



تأثیر مهاربندی دوطرفه، یک طرفه بر روی ضریب رفتار و مقاومت نهایی در دیوارهای فولادی نازک با استفاده از بررسی عددی

دکتر حمیدرضا رونق¹، دکتر محمدرضا جواهری تفتی²، احسان حاجی سلطانی³

1- دانشیار، دانشگاه کوئزلند، استرالیا

hamidronagh@gmail.com

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

javaheri@taftiau.ac.ir

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

Ehsan_hajisoltani@yahoo.com

چکیده

سیستم قاب سبک فلزی به دلیل مزایای ویژه همچون امکان تولید صنعتی، پیش ساختگی و سبک بودن میتوان جایگزین مناسبی برای سیستمهای سنتی ساخت و ساز در کشور باشند. همچنین ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه فولادی سرد نورد شده (CFS) نیازمند یک روش المان محدود می باشد. ارائه روش المان محدود غیرخطی ساده شده برای چنین ساختمان هایی میتواند در زمان صرف شده برای تعداد زیادی از المان های پیچیده ی موجود در مدل سازی اعضای قاب و ورق های پوششی ساختمان ها تأثیرگذار باشد. بررسی های تحلیلی انجام شده به کمک نرم افزار المان محدود ANSYS و مقایسه نتایج تحلیل با نتایج مطالعات آزمایشگاهی یک روش غیر خطی ساده شده ای را برای ارزیابی مشخصات لرزه ای قاب های CSF ارائه داد. اثرات نابجایی ورق های دیوار برشی و سوراخکاری مقاطع در این مطالعه بررسی گردید. در نهایت برای مقدار ضریب رفتار قاب های CFS ($R=6/5$) پیشنهاد می شود.

واژگان کلیدی: قاب های CFS روش المان محدود

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 می توانند نیازهای

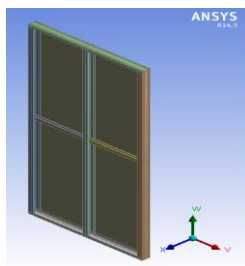


کمی و کیفی صنعت ساختمان را برآورده کنند یکی از این سیستم ها، سیستم قاب سبک فولادی است که نه تنها امکان تولید صنعتی و پیش ساختگی آنها وجود دارد، بلکه به علت سبک بودن سیستم در هنگام زمین لرزه، آسیب پذیری ساختمان ها را به حداقل می رساند. [1]. دیوارهای برشی یکی از اجزای اصلی و مقاوم در برابر بارهای جانبی 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. اگر چه بررسی رفتار جانبی دیوار برشی در سازه های فولادی سبک نیازمند مطالعات آزمایشگاهی است لیکن بررسی کلیه پارامترهای سازه ای با آزمایش دسترس پذیر نبوده و یا با صرف وقت و هزینه های زیاد مقدور است. از طرفی مدل های تحلیلی معمولاً برای بررسی پانلهای با مشخصات مشابه کاربرد دارند و با تغییر پارامترهای مسئله می توانند خطای زیادی را به دنبال داشته باشند. امروزه مهندسين رفتار کلی ساختمان های ساخته شده با قاب های فولادی سرد نورد شده را معمولاً از طریق المان محدود مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می دهند.

در این مطالعه اثرات ناهمبندی ورق های دیوار برشی جهت دیدن کماتش های واقعی دیوار ها و اثرات سوراخکاری جهت تأثیر بازشدگی ها در اعضای سازه ای مورد بررسی قرار گرفت. هم چنین در این مطالعه اثر اتصالات Hold down نیز بررسی گردید، که این نکته کمتر در مطالعات قبلی مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور 2 قاب فولادی سرد نورد شده با پوششی از جنس گالوانیزه در نرم افزار المان محدود ANSYS مدل سازی شد. برای اطمینان از صحت نتایج آنالیز، نتایج مطالعات عددی با نتایج مطالعات آزمایشگاهی مقایسه گردید.

2. آنالیز اجزا محدود

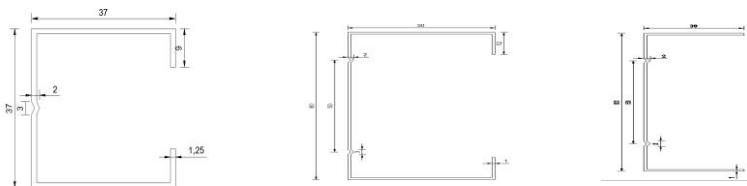
برای بررسی عددی مشخصات لرزه ای قاب های سرد نورد شده از نرم افزار المان محدود ANSYS استفاده شد. در گام اول دیوار های برشی و سپس مقاطع استاد، رانر و ناگین در نرم افزار مدل سازی شدند. نمای کلی قاب های مدل شده در نرم افزار در شکل 1 نشان داده شده است. در گام های بعدی مشخصات غیر خطی مصالح، سوراخکاری مقاطع، ناهمبندی ورق ها، و شرایط تکیه گاهی به مدل اعمال گردید. تمامی قسمت های مدل با المان shell 181 که پیشنهاد ANSYS Work bench می باشد مدل سازی شده است. المان shell 181 یک المان 4 گرهی با 6 درجه آزادی در هر گره می باشد. برای بررسی مشخصات لرزه ای قاب های سرد نورد شده در نرم افزار ANSYS از بارگذاری B استاندارد ASTM-E2126-07 استفاده شد.



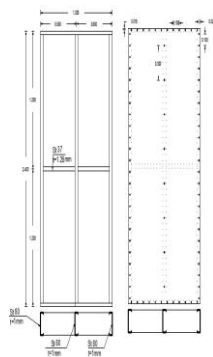
شکل (1): نمای کلی قاب های مدل شده جهت بررسی عددی در نرم افزار ANSYS

3. مشخصات مقاطع

مشخصات مکانیکی تمامی مقاطع المان های قاب از جمله تراک بالایی و پایینی، استاد و ناگین یکسان می باشد. مشخصات مکانیکی مقاطع به همراه مشخصات مکانیکی ورق های پوشش در جدول 1 آمده است. جزئیات ابعاد مقطع المان های قاب با یکدیگر متفاوت بوده که این جزئیات در شکل 2 نشان داده شده است. همچنین ابعاد کلی قاب به همراه نحوه قرار گیری استاد ها و فواصل اتصالات ورق های پوشش در شکل 3 آمده است.



شکل (2): جزئیات ابعاد المان های قاب (میلی متر) رانر، استاد، ناگین



شکل (3): ابعاد کلی قاب به همراه نحوه قرار گیری استاد ها و فواصل اتصالات ورق های پوشش

جدول (1): مشخصات مکانیکی ورق های پوشش

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

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

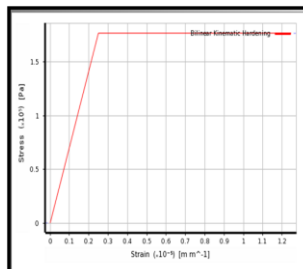
NO	Property	Value
1	Nominal Thickness	0.5mm
2	Yield Stress, Fy	192Mpa
3	Yield Strain	0.007%

NO	Property	Value
4	Ultimate Stress, Fu	385Mpa
5	Ultimate Strain	2.17%
6	Fu/Fy	2

4. رفتار مصالح در نرم افزار

برای مدل کردن رفتار پلاستیک مصالح در نرم افزار از مدل رفتاری Bilinear kinematic Hardening استفاده شده است. با توجه به نوع بارگذاری چرخه ای، این مدل رفتاری پلاستیسیتیه در برابر بارهای متناوب واقع بینانه تر است. این مدل رفتاری در شکل 4 نشان داده شده است. با انتخاب مدل رفتاری Bilinear Kinematic Hardening رفتار مصالح به این صورت مدل می شوند که تا تنش تسلیم رفتار مصالح خطی بوده و شیب این قسمت خطی همان مدول الاستیسیتیه می باشد. از تنش تسلیم به بعد نیز رفتار مصالح خطی بوده و در این قسمت از مدول تانژانتی تبعیت میکند. مدول تانژانتی از رابطه زیر به دست می آید:

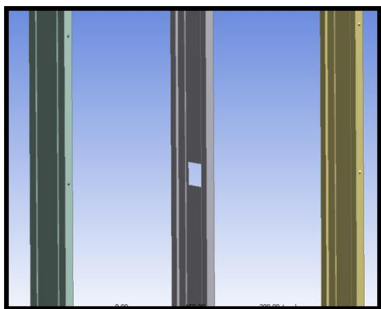
$$E_t = \frac{F_u - F_y}{\epsilon\%} \quad (1)$$



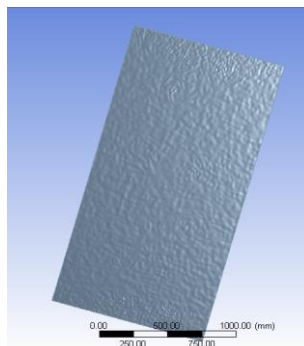
شکل (4): مدل رفتاری پلاستیسیتیه Bilinear Kinematic Hardening

5. نایجایی ورق ها و ایجاد بازشدگی در استاد میانی:

بدیهی است که در واقعیت ورق های نورد سرد دارای ضخامت یکنواختی در طول های متوالی نیستند یا به اصطلاح perfect نیستند، که بسته به ضخامت ورق ها دارای تلورانس ضخامت در رول های ورق های سرد نورد شده می باشند از آنجایی که نرم افزار در طول روند مدل سازی مقاطع را کامل یا perfect مدل سازی می کند، این تلورانس ضخامت باید به نرم افزار با نایجایی گره های المان یا به اصطلاح imperfection اعمال گردد. میزان نایجایی گره های المان در این تحقیق در حدود 0/01 میلی متر می باشد. در ANSYS Workbench همان طوری که در شکل 5 نشان داده شده است، با استفاده از کد Random، گره های المان به صورت تصادفی در حدود 0/01 میلی متر جابجا می شود همچنین همانطوری که در شکل 6 مشاهده می شود برای عبور ناگین از استاد میانی، جان استاد دارای باز شدگی می باشد که با این کار اثرات سوراخکاری در این تحقیق لحاظ شده است.



شکل (6): ایجاد بازشدگی در استاد میانی جهت عبور ناگین از استاد



شکل (5): نایجایی ایجاد شده در ورق جهت مدل

6. نمونه های بررسی شده در این تحقیق:

برای ارزیابی مشخصات لرزه ای قاب های فولادی سرد نورد شده، 2 قاب CFS مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات نمونه های بررسی شده در جدول 2 آمده است:

جدول(2): مشخصات نمونه های بررسی شده

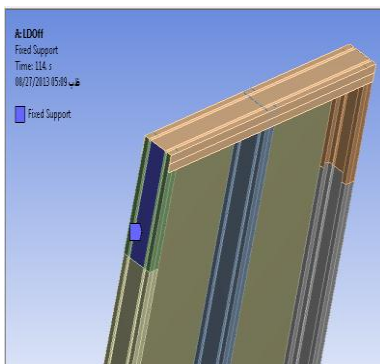
قالب	مشخصات
A	<p>استاد کناری تک</p> <p>استاد میانی تک</p> <p>فاصله پیچ های استاد کناری 100 میلی متر</p> <p>فاصله پیچ های استاد میانی 300 میلی متر</p> <p>پوشش دیوار برشی به صورت یکطرفه و با ضخامت 0.5 میلی متر</p>
C	<p>استاد کناری تک</p> <p>استاد میانی تک</p> <p>فاصله پیچ های استاد کناری 100 میلی متر</p> <p>فاصله پیچ های استاد میانی 300 میلی متر</p> <p>پوشش ورق به صورت دو طرفه و با ضخامت 0.5 میلی متر</p>

7. 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.

8. اعمال شرایط تکیه گاهی

برای اعمال شرایط تکیه گاهی با استفاده از اتصالات Hold down، با توجه به ابعاد واقعی این اتصالات، همانگونه که در شکل 7 نشان داده شده است، 200 میلی متر از ابتدا و انتهای استاد های کناری برای اعمال شرایط تکیه گاهی انتخاب شده است.



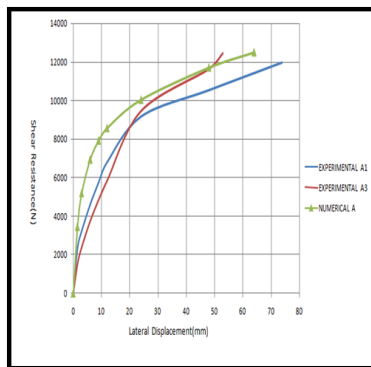
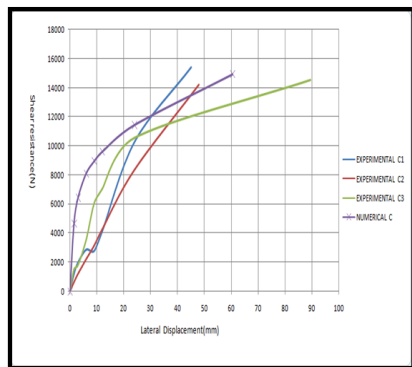
شکل (7): اعمال شرایط تکیه گاهی با مدل سازی اتصال Hold down

9. ارزیابی صحت نتایج مطالعه

برای بررسی های عددی ارزیابی صحت نتایج مطالعات به وسیله مقایسه نتایج، با نتایج مطالعات آزمایشگاهی لازم و ضروری می باشد. در این مطالعه، نتایج بررسی ها با نتایج نمونه های آزمایشگاهی مشابه مقایسه گردید. نتایج این مقایسات در جدول 3 و شکل 8 آمده است.

Differences (%)	Failed force (KN)		Failed displacement (mm)		Specimen
	Numerical	Exprimental(ave)	Numerical	Experiental(ave)	
2.4	12.50	12.20	64	63.53	A
1.273	14.930	14.74	61	60.50	C

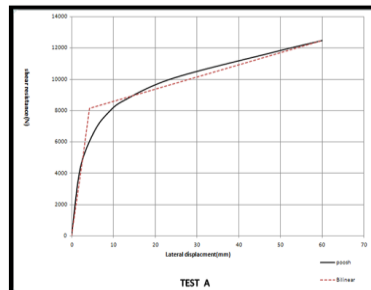
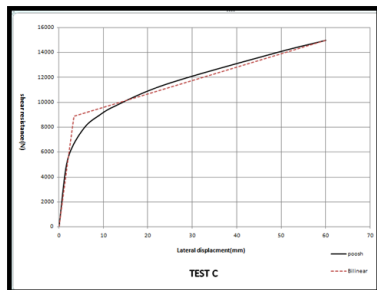
جدول (3): نتایج نهایی ارزیابی ظرفیت باربری نهایی جانبی نمونه ها در بررسی های تحلیلی و عددی



شکل (8): نتایج نهایی ارزیابی ظرفیت باربری نهایی جانبی نمونه ها در بررسی های تحلیلی و عددی

10. 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. بر اساس اصل تساوی انرژی و V_y با استفاده از منحنی ایده آل دو خطی قابل محاسبه است. در گام سوم برای محاسبه مقاومت افزون Ω_0 محاسبه می گردد. برای محاسبه V_s از اصل اولین نقطه تسلیم بارز (First significant yield point) استفاده گردید. این نقطه با مشخص کردن نقطه ای روی منحنی پوش که پاسخ سازه شروع به انحراف بارز از پاسخ الاستیک سازه می کند تعیین می شود [5, 6].



شکل (9): منحنی ایده آل دو خطی دو نمونه

$$D_i = \frac{d_{ii} - d_{ci}}{d_{c,max}} \quad (2)$$

D_i : میزان انحراف منحنی پوش از خط مستقیم برازش شده مربوط به نقطه ی i ام.

d_{ii} : میزان تغییر مکان نقطه i ام روی خط مستقیم.

d_{ci} : میزان تغییر مکان نقطه i ام روی منحنی پوش.

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

با محاسبه مقدار V_s مقادیر Ω_0 و R تعیین می گردد. این مقادیر به همراه سایر پارامترهای مورد نیاز دیگر برای سه نمونه بررسی شده در جدول 4 نشان داده شده است. هم چنین مقایسه نتایج مطالعات عددی با مطالعات آزمایشگاهی در جدول 4 نشان داده شده است:

جدول (4): مقایسه نتایج مطالعات عددی با مطالعات آزمایشگاهی

SPECIMENCE	(N) V_y	(N) V_e	(N) V_s	R_d	Ω_0	R(Num)	R(Exp)	(Differences%)
A	8150	47144	6720	5.784	1.21	6.99	5.970	14.60
B	8268	49058	6560	5.934	1.26	7.48	6.42	14.17
C	8885	60654	7743	6.83	1.14	7.83	7.80	0.39

11. خلاصه و نتیجه گیری

مطالعات عددی روی مشخصات لرزه ای 2 قاب CFS با پوششی از جنس گالوا نیزه انجام شد در این مطالعه اثرات سوراخکاری در مقاطع و اثرات نابعایی در ورق های پوشش لحاظ گردید نتایج مطالعات با مطالعات آزمایشگاهی مقایسه گردید. یک روش عددی غیر خطی ساده برای ارزیابی عملکرد لرزه ای سازه های CFS پیشنهاد شد. با استخراج منحنی پوش نمونه ها و آنالیز و بررسی منحنی های پوش و تنش های بوجود آمده در اعضا و ورق های پوشش نتایج زیر حاصل گردید.

1- در نمونه با پوشش ورق در دو طرف (نمونه C) میزان جذب انرژی در محدوده خطی و غیر خطی از دو نمونه A بیشتر بوده و مقدار شکل پذیری (μ)، Ductility (که از رابطه $\mu = \frac{\delta_{peak}}{\delta_y}$ به دست می آید) در این نمونه از نمونه A تقریباً 22٪ بیشتر می باشد.

- 2- بیشترین ظرفیت باربری جانبی مربوط به نمونه C با مقدار (14/93KN) می باشد. میزان باربری جانبی نهایی نمونه C نسبت به نمونه نمونه A حدود 19.4٪ افزایش یافته است.
- 3- بیشترین ضریب رفتار محاسبه شده مربوط به نمونه C با مقدار (R=7/83) می باشد. میزان ضریب رفتار نمونه C نسبت به نمونه A در حدود 12٪ افزایش داشته است.
- 4- با اعمال شرایط تکیه گاهی گیردار با استفاده از مدل سازی Hold down، میزان نیروهای بوجود آمده در قاب در حدود 10٪ افزایش می یابد.
- 5- بیشترین تنش های بوجود آمده در نواحی گوشه های ورق می باشد. اولین نقاطی که در قاب به تسلیم می رسد همین نواحی می باشد. بنابراین با تقویت این نواحی انتظار عملکرد لرزه ای بهتری از قاب می رود.
- 6- با در نظر گرفتن فاکتورهای تعدیل پاسخ لرزشی ارزیابی شده برای حالت های مختلف CFS و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مناسب، به این نتیجه می رسیم که ارزش های توصیه شده برای فاکتور R در استاندارد FEMA و AISI [7, 2] برای سیستم های مهاربندی از جنس صفحات فولادی (R=6.5) مناسب در نظر گرفته شده است.

12. فهرست منابع :

- 1- Davies R, Pedreschi R, Sinha BP. The shear behaviour of press-joining in cold-formed steel structures. Thin-Walled Structures 1996;25(3):153-70.
- 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- Uang C-M. Establishing R (or R_w) and C_d factors for building seismic provisions. Journal of Structural Engineering. 1991;117:19-28.
- 6-Zeynalian , M . Ronagh , H . R.. ‘ ‘ A numerical study an seismic characteristics of knee- braced cold- formed steel shear walls ‘ ‘ school of ciril Engineering, the university of Queenshand0 2011.



7- FEMA-450. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures - Part 2 commentary. USA: Building Seismic Safety Council; 2003.