



Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir



The Wall–Frame Interaction Effect in Corrugated Steel Shear Walls Systems

Ehsan Vaziri¹, Mohammad Gholami^{2*}

1- Master Graduate, Yasouj University, Yasouj, Iran

2- Assistant Professor, Yasouj University, Yasouj, Iran

ABSTRACT

Steel shear wall with corrugated plate is a lateral load resistant system. In recent years, researchers have made investigations in this Field. In this study, the behavior of this system under pushover loading has been evaluated. For this purpose, 20 samples of steel shear wall system with corrugated plate with bay to height ratio of 0.85,1.4,2,2.5 And in 1,2,4,6,10 Stories has been designed. Then these samples with finite element software (Abaqus) were analyzed. Results of this study show that the initial stiffness of this type of shear walls is high And it's resistance in drift about 0.1 percent reaches to the highest amount. But when the plate is subjected to interaction buckling it's stiffness and resistance has been decreased significantly. Also, Results of this study shows that before the plate reaches to buckling limit; a greater percentage of shear force is resisted by plate but after plate's buckling frame has more contribution in resisting shear force. In this study mechanism of creation of tension Field in this type of systems has been evaluated and relation for determination of tension Field's angle was proposed. In the end, in this study, a method for estimating pushover diagram of shear wall system with corrugated plate for one and several story structures has been presented. This solution was founded on the interaction between frame and corrugated Plate and by results of experimental and numerical samples was verified.

ARTICLE INFO

Receive Date: 18 April 2019

Revise Date: 02 August 2019

Accept Date: 18 September 2019

Keywords:

Corrugated plate pushover diagram;

High structures;

Interaction between frame and Corrugated plate;

Tension Field.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.179369.1832

*Corresponding author: Mohammad Gholami

Email address: m.gholami@yu.ac.ir

اثر اندرکنش دیوار و قاب در سیستم های دیوار برشی فولادی کنگره ای

احسان وزیری^۱، محمد غلامی^{۲*}

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

۲- استادیار، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

چکیده

سیستم دیوار برشی فولادی با ورق کنگره ای یک سیستم باربر جانبی می باشد که محققان در سال های اخیر تحقیقاتی را درباره ی آن انجام داده اند. در این مطالعه، رفتار این سیستم تحت بارگذاری پوش آور بررسی شد. برای این منظور ۲۰ نمونه دیوار برشی فولادی با ورق کنگره ای، با نسبت دهانه به ارتفاع های ۲/۵، ۲، ۱/۴، ۰/۸۵ و با تعداد طبقات ۱۰، ۶، ۴، ۲، ۱ طراحی و سپس با نرم افزار اجزاء محدود آباکوس تحلیل شد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که سختی اولیه این نوع از دیوار برشی ها بالا می باشد و مقاومت آن ها در دریافت حدود ۰/۱ درصد به بیشترین مقدار خود می رسد؛ اما پس از کماتش اندرکنشی در ورق، افت قابل توجهی در سختی و مقاومت دیوار برشی دیده می شود. همچنین نتایج این مطالعه نشان می دهد که تا قبل از کماتش ورق، درصد بیشتری از نیروی برشی، توسط ورق تحمل می شود؛ اما پس از کماتش ورق، قاب درصد بیشتری از برش را تحمل می کند. در این مطالعه، نحوه ی ایجاد میدان کششی در این نوع از سیستم ها بررسی شد و رابطه ای برای تعیین زاویه ی میدان کششی ارائه گردید. طبق این رابطه، زاویه ی میدان کششی فقط به پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع دیوار وابسته است. در انتها، در این مطالعه روشی برای تخمین نمودار پوش آور سیستم دیوار برشی با ورق کنگره ای یک طبقه و چند طبقه ارائه شده است. این روش بر اساس اندرکنش بین قاب و ورق کنگره ای بدست آمد و با نتایج نمونه های آزمایشگاهی و عددی مورد تأیید قرار گرفت.

کلمات کلیدی: اندرکنش بین ورق و قاب، ورق کنگره ای، سازه های بلند مرتبه، میدان کششی، کماتش اندرکنشی، نمودار پوش آور

سابقه مقاله:		شناسه دیجیتال:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/JSCE.2019.179369.1832
۱۳۹۸/۰۱/۲۹	۱۳۹۸/۰۵/۱۱	۱۳۹۸/۰۶/۲۷	۱۳۹۸/۰۶/۲۷	۱۴۰۰/۰۵/۳۰	doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.179369.1832
*نویسنده مسئول:		احسان وزیری			
پست الکترونیکی:		m.gholami@yu.ac.ir			

۱- مقدمه

دیوار برشی فولادی به دلیل سختی جانبی بالا، رفتاری شکل‌پذیر و ظرفیت بالایی در اتلاف انرژی دارد و به‌عنوان سیستم باربر جانبی به صورت گسترده در ساختمان‌های بلندمرتبه و در مناطق زلزله‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱-۵]. دیوار برشی فولادی شامل یک ورق فولادی تخت و المان‌های مرزی متصل به آن می‌باشد. المان‌های مرزی شامل تیر و ستون‌های یک قاب خمشی می‌باشد. ورق فولادی و قاب خمشی سبب افزایش نامعینی و رفتار شکل‌پذیر این سیستم می‌شوند [۶-۹]. امروزه به دلیل هزینه مناسب ورق فولادی تخت و ظرفیت باربری مناسب آن، به صورت گسترده استفاده می‌شود؛ اما از اشکالات این سیستم، پایین بودن سختی اولیه و مقاومت کم‌انرژی آن می‌باشد [۱۰-۱۳]. همچنین در هنگام کم‌انرژی ورق تخت، صدای ناخوشایندی ایجاد می‌شود که آسایش استفاده‌کنندگان را بر هم می‌زند [۱۴]. به همین علت، برخی از محققین پیشنهاد دادند که برای افزایش مقاومت کم‌انرژی ورق تخت از سخت‌کننده استفاده شود [۱۵-۲۰]. اما به دلیل نازکی ورق‌های مورد استفاده در این سیستم‌ها، هزینه‌ی جوشکاری به صورت چشمگیر افزایش می‌یابد [۲۱].

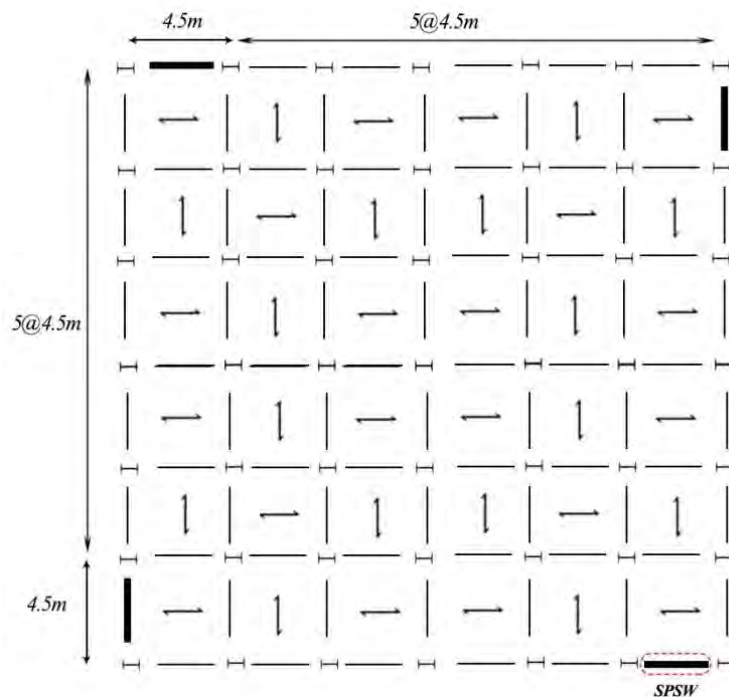
محققین و پژوهشگران در چند سال اخیر پیشنهاد داده‌اند که از ورق کنگره‌ای به جای ورق تخت در دیوار برشی استفاده شود. کنگره‌ای بودن ورق، سبب افزایش سختی بیرون صفحه‌ای ورق و در نتیجه افزایش مقاومت کم‌انرژی آن می‌شود [۲۲]؛ اما به نظر می‌رسد، به دلیل عدم وجود روش‌های طراحی، تاکنون مهندسیین از ورق‌های فولادی کنگره‌ای در ساختمان‌های بلندمرتبه استفاده نکرده‌اند؛ به همین علت محققین در چند سال اخیر تلاش کرده‌اند که رفتار لرزه‌ای دیوار برشی با ورق کنگره‌ای را مورد بررسی قرار دهند و روش طراحی مناسبی ارائه دهند. امامی و همکاران [۲۳] رفتار چرخه‌ای دیوار برشی فولادی با ورق کنگره‌ای در حالت قائم و افقی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که ظرفیت اتلاف انرژی دیوار برشی با ورق کنگره‌ای نسبت به دیوار با ورق تخت بیشتر می‌باشد. کلالی و همکاران [۲۴] از طریق آنالیز اجزاء محدود، عملکرد هیستریزس دیوار با ورق کنگره‌ای را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که برای رسیدن به عملکرد مطلوب، باید پارامترهای هندسی دیوار برشی به صورت مناسب اختیار شود. حسین پور و همکاران [۲۵] و عدالتی و همکاران [۲۶] رفتار دیوار برشی با ورق کنگره‌ای در دو حالت سینوسی و دوزنقه‌ای را با هم مقایسه کردند. آن‌ها نشان دادند که ورق کنگره‌ای در حالت دوزنقه‌ای ظرفیت اتلاف انرژی، شکل‌پذیری و مقاومت نهایی بالاتری دارد. بومیک و همکاران [۲۷] مطالعه‌ای بر روی رفتار دیوار برشی با ورق کنگره‌ای در حالت بازشودار انجام دادند. آن‌ها نشان دادند که ارتفاع بازشو بر روی عملکرد دیوار تأثیر زیادی دارد. فرامرز پور و همکاران [۲۸] با مطالعات عددی، سختی، مقاومت و شکل‌پذیری دیوار برشی کنگره‌ای دارای بازشو را بررسی کردند.

با وجود مطالعات عددی و آزمایشی یادشده بر روی رفتار دیوارهای برشی کنگره‌ای، بررسی دقیقی جهت درک بهتر عملکرد دیوارهای کنگره‌ای لازم می‌باشد. در مطالعه حاضر، چندین جنبه مهم از رفتار دیوارهای کنگره‌ای در حالت قائم، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این جنبه‌ها، شامل رفتار کم‌انرژی دیوار، تأثیر ابعاد قاب بر میزان شکل‌پذیری و سختی دیوار برشی در سازه‌های چندطبقه، نحوه‌ی ایجاد میدان کششی ورق و زاویه‌ی آن، تخمین نمودار پوش آور دیوار برشی کنگره‌ای قائم می‌باشد. در این راستا نمونه‌های دیوار برشی فولادی با ورق کنگره‌ای با پارامترهای هندسی مختلف شامل ضخامت ورق (t)، نسبت طول به ارتفاع دیوار (L/H) طراحی شده است و با مدلسازی و تحلیل پوش آور در نرم‌افزار آباکوس^۱ مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- طراحی

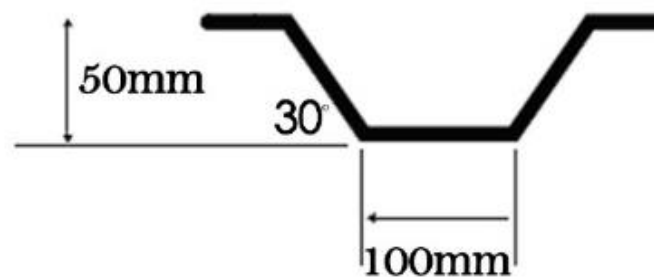
در این مطالعه، ۲۰ نمونه سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای با تعداد طبقات مختلف ۱، ۲، ۴، ۶ و ۱۰ طبقه و با نسبت طول (L) به ارتفاع دهانه (h) ۰/۸۵، ۱/۴، ۲ و ۲/۵ طراحی شده است. تصویر ۱ پلان ساختمان فرض شده را نشان می‌دهد. با توجه به تقارنی که در پلان وجود دارد، هریک از دیوارهای برشی نیروی زلزله ناشی از ۵۰ درصد جرم لرزه‌ای طبقه را تحمل کند. ارتفاع تمامی طبقات ۳/۴ متر می‌باشد. مقدار بار مرده‌ی هر طبقه و بام به ترتیب برابر ۴/۶ کیلو پاسکال و ۳/۲ کیلو پاسکال و مقدار بار زنده هر طبقه و بام به ترتیب برابر با ۲/۴ کیلو پاسکال و ۱/۶ کیلو پاسکال می‌باشد.

