

# امکان سنجی تضمین تغییر شکل‌های یکنواخت با استفاده از دیوارهای برشی فولادی دارای اتصالات جزئی

زهرا علی عرب<sup>۱</sup>، علی بیگلری فدافن<sup>۲\*</sup>

۱. زهرا علی عرب، کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران،  
۲. علی بیگلری فدافن، استادیار گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران،

biglari.a@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۸

## چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی امکان‌پذیری تضمین تغییر شکل‌های یکنواخت در سیستم باربر جانبی دیوارهای برشی فولادی لاغر پرداخته شده است. بدین منظور با به کارگیری نرم‌افزار المان محدود ABAQUS<sup>TM</sup> یک قاب ۳ طبقه بتنی مدلسازی و به روش تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی آنالیز شده است. دیوارهای برشی فولادی با توجه به مزایایی از جمله: جذب انرژی بالا، شکل‌پذیری، سرعت اجرا و صرفه اقتصادی از متداول‌ترین سیستم‌های مقاوم جانبی هستند. بر اساس آیین‌نامه آشتو ۲۰۱۸ صفحات فولادی با توجه به ضخامت به سه محدوده رفتاری لاغر، متوسط و ضخیم تقسیم می‌شوند. در این مقاله سه ضخامت مختلف در محدوده رفتاری صفحات لاغر انتخاب شد و چگونگی اتصال آنها به المان‌های پیرامونی به صورت سرتاسری و جزئی تعریف شد. نتایج نشان دادند که بطور کلی کاهش طول اتصال صفحه منجر به افزایش بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات می‌شود. به گونه‌ای که در اتصال سرتاسری و در ۵۰٪ اتصال دیوار برشی فولادی به المان‌های پیرامونی، نسبت بیشینه به کمینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات به ترتیب از ۱/۵ تا ۲/۴ افزایش یافته است. البته طبق نتایج به دست آمده، محدوده‌هایی بحرانی وجود دارند که در آنها کاهش طول اتصال می‌تواند روی افزایش مقاومت صفحه و کاهش تغییر شکل‌ها تأثیرگذار باشد. در صفحات لاغر با ضخامت‌های بسیار کم مقاومت کمانشی برشی بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی کردن است و صفحه بلافاصله پس از بارگذاری وارد مقاومت پس از کمانش می‌شود، به همین دلیل نتایج مربوط به این صفحات تعیین‌کننده رفتار سازه است. با کاهش ضخامت عدم یکنواختی در بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات دیده شد که با تغییر طول اتصالات جزئی صفحه فولادی برشی به المان‌های پیرامونی، بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات در ارتفاع سازه اصلاح شد.

**واژگان کلیدی:** دیوار برشی فولادی، صفحات فولادی لاغر، مقاوم‌سازی، تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی.

## ۱. مقدمه

ویژگی‌های رفتاری از قبیل شکل‌پذیری، ظرفیت باربری، سختی و جذب انرژی مورد بررسی قرار بگیرند. یکی از رایج‌ترین روش‌ها، استفاده از سیستم مقاوم جانبی دیوارهای برشی است [1]. دیوارهای برشی فولادی یک سیستم مقاوم جانبی بسیار مؤثر در کنترل رفتار سازه در تحمل بارهای جانبی هستند [2]. در چهار دهه اخیر، استفاده از سیستم‌های دیوار برشی فولادی

سیستم‌های مقاوم جانبی سازه‌ای مختلف با هدف تحمل همزمان بارهای گرانشی و جانبی طراحی و مقاوم‌سازی می‌شوند. از جمله سیستم‌های باربر جانبی می‌توان به قاب‌های خمشی، مهاربندی‌ها، دیوارهای برشی و افزونه‌های جاذب انرژی، اشاره کرد. تمام این سیستم‌های مقاوم جانبی می‌توانند به منظور بهبود عملکرد

در بسیاری از ساختمان‌های بلند مرتبه به عنوان سیستمی مقاوم در برابر بارهای جانبی، به دلیل عملکرد رضایت‌بخش آنها مورد استفاده قرار گرفته است [3]. برای نمونه در ساختمان‌های مهمی در آمریکای شمالی و ژاپن، این نوع سیستم باربر جانبی، رفتار بسیار مطلوبی در برابر زمین لرزه‌های قوی نشان داده است [4]. همچنین، به دلیل عملکرد مطلوب سیستم‌های دیوارهای برشی فولادی، طی زلزله‌های نورث ریج، ایالات متحده، کوبه و ژاپن استفاده از دیوارهای برشی فولادی در کشورهای لرزه‌خیز بسیار افزایش یافته است. سیستم دیوارهای برشی فولادی به صورت تقویت‌شده و تقویت‌نشده به عنوان سیستم دوگانه مقاوم در برابر بارهای جانبی کاربرد گسترده‌ای دارند. از آنها برای ساخت و مقاوم‌سازی ساختمان‌های فولادی میان‌مرتبه و بلندمرتبه، به علت جزئیات اجرایی ساده‌تر نسبت به دیوارهای بتن مسلح و بنایی، استفاده می‌شود. علاوه بر سختی، مقاومت و جذب انرژی بالایی دیوارهای برشی فولادی، شکل‌پذیری، دوام کم و بیش بالا و صرفه اقتصادی، از دیگر مزایای این نوع سیستم نسبت به سایر قاب‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی (از جمله اتصالات مختلف مهاربندی، دیوارهای برشی بتن مسلح و قاب‌های گیردار) می‌باشند. همچنین، دیوارهای برشی فولادی به ویژه نسبت به دیوارهای برشی بتن مسلح دارای وزن بسیار کم‌تری بوده که به همین علت، می‌توانند موجب کاهش در وزن لرزه‌ای ساختمان و در نتیجه کاهش بارهای لرزه‌ای وارد بر سازه شوند. علاوه بر این، استفاده از دیوارهای برشی فولادی باعث افزایش میزان استفاده از فضای طبقات ساختمان و کاهش زمان ساخت می‌شود [5, 6]. به دلیل وزن کمتر، سرعت اجرا و در نتیجه کاهش هزینه‌های ساخت و ساز در دیوارهای برشی فولادی نسبت به دیوارهای برشی بتن مسلح، استفاده از آنها به طور قابل توجهی گسترش پیدا کرده است [7]. سیستم دیوارهای برشی فولادی از لحاظ عملکرد شبیه تیروورق‌ها هستند. در دیوارهای برشی فولادی، ستون‌ها مشابه بال‌ها، صفحه فولادی پرکننده به عنوان جان و تیرها مشابه با سخت‌کننده‌ها در سیستم تیروورق، عمل می‌کنند [8, 9]. استفاده از صفحات پرکننده تقویت شده در سیستم دیوار برشی فولادی باعث تغییر در رفتار این سیستم به ویژه در ناحیه غیرخطی می‌شود [9]. بر اساس ضخامت صفحه

