

مقایسه رفتار غیرخطی دیوارهای برشی فولادی با ورق‌های صاف و موج‌دار

سیروس یوسفی خاتونی^۱، حسین شوکتی^{۲*}، محمد شیخ‌بگلو^۳

۱- عضو هیأت علمی آموزشکده فنی شهید قاضی طباطبایی ارومیه و مؤسسه آموزش عالی علم و فن ارومیه

۲- دانشیار بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران سازه - دانشگاه ارومیه

h.showkati@urmia.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۰۸

چکیده - دیوارهای برشی فولادی (SSW) برای مقابله با نیروهای جانبی زلزله و باد در ساختمان‌ها به‌ویژه در ساختمان‌های بلند در سه دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این پدیده نوین که در جهان به سرعت رو به گسترش است در ساخت ساختمان‌های جدید و همچنین تقویت ساختمان‌های موجود به‌ویژه در کشورهای زلزله‌خیزی مانند آمریکا و ژاپن به کار گرفته شده است. از نظر اجرایی، سیستمی بسیار ساده است و پیچیدگی خاصی در آن وجود ندارد. از مزایای اصلی این دیوارها می‌توان به شکل‌پذیری بالا و مقاومت زیاد آن‌ها اشاره کرد. در این مقاله رفتار دیوار برشی فولادی ساخته‌شده از ورق‌های صاف و موج‌دار بررسی و منحنی‌های push-over و دوره‌ای آن‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای ارزیابی شده است. طبق بررسی‌های انجام شده در این مقاله، دیوارهای برشی فولادی موج‌دار شکل‌پذیری پایین‌تری نسبت به دیوارهای برشی با ورق صاف دارد. در این پژوهش همچنین معلوم شد با این‌که در جابجایی‌های پایین، ورق موج‌دار مقاومت بالایی دارد؛ ولی رفتار دیوار برشی با ورق صاف نسبت به دیوار برشی موج‌دار پایدارتر است. جذب انرژی دیوار برشی صاف نسبت به دیوار برشی موج‌دار بیشتر است. بنابراین استفاده از دیوار برشی با ورق صاف در مناطق با خطر زلزله‌خیزی زیاد توصیه می‌شود.

کلیدواژگان: دیوار برشی فولادی موج‌دار، روش اجزای محدود، شکل‌پذیری، منحنی پوش اور، منحنی دوره‌ای

۱- مقدمه

شود؛ همچنین عملیات نصب و حمل آن‌ها به علت سختی برون صفحه‌ای اندک ورق، با مشکل همراه است. با توجه به مقاومت پس از کمانش ورق‌ها در این دیوارها انتظار نمی‌رود کمانش ورق موجب کاهش مقاومت آن شود [۱]. دیوارهای برشی فولادی به‌عنوان سیستم‌های مقاوم جانبی به‌ویژه در مناطق زلزله‌خیز پذیرفته شده است.

دیوارهای برشی فولادی به دو دسته سخت‌شده و سخت‌نشده تقسیم می‌شود. هر یک از انواع گفته شده مزایا و معایبی دارد. برای مثال، دیوارهای برشی سخت‌نشده حین باربری دچار کمانش برون‌صفحه‌ای می‌شوند که می‌تواند منجر به بروز اشکالاتی در بهره‌برداری از سازه

عملکرد آن با رفتار دیوار برشی فولادی با ورق صاف در این مقاله ارزیابی و مقایسه می‌شود.

۲- معرفی مدل‌ها

در این پژوهش برای این‌که بتوان تا حد مطلوبی رفتار مورد نظر را مطالعه کرد، ۱۸ نمونه از دیوار برشی صاف و موج‌دار با تعداد برابر مدل‌سازی شد. ارتفاع پانل‌ها در تمام مدل‌ها ۳ متر و ابعاد دهانه پانل‌ها به صورت ۳، ۴ و ۵ متر است. ضخامت ورق‌ها در نمونه‌ها ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. جدول ۱ و ۲ جزئیات مدل‌های استفاده شده را نشان می‌دهد. در مدل‌سازی تیر و ستون در همه‌ی مدل‌ها از مقطع I شکل که ارتفاع جان و بال آن ۱۸ سانتی‌متر و ضخامت جان آن ۱ سانتی‌متر است استفاده شده است. در این مدل‌ها اتصال تیر به ستون در همه‌ی مدل‌ها به صورت صلب در نظر گرفته و اتصال ورق به تیر و ستون به شکل مفصلی مدل شده است.

اعضای مرزی را می‌توان با المان BEAM مدل کرد؛ با این وجود در صورتی‌که کمانش موضعی در آن‌ها اتفاق افتد این مورد در تحلیل در نظر گرفته نخواهد شد. برای در نظر گرفتن کمانش جانبی، ورق و اعضای مرزی با المان پوسته (S4r) مدل‌سازی شده که یک المان چهارگره‌ی دو انحنایی با انتگرال‌گیری کاهش یافته است. هر گره از این المان 6 درجه آزادی یعنی ۳ درجه انتقال و ۳ درجه دوران دارد.

تأثیر ضخامت ورق و ابعاد پانل بر رفتار هر کدام از دیوارهای برشی، بررسی شده و در نهایت رفتار دیوار برشی با ورق صاف و ورق موج‌دار با هم مقایسه شده است.