^۱ Abaqus



شکل ۱: پلان فرض شده برای طراحی دیوار برشی فولادی

نیروی زلزله مطابق با ASCE 7 [۲۹] به صورت مثلث وارون محاسبه شده و بین طبقات توزیع شده است. مطابق با راهنمای آئین نامه فولاد آمریکا [۳۰] ضخامت دیوار برشی (ورق) باید به نحوی طراحی شود که بتواند صد درصد برش طبقه را تحمل کند. برای محاسبه مقاومت ورق کنگره‌ای در هر طبقه از رابطه‌ی ارائه شده توسط امامی و همکاران [۲۳] استفاده شده است. ضخامت ورق کنگره‌ای از میان ضخامت‌های موجود در بازار انتخاب شده است. هندسه‌ی یک کنگره از ورق مطابق با تصویر ۲ که برگرفته از نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران [۲۳] می‌باشد.



شکل ۲: مشخصات کنگره‌ی استفاده شده

المان‌های مرزی سیستم دیوار برشی بر اساس ظرفیت تسلیم ورق کنگره‌ای و مطابق با راهنمای آئین نامه فولاد آمریکا [۳۰] طراحی شده است. اتصال تیر به ستون به صورت مقطع کاهش یافته^۲ می‌باشد [۳۱]. الزامات مربوط به چک دررفت بر اساس ASCE7 [۲۹] انجام شده است. جدول ۱ المان‌های مرزی و ضخامت ورق طراحی شده را نشان می‌دهد.

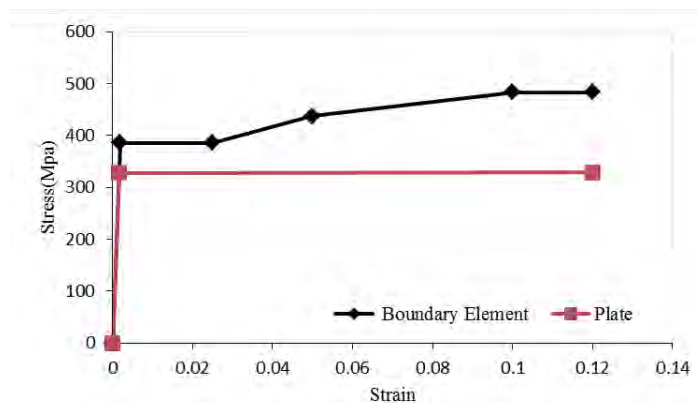
^۲ RBS

جدول ۱: ابعاد و مشخصات دیوار برشی فولادی طراحی شده

شماره مدل	تعداد طبقات	طول دهانه (متر)	نسبت L/h	ضخامت ورق (میلیمتر)	سایز تیر		سایز ستون
					تیر میانی	تیر طبقه آخر	
۱	۱	۲/۹	۰/۸۵	۳/۵	-	W 360x196	W 360x262
۲	۱	۴/۸	۱/۴	۳/۵	-	W 360x347	W 360x382
۳	۱	۶/۸	۲	۳/۵	-	W 690x289	W 360x509
۴	۱	۸/۵	۲/۵	۳/۵	-	W 1000x314	W 920x420
۵	۲	۲/۹	۰/۸۵	۳/۵	W 360x196	W 360x196	W 360x382
۶	۲	۴/۸	۱/۴	۳/۵	W 360x196	W 360x347	W 360x382
۷	۲	۶/۸	۲	۳/۵	W 360x196	W 690x289	W 360x509
۸	۲	۸/۵	۲/۵	۳/۵	W 360x196	W 1000x314	W 920x420
۹	۴	۲/۹	۰/۸۵	۳/۵	W 360x196	W 360x196	W 920x551
۱۰	۴	۴/۸	۱/۴	۳/۵	W 360x196	W 360x347	W 360x382
۱۱	۴	۶/۸	۲	۳/۵	W 360x196	W 690x289	W 360x509
۱۲	۴	۸/۵	۲/۵	۳/۵	W 360x196	W 1000x314	W 920x420
۱۳	۶	۲/۹	۰/۸۵	۳/۵ (۶-۵), ۵(۴-۱)	W 360x196	W 360x196	W 360x744(1-4) W 360x382(5-6)
۱۴	۶	۴/۸	۱/۴	۳/۵(۶-۵), ۵(۴-۱)	W 360x196	W 360x347	W 360x634(1-4) W 360x382(5-6)
۱۵	۶	۶/۸	۲	۳/۵(۶-۵), ۵(۴-۱)	W 360x196	W 690x289	W 360x634(1-4) W 360x509(5-6)
۱۶	۶	۸/۵	۲/۵	۳/۵(۶-۵), ۵(۴-۱)	W 360x196	W 1000x314	W 920x449(1-4) W 920x420(5-6)
۱۷	۱۰	۲/۹	۰/۸۵	۱۵(۳) ۳/۵ (۱۰), ۵ (۹), ۸ (۸), ۹/۵(۷)	۰/۸۵	W 360x196	W 920x1190 W 360x1086
۱۸	۱۰	۴/۸	۱/۴	۸(۵-۳), ۹(۲-۱) ۳/۵(۹-۱۰), ۵(۸), ۶(۶-۷)	۱/۴	W 360x347	W 920x1190 W 920x725
۱۹	۱۰	۶/۸	۲	۸(۵-۳), ۸(۳-۱) ۳/۵(۹-۱۰), ۵(۸), ۶(۶-۷)	۲	W 690x289	W 920x1190 W 920x725
۲۰	۱۰	۸/۵	۲/۵	۸(۵-۳), ۹(۲-۱) ۳/۵(۹-۱۰), ۵(۸), ۶(۶-۷)	۲/۵	W 1000x314	W 920x970 W 920x725

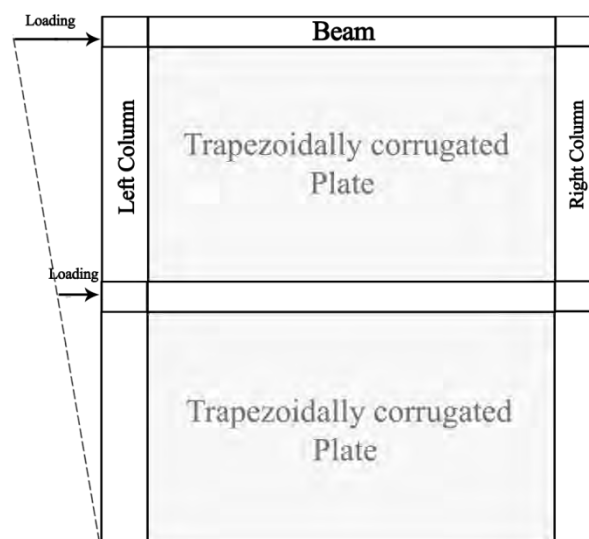
۳- مدل سازی

ابعاد و مقاطع طراحی شده در جدول ۱ با المان Shell چهار گرهی (S4R) در نرم افزار Abaqus مدل سازی شده است. مصالح ورق و قاب به ترتیب از استانداردهای ASTM-A36 و ATM-A572 انتخاب شده است [۳۲] و به منظور مطالعه رفتار غیرخطی قاب و ورق از دیاگرام تنش- کرنش تصویر ۵ استفاده شده است. تنش تسلیم تیر و ستون ۳۸۵ مگاپاسکال و تنش تسلیم ورق فولادی ۳۲۷ مگاپاسکال می باشد. مدل الاستیسیته و ضریب پواسن به ترتیب برابر با ۲۱۰ گیگا پاسکال و ۰٫۳ می باشد.



شکل ۳: نمودار تنش- کرنش ورق و المان های مرزی سیستم دیوار برشی با ورق کنگره ای

نقص های هندسی^۳ ورق ها بر اساس پیشنهاد آئین نامه اروپا [۳۳] اعمال نشده است. محل اتصال سیستم با زمین به صورت گیردار^۴ مدل سازی شده است. همچنین جابجایی خارج از صفحه ای اتصالات تیر به ستون در همه مدل ها بسته شده است. پروتکل بارگذاری پوش آور مطابق با ASCE7 [۲۹] می باشد که به صورت مثلث وارن اعمال شده است. بارگذاری تا جایی ادامه پیدا کرده است که در یفت بام به ۲/۵ درصد برسد. تصویر ۴ نحوه بارگذاری جانبی را نشان می دهد که در مقابل تیرها وارد شده است.

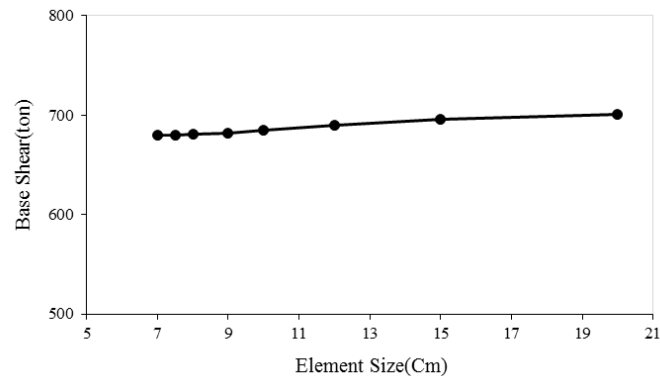


شکل ۴: پارامترهای طول، ارتفاع و نحوه اعمال بارگذاری

³ Initial imperfections

⁴ Fix

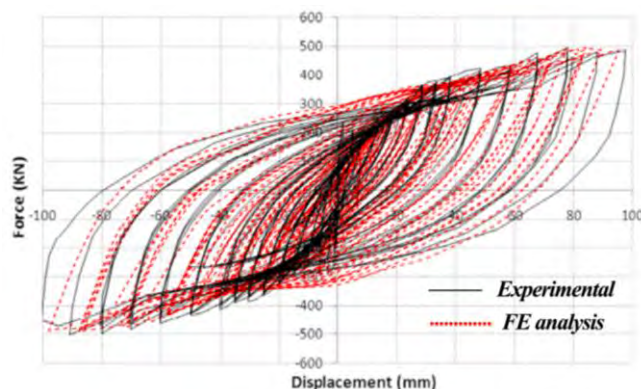
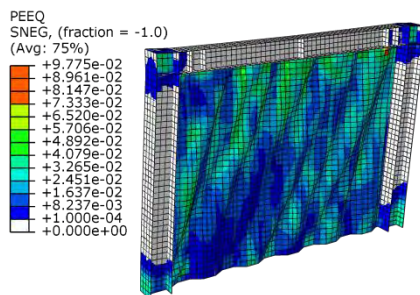
جهت انتخاب سایز المان‌ها^۵، یک آزمون همگرایی و حساسیت سنجی انجام شده است. برای این منظور یک سیستم دیوار برشی فولادی با ورق کنگره‌ای مدلسازی و با تغییر اندازه‌ی المان‌ها، مقاومت نهایی سیستم روی عدد ۶۸۲ تن همگرا شد. تصویر ۵ آزمون همگرایی و حساسیت سنجی المان‌ها را در ابعاد مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۵: آزمون همگرایی و حساسیت‌سنجی المان‌ها