پرکننده، می‌توان دیوارهای برشی فولادی را به سه دسته دیوارهای برشی لاغر، متوسط و ضخیم تقسیم کرد [7]. به طور کلی، عملکرد دیوارهای برشی فولادی بر مبنای ایجاد میدان کششی قطری در صفحه فولادی است که پس از کمانش آن رخ می‌دهد [4]. کمانش صفحات برشی فولادی قبل از تسلیم، باعث ایجاد میدان کششی و بهبود عملکرد این نوع سیستم مقاوم جانبی می‌شود [10]. عملکرد برشی صفحات فولادی در دیوارهای برشی و سایر سازه‌ها می‌تواند تضمین‌کننده رفتار مورد نظر طراح باشد [11] [12]. با توجه به اهمیت زمان وقوع کمانش و تسلیم در عملکرد برشی صفحات فولادی، از سال ۱۹۵۰، رفتار کمانشی و پس از کمانش صفحات برشی لاغر بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. محاسبه بارکمانشی الاستیک صفحات مسطح تقویت‌نشده، ابتدا توسط بریان انجام شد [13]. تیموشنکو کمانش صفحات مستطیلی تحت تنش‌های برشی میان‌صفحه‌ای را، تنها در مود کمانشی متقارن، با استفاده از روش انرژی بررسی کرد [14].

با توجه به لزوم معماری، عبور تأسیسات و بخاطر کاهش سختی دیوارهای برشی فولادی بعضی مواقع ایجاد بازشوها در صفحه فولادی الزامی است. با توجه به اینکه در برخی شرایط ایجاد بازشو در صفحات فولادی اجتناب‌ناپذیر است، پژوهشگرانی روی چگونگی تأثیر بازشو بر عملکرد دیوارهای برشی فولادی مطالعاتی داشته‌اند. به عنوان نمونه در سال ۲۰۲۱ اثر بازشوهای بیضی شکل و دایروی، از لحاظ چگونگی چیدمان و تعداد بازشوها روی توزیع تنش، سطح جذب انرژی و ظرفیت نهایی باربری سیستم (منحنی هیستریزس) مورد مطالعه قرار گرفت [4]. در این پژوهش از نرم‌افزار المان محدود آباکوس استفاده شد و بارگذاری سیکلی روی مدل‌ها انجام شد. طبق نتایج به طور کلی با افزایش ۱۰ برابری از ۱/۴۵ تا ۱۴/۵٪ در بازشوها به طور میانگین ۲۰٪ کاهش در ظرفیت جذب انرژی و کاهش قابل توجهی در ظرفیت برشی صفحات مشاهده می‌شود. همچنین، ولیزاده و همکاران، رفتار دیوارهای برشی فولادی را با در نظر گرفتن بازشوهای دایروی در اطراف صفحه و بر اساس مدلسازی‌های عددی و آزمایشگاهی بررسی کردند. طبق نتایج آنها صفحه دارای بازشوهای دایروی پیرامونی باعث کاهش

نیروهای وارد شده به المان‌های مرزی شد. همچنین توانست تا ۴۴٪ شکل‌پذیرتر رفتار کند و ۲۸٪ نسبت میرایی بیشتری در دریفت بالای ۵٪ نشان داد. [15]. علاوه بر این در سال ۲۰۲۱ توسط سیار رودسری و همکاران با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس روی تأثیر ضخامت و انواع بازشوهای دایروی و مربعی بر عملکرد دیوارهای برشی فولادی موج‌دار (موج سینوسی و دوزنقه ای) مطالعاتی انجام گرفت [16]. این نوع المان‌ها می‌توانند به صورت افقی به عنوان دیافراگم یا به صورت قائم به عنوان دیوارهای برشی برای انتقال بارهای جانبی در سیستم‌های سازه‌ای مورد استفاده قرار بگیرند. نتایج آنها نشان داد که در صفحات بدون بازشو صفحات موج‌دار دوزنقه‌ای باربری بیشتری نسبت به صفحات موج‌دار سینوسی دارند. بهترین مکان قرارگیری بازشوها در مرکز صفحات برشی است. در دیوارهای برشی فولادی دارای بازشو دایروی کاهش سختی کمتری مشاهده می‌شود. در سال ۲۰۱۹ نیز توسط زمانی و خطیبی تأثیر بازشوهای بیضی شکل روی رفتار چرخه‌ای دیوارهای برشی فولادی در مقایسه با بازشوهای دایروی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه روی پارامترهایی مانند سختی الاستیک، نسبت شکل‌پذیری و جذب انرژی صورت گرفت. طبق نتایج آنها بازشوهای بیضی شکل با نسبت قطری ۰/۵ (نسبت قطر کوچکتر به بزرگتر)، ظرفیت نهایی را تا ۱۵٪ افزایش می‌دهد. سختی الاستیک، نسبت شکل‌پذیری قاب و جذب انرژی نیز به ترتیب، ۲۸٪، ۳٪ و ۸٪ بهبود یافته است. طبق بررسی‌های صورت گرفته درحالتی که نسبت فاصله مرکز به مرکز بازشوهای بیضی شکل به عرض کل صفحه فولادی برابر با ۰/۱۷ باشد، منجر به بهبود عملکرد سیستم باربر جانبی می‌شود [17]. عامل دیگر تأثیرگذار روی سختی و عملکرد برشی دیوارهای فولادی کاهش اتصال صفحه پرکننده به المان‌های پیرامونی است. در سال ۲۰۲۱ در پژوهشی یک روش جدید برای ارزیابی رفتار دیوارهای برشی فولادی با اتصال قسمتی از ارتفاع صفحه پرکننده به المان‌های مرزی قائم، توسط حاجی میرصادقی و فنایی بررسی شد [2]. به صورتی که در این نوع اتصال بخش میانی صفحه پرکننده به المان‌های مرزی قائم اتصال نداشت. در این نوع اتصال، کاهش طول اتصال بین صفحه پرکننده و المان‌های قائم منجر به کاهش سختی و خمش روی