۲-۱- شرایط مرزی و بارگذاری

در مدل‌ها، درجات آزادی فعال در گره‌های تراز سقف، درجات آزادی انتقالی داخل صفحه و چرخش حول محورها

آزمایش‌های مختلف نشان داده که سیستم دیوار برشی فولادی می‌تواند برای سیستم‌های مقاوم لرزهای استفاده شود. در این سیستم‌ها به ورق اجازه داده می‌شود اثر برش به‌طور کامل کمانش کند و میدان کشش قطری ایجاد شود و به‌خاطر چرخه‌های تسلیم کششی، انرژی به‌هدر می‌رود [۲]. در تحقیقاتی که انجام شده به‌وسیله‌ی Jeffrey W Bermana و همکاران درباره‌ی رفتار دوره‌ای و جذب انرژی قاب‌های فولادی دارای سیستم‌های بادبندی و دیوارهای برشی صاف و موج‌دار، مشاهده شد که نمونه‌ی قاب بادبندی شده نسبت به دیگر قاب‌ها بیشترین سختی اولیه و قاب با ورق صاف نیز بیشترین شکل‌پذیری را دارد و شکل‌پذیری قاب با ورق موج‌دار نسبت به قاب با ورق صاف کمتر است. ایشان مشاهده کردند که قاب بادبندی شده بعد از نسبت شکل‌پذیری ۴، دچار خرابی می‌شود در حالی که در قاب با دیوار برشی صاف، قبل از این‌که قابلیت جذب انرژی کاهش یابد مقدار شکل‌پذیری به عدد ۹ می‌رسد [۲].

در تحقیقات آزمایشگاهی که به‌وسیله‌ی S.Tippingl و B. Stojadinovic درباره‌ی استفاده از دیوار برشی فولادی موج‌دار انجام شده است بر استفاده از این سیستم در ساختمان‌های مسکونی ساخته‌شده از ورق‌های فولادی سبک تأکید شده است [۳].

مؤسسه سازه‌های فولادی آمریکا درباره‌ی استفاده از دیوارهای برشی با ورق صاف بر شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی این دیوارها تحت بارگذاری چرخه‌ای غیر الاستیک شبه استاتیکی دینامیکی تأکید دارد [۴].

در صورتی‌که بتوان بدون افزایش قابل ملاحظه در هزینه‌ها، کمانش ورق را به نوعی مهار کرد، تا اندازه‌ای معایب ذکر شده برطرف می‌شود. بنابراین دیوار برشی موج‌دار به عنوان یکی از راه‌حل‌ها مطرح می‌شود و

برای تحلیل غیرخطی از نرم‌افزار (version 6.7) ABAQUS استفاده شده است. این نرم‌افزار قادر به حل مسائل مهندسی با درجات غیرخطی بالا است. در نرم‌افزار دو روش برای تحلیل سازه‌ها وجود دارد:

در تحلیل ABAQUS/Standard از یک روش ضمنی ولی در تحلیل ABAQUS/Explicit از یک روش دینامیکی صریح غیرخطی استفاده می‌شود. تغییر شکل ناگهانی خارج از صفحه ورق فولادی به علت توسعه میدان کشش سبب ایجاد مشکلات هم‌گرایی در آنالیز سیستم‌های SSW می‌شود؛ بنابراین با توجه به عملکرد ضعیف روش ضمنی (implicit method) که در آن از روش‌های تکراری سعی و خطای مختلفی [همانند روش نیوتون رافسون و نیوتون رافسون اصلاح‌شده و الگوریتم ریکس (Riks)] استفاده می‌شود و نیز به علت این‌که این روش‌ها در مجاورت پاسخ‌های ناپایداری شامل ناپایداری موضعی در همگرایی، منجر به شکست می‌شوند، روش صریح دینامیکی (Explicit method) برای آنالیز SSW انتخاب شد. منحنی رفتار مصالح نیز به صورت سه‌خطی سخت‌شونده با مشخصات زیر در نظر گرفته شد [۶،۷]:

$$E=2.1E10 \text{ kg/m}^2 \quad G=8.077E10 \text{ kg/m}^2 \quad E_{II}=1.07E9 \text{ kg/m}^2 \\ E_{II}=37.2E6 \text{ kg/m}^2 \quad \nu=0.3$$

همان‌گونه که در شکل ۱ دیده می‌شود اعضای پیرامونی دیوارهای برشی صاف و موج‌دار از نیم‌رخ I تشکیل شده است تا رفتاری نزدیک به واقعیت داشته باشد. اندازه المان‌ها در این مدل‌سازی به میزان کافی ریز انتخاب شده تا خطای عددی آن به کمترین مقدار برسد. در شکل ۱-ج و ۱-د هندسه مقطع ورق موج‌دار و شکل مش‌بندی شده آن نشان داده شده است.

برای تحلیل بارگذاری دوره‌ای از منحنی بارگذاری دوره‌ای (سیکلی) شکل ۲ استفاده شده است [۸]

است و برای اعضای تیر و ستون، درجات آزادی انتقالی، خارج از صفحه بسته شده است، درگره‌های تراز پایه، همه‌ی درجات آزادی انتقالی، عمود بر صفحه بسته شده است.

همه‌ی مدل‌ها با اعمال تغییر مکان کناری در گرهِ‌های اتصال تیر به ورق فولادی بارگذاری شده است.

برای مشاهده رفتار کامل نمونه‌ها، تغییر مکان اعمال شده بیشتر از حد تغییر مکان هدف در آیین‌نامه FEMA (0.02d) در نظر گرفته شد. پیش‌بینی رفتار مدل‌های مورد نظر بر اساس تحلیل استاتیکی غیرخطی (Pushover) شامل غیرخطی هندسی و مصالح انجام شده است. معیار سنجش تحلیل شبه‌استاتیکی با بررسی انرژی جنبشی سیستم کنترل می‌شود که باید طی تحلیل، مقدار آن ناچیز باشد.

