



کد مقاله: ۱-۱۵۴

بررسی کمانش برشی دیوارهای برشی فولادی جدار نازک با ورق‌های صاف و موجدار

محمد زمان کبیر^۱، علی کرباسی^۲

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mzkabir@aut.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

برای مقاومت در برابر بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله، تاکنون سیستم‌های سازه‌ای مختلفی به کار رفته است که از آن جمله میتوان به سیستم قاب خمشی، انواع سیستم‌های مهاربندی و دیوار برشی بتنی اشاره نمود. دیوارهای برشی فولادی که به دو صورت نازک و تقویت شده کاربرد دارند یک سیستم نسبتاً جدید برای مقاومت در برابر بارهای جانبی باد و زلزله میباشد و مطالعات آزمایشگاهی و عددی که در سه دهه اخیر انجام شده است نشان میدهد که دیوارهای برشی فولادی جدار نازک یک سامانه مهاربندی جانبی اقتصادی و موثر در مقابل نیروهای جانبی باد و زلزله میباشد. استفاده از مقاطع و ورق‌های موجدار سرد نورد شده نیز اخیراً به عنوان ابزار مناسبی برای مقابله با نیروهای جانبی در حال تحقیق و بررسی میباشد. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS مدل‌های مختلف دیوار برشی فولادی جدار نازک سرد نورد شده با استفاده از ورق‌های صاف (تخت) و ورق‌های موجدار در برابر نیروهای برشی و فشاری تحت شرایط مرزی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و همچنین بار بحرانی ورق‌ها در مدهای مختلف کمانش از نتایج تحلیل حاصل از نرم افزار استخراج و با نتایج حاصل از فرمول‌های کمانش ورق‌ها صحت سنجی و مقایسه گردیده است که بدین ترتیب و در نهایت عملکرد ورق‌های موجدار با راستای موج افقی و شیبدار با در نظر گرفتن اتصال به المان‌های مرزی (تیرها و ستونهای پیرامونی) مورد مطالعه قرار گرفته است و بهترین راستای بهینه موج ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: دیوار برشی فولادی جدار نازک، ورق‌های صاف و موجدار سرد نورد شده، کمانش برشی، بار بحرانی

۱- مقدمه

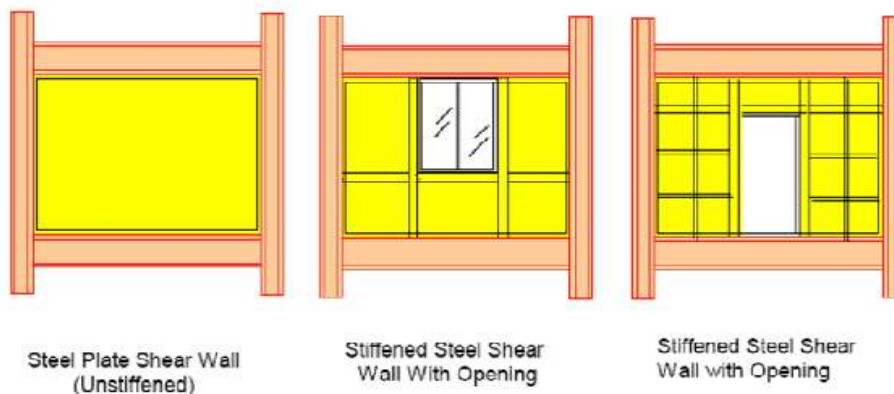
امروزه همگام با رشد صنعت ساختمان سازی در دنیا، کیفیت و سرعت ساخت و ساز بشدت مورد توجه و در حال توسعه میباشد. از اینرو سازه‌های با دیوار فولادی سرد نورد شده به عنوان یکی از تولیدات نوین صنعت ساخت و ساز پا به عرصه ساخت و ساز گذارده و خود را به عنوان رقیبی جدی برای سازه‌های کم مرتبه سنتی فولادی و بتنی معرفی کرده است. این سازه‌ها از سال ۱۹۶۶ از کشور ایالات متحده آمریکا خود را به صنعت ساختمان معرفی نموده اند [۱].