المان‌های مرزی قائم شد. همچنین برای بررسی چگونگی شکل‌گیری میدان کششی در صفحه پرکننده، روی ۴ نمونه آزمایشگاهی با مقیاس کوچک بارگذاری Push Over صورت گرفت. اجرای ساده اتصال صفحات فولادی به قاب‌های فولادی و بتنی از دیگر مواردی است که در گسترش بکارگیری دیوارهای برشی فولادی به ویژه در فرآیند مقاوم‌سازی نقش دارد. به همین جهت استفاده از دیوارهای برشی فولادی به عنوان سیستم باربر جانبی، توسط مهندسین سازه بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به سختی اولیه، مقاومت نهایی بالا، شکل‌پذیری و ظرفیت جذب انرژی فوق العاده دیوارهای برشی فولادی فصل سوم از آیین‌نامه AISC 341 به معیارهای طراحی لرزه‌ای در دیوارهای برشی فولادی اختصاص پیدا کرده است [18, 19]. در سال ۲۰۰۳ در آیین‌نامه سازه‌های فولادی کانادا، FEMA 450 دستورالعمل‌هایی برای طراحی دیوارهای برشی فولادی پیشنهاد شده است [20]. در سال ۲۰۰۵، لزوم طراحی دیوارهای برشی فولادی با جزئیات ویژه، به بخش سازه‌های فولادی آیین‌نامه AISC اضافه شد [21]. بر اساس مطالعات انجام شده و بر مبنای آیین‌نامه آشتو ۲۰۱۸، رفتار صفحات برشی با توجه به نسبت لاغری در سه دسته کلی لاغر، متوسط و ضخیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در صفحات لاغر، ظرفیت کمناش برشی ورق ( $V_{CR}$ ) کوچکتر از ظرفیت برشی حد خطی آن ( $V_p$ ) است (کمناش الاستیک رخ می‌دهد). در صفحات متوسط ظرفیت کمناش برشی ورق ( $V_{CR}$ ) بین ظرفیت برشی حد خطی ( $V_p$ ) و ظرفیت اسمی تسلیم برشی ( $V_y$ ) قرار می‌گیرد (کمناش غیرالاستیک رخ می‌دهد). در صفحات ضخیم نیز ظرفیت کمناش برشی ورق ( $V_{CR}$ ) بزرگتر از ظرفیت اسمی تسلیم برشی آن ( $V_y$ ) است (کمناش پلاستیک رخ می‌دهد) [22]. روابط (۳) تا (۵) روابط ارائه شده در آیین‌نامه آشتو ۲۰۱۸ [22] برای محاسبه ظرفیت کمناش برشی صفحات فولادی ( $\tau_{CR}$ ) هستند. در این روابط مرزبندی سه محدوده لاغر، متوسط و ضخیم براساس نسبت لاغری ( $\lambda$ ) صورت گرفته است. طبق مطالعات اخیر روی محدوده وسیعی از نسبت‌های لاغری صفحات برشی، علاوه بر سه محدوده رفتاری کلاسیک (لاغر، متوسط و ضخیم)، دو محدوده بسیار لاغر و بسیار ضخیم نیز، با توجه به کاربردهای

اساس تعریف انجام شده برای مقدار لاغری و بر اساس آیین‌نامه آشتو ظرفیت کمانشی صفحات برشی فولادی قابل تخمین است، اگر نسبت لاغری  $\lambda$  و پارامتر لاغری  $\beta$  بر اساس روابط (۱) و (۲) تعریف شوند [25]. در رابطه (۱) پارامتر  $b$  همواره بعد کوچکتر صفحه است.

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$$\beta = \lambda \sqrt{\sigma_y / E}$$

$$\tau_{cr} = \frac{0.9EK}{\lambda^2}; \quad x \sqrt{EK/\sigma_y} < \lambda \quad (x=1.4)$$

$$\tau_{cr} = \frac{0.65\sqrt{EK\sigma_y}}{\lambda}; \quad x \sqrt{EK/\sigma_y} < \lambda \leq y \sqrt{EK/\sigma_y} \quad (x=1.12 \text{ \& } y=1.4)$$

$$\tau_{cr} = 0.58\sigma_y; \quad \lambda \leq y \sqrt{EK/\sigma_y} \quad (y=1.12)$$

این پیشرفت‌ها موجب آشکار شدن ضعف‌های روش‌های پیشین طراحی شده است [33]. تحقیقات صورت گرفته نشان دادند توزیع بار جانبی در ارتفاع سازه نقشی اساسی در طراحی و چگونگی توزیع تغییرشکل سازه دارد و توزیع تغییرشکل‌ها کاملاً به نوع زمین‌لرزه و مشخصات سازه وابسته است. به همین دلیل طراحی بر اساس کنترل تغییرشکل‌ها مطرح شد چرا که طراحی بر اساس کنترل نیرو و توزیع‌های پیش‌فرض آیین‌نامه‌ای نمی‌تواند همیشه منطقی باشد [34, 35, 36]. با فرض سطح عملکرد ثابت طبق تئوری تغییرشکل‌های یکنواخت، در یک زلزله مشخص سازه‌ای که تمام اعضای آن به بیشترین مقدار مجاز تغییرشکل خود رسیده باشند، سبک‌تر از سازه‌ای است که تنها تعدادی از اعضای آن به حد مجاز خود رسیده‌اند [37, 38]. در نتیجه می‌توان با تکیه بر تئوری تغییرشکل‌های یکنواخت سازه‌ای را طراحی کرد که در مقایسه با روش‌های پیشنهادی آیین‌نامه‌ها عملکرد لرزه‌ای بهتری داشته باشد و از ظرفیت مصالح مصرفی به صورت بهینه استفاده شود [39, 40].

در این پژوهش به منظور امکان‌سنجی تحقق هدف توزیع تغییرشکل یکنواخت در سازه، رفتار یک قاب ۳ طبقه-۳ دهانه

پیشنهاد و مورد بررسی قرار گرفت. در صفحات بسیار لاغری ظرفیت کمانش برشی ورق ( $V_{cr}$ ) در مقایسه با ظرفیت نهایی ( $V_u$ ) آن بسیار ناچیز فرض می‌شود ( $V_{cr} \leq 0.1V_u$ ). در صفحات بسیار ضخیم نیز اصولاً کمانش رخ نمی‌دهد و اصطلاحاً، ظرفیت کمانشی ( $V_{cr}$ ) صفحه به صورت نظری بسیار بزرگتر از ظرفیت نهایی ( $V_u$ ) آن لحاظ می‌شود ( $V_{cr} \gg V_u$ ) [23, 24].