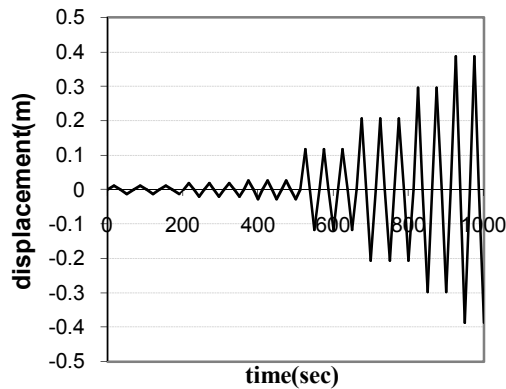
جدول (۱) مشخصات هندسی پانل‌های با ورق موج‌دار

ضخامت ورق فولادی (mm)	ابعاد پانل		مدل
	طول (cm)	ارتفاع (cm)	
3	300	300	C-B3-T3
4	300	300	C-B3-T4
5	300	300	C-B3-T5
3	400	300	C-B4-T3
4	400	300	C-B4-T4
5	400	300	C-B4-T5
3	500	300	C-B5-T3
4	500	300	C-B5-T4
5	500	300	C-B5-T5

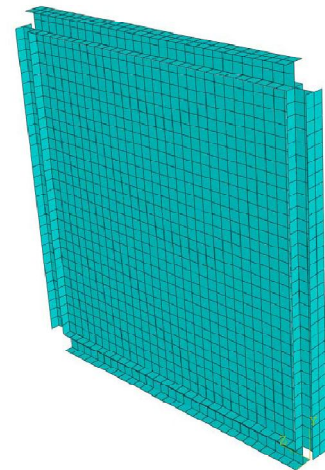
جدول (۲) مشخصات هندسی پانل‌های با ورق صاف

ضخامت ورق فولادی (mm)	ابعاد پانل		مدل
	طول (B) (cm)	ارتفاع (cm)	
3	300	300	F-B3-T3
4	300	300	F-B3-T4
5	300	300	F-B3-T5
3	400	300	F-B4-T3
4	400	300	F-B4-T4
5	400	300	F-B4-T5
3	500	300	F-B5-T3
4	500	300	F-B5-T4
5	500	300	F-B5-T5

لاغری نمونه‌ها در محدوده‌ی ۵۰۰ و ۱۲۵۰ قرار دارد که مناسب است [۵]. نوع تحلیل انجام‌شده غیرخطی هندسی و مصالح است و معیار گسیختگی، Von-mises است.



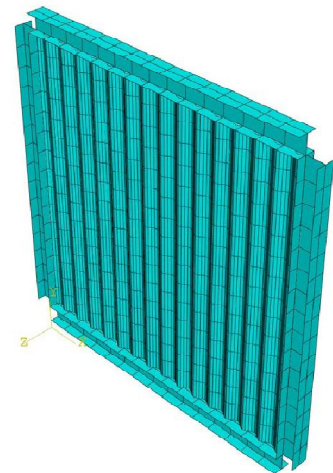
شکل (۲) منحنی بارگذاری دوره‌ای (سیکلی)



(الف)

۳- بررسی تأثیر ضخامت بر رفتار دیوارهای برشی با ورق صاف و موج‌دار

۳ ضخامت ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر برای هر دو نوع ورق در نظر گرفته شده و تأثیر آن در رفتار ورق‌های مربعی و مستطیلی ارزیابی شده است.

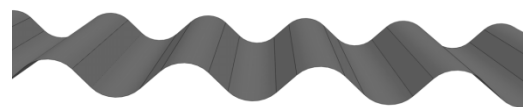


(ب)

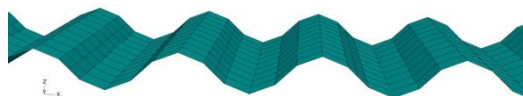
۳-۱- اثر ضخامت در رفتار ورق‌های مربعی در پانل ۳×۳ متر

رفتار ورق صاف با ضخامت‌های ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر که تحت آنالیز pushover قرار گرفته به صورت مقایسه‌ای در شکل ۳ و برای ورق موج‌دار در شکل ۴ نشان داده شده است. کاملاً واضح است که با افزایش ضخامت ورق صاف، نمودار $P-\Delta$ ورق‌ها به صورت پایدار و یکنواختی افزایش می‌یابد. همچنین سختی دیوار افزایش یافته و انرژی جذب‌شده به وسیله دیوار برشی، افزایش محسوس پیدا می‌کند.

طبق شکل ۴، ورق موج‌دار نمودار $P-\Delta$ رفتار کاملاً متفاوتی دارد. میزان بار ورق متناسب با جابه‌جایی افزایش می‌یابد. در یک میزان جابه‌جایی پایین، با وجود بار زیاد در ورق، از ظرفیت باربری ورق به صورت فروجهشی (snap through) کاسته می‌شود و پس از افت قابل توجه در نمودار، که کاهش مقاومت همراه با افزایش جابه‌جایی در



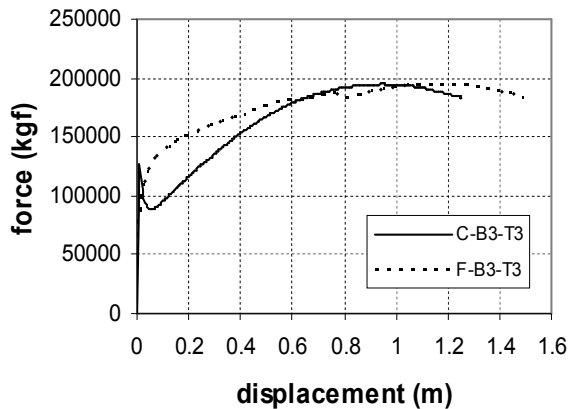
(ج)



(د)

شکل (۱) مدل المان محدود دیوار برشی صاف (الف) و موج‌دار (ب) و مقطع هندسی ورق موج‌دار (ج) و مدل المان‌بندی شده ورق موج‌دار (د)

ضخامت ۳ میلی متر انجام شده است. با بررسی نمودارها معلوم می شود که در جابه جایی های پایین، ورق موج دار مقاومت بالاتری دارد ولی این مقاومت بالا تداوم نمی یابد و در یک جابه جایی خاص کم، به طور آنی از مقاومت و ظرفیت باربری ورق موج دار کاسته شده و به زیر حد مقاومت ورق صاف می رسد.



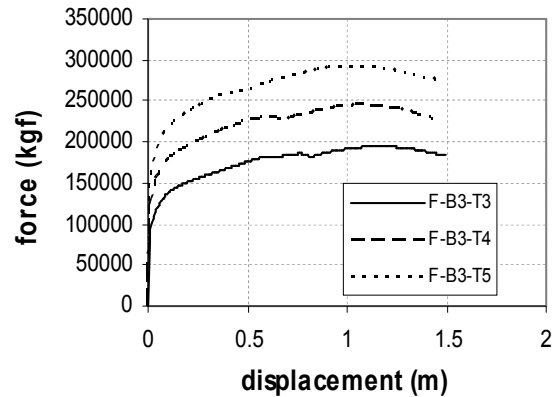
شکل (۵) مقایسه ی منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج دار و صاف با ضخامت ۳ میلی متر

با افزایش تغییر مکان، مقاومت ورق موج دار افزایش یافته و در جابه جایی حدود ۵۰ سانتی متر با ورق صاف یکسان می شود که گویای نوعی کماتش فروجهشی در این ورق هاست. پس می توان نتیجه گرفت که رفتار ورق صاف پایدارتر از رفتار ورق موج دار است و جذب انرژی آن در مقادیر جابه جایی (تا حدود ۵۰ سانتی متر) بیشتر از ورق موج دار خواهد بود. ورق موج دار سریع تر از ورق صاف به مقادیر نهایی بار خود می رسد و مقدار آن نیز از ورق صاف بیشتر است.

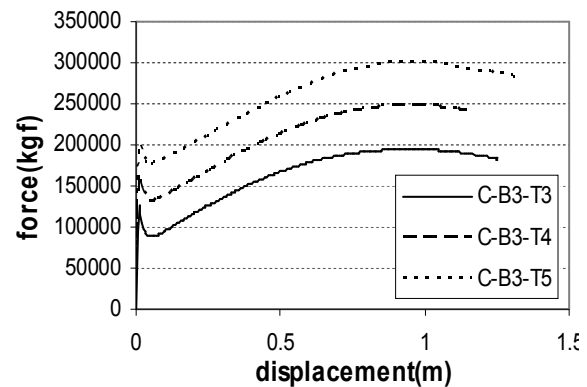
۳-۲- تأثیر تغییر ضخامت بر رفتار ورق های صاف و موج دار در پانل مستطیلی ۴×۳ متر

شکل ۶ مقایسه ای بین ورق های صاف با ضخامت های مختلف تحت تحلیل push-over را نشان می دهد. مشاهده

ورق موج دار است دوباره با افزایش تغییر مکان، مقاومت خود را باز می یابد؛ به طوری که در تغییر شکل های بزرگ، میزان بار تحمل شده در ورق از مقدار بار کماتشی بسیار فراتر رفته است. در نتیجه ورق موج دار نسبت به ورق صاف رفتاری کاملاً متفاوت دارد.



شکل (۳) منحنی نیرو-تغییر مکان ورق صاف در ضخامت های مختلف

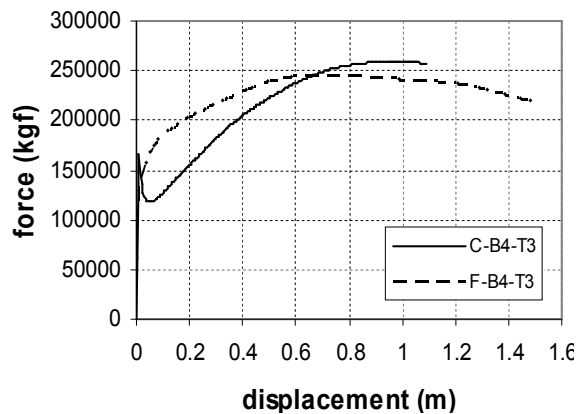


شکل (۴) منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج دار در ضخامت های مختلف

با بررسی شکل های ۳ و ۴ می توان دریافت که با افزایش ضخامت در هر دو نوع ورق، میزان بار کماتش، بار نهایی و جذب انرژی افزایش می یابد. به خاطر ایجاد پدیده فروجهش در ورق موج دار، مقدار بار کماتش مشخصی به دست می آید اما چنین نقطه ی مشخصی در رفتار ورق صاف مشاهده نمی شود.

در شکل ۵ مقایسه ای بین رفتار ورق صاف و موج دار با

ولی این افزایش مقاومت ثابت نیست و در یک جابه‌جایی خاص و پایین، بلافاصله مقاومت ورق موج‌دار کاهش یافته و به زیر نمودار ورق صاف می‌افتد، سپس با شیب نسبتاً زیادی افزایش یافته و در جابه‌جایی حدود ۸ سانتی‌متر بار نهایی بیشتری نسبت به ورق صاف خواهد داشت. واضح است که جذب انرژی ورق صاف در مقادیر جابه‌جایی حدود ۵۰ سانتی‌متر بیشتر از ورق موج‌دار است و تا یک حد جابه‌جایی بسیار کم در دیوار، سختی ورق موج‌دار بیشتر از ورق صاف و بار نهایی کلی ورق موج‌دار نیز بیشتر از ورق صاف است.



شکل (۸) مقایسه‌ی منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار و صاف با ضخامت ۳ میلی‌متر

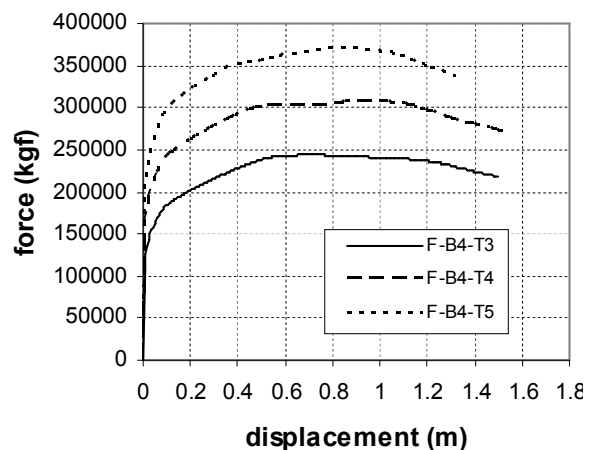
۳-۳- تأثیر تغییر ضخامت در رفتار ورق‌های صاف و موج‌دار در پانل مستطیلی ۳×۵ متر

با وجود شباهت‌هایی در رفتار این نوع ورق‌ها با ورق‌های بحث‌شده باید اضافه کرد که در هر ۳ ضخامت این ورق‌ها، بار نهایی ورق موج‌دار خیلی بیشتر از ورق صاف است که این رفتار ناشی از تأثیر افزایش لاغری ورق‌ها (b/t) در اثر افزایش طول پانل است.