برای صحت سنجی مدل‌های عددی دو نمونه‌ی آزمایشگاهی انتخاب شده است:

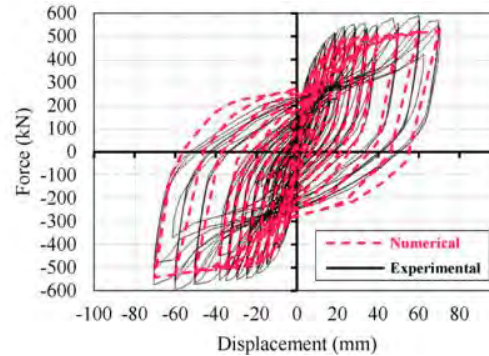
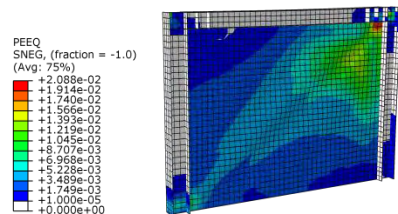
الف- صحت سنجی با نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران [۲۳]- نمونه‌ی کنگره‌ای: این نمونه یک سیستم دیوار برشی یک طبقه با ورق کنگره‌ای در حالت قائم است که مشخصات کامل آن در مقاله‌ی [۲۳] موجود می‌باشد. تصویر ۶ و جدول ۲ مقایسه‌ی نتایج مدل عددی و نمونه‌ی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۶: صحت سنجی با نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران [۲۳]-نمونه‌ی کنگره‌ای

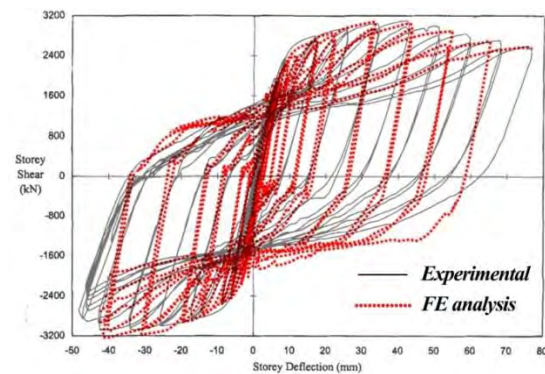
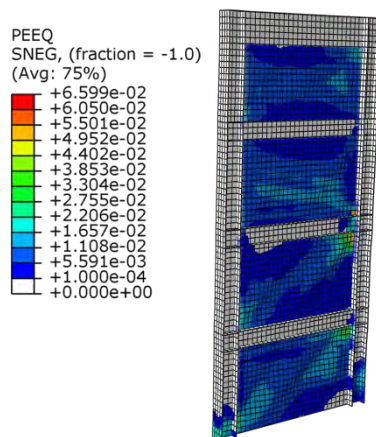
⁵ Mesh

ب- صحت سنجی با نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران [۲۳]- نمونه‌ی معمولی: این نمونه یک سیستم دیوار برشی یک طبقه با ورق معمولی (مسطح) است که مشخصات کامل آن در مقاله‌ی [۲۳] موجود می‌باشد. تصویر ۷ و جدول ۲ مقایسه‌ی نتایج مدل عددی و نمونه‌ی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: صحت سنجی با نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران [۲۳]- نمونه معمولی

پ- صحت سنجی با نمونه‌ی آزمایشگاهی درایور [۳۴]: این نمونه یک سیستم دیوار برشی چهار طبقه با ورق تخت است که مشخصات کامل آن در مقاله‌ی [۳۴] موجود می‌باشد. تصویر ۸ و جدول ۲ مقایسه‌ی نتایج مدل عددی و نمونه‌ی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



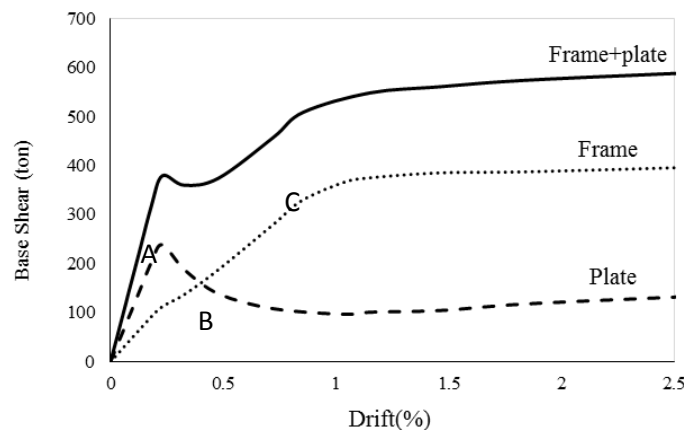
شکل ۸: صحت سنجی با نمونه‌ی آزمایشگاهی درایور [۳۴]

جدول ۲: مقایسه نتایج مدل عددی و نمونه‌های آزمایشگاهی

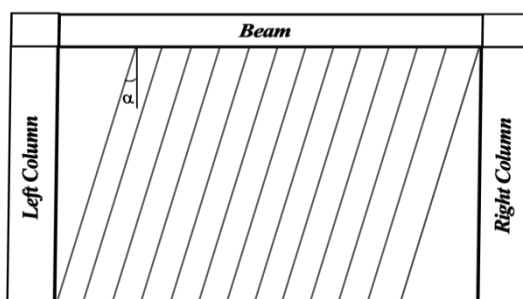
	مقاومت تسلیم (کیلو نیوتن)		نسبت آزمایشگاهی به عددی	مقاومت نهائی (کیلو نیوتن)		نسبت آزمایشگاهی به عددی
	آزمایشگاهی	عددی		آزمایشگاهی	عددی	
امامی و همکاران-نمونه کنگره‌ای	۲۴۸	۲۵۸	۰٫۹۶	۴۹۰	۴۸۸	۱٫۰۰۴
امامی و همکاران-نمونه معمولی	۳۲۵	۳۱۱	۱٫۰۴	۵۷۸	۵۳۵	۱٫۰۷
درایور	۲۲۸۰	۲۳۴۷	۱٫۰۱	۲۶۰۰	۲۵۹۷	۱٫۰۰۱

۴- بررسی رفتار دیوار برشی با ورق کنگره‌ای

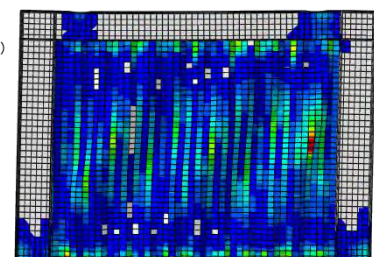
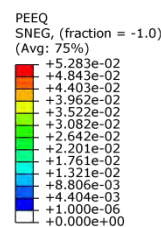
در این بخش، رفتار سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای به صورت دقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد و با دیوار برشی ورق تخت مقایسه می‌شود. همان‌طور که در بخش ۱ توضیح داده شد، سیستم دیوار برشی فولادی از یک ورق فولادی تشکیل شده که به قاب پیرامون آن (المان‌های مرزی) متصل می‌شود. تصویر ۹ نمودار پوش‌آور (برش پایه-دریفت) دیوار برشی (مدل شماره ۲ در جدول ۱) را نشان می‌دهد. این تصویر، نمودار پوش‌آور اجزای تشکیل‌دهنده دیوار برشی یعنی قاب و ورق را به تفکیک نشان می‌دهد. طبق اصل برهم‌نهی^۶، از مجموع نمودار پوش‌آور قاب و ورق، نمودار سیستم دیوار برشی حاصل می‌شود. با شروع بارگذاری تا دریفت حدود ۰/۱ درصد، سیستم سختی نسبتاً بالایی را از خود نشان می‌دهد. در دریفت حدود ۰/۱ درصد (یعنی نقطه‌ی A در تصویر ۹) کمانش اندرکنشی رخ می‌دهد. پس از این کمانش، کنگره‌های ورق شروع به باز شدن، می‌کند و در نتیجه سختی جانبی ورق منفی می‌شود و افت قابل توجهی در مقاومت ورق دیده می‌شود؛ در دریفت حدود ۰/۵ درصد (نقطه‌ی B در تصویر ۹) میدان کششی در ورق و در فاصله‌ی بین تیرها (تصویر ۱۰، الف) تشکیل می‌شود. نحوه‌ی ایجاد میدان کششی در سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای به صورت شماتیک در تصویر ۱۰، قسمت (ب) نشان داده شده است. حائز اهمیت است که در این مرحله، ناحیه‌ی میدان کششی ورق کاملاً تسلیم شده است؛ به همین دلیل، تشکیل میدان کششی سبب ایجاد سختی مثبت در ورق نمی‌شود. از طرفی تا دریفت حدود ۰/۹ درصد مقاومت قاب پیوسته افزایش می‌یابد و در دریفت ۰/۹ درصد، (نقطه‌ی C در تصویر ۹) قاب تسلیم می‌شود. از این نقطه به بعد، هیچ افزایش مقاومتی در قاب مشاهده نمی‌شود. به‌طور کلی تا نقطه‌ی A افزایش مقاومت سیستم حاصل افزایش مقاومت ورق و قاب می‌باشد. در فاصله‌ی A تا B مقاومت سیستم، با وجود کاهش مقاومت ورق، تا حدودی افزایش می‌یابد که به افزایش مقاومت قاب برمی‌گردد. مقاومت سیستم در دریفت‌های بیشتر از ۰/۹ درصد (نقطه‌ی C) به دلیل ثابت شدن مقاومت ورق و قاب، ثابت می‌ماند.



شکل ۹: نمودار برش پایه-دریفت بام مدل شماره ۲



(ب)

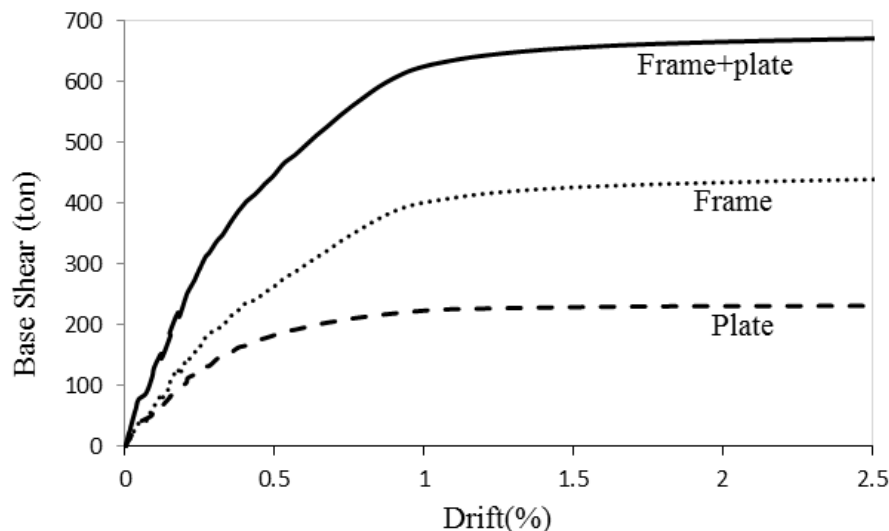


(الف)

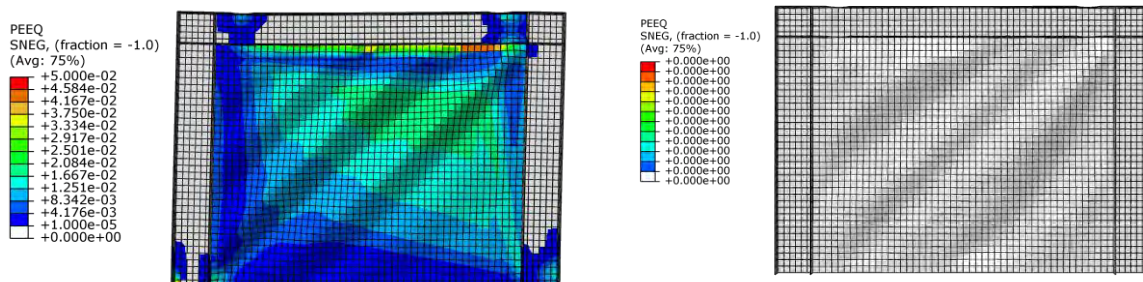
⁶ Superposition

شکل ۱۰: نحوه‌ی تشکیل میدان کششی در مدل شماره‌ی ۲. (الف) مدل عددی، (ب) شکل شماتیک

حسین زاده و همکاران [۳۵] همانند تصویر ۹ رفتار مدلی با ورق تخت را بررسی کرده‌اند. در تصویر ۱۱ نمودار پوش‌آور این مدل ارائه شده است. با توجه به این تصویر، افت مقاومت در ورق تخت وجود ندارد. زیرا بلافاصله بعد از کمانش ورق، میدان کششی در حالت الاستیک، تشکیل می‌گردد (تصویر ۱۲، قسمت الف). الاستیک بودن ناحیه میدان کششی پس از کمانش باعث می‌شود که سختی ورق افزایش یابد. همچنین در تصویر ۱۲، قسمت (ب) مشاهده می‌شود که میدان کششی در کل سطح ورق تخت تشکیل می‌شود؛ در حالی که در مدل با ورق کنگره‌ای میدان کششی فقط در حدفاصل بین تیرها تشکیل می‌گردد. این موضوع سبب می‌شود که مقاومت مدل با ورق تخت حدود ۲۰ درصد نسبت به مدل با ورق کنگره‌ای افزایش یابد. از طرفی اولیه‌ی مدل با ورق تخت حدود ۱۴۸۰ کیلو نیوتن بر متر می‌باشد که در همان شروع بارگذاری به دلیل کمانش ورق، افت قابل توجهی دیده می‌شود؛ طبق مطالعه‌ی [۱۴] این افت مقاومت، همراه با صدای دلخراشی می‌باشد. سختی اولیه‌ی مدل با ورق کنگره‌ای در حدود ۲۰۰۰ کیلو نیوتن بر متر می‌باشد که تا دریافت حدود ۰٫۱ درصد تغییری نمی‌کند. این تفاوت در سختی اولیه‌ی بین مدل با ورق تخت و مدل با ورق کنگره‌ای سبب برتری عملکرد دیوار برشی کنگره‌ای نسبت به دیوار برشی با ورق تخت در زلزله‌های با قدرت سطح بهره‌برداری می‌شود.



شکل ۱۱: نمودار برش پایه-دریفت بام مدل حسین زاده و همکاران [۳۵]



(ب)

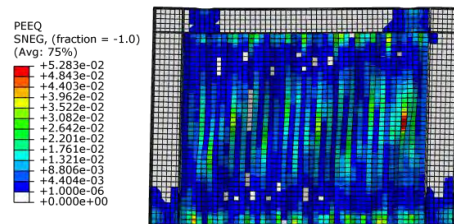
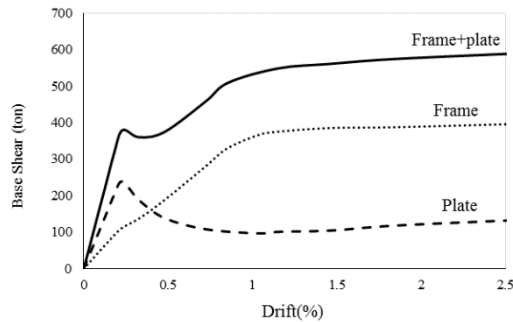
(الف)

شکل ۱۲: میدان کششی در دیوار برشی با ورق تخت، مدل حسین زاده و همکاران [۳۵]

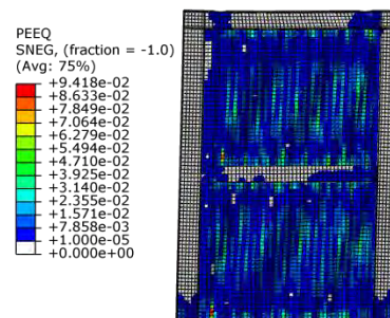
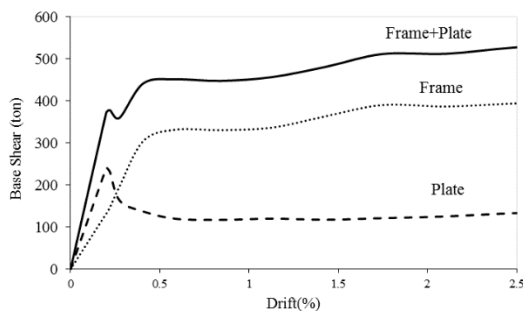
(الف) قبل از تسلیم شدگی، (ب) بعد از تسلیم شدگی در دریفت ۲/۵ درصد

۵- توزیع نیروی برشی در دیوار برشی

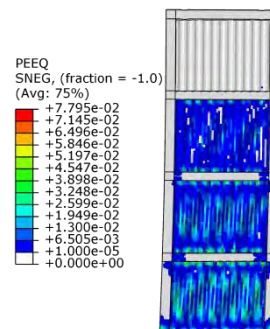
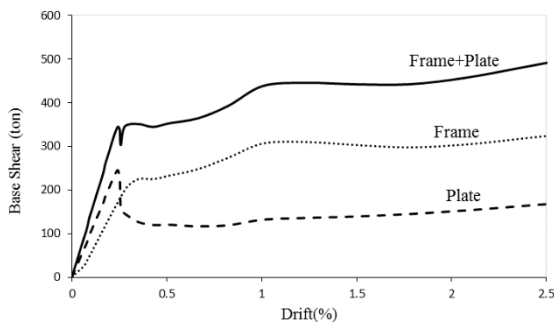
تصویر ۱۳ نمودار برش پایه- دریفت بام دیوار برشی با اجزای تشکیل دهنده آن یعنی ورق و قاب خمشی در تعداد طبقات مختلف را نشان می‌دهد. طبق اصل برهم‌نهی^۷ مجموع نمودار پوش‌آور ورق و قاب خمشی برابر با نمودار پوش‌آور سیستم دیوار برشی می‌باشد. با توجه به تصویر ۱۳، در دریفت‌های کم (یعنی قبل از کماتش اندرکنشی در ورق)، سهم بیشتری از برش توسط ورق تحمل می‌شود اما پس از کماتش در ورق، افت قابل توجهی در سختی ورق ایجاد می‌گردد و نقش قاب در تحمل نیروی برشی پررنگتر می‌شود؛ به نحوی که در دریفت ۱ الی ۲/۵ درصد، سهم بیشتری از برش توسط قاب تحمل می‌گردد.



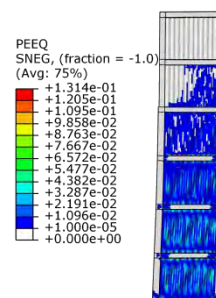
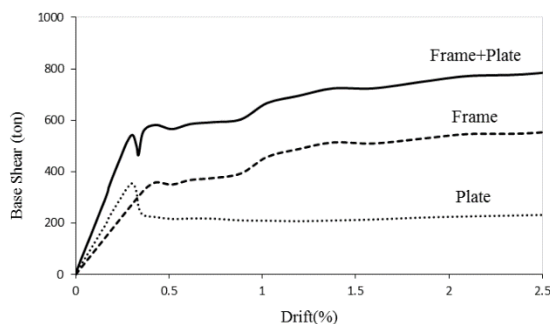
(الف)



(ب)

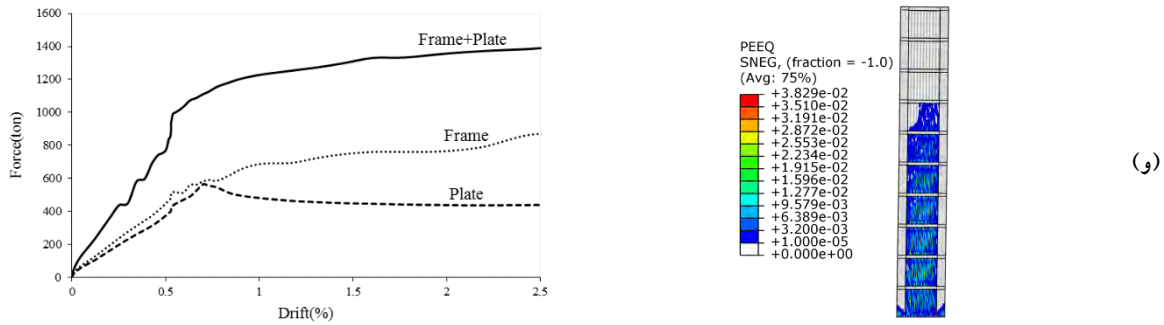


(ج)



(د)

⁷ Superposition



شکل ۱۳: نتایج مربوط به تحلیل پوش آور الف) یک طبقه ب) دو طبقه ج) چهار طبقه د) شش طبقه و) ده طبقه

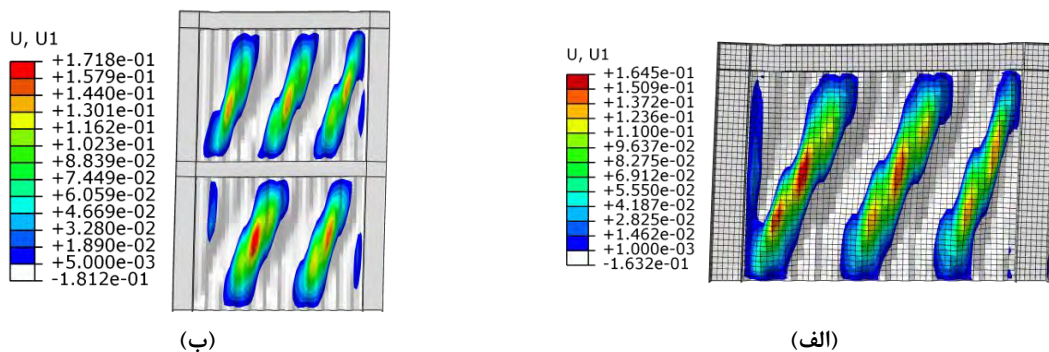
جدول ۳ عملکرد ورق و قاب در تحمل نیروی برشی را نشان می‌دهد. در این جدول، سهم ورق از میزان برش پایه برای تعداد طبقات مختلف و نسبت‌های مختلف L/H بر اساس درصد آورده شده است. نتایج موجود در جدول ۳ نشان می‌دهد که تعداد طبقات بر میزان سهم ورق از برش پایه مؤثرتر می‌باشد اما نسبت‌های مختلف L/H بر میزان این سهم تأثیر چندانی ندارد. حائز اهمیت است که با توجه به جدول ۳، سهم ورق از برش پایه حتی به ۵۰ درصد هم نمی‌رسد.

جدول ۳: درصد سهم ورق از میزان برش پایه برای تعداد طبقات مختلف و نسبت‌های مختلف L/H

تعداد طبقات	های مختلف دیوار برشی‌ها L/H نسبت			
	۰/۸۵	۱/۴	۲	۲/۵
۱	۲۰	۲۲/۵	۲۲	۱۸
۲	۲۸	۲۹	۲۸/۵	۲۵
۴	۳۶	۳۶	۳۷	۳۳
۶	۳۹	۴۱	۴۱	۳۶/۵
۱۰	۴۳	۴۵	۴۶	۴۱

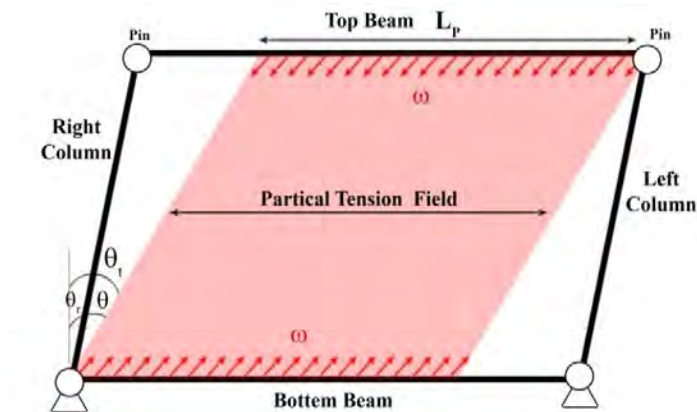
۶- زاویه تمایل میدان کششی در دیوار برشی با ورق کنگره‌ای

با توجه به تصویر ۱۴ میدان کششی بر روی بخشی از ورق و بین تیرهای دیوار برشی تشکیل می‌گردد؛ این بخش از ورق در تحمل نیروی جانبی مؤثر می‌باشد اما سایر قسمت‌های ورق در تحمل نیروی برشی تأثیر ناچیزی دارد.

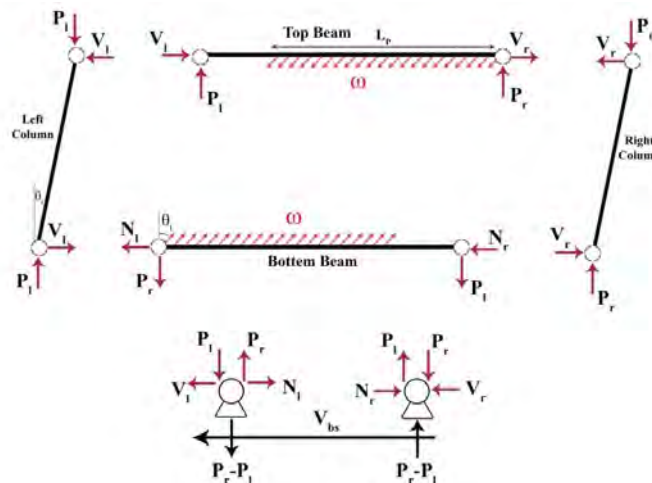


شکل ۱۴: میدان‌های کششی در سیستم دیوار برشی، الف) سیستم یک طبقه ب) سیستم چند طبقه

این رفتار به صورت شماتیک در تصویر ۱۵ نشان داده شده است. با توجه به این تصویر، تنش‌های ناشی از میدان کششی بر روی قسمتی از طول تیر (L_p) وارد شود. تصویر ۱۶ دیگرام آزاد تیر، ستون و تکیه‌گاه‌های دیوار برشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵: نحوه‌ی تشکیل تنش‌های کششی و زاویه تمایل میدان کششی



شکل ۱۶: دیاگرام آزاد تیر، ستون و تکیه‌گاه‌های دیوار برشی

در گذشته، این فرم میدان کششی در آزمایش‌های توربرن و همکاران [۲] برای دیواربرشی با ورق تخت مشاهده شده بود. همچنین چوی و پارک [۳۶] بر روی دیوار برشی با ورقی که فقط به تیرهای بالا و پایین متصل شده بود (ورق به ستون‌ها متصل نبود) مطالعاتی انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که میدان کششی در بین تیرها و تقریباً به همین شکل تشکیل می‌شود. توربرن و همکاران [۲] در تحقیق انجام شده بر روی دیوار برشی رابطه‌ی (۱) را برای زاویه میدان کششی نسبت به محور قائم (θ) پیشنهاد کردند:

$$\theta = 0.5 \tan^{-1}(L/H) \quad (1)$$

چوی و پارک [۳۶] برای محاسبه زاویه θ در دیوار برشی با ورق متصل شده به تیرها رابطه‌ی (۲) را پیشنهاد کردند:

$$\theta = 0.65 - 0.04(L/H) \quad (2)$$

در مطالعه‌ی حاضر، برای بررسی تأثیر ضخامت ورق (t) و تنش تسلیم (F_y) بر زاویه θ ، مدل‌های مختلف اجزاء محدود با تغییر ضخامت ورق (t) و تنش تسلیم (F_y) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که F_y و t بر میزان θ تأثیر چندانی ندارد. بنابراین می‌توان از این دو پارامتر صرف‌نظر نمود و تنها از نسبت L/H در رابطه‌ی زاویه θ استفاده کرد. لذا در این مطالعه رابطه‌ی ۳ برای تعیین زاویه θ در دیوار برشی با ورق کنگره‌ای پیشنهاد شده است که مشابه فرم کلی روابط ۱ و ۲ می‌باشد.

$$\theta = \gamma \cdot \tan^{-1}(L / H) \quad (3)$$

پارامتر γ با مطالعات پارامتریک عددی تعیین می‌شود. بدین منظور رفتار یک قاب یک طبقه (مشابه تصویر ۱۵) مورد بررسی قرار گرفت. در این قاب اتصال بین تیر و ستون، اتصال پای ستون، به صورت مفصلی فرض شده است. به این ترتیب پاسخ ورق از عملکرد قاب جدا می‌شود و صد درصد نیروی جانبی توسط ورق تحمل می‌شود. سپس مدل‌های عددی با نسبت‌های L/H که طبق AISC341 [۳۷] باید در محدوده‌ی ۰/۸ تا ۲/۵ باشد، آنالیز شد. با استفاده از نتایج هر کدام از این مدل‌ها، مؤلفه‌های افقی و عمودی ω (به ترتیب ω_x و ω_y)، طولی از تیر که تحت اثر میدان کششی قرار گرفته (L_p)، مقدار لنگر ماکزیمم تیر (M_m)، مکان لنگر ماکزیمم (X)، عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی چپ و راست (به ترتیب P_l و P_r) برای هر دو تیرهای بالا و پایین در دررفت ۲/۵ درصد بدست می‌آید. این پارامترها از روابط تحلیلی ۶ الی ۱۱ بر اساس پارامتر (θ) و در لحظه‌ی تسلیم ورق کنگره‌ای بدست می‌آیند. مؤلفه‌های افقی و عمودی ω (به ترتیب ω_x و ω_y) و نسبت بین آن‌ها با فرض تسلیم شدن میدان کششی، به ترتیب از روابط ۴ الی ۶ بدست می‌آید:

$$\omega_x = F_y t_w \cos \theta_t \sin \theta_t = 0.5 F_y t_w \sin 2\theta_t \quad (4)$$

$$\omega_y = F_y t_w \cos \theta_t \cos \theta_t \quad (5)$$

$$\omega_y / \omega_x = \tan \theta_t \quad (6)$$

با فرض اینکه θ_t در مقایسه با θ کوچک می‌باشد (با توجه به تصویر ۱۵)، L_p به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L_p = L - H \tan \theta = L \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right) \quad (7)$$

L طول تیر و H ارتفاع طبقه می‌باشد. با نوشتن معادلات تعادل برای تیر فوقانی، میزان لنگر ماکزیمم در تیر (M_m)، نیروی برشی در انتهای سمت چپ تیر (P_l)، یعنی نیروی محوری در ستون سمت چپ، نیروی برشی در انتهای سمت راست تیر (P_r) یعنی نیروی محوری در ستون سمت راست، مکان M_m از انتهای سمت راست (X)، به ترتیب از روابط ۸ الی ۱۱ بدست می‌آید:

$$M_m = 0.125 F_y t_w L^2 (\cos \theta_t)^2 \left[2 \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right) - \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right)^2 \right]^2 \quad (8)$$

$$P_l = 0.5 F_y t_w L^2 (\cos \theta_t)^2 \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right)^2 \quad (9)$$

$$P_r = 0.5 F_y t_w L (\cos \theta_t)^2 \left[2 \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right) - \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right)^2 \right] \quad (10)$$

$$x = 0.5 L \left[2 \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right) - \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H}\right)^2 \right] \quad (11)$$

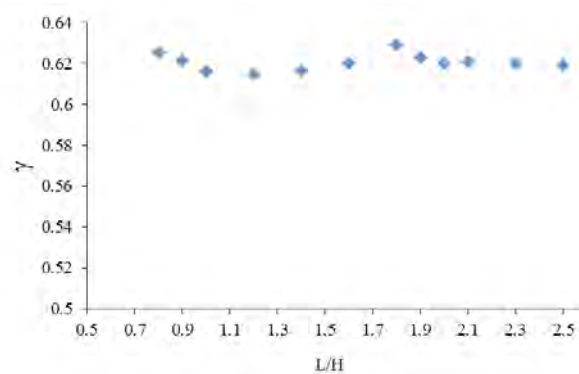
با نوشتن معادله‌ی تعادل در راستای X برای تیرهای بالا و پایین، ستون‌ها و تکیه‌گاه‌های سمت چپ و راست، مقدار برش پایه (V_{bs}) از رابطه‌ی ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$V_{bs} = (N_l + N_r) - (V_l + V_r) = \omega_x L_p - (V_l + V_r)$$

$$= 0.5 F_y t_w L \left(1 - \frac{\tan \theta}{L/H} \right) \sin(2\theta_t) \left(1 - \frac{\tan \theta_r}{\tan \theta_t} \right) \quad (12)$$

از هر آنالیز عددی مقادیر ω_y ، ω_x ، M_m ، X ، P_1 ، P_r به همراه خصوصیات هندسه‌ی مدل در روابط ۶ الی ۱۱ جایگذاری می‌شود. معادله‌هایی با تک مجهول θ به دست می‌آید و بدین ترتیب تخمین‌هایی از مقدار θ از هر آنالیز اجزاء محدود و برای یک نسبت معلوم (L/H) مشخص می‌شود. با جاگذاری مقادیر θ در رابطه (۳)، تخمین‌هایی برای γ به دست می‌آید. از میانگین مقادیر تخمین زده شده برای هر نسبت مشخص L/H ، γ محاسبه می‌شود. تصویر ۱۷ میانگین γ برحسب L/H مختلف را نشان می‌دهد. با درونیابی به روش اسپلاین مکعبی، γ برحسب L/H به صورت رابطه‌ی ۱۳ حاصل می‌شود:

$$\gamma = 0.55 - 0.03(L/H) \quad (13)$$



شکل ۱۷: مقدار تخمین زده شده γ برای نسبت‌های مختلف L/H در دریفت ۲ درصد

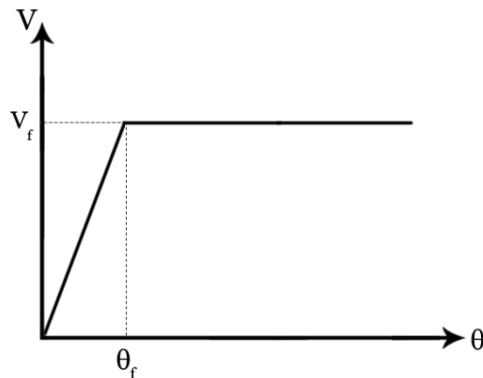
۷- تخمین نمودار پوش آور (برش پایه- دریفت) دیوار برشی با ورق کنگره‌ای

در این بخش، نمودار پوش آور سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای به روش اندرکنش قاب و ورق ترسیم می‌شود. بدین منظور نمودار برش پایه- دریفت قاب و ورق جداگانه ترسیم می‌شود و طبق اصل برهم‌نهی، نمودار پوش آور سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای ارائه می‌گردد.

۷-۱- تخمین نمودار پوش آور قاب خمشی

۷-۱-۱- قاب خمشی یک طبقه

تصویر ۱۸ نمودار برش پایه- دریفت قاب خمشی را نشان می‌دهد که توسط سایر محققین [۳۸] ارائه شده است. مقادیر برش پایه قاب خمشی (V_F) از رابطه‌ی ۱۴ و دریفت بام (θ_F) از روابط ۱۵ و ۱۶ بدست می‌آید.



شکل ۱۸: رفتار ایده آل برش پایه و جابجایی بام قاب خمشی

$$V_f = \frac{2M_{p,B} + 2M_{p,C}}{h} \quad (14)$$

V_f ، مقاومت برشی قاب، $M_{p,B}$ ، لنگر پلاستیک تیر، $M_{p,C}$ ، لنگر پلاستیک ستون

از رابطه‌ی ۱۵ جابجایی ناشی از تسلیم قاب خمشی بدست می‌آید:

$$U_f = \frac{H\varepsilon_y}{6} \left(\frac{h}{1.3d_c} + \frac{2L_b}{d_b} \right) \quad (15)$$

H ، ارتفاع طبقه از تراز پایه، ε_y ، برابر با f_y/E ، h ، ارتفاع طبقه، d_c ، عمق جان ستون، d_b ، عمق جان تیر، L_b ،

طول تیر

در نهایت، از رابطه‌ی ۱۶ دریافت ناشی از تسلیم قاب خمشی به دست می‌آید:

$$\theta_f = \frac{U_f}{h} \quad (16)$$

در این رابطه، h ، ارتفاع طبقه است.

۷-۱-۲- قاب خمشی چندطبقه

نمودار برش پایه-دریفت هر طبقه از قاب خمشی چندطبقه مانند تصویر ۱۸ است. صرفاً باید بجای برش طبقه (V_f) از برش

طبقه‌ی i ام ($V_{f,i}$) و بجای $2M_{p,B} + 2M_{p,C}$ از $\frac{2M_{p,B,i} + 2M_{p,B,i-1}}{2}$ استفاده کرد که مقادیر این پارامترها از رابطه‌ی ۱۷ بدست می‌آید:

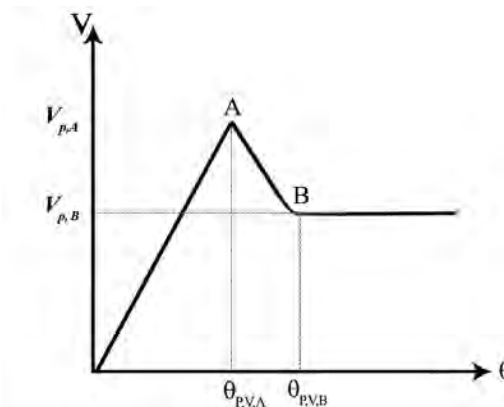
$$V_{f,i} = \frac{M_{p,B,i} + M_{p,B,i-1}}{h} \quad (17)$$

در رابطه‌ی بالا، $M_{p,B,i}$ ، ظرفیت پلاستیک تیر طبقه i ، $M_{p,B,i-1}$ ، ظرفیت پلاستیک تیر طبقه $i-1$

۲-۷- تخمین نمودار پوش آور ورق کنگره‌ای

۱-۲-۷- ورق کنگره‌ای در دیوار برشی یک طبقه

باتوجه به نمودارهای تصویر ۱۳ و مقاله‌های [۳۹ و ۴۰]، رفتار ایده‌آل نمودار برش پایه-دریفت ورق کنگره‌ای مطابق تصویر ۱۸ می‌باشد. از مطالعه‌ی عددی مدل‌های جدول ۱ و مقاله‌ی [۳۹] این نتیجه حاصل شد که کمانش اندرکنشی و تسلیم‌شدگی ورق در یک بازه‌ی زمانی اتفاق می‌افتد (نقطه‌ی A در تصویر ۱۹). پس از کمانش و تسلیم‌شدگی ورق، کنگره‌های ورق باز می‌شود و افت قابل‌توجهی در مقاومت ورق مشاهده می‌شود (نقطه‌ی B در تصویر ۱۹). از این نقطه به بعد، میدان کششی بین تیرها تشکیل می‌گردد. با توجه به اینکه کمانش اندرکنشی و تسلیم‌شدگی در ورق در یک بازه‌ی زمانی اتفاق می‌افتد، تشکیل میدان کششی باعث ایجاد سختی مجدد و در نتیجه سبب افزایش مقاومت در دیوار برشی نمی‌شود. مقاومت کمانش موضعی، کمانش کلی و کمانش اندرکنشی با استفاده از روابط ۱۸ تا ۲۰ محاسبه می‌شود [۴۱].



شکل ۱۹: رفتار ایده‌آل برش پایه و جابجایی بام ورق کنگره‌ای

از رابطه‌ی ۱۸ کمانش موضعی^۸ ورق‌های کنگره‌ای ($\tau_{cr,L}$) به دست می‌آید:

$$\tau_{cr,L} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2) \left(\frac{a}{t}\right)^2} \quad (18)$$

$$k = 5.34 + 4 \left(\frac{a}{h_p}\right)^2$$

از رابطه‌ی ۱۹ مقدار کمانش کلی^۹ ورق‌های کنگره‌ای ($\tau_{cr,G}$) به دست می‌آید:

$$\tau_{cr,G} = 36\beta E \frac{1}{[12(1-\nu^2)]^{0.25}} \left[\frac{(d/t)^2 + 1}{6 \left(\frac{a+b}{a+c}\right)} \right]^{0.75} \left(\frac{t}{h_p} \right)^2 \quad (19)$$

از رابطه‌ی ۲۰ مقدار کمانش اندرکنشی^{۱۰} ($\tau_{cr,I}$) به دست می‌آید:

⁸ Local buckling

⁹ Global buckling

$$\tau_{cr,I} = \frac{\tau_{cr,L} \times \tau_{cr,G}}{\tau_{cr,L} + \tau_{cr,G}} \quad (20)$$

از طریق رابطه‌ی ۲۱ مقدار کمانش اندرکنشی به دست آورده شده از رابطه‌ی ۲۰ اصلاح می‌شود و کمانش اندرکنشی نهایی به دست می‌آید:

$$\frac{\tau_{cr}}{\tau_y} = \begin{cases} 1 & \lambda_s \leq 0.6 \\ 1 - 0.614(\lambda_s - 0.6) & 0.6 < \lambda_s \leq \sqrt{2} \\ 1 / \lambda_s^2 & \lambda_s > \sqrt{2} \end{cases} \quad (21)$$

در روابط فوق t ضخامت ورق‌های کنگره‌ای، $\lambda_s = (\tau_y / \tau_{cr})^{0.5}$ و بقیه‌ی پارامترهای استفاده‌شده در تصویر ۱۹ نشان داده شده است.

و در نهایت نیروی کمانشی ($V_{p,A}$) از رابطه‌ی ۲۲ به دست می‌آید:

$$V_{p,A} = \tau_{cr} \cdot A_w = \tau_{cr} \cdot l_p \cdot t \quad (22)$$

در این رابطه، A_w ، سطح مقطع ورق فولادی، t ، ضخامت ورق فولادی، l_p ، طول ورق کنگره‌ای

مدول برشی ورق‌های کنگره‌ای [۴۲] از رابطه‌ی ۲۳ به دست می‌آید که از طریق آن جابجایی و دریفت نقطه‌ی کمانش اندرکنشی به دست می‌آید:

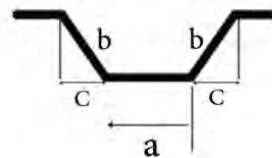
$$G = \frac{a+c}{a+b} \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (23)$$

تصویر ۲۰ پارامترهای a ، b ، c را نشان می‌دهد. جابجایی و دریفت نقطه‌ی A به ترتیب از رابطه‌های ۲۴ و ۲۵ به دست می‌آید:

$$U_A = \frac{\tau_{cr}}{G} \cdot h_p \quad (24)$$

$$\theta_{p,V,A} = \frac{U_A}{h_p} \quad (25)$$

در رابطه‌ی ۲۴ و ۲۵، h_p ، ارتفاع ورق کنگره‌ای است.



شکل ۲۰: مشخصات موج کنگره‌ها

¹⁰ Interactive buckling

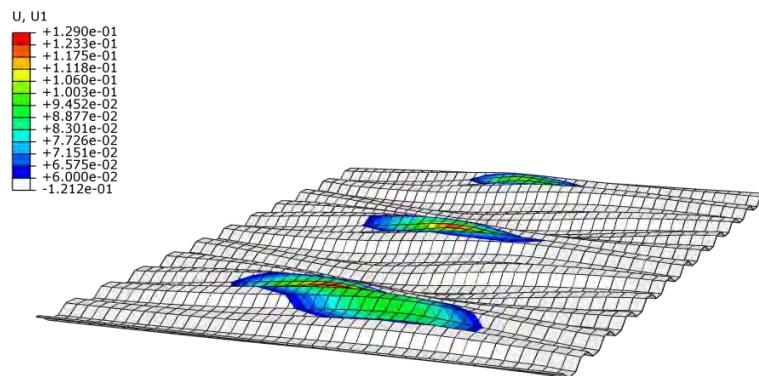
مقاومت ورق پس از ایجاد میدان کششی (نقطه‌ی B در تصویر ۱۹) از رابطه‌ی ۲۷ بدست می‌آید. در صورتی که در طول L_p (تصویر ۱۵) تعداد اضلاع مستقیم کنگره (ضلع a) و تعداد اضلاع مورب کنگره (ضلع b) به ترتیب برابر با m و n باشد، طول L'_p با رابطه‌ی ۲۷ تعیین می‌شود:

$$L'_p = m.a + n.b \quad (26)$$

و در نهایت از رابطه‌ی ۲۷ مقاومت نقطه‌ی B در تصویر ۱۸ به دست می‌آید.

$$V_{p,B} = 0.5F_y t_w L'_p \sin(2\theta) \quad (27)$$

اختلاف جابجایی بین نقاط B و A ($U_B - U_A$)، ناشی از باز شدن کنگره‌ها و کمانش ورق می‌باشد. تصویر ۲۱ باز شدن درصدی از کنگره‌ها و کمانش ورق را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱: باز شدن درصدی از کنگره‌ها بعد از کمانش

دریافت ورق در نقطه‌ی B ($\theta_{p,v,B}$ در تصویر ۱۹) به صورت زیر تعیین می‌شود:

طول تصویر هر نوار کششی در راستای محور افقی برابر با $h_p \tan \alpha$ می‌باشد. این طول در صورت باز شدن کنگره‌های موجود

در آن، برابر با $\frac{L'_p}{L_p} \times h_p \tan \alpha$ می‌شود. در نتیجه طول نوار (d') در راستای α برابر می‌شود با:

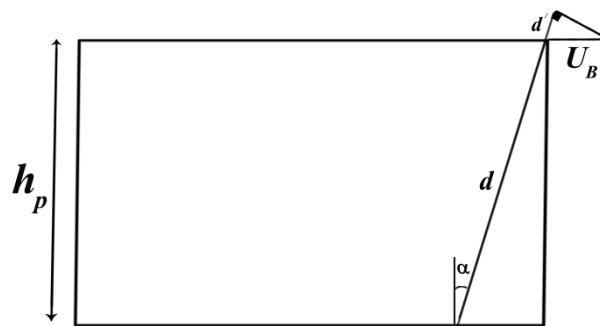
$$d' = \beta \left(\frac{L'_p}{L_p} \times h_p \tan \alpha \right) \quad (28)$$

$$U_B - U_A = \beta \times \frac{L'_p \cdot h_p \cdot \tan \alpha}{L_p \cdot \cos \alpha} \quad (29)$$

در نهایت، دریافت نقطه‌ی B از طریق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

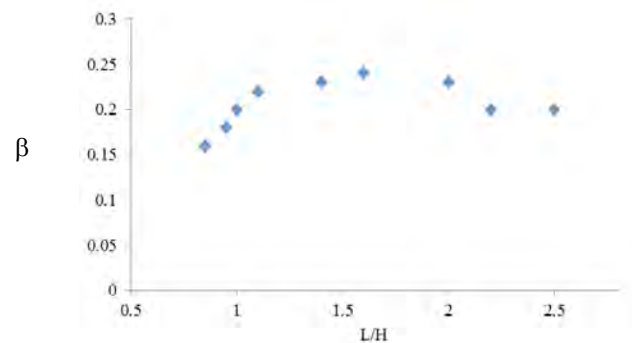
$$\theta_{p,v,B} = \frac{U_B}{h_p} \quad (30)$$

تصویر ۲۲ پارامترهای d' و U_B را به خوبی نشان می‌دهد.



شکل ۲۲: نوار کششی در راستای α

با توجه به مطالعات صورت گرفته، ضریب β به ابعاد ورق (L/H) بستگی دارد و برای تعیین آن از مدل‌های اجزاء محدود در جدول ۱ استفاده شده است. با جایگذاری نتایج به دست آمده از آنالیز عددی و مشخصات هندسی در رابطه‌ی ۲۹، ضریب β تعیین شده است. تصویر ۲۳ بخشی از نتایج به دست آمده برای ضریب β را نشان می‌دهد. با درون‌یابی مقادیر به دست آمده، رابطه‌ی ۳۱ ارائه می‌شود.



شکل ۲۳: مقدار تخمین زده شده برای β برای نسبت‌های مختلف L/H

$$\beta = 0.0153(L/H) + 0.1835 \quad (31)$$

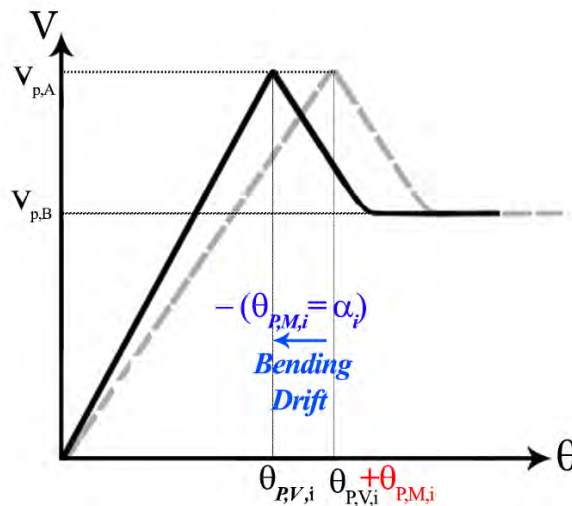
۷-۲-۲- ورق کنگره‌ای در دیوار برشی چند طبقه

برای اینکه بتوان نمودار برش-دریافت ورق را در هر طبقه ترسیم کرد، لازم است دریافت در هر طبقه بررسی شود؛ همان‌طور که در تصویر ۲۴ مشاهده می‌شود، دریافت در هر طبقه از دو بخش تشکیل می‌گردد: دریافت برشی و دریافت خمشی. دریافت برشی طبقه I ام، مستقل از دریافت سایر طبقات می‌باشد (تصویر ۲۵ قسمت الف)). بنابراین نمودار برش و دریافت برشی طبقه I ام به همان طریقی که در بخش ۷-۲-۱ توضیح داده شد، ترسیم می‌شود؛ اما برای محاسبه‌ی دریافت کل هر طبقه، لازم است دریافت خمشی آن طبقه محاسبه و به دریافت برشی آن اضافه شود. با توجه به تصویر ۲۵ قسمت ب) مشخص است که دریافت خمشی در اثر تغییر شکل‌های محوری ستون‌های سمت چپ و راست ایجاد می‌گردد (افزایش و کاهش طول در ستون‌ها تحت اثر نیروهای محوری کششی و فشاری). به نحوی که طبقه دچار چرخش صلب (α_i) و در نتیجه دریافت خمشی ($\theta_{P,M,i}$) می‌شود ($\theta_{P,M,i} = \alpha_i$). چرخش صلب طبقه I ام از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

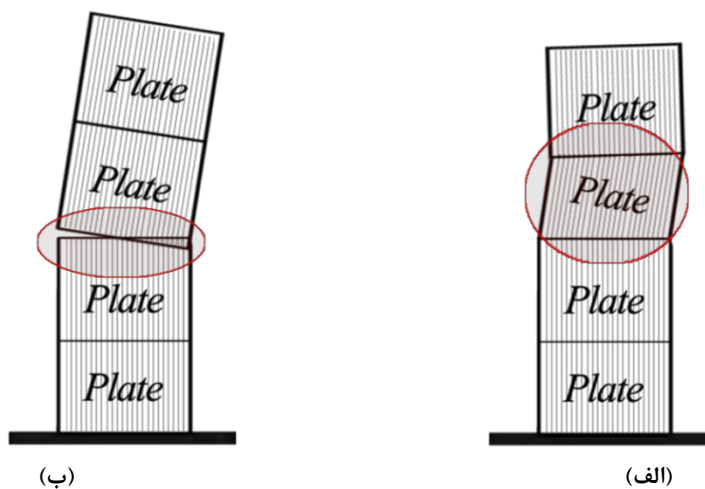
$$\alpha_i = 2 \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_{c,i}}{L} = \frac{2}{L} \left[\frac{N_{c,1} \times h_{s,1}}{EA_{c,1}} + \frac{N_{c,2} \times h_{s,2}}{EA_{c,2}} + \dots + \frac{N_{c,n} \times h_{s,n}}{EA_{c,n}} \right] \quad (32)$$

$$N_{c,i} = \frac{M_i}{L} \quad (33)$$

در رابطه‌ی فوق، $\delta_{c,i}$ تغییر طول محوری ستون در طبقه‌ی i ام و $A_{c,i}$ مساحت مقطع ستون طبقه i ام، $N_{c,i}$ نیروی محوری در ستون طبقه‌ی i ام، M_i لنگر خمشی طبقه i ام می‌باشد که ناشی از نیروهای جانبی اعمال شده به دیوار برشی است. با محاسبه‌ی دررفت خمشی هر طبقه، می‌توان نمودار پوش‌آور به‌دست‌آمده با دررفت برشی در بخش قبلی را به‌صورت تصویر ۲۴ اصلاح کرد و بدین ترتیب نمودار نیروی برشی طبقه-دررفت طبقه را ترسیم کرد.



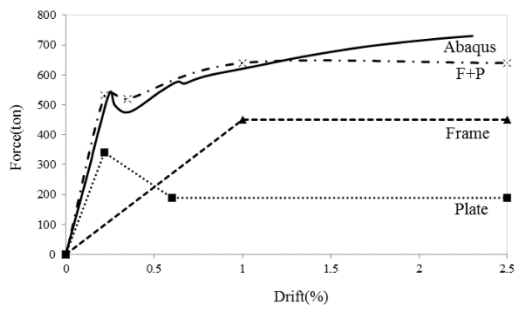
شکل ۲۴: نمودار برش پایه-دررفت طبقه i ام بر اساس



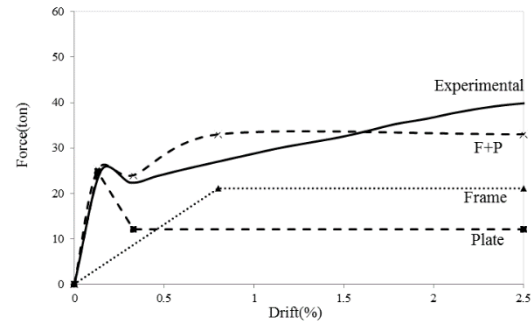
شکل ۲۵: دررفت خمشی و برشی در طبقه‌ی سوم یک دیوار برشی چهار طبقه، (الف) دررفت خمشی، (ب) دررفت برشی

۷-۳- صحت سنجی

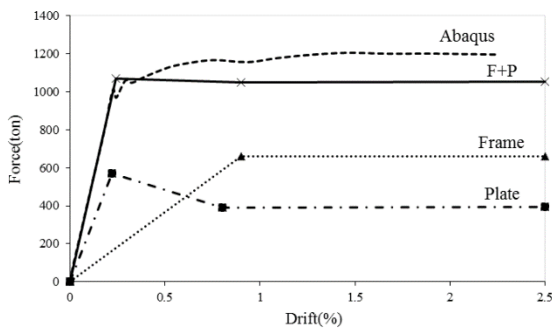
در تصویر ۲۶، روش پیشنهادی با نمودار پوش‌آور نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران [۲۳]، نمودار پوش‌آور نمونه‌های اجزا محدود (طبقات اول و سوم دیوار برشی ۶ طبقه، طبقات اول و ششم دیوار برشی ۱۰ طبقه) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی و اجزاء محدود مطابقت خوبی دارد.