(۱)

(۲)

- ظرفیت برشی با فرض رفتار کمانش الاستیک

(۳)

- ظرفیت برشی با فرض رفتار کمانش غیرالاستیک

(۴)

- ظرفیت برشی با فرض رفتار کمانش پلاستیک

(۵)

تأثیر حضور ترک‌ها و نقص‌های اولیه در صفحات و اندرکنش خاک-سازه بر سیستم دیوارهای برشی فولادی نیز از موضوعات حائز اهمیت در این زمینه هستند. به همین منظور پژوهشگرانی به طور ویژه روی تأثیر آنها مطالعات متعددی انجام داده‌اند [26, 27, 28, 29]. علاوه بر سیستم دیوارهای برشی فولادی یکی دیگر از روش‌های اقتصادی و سریع به عنوان سیستم باربر جانبی در قاب‌های بتنی، مهاربندی‌های فولادی هستند. در سال ۲۰۱۹ ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های بتنی مسلح با سیستم مهاربند فولادی با بکارگیری روش‌های Push Over و IDA در میدان نزدیک به گسل صورت گرفت [30]. نتایج این ارزیابی نشان داد که ظرفیت باربری قاب بتنی مسلح با اعمال مهاربندهای CBF و EBF به ترتیب ۲/۳ و ۲ برابر افزایش می‌یابد [30]. در راستای تلاش‌های پژوهشگران با هدف افزایش شکل‌پذیری سیستم‌های مهاربندی، استفاده از حلقه‌های فولادی و رینگ‌های فولادی به عنوان عناصر جاذب انرژی با مزایا و معایب مختلف، در سال‌های اخیر مورد ارزیابی قرار گرفته است [31, 32]. در سال‌های اخیر تحلیل و طراحی لرزه‌ای و بررسی رفتار دینامیکی سازه‌ها پیشرفت چشمگیری داشته است. نتایج

## ۲- ارزیابی اولیه رفتار و درستی آزمایشی مدلسازی

به منظور ارزیابی اولیه رفتار و درستی مدلسازی، با استفاده از نرم افزار ABAQUS™ در یک قاب بتن آرمه ۳ طبقه طبق شکل (۲) آنالیز تاریخیچه زمانی انجام شده است. قاب مدلسازی شده ۳ بعدی و دارای ۳ دهانه و ۳ طبقه به ارتفاع ۳ متر بوده و در دهانه میانی قاب، از دیوارهای برشی فولادی به عنوان سیستم باربر جانبی استفاده شده است [41]. در این ارزیابی اولیه، رفتار غیرخطی بتن بر اساس مدل رفتاری بتن با مقاومت فشاری ۳۵ مگا پاسکال و مقاومت تسلیم فولاد مصرفی آرماتورها ۴۰۰ مگاپاسکال در مدلسازی اجزای محدود لحاظ شده است [41]. در قاب مدلسازی شده تیرها و ستون‌ها از نوع المان solid و با مقطع مربع شکل با ابعاد (۳۰×۳۰ Cm) است. آرماتورهایی با قطر ۱۲ میلی‌متر به عنوان آرماتورهای طولی و آرماتورهایی با قطر ۶ میلی‌متر به عنوان آرماتورهای عرضی در مقاطع تیر و ستون بکار گرفته شده است. نوع المان دیوارهای برشی فولادی در نرم‌افزار از نوع shell در نظر گرفته شده است. ضخامت‌های انتخابی برای دیوارهای برشی فولادی به گونه‌ای در نظر گرفته شده تا صفحات در محدوده رفتاری صفحات لاغر قرار بگیرند. در مطالعات صورت گرفته در سال ۲۰۱۹ رفتار این قاب در شرایطی که ابعاد صفحات فولادی کاملاً فضای میان تیرها و ستون‌ها را پوشش دهد تحت زلزله‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است [41]. در این مقاله ۶ زمین‌لرزه مصنوعی با سطح خطر DBE (سطح خطر ۱: بر اساس ۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره بازگشت ۴۷۵ سال است [42]) با استفاده از نرم‌افزار TARSC THS سازگار با طیف پاسخ طراحی EC8 و با فرض منطقه لرزه‌خیزی بالا (PGA=0.4g) و خاک نوع C ایجاد شد. هماهنگی مناسب نتایج مدلسازی با نتایج پژوهش مشابه مشاهده می‌شود، که در شکل (۲) ارائه شده است [41].

در تحلیل غیرخطی دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با توجه به درستی آزمایشی انجام شده در فرآیند مدلسازی و تأیید قابلیت روش، به بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر در سیستم مقاوم دیوارهای برشی فولادی لاغر بر جابه‌جایی طبقات، بر اساس معیار آشتو ۲۰۱۸ پرداخته شده است [22]. طبق ارزیابی انجام شده، امکان‌پذیری پیش تعریف تغییرشکل یکنواخت در سازه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در بخش بررسی نتایج مدلسازی، نمودارهای جابه‌جایی جانبی بر اساس ضخامت و چگونگی اتصال صفحات برشی فولادی به المان‌های پیرامونی ارائه شده تا بتوان به شرایطی مناسب به منظور تحقق هدف توزیع تغییرشکل یکنواخت در سازه دست یافت. بر این اساس امکان کنترل و اصلاح رفتار با هدف پیش تعریف رفتار یکنواخت سازه با طراحی طول اتصال صفحات برشی به تیرها و ستون‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تمام این مراحل به صورت الگوریتم در شکل (۱) نشان داده شده است.