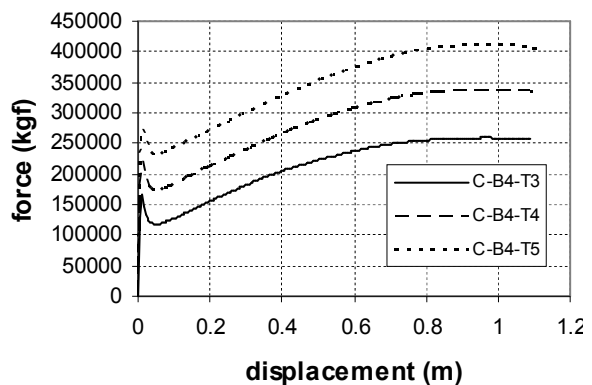
شکل‌های ۹ تا ۱۱ رفتار مربوط به پانل ۳×۵ متر را نشان می‌دهند.

می‌شود که با افزایش ضخامت، بارهای تسلیم و نهایی و جذب انرژی و سختی دیوار، افزایش می‌یابد.

در شکل ۷ رفتار ورق‌های موج‌دار با ضخامت‌های ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر در پانل ۳×۴ متر مقایسه شده است. همانند قبل با افزایش ضخامت، میزان بار حد تناسب و بار نهایی ورق موج‌دار افزایش می‌یابد و به تناسب آن سختی دیوار و جذب انرژی ورق نیز افزایش پیدا می‌کند.



شکل (۶) منحنی نیرو-تغییر مکان ورق صاف در ضخامت‌های مختلف

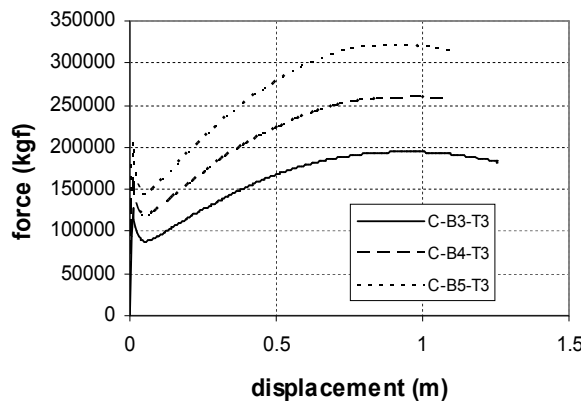


شکل (۷) منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار در ضخامت‌های مختلف

شکل ۸ مقایسه‌ای از رفتار ورق مستطیلی صاف و موج‌دار با ضخامت ۳ میلی‌متر را نشان می‌دهد. مشخص است که به ازای مقادیر پایین و یکسان جابه‌جایی در، ورق موج‌دار بار بیشتری را تحمل می‌کند؛

۴- بررسی تأثیر ابعاد پانل در رفتار ورق موج‌دار و مقایسه آن با ورق صاف

شکل ۱۲ رفتار ورق موج‌دار با ضخامت ۳ میلی‌متر را در پانل‌های با طول ۳، ۴ و ۵ متر نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای هر ۳ ورق در جابه‌جایی‌های پایین، میزان اختلاف در نمودارهای P-Δ کمتر بوده و در جابه‌جایی حدود ۱۰ سانتی‌متر به کمترین میزان می‌رسد و با افزایش جابه‌جایی میزان اختلاف در مقادیر نمودارها افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش طول پانل به دلیل افزایش سختی، ورق نیروی بیشتری را تحمل می‌کند.

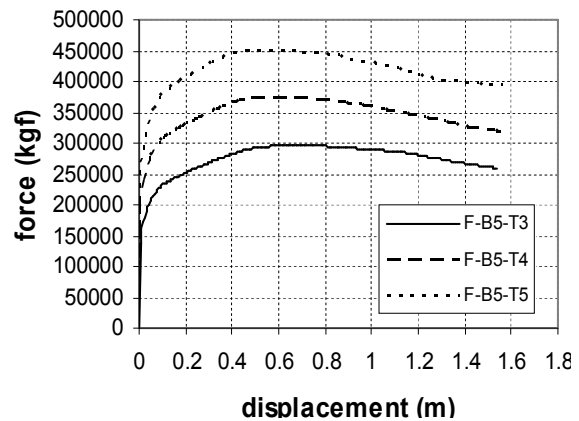


شکل (۱۲) منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار ۳ میلی‌متری در پانل‌های مختلف

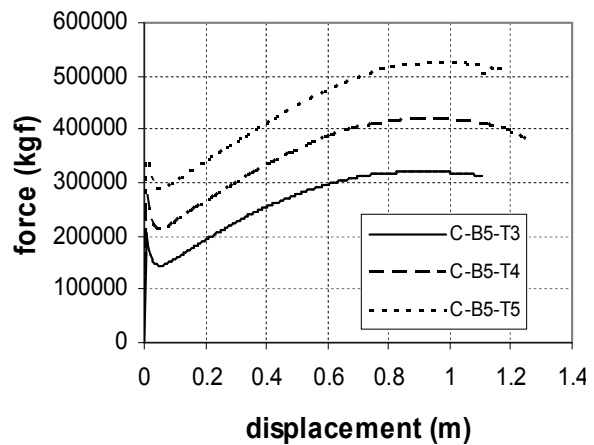
شکل ۱۳ رفتار ورق موج‌دار با ضخامت ثابت ۴ میلی‌متر را در پانل‌های به طول ۳، ۴ و ۵ متر نشان می‌دهد که همانند حالت قبلی است.

با مقایسه شکل‌های ۱۲ و ۱۳ معلوم می‌شود که در ضخامت ۴ میلی‌متر نسبت به ضخامت ۳ میلی‌متر اختلاف نمودارها کمتر شده و رفتار ورق‌ها یکنواخت‌تر می‌شود.

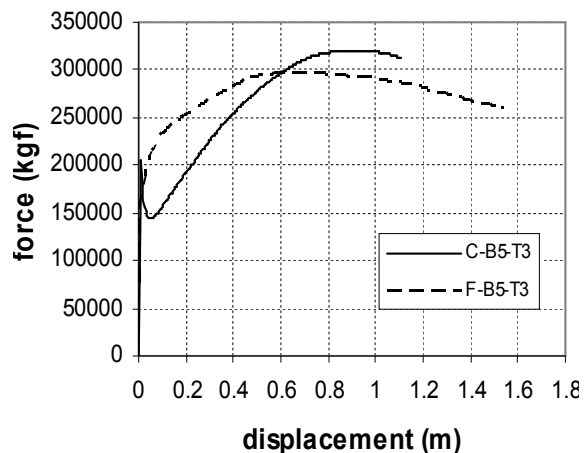
شکل ۱۴ نیز تأثیر تغییر طول پانل بر رفتار ورق‌ها با ضخامت یکسان را برای ورق صاف و موج‌دار با هم مقایسه می‌کند. مشخص است که به ازای ضخامت یکسان،



شکل (۹) مقایسه‌ی منحنی نیرو-تغییر مکان ورق صاف در ضخامت‌های مختلف



شکل (۱۰) مقایسه‌ی منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار در ضخامت‌های مختلف

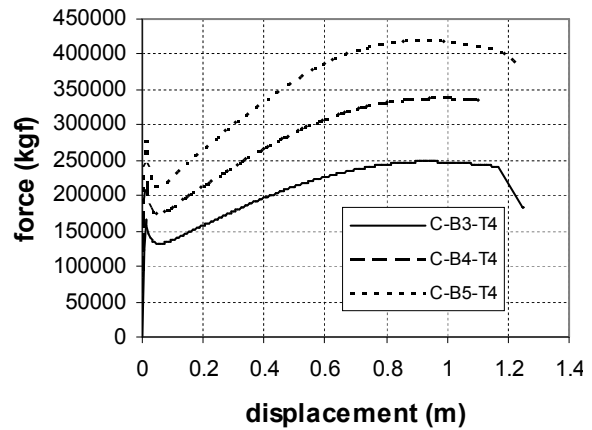


شکل (۱۱) مقایسه‌ی منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار و صاف با ضخامت ۴ میلی‌متر

هر قدر ابعاد پانل کوچک‌تر شود رفتار ورق‌های صاف و موج‌دار به هم نزدیک‌تر شده و میزان پایین‌افتادگی در جابه‌جایی‌های بسیار کم در ورق موج‌دار نیز کاهش می‌یابد.

ایجاد کمناش در ورق، مقاومت آن افت می‌کند مقایسه‌ی نتایج تحلیلی با نتایج مطالعات آزمایشگاهی انجام شده به وسیله‌ی Berman و Bruneau در دانشگاه بوفالو که روی نمونه‌های دیوار برشی با ورق صاف و موج‌دار انجام شده نشان می‌دهد نتایج تحلیل نمونه‌های بررسی شده در این مقاله با نتایج آنان مطابقت دارد [۹].

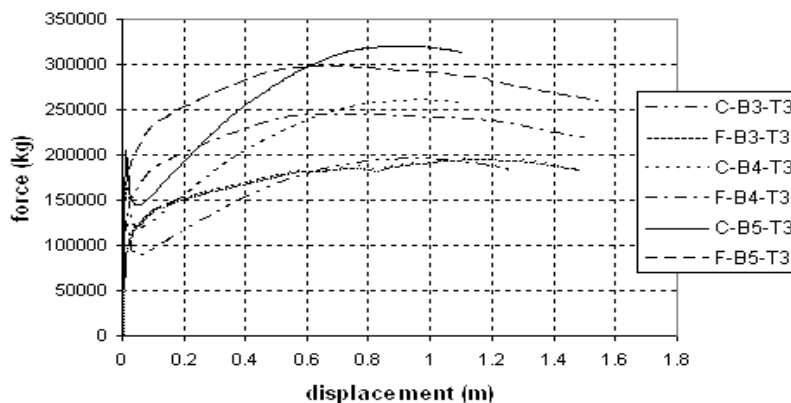
شکل ۱۷ نمودار تغییر مکان- دوران المان دچار فروریختگی را نشان می‌دهد. مقدار موجود بیشتر از مقدار مجاز در آیین نامه ساختمان‌های فولادی کانادا است. از طرف دیگر نمودار دوره‌ای به دست آمده در مرجع [۹] که برای ورق صاف با نمودار تحلیلی به دست آمده با نتایج حاصل در این تحقیق از نظر رفتاری مشابه است و در هر دو مورد، حلقه‌های پر که نشانگر جذب انرژی بالاست مشاهده می‌شود. در جدول ۲ رفتار دوره‌ای نمونه‌های بررسی شده آمده است. با بررسی مقادیر به دست آمده برای ضریب شکل‌پذیری μ با کار آزمایشگاهی مرجع [۹]، مشاهده می‌شود که مقدار ضریب شکل‌پذیری μ برای نمونه‌های دارای ورق صاف بیشتر از نمونه‌های دارای ورق موج‌دار است. همین نتیجه در این مقاله به دست آمده است؛ افزون به این که این پژوهش معلوم شد که با افزایش ضخامت ورق، در بیشتر نمونه‌ها ضریب شکل‌پذیری، کاهش و مقدار اتلاف انرژی افزایش پیدا می‌کند.