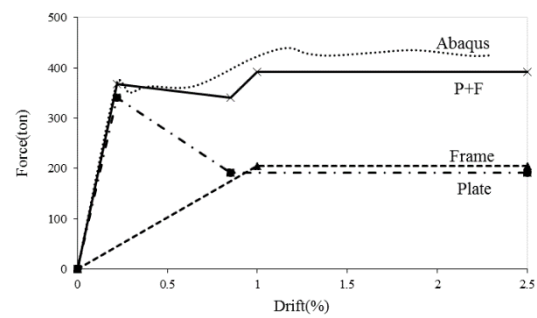
(ب)



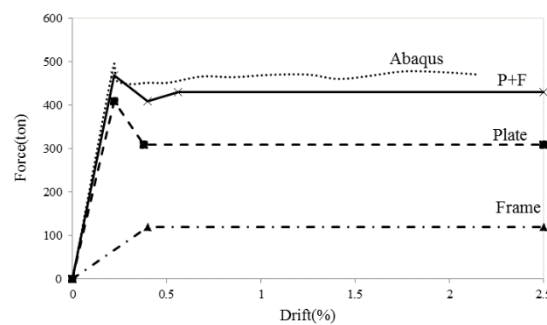
(الف)



(ت)



(پ)



(ث)

شکل ۲۶: صحت سنجی روش پیشنهادی با نمونه‌ی آزمایشگاهی و مدل‌های عددی، (الف) نمونه‌ی آزمایشگاهی امامی و همکاران، (ب) طبقه‌ی اول مدل ۶ طبقه، (پ) طبقه‌ی سوم مدل ۶ طبقه، (ت) طبقه‌ی اول مدل ۱۰ طبقه، (ث) طبقه ششم مدل ۱۰ طبقه

۸- نتیجه گیری

این مطالعه به بررسی رفتار سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای و بدست آوردن روابطی جهت تخمین نمودار پوش‌آور این سیستم می‌پردازد. بدین منظور، ۲۰ نمونه دیوار برشی فولادی با ورق کنگره‌ای در ابعاد و تعداد طبقات مختلف طراحی گردید و با مدلسازی در نرم افزار آباکوس، تحلیل پوش‌آور انجام شد. در این مطالعه نحوه‌ی ایجاد کمانش، نحوه‌ی تسلیم‌شدگی و نحوه‌ی توزیع برش بین قاب و ورق بررسی گردید و نتایج زیر استخراج شد:

- دیوار برشی کنگره‌ای تا دریفت حدود ۰,۱ درصد کمانش نمی‌کند، درحالی‌که دیوار برشی با ورق تخت در همان شروع بارگذاری کمانش می‌کند.
 - سختی اولیه‌ی دیوار برشی کنگره‌ای نسبت به دیوار برشی تخت بیشتر می‌باشد.
 - میدان کششی در دیوار برشی کنگره‌ای در فاصله‌ی بین تیرها ایجاد می‌شود و کل مساحت ورق را پوشش نمی‌دهد، درحالی‌که میدان کششی در دیوار برشی با ورق تخت، در کل مساحت ورق ایجاد می‌شود. به همین دلیل مقاومت نهائی دیوار برشی با ورق تخت از مقاومت نهائی دیوار برشی با ورق کنگره‌ای بیشتر می‌باشد.
- تا قبل از وقوع کمانش در ورق کنگره‌ای، درصد بیشتری از نیروی برشی در طبقات توسط ورق تحمل می‌گردد اما پس از کمانش در ورق، افت قابل توجهی در مقاومت ورق ایجاد می‌گردد و درصد بیشتری از نیروی برشی توسط قاب تحمل می‌شود.
- در این مطالعه، رابطه‌ای برای تعیین زاویه‌ی میدان کششی ارائه‌شد؛ بر اساس این رابطه، زاویه‌ی میدان کششی فقط به پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع دیوار برشی وابسته است و پارامترهایی مانند ضخامت ورق، تنش تسلیم ورق مؤثر نمی‌باشد.
- در این مطالعه، دریفت سازه‌های یک طبقه و چند طبقه بررسی شد. در سازه‌های یک طبقه، دریفت به صورت برشی و در سازه‌های چند طبقه به صورت خمش و برش است که اصطلاحاً دریفت برشی و خمشی گفته می‌شود. دریفت خمشی در اثر تغییرشکل‌های محوری ستون‌های سمت چپ و راست دیوار برشی ایجاد می‌گردد؛ به‌نحوی‌که طبقه، دچار چرخش صلب و در نتیجه دریفت خمشی می‌شود. برای محاسبه‌ی دریفت کل هر طبقه لازم است دریفت خمشی آن طبقه محاسبه و به دریفت برشی آن طبقه اضافه شود.
- قسمت مهم این مطالعه، روشی است که بوسیله‌ی آن نمودار پوش‌آور سیستم دیوار برشی با ورق کنگره‌ای برای سیستم‌های یک طبقه و چندطبقه تخمین زده می‌شود. این روش بر اساس اندرکنش بین قاب و ورق کنگره‌ای پایه‌گذاری شد و با نمودار پوش‌آور نمونه‌های آزمایشگاهی و عددی مورد تأیید قرار گرفت.

مراجع

1. Ziemian RD, editor. Guide to stability design criteria for metal structures. New York: John Wiley and Sons, Inc.; 2010.
2. Thorburn LJ, Kulak GL, Montgomery CJ. Analysis of steel plate shear walls. Struct Engrg Rep. no.107. University of Alberta, Edmonton, Canada: Department of Civil Engineering; 1983.
3. Tromposch EW, Kulak GL. Cyclic and static behaviour of thin panel steel plate shear walls. Struct Engrg Rep. no.145. University of Alberta, Edmonton, Canada: Department of Civil Engineering; 1987.
4. Sabouri-Ghomi S, Roberts TM. Nonlinear dynamic analysis of steel plate shear walls including shear and bending deformations. Eng Struct 1992;14 (5):309-17.
5. Elgaaly M, Caccese V, Du C. Postbuckling behavior of steel-plate shear walls under cyclic loads. J Struct Eng ASCE 1993;119(2):588-605.
6. Rezaei M. Seismic behaviour of steel plate shear walls by shake table testing. [PhD dissertation] Vancouver, BC: Dept. of Civil Eng, University of British Columbia; 1999.

7. Astaneh-Asl A. Steel tips, seismic behavior and design of steel shear walls. Tech. report. Moraga (CA, USA): Structural Steel Educational Council; 2001.
8. Clayton PM, Berman JW, Lowes LN. Subassembly testing and modeling of self centering steel plate shear walls. *Eng Struct* 2013;56:1848–57.
9. Nakashima M, Iwai S, Iwata M, Takeuchi T, Konomi S, Akazawa T, et al. Energy dissipation behaviour of shear panels made of low yield steel. *J Earthq Eng Struct Dyn* 1994;23:1299–313.
10. Nakashima M. Strain-hardening behaviour of shear panel made of low yield steel. I: Test. *J Struct Eng-AISC* 1995:1742–9.
11. Hitaka T, Matsui C. Experimental study on steel shear walls with slits. *J Struct EngASCE* 2003;129(5):586–95.
12. Berman JW. Seismic behavior of code designed steel plate shear walls. *Eng Struct* 2011;33(1):230–44.
13. Alavi E, Nateghi F. Experimental study of diagonally stiffened steel plate shear walls. *J Struct Eng* 2013;139(11):1795–811.
14. Berman JW, Bruneau M. Experimental investigation of light-gauge steel plate shear walls. *J Struct Eng-AISC* 2005;131(2):259–67.
15. Sabouri-Ghomi, S. and Asad Sajjadi, R. (2012), “Experimental and theoretical studies of steel shear walls with and without stiffeners”, *J. Construct. Steel Res.*, 75, 152-159.
16. Sabouri-Ghomi, S. and Mamazizi, S. (2015), “Experimental investigation on stiffened steel plate shear walls with two rectangular openings”, *Thin-Wall. Struct.*, 86, 56-66.
17. Loughlan, J. and Hussain, N. (2014), “The in-plane shear failure of transversely stiffened thin plates”, *ThinWall. Struct.*, 81, 225-235.
18. De Matteis, G., Mazzolani, F.M. and Panico, S. (2008), “Experimental tests on pure aluminium shear panels with welded stiffeners”, *Eng. Struct.*, 30(6), 1734-1744. [۱۸].
19. Brando, G. and De Matteis, G. (2014), “Design of low strength-high hardening metal multi-stiffened shear,” *Eng. Struct.*, 60, 2-10.
20. Alinia, M. and Sarraf Shirazi, R. (2009), “On the design of stiffeners in steel plate shear walls”, *J. Construct. Steel Res.*, 65(10), 2069-2077.
21. Takahashi Y, Takemoto Y, Takeda T, Takagi M. Experimental study on thin steel shear walls and particular bracings under alternative horizontal load. Preliminary rep. IABSE symp. on resistance and ultimate deformability of struct. Acted on by well-defined reported loads. International Association for Bridge and Structural Engineering, Lisbon, Portugal; 1973, pp. 185–191.
22. Ibrahim SA, El-Dakhkhni VW, Elgaaly M. Behavior of bridge girders with corrugated webs under monotonic and cyclic loading. *Eng Struct* 2006;28(14):1941–55
23. Emami, F., Mofid, M., and Vafai, A. (2013). “Experimental Study on Cyclic Behavior of Trapezoidally Corrugated Steel Shear Walls”, *Engineering Structures*, 48(March), pp. 750-762.
24. Kalali, H., Hajsadeghi, M., Zirakian, T., and Alaei, F. J. (2015). “Hysteretic performance of SPSWs with trapezoidally horizontal corrugated web-plates”, *Steel Composite Structures, An International Journal*, pp. 277-292.
25. Hosseinpour, E., Baharom, S., and Yadollahi, Y. (2015). “Evaluation of Steel Shear Walls Behavior with Sinusoidal and Trapezoidal Corrugated Plates”, *Advances in Civil Engineering*, Vol. 2015, Article ID 715163.
26. Edalati, S. A., Yadollahi, Y., Pakar, I., Emadi, A., and Bayat, M. (2014). “Numerical Study on the Performance of Corrugated Steel Shear Walls”, *Wind and Structures*, 19(4), pp. 405-420.

27. Bhowmick, A. K., Grondin, G. Y., and Driver, R. G. (2014). "Nonlinear Seismic Analysis of Perforated Steel Plate Shear Walls", *Journal of Constructional Steel Research*, 94(March), pp. 103-113.
28. Farzampour, A., & Laman, J. A. (2015). " Behavior prediction of corrugated steel plate shear walls with openings." *Journal of Constructional Steel Research*, 114, 258-268.
29. ASCE, SEI/ASCE 7-05. Minimum design loads for buildings and other structures. Virginia (USA): American Society of Civil Engineers; 2005.
30. AISC. Steel design guide 20, steel plate shear walls. Chicago (IL): American Institute of Steel Construction; 2007.
31. Qu B, Bruneau M, Lin CH, Tsai KC. Testing of full-scale two-story steel plate shear wall with reduced beam section connections and composite floors. *J Struct Eng* ASCE 2008;134(3):364–72.
32. Habashi HR, Alinia MM. Characteristics of the wall–frame interaction in steel plate shear walls. *J Constr Steel Res* 2010;66:150–8.
33. Eurocode (2003). Design of Steel Structures. Part 1.5:Plated Structural elements. European Committee for Standardization, Brussels.
34. Driver RG, Kulak GL, Kennedy DJL, Elwi AE. Cyclic test of four-story steel plate shear wall. *J Struct Eng-ASCE* 1998;124(2):112–30.
35. Hosseinzadeh SAA, Tehranizadeh M. Behavioral characteristics of code designed steel plate shear wall systems. *J Constr Steel Res* 2014;77:72–84.
36. Choi I-R, Park H-G. Steel plate shear walls with various infill plate designs. *J Struct Eng* 2009;135:785–96.
37. ANSI/AISC 341–10. Seismic provisions for structural steel buildings. Chicago (IL): AISC; 2010.
38. Athanasios I, Dimopoulos, Nikitas.B, Dimitri.E, Beskos, (2002). " Seismic yield displacements of plane moment resisting and x-braced steel frames ." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* , Vol.41, pp.128–140.
39. Jing-Zhong, T. Yan-Lin , G. (2018). " Shear resistance of stiffened steel corrugated shear walls", *Thin-Walled Structures* , Vol.127 pp.76–89.
40. Hassanein, M.F. (2011). " Finite element investigation of shear failure of lean duplex stainless steel plate girders ", *Thin-Walled Structures* , Vol.49 pp.964–973.
41. Yi , J . Gil , H. Youm, k. Lee, H. (2008). "Interactive shear buckling behavior of trapezoidally corrugated steel webs." *Engineering Structures.*, Vol.30, pp.1659–1666.
42. Zhu, L.Nie,J.Tao,M. Tang,L. (2013). "Shear strength of trapezoidal corrugated steel webs." *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.85, pp.105-115.