شکل ۱. فلوچارت انجام تحقیق

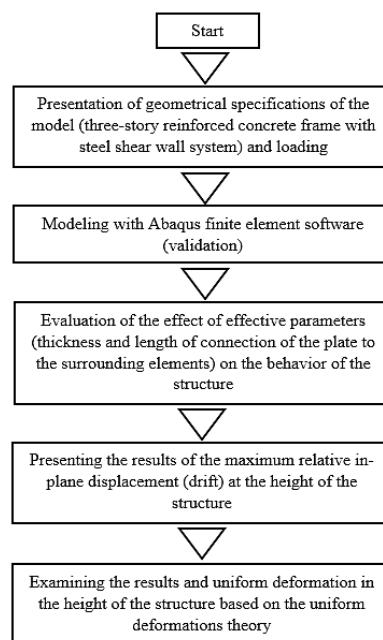


Fig. 1. Flowchart doing research

شکل ۲. مشخصات قاب مدلسازی شده

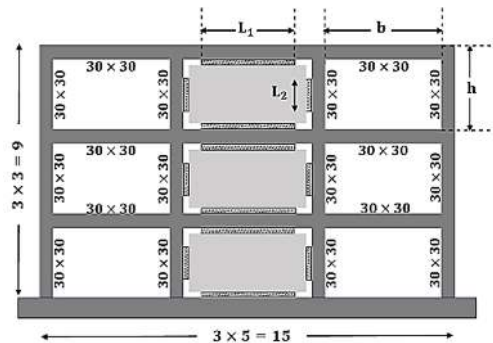


Fig. 2. Modeled frame specifications

را اثبات می‌نماید. درستی آزمایشی مربوط به بحرانی‌ترین وضعیت ارائه شده است و مشاهده می‌شود که در این حالت نیز قاب مدلسازی شده پاسخ‌گو است. (ماکزیمم درصد خطا بین نتایج به دست آمده با پژوهش قبلی، تحت زلزله A, B, و C (شکل ۲ الف، ب و ج) به ترتیب ۳/۱٪، ۴/۵٪ و ۴/۴٪ است) [41].

شکل (۳) نتایج شبیه‌سازی بر اساس تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی (۳ زمین‌لرزه از میان ۶ زمین‌لرزه مصنوعی ایجاد شده انتخاب شدند) مربوط به بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) در این مقاله با نتایجی که در پژوهش گذشته به دست آمده مقایسه شده است و درستی مدلسازی صورت گرفته

شکل ۳. نتایج درستی آزمایشی رفتار غیر خطی دینامیکی سازه (شکل ۲)

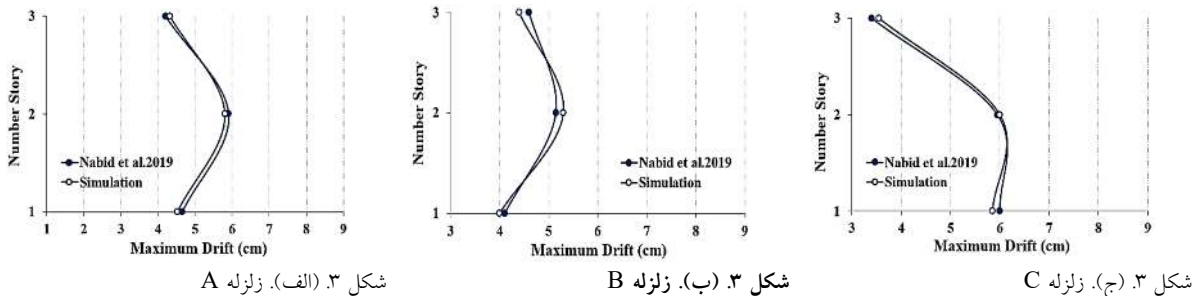


Fig. 3. Results of dynamical nonlinear capacitance validation of Fig. 2.

فولادی به المان‌های پیرامونی (تیرها و ستون‌ها) بر اساس درصدی از ابعاد صفحه برشی در نظر گرفته شده است و تأثیر نسبت طول اتصال (Connection Length Ratio) صفحات فولادی ( $CLR = L_1/b, L_2/h$ ) بر بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) و جابه‌جایی کل طبقات مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در این پژوهش هدف بررسی طول اتصال دیوار برشی فولادی به المان‌های پیرامونی و بررسی تأثیر این موضوع می‌باشد، از ارائه جزئیات چگونگی اتصال صفحه برشی فولادی با المان‌های پیرامونی اجتناب شده است. توزیع بار زنده و مرده به صورت یکنواخت برای طبقه بام به ترتیب ۱ و ۵/۳ کیلونیوتن بر متر مربع و برای سایر طبقات به ترتیب برابر با ۲/۵ و ۵/۵ کیلونیوتن بر متر مربع فرض شده است [41]. رفتار قاب مورد نظر در مرحله اول تحت اثر شتابنگاشت زلزله کوبه

### ۳- ارزیابی تأثیر پارامترهای مؤثر بر رفتار سازه

در این بخش رفتار قاب بتنی شکل (۲) با دیوار برشی فولادی با ضخامت‌های فولادی ۲، ۵ و ۸ میلی‌متر (که طبق تقسیم‌بندی آشتو ۲۰۱۸ در دامنه رفتاری لاغر قرار دارند) مورد ارزیابی قرار گرفته است [22]. جدول (۱) مشخصات هندسی صفحات فولادی پرکننده در دیوارهای برشی فولادی را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات هندسی صفحات فولادی پرکننده

|   | Length (m) | Width (m) | Thickness (mm) |
|---|------------|-----------|----------------|
| 1 | 2.7        | 4.6       | 2              |
| 2 | 2.7        | 4.6       | 5              |
| 3 | 2.7        | 4.6       | 8              |

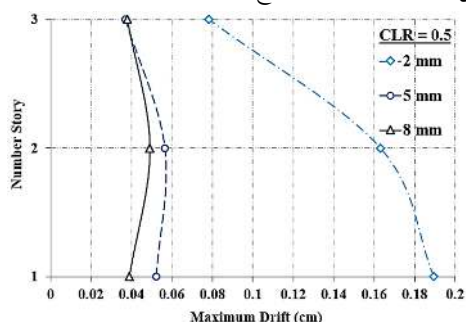
Table 1. Geometric specifications of filler steel plates

در این ارزیابی اثر تغییر طول اتصال صفحه فولادی برای محدوده صفحات لاغر بررسی شده است. اتصال دیوارهای برشی

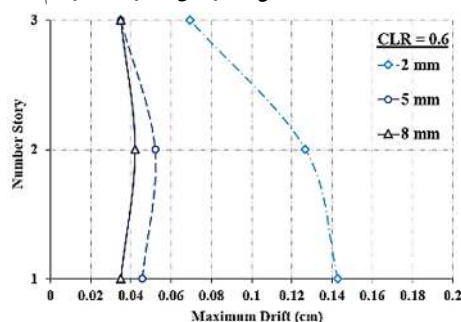
در حالت استفاده از صفحه با ضخامت کمتر (۲ میلی متر) با نسبت اتصالات مختلف (در تمام CLR ها) بیشترین جابه‌جایی سازه در طبقه اول رخ می‌دهد. با افزایش ضخامت (صفحات ۵ و ۸ میلی‌متر) در طول اتصالات مختلف نسبت به صفحه لاغرتر (۲ میلی‌متر) تقریباً جابه‌جایی یکنواختی در ارتفاع سازه مشاهده می‌شود. همچنین بیشینه جابه‌جایی در این صفحات مربوط به طبقه دوم می‌باشد و تغییر شکل سازه در  $CLR=0.7$  و  $0.75$  بسیار بهم نزدیک هستند.

