بررسی رفتار لرزه ای تیرهای میانی در دیوار برشی ورق فولادی موجدار سینوسی (CSSSW)

پیمان قاسمی [1]، کریم بادامچی [2]

1- دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بوشهر، گروه عمران، بوشهر، ایران
users@tootci.com
2- عضو هیأت علمی دانشگاه تبریز، گروه عمران، تبریز، ایران
k.badamchi@tabrizu.ac.ir

چکیده

در هر سازه، تیرها می توانند به دو نوع مهاری و میانی تقسیم گردند که تیرهای مهاری در تراز بام و فونداسیون قرار دارند و نیروهای ناشی از دیوار برشی فولادی ورق موجدار را مهار می کنند، تیرهایی که در تراز طبقات غیر از تراز بام هستند تیرهای میانی نامیده میشوند. بررسی تاثیر میدان کششی بر لنگر پلاستیک تیرهای میانی به کمک تحلیل های الاستیک(تحت نیروی برشی پایه در حالت طراحی تنش مجاز) و پلاستیک(تحت نیروی برشی پایه در حالت مقاومت حدی نهایی) با نرم افزار اجزاء محدود Abaqus پرداخته شده است و بعد از تشخیص بحرانی ترین تیر میانی با استفاده از مقایسه تنش ون-میسز ایجاد شده، برای این تیر میانی، نمودار تنش در طول تیر برای قابهای با ارتفاع و ضخامت متفاوت بررسی شد و همینطور نمودار لنگر خمشی و نیروی برشی برای تیرها بدست آمد که با استفاده از این خروجی ها نتایج بدست آمده به این ترتیب بود که قاب های با دیوار برشی فولادی موجدار و مخصوصا تیرهای میانی تحت تاثیر نیروی برشی پایه منتجه از زلزله، در حالت حدی نهایی و درست قبل از گسیخته شدن قسمتی از قاب مورد مطالعه، در بیشتر مقاطع وارد حالت حد پلاستیک خود شده اند و به همین دلیل در قابهای با دیوار برشی فولادی موجدار از ظرفیت خمشی و برشی تیر برای مقابله با نیروی برشی پایه ناشی از زلزله نسبت به دیگر سیستم های باربر جانبی بیشتر استفاده شده است و تخمین میزان لنگر پلاستیک تحمل شده در تیرهای میانی و نیروی برشی ایجاد شده، که از دو سمت تحت میدان های کششی قرار می گیرند، می تواند کمک شایانی به نحوه درک مکانیزم عملکردی و همچنین خرابی دیوارهای برشی ورق فولادی موجدار بنماید.

واژه‌های کلیدی: دیوار برشی فولادی، ورق موجدار سینوسی، تحلیل غیر خطی، ظرفیت خمشی و برشی پلاستیک، تیرهای میانی

1. مقدمه

استفاده از دیوار برشی فولادی به عنوان سیستم مقاوم در برابر نیروی های جانبی به تازگی مورد توجه قرار گرفته است . انواع دیوار های برشی فولادی به دو قسمت سخت شده و سخت نشده تقسیم می شود. دیوار های برشی فولادی سخت نشده فقط از ورق فولادی صاف متصل شده به اعضای مجاور سازه ای (تیر و ستون) تشکیل

Archive of SID
www.SID.ir

میشوند در حالی که دیوار های برشی فولادی سخت شده دارای ورق های سخت کننده که به دیوار برشی متصل شده اند، می باشد و این سخت کننده ها موجب افزایش سختی برون صفحه ای شده و مقاومت برون صفحه ای قبل از کمانش دیوار برشی را بهبود میبخشد. در دیوار های برشی ورق فولادی موجدار علاوه بر اینکه مزایای دیوار برشی فولادی سخت شده را دارا میباشد، زمان اجرای کمتری مورد نیاز بوده و به نوعی ورق های موجدار نقش سخت کننده را ایفا میکنند به طور کلی میتوان دیوار های برشی فولادی ورق موجدار را جزو دیوار های برشی فولادی سخت شده به حساب آورد. فرضیه استفاده از ورقهای موجدار به عنوان دیوار برشی فولادی از تیرورقهای با جان موجدار گرفته شده است. در تیر ورقهای با جان موجدار هیچگونه اندرکنشی بین رفتار خمشی و برشی وجود ندارد در عین حال مقاومت قبل از کمانش نیز بخاطر سختی هندسی برون صفحه ای، افزایش می یابد. از جمله تحقیقات انجام یافته در زمینه استفاده از ورق های موجدار در قابهای فولادی می توان به فعالیت های آزمایشگاهی برمن و برونئو ، میر قادری و ترابیان می توان اشاره اشاره نمود.

Berman and Bruneau [1] سه نمونه که دو نمونه به صورت ورق صاف به ضخامت 0/9 میلی متر و یک نمونه ورق موجدار به ضخامت 0/7 میلی متر و با زاویه موج 45 درجه مدل شده بود. آنها نتیجه گرفتند که نمونه های با ورق صاف دارای شکل پذیری بیشتری هستند. منحنی هیسترسیس ورق موجدار نامتقارن بود بنابراین آنها پیشنهاد کردند دو دهانه با جهت ورق مخالف به کار برده شود.

میر قادری و ترابیان [2] مطالعاتی را در زمینه رفتار و کاربرد دیوار برشی موجدار انجام دادند و نتایجی را بر اساس پارامترهای مختلف ورق از جمله زاویه موج نسبت ارتفاع به عرض پانل های ورق و نسبت ارتفاع به ضخامت ورق ارائه کردند.

2. مشخصات ساختمانهای مورد بررسی

ساختمانهای مورد نظر چهار ساختمان فولادی با کاربری هتل و تعداد طبقات 2، 5 و با دیوار برشی فولادی با ضخامت 5 و 1/5 میلیمتر می باشد. طبقه اول به ارتفاع خالص 3 متر جهت پارکینگ و طبقه دوم برای مدلهای 5 طبقه جهت پذیرش از مهمان و لابی هتل و برای مدل 2 طبقه، 2 سویت به همراه لابی در نظر گرفته شده است. این هتل دارای 4 سویت در هر طبقه و طبقات 3 به بعد تیپ می باشد. که هر سویت به طور جداگانه دارای سرویس بهداشتی می باشد. در این ساختمان در هر دو امتداد از سیستم قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط + دیوار برشی ورق فولادی موجدار که برای برنامه Etabs از دیوار برشی ورق فولادی صاف با سختی معادل، استفاده شده و سقف از نوع مختلط می باشد.

3. خلاصه بارگذاری

Archive of SID

www.SID.ir

مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان [3]، بار زنده پارکینگ ، لابی هتل ،طبقات مسکونی ، بام و پله ها به ترتیب برابر $500\ \frac{Kg}{m^2}$ و $500\ \frac{Kg}{m^2}$ و $200\ \frac{Kg}{m^2}$ و $150\ \frac{Kg}{m^2}$ و $350\ \frac{Kg}{m^2}$ فرض میشود.

4. مشخصات مدلهای شبیه سازی شده

مدلهای مورد بررسی دیوار های برشی ورق فولادی موجدار در دو و پنج طبقه با یک دهانه به طول دهانه 4200 میلیمتر می باشند. برای اعضای مرزی افقی(تیر ها) از HE200B و HE220B و HE240B استفاده شده است. دیوار برشی ورق فولادی در دهانه میانی قاب از نوع ورقهای با موجهای سینوسی و دو ضخامت 1/5 و 5 میلیمتر در مدلهای مختلف استفاده شده است که بصورت صلب به اعضای HE-B به عنوان تیر و ستونها به صورت باکس بنا به جدول (1) و نتایج حاصل از نرم افزار Etabs در محیط نرم افزار Abaqus مدل شده است.

5. مدلینگ و آنالیز سازه در نرم افزار Etabs

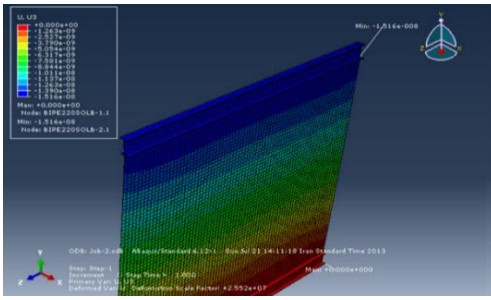
برای طراحی ساختمان های با دیوار برشی ورق فولادی موجدار به دلیل محدودیت نرم افزار Etabs از دیوار برشی ورق فولادی صاف با سختی معادل دیوار برشی فولادی موجدار در حالت خطی استفاده شده است.

6. ضخامت دیوار برشی صاف، با سختی معادل سختی دیوار برشی ورق فولادی موجدار مورد مطالعه

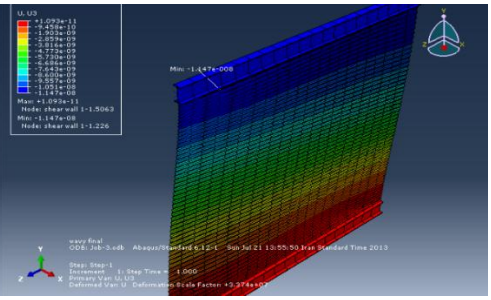
در نرم افزار های معمول برای طراحی ساختمان های فولادی مانند Etabs و Sap امکان تعریف دیوار برشی فولادی موجدار وجود ندارد به همین دلیل برای بررسی مقاومت اعضای سازه ای مانند تیر و ستون، در برابر بار های وارده به ساختمان مانند بار های ثقلی (بار مرده و زنده و بار برف و ...) و بارهای جانبی (بار زلزله، بار باد)، دیوار برشی فولادی موجدار را با دیوار برشی فولادی صاف معادل سازی میکنیم و برای رسیدن به این هدف باید سختی دیوار برشی فولادی صاف (عضو معادل) با سختی دیوار برشی فولادی ورق موجدار در حالت الاستیک تا حدودی یکسان باشد به همین دلیل دیوار برشی ورق فولادی صاف و موجدار را در نرم افزار اجزاء محدود Abaqus تعریف کردیم و سپس با سعی و خطا ضخامت تقریبی و رو به اطمینان برای دیوار برشی صاف (شکل 1) با سختی معادل دیوار برشی فولادی ورق موجدار (شکل 2) با مشخصات ذکر شده در جدول (1) بدست آمد که این ضخامت برابر با 1/5 میلیمتر بود. طول موج و ارتفاع موج ورق موجدار به ترتیب برابر با 0/06 و 0/02 متر میباشد. ارتفاع طبقات و طول دهانه نیز به ترتیب برابر با 3/6 و 4/2 متر میباشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل (1): تنش ون-میسز در دیوار برشی ورق فولادی صاف



شکل (2): تنش ون-میسز در دیوار برشی ورق فولادی موجدار

برای تعریف دیوار برشی فولادی صاف با سختی معادل دیوار برشی فولادی موجدار، از روش نوارهای معادل با زاویه α نسبت به اعضای عمودی استفاده شده است، برای یافتن زاویه α از فرمول (1) استفاده شده است که t ضخامت دیوار برشی فولادی، L طول دهانه ای که دیوار برشی در آن قرار گرفته است، A_c سطح مقطع ستونهای مجاور با دیوار برشی و I_c ممان اینرسی ستونهای مجاور دیوار برشی، A_b سطح مقطع تیرهای مجاور با دیوار برشی فولادی موجدار می باشند.

$$\tan^4\alpha = \frac{\frac{2}{tL}+\frac{1}{A_c}}{\frac{2}{tL}+\frac{2h_s}{A_bL}+\frac{h_s^4}{180I_cL^2}} \qquad (1)$$

جدول (1) : مقاطع ستونها و تیر ها و نوارهای معادل دیوار برشی فولادی صاف با سختی معادل دیوار برشی فولادی موجدار

مدل 5 طبقه				
طبقه	*مقطع ستون*	*مقطع تیر*	*مقطع نوارهای معادل*	*زاویه نوار های معادل*
1	32×32×3	HE200B	8/08	42/60
2	32×32×3	HE200B	8/29	42/34
3	30×30×2	HE200B	8/29	41/99
4	30×30×2	HE200B	8/29	41/99
5	30×30×2	HE200B	8/29	41/99
مدل 2 طبقه				
1	30×30×2	HE200B	8/09	42/34
2	30×30×2	HE200B	8/29	41/99

7. تعریف مسئله و مدل سازی عناصر محدود

Archive of SID
www.SID.ir

برای بررسی رفتار تیر های میانی دیوار برشی ورق فولادی موجدار به یک نرم افزار با مدل سازی سه بعدی بروش تحلیلی اجزاء محدود نیاز است. همچنین باید تیر و ستون های محیطی قاب به طور کامل مدل گردد تا تاثیر دیوار برشی ورق فولادی موجدار بر تیرهای میانی با توجه به رفتار لرزه ای دیوار برشی فولادی موجدار توام با اندرکنش بین اعضای سازه ای آشکارا دیده شود. برای بررسی دقیق رفتار ورق ها از المان Shell/Homogeneous و برای تحلیل غیر خطی مساله Abaqus/Standard که روشی مناسب برای تحلیل غیر خطی ورق ها و پوسته ها با همگرایی بالا می باشد استفاده می گردد. برای مدلسازی رفتار غیر خطی مصالح از مشخصات خطی تا حد الاستیک و از مشخصات غیر خطی از حد الاستیک تا حد گسیختگی (پلاستیک) کمک میگیریم و معیار گسیختگی Von- mises است. به دلیل آنکه رفتار غیرخطی ماده مدنظر است حتما Nlgeom را در Steps نرم افزار به حالت انتخاب درمی آوریم. در مدلسازی اتصال تیر به ستون به دلیل خمشی بودن قاب، به صورت گیرداری در نظر می گیریم و اتصال ورق موجدار به تیر و ستون به دلیل اتصال با جوش، نیز به صورت گیرداری در نظر گرفته شده است. اعضای پیرامونی دیوار های برشی ورق فولادی موجدار از نیمرخ HE-B و باکس تشکیل شده است اندازه المانها در این مدل سازی به میزان کافی ریز انتخاب می شود تا خطای عددی آن کمتر گردد.

8. شرایط مرزی و بارگذاری

در مدل ها، درجات آزادی فعال در گره های تراز سقف، درجات آزادی انتقالی داخل صفحه و چرخش حول محورها است و برای اعضای تیر و ستون، درجات آزادی انتقالی و دورانی برای نزدیکی بیشتر به واقعیت، باز است، درگره های تراز پایه درجات آزادی انتقالی، عمود بر صفحه بسته شده است. نوع تحلیل انجام شده غیر خطی هندسی و مصالح است و معیار گسیختگی Von-mises است. نوع المانهای تیر و ستون C3D8R و برای دیوارهای برشی S4R برای مش بندی اختصاص داده شد.
برای تحلیل غیرخطی از نرم افزار Abaqus 6/12 استفاده شده است. این نرم افزار قادر به حل مسائل مهندسی با درجات غیرخطی بالا به روش اجزا محدود است.

9. منحنی رفتار مصالح

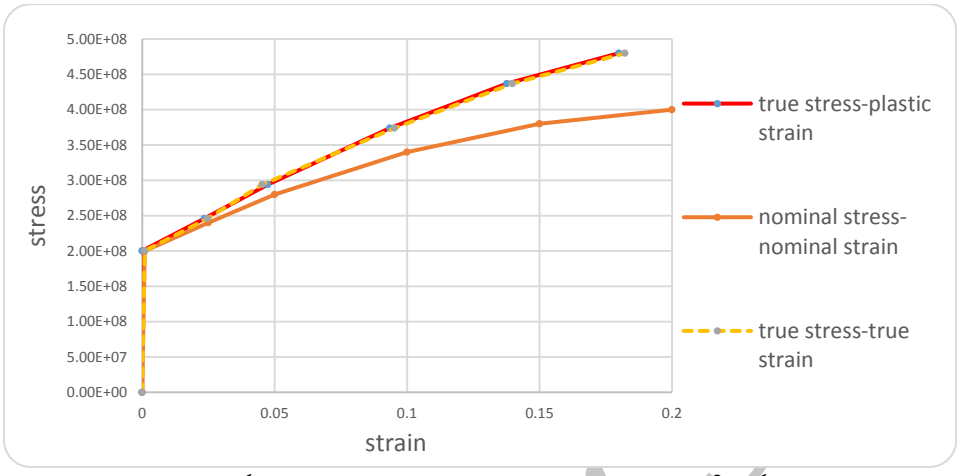
مصالح استفاده شده در تمامی مقاطع فولادی از نوع فولاد با کربن جزیی و با اسم اختصاری St37 می باشد. منحنی تنش و کرنش مصالح به صورت شکل (3) میباشد و مشخصات مصالح در حالت خطی به صورت جدول (2) میباشد. تنش تسلیم این نوع مصالح 200 مگا پاسکال و تنش گسیختگی آن 480 مگا پاسکال میباشد.

جدول (3): مشخصات فولاد مصرفی در مدلهای مورد مطالعه در حالت الاستیک

چگالی ($\frac{Kg}{M^3}$)	مدول یانگ (GPa)	ضریب پواسون

Archive of SID
www.SID.ir

0/3	200	7800



شکل (3): نمودار تنش-کرنش مصالح فولادی مورد استفاده در هر یک از مدلها

10. سختی قاب مورد مطالعه (قاب با دیوار برشی و قاب بدون دیوار برشی)

بعد از یافتن حداقل مقاطع مورد نیاز برای اعضای سازه ای، نوبت به تعیین نسبت مقدار سختی قابهای موجود در ساختمان برای یافتن مقدار نیروی برشی پایه وارده به قاب مورد مطالعه طبق آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله [4] (توزیع نیروی برشی پایه بین قابها رابطه مستقیم با سختی هر یک از قابهای سازنده دارد) می رسد. برای رسیدن به این هدف نیروی 10 کیلو نیوتن به هر تراز قاب مورد مطالعه و دیگر قابها در هر یک از تراز های طبقات به طور مجزا اعمال میکنیم و بنا به رابطه بین سهم نیرو و سختی در فرمول (2) نیروی وارده به قاب مورد مطالعه بدست می آید که برای تمامی مدلها سهم قاب مورد مطالعه مابین 22٪ تا 25٪ کل نیروی برشی پایه زلزله وارد بر ساختمان میباشد که این نیرو در ارتفاع قاب بنا به فرمول (3) توزیع شده است.

$$F_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^{n} k_i} . V \qquad (2)$$

$$F_i = (V - F_t) \frac{W_i \times h_i}{\sum_{j=1}^{n} W_j \times h_j} \qquad (3)$$

11. مدلینگ و آنالیز خطی و غیر خطی(پلاستیک) قابهای مورد مطالعه با اعمال نیرویی چندین برابر نیروی برشی در نرم افزار Abaqus

Archive of SID
www.SID.ir

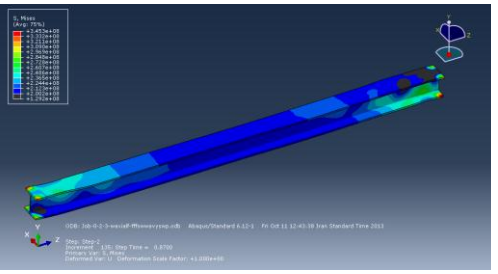
در بررسی مدلها در حالت خطی و تحت نیروی برشی پایه سهم قاب هیچکدام از تیرها در هیچ مقطعی وارد حالت پلاستیک نشده و مفصل پلاستیکی تشکیل نشد. برای تحلیل غیر خطی مدلهای مورد مطالعه بنا به نیروی برشی پایه بدست آمده از نرم افزار Etabs و بنا به تعریف طراحی صحیح یک ساختمان به روش تنش مجاز (اعضا نباید وارد حد تغییر شکل پلاستیک شوند)، باید نیرویی چندین برابر نیروی برشی پایه به مدلها وارد شود. به همین منظور ابتدا نیرویی 20 برابر نیروی برشی پایه برای قاب 2 طبقه و 10 برابر برای قاب 5 طبقه (این اعداد با سعی و خطا و بنا به نتایج بدست آمده توسط نرم افزار و نزدیکی تنش قاب به تنش گسیختگی تعیین گردیده اند) را به قابهای مورد مطالعه در نرم افزار Abaqus وارد می کنیم. نیروی برشی پایه حد گسیختگی بدست آمده برای هریک از مدلها در جدول (3) آورده شده است.

جدول (3) : نیروی برشی پایه حد گسیختگی بدست آمده برای هریک از مدلها

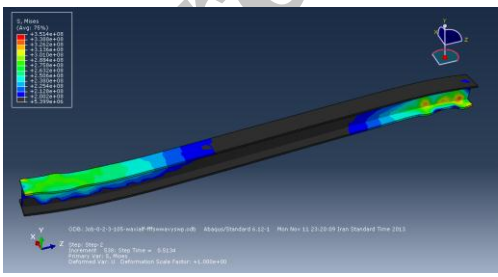
مدل 2 طبقه با ورق مو جدار 1/5 میلیمتر	(نیوتن) 1490726	*مدل 2 طبقه با ورق موجدار 5 میلیمتر*	(نیوتن) 2526163
مدل 5 طبقه با ورق موجدار 1/5 میلیمتر	(نیوتن) 1334331	*مدل 5 طبقه با ورق موجدار 5 میلیمتر*	(نیوتن) 2065788

12. نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر های میانی متصل به دیوارهای برشی ورق فولادی موجدار

بعد از اعمال نیروهایی چندین برابر نیرو های برشی پایه به تراز طبقات مدلهای مورد مطالعه و تحلیل این مدلها توسط نرم افزار Abaqus نحوه تشکیل مقاطع و مفاصل پلاستیک در بحرانی ترین تیر میانی (تیر طبقه اول) در شکلهای (4-7) که قسمت های دارای تنش ون-میسز بیش از تنش تسلیم، به صورت رنگی نمایش داده شده است.

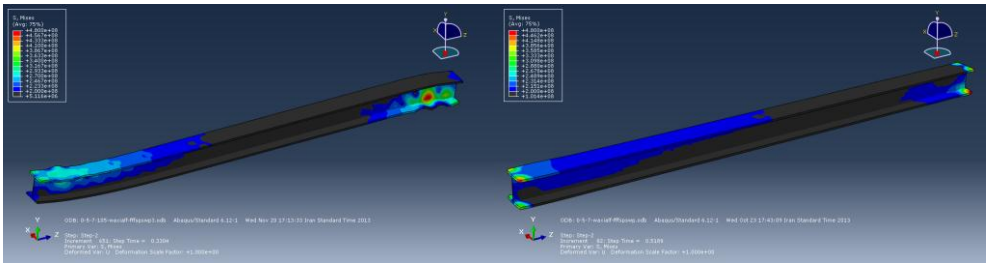


شکل (4): تیر میانی طبقه اول در مدل 2 طبقه با ورق 5 میلیمتر



شکل (5): تیر میانی طبقه اول در مدل 2 طبقه با ورق 1/5 میلیمتر

www.SID.ir

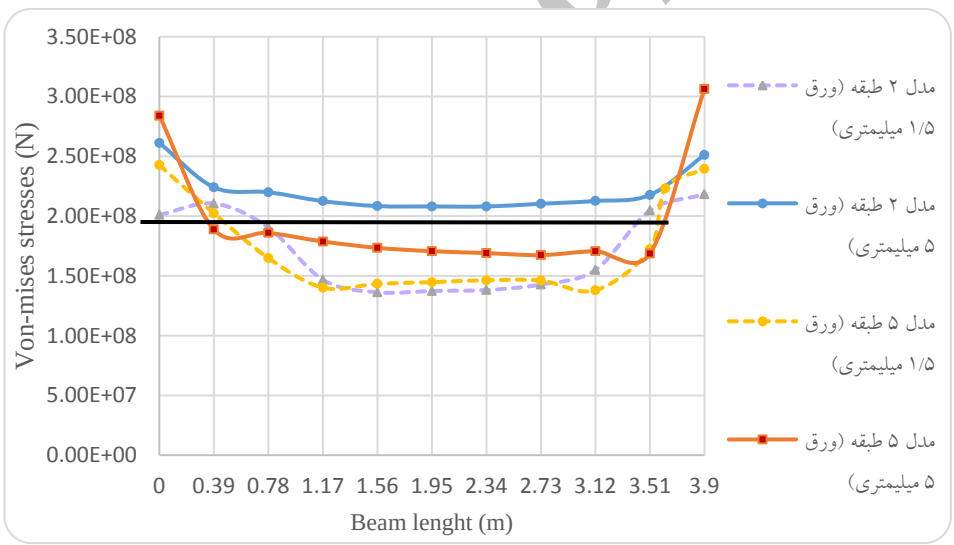


شکل (6): تیر میانی طبقه اول در مدل 5 طبقه با ورق موجدار 5 میلیمتر

شکل (7): تیر میانی طبقه اول در مدل 5 طبقه با ورق موجدار 1/5 میلیمتر

13. تعیین تنش ون – میسز در بحرانی ترین تیر(تیر تراز طبقه 1) در قابهای مورد مطالعه با دیوار برشی فولادی موجدار

برای درک بهتر رفتار لرزه ای تیر ها، تنش ون–میسز در بحرانی ترین تیر مدلهای مورد بررسی در شکل (8) با هم مقایسه شده است.

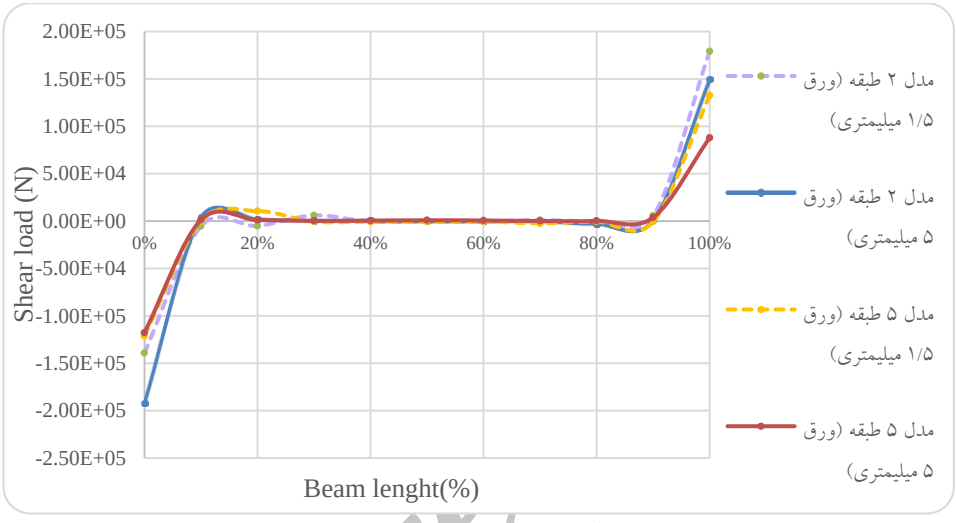


شکل (8): نمودار تنش ون–میسز در طول تیر در تراز طبقه 1(قابهای 2 طبقه و 5 طبقه دارای دیوار برشی فولادی موجدار با ضخامت 1/5 و 5 میلیمتر)

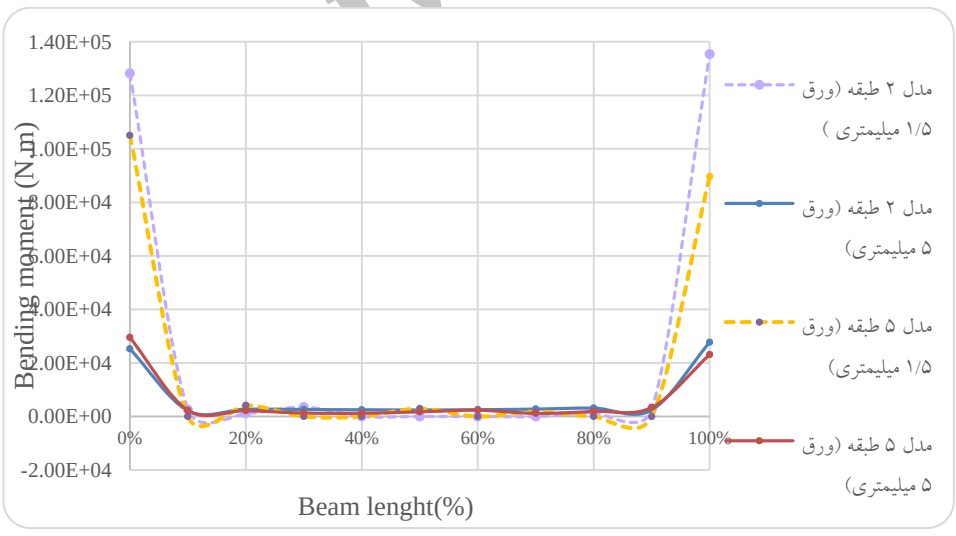
14. تعیین لنگر خمشی و نیروی برشی بوجود آمده در بحرانی ترین تیر میانی

www.SID.ir

در تیر های مورد بررسی تعیین لنگر خمشی و نیروی برشی در طول تیر، حایز اهمیت بوده و ما را در درک بهتر تاثیر تقابل بین دیوار برشی فولادی موجدار از دوسو بر تیرها مورد بررسی و بالعکس یاری مینماید. در شکل (9) نیروی برشی وارده بر تیر ها در مدلهای مورد بررسی و در شکل (10) لنگر خمشی وارد بر این تیر ها، باهم مقایسه شده است.



شکل (9): نیروی برشی در جهت Y



شکل (10): لنگر خمشی وارد بر تیر در جهت عمود بر صفحه قاب

www.SID.ir

15. خلاصه و نتیجه‌گیری

برای بررسی رفتار لرزه ای تیر های میانی در دیوار های برشی ورق فولادی موجدار و رفتار غیر خطی و میدان کششی این تیر ها با بکار گیری تحلیل اجزاء محدود، مشخص گردید که در تمامی مدلهای مورد بررسی، مقطع تیرهای بحرانی در یک دهم طول تیر ها از انتها، وارد حالت پلاستیک خود شده اند بنابراین مفصل پلاستیک تحت نیروی برشی پایه گسیختگی سهم قاب، در تیرها ایجاد شده است. در ورق موجدار با ضخامت بیشتر تیر در کل طول خود به جز یک دهم دوم از دو سر تیر تحت تنش بیشتر نسبت به ورق های با ضخامت کمتر می باشند و در محل اتصال تیر به ستون در ورق های فولادی موجدار با ضخامت بیشتر نسبت به اتصال تیر به ستون در ورقهای فولادی موجدار با ضخامت کمتر، تمرکز تنش بیشتر میباشد. در دیوارهای برشی ورق فولادی موجدار با ضخامت بیشتر، نیروی برشی و لنگر خمشی کمتری نسبت به دیوارهای با ضخامت کمتر به تیر اعمال میشود بنابراین فشار کمتری به اتصالات خمشی بین تیر و ستون وارد شده و حاشیه امن تری برای ساکنین قبل از فروپاشی کل سازه ایجاد مینماید از طرفی میزان سختی سازه را افزایش میدهد. تاثیر ضخامت دیوار برشی فولادی موجدار در افزایش تنش ها و نیروی برشی و لنگر خمشی ایجاد شده در مقطع تیر مخصوصا در دو انتهای تیرهای مدلها با افزایش ارتفاع، کاهش میابد و نقش قاب خمشی با افزایش ارتفاع ساختمان پر رنگ تر میگردد.

مراجع

[1] Berman, J.W. and Bruneau, M, “Experimental Investigation of Light-Gauge Steel Plate Shear Walls for the Seismic Retrofit of Buildings”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 131 No. 2, February, 2005.

[2] میرقادری. سید رسول، ترابیان. شهاب الدین، "رفتار و محدوده کاربرد دیوار های برشی فولادی موج دار"، نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران. 1385.

[3] بارهای وارد بر ساختمان (مبحث ششم مقررات ملی ساختمان)، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، 1385.

[4] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد 2800)، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی، 1384.

Archive of SID

www.SID.ir