شکل (۱۳) منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار ۴ میلی‌متری در پانل‌های مختلف

۵- بررسی رفتار دوره‌ای دیوار برشی صاف و موج‌دار

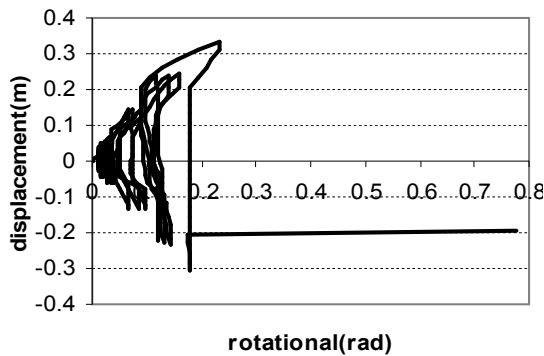
در این قسمت رفتار دوره‌ای نمونه‌های دیوار برشی در دو حالت صاف و موج‌دار در شکل‌های ۱۵ تا ۱۶ بررسی می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود رفتار دوره‌ای دیوار برشی موج‌دار نسبت به دیوار برشی صاف در ابتدای بارگذاری سختی و مقاومت بالایی دارد ولی به محض



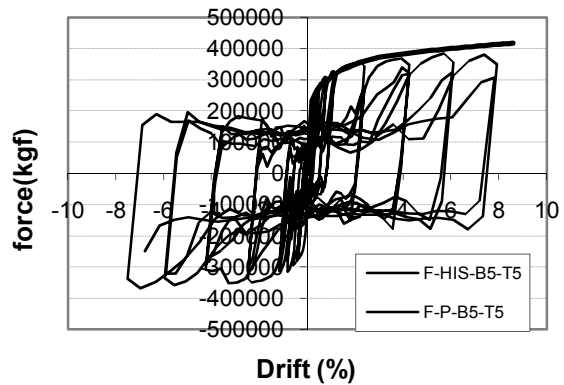
شکل (۱۴) مقایسه‌ی منحنی نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار و صاف با ضخامت ۳ میلی‌متر در پانل‌های مختلف

جدول (۳) رفتار دوره‌ای نمونه‌های بررسی شده

نمونه	تغییر مکان تسلیم $\Delta(\text{cm}) y$	تغییر مکان نهایی $\Delta(\text{cm}) u$	بیشینه دریفت Drift (%)	شکل پذیری μ	انرژی کل تلف شده Kgf.m
C-H-B3-T3	0.695	6.65	2.2	9.56	155821
C-H-B3-T4	0.6957	6.5	2.16	9.34	178618
C-H-B3-T5	0.6957	6.14	2.04	8.82	271883
C-H-B4-T3	0.62	8.1	2.7	13.06	46424
C-H-B4-T4	0.626	7.86	2.62	12.5	108622
C-H-B4-T5	0.6267	7.43	2.47	11.85	232806
C-H-B5-T3	0.6268	8.55	2.85	13.64	74930.7
C-H-B5-T4	0.6267	8.32	2.77	13.27	116328
C-H-B5-T5	0.6267	7.89	2.63	12.58	198860
F-H-B3-T3	0.417	7.5	5	17.98561	228935
F-H-B3-T4	0.557	5.05	3.36	9.066427	306251
F-H-B3-T5	0.48	5.45	3.63	11.35417	359522
F-H-B4-T3	0.417	10	6.66	23.98082	322848
F-H-B4-T4	0.417	7.9	5.26	18.94484	380613
F-H-B4-T5	0.4178	9.25	6.16	22.13978	469841
F-H-B5-T3	0.347	6.225	4.15	17.93948	401336
F-H-B5-T4	0.487	9	6	18.48049	530572
F-H-B5-T5	0.4178	8.8	5.86	21.06271	633504



شکل (۱۷) تغییر مکان - دوران یکی از المان‌هایی که دچار فروریختگی شده است (b3-t3)



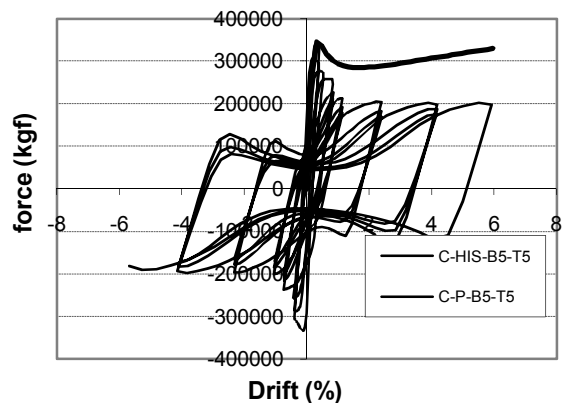
شکل (۱۵) منحنی دوره‌ای نیرو-تغییر مکان ورق صاف با ضخامت ۵ میلی‌متر B5

۶- نتیجه‌گیری

با مقایسه رفتار ورق‌های صاف و موج‌دار در دیوار برشی فولادی با ابعاد و ضخامت‌های مختلف، مشخص شد که:

(۱) در لاغری‌های زیاد، ورق موج‌دار رفتار ناپایدار و غیرقابل پیش‌بینی دارد و در جابه‌جایی‌های کم، یک وضعیت فروجهش در نمودار $P-\Delta$ اتفاق می‌افتد که رفتار آن را از رفتار ورق صاف متمایز می‌کند.

(۲) در جابه‌جایی‌های کم، یک ورق موج‌دار بار بیشتری نسبت به ورق صاف تحمل می‌کند ولی این رفتار همیشگی



شکل (۱۶) منحنی دوره‌ای نیرو-تغییر مکان ورق موج‌دار با ضخامت ۵ میلی‌متر B5

استفاده از دیوار برشی با ورق صاف توصیه می‌شود. (۸) با وجود این که در نمودار بارگذاری دوره‌ای در همه نمونه‌ها، پدیده پینچنگ ظاهر می‌شود ولی رفتار آن‌ها پایدار است و جذب انرژی قابل توجهی مشاهده می‌شود.