مورد ارزیابی قرار گرفته است. شکل (۴) بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) را در ارتفاع سازه برای ضخامت‌های انتخابی و درصد اتصالات متفاوت نشان داده است. بطور کلی، همانگونه که پیش بینی می‌شود در ضخامت‌های مختلف، با کاهش طول اتصال دیوارهای برشی فولادی میزان بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) افزایش پیدا می‌کند و با اتصال سرتاسری صفحه به تیر و ستون‌ها، نسبت به اتصال جزئی صفحه فولادی، جابه‌جایی نسبتاً یکنواخت‌تری در ارتفاع سازه دیده می‌شود.

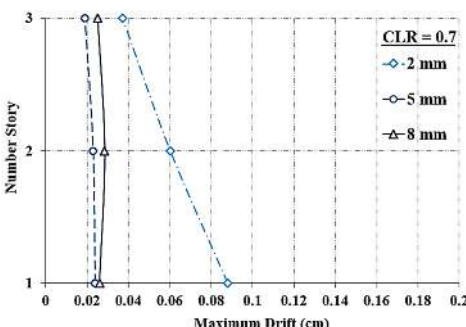
شکل ۴. بررسی تغییرات ماکزیمم جابه‌جایی نسبی داخل صفحه (دریفت) در ارتفاع سازه



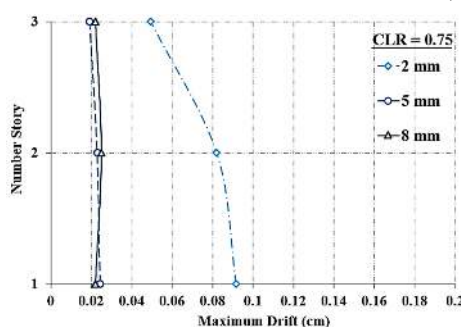
شکل ۴. الف



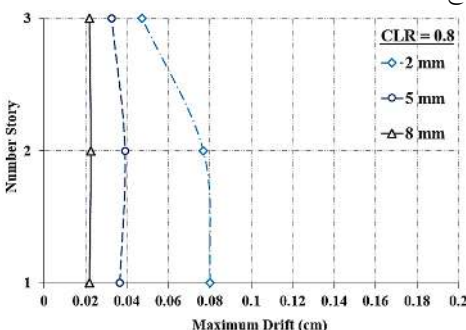
شکل ۴. ب



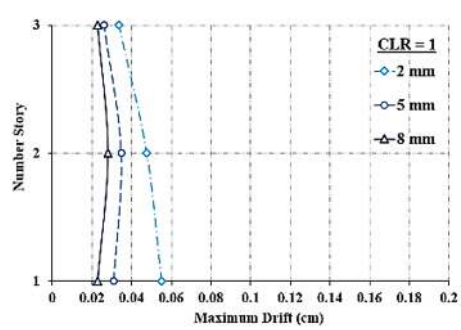
شکل ۴. ج



شکل ۴. د



شکل ۴. ه



شکل ۴. و

Fig. 4. Investigation of maximum relative in-plane displacement (drift) changes at the height of the structure



می‌شود، هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییر طول اتصال صفحات فولادی بر اصلاح رفتار سازه می‌باشد. بر این اساس تحلیل‌های متعددی انجام شده است و نتایج در ادامه ارائه شده است. در شکل (۵) در هر طبقه تغییرات نسبت بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) در مقابل تغییر نسبت‌های طول اتصال صفحه به تیر و ستون (CLR)، رسم شده است. محور افقی نسبت بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقه در طول اتصال مورد نظر به بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) همان طبقه با اتصال کامل به المان‌های پیرامونی را نشان می‌دهد. نتایج برای ضخامت صفحات فولادی ۲، ۵ و ۸ میلی‌متر (محدوده صفحات لاغر) در این بخش ارائه شده است. نسبت طول اتصال ۱ به معنی اتصال کامل (سرتاسری) طول و عرض صفحه به تیرها و ستون‌ها است که به تدریج این مقدار تا ۵۰ درصد در محور کاهش پیدا می‌کند. ابتدا به بررسی نتایج به دست آمده در طبقات مختلف خواهیم پرداخت.

شکل ۵. نسبت ماکزیمم جابه‌جایی نسبی داخلی صفحه (دریفت) در مقابل CLR برای طبقات مختلف

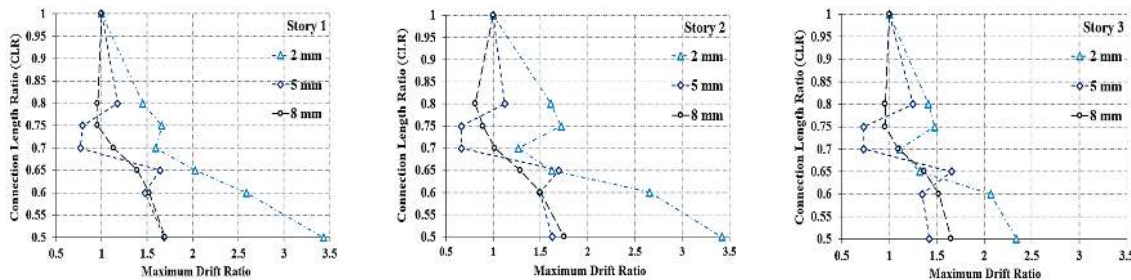


Fig. 5. The ratio of the maximum relative in-plane displacement (drift) versus CLR for different stories

برشی به المان‌های پیرامونی  $CLR < 0.7$  سختی سازه به تدریج کاهش یافته و در نتیجه بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات نیز افزایش یافته است. برای صفحات لاغرتر (نتایج ضخامت ۲ میلی‌متر در شکل (۵)) به تدریج تغییر رفتار سازه در طبقات مختلف مشاهده می‌شود که می‌تواند مبنای کنترل رفتار سازه قرار گیرد. بعد از ارزیابی که نتایج آن در شکل (۶) ارائه شده است؛ رابطه بین بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات مختلف قاب در مقابل نسبت طول اتصال صفحات برشی فولادی (CLR) مورد بررسی قرار گرفته است. محور افقی نمودارهای سمت چپ مشابه با شکل (۵) محاسبه شده است.

