d$  معامل تصحيح لمعايرة النتائج مع نتائج التحليل العددي باستخدام برنامج ABAQUS.

- عرض الصفیحة عند المسافة  $x$ :

$$b_x = \left(1 - \frac{2x}{h}\right)b \quad (1)$$

- عزم العطالة لمقطع الصفیحة (الذي يبعد المسافة  $x$  عن الوثاقعة):

$$I = \frac{b_x t^3}{12} = \frac{bt^3}{12} \left(1 - \frac{2x}{h}\right) \quad (2)$$

- عزم الانعطاف  $M$  على طول الصفيحة والناجح عن تطبيق واحدة الانتقالات بين الوثاقتين، الشكل (1-ج):

$$M = \frac{6EI}{h^2} = \frac{Ebt^3}{2h^2} \left(1 - \frac{2x}{h}\right) \quad (3)$$

$$(x = 0) \rightarrow M_{(x=0)} = \frac{Ebt^3}{2h^2}$$

- نلاحظ أن قيمة انحناء الصفيحة  $M/EI$  ثابتة على طول ارتفاعها ولا تتعلق بـ  $x$ ، وهذا يؤدي إلى تلدن الصفيحة بصورة كاملة بأن واحد.

- ويمكن كتابة معادلة التوازن  $\sum M_i = 0$  في الشكل (1-ب) كمايلي:

$$2M = V \times h$$

$$M = \frac{V \times h}{2} \quad (4)$$

- قوة القص  $V$  على طول الصفيحة والناجح عن تطبيق الانتقال  $\Delta$  بين الوثاقتين:

$$V = \frac{12EI}{h^3} \Delta = \frac{Ebt^3}{h^3} \left(1 - \frac{2x}{h}\right) \Delta \quad (5)$$

$$\left(x = \frac{1}{3} \times \frac{h}{2}\right) \rightarrow V_{(x=\frac{h}{6})} = \frac{2Ebt^3}{3h^3} \Delta$$

$$(x = 0) \rightarrow V_{(x=0)} = \frac{Ebt^3}{h^3} \Delta$$

- الصلابة المرنة للصفحة محسوبة عند المسافة  $(x = \frac{1}{3} \times \frac{h}{2} = \frac{h}{6})$ :

$$K_d = \frac{V}{\Delta} = \frac{2Ebt^3}{3h^3} \quad (6)$$

- عزم الانعطاف المرن للصفحة:

$$M_e = w_{xx} \cdot f_y = \frac{b_x t^2}{6} f_y = \frac{bt^2}{6} \left(1 - \frac{2x}{h}\right) f_y \quad (7)$$

$$(x = 0) \rightarrow M_{e(x=0)} = \frac{bt^2}{6} f_y$$

- عزم الانعطاف اللدن للصفحة:

$$M_p = z_{xx} \cdot f_y = \frac{b_x t^2}{4} f_y = \frac{bt^2}{4} \left(1 - \frac{2x}{h}\right) f_y \quad (8)$$

$$(x = 0) \rightarrow M_{p(x=0)} = \frac{bt^2}{4} f_y$$

وحسب نظرية التحليل اللدن يمكن أن يتشكل مفصلين لدنين في الصفيحة عند النهايات الموثوقة تحت تأثير الانتقال النسبي  $\Delta_p$  بين الوثاقتين الشكل (1-ب)، وباستخدام هذه النظرية يمكن حساب القوة الأعظمية  $V_p$  التي تسبب انهيار الصفيحة وتشكل المفاصل اللدنة، وذلك بمساواة العمل الخارجي مع العمل الداخلي:

$$\left. \begin{aligned} W_{\text{ext}} &= V_p \cdot \Delta_p \\ W_{\text{int}} &= 2M_p \cdot \gamma_p \end{aligned} \right\} \rightarrow V_p \cdot \Delta_p = 2M_p \cdot \gamma_p \quad (9)$$

- من الشكل (1-ب) :

$$h \cdot \gamma_p = \Delta_p \quad (10)$$

من العلاقاتين 9 و 10 يكون لدينا:

$$V_p = \frac{2M_p}{h} = \frac{bt^2}{2h} f_y \quad (11)$$

- يمكن حساب  $V_y$  قوة المسببة لتلدن اللبف الأبعد عن المحور المحايد بمقارنة العلاقاتين 4 و 7:

$$V_y = \frac{bt^2}{3h} f_y \quad (12)$$

- يمكن حساب الانتقال  $\Delta_y$  الموافق للقوة  $V_y$  بتعويض 12 في 5 محسوبا عند المسافة

$$: (x = \frac{1}{3} \times \frac{h}{2} = \frac{h}{6})$$

$$\Delta_y = \frac{f_y}{2E} \frac{h^2}{t} = 0.5 \varepsilon_y \times \frac{h^2}{t} \quad (13)$$

### طرائق البحث ومواده (النمذجة الحاسوبية):

الهدف من النمذجة هو تأكيد صحة الخصائص الهندسية للصفائح المحسوبة وفق التحليل الميكانيزمي

اللدن بالإضافة إلى إثبات الفعالية الدورية للصفائح واختيار الصفيحة الأفضل ذات القدرة الأكبر في تبديد الطاقة.

باعتبار الفرضيات التالية:

- ❖ جميع الصفائح لا تتعرض لأي قوة محورية.
- ❖ العدد الإجمالي للصفائح هو خمس صفائح، 1 مصمتة و 4 تحوي فتحات صغيرة بأشكال مختلفة الشكل

(2).

❖ الصفائح متماثلة من حيث الأبعاد الخارجية الشكل (2)، ومن حيث السماكة  $t = 6 \text{ mm}$ ، ومن حيث مادة

الصنع (الفولاذ الطري ST30) الجدول 2.

❖ الصفائح SL-1، SL-2، SL-3، SL-4، SL-5 ستخضع إلى تحميل دوري .

❖ الانتقالات الزمنية القسرية النسبية المطبقة بين نهايتي الصفائح مبينة في الشكل (5)، باعتبارها تمثيل

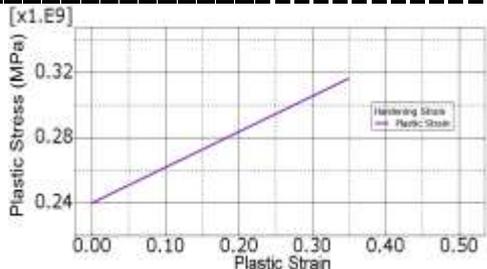
مبسطة لحمولات الزلازل (Dolce, 2000; Williams, 2006).

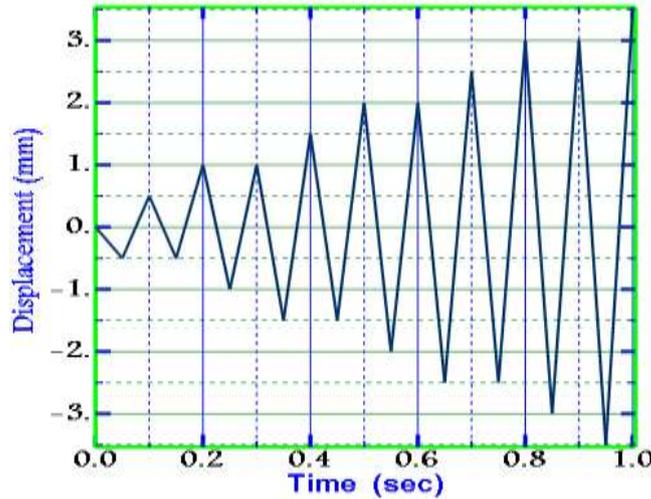
❖ الصفيحة SL-5 ستخضع أيضا إلى تحميل أحادي monotonic بهدف تحديد السلوك التشوهي للصفيحة.

❖ الصفيحة تزن أقل من 1 كغ.

❖ الكود التنفيذي (Data File) للنماذج مبين في نهاية المقالة (الملحق).

الجدول (2) خصائص الفولاذ المستخدم [ الوحدات N, m ]

Damping التخامد الذاتي للفولاذ		Density	Plastic Property		Elastic Property	
Beta ** $\beta_R$	Alpha * $\alpha_R$		True Yield Stress	True Plastic Strain	Poisson's Ratio	Young's Modulus
0	50	7800 kg / m <sup>3</sup>	240×10 <sup>6</sup>	0	0.3	206.1×10 <sup>9</sup>
			316.5×10 <sup>6</sup>	0.35		
			ثوابت مادة الفولاذ: نسبة إجهاد الخضوع الديناميكي إلى الستاتيكي R $\dot{\epsilon}_{PL} = D(R-1)^n$ To define yield stress ratios with the Cower-Symonds overstress law			
			n	D		
			5	40		
						
* Factor to create Rayleigh mass proportional damping. ** Factor to create Rayleigh stiffness proportional damping.						



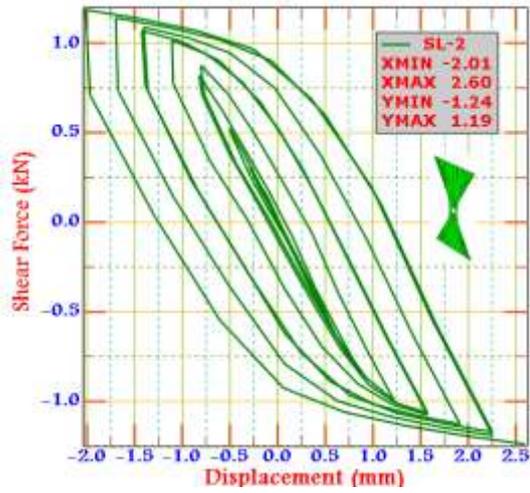
الشكل (5): السجل الزمني للانتقالات القسرية النسبية المطبقة بين نهايتي الصفائح

## النتائج والمناقشة:

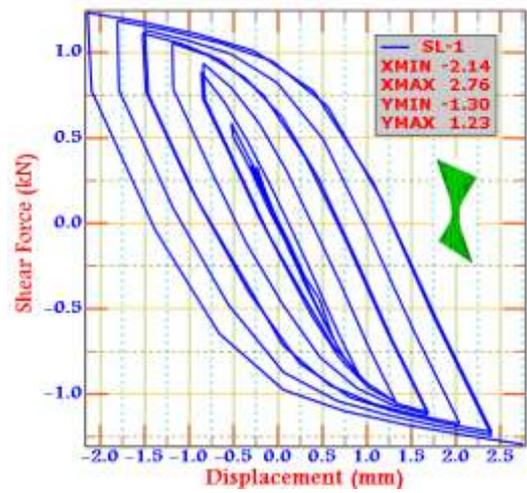
- تم تعريف الصفائح لـ 9 دورات تحميل الشكل (5)، أظهرت الصفائح خلالها استقرار في سلوكها اللدن دون الإشارة إلى التراجع الطفيف الحاصل في الصلابة والمقاومة حيث يمكن تقسيم المنحني الهستيري لكل صفيحة إلى ثلاثة أقسام منفصلة كما يوضحه الشكل (9).
- يوضح الشكل (6) المنحنيات الهستيرية (قوة - انتقال) للصفائح الخمس، الإشارة الموجبة تشير إلى أن القوة والانتقال بنفس الاتجاه.
- من الواضح دخول الصفيحة 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 الصفيحة الناتجة أقل من الانتقال القسري المطبق، وهذا مبين في الشكل (6) حيث نلاحظ أن قيمة الانتقال الأعظمي في الصفيحة SL-5 يساوي 3.27mm وهو أقل من قيمة الانتقال القسري الأعظمي المطبق 3.50mm المبين في الشكل (5).
- نتائج التحليل وقيم التشوهات اللدنة تؤكد قدرة تحمل الصفائح لعدد أكبر من دورات التحميل  $N_C \geq 9$
- الشكل (7) يبين قيم التشوهات اللدنة للصفائح الخمس.

### 1- الصلابة المرنة الابتدائية للصفائح:

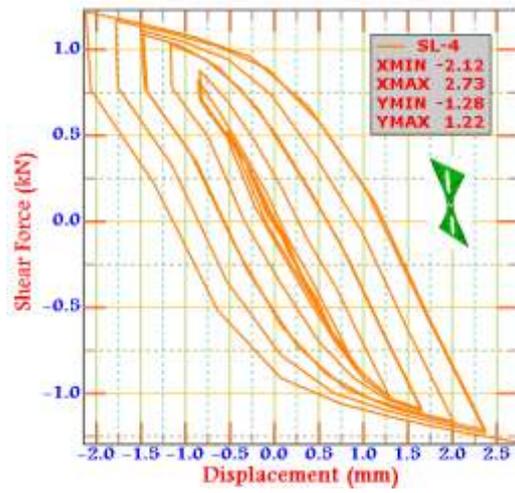
- الخصائص الهندسية لكل صفيحة موضحة في الجدول (3)، باعتبار  $V_{y,FI}$  المقاومة المرنة للصفيحة وفق طريقة العناصر المنتهية (برنامج ABAQUS) وهي بالتعريف نقطة الانحراف المرئي عن الخطية الابتدائية،  $V_y$  المقاومة المرنة للصفيحة باستخدام المعادلة (12)، حيث نلاحظ تقارب القيم وفق الطريقتين للصفيحة SL-2 وتباعدها في الصفائح الأخرى وهذا عائد لطبيعة الفراغات التي تحويها الصفيحة بحيث يأخذ معامل المعايرة C في الجدول 3 قيمة أصغرية  $C=1.081$ .
- الصلابة الحقيقية للصفائح المفرغة هي أكبر من تلك المحسوبة وفق العلاقة رقم (6) بنسبة 22% تقريبا.



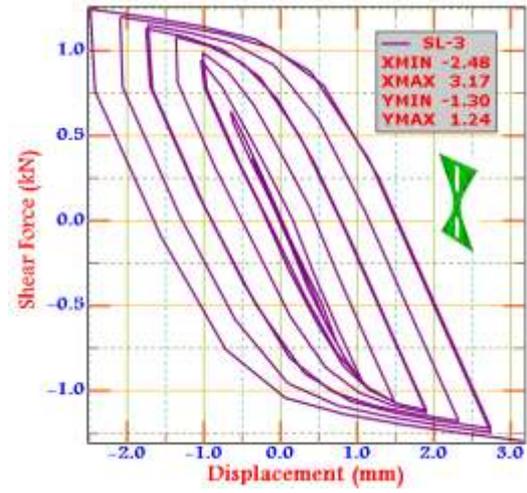
الصفحة SL-2



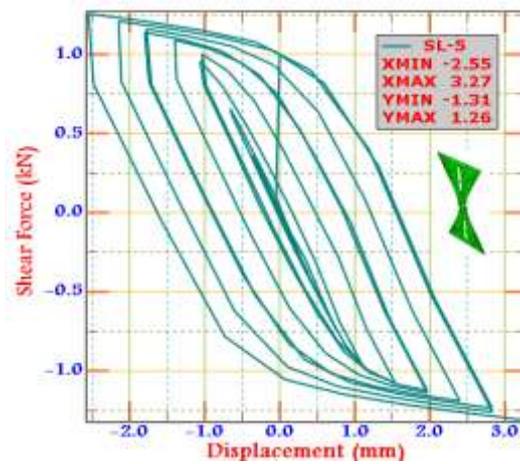
الصفحة SL-1



الصفحة SL-4

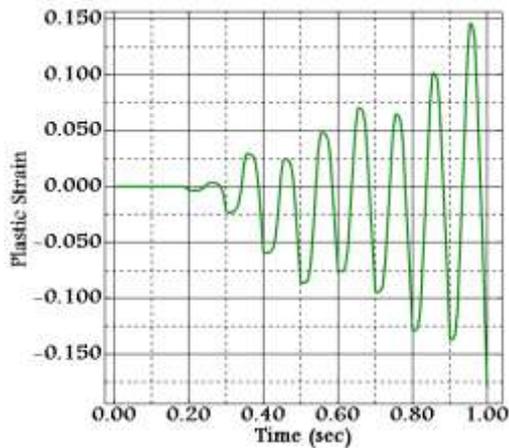


الصفحة SL-3

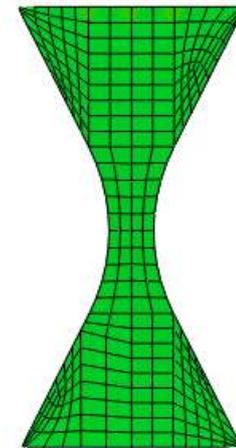
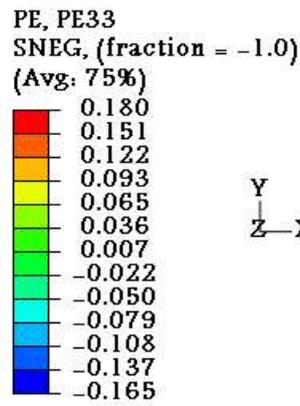


الصفحة SL-5

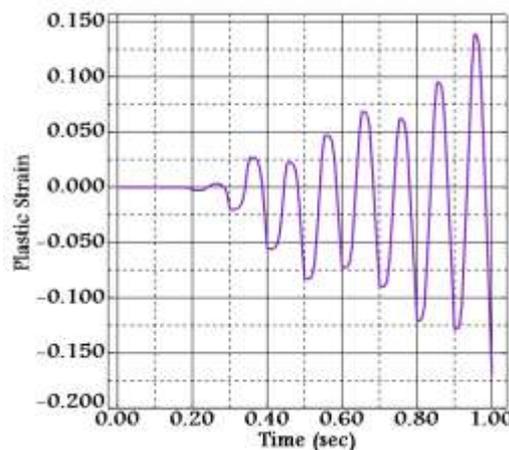
الشكل (6): السلوك الهستيرتي للصفائح الخمس (قوة - انتقال)



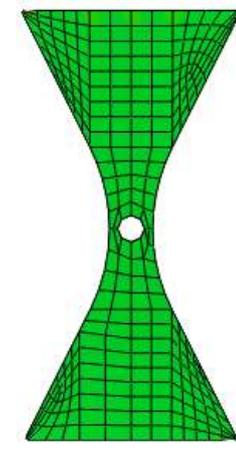
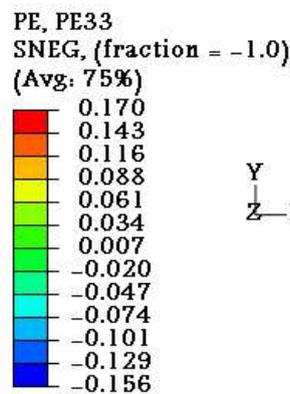
قيم التشوهات اللدنة الأعظمية للصفحة SL-1



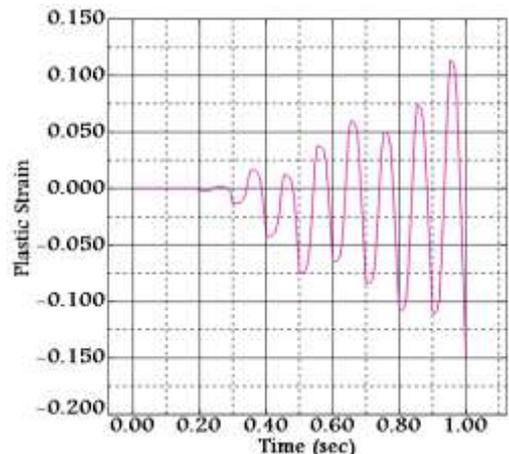
الصفحة SL-1



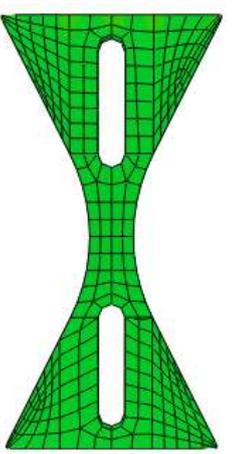
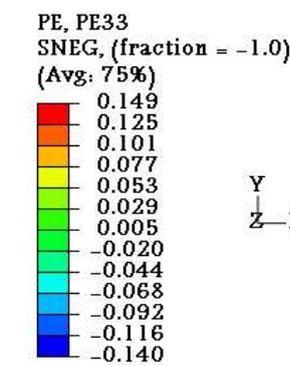
قيم التشوهات اللدنة الأعظمية للصفحة SL-2



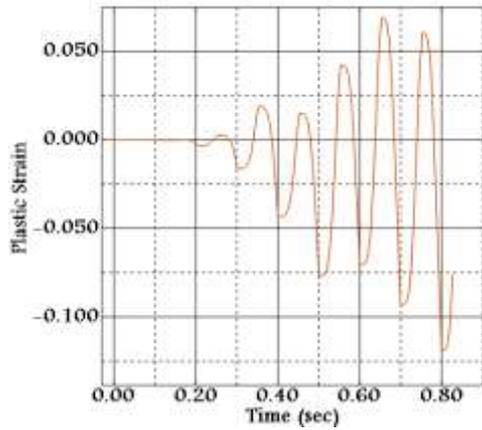
الصفحة SL-2



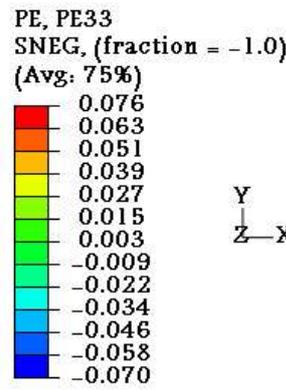
قيم التشوهات اللدنة الأعظمية للصفحة SL-3



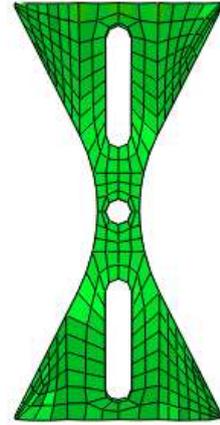
الصفحة SL-3



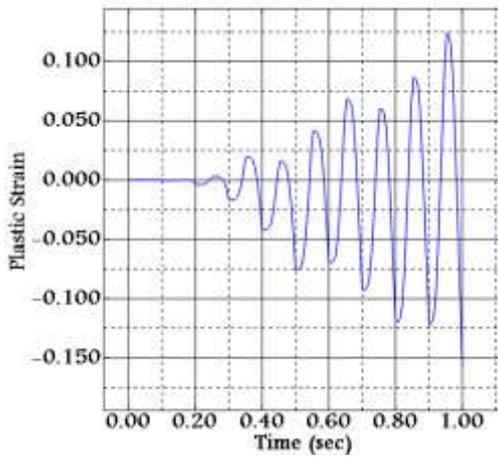
قيم التشوهات اللدنة الأعظمية للصفحة SL-4



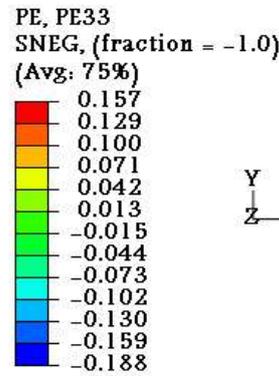
Y  
Z—X



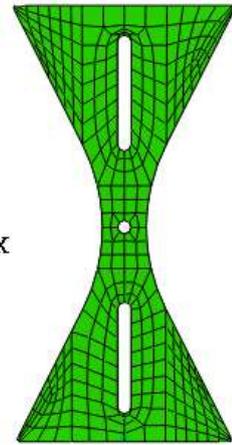
الصفحة SL-4



قيم التشوهات اللدنة الأعظمية للصفحة SL-5



Y  
Z—X



الصفحة SL-5

الشكل (7): التشوهات اللدنة للصفائح الخمس

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

الصفحة	$K_d$	$K_{d,FI}$	$C$	$V_y$	$V_{y,FI}$	$\frac{V_{y,FI}}{V_y}$	$P_{max}$	$P_{min}$	$\Delta_{y,FI}$	$\delta_{max}$	$\mu$
	العلاقة (6)	الشكل 6	$c = K_{d,FI}/K_d$	العلاقة (12)	الشكل 6		الشكل (11+6)		الشكل 6	الشكل (11+6)	العلاقة (14)
SL-1	0.927	1.096	1.182	1.451	1.074	0.740	1.23	-1.30	0.98	2.76	2.82
SL-2	0.927	1.002	1.081	1.451	0.962	0.663	1.09	-1.24	0.96	2.60	2.71
SL-3	0.811	1.029	1.269	1.270	0.978	0.770	1.24	-1.30	0.95	3.17	3.34
SL-4	0.811	0.999	1.232	1.270	0.950	0.748	1.22	-1.28	0.95	2.73	2.87
SL-5	0.869	1.059	1.219	1.360	1.006	0.740	1.26	-1.31	0.95	3.27	3.44

## 2- المقاومة العليا ونسبة المطاوعة:

- كلا المقاومتين الموجبة  $P_{max}$  (downward) والسالبة  $P_{min}$  (upward) مبينة في الجدول 3.

- المقاومة السالبة أعلى بصورة متوسطة بمقدار 5% من الموجبة بسبب ظاهرة Bauschinger، وهي بشكل مختصر ظاهرة ارتباط قيمة الإجهاد السالب المتناظر بمقدار التشوهات المقاسة الموجبة.
- بسبب مرحلة حد التقسية (Strain Hardening) المقاومة الموجبة  $P_{max}$  أكبر بـ 15% من قيم  $V_{y,FI}$ .
- أعطت الصفيحة SL-5 أكبر إزاحة 3.27mm ناتجة عن سجل الانتقالات القسرية المطبقة مقارنة مع باقي الصفائح.

▪ نسبة المطاوعة تعرف بالعلاقة:

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

حيث:

$\delta_{max}$ : الانتقال الأعظمي أثناء الدورة المستقرة

$\delta_y$ : الانتقال الاسمي عند خضوع الصفيحة، وبحسب من الشكل (6) وهو الانتقال الحاصل لحظة الانحراف

عن الخطية الابتدائية.

- نسب المطاوعة لجميع الصفائح تقع ضمن المجال [2.71, 3.44]
- يجب ملاحظة أن نسب المطاوعة تعتمد على الانتقالات الزمنية القسرية المطبقة، وأنها ستتغير بتغيرها.
- من المتوقع أن تزيد المطاوعة عن هذه القيم، بناء على انخفاض قيم التشوهات اللدنة والموضحة في الشكل (7).

▪ تملك الصفيحة SL-5 أكبر نسبة مطاوعة.

### 3- تبديد الطاقة:

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

❖ في المجال المرن لا يوجد تبديد للطاقة المدخلة.



الصفحة SL-2



الصفحة SL-1



الصفحة SL-4



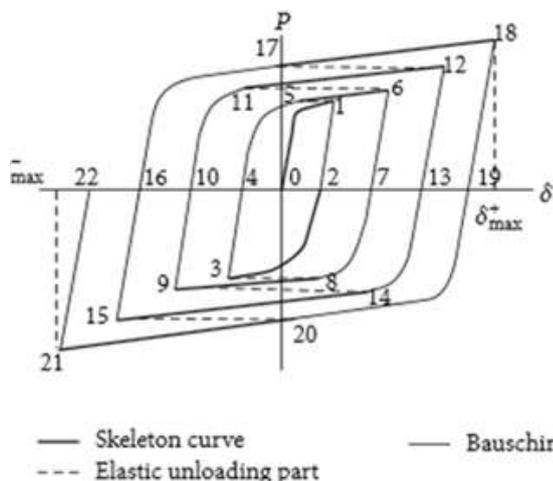
الصفحة SL-3



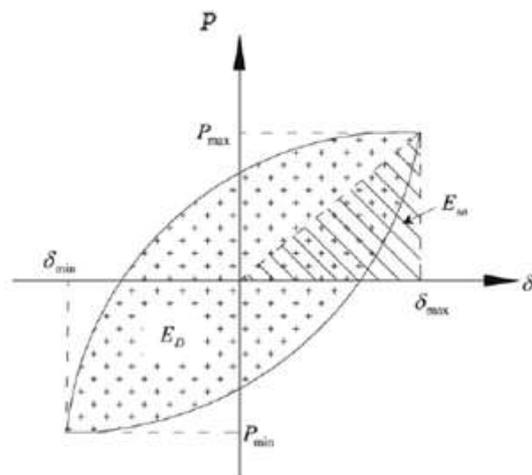
الصفحة SL-5

الشكل (8) تبديد الطاقة التراكمي للصفائح مقدره بـ (جول)

- ❖ يبدأ امتصاص وتخمين 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.
- ❖ الصفائح المدروسة الخفيفة الوزن مؤهلة لتبديد طاقة تقدر حوالي 1.5 كيلوجول، وهنا يظهر أهمية وجود عدد من هذه الصفائح كما هو مبين في الشكل(4).
- ❖ الصفحة SL-5 تبدد أكبر مقدار للطاقة بمقدار 1.479 كيلوجول.
- ❖ الصفحة SL-4 تبدد الحجم الأصغر من الطاقة 0.999 كيلوجول.
- ❖ من الممكن اختيار الصفحة الأفضل اعتمادا على مستوى تبديد الطاقة الذي يمكن ان يُقاس من خلال التحليل العددي للمنشأة كاملة (أي بوجود إطار مع شبكات تربيط مع مخمد ADAS).



2- الدورة الهستيريرية المستقرة

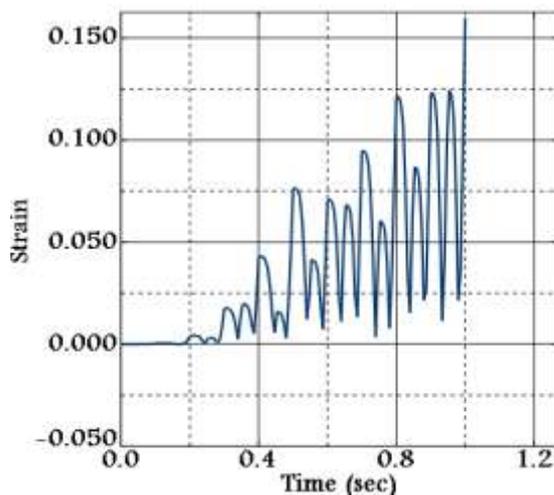


1- شكل توضيحي لحساب الصلابة الفعالة والطاقة المتبددة

الشكل (9): شكل توضيحي لحساب الصلابة الفعالة والطاقة المتبددة في الدورة الهستيريرية وأجزائها الثلاثة (Williams and Albermani, 2006)

#### 4 توزيع التشوهات للعينة SL-5:

يبين الشكل (10) السلوك التشوهي لنقطة اختيارية من الصفيحة SL-5 (التي بددت أكبر حجم للطاقة). حيث نلاحظ أن قيم التشوهات الأعظمية مازالت صغيرة والصفيحة قادرة على الصمود في وجه عدد أكبر من دورات التحميل.



الشكل (10): التشوه الأعظمي الرئيسي لنقطة اختيارية من الصفيحة SL-5

#### 5 الصلابة الفعالة ونسبة التخميد المكافئة:

- اعتمادا على الشكل (9) يمكن تعريف الصلابة الفعالة للصفيحة بإحدى العلاقتين التاليتين (Williams and Albermani, 2006)

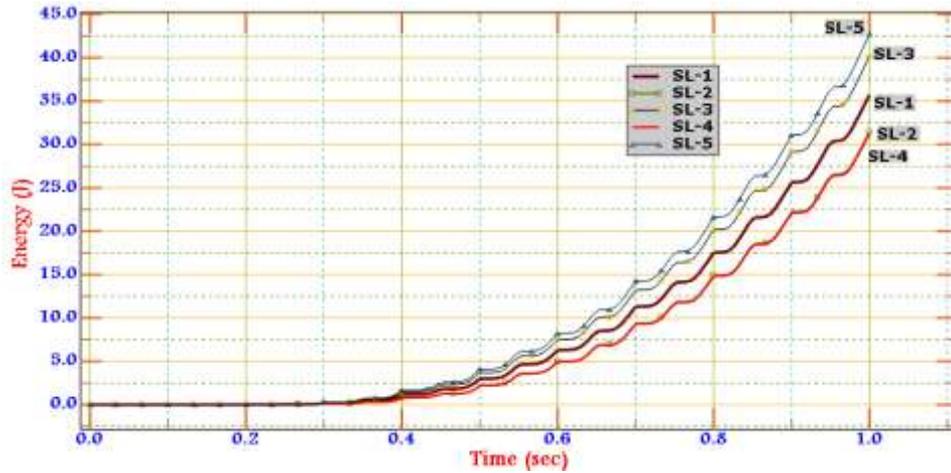
$$K_{\text{eff}} = \frac{P_{\text{max}}}{\delta_{\text{max}}} \quad (15)$$

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

- ويمكن تعريف نسبة التخماد المكافئة  $\zeta_{eq}$  عن طريق حساب حجم الطاقة المتبددة المقاسة لكل دورة  $E_D$  والموضحة بالمنحنيات (11) ثم تطبيق العلاقة التالية (Williams and Albermani, 2006):

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

حيث  $E_{S0}$  الطاقة المخترزة في نابض مرّن صلابته  $K_{eff}$  و انتقاله الأعظمي  $\delta_{max}$ .  
الجدول (4) يوضح نسبة التخماد المكافئة مع الصلابة الفعّالة  $K_{eff}/K_d$  من أجل عينة من دورات التحميل.



الشكل (11): منحنيات الطاقة المتبددة لكل صفيحة حسب الزمن

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

دورة تحميل الأخيرة	$P_{max}$	$P_{min}$	$\delta_{max}$	$\delta_{min}$	$E_{S0}$	$E_D$	$K_{eff} / K_d$	$\zeta_{eq}$
7	1.23	-1.3	2.76	-2.14	1.967	10.11	0.488	40.93%
7	1.19	-1.24	2.6	-2.01	1.782	9.24	0.512	41.29%
7	1.24	-1.3	3.17	-2.48	1.965	11.091	0.390	44.92%
7	1.22	-1.28	2.73	-2.12	1.92	9.19	0.51	38.09%
7	1.26	-1.31	3.27	-2.55	2.06	11.662	0.35	45%

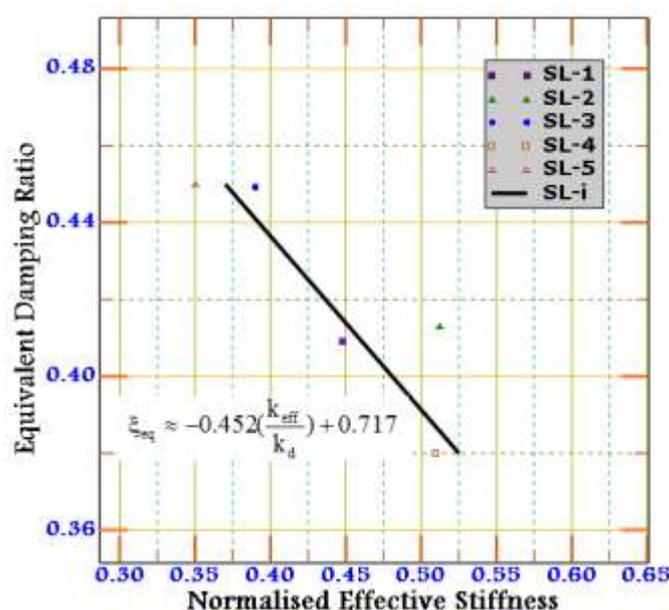
- يمكن اعتبار كل دورة من دورات التحميل مستقلة بذاتها، بهدف تقدير نسبة الصلابة الفعّالة ونسبة التخماد المكافئة (Williams and Albermani, 2006).

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

$$\xi_{eq} \approx -0.452 \left( \frac{k_{eff}}{k_d} \right) + 0.717$$

بانحراف معياري يقدر بـ  $S_D = 0.029$

- يمكن إدراك أن نسبة التخماد المكافئة تتغير بصورة عكسية تقريبا مع الصلابة المؤثرة.
- في مجال الانتقالات الكبيرة، تعطي الصفائح نسبة تخامد أكبر وهذا أمر جيد لامتناس الطاقة الزلزالية.
- الصفحة SL-5 تستطيع تأمين أكبر نسبة تخامد.



الشكل (12): نسبة التخماد المكافئ للصفائح

### الاستنتاجات والتوصيات:

- هذه المقالة تقدم دراسة عددية وتحليلية لمجموعة من الصفائح التي تصلح للاستخدام في المخمد المعدني ADAS الذي يهدف لتبديد الطاقة الزلزالية في الجمل الإطارية للمباني.
- الصفائح المستخدمة من مادة الفولاذ الطري المتوفر في السوق المحلي.
- لا يوجد تقنيات معقدة، لوضع المخمد المعدني ADAS في العمل، الشكل (4).
- تبديد الصفائح الطاقة بواسطة دخولها في مرحلة اللدونة إثر الإجهادات الناظمية الناشئة عن عزم الانعطاف حول محور Z-Z

• هناك 5 صفائح معرضة لانتقالات دورية منمنذجة و فقط طريقة العناصر المنتهية بالاستعانة ببرنامج ABAQUS ، حيث كانت أهم النتائج :

- أ - أثبتت نتائج التحليل أن السلوك الهيسنيري مستقر لجميع الصفائح وهناك تبديد ملحوظ للطاقة تقدر بـ 1.5 kJ للصفحة (SL-5)
- ب - يمكن بسهولة تقدير قوة الخضوع للصفحة بواسطة التحليل الميكانيزمي لللدن.
- ت - هناك توافق في قيم الصلابة المحسوبة وفق الطريقتين العددية والرياضية ضمن المجال المرن واختلاف ضمن المجال اللدن.
- ث - نتيجة مرحلة حد التقسية (Strain Hardening)، المقاومة الحدية للصفائح أكبر من مقاومة حد الخضوع الخاصة بمقدار 15%، لذلك يمكن التأكيد أن تأثير مرحلة حد التقسية مفيد في مجالات تبديد الطاقة.
- ج - الصفائح ذات الفتحات الأكبر نسبيا تسلك سلوك انعطافي أكبر ، أما الصفائح ذات الفتحات الأنحف تملك صلابة أكبر وتبدد الطاقة بنسبة أكبر لكن تعاني تشوهات أكبر (أي انهيار أسرع).
- ح - تركز التشوهات اللدنة الكبيرة وتزايدها عند أطراف الصفائح يدفعها إلى الانهيار.

### المراجع:

- [1] BERGMAN, D.M.; GOEL S.C. *Evaluation of cyclic testing of steel plate devices for added damping and stiffness*. Report no. UMCE87-10, Ann Arbor (MI, U.S.A), 1987.
- [2] BOARDMAN, P.R.; WOOD B.J.; CARR A.J. *A cross braced structure with energy dissipaters*. Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol.16, N.2, 1982.
- [3] CLARK, P.W; AIKEN, I.D.; TAJIRIAN F.; KASAI, K. *Design procedures for buildings incorporating hysteretic damping devices*, 1999.
- [4] DELA, D.; LERA, J.; ESGUERRA, C.; ALMAZAN, J.L. *Earthquake behavior of structures with copper energy dissipaters*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics U.S.A. Vol. 33, N.3, 2004, 29-58.
- [5] DOLCE, M.; CARDONE, D.; MARNETTO, R. *Implementation and testing of passive control devices based on shape memory alloys*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics U.S.A. Vol. 29, N.9, 2000, 45-68.
- [6] KOETAKA, Y.; CHUSILP, P.; ZHANG, Z.; ANDO, M.; SUITA, K.; INOUE, K.; et al. *Mechanical property of beam-to-column moment connection with hysteretic dampers for column weak axis*. Engineering Structures U.S.A. Vol. 27, N.1, 2005, 9-17.
- [7] KOBORI, T.; MIURA, Y.; FUKUSAWA, E. YAMADA, T.; ARITA, T.; TAKENAKE, Y.; et al. *Development and application of hysteresis steel dampers*. In: Proceedings of 11th world conference on earthquake engineering, 1992.
- [8] MARTINES, E. *Experiences on the use of supplemental energy dissipaters on building structures*. Earthquake Spectra U.S.A. Vol. 9, N.3, 1993, 581-625.
- [9] NAKASHIMA, M.; IWAI, S.; IWATA, M.; TAKEUCHI, T.; KONOMI, S.; AKAZAWA, T.; et al. *Energy dissipation behaviors of shear panels made of low yield steel*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics U.S.A. Vol. 23, N.1, 1994, 299-313.
- [10] NAKASHIMA, M. *Strain-hardening behavior of shear panels made of low-yield steel*. Journal of Structural Engineering U.S.A. Vol. 121, N.12, 1995.

[11] NAKASHIMA, M.; AKAZAWA, T.; TSUJI, B. *Strain-hardening behavior of shear panels made of low-yield steel, II: Model*. Journal of Structural Engineering, ASCE Vol. 121, N.12, 1995.

[12] NAKASHIMA, M., SABURI, K.; TSUJI, B. *Energy input and dissipation behavior of structures with hysteretic dampers*. Earthquake Engineering and Structural Dynamics U.S.A. Vol. 25, N.4, 1996, 83–96.

[13] PERRY, C.L.; FIERRO E.A.; SEDARATE, H.; SCHOLL, R.E. *Seismic upgrade in San Francisco using energy dissipation devices*. Earthquake Spectra U.S.A. Vol. 9, N.3, 1993, 59–79.

[14] RODGERS, G.W.; CHASE, J.G.; MANDER, J.B.; LEACH, N.C.; DENMEAD, C.S. *High force- to-volume extrusion dampers and shock absorbers for civil infrastructure*. In: Proceedings of 19th Australasian conference on the mechanics of structures and materials, 2006.

[15] SOONG, T.T; DARGUSH, G.F. *Passive energy dissipation systems in structural engineering*. John Wiley & Sons; 1997.

[16] SOONG, T.T.; SPENCER, J.R. *Supplemental energy dissipation*. State-of-the-art and state-of-the-practice, Eng. Structures Vol. 24, N.2, 2002, 43–59.

[17] TENA, A. *Mathematical modeling of the ADAS energy dissipation device*. Engineering Structures U.S.A. Vol. 19, N. 8, 1997, 11–21.

[18] TSAI, K.; CHEN, H.; HONG, C. *Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction*. Earthquake Spectra U.S.A. Vol. 9, N.3, 1993,05–28.

[19] WILLIAMS, M.S.; ALBERMANI, F. *Monotonic and cyclic tests on shear diaphragm dissipaters for steel frames*. Advanced Steel Construction Vol. 2, N.1, 2006,1–21.

[20] WU, B.; OU, J.P.; SOONG, T.T. *Optimal placement of energy dissipation devices for three-dimensional structures*. Engineering Structures Vol. 19, N.2, 1997, 13–25.

[21] XIA, C.; HANSON, R.D. *Influence of ADAS element parameters on building seismic response*. Journal of Structural Engineering, ASCE Vol. 19, N. 7, 1992, 3–18.