۸- منابع

- [1] Astaneh-Asl, A., (2001) "Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls". EAONC Seminar, November 2001, San Francisco.
- [2] Jeffrey W. Berman, Oguz C. Celika, Michel Brunea "Comparing hysteretic behavior of light-gauge steel plate shear walls and braced frames". *Engineering Structures* 27 (2005) 475–485.
- [3] S. Tipping¹ and B. Stojadinovic "INNOVATIVE CORRUGATED STEEL SHEAR WALLS FOR MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDINGS". The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- [۴] مؤسسه سازه‌های فولادی آمریکا؛ ملاحظات ویژه‌ی طراحی لرزه‌های سازه‌های فولادی طبق AISC 2005؛ مترجم: مجتبی اصل حمدالله‌نیا؛ تهران، علم عمران، ۱۳۸۶، ۲۴۷.
- [5] Euro code 3 (2003), Design of Steel Structures, Part 1.5: Plated Structural elements, European Committee for Standardization.
- [6] Hibbit, Karlsson, & Sorenson, Inc., (HKS), 2007b. ABAQUS/Explicit User's Manual. Version 6.7, Hibbit, Karlsson, & Sorenson Inc., Pawtucket, Rhode Island.
- [7] Hibbit, Karlsson, & Sorenson, Inc., (HKS), 2007a. ABAQUS/Standard Theory Manual. Version 6.7, Hibbit, Karlsson, & Sorenson Inc., Pawtucket, Rhode Island.
- [8] Ricky W.K. Chana, b, Faris Albermania "Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation". *Engineering Structures* 30 (2008) 1058–1066.
- [9] Berman, J. W., and Bruneau, M. (2005). "Experimental Investigation of Light- Gauge Steel Plate Shear Walls." *J. Struct. Eng.*, 131(02), 259–267.

نیست و بعد از افزایش کمی در جابه‌جایی، مقاومت ورق موج‌دار به‌طور آنی کاهش می‌یابد.

(۳) مقدار فروجهش در نمودار P-Δ ورق موج‌دار در لاغری‌های بالا، بیشتر است ولی با کاهش لاغری، این پدیده کاهش می‌یابد و رفتاری یکنواخت‌تر نشان می‌دهد.

شیب نمودار P-Δ ورق موج‌دار در جابه‌جایی‌های بالاتر با آهنگ ملایم‌تری افزایش می‌یابد و به سمت ورق صاف نظیر خود میل می‌کند. در این حالت فروجهش آن در جابه‌جایی‌های پایین، کمتر شده و جذب انرژی آن نواحی افزایش می‌یابد.

(۴) در یک ضخامت ثابت برای ورق موج‌دار، با افزایش لاغری، میزان فروجهش افزایش یافته و رفتار آن غیریکنواخت‌تر می‌شود.

(۵) در یک ضخامت کم و ثابت ورق، بار نهایی ورق موج‌دار بیشتر از ورق صاف است ولی با کاهش لاغری ورق (b/t) مقدار بار نهایی این ورق به سمت مقدار بار نهایی ورق صاف با ابعاد مشابه میل می‌کند.

(۶) در ورق موج‌دار با لاغری زیاد، جذب انرژی ورق تا جابه‌جایی نسبت به ورق صاف حدود ۳۰ سانتی‌متر کمتر است ولی با کاهش لاغری در هر دو ورق، به‌طور مشابه، جذب انرژی در ورق موج‌دار افزایش یافته و به میزان جذب انرژی ورق صاف نزدیک می‌شود.

(۷) دیوار برشی با ورق موج‌دار نسبت به ورق صاف در ابتدای بارگذاری دوره‌ای، مقدار جذب انرژی بیشتری دارد، ولی با افزایش تغییر مکان، میزان جذب انرژی دیوار برشی با ورق موج‌دار، کمتر از دیوار برشی با ورق صاف می‌شود بنابراین در تغییر مکان‌های کم، دیوار برشی با ورق موج‌دار بهتر از دیوار برشی با ورق صاف رفتار می‌کند؛ پس مناطقی که کمتر زلزله خیز است استفاده از دیوار برشی با ورق موج‌دار بر استفاده از دیوار برشی با ورق صاف ارجحیت دارد؛ ولی در مناطق زلزله‌خیز که احتمال تغییر مکان‌های بالا بیشتر است

«Research Note»

Compared to Non-Linear Behavior of Flat and Corrugated Sheet Steel Shear Walls

S. YousefiKhatoni^{1*}, H. Shokati², M. ShaikhBagloo³

1-Technical College Shahid Ghazi Tabatabaei Urmia, Urmia, Iran

2- Associate Professor Department of Civil Eng, Faculty of Eng, University of Urmia , Urmia, Iran

3- Civil Engineering Graduate Student at the University of Urmia, Urmia, Iran

siros_49@yahoo.com

Abstract:

Steel shear walls has been noticed against wind and earthquake lateral loads about high buildings in the last three decades. This modern phenomenon is growing rapidly worldwide so that system have been employed highly in construction of new buildings and seismic upgrading of existing buildings in some countries such as USA and JAPAN. That is a very simple system from viewpoint of implementing and there isn't particular complexity. High strength and ductility are main advantages of these systems. Current paper has investigated comparatively behavior of steel shear walls made of smooth and corrugated sheets. Also the paper has assessed push-over curves and cyclic binding. According to this result of the research, corrugated steel shear walls have lower ductility than smooth shear walls. The research also founded that despite the high strength of corrugated sheets in low displacement, behavior of flat shear walls is more stable than corrugated shear walls. On the other hand flat steel shear walls attract energy more than corrugated shear walls. Therefore using of flat shear walls is recommended in high seismic regions.

In this research, 18 samples of flat steel shear walls and corrugated shear walls were modulated. In all models, panels height were 3 m and panels span were 3, 4 and 5 m. the thickness of sheets in the samples were 3, 4 and 5mm.

According to results of the research:

- 1- Corrugated sheets are unstable and unpredictable in high thinness. In the low displacements occurs a mutation state, so it distinguishes the corrugated and flat shear walls behavior.
- 2- At low displacement, a corrugated sheet bears greater load than a flat sheet.
- 3- In a constant thickness for thinner corrugated sheets is increased the mutation rate and its behavior becomes more non-uniform.
- 4- Despite of the fact, pynchyng phenomenon appears in all samples, but all samples behavior is stable and significant energy attraction is observed.

Keywords: Corrugated steel shear walls, Finite element method, Ductility, Push over curve, Cycliccurve