تأثیر ضخامت صفحه فولادی برشی بر سختی سیستم باربر جانبی در شکل (۴) قابل مشاهده است. همانطور که قابل پیش‌بینی بود، افزایش ضخامت به طور مستقیم بر سختی دیوار برشی فولادی تأثیر گذار بوده و در نتیجه افزایش سختی منجر به کاهش جابه‌جایی سازه می‌شود. ولی با توجه به اینکه در بازه  $0.75 \leq CLR \leq 0.7$  (شکل ۴ ج و د). بین صفحات ۵ و ۸ میلی‌متری این روند کمی تغییر پیدا کرده است، می‌توان گفت در این دو حالت، طول اتصال صفحه فولادی می‌تواند روی سختی المان نسبت به ضخامت آن تأثیر بیشتری داشته باشد. براساس شکل (۴ الف و ب) تغییر طول اتصال صفحه برشی فولادی بیشترین تأثیر را بر رفتار سازه مقاوم‌سازی شده با ضخامت ۲ میلی‌متری گذاشته است چون در حالت اتصال سرتاسری صفحه فولادی شکل (۴ و) تغییرات نسبتاً یکنواختی در بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات برای هر سه ضخامت دیده می‌شود. همانگونه که پیش از این گفته شده و در شکل (۴) مشاهده

در  $CLR \geq 0.8$  با کاهش ضخامت جابه‌جایی هر سه طبقه افزایش یافته است. در  $CLR = 0.75$  در تمام طبقات صفحه با ضخامت ۲ میلی‌متر و ۵ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین جابه‌جایی را دارند.  $0.8 < CLR < 0.6$  ناحیه بحرانی برای صفحه ۵ میلی‌متری محسوب می‌شود. زیرا کماتش صفحه و مقاومت پس از کماتش آن موجب کاهش بیشینه جابه‌جایی درون صفحه (دریفت) شده است. همچنین برای صفحه ۲ میلی‌متری  $0.75 < CLR < 0.6$  به عنوان ناحیه بحرانی است. در مورد صفحه با ضخامت ۸ میلی‌متر نیز با توجه به کاهش بیشینه جابه‌جایی درون صفحه (دریفت) در  $CLR \geq 0.7$  به عنوان ناحیه بحرانی محسوب می‌شود. برای صفحات با ضخامت بیشتر (نتایج ضخامت ۸ میلی‌متر در شکل (۵)) با کاهش طول اتصال صفحه



شکل ۶: تغییرات جابه‌جایی نسبی داخل صفحه (دریفت) در مقابل CLR برای صفحات برشی با ضخامت‌های مختلف

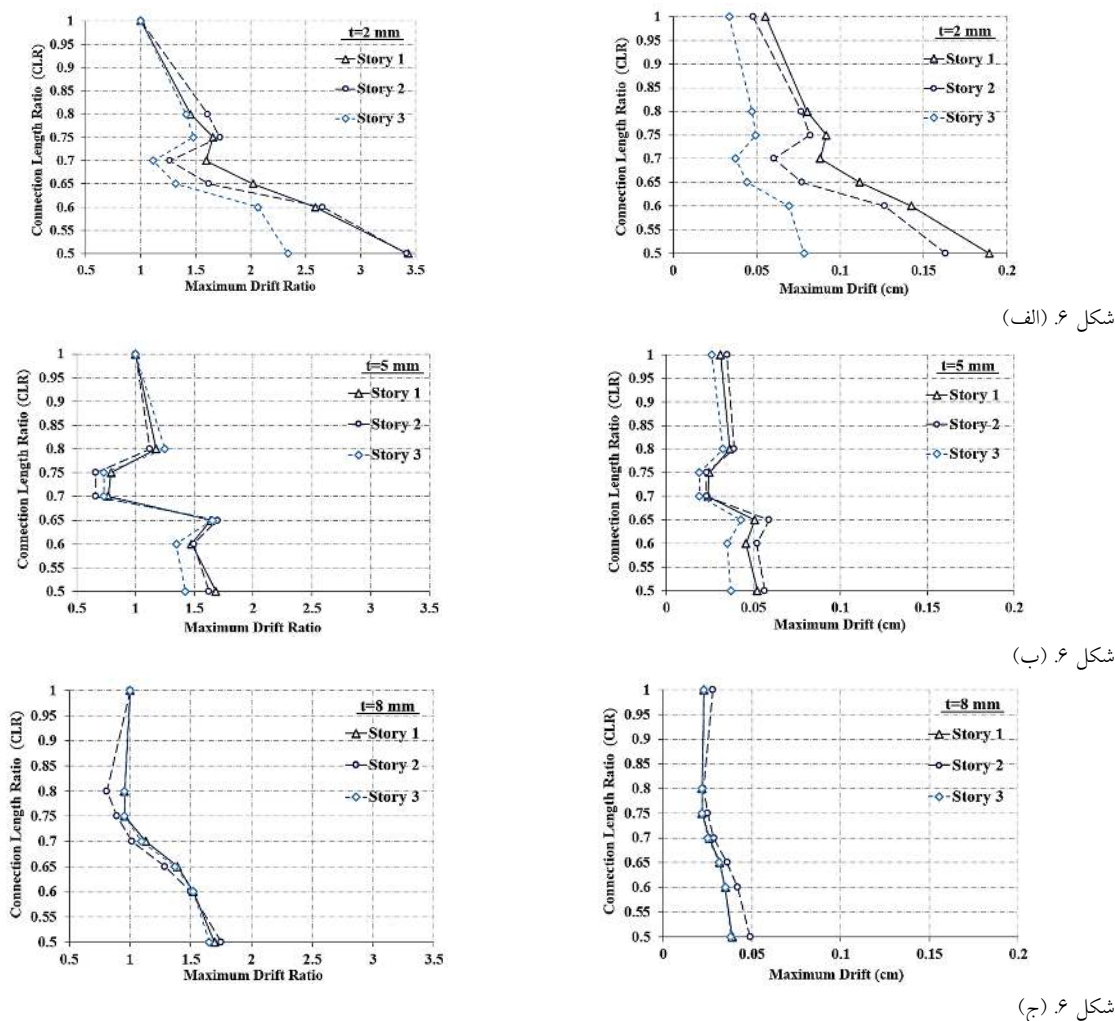


Fig. 6. Relative in-plane displacement (drift) changes versus CLR for shear plates of different thicknesses

