

# تأثیر نسبت لاغری در ویژگی‌های باربری و استهلاك انرژی پانل‌های برشی

ایوب کامرانی نژاد<sup>۱</sup>، سید علی اصغر حسین زاده<sup>۲\*</sup>

۱- گروه مهندسی عمران، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران

۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان

\*ahosseinzade@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۰/۱۸]

تاریخ دریافت: [۹۴/۱۰/۰۱]

**چکیده-** این پژوهش با استفاده از روش المان محدود به بررسی کمی و کیفی تأثیر نسبت لاغری و شرایط تکیه‌گاهی در ویژگی‌های رفتار غیرخطی و جذب انرژی پانل‌های برشی فولادی و آلومینیومی می‌پردازد. صفحات لاغر، بسته به میزان لاغری، تا لحظه وقوع کماتش ظرفیت نسبتاً محدودی در ناحیه رفتار خطی دارند و عمده باربری آن‌ها در ناحیه پس از کماتش صورت می‌گیرد. در این محدوده از لاغری، ظرفیت باربری می‌تواند به میزان قابل توجهی کوچکتر از ظرفیت اسمی تسلیم برشی باشد و ورق کمی بعد از وقوع اولین تسلیم به پایان باربری خود می‌رسد. در صفحات با لاغری متوسط، عمده باربری در محدوده رفتار خطی صورت می‌گیرد. کماتش و تسلیم تقریباً به طور همزمان اتفاق می‌افتد و پس از آن، ورق تا حدی به باربری در ناحیه غیرخطی ادامه می‌دهد. در این محدوده از لاغری، ظرفیت نهایی تا حدی کوچکتر از ظرفیت اسمی تسلیم برشی است. در صفحات با لاغری کم نیز عمده باربری در ناحیه رفتار خطی تا قبل از وقوع اولین تسلیم در ورق صورت می‌گیرد، لیکن تقریباً هم‌زمان با وقوع کماتش در ورق (در صورت وقوع) سیستم به پایان باربری خود می‌رسد. در این محدوده از لاغری، ظرفیت نهایی ورق تقریباً با ظرفیت اسمی تسلیم برشی آن برابر است. همچنین در شرایط یکسان بارگذاری، افزایش ضخامت و مدول الاستیسیته مصالح بیشترین تأثیر را در افزایش جذب انرژی صفحات دارد، درحالی‌که تأثیر تنش تسلیم مصالح و شرایط گیرداری به مراتب کمتر ارزیابی می‌شود.

**واژگان کلیدی:** پانل برشی، صفحات، رفتار چرخه ای، روش اجزاء محدود، تحلیل غیرخطی.

## ۱- مقدمه

مختلف، شناخت بهتر و عمیق تری از رفتار پیچیده صفحات در شرایط مختلف بهره‌برداری ارائه دهند [1-4].  
صفحات در سازه‌های جدار نازک تحت بارگذاری‌های مختلفی از جمله بارگذاری برشی قرار می‌گیرند. در حالت کلی، رفتار پانل‌های برشی<sup>۲</sup> در طول بارگذاری می‌تواند تحت تأثیر دو پدیده کماتش و وقوع تسلیم در آن‌ها باشد. با توجه به مشخصات هندسی پانل، مشخصات مکانیکی مصالح و شرایط تکیه‌گاهی، پدیده تسلیم می‌تواند زودتر، دیرتر یا هم‌زمان با وقوع کماتش در سطح ورق به وقوع بپیوندد. وقوع کماتش در صفحات لاغر به صورت موضعی و همراه با وقوع یک تغییرشکل آنی عمود بر صفحه است که افت ناگهانی سختی در سیستم را به دنبال دارد. البته وقوع کماتش به

امروزه استفاده از سازه‌های جدارنازک<sup>۱</sup> در شاخه‌های مختلف علوم مهندسی مانند عمران، هوا-فضا و سازه‌های دریایی کاربردهای بسیار گسترده‌ای پیدا کرده است. سیلوها و مخازن هوایی، تیورق‌های ساختمان‌ها و پل‌ها، ستون‌های با مقطع جعبه‌ای، دیوار برشی فولادی و صفحات تقویت شده به عنوان میراگر نمونه‌هایی از کاربرد صفحات در سازه‌های مهندسی مرتبط با رشته مهندسی عمران هستند. بدیهی است درک بهتر رفتار این سازه‌ها بر شناخت دقیق رفتار صفحات در آن‌ها استوار است. این موضوع همواره مورد توجه بوده است و پژوهشگران سعی کرده‌اند با استفاده از روش‌های

(شرایط تکیه‌گاهی، نسبت لاغری، نسبت طول به عرض و مدول الاستیسیته) را در رفتار کمانشی و پس از کمانش پانل‌های برشی بررسی کردند. نتایج نشان داد که حضور ترک و به ویژه قرارگیری آن در ناحیه کشش قطری می‌تواند اثر قابل توجهی در رفتار کمانشی و پس از کمانش صفحات داشته باشد. علی‌نیا و همکاران [14] با استفاده از روش المان محدود وقوع پدیده کمانش در ورق‌های آلومینیومی و فولادی را تحت اثر برش خالص با نتایج روش‌های نظری موجود مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در ورق‌های لاغری ظرفیت پس از کمانش می‌تواند قابل توجه باشد. در ورق‌های ضخیم‌تر تا حدی ظرفیت پس از تسلیم تا لحظه وقوع کمانش پلاستیک وجود دارد. در ورق‌های نسبتاً ضخیم نیز که در آن‌ها وقوع کمانش و تسلیم بطور همزمان اتفاق می‌افتد، پس از وقوع کمانش به دلیل کاهش سختی، منحنی رفتار با شیب نزولی به حد نهایی خود می‌رسد. علی‌نیا و قیطاسی [15] همچنین صفحات برشی فولادی (کربن‌دار، ضدزنگ) و آلومینیومی سخت نشده را بر اساس نسبت لاغری شان در دسته‌های نازک، متوسط و ضخیم رده‌بندی کردند.

در طول دهه‌های گذشته، مطالعات زیادی در زمینه رفتار کمانشی و پس از کمانش ورق‌های با لاغری زیاد صورت گرفته است، لیکن در مورد ورق‌های با لاغری متوسط تا کم، مطالعات خصوصاً تحت شرایط برش خالص بسیار محدود است. همچنین، با توجه به پژوهش‌های گذشته و اطلاعات نگارندگان، مطالعاتی جامعی که به طور کمی و کیفی به بررسی ویژگی‌های باربری در پانل‌های برشی در محدوده لاغری کم تا نسبتاً زیاد تحت بارگذاری‌های مختلف پردازد، موجود نیست.

در این پژوهش‌ها با استفاده از روش المان محدود و بهره‌گیری از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی و شبه-استاتیکی سیکلی (چرخه‌ای)، تأثیر شرایط مرزی (ساده یا گیردار)، نسبت لاغری (لاغری کم، متوسط یا زیاد) و مشخصات مصالح (فولاد ضدزنگ، فولاد کربن‌دار و آلومینیوم) در ویژگی‌های باربری و جذب انرژی پانل‌های برشی مطالعه می‌شود.

## ۱- تعاریف

### ۱-۱ پارامترها

جدول (۱) پارامترهای استفاده شده را معرفی می‌کند:

معنای پایان باربری صفحات لاغر نیست و صفحه پس از وقوع کمانش، با تشکیل سازوکار کشش قطری همچنان به باربری خود ادامه می‌دهد [5]. در صفحات با لاغری متوسط، وقوع کمانش و تسلیم تقریباً بصورت همزمان و قبل از رسیدن صفحه به بار نهایی خود رخ می‌دهد. بنابراین، در مقایسه با صفحات لاغر انتظار نمی‌رود که ظرفیت پس از کمانش یا پس از تسلیم قابل توجه باشد. در صفحات با لاغری کم (چاق) نیز با افزایش بار، صفحه ابتدا به شرایط تسلیم، و سپس با وقوع کمانش و یا بدون آنکه کمانش کند به ظرفیت نهایی خود می‌رسد.

اولین کار جدی در زمینه مقاومت پس کمانش پانل‌های برشی توسط واگنر [5] صورت گرفت. وی بر اساس آزمایش‌هایی که روی پانل‌های برشی نازک از جنس آلومینیوم انجام داد، تئوری میدان کشش قطری خالص<sup>۳</sup> را ارائه داد. بر اساس تئوری ارائه شده، وقتی که تنش‌های برشی در یک پانل (تحت برش خالص) به حد بحرانی خود می‌رسد، صفحه در راستای تنش‌های اصلی فشاری دچار کمانش می‌شود. از این لحظه به بعد، تنش‌های اصلی فشاری در صفحه کمانش کرده ثابت باقی می‌ماند و تنها تنش‌های کشش آن افزایش می‌یابند. اینو [6] بر اساس معیار ترسکا<sup>۴</sup> رفتار پلاستیک صفحات برشی فولادی و چگونگی گسترش پلاستیسیت در آن‌ها را تحلیل و بررسی نمود. روابط تحلیلی ارائه شده در این پژوهش برای فولاد نرمه ساختمانی با نتایج آزمایشگاهی در توافق منطقی بود. توگو [7] وقوع کمانش پلاستیک را در ورق‌های با طول نامحدود تحت اثر مشترک برش با نیروی محوری فشاری یا کششی مطالعه کرد. نتایج به دست آمده بر تأثیر قابل توجه تنش‌های محوری در وقوع پدیده کمانش در صفحات برشی تأکید داشت. مونتهگومری و همکاران [8] و لوبل و همکاران [۹] رفتار سیکلی<sup>۵</sup> دیوارهای برشی فولادی نازک را به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این دو پژوهش نشان داد که کاربرد تئوری حوزه کشش قطری پیشنهاد شده به و سیله واگنر [5] در پیش‌بینی ظرفیت نهایی سیستم موفقیت آمیز است. علی‌نیا و دستفان [10] رفتار چرخه‌ای، قابلیت شکل‌پذیری و سختی پانل‌های برشی فولادی سخت شده را بررسی کردند. نتایج نشان داد که وقوع کمانش کاهش جذب انرژی در صفحات را به دنبال دارد. علی‌نیا و همکاران [11-13] تأثیر مشخصات هندسی ترک (طول، زاویه و موقعیت) و صفحات

$$C = 1 \quad (۸)$$

در روابط فوق، نسبت لاغری ( $\lambda$ ) و پارامتر لاغری ( $\beta$ ) به صورت زیر تعریف می شود.

$$\lambda = \frac{b}{t} \quad (۹)$$

$$\beta = \lambda \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \quad (۱۰)$$

## ۲- روش مطالعه

۱-۲ مدل‌ها

این پژوهش برای مطالعه رفتار صفحات، برای هر یک از مصالح (فولاد ضدزنگ (SS)، فولاد کربن دار (SC) و آلومینیوم (Al))، مدل‌های متعددی با ضخامت متفاوت و ابعاد یکسان ( $1000 \times 1000$  میلی متر) در نظر گرفته می شود. برای بررسی شرایط مرزی، برای هر مدل شرایط تکیه‌گاهی به صورت ساده و یا گیردار فرض می شود. جدول (۲) مشخصات هندسی مدل‌های مختلف استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول (۲). معرفی مدل‌های مختلف \*

t (mm)	$\lambda$	Stainless Steel (SS)	Carbon Steel (CS)	Aluminum (Al)
3.07	325	x		
3.30	300	x	x	x
3.64	275	x	x	
4.00	250	x	x	
4.44	225	x		
5.00	200	x	x	
5.71	175	x	x	
6.67	150	x	x	x
7.14	140	x	x	x
7.69	130	x	x	x
8.33	120	x	x	x
9.09	110	x	x	x
10.00	100	x	x	x
11.11	90	x	x	x
11.76	85	x		
12.00	83		x	
12.50	80	x		x
13.50	74		x	
14.29	70		x	x
16.67	60			x
18.18	55			x
20.00	50			x
22.22	45			x
23.26	43			x
25	40	x	x	x

\*For all Plates:  $a \times b = 1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$ , ( $\varphi = 1$ ).

Table (2). Properties of Plates \*

لازم به گفتن است که با توجه به اطلاعات مندرج در جدول

جدول (۱). فهرست پارامترها.

Proportional limit stress	$\sigma_p$	Plate length	a
Shear yield stress	$\tau_y$	Plate width	b
Normal yield stress	$\sigma_y$	Plate thickness	t
Shear buckling capacity	$V_{cr}$	Young modulus	E
Ultimate shear capacity	$V_u$	Shear buckling coefficient	K
Proportional limit shear capacity	$V_p$	Poisson ratio	$\nu$
Nominal shear yield capacity	$V_y$	Slenderness parameter	$\beta$
First shear yield capacity	$V_{fy}$	Slenderness ratio	$\lambda$
		Panel aspect ratio	$\varphi$

Table (1). Nomenclature.

## ۲-۱- کماتش برشی الاستیک

ظرفیت کماتش برشی صفحات در شرایط الاستیک از رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$V_{cr} = \frac{k\pi^2 Et^2}{12(1-\nu^2)b^2} \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، ضریب بار کماتشی (k) برای شرایط مرزی ساده و گیردار به ترتیب از روابط (۲) و (۳) تعیین می شود.

$$k = 5.34 + \frac{4}{\varphi^2}; \varphi = \frac{a}{b} \geq 1 \quad (۲)$$

$$k = 8.98 + \frac{5.6}{\varphi^2}; \varphi = \frac{a}{b} \geq 1 \quad (۳)$$

لازم به گفتن است که در روابط فوق، پارامتر b همواره معرف بعد کوچکتر ورق است. همچنین، با توجه به روابط (۲) و (۳) برای حالتی که ابعاد ورق برابر باشد ( $\varphi = 1$ ) ضریب کماتش برشی الاستیک (k)، برای شرایط مرزی ساده و گیردار به ترتیب معادل با ۹/۳۴ و ۱۴/۵۸ بدست می آید.

## ۳-۱- کماتش برشی پلاستیک

آیین نامه آشتو [16] رابطه محاسبه ظرفیت کماتشی صفحات تحت برش را در حالت کلی به صورت زیر پیشنهاد می دهد.

$$V_{cr} = CV_y \quad (۴)$$

$$V_y = \tau_y bt \quad (۵)$$

ضریب C برای حالات مختلف از روابط زیر تعیین می شود:

- برای کماتش الاستیک ( $\beta > 1.4\sqrt{k}$ ):

$$C = \frac{1.57}{\lambda^2} \left( \frac{Ek}{\sigma_y} \right) \quad (۶)$$

- برای کماتش غیرالاستیک ( $1.12\sqrt{k} < \beta \leq 1.4\sqrt{k}$ ):

$$C = \frac{1.12}{\lambda} \sqrt{\frac{Ek}{\sigma_y}} \quad (۷)$$

- برای کماتش پلاستیک ( $\beta \leq 1.12\sqrt{k}$ ):

A572 و AL7075T6) که از مرجع [۱۵] اقتباس شده است را ارائه می‌دهد.

برای مطالعه رفتار غیرخطی مدل‌ها، شکل (۱) منحنی‌های تنش- کرنش رامبرگ- اسگود را برای مصالح مختلف نشان می‌دهد. در تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، مصالح به صورت ایزوتروپیک<sup>۱</sup>، و در تحلیل‌های سیکلی که شامل سیکل‌های متعدد بارگذاری است به صورت سینماتیک<sup>۲</sup> با لحاظ اثر باشینگر<sup>۳</sup> در نظر گرفته می‌شود.

### ۲-۳- مدل‌سازی و صحنه‌گذاری بر نتایج

به منظور مدل‌سازی و انجام تحلیل‌های استاتیکی خطی (کمناشی) و غیرخطی و شبه- استاتیکی سیکلی (چرخه‌ای) از نرم افزار المان محدود آباکوس<sup>۴</sup> بهره گرفته می‌شود. چگونگی مدل‌سازی، اعمال شرایط مرزی و روش بارگذاری در این پژوهش مشابه با پژوهش‌های قبلی صورت گرفته به وسیله نگارنده [11-13] انجام شده است. پس در اینجا به اختصار از بیان مجدد نتایج مربوط به درستی روش مدل‌سازی و انجام آنالیز حساسیت برای تعیین ابعاد بهینه مش‌بندی، چشم‌پوشی و تنها به بیان مواردی در خصوص جزئیات مدل‌سازی بسنده می‌شود (البته در بخش‌های بعدی، برای مقایسه، نتایج بار کمناشی بدست آمده از نرم افزار و روابط تئوری موجود ارائه و مدل المان محدود تصدیق خواهد شد). همچنین شایان ذکر است که مدل‌سازی‌ها در این پژوهش با فرض عدم وقوع ترک در صفحات در طول بارگذاری انجام می‌شود (در زمینه حضور ترک‌ها در صفحات و تاثیر آن‌ها در کمناش و باربری صفحات برشی قبلاً توسط نگارنده مطالعه شده است [11-13]).

در تمامی مدل‌ها، پانل با بهره‌گیری از المان پوسته ای چهار گرهی با خاصیت انتگرال‌گیری کاهش یافته (المان S4R) و استفاده از یک مش بندی نسبتاً ریز مدل‌سازی می‌شود (مبتنی بر نتایج آنالیز حساسیت، بیشینه بعد المان‌ها به حدود ۳ میلی‌متر محدود می‌شود). در تحلیل‌های غیرخطی آثار غیرخطی هندسی و تغییر شکل‌های بزرگ نیز منظور می‌شود. برای تسهیل وقوع کمناش در پانل و کمک به توسعه حوزه کشش قطری در آن، تغییر شکل اولیه بسیار کوچکی در پانل در جهت عمود بر صفحه در نظر گرفته می‌شود. مقدار این تغییر شکل اولیه (حدود ۰/۰۱ میلیمتر) به گونه‌ای انتخاب شده است که تأثیری در نتایج تحلیل‌ها نگذارد.

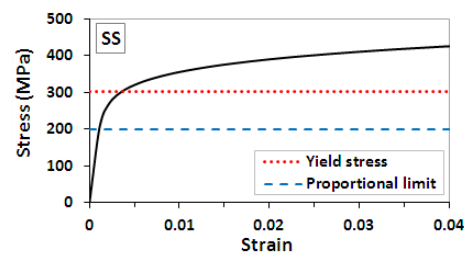
(۲)، دامنه پژوهش حاضر و در نتیجه نتایج به دست آمده از آن به محدوده لاغری‌های مطالعه شده، ۳۲۵-۸۰ برای مصالح فولادی و ۴۰-۱۵۰ برای آلومینیوم (عموماً محدوده مورد کاربرد در تیورق‌ها)، محدود می‌شود، و بررسی رفتار ورق‌های بسیار لاغر (لاغرتر از آنچه که در اینجا در نظر گرفته شده) خارج از دامنه این پژوهش در نظر گرفته شده است.

جدول (۳). خواص مکانیکی مصالح مختلف [۱۵]

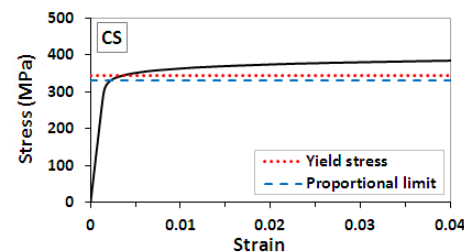
Mat.	E (Gpa)	$\sigma_p$ (MPa)	$\sigma_y$ (MPa)	$\tau_p$ (MPa)	$\tau_y$ (MPa)	$\nu$
SS	197.2	200.0	301.4	115.5	174.0	0.3
SC	210.0	330.0	345.0	190.5	199.2	0.3
Al	71.1	428.0	503.2	247.1	290.5	0.35

Table (3). Mechanical properties of materials [15]

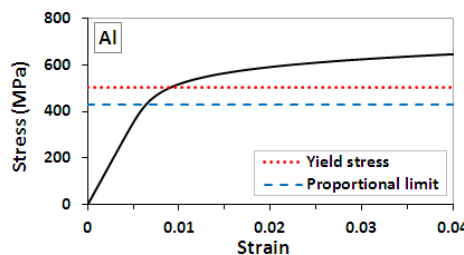
شکل (۱). منحنی‌های تنش- کرنش مصالح مختلف [۱۵].



(1-1). فولاد ضدزنگ (SS).



(1-2). فولاد کربن دار (CS).



(1-3). آلومینیوم (Al).

Fig. 1. Material properties of materials.

### ۲-۲ مشخصات مکانیکی مصالح

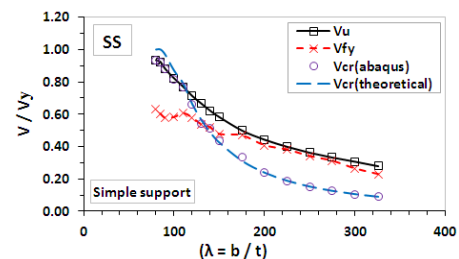
جدول (۳) مشخصات مکانیکی مصالح مختلف مورد استفاده در این پژوهش (فولاد ضدزنگ (SS)، فولاد کربن‌دار (CS) و آلومینیوم (Al))، به ترتیب معادل با رده‌های مصالح ASTM-A666، ASTM-

### ۳- بحث و بررسی نتایج

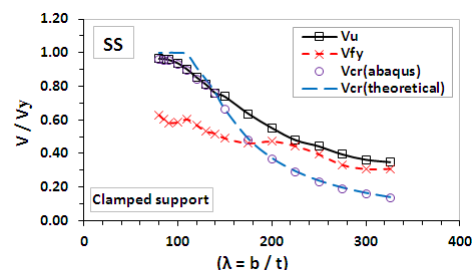
#### ۳-۱ تحلیل استاتیکی غیرخطی

در این قسمت، تأثیر نسبت لاغری در ویژگیهای باربری پانلهای تحت برش برای مصالح و شرایط تکیه‌گاهی مختلف با استفاده از نتایج بدست آمده از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی صفحات مطالعه می‌شود و رفتار پانلهای از حیث وقوع کمانش، تسلیم، حد نهایی باربری و ظرفیت‌های معادل با وقوع هر یک از این پدیده‌ها ارزیابی می‌شود. شکل‌های (۲ تا ۴) تغییرات نیروی برشی معادل با وقوع کمانش  $(V_{cr})$ ، نیروی برشی معادل با وقوع اولین تسلیم در ورق  $(V_{fy})$  و ظرفیت نهایی صفحات  $(V_u)$  را برای مصالح و شرایط تکیه‌گاهی مختلف در مقابل نسبت لاغری  $(\lambda)$  نشان می‌دهد (نیروی برشی معادل با وقوع اولین تسلیم در ورق، از قرائت نتایج نرم افزار در لحظه وقوع اولین تسلیم در ورق تعیین می‌شود. ظرفیت نهایی ورق نیز بالاترین حد باربری یا جایی که منحنی بار-جابجایی تقریباً افقی می‌شود را نمایندگی می‌کند). در این اشکال، نتایج نیروی برشی بر اساس ظرفیت اسمی تسلیم صفحه مورد نظر  $(V_y = \tau_y \times b \times t)$  بصورت بی‌بعد ارائه شده است. به علاوه برای مقایسه، نتایج تحلیل در نرم افزار و نتایج روابط نظری موجود نیز ارائه شده است.

شکل (۲). نسبت‌های بار نهایی، بار کمانشی و بار تسلیم اولیه برای صفحات فولادی (ضدزنگ، SS) با شرایط مرزی و لاغری‌های مختلف.



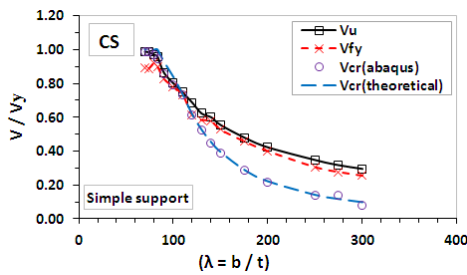
(2-1). Simple support.



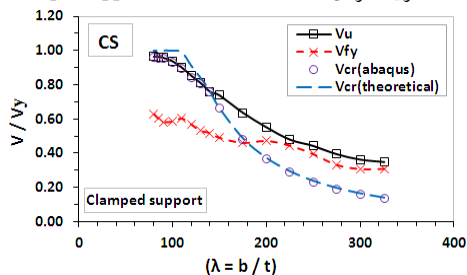
(2-2). Clamped support.

Fig. 2. Ultimate, buckling and first shear yield load ratios of stainless steel (SS) plates.

شکل (۳). نسبت‌های بار نهایی، بار کمانشی و بار تسلیم اولیه برای صفحات فولادی (کربن دار، CS) با شرایط مرزی و لاغری‌های مختلف.



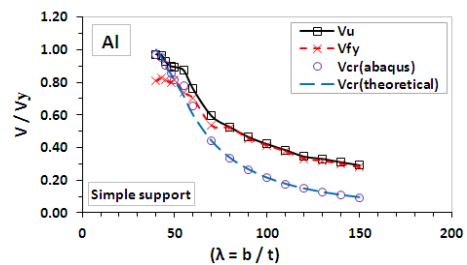
(3-1). Simple support.



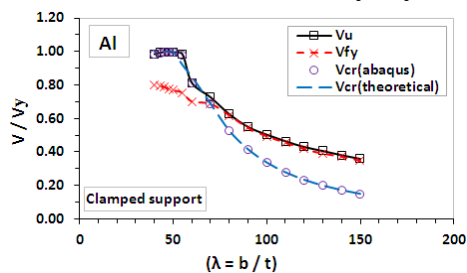
(3-2). Clamped support.

Fig. 3. Ultimate, buckling and first shear yield load ratios of carbon steel (CS) plates.

شکل (۴). نسبت‌های بار نهایی، بار کمانشی و بار تسلیم اولیه برای صفحات آلومینیومی (Al) با شرایط مرزی و لاغری‌های مختلف.



(4-1). Simple support.



(4-2). Clamped support.

Fig. 4. Ultimate, buckling and first shear yield load ratios of aluminum (Al) plates.

شکل‌های (۲ تا ۴) نشان می‌دهد که به ویژه در محدوده صفحات لاغر که کمانش در ناحیه الاستیک اتفاق می‌افتد، نتایج بار کمانشی از روابط نظری و تحلیل عددی با دقت بسیار خوبی یکدیگر را تأیید می‌کنند. اگرچه، در محدوده لاغری‌های کم که کمانش در فاز

می‌شود در محدوده مورد مطالعه برای لاغری‌های زیاد تا متوسط، با کاهش نسبت لاغری دامنه رفتار خطی افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که بیشترین دامنه رفتار خطی در صفحات با لاغری متوسط مشاهده می‌شود. با کاهش بیشتر نسبت لاغری (محدوده صفحات با لاغری کم)، دامنه رفتار خطی در ابتدا کمی افت می‌کند و سپس تقریباً ثابت باقی می‌ماند. به بیان دیگر در حالت کلی می‌توان گفت که در محدوده لاغری‌های کم تا متوسط ( $150 \sim 200 \leq \lambda$  برای فولادها و  $\lambda \leq 80 \sim 70$  برای آلومینیوم) عمده رفتار صفحات در طول بارگذاری در محدوده خطی صورت می‌گیرد. همچنین بررسی نتایج در شکل‌های (۵ تا ۷) برای شرایط مرزی مختلف نشان می‌دهد که تغییر شرایط مرزی تأثیر چندانی را در افزایش یا کاهش دامنه رفتار خطی مصالح ندارد.

همچنین با توجه به شکل‌های (۵ تا ۷)، در محدوده صفحات لاغر، با افزایش بار ابتدا صفحه دچار کمناش (الاستیک) می‌شود. از لحظه وقوع کمناش، رفتار ورق از نقطه نظر هندسی غیرخطی می‌شود، درحالی‌که به لحاظ مصالح همچنان عملکرد خطی دارد. در این محدوده هرچه قدر ورق لاغرتر باشد دامنه ناحیه خطی کوچکتر و دامنه ناحیه غیرخطی هندسی (یا ظرفیت پس از کمناش) بزرگتر می‌شود. با افزایش بیشتر بار، در نهایت اولین تسلیم در ورق اتفاق می‌افتد و رفتار ورق (به لحاظ هندسی و مصالح) کاملاً غیرخطی می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود برای ورق‌های لاغر (در محدوده لاغری مورد مطالعه) قطع نظر از نوع مصالح و شرایط تکیه‌گاهی، دامنه رفتار غیرخطی هندسی و مصالح (غیرخطی کامل) بسیار محدود، و ظرفیت ورق پس از وقوع تسلیم اولیه ناچیز است.

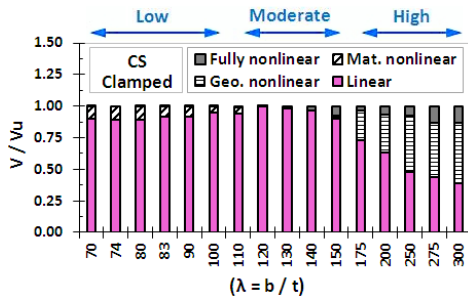
در مقابل در صفحات با لاغری کم، با افزایش بار، ورق بدون آنکه کمناش کند دچار اولین تسلیم اولیه می‌شود. از این لحظه به بعد رفتار ورق به لحاظ مصالح غیرخطی (پلاستیک) می‌شود، درحالی‌که از نقطه نظر هندسی همچنان در محدوده خطی قرار دارد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد که دامنه ناحیه رفتار پلاستیک صفحات با لاغری کم، مستقل از شرایط مرزی و نسبت لاغری و تنها متأثر از ویژگی‌های مصالح باشد. در نهایت با افزایش بیشتر بار، ورق بدون وقوع کمناش (پلاستیک) یا تقریباً همزمان با وقوع آن به ظرفیت نهایی خود می‌رسد. به بیان دیگر، ورق عملاً رفتار غیرخطی کامل را تجربه نمی‌کند.

در محدوده صفحات با لاغری متوسط، رفتار ورق را می‌توان به

پلاستیک رفتار اتفاق می‌افتد کمی اختلاف در نتایج دو روش مشاهده می‌شود. نتایج در شکل‌های (۲ تا ۴) همچنین نشان می‌دهد که در حالت کلی با افزایش نسبت لاغری صفحات (در محدوده مطالعه شده در این پژوهش)، چشم‌پوشی از شرایط تکیه‌گاهی و نوع مصالح، نسبت‌های بار کمناشی و بار نهایی صفحات به ظرفیت اسمی تسلیم آن‌ها کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که در لاغرترین صفحات بار نهایی به میزان قابل توجهی کوچکتر از ظرفیت اسمی تسلیم صفحات ( $V_y$ ) بدست می‌آید. همچنین در صفحات لاغر مطالعه شده، چشم‌پوشی از نوع مصالح و شرایط تکیه‌گاهی، وقوع اولین تسلیم در ورق (شروع رفتار غیرخطی مصالح) تقریباً همزمان با (و کمی قبل از) رسیدن صفحه به ظرفیت نهایی خود اتفاق می‌افتد و عملاً، افزایش باربری صفحه در محدوده رفتار غیرخطی مصالح ناچیز است. به بیان دیگر، می‌توان با دقت مناسب باربری صفحه را به وقوع اولین تسلیم در آن محدود دانست. در مقابل در صفحات با لاغری متوسط تا کم، بسته به شرایط تکیه‌گاهی و ویژگی‌های مصالح، افزایش باربری در محدوده رفتار غیرخطی مصالح می‌تواند کم تا نسبتاً قابل توجه باشد. با توجه به نتایج بدست آمده برای مصالح مختلف، در محدوده لاغری‌های کم، ظرفیت نهایی ورق ( $V_{II}$ ) به حدود ظرفیت اسمی تسلیم ورق ( $V_y$ ) می‌رسد، لیکن در محدوده صفحات با لاغری متوسط، مقاومت نهایی تا حدی کوچکتر از ظرفیت اسمی تسلیم خواهد بود (در حدود  $20-40\%$ ).

از نقطه نظر طراحی آگاهی نسبت به چگونگی باربری صفحات برشی در طول بارگذاری آن‌ها می‌تواند دارای اهمیت ویژه‌ای باشد. طراحی در بارهای کوچک می‌تواند به گونه‌ای انجام پذیرد که ورق از نظر مصالح (و حتی هندسی) در محدوده خطی قرار بگیرد و سختی اولیه را حفظ نماید. در بارهای متوسط تا بزرگ، بسته به مشخصات مصالح و بارگذاری، ورق به لحاظ هندسی یا مصالح (و یا هر دو) بصورت غیرخطی عمل کند و شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی بیشتری فراهم آورد.

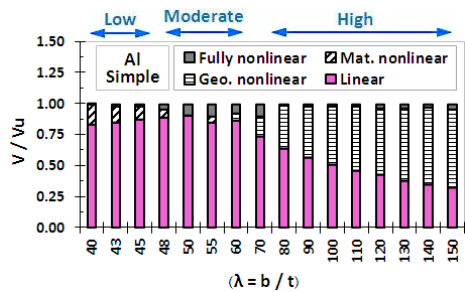
شکل‌های (۵ تا ۷) بروز رفتار خطی و غیرخطی (هندسی، مصالح یا هردو) را به تفکیک و به صورت کمی و کیفی در طول بارگذاری صفحات مختلف ارائه می‌کند. با توجه به شکل‌های (۵ تا ۷)، از شروع بارگذاری تا قبل از وقوع کمناش و یا تسلیم در ورق، رفتار صفحات کاملاً خطی است (بخش تحتانی نمودارها). همان‌گونه که مشاهده



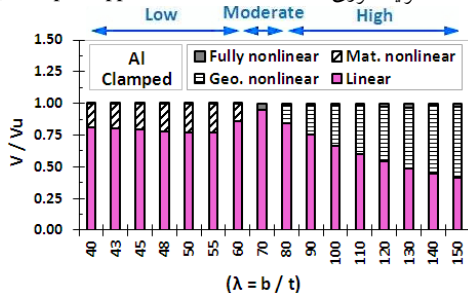
(6-2). Clamped support. شرایط مرزی گیردار. (۶-۲)

Fig. 6. Quality and quantity of linear and nonlinear behavior occurrence in different carbon steel (CS) plates.

شکل (۷). کیفیت و کمیت بروز رفتار خطی و غیرخطی برای صفحات آلومینیومی (Al) با شرایط مرزی و لاغری‌های مختلف.



(7-1). Simple support. شرایط مرزی ساده. (۷-۱)



(7-2). Clamped support. شرایط مرزی گیردار. (۷-۲)

Fig. 7. Quality and quantity of linear and nonlinear behavior occurrence in different aluminum (Al) plates.

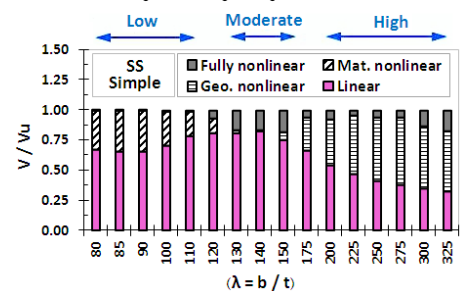
### ۳-۲ تحلیل سیکلی و استهلاک انرژی

برای بررسی تأثیر نسبت لاغری در ویژگی‌های جذب انرژی پانل‌های برشی، برای هر یک از مصالح فولاد ضدزنگ، فولاد کربن‌دار و آلومینیوم تعدادی مدل با نسبت لاغری و شرایط مرزی مختلف از جدول (۲) انتخاب می‌شود و تحت آنالیز سیکلی قرار می‌گیرد.

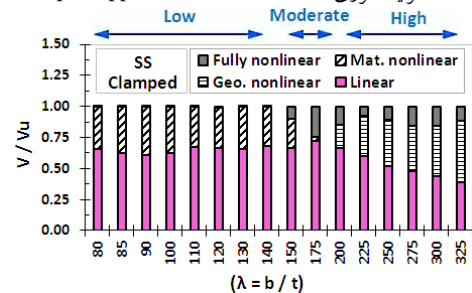
آنالیز سیکلی از طریق اعمال ۲۱ سیکل جابه‌جایی جانبی به گره‌های لبه فوقانی ورق تا رسیدن به دریافت حدود ۲/۵٪ (یا تغییر مکان جانبی ۲۵ میلی‌متر) صورت می‌گیرد. برای فراهم کردن امکان مقایسه راحت‌تر بین نتایج جذب انرژی و رفتار سیکلی

صورت دو بخش کاملاً خطی و کاملاً غیرخطی در نظر گرفت. با افزایش بار، کماتش و تسلیم (غیرخطی کامل) تقریباً به صورت همزمان در ورق ایجاد می‌شود و پس از آن ورق به میزان محدودی به باربری خود در ناحیه غیرخطی ادامه می‌دهد. بررسی نتایج در اشکال (۵ تا ۷) همچنین نشان می‌دهد که نسبت لاغری صفحات در این محدوده (لاغری متوسط) متأثر از ویژگی‌های مصالح و شرایط تکیه‌گاهی است. با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش برای شرایط تکیه‌گاهی مختلف، نسبت لاغری در محدوده لاغری متوسط تقریباً بین حدود  $\lambda = 100 \sim 175$  برای صفحات فولادی و بین حدود  $\lambda = 50 \sim 70$  برای صفحات آلومینیومی قرار می‌گیرد.

شکل (۵). کیفیت و کمیت بروز رفتار خطی و غیرخطی برای صفحات فولادی (ضدنزنگ، SS) با شرایط مرزی و لاغری‌های مختلف.



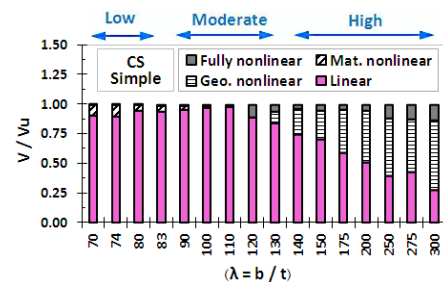
(5-1). Simple support. شرایط مرزی ساده. (۵-۱)



(5-2). Clamped support. شرایط مرزی گیردار. (۵-۲)

Fig. 5. Quality and quantity of linear and nonlinear behavior occurrence in different stainless steel (SS) plates.

شکل (۶). کیفیت و کمیت بروز رفتار خطی و غیرخطی برای صفحات فولادی (کربن‌دار، CS) با شرایط مرزی و لاغری‌های مختلف.



(6-1). Simple support. شرایط مرزی ساده. (۶-۱)

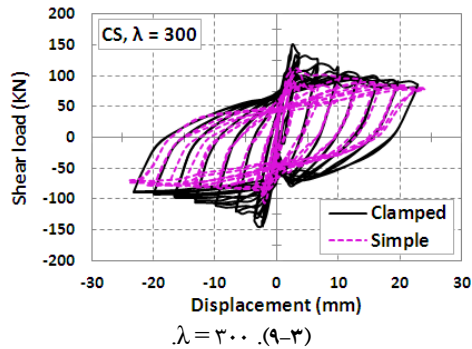


Fig. 9. Hysteresis curves of typical carbon steel (CS) plates with different boundary conditions and slenderness ratios.

شکل (۹) منحنی‌های هیستریزس<sup>۱۰</sup> صفحات با مصالح فولادی کربن‌دار را برای شرایط مرزی ساده و یا گیردار و سه نسبت لاغری ۷۰ (معرف یک صفحه با لاغری کم)، ۱۲۰ (معرف یک صفحه با لاغری متوسط) و ۳۰۰ (معرف یک صفحه با لاغری زیاد) ارائه می‌دهد. نمودارهای نسبتاً مشابهی برای مصالح فولاد ضدزنگ و آلومینیوم نیز بدست آمد که در اینجا برای اختصار از ارائه آنها چشم‌پوشی می‌شود.

نتایج در شکل (۹) حاکی از وقوع پدیده تنگ‌شدگی<sup>۱۱</sup> در منحنی‌های هیستریزس صفحات لاغر است که کاهش جذب انرژی در آنها را به دنبال دارد. به علاوه مشاهده می‌شود که دلیل کرنش‌های پسماند و تغییر شکل‌های ماندگار ناشی از سیکل‌های متعدد بارگذاری، ظرفیت نهایی باربری صفحات با افزایش سیکل‌های بارگذاری مرتباً کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه نتایج برای لاغری‌های مختلف نشان می‌دهد که با کاهش نسبت لاغری، هم به دلیل افزایش ظرفیت باربری ورق و هم تغییر الگوی منحنی‌های هیستریزس از حالت خوابیده به دوکی شکل جذب انرژی سیستم افزایش می‌یابد.

با توجه به نتایج به دست آمده، با در نظر گرفتن نتایج مربوط به دو سیکل آخر (سیکل‌های ۲۰ و ۲۱)، متوسط انرژی جذب شده برای شرایط مرزی گیردار در حدود ۳۵ درصد نسبت به شرایط مرزی ساده برای لاغری‌های مختلف افزایش نشان می‌دهد. همچنین، با کاهش نسبت لاغری از عدد ۳۰۰ به اعداد ۱۲۰ و ۷۰ (با توجه به افزایش حجم مصالح به ترتیب به میزان ۲/۵ و ۴/۳ برابر)، متوسط انرژی جذب شده در دو سیکل آخر (سیکل‌های ۲۰ و ۲۱) برای شرایط مرزی مختلف به ترتیب در حدود ۴/۵ و ۱۱/۵ برابر می‌شود. این نتیجه (با توجه به تشابه ابعاد پانل‌ها) حاکی از تأثیر قابل توجه

صفحات مختلف با یکدیگر (با وجود اختلاف در جنس مصالح، ضخامت و شرایط مرزی) از یک تاریخچه بارگذاری واحد، برای تمام مدل‌ها استفاده می‌شود شکل (۸). بر این اساس، جابه‌جایی حد تسلیم ( $\delta_y$ ) برای کلیه مدل‌ها یکسان و تقریباً معادل با ۳/۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل (۸)، شش سیکلی ابتدایی به ترتیب مبتنی بر جابه‌جایی‌های  $0.33 \times \delta_y$  و  $0.67 \times \delta_y$  با سه تکرار هستند. برای جابه‌جایی  $1 \times \delta_y$  نیز سه سیکل تکرار، و برای هر کدام از جابه‌جایی‌های بزرگتر از آن ( $2 \times \delta_y$  تا  $7 \times \delta_y$ ) دو سیکل تکرار در نظر گرفته شده است (همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در اعمال جابه‌جایی‌ها تقریباً مشابه با دستورالعمل ATC-24 [۱۹] عمل شده، با این تفاوت که در جابه‌جایی‌های  $2 \times \delta_y$  و  $3 \times \delta_y$ ، به جای سه تکرار، دو تکرار لحاظ شده است).

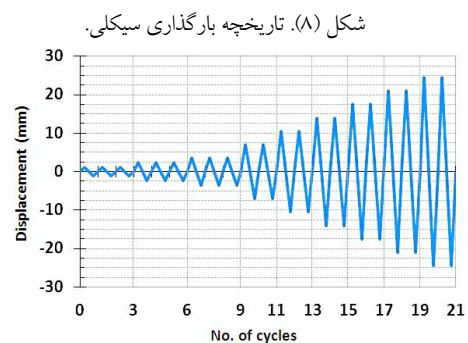
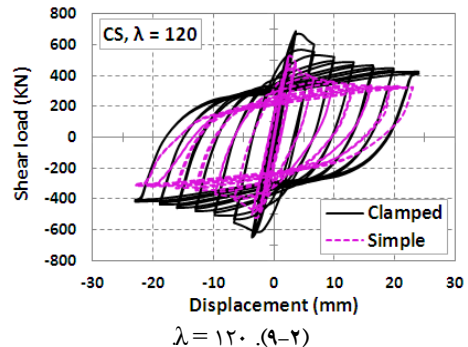
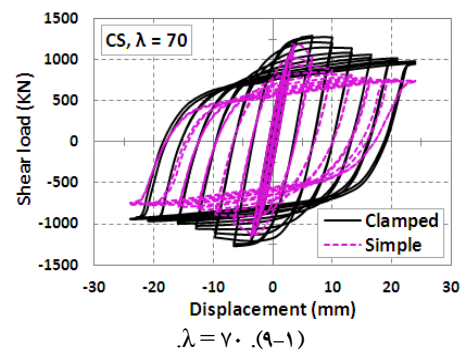


Fig. (8). Cyclic loading history.

شکل (۹). منحنی‌های هیستریزس صفحات فولادی کربن‌دار با نسبت

لاغری و شرایط مرزی مختلف





محدوده لاغری کم ( $\lambda = 40$ ) و زیاد ( $\lambda = 300$ ) به ترتیب در حدود ۲ و ۱/۶ برابر بزرگتر از جذب انرژی در صفحات آلومینیومی نظیر است. علاوه بر این، مقایسه نتایج در شکل (۱۰) و لحاظ ویژگی های مکانیکی رفتار مصالح مختلف شکل (۱) جدول (۲) مؤید این مطلب است که مدول الاستیسیته مصالح بیشترین تأثیر را در میزان جذب انرژی صفحات برشی دارد (مدول الاستیسیته بیشتر، جذب انرژی بیشتر را به دنبال دارد). لیکن به نظر می رسد که تنش تسلیم مصالح، به طور نسبی، نقش برجسته ای در جذب انرژی صفحات نداشته باشد. این مسئله مزیت استفاده از فولادهای با تنش تسلیم پایین<sup>۱۲</sup> که در سال های اخیر به عنوان ورق پرکننده در سیستم دیوار برشی فولادی مورد توجه قرار گرفته اند را به خوبی نشان می دهد [17]، [18]. همچنین در شکل (۱۰) مشاهده می شود که چشم پوشی از نوع مصالح، کارایی صفحات ضخم تر در جذب انرژی (حتی با لحاظ افزایش ۷/۵ برابری در حجم مصالح مصرفی برای  $\lambda = 40$  نسبت به  $\lambda = 300$ ) بسیار بالاتر است.

#### ۴- نتیجه گیری

در پژوهش صورت گرفته، تأثیر محدوده وسیعی از نسبت لاغری در ویژگی های باربری برشی و جذب انرژی پانل های برشی برای مصالح متعارف و پر کاربرد (فولاد ضدزنگ، فولاد کربن دار و آلومینیوم) و شرایط تکیه گاهی مختلف (ساده و گیردار) با استفاده از روش المان محدود و نتایج تحلیل های استاتیکی غیرخطی و شبه-استاتیکی سیکلی مطالعه شده قرار گرفت (بدیهی است که نتایج به دست آمده از این پژوهش برای مصالح و محدوده لاغری مورد مطالعه، ۸۰-۳۲۵ برای مصالح فولادی و ۴۰-۱۵۰ برای آلومینیوم، کاربرد دارد و لزوماً برای سایر حالات دیگر، اعم از مصالح دیگر یا سایر حدود لاغری، ممکن است قابل تعمیم نباشد). موارد برجسته عبارت اند از:

- رفتار صفحات با لاغری زیاد تحت تأثیر وقوع کماتش (الاستیک) در آن ها است (رفتار غیرخطی هندسی) و بسته به میزان لاغری، ظرفیت پس از کماتش ورق می تواند قابل توجه باشد. لیکن با وجود این، ظرفیت نهایی ورق به ویژه در صفحات لاغرتر تا حد زیادی کوچکتر از ظرفیت اسمی تسلیم ورق است. با افزایش بیشتر

ضخامت ورق در میزان انرژی جذب شده و حتی در میزان چگالی انرژی جذب شده (نسبت انرژی جذب شده به حجم مصالح) پانل ها است. این موضوع، کارایی بالاتر ورق های ضخم تر را در جذب انرژی تأیید می کند.

شکل (۱۰) متوسط جذب انرژی در سیکل های مختلف را برای صفحات مختلف (فولاد ضدزنگ (SS)، فولاد کربن دار (CS) و آلومینیوم (Al)) با شرایط مرزی ساده و دو نسبت لاغری ۴۰ (لاغری کم) و ۳۰۰ (لاغری زیاد) مقایسه می کند. نتایج در شکل (۱۰) نشان می دهد که در شرایط بارگذاری یکسان بیشترین جذب انرژی در سیکل های مختلف بارگذاری در صفحات فولادی اتفاق می افتد تا صفحات آلومینیومی. همچنین، جذب انرژی در صفحات فولاد ضدزنگ و فولاد کربن دار اختلاف قابل توجهی را نشان نمی دهد.

شکل (۱۰). متوسط جذب انرژی در سیکل های مختلف بارگذاری در صفحات فولاد ضدزنگ، فولاد کربن دار و آلومینیومی با شرایط مرزی ساده و نسبت های لاغری مختلف

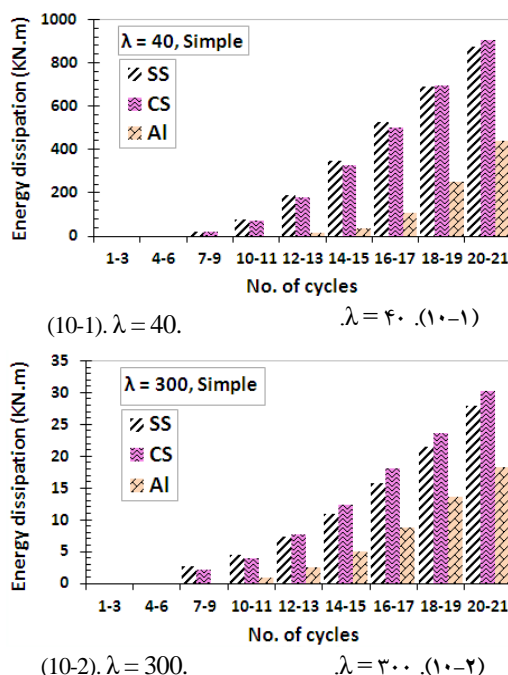


Fig. 10. Comparisons of average dissipated energy of steel (SS and CS) and aluminum (Al) plates in different cycles.

به علاوه، مقایسه نتایج در شکل (۱۰-۱ و ۱۰-۲) نشان می دهد که الگوی جذب انرژی در صفحات مختلف تقریباً مستقل از نسبت لاغری آن ها است. با در نظر گرفتن نتایج مربوط به دو سیکل انتهایی (سیکل های ۲۰ و ۲۱)، جذب انرژی در صفحات فولادی در

## واژگان کلیدی

Thin-walled structures

2 Shear panel

3 Diagonal tension field

4 Tresca

5 Cyclic

6 Isotropic

7 Kinematic

8 Bauschinger

9 Abaqus

10 Hysteresis

11 Pinching

12 Low yield point

## References

## ۵- مراجع

- [1]. Pellegrino C., Maiorana E., and Modena C. 2009 Linear and non-linear behaviour of steel plates with circular and rectangular holes under shear loading. *Thin-Walled Structures*, 47: 607-16.
- [2]. Sabouri-Ghomi S., Ahouri E., Sajadi R., Alavi M., Roufegarinejad A., and Bradford M.A., 2012 Stiffness and strength degradation of steel shear walls having an arbitrarily-located opening, *Journal of Constructional Steel Research*, 79: 91-100.
- [3]. Hosseinzadeh S.A.A., and Tehranizadeh M., 2014 Behavioral characteristics of code designed steel plate shear wall systems, *Journal of Constructional Steel Research*, 99: 72-84.
- [4]. Hosseinzadeh S.A.A., and Tehranizadeh M., 2014 The wall-frame interaction effect in steel plate shear wall systems, *Journal of Constructional Steel Research*, 98: 88-99.
- [5]. Wagner H., 1931 Flat sheet metal girders with very thin webs, Part I General theories and assumptions, Technical Memo. No. 604, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington.
- [6]. Inoue T., 1996 Analysis of plastic buckling of steel plates in shear based on the Tresca yield criterion, *Int J Solids Struct*, 33(26): 3903-23.
- [7]. Tugcu P., 1998 Effect of axial loading on plastic buckling of long strips under pure shear, *Comput Struct*, 66(2-3): 155-61.
- [8]. Montgomery C.J., Medhekar M., Lubell A.S., Prion H.G.L., Ventura C.E., and Rezai M., 2000 Unstiffened steel plate shear wall performance under cyclic loading, *Journal of Structural Engineering*, 126(4):973.
- [9]. Lubell A.S., Prion H.G.L., Ventura C.E., and Rezai M., 2000 Unstiffened steel plate shear wall performance under cyclic loading, *Journal of structural Engineering*, 453-60.
- [10]. Alinia M.M., and Dastfan M., 2007 Cyclic behaviour, deformability and rigidity of stiffened steel shear panels, *Journal of Constructional Steel Research*, 63: 554-63.
- [11]. Alinia M.M., Hosseinzadeh S.A.A., and Habashi H.R., 2007 Influence of central cracks on buckling and post-buckling behaviour of shear panels, *Thin-Walled Structures*, 45: 422-31.
- [12]. Alinia M.M., Hosseinzadeh S.A.A., and Habashi H.R., 2008 Buckling and post-buckling strength of shear panels

بار، پس از وقوع اولین تسلیم (رفتار غیرخطی کامل)، ورق تا حدی به باربری خود در ناحیه پلاستیک ادامه می‌دهد.

- در صفحات با لاغری متوسط، دو پدیده کمانش و اولین تسلیم تقریباً به صورت همزمان در ورق رخ می‌دهد و بنابراین، رفتار ورق عملاً شامل دو فاز خطی و غیرخطی کامل است. با ورود به ناحیه غیرخطی از رفتار، ورق تا حدی به باربری خود ادامه می‌دهد و در نهایت، به بار نهایی خود می‌رسد. با توجه به نتایج بدست آمده برای صفحات مختلف با لاغری متوسط، بار نهایی بین حدود ۴۰٪-۲۰ کوچکتر از ظرفیت اسمی تسلیم بدست آمد.
- در محدوده صفحات با لاغری کم، رفتار صفحه تحت تأثیر وقوع تسلیم در صفحه است و همزمان با وقوع کمانش (پلاستیک) در ورق (در صورت وقوع)، صفحه به حد نهایی باربری خود می‌رسد. در این محدوده ظرفیت نهایی صفحه با ظرفیت اسمی تسلیم آن تقریباً برابر است.
- تغییر شرایط مرزی از ساده به گیردار، به ترتیب بین صفر تا حدود ۳۰٪ و ۲۰٪ در افزایش نسبت‌های بار کمانشی و بار نهایی صفحات به ظرفیت اسمی تسلیم تأثیرگذار است. این تأثیر در صفحات با لاغری کم یا زیاد، ناچیز ارزیابی می‌شود.
- جذب انرژی در صفحات به شدت تحت تأثیر نسبت لاغری (ضخامت) است. جذب انرژی بالاتر صفحات ضخیم تر به دلیل افزایش مقاومت صفحه و کاهش پدیده تنگ شدگی در منحنی‌های هیستریزس آنها است.
- جذب انرژی در صفحات تا حدی متأثر از شرایط تکیه‌گاهی نیز است. با توجه به نتایج بدست آمده، برای شرایط تکیه‌گاهی گیردار نسبت به حالت ساده، عمدتاً به دلیل افزایش باربری صفحه، تا حدود ۳۵٪ افزایش جذب انرژی در سیکل‌های انتهایی مشاهده شد.
- با توجه به نتایج بدست آمده، در شرایط بارگذاری یکسان، مدول الاستیسیته مصالح بیشترین تأثیر را در جذب انرژی صفحات دارد، بطوریکه بیشترین جذب انرژی در صفحات فولادی (با وجود تنش تسلیم پایین‌تر) نسبت به آلومینیومی مشاهده شد. به علاوه، بنظر می‌رسد که تنش تسلیم مصالح تأثیر قابل توجهی در جذب انرژی به و سیله ورق نداشته باشد که این مطلب مزیت استفاده از فولادهای با تنش تسلیم پایین در سال‌های اخیر را تأیید می‌کند.

State Highway and Transportation Officials. LRFD bridge design specifications. Washington, DC.

[17]. Zirakian T., Zhang, J., 2015 Structural performance of unstiffened low yield point steel plate shear walls, *Journal of Constructional steel research*, 112: 40-53.

[18]. Chen Sh.J., Jhang Ch., 2011 Experimental study of low yield point steel plate shear wall under in-plane load, *Journal of Constructional steel research*, 1 67: 977-85.

[19]. ATC-24. 1992 Guidelines Of Cyclic Seismic Testing On Components For Steel Structures, Redwood City, California, U.S.A.

degraded by near border cracks, *Journal of Constructional Steel Research*, 64: 1483-94.

[13]. Alinia M.M., Hosseinzadeh S.A.A., and Habashi H.R., 2008 Numerical modelling for buckling analysis of cracked shear panels, *Thin-Walled Structures*, 45: 1058-67.

[14]. Alinia M.M., Erfani S., and Gheitasi A., 2009 Plastic shear buckling of unstiffened stocky plates, *Journal of Constructional Steel Research*, 65: 1631-43.

[15]. Alinia M.M., and Gheitasi A., 2010 Slenderness Classification of unstiffened metal plates under shear loading, *Thin-Walled Structures*, 48: 508-18.

[16]. AASHTO, 2005 3rd ed. American Association of

# Effect of Slenderness Ratio on Load Bearing and Energy Dissipation Characteristics of Shear Panels

Ayub Kamraninejad<sup>1</sup>, Seyed Alli Asghar Hosseinzadeh<sup>\*2</sup>

1-Department of Civil Engineering, Bandar Abbas Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbas , Iran.

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Golestan University.

\*ahosseinzade@gmail.com

## Abstract:

Thin-walled panels are widely used in different engineering applications. Bridge and building plate girders, box columns and girders, frame bracing systems, liquid and gas containment structures, shelters, offshore structures, ship structures, slabs, hot-rolled W-shape steel profiles, steel plate shear wall systems and many other naval and aeronautical structures are examples of engineering elements that use plate of various thicknesses, according to their applications. The knowledge of the actual behavior of plates in such structures can be, of course, helpful in understanding the overall behavior of the structures. In general, plates in thin-walled structures may be under various types of loading, such as shear loading. Yielding of material and geometrical buckling of plates are two independent phenomena which may well interact with each other in shear panels. Depending on the material properties, slenderness, aspect ratios, and boundary conditions of perfectly flat plates, the yielding may occur before, after or at the same time as buckling. Buckling in slender plates is a local and sudden phenomenon followed by large out-of-plane displacements and loss of stiffness. Slender plates are capable of carrying considerable post-buckling additional loads due to stresses in the inclined tension fields. On the other hand, a plate with low slenderness ratio yields before buckling and thus, no post-buckling capacity is expected. In between, plates with moderate slenderness ratios, experience both material yielding and geometrical nonlinearity almost at the same time. In the present paper, behavioral characteristics of shear panels with simple or clamped boundary conditions are studied. Three different materials (carbon steel, stainless steel and aluminum) and various plate slenderness ratios are considered for adopting the finite element method. Results of nonlinear static analyses of different shear panels show that slender plates, depending on the slenderness ratio, carry a relatively small shear load in the elastic stage until the occurrence of shear buckling. However, additional capacity in the post-buckling stage of these plates, prior to yielding, is significantly large. The plates reach their ultimate shear capacity slightly after yielding and their post-yield capacity is not significant. Note that the ultimate shear strength of slender plates is considerably lower than their nominal shear yield strength. In plates with intermediate slenderness ratio, yielding of material and buckling occur concurrently (simultaneously). They carry a relatively large shear load in the elastic stage before yielding/buckling. They have also some post-buckling/post-yield reserves before failure. The ultimate shear strength of moderate plates is somehow lower than their nominal shear yield strength (yield strength in shear). In stocky plates, yielding precedes buckling, thus the shear capacity in the elastic stage before yielding is significant. The plates have some post-yield capacity and the ultimate load is coincident with the occurrence of plastic buckling (if happens). The ultimate shear strength of stocky plates is almost equal to their nominal shear yield strength. Moreover, results of quasi-static cyclic analyses of different shear panels show that the energy absorption capability, as expected, is very sensitive to the slenderness ratio of panels. By decrease in the slenderness ratio (increase of thickness), amount of the absorbed energy is substantially increased. For a specific slenderness ratio, steel shear panels exhibit higher energy absorption than panels with aluminum materials. However, aluminum material of this study has higher yield strength than that of carbon steel and stainless steel materials. This, of course, highlights the important role of the modulus of elasticity in the energy dissipation capability of shear panels. Yield strength of the material and panel boundary conditions have no important role in the amount of dissipated energy, compared to the material modulus of elasticity.

**Keywords:** Shear panel, Plates, Cyclic behavior, Finite Element Method, Nonlinear Analysis