برای مقاومت در برابر بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله، تاکنون سیستمهای سازه ای مختلفی پیشنهاد شده و بکار رفته است که از آن جمله می توان به سیستم قاب خمشی، انواع سیستمهای مهاربندی و دیوار برشی بتنی اشاره نمود. مهندسین و محققین همیشه در پی یافتن سیستم سازه ای ایده آل برای مقاومت در برابر بارهای جانبی باد و زلزله میباشند آنچنانکه در کنار مقاومت و سختی بالا، شکل پذیری زیادی نیز داشته باشند تا اثر تخریبی نیروهای وارده را با جذب انرژی تعدیل کرده و به حداقل برسانند. لذا دیوار برشی فولادی که دارای مزایای نسبی در هر سه زمینه فوق میباشد برای مقابله با نیروهای جانبی زلزله و باد در ساختمانها، به ویژه در ساختمانهای بلند در سه دهه اخیر مطرح و مورد توجه قرار گرفته است [۲].

این پدیده جدید در جهان به سرعت روبه گسترش بوده و نه تنها در ساخت ساختمانهای جدید کاربرد فراوانی داشته است، بلکه از این پدیده در تقویت ساختمانهای ساخته شده از قبل نیز به کار رفته است. مطالعات نشان داده است که استفاده از دیوار برشی فولادی در قابهای فولادی در مقایسه با قابهای فولادی ممان گیر تا درصد زیادی از مصرف فولاد صرفه جویی شده و وزن سازه تا حد قابل توجهی کاهش یافته که این امر می تواند گزینه بسیار خوبی برای مهار سازه در برابر زلزله باشد. ضوابط طرح و اجرای دیوار برشی فولادی جدار نازک نیز در برخی آئین نامه ها، مثل آئین نامه فولاد کانادا وارد شده است.

اما با این حال استفاده از دیوار برشی فولادی تقویت شده و تقویت نشده دارای معایبی می باشد. به عنوان مثال دیوار برشی فولادی تقویت نشده در هنگام باربری، قبل از جاری شدن دچار کماتش برون صفحه ای شده و همچنین حمل و نصب آن به علت کمی سختی برون صفحه ای با مشکل همراه است و از طرفی با وجود اینکه دیوار برشی تقویت شده نسبت به دیوار برشی تقویت نشده اندکی بهتر عمل می کند، ولی به دلیل تنش های پس ماند ناشی از جوشکاری سخت کننده ها و با جزئیات اجرای بیشتر نیاز به وقت و هزینه زیاد می باشد. بنابراین برای کاهش معایب مربوط به هر دو نوع دیوار برشی تقویت شده و تقویت نشده و همچنین با توجه به تحقیقات انجام شده بر روی تیر ورق های موج دار و رفتار مناسب لرزه ای آنها، مناسبترین گزینه استفاده از ورق فولادی موج دار خواهد بود [۳].

با توجه به مقاومت بالای ورق فولادی، با بهره گیری از مقاومت پس کماتشی آن، ضخامت ورق حتی در دیوارهای برشی فولادی بلند و برای نیروهای برشی بزرگ، کم و یا به عبارت دیگر ورق فولادی نازک می باشد [۴].



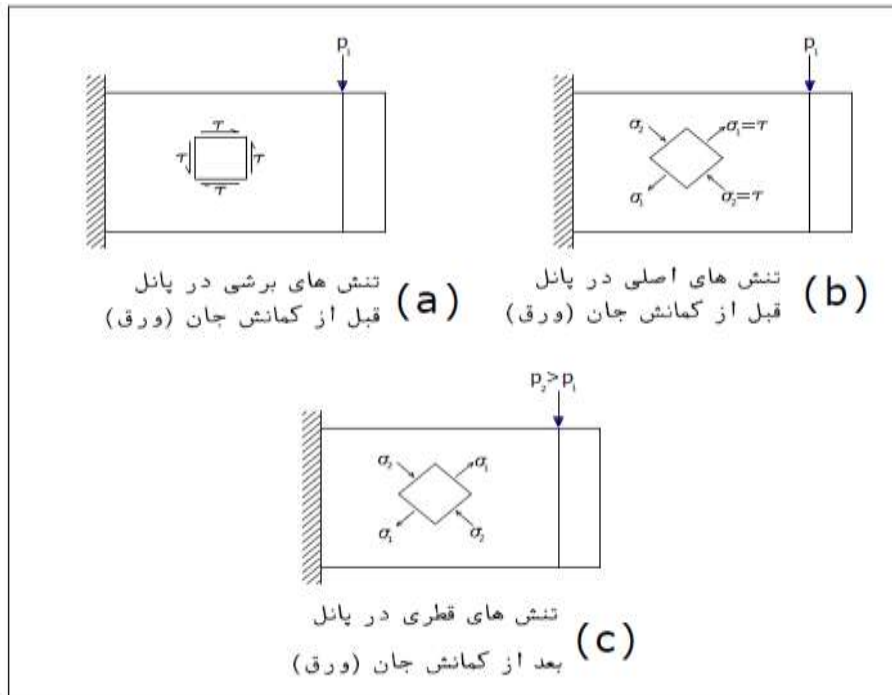
شکل ۱: به ترتیب از سمت چپ: قاب با دیوار برشی فاقد سخت کننده، قاب با دیوار برشی دارای بازشوی پنجره و به همراه سخت کننده، قاب با دیوار برشی دارای بازشوی درب به همراه سخت کننده

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌های این پژوهش، دیوار با ورق موجدار می‌تواند با مقاومت قابل قبولی که از خود در مقابل کماتش نشان می‌دهد، عملکرد بهتری نسبت به دیواری برشی با ورق ساده داشته باشد، دیوار برشی موجدار با توجه به اینکه پس از کماتش تغییر شکل برون صفحه ای کمتری نسبت به دیوار برشی ساده خواهد داشت می‌تواند جایگزین خوبی برای دیوار برشی ساده باشد.

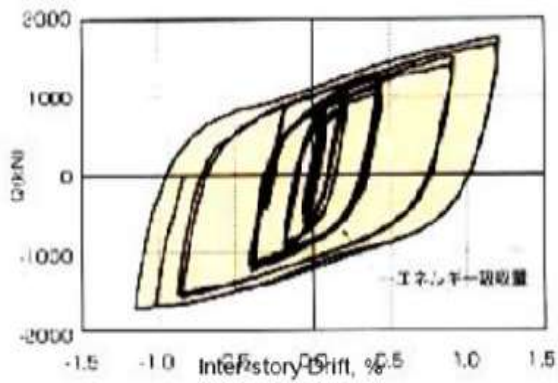
۲- بررسی چگونگی عملکرد دیوار برشی فولادی در قاب

اساس ایده دیوارهای برشی فولادی که در ۱۵ سال اخیر بطور جدی مورد توجه قرار گرفته است بهره گیری از میدان کشش قطری است که پس از کماتش ورق فولادی در آن ایجاد می‌گردد. در فاصله سالهای محدود قبل از آن، دیوارهای برشی فولادی با تقویت سنگین ورق فولادی برای جلوگیری از کماتش آن در تعداد محدودی ساختمان با ایده از صنایع کشتی سازی استفاده گردیده است.

همانطور که در شکل (۲) که یک پانل برشی را نشان می‌دهد، مشاهده می‌گردد، ورق فولادی جان تا قبل از کماتش تحت اثر برش خالص T می‌باشد که تنش‌های اصلی مربوط به آن در قسمت **b** شکل (۲) نشان داده شده است. در صورتیکه نیروی $P1$ افزایش یافته به صورتیکه تنش فشاری $\sigma 2$ در جان (قسمت **c** شکل ۲) از تنش بحرانی ورق فولادی بیشتر شود، ورق کماتش نموده، و همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد صفحه جان بصورت چروکیده در خواهد آمد طبیعتاً ورق فولادی در جهت تنش فشاری افزایش تنش رانمی‌تواند تحمل نماید ولی در جهت دیگر، جهت $\sigma 1$ که ورق تحت اثر تنش‌های کششی قرار دارد، تنش‌های مذکور می‌تواند تا جاری شدن ورق فولادی افزایش یافته و در نتیجه پانل نیروهای قابل توجهی را تحمل نماید. پدیده مذکور، پس کماتش در ورق فولادی نامیده میشود، این پدیده در تیر ورق‌ها بسیار مشهور بوده و کارهای مطالعاتی و تحقیقاتی وسیعی در رابطه با آن انجام گرفته است.



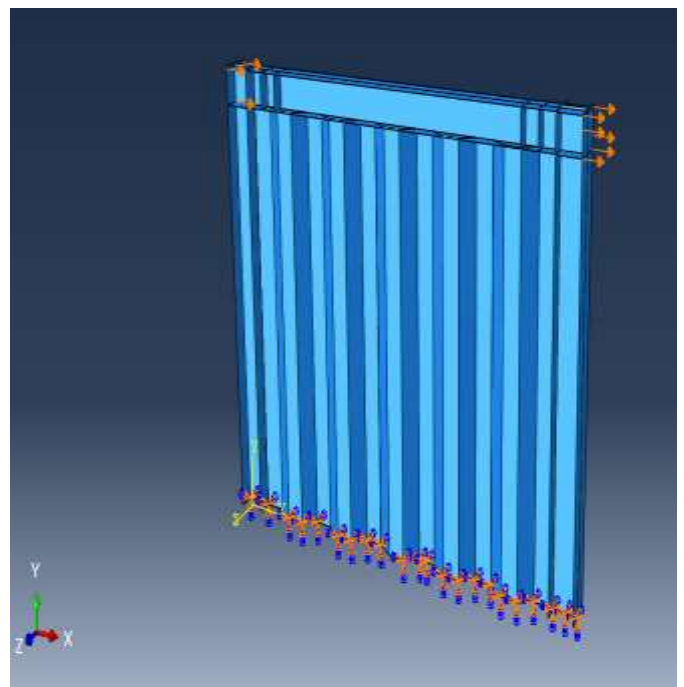
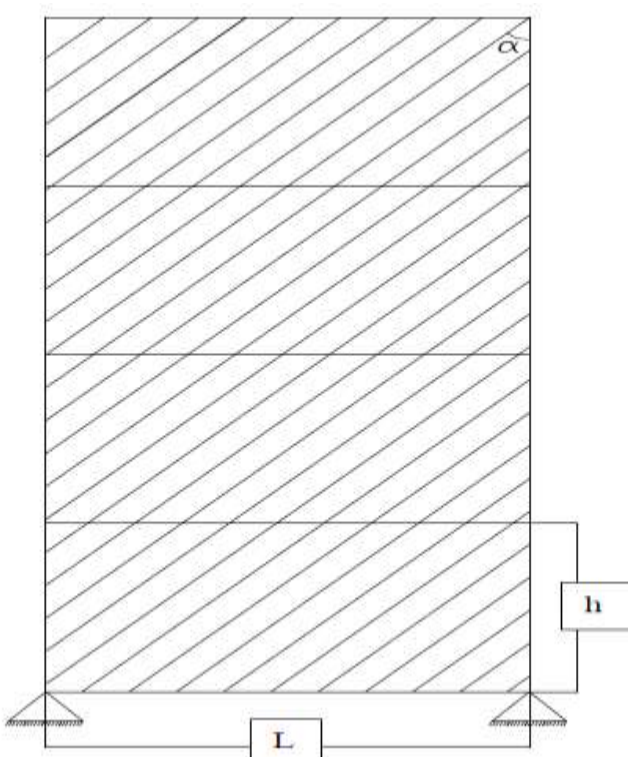
شکل ۲: نحوه شکل گیری میدان کشش قطری در جان (ورق فولادی)



شکل ۳: چروکیدگی جان و منحنی هیستریزس آن (پانل پس از کمانش جان)

۳- معرفی مدل‌های مورد مطالعه

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود آباکوس دو نوع مختلف قاب دارای دیوار برشی فولادی جدار نازک سرد نورد شده با استفاده از ورق های صاف (تخت) و ورق های موجدار در برابر نیروهای برشی و فشاری تحت شرایط مرزی ساده و گیردار مورد تحلیل قرار گرفته است و همچنین بار بحرانی ورق ها در مدهای مختلف کمانش از نتایج تحلیل حاصل از نرم افزار استخراج و با نتایج حاصل از فرمول های کمانش ورق ها صحت سنجی گردیده است که بدین ترتیب در نهایت عملکرد ورق های موجدار با راستای موج افقی و شیبدار با در نظر گرفتن اتصال به المان های مرزی (تیرها و ستونهای قاب پیرامونی) مورد مطالعه قرار گرفته است و بهترین راستای بهینه موج ارائه شده است.

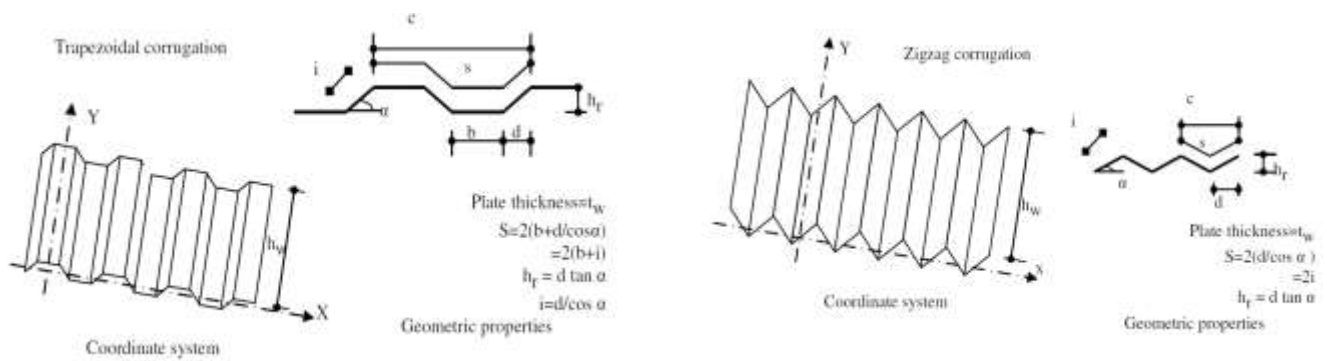


شکل ۴: قاب مدل شده برای یک دیوار برشی فولادی در آباکوس و نمایش راستای موج شماتیک آن

۴- مدل‌سازی و بررسی های عددی و تحلیلی

همانطور که گفته شد برای بررسی عملکرد دیوار برشی در قابهای دارای دیوار برشی فلزی، لازم است از آنالیز استاتیکی جهت بررسی عملکرد آنها استفاده شود. به همین منظور مدل‌های متفاوتی با جزئیات گوناگون در نظر گرفته شده است. در این راستا تئوری های تحلیلی استاتیکی با بهره گیری از منابع موجود مطالعه گردید. همچنین با بررسی های اجمالی روی نرم افزارهای متفاوت موجود در زمینه تحلیل غیر خطی، نرم افزار آباکوس، نرم افزاری مناسب برای این کار، تشخیص داده شد.

برای تایید مدل‌سازی با نرم افزار فرمولهای مورد نظر جهت صحت سنجی کار عددی در این قسمت ارائه میگردد:



شکل ۵: ورق موجدار زیگزاگی و دوزنقه ای و پارامترهای مورد اندازه گیری

$$\tau_{cr,l} = Ks \frac{\Pi^2 E}{(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad (1)$$

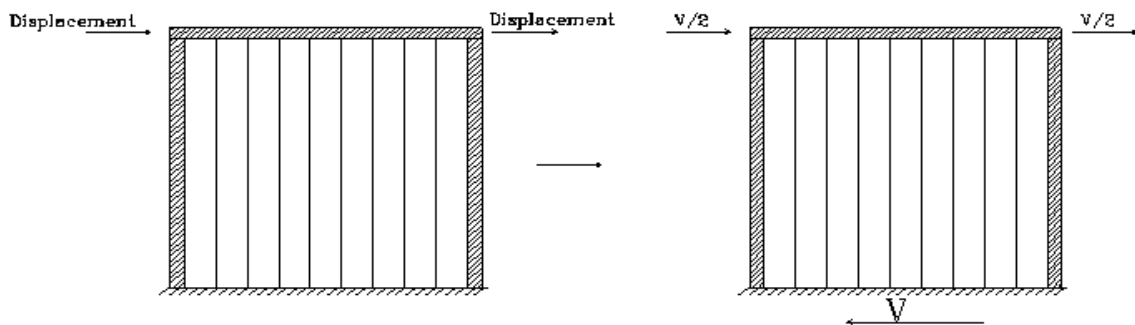
$$Ks = 5.34 + 4\left(\frac{b}{h_w}\right)^2 \quad (2)$$

$$Ks = 8.98 + 5.6\left(\frac{b}{h_w}\right)^2 \quad (3)$$

که در روابط فوق $\tau_{cr,l}$ تنش بحرانی کمانش الاستیک، Ks ضریب کمانش برشی و h_w ارتفاع جان ورق میباشند. تنش های حاصل از خروجی نرم افزار توسط روابط تئوری صحت سنجی گردید و نتیجه با تقریب خوبی مورد پذیرش میباشد و موید صحت مدلسازی عددی نیز میباشد.

۵- بررسی رفتار قاب به روش استاتیکی

در این قسمت بار به صورت جابجایی در تراز طبقات اعمال گردیده و با اعمال جابجایی در هر گام، واکنش گره هایی که به آنها جابجایی اعمال شده معرف برش طبقه خواهد بود. چگونگی آن در شکل شماره ۶ قابل ملاحظه میباشد.



شکل ۶: نحوه بارگذاری قاب به صورت تغییر مکان

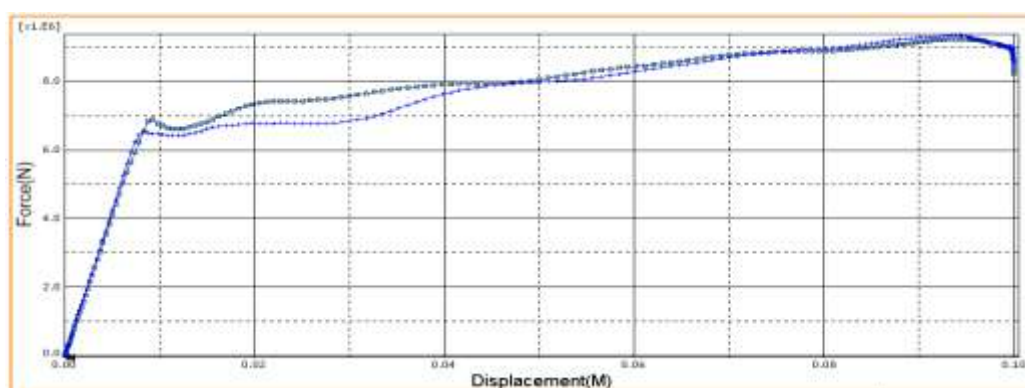
از نظر مشخصات هندسی پانلها با دهانه ۳ متری در نظر گرفته شده و در قاب های مدل شده تیرها به صورت صلب در نظر گرفته شده و ابعاد مقاطع تیر و ستون نیز در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: ابعاد مقاطع تیر و ستون

نوع مقطع	عرض بال (سانتی متر)	ارتفاع جان (سانتی متر)	ضخامت بال (سانتی متر)	ضخامت جان (سانتی متر)
تیر	۲۰	۲۰	۰٫۸۵	۰٫۵۶
ستون	۴۰	۴۰	۱٫۶	۱

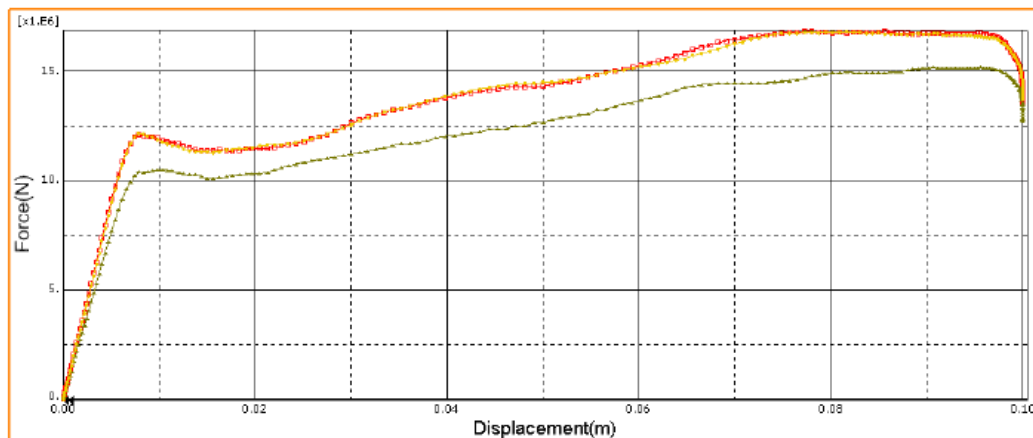
۶- بررسی اثر تغییر راستای موج ورق موجدار در رفتار قاب

حال تاثیر نحوه قرار گیری ورق موجدار به حالت افقی یا عمودی در قاب را با یکدیگر و همچنین با ورق ساده را مقایسه نموده و حالت بهینه تشخیص داده می شود (موج افقی: خط چین بنفش - موج قائم: خط چین آبی)



شکل ۷: نمودار مربوط به رفتار قاب با دیوار موج دار جهت مقایسه نحوه قرار گیری قائم و افقی

از مقایسه دو نمودار شکل (۷) نتیجه می شود در حالتی که ورق موجدار به صورت افقی در قاب قرار می گیرد می تواند عملکرد بهتری از خود بر جای بگذارد کما اینکه همانگونه که از نمودار می توان تشخیص داد در محدوده خطی، قرار گیری حالت قائم ورق در قاب می تواند اندکی سختی بیشتر از خود بر جای بگذارد ولی این مقدار اندک قابل چشم پوشی بوده و حالت قرار گیری افقی ورق موجدار در قاب می تواند با شکل پذیری بیشتر و باربری بیشتر عملکرد مناسب تری از خود بر جای بگذارد. اکنون پس از مقایسه ورقهای موجدار از لحاظ نحوه قرار گیری در قاب با یکدیگر رفتار این ورقها با قاب دارای دیوار برشی ساده مقایسه می گردد. همانگونه که نتیجه گرفته ایم قرار گیری حالت افقی ورق های موجدار در قاب توانسته است عملکرد بهتری را از خود بر جای بگذارد، به همین علت به مقایسه عملکرد قاب با دیوار برشی ساده با حالت قرار گیری افقی ورقهای موجدار در قاب، می پردازیم. (ورق با موج افقی: خط چین نارنجی - ورق ساده: خط چین سبز)



شکل ۸: نمودار مربوط به مقایسه رفتار قاب با دیوار موج دار افقی با دیوار برشی ساده

۷- نتیجه گیری

۷-۱- استفاده از ورق موجدار در قاب های با دیوار برشی جدار نازک سرد نورد شده می تواند عملکرد بهتری نسبت به قاب با ورق ساده از خود نشان دهد زیرا دیوار برشی موجدار با توجه به اینکه پس از کمانش تغییر شکل برون صفحه ای کمتری نسبت به دیوار برشی ساده خواهد داشت، می تواند جایگزین خوبی برای دیوار برشی ساده باشد.

۷-۲- حالت قرار گیری افقی ورق موجدار در قاب میتواند با شکل پذیری بیشتر و باربری بیشتر عملکرد مناسب تری در مقایسه با حالت قرار گیری قائم موجها در ورق از خود بر جای بگذارد.

۷-۳- به عنوان نتیجه گیری کلی می توان بیان نمود در مقایسه دیوارهای برشی جدار نازک ساخته شده از ورق ساده یا ورق موجدار دیوار موجدار با وزن معادل دیوار ورق ساده عملکرد بهتری از خود نشان میدهد، شایان ذکر است در محدوده خطی ورق ساده اندکی می تواند سختی بیشتری را از خود نشان دهد.

مراجع

1- Wei-Wen Yu, Roger A. LaBoube, "Cold-Formed Steel Design", Fourth Edition, 2010

2 - Habibnejad Korayem, A. "The behavior of semi supported thin steel shear walls under lateral loads",

M.Sc. thesis, Tarbiat Modarres University, 2005

3 - Astaneh- Asl, A., "seismic Behavior and Design of steel shear walls", structural Engineers Assoc, of Northern California, San Francisco, 2001

۴- صبوری، سعید "سیستم های مقاوم در برابر بارهای جانبی: مقدمه ای بر دیوارهای برشی فولادی"، نشر انگیزه (۱۳۸۰)

5- Mohammad Hassan Sayyas, M.Sc., Seyyed Rasoul Mirghaderi, Ph.D. ; " Seismic Enhancement of Shear Panel Details" are Presented in TI809-07 2007, Proceeding of ASCE TCLEE Conference 2009 : Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment, USA, Oakland, California, page1485-1495.