کاهش تأثیرگذار باشد. به همین سبب در بازه‌های بحرانی باعث کاهش تغییرشکل سازه شده است. با توجه به دلایل اهمیت طراحی بر مبنای عملکرد و رسیدن به تغییرشکل‌های یکنواخت که در انتهای بخش نخست این پژوهش ذکر شد، این نکته می‌تواند در طراحی بهینه بسیار تأثیرگذار باشد. به طوریکه با یافتن طول اتصال مناسب رسیدن به تغییرشکل یکنواخت و با کمترین ضخامت دیوار برشی فولادی فراهم شود. در ادامه سعی شده است تا با توجه به اطلاعات به دست آمده در ضخامت‌های مختلف صفحات، با انتخاب طول اتصال مناسب در هر طبقه به تغییرشکل یکنواخت (Uniform Deformation) در ارتفاع سازه دست پیدا کرد. بر اساس آنالیز رفتاری انجام شده امکان پذیري رسیدن به پاسخی با الگوی تغییرشکل‌های یکنواخت

همانطور که پیش از این نیز ذکر شد، بدیهی است که افزایش ضخامت دیوارهای برشی فولادی منجر به افزایش سختی و در نتیجه کاهش بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات می‌شود. در شکل (۶) نیز مشاهده می‌شود که در ضخامت‌های بالا (۵ و ۸ میلی‌متر) نسبت به ضخامت ۲ میلی‌متر جهش کمتری در بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات مختلف با تغییر طول اتصال دیوارهای برشی رخ می‌دهد. به طوریکه بیشترین درصد اختلاف بین بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات در ضخامت‌های ۲، ۵، ۸ میلی‌متر به ترتیب در حدود برابر با ۲۵٪، ۵۰٪ و ۱۳۷٪ است. طبق نتایجی که تا این قسمت ارائه شده است، کاهش طول اتصال در نواحی ویژه می‌تواند روی توسعه میدان کششی و در نتیجه رفتار پس از

طبقات مختلف به جابه‌جایی یکنواخت در ارتفاع قاب مدلسازی شده دست یافت و الگوی مناسبی برای این رفتار پیشنهاد شود.

(UD) در ارتفاع قاب در ادامه این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور سعی شده است بر اساس نتایجی که پیش از این بررسی شد با تغییر طول اتصال صفحات فولادی برشی در

شکل ۷. تغییرات ماکزیمم جابه‌جایی نسبی (دریفت) یکنواخت در ارتفاع قاب برای ضخامت‌های مختلف صفحات برشی فولادی

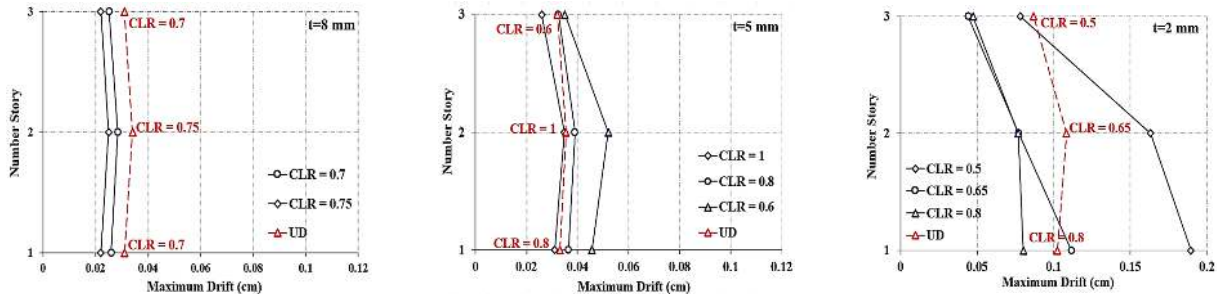


Fig. 7. Maximum relative uniform displacement (drift) changes in frame height for different thicknesses of steel shear plates

جابه‌جایی یکنواخت‌تری در طبقات مختلف ایجاد می‌شود که می‌تواند به دلیل سختی بالاتر و تأخر کماتش در این صفحات باشد. اما در صفحات لاغر با ضخامت بسیار کم اختلاف نسبتاً زیادی در جابه‌جایی نسبی طبقات دیده می‌شود. تغییر طول اتصال صفحه فولادی به تیرها و ستون‌ها باعث اصلاح این روند شده است. این تغییر در طول اتصال ممکن است در برخی موارد باعث تسریع در زمان وقوع پدیده کماتش شده و در نتیجه افزایش ناگهانی سختی سیستم و کاهش بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) شود. (شکل ۶. ب،  $0.7 < CLR < 0.8$ ). همانطور که در شکل (۷) مشاهده شد با انتخاب طول مؤثر اتصال می‌توان به جابه‌جایی تقریباً یکنواختی در ارتفاع سازه دست یافت. این مسأله به ویژه در مورد ساختمان‌های بلند می‌تواند به شدت حائز اهمیت باشد. زیرا به کارگیری صفحات فولادی با ضخامت کمتر و با اتصال جزئی علاوه بر اینکه موجب عملکرد بهتر سازه می‌شود می‌تواند سبب کاهش وزن و در نتیجه کاهش نیروی زلزله به سازه شود. همچنین، به لحاظ اقتصادی نیز می‌تواند در مقایسه با صفحات فولادی با ضخامت‌های بالاتر و اتصالات سرتاسری مقرون به صرفه باشد. در نهایت قاب مدلسازی شده در این پژوهش برای زمین‌لرزه السترو نیز تحت آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی قرار گرفت و طبق بررسی‌های صورت گرفته در شکل (۸)، پیش‌بینی می‌شود که در زمین‌لرزه السترو نسبت به زمین‌لرزه کوبه بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) بسیار محدودتر است. علاوه بر این می‌توان روی شتابنگاشت‌های متنوعی (شتابنگاشت‌های واقعی و

همانطور که در شکل (۷) قابل مشاهده است در صفحه فولادی لاغر با ضخامