



## مطالعات آزمایشگاهی در تأثیر ضخامت ورق پوشش بر مقاومت نهایی و ضریب رفتار دیوار فولادی نازک با مهاربند دو طرفه

دکتر محمدرضا جواهری تفتی<sup>1</sup>، دکتر حمیدرضا روتق<sup>2</sup>، امید احمدی فرد<sup>3</sup>

1- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تفت، گروه عمران، تفت، ایران

[javaheri@taftiau.ac.ir](mailto:javaheri@taftiau.ac.ir)

2- دانشیار، دانشگاه کوئزلند، استرالیا

[hamidronagh@gmail.com](mailto:hamidronagh@gmail.com)

3- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تفت، گروه عمران، تفت، ایران

[Omid\\_af454@yahoo.com](mailto:Omid_af454@yahoo.com)

### چکیده

مقاطع سرد نورد شده در صنعت ساخت و ساز کشورهای مختلف جهان کاربرد زیادی یافته اند. این مقاطع از ورق های نازک فولادی با ضخامت 0/5 تا 3 میلی متر ساخته شده اند که به دلیل سبکی، سهولت تولید تنوع اشکال و بازده مقاومتی زیاد، این مقاطع کاربرد فراوانی در سیستم های پیش ساخته ساختمانی دارا می باشند. سیستم LSF در سالهای اخیر به شکل گسترده و به عنوان یکی از انواع تولید صنعتی ساختمان ها به کار گرفته شده است. این سیستم های بار بر ثقلی توانایی ترکیب شدن با سیستمهای لرزه بر دیگر مانند دیوارهای بتن مسلح سازه ای را داراست. بازنگری متون نشان داده است اگر چه دیوارهای CFS جدید نیستند و سالها به عنوان مولفه های غیر سازه ای استفاده شده اند، امروزه کاربردشان به عنوان چارچوب های سازه ای باربر نسبتاً جدید است. برای ارزیابی مشخصات لرزه ای این قاب ها، 2 قاب CFS با مقیاس کامل تحت بار گذاری چرخه ای زوش B استاندارد ASTM-E2126-07 قرار گرفت. پارامترهای مورد بررسی در این مطالعات شامل حلقه های هیستریزس و مود خرابی نمونه ها می باشد. نتایج این مطالعات نشان می دهد که نسبت به افزایش ضخامت ورق دیوار برشی با تقویت اعضای سازه ای می توانیم نتیجه مطلوب تری از رفتار لرزه ای قاب های CFS مشاهده کنیم.

واژگان کلیدی: قاب CFS، بارگذاری چرخه ای

### 1. مقدمه

نیاز شدید به افزایش بهره وری در بخش ساختمان کشور این واقعیت را آشکار کرده است که استفاده از سیستم های سنتی در امر ساخت و ساز جوابگوی نیاز جامعه نبوده و استفاده از فناوری های نوین در این بخش اجتناب ناپذیر است. در این میان سیستم های ساختمانی با پتانسیل های تولید صنعتی و پیش ساختگی میتوانند نیازهای کمی و کیفی صنعت ساختمان را برآورده کنند یکی از این سیستم ها، سیستم قاب سبک فولادی است که نه تنها امکان تولید صنعتی و پیش ساختگی آنها وجود دارد، بلکه به علت سبک موجود سیستم در هنگام زمین لرزه، آسیب پذیری ساختمان ها را به حداقل می رساند [1].



دیوارهای برشی یکی از اجرای اصلی و مقاوم در برابر بارهای جانبی مخصوصاً زلزله اند که به طور وسیع در ساختمان های کوتاه مرتبه و میان مرتبه فلزی مورد استفاده قرار می گیرند. هر پانل دیوار برشی از یک قاب فولادی با مقاطع فولادی سرد نورد شده تشکیل شده است که تیرکها و ستونک های قاب به وسیله پیچ های خودکار یا پرچ به یکدیگر متصل شده اند و پوششی از مصالح چوبی یا ورق فولادی نازک بر روی قاب پیچ شده یا چسبانده می شود. برای طراحی سازه های سرد نورد شده تعیین میزان مقاومت جانبی دیوارهای برشی اهمیت بسزایی دارد. برای تعیین مقاومت جانبی پانلهای دیوار برشی به دلیل رفتار نسبتاً پیچیده پانل، اکثراً از آزمایشات تمام مقیاس استفاده می شود که مؤسسه آهن و فولاد آمریکا [2] بر اساس این آزمایشات مقادیر مقاومت چند نوع دیوار برشی استاندارد را ارائه می دهد.

## 2. برنامه آزمایش

برای ارزیابی مشخصات لرزه ای قابهای سرد نورد شده، 6 قاب CFS با مقیاس کامل، شامل 2 نمونه مستقل تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفتند. مشخصات کامل نمونه ها در جدول 1 آمده است. همچنین ابعاد و نحوه قرار گیری مقاطع در شکل 1 و 2 آمده است. برای اطمینان از دقت نتایج حاصله، از هر قاب 3 نمونه ساخته و مورد مطالعات آزمایشگاهی قرار گرفت.

در این مطالعه 1 قسمت از مشخصات لرزه ای قاب های CFS مورد توجه قرار گرفته است:

1- اثر تغییر ضخامت صفحات پوشش در مهاربندی دو طرفه بر روی ضریب رفتار و مقاومت نهایی نمونه ها.

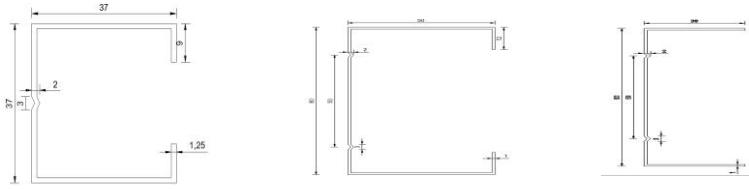
این نمونه ها بین دو جک هیدرولیکی فیکس شده و جابجایی رفت و برگشتی مطابق روش B استاندارد ASTM-

E212607 به تراک پایینی قاب وارد شد

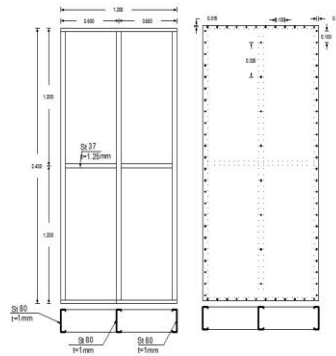
### جدول (1): مشخصات نمونه ها

قاب	مشخصات
A	استاد کناری دوپل استاد میانی تک فاصله پیچ های استاد کناری 100 میلیمتر فاصله پیچ های استاد میانی 300 میلیمتر پوشش دیوار برشی به صورت دوطرفه و با ضخامت 0/6 میلیمتر
B	استاد کناری تک استاد میانی تک فاصله پیچ های استاد کناری 100 میلیمتر فاصله پیچ های استاد میانی 300 میلیمتر پوشش ورق به صورت دوطرفه و با ضخامت 0/7 میلیمتر

نمای کلی جک های هیدرولیکی و نحوه قرار گیری قاب ها بین جک ها در شکل 3 آمده است.



شکل (1): جزئیات ابعاد المان های قاب (میلی متر) رانر، استاد، ناگین



شکل (2): نحوه قرار گیری مقاطع



شکل (3): نمای کلی جک های هیدرولیکی و نحوه قرار گیری قاب ها بین جک ها

### 3. مشخصات مصالح

مشخصات مکانیکی تمامی اعضای قاب شامل تراک های پایینی و بالایی، استاد و ناگین یکسان می باشد. که این مشخصات در جدول 2 آمده است. اما اعضای دارای مقاطع مختلف می باشند. جزئیات ابعاد مقاطع در شکل 1 آمده است. هم چنین نمونه ها دارای پوششی از جنس گالوانیزه با ضخامت های مختلف می باشند. مشخصات مکانیکی این ورق ها در جدول 3 تا 4 آمده است.

NO	Property	Value
1	Nominal Thickness	1.0 mm
2	Yield Stress, Fy	174.82Mpa
3	Yield Strain	0.25%

NO	Property	Value
4	Ultimate Stress, Fu	350.22Mpa
5	Ultimate Strain	2.75%
6	Fu/Fy	2

جدول(2): مشخصات مکانیکی اعضای قاب

NO	Property	Value
1	Nominal Thickness	0.6 mm
2	Yield Stress, Fy	393.36Mpa
3	Yield Strain	0.012%

NO	Property	Value
4	Ultimate Stress, Fu	405.16Mpa
5	Ultimate Strain	1.85%
6	Fu/Fy	1.03

جدول(3): مشخصات مکانیکی ورق پوشش با ضخامت 0/6

جدول(4): مشخصات مکانیکی ورق پوشش با ضخامت 0/7

NO	Property	Value
1	Nominal Thickness	0.7 mm
2	Yield Stress, Fy	280Mpa
3	Yield Strain	0.007%

NO	Property	Value
4	Ultimate Stress, Fu	296.82Mpa
5	Ultimate Strain	2.25%
6	Fu/Fy	1.06

### 4. پروتکل بارگذاری

رژیم بارگذاری رفت و برگشتی مورد استفاده در آزمایش ها بر اساس روش B در استاندارد ASTM [3] که در اصل برای استاندارد Iso 16670 (International Organization For Standardization) تدوین شده است می باشد بارگذاری شامل یک سیکل کامل در 1.25٪، 2.5٪، 5٪، 7.5٪ و 10٪ و سه سیکل کامل در 20٪، 40٪، 60٪، 80٪، 100٪، 120٪، 140٪، 160٪ و 180٪ از جابجایی نهایی نمونه می باشد مگر اینکه زودتر شکست یا کاهش قابل ملاحظه ای در مقاومت پدید آید.

## 5. اتصالات

تمامی اعضای قاب به یکدیگر توسط پیچهای مته سر خود متصل شدند. مشخصات پیچهای اتصال ورقهای دیوار برشی به قاب نیز مشابه پیچهای اتصال اعضای قاب می باشد. همانگونه که در شکل زیر نشان داده شده است، برای اتصال قاب به جک هیدرولیکی از 4 عدد Hold down به طول 200 میلیمتر در ابتدا و انتهای استاد های کناری استفاده شده است.

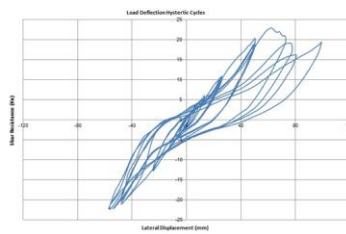
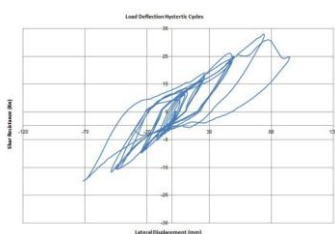
## 6. نتایج آزمایش

### 6-1. نمونه A

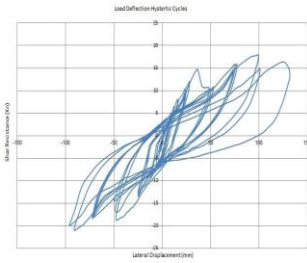
- 1- تمامی کمانش ها تا جابجایی 24 الاستیک بوده است.
- 2- در سیکل های بالا گسیختگی کامل اتصال HoldDown به قاب مشاهده شده است.
- 3- در سیکل اول 48+ اولین کمانش پلاستیک استاد و در سیکل اول 72+ اولین کمانش پلاستیک ورق رویت گردیده است.

### 6-2. نمونه B

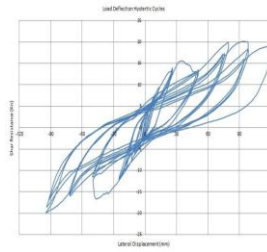
- 1- در جابجایی های پایین تر از 24، تمامی کمانشهای بوجود آمده در قاب الاستیک می باشد.
  - 2- در جابجاییهای 48، کمانشهای پلاستیک در ورق مشاهده می گردد.
  - 3- در جابجایی های بالاتر از 72، لهیدگی شدید در زیر اتصال HoldDown اتفاق می افتد.
  - 4- در جابجایی های بالاتر از 96، پارگی در استاد و بیرون زدگی اتصال HoldDown به قاب مشاهده می گردد.
  - 5- همچنان خرابی ها، کمتر به ناگین می رسد.
- در نمودارهای زیر، منحنی پوش گسیختگی تستهای بررسی شده با احتساب جابجایی مجاز هر طبقه که در قبل بطور کامل شرح داده شده است از وصل کردن نقاط ماکزیم نیرو در هر سیکل بارگذاری هم در رفت و هم در بازگشت ترسیم شده است که نشان میدهد در دو قاب رفتار نسبتاً مشابه و یکسانی داشته اند.
- عملکرد جانبی چرخه ای همه نمونه ها در شکل زیر نشان داده شده است:



A2



A1

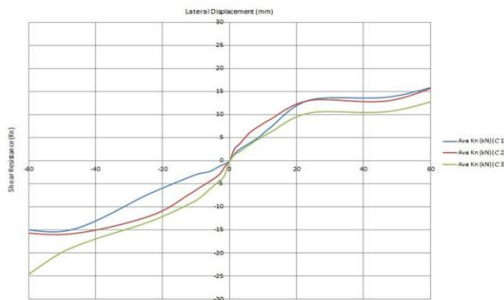


B3

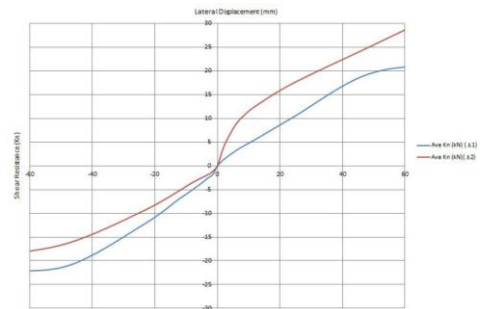
B2

B1

در نمودارهای زیر، منحنی پوش گسیختگی برای هر دو نمونه با احتساب جابجایی مجاز هر طبقه که در قبل بطور کامل شرح داده شده است از وصل کردن نقاط ماکزیمم نیرو در هر سیکل بارگذاری هم در رفت و هم در بازگشت ترسیم شده است.



پوش B



پوش A

نتایج ظرفیت باربری جانبی نهایی نمونه های بررسی شده در جدول (5) آمده است.

جدول (5): ظرفیت باربری نمونه های بدست آمده از آزمایش

قاب	شماره تست	ماکزیمم مثبت	جابجایی	ماکزیمم منفی	جابجایی	بار نهایی
A	1	22/87	62/65	-22/32	-56/92	22/32
	2	33/07	73/96	-19/88	-71/44	19/88
	3	***	***	***	***	***
B	1	18/46	95/97	-19/28	-96/77	18/46
	2	20/15	93/93	-19/89	-94/37	19/89
	3	17/92	98/81	-21/04	-90/62	17/92

#### 7. ارزیابی فاکتور R

برای محاسبه ضریب رفتار از منحنی پوش نمونه ها استفاده می شود. ابتدا منحنی دو خطی ایده آل با توجه به روش ارائه شده در FEMA 356 [4]، محاسبه و ترسیم گردید. در گام دوم ضریب کاهش شکل پذیری محاسبه گردید  $V_s$  بر اساس اصل تساوی انرژی و  $V_y$  با استفاده از منحنی ایده آل دو خطی قابل محاسبه است. در گام سوم مقاومت افزون  $\Omega_0$  محاسبه می گردد. برای محاسبه  $V_s$  از اصل اولین نقطه تسلیم بارز (First significant yieldpoint) استفاده گردید. این نقطه با مشخص کردن نقطه ای روی منحنی پوش که پاسخ سازه شروع به انحراف بارز از پاسخ الاستیک سازه میکند تعیین می شود [19,30].

$$D_i = \frac{d_{li} - d_{ci}}{d_{c,max}} \quad (\%) \quad (1)$$

$D_i$ : میزان انحراف منحنی پوش از خط مستقیم برازش شده مربوط به نقطه ی  $\Delta_m$ .

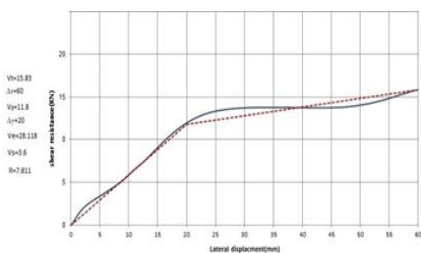
$d_{li}$ : میزان تغییر مکان نقطه  $\Delta_m$  روی خط مستقیم.

$d_{ci}$ : میزان تغییر مکان نقطه  $\Delta_m$  روی منحنی پوش.

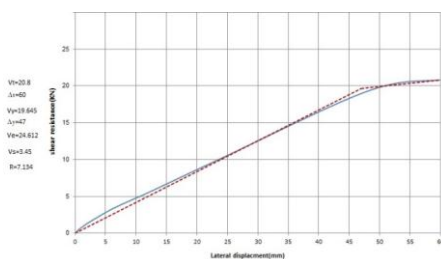
$d_{c,max}$ : میزان تغییر مکان ماکزیمم دیوار.

جدول (6): ضریب رفتار بدست آمده برای نمونه های مورد آزمایش

با محاسبه مقدار  $V_s$  مقادیر  $\Omega_0$  و  $R$  تعیین می گردد. این مقادیر به همراه سایر پارامترهای مورد نیاز دیگر برای سه نمونه بررسی شده در جدول 6 نشان داده شده است. در ادامه نمودار دو خطی ایده آل برای دو نمونه آورده شده است.



B1



A1

### 10. خلاصه و نتیجه گیری:

1- بالاترین ضریب رفتار بدست آمده به طور میانگین برابر با 7/530 مربوط به قاب A می باشد که دارای استاد کناری و

AVRAGE	$R$	$\Omega$	$R_d$	$V_s$	$V_e$	$V_y$	موقعیت	شماره تست	قاب
7/530	7/134	5/694	1/253	3/45	24/612	19/645	مثبت	1	A
	7/267	3/499	2/077	3/85	27/977	13/47	منفی		
	6/942	1/297	5/352	8/72	60/53	11/31	مثبت	2	
	8/777	4/328	2/028	2/65	23/259	11/47	منفی		
	**	**	**	**	**	**	مثبت	3	
	**	**	**	**	**	**	منفی		
6/921	7/811	3/278	2/383	3/60	28/118	11/80	مثبت	1	B
	7/338	6/531	1/124	2/45	17/979	16	منفی		
	5/942	2/069	2/872	5/80	34/466	12	مثبت	2	
	6/432	3/034	2/120	4/40	28/301	13/35	منفی		
	7/152	2/319	3/085	3/45	24/676	8	مثبت	3	
	6/853	2/105	3/255	5/70	39/06	12	منفی		

میانی تک با پوشش ورق به صورت دو طرفه و با ضخامت 0/6 میلی متر است.





2- بالاترین مقاومت نهایی بدست آمده به طور میانگین برابر  $22/32$  کیلونیوتن مربوط به قاب A می باشد که دارای استاد کناری دوپل و استاد میانی تک می باشد.

3- با افزایش ضخامت ورق پوشش از  $0/6$  به  $0/7$  میلیمتر، ضریب رفتار  $8\%$  و مقاومت نهایی  $11\%$  کاهش پیدا کرده است. از مقایسه اعداد فوق می توان نتیجه گرفت که سلب کردن قاب ها به وسیله افزایش ضخامت ورق در قابهای مهاربندی شده به صورت دو طرفه اثر مطلوبی بر روی ضریب رفتار و مقاومت نهایی قاب های سرد نورد شده ندارد.

4- در تمامی قاب ها اولین خرابی و ضعیف ترین قسمت مشاهده شده در آزمایشات، قسمت های استاد که در اتصال با HOLD DOWN می باشد، بوده است.

5- با محاسبات ضریب رفتار در حالت های مختلف در این پژوهش، به این نتیجه می رسیم که ضرایب رفتار توصیه شده در استاندارد AISI و FEMA [5] برای سیستم های مهاربندی با پوشش ورق های فولادی  $R = 6/5$  مناسب در نظر گرفته شده است.

#### فهرست منابع:

- 1- Miranda E, Bertero VV. Evaluation of strength reduction factors for earthquakeresistant design. Earthquake Spectra. 1994;10:357-
- 2-AISI. Standard for cold- formed steel framed- lateral desing. washington, D.C. : American Iran and steel Instiuted.
- 3-E 2126-07A- standard test method for cyclic(revesed) Load test for shear resistance of walls for buildings. Usa 2007 . p. 13.
- 4-FEMA-356. Pre standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. USA: Building Seismic Safety Council; 2000.
- 5- FEMA-450. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures - Part 2 commentary. USA: Building Seismic Safety Council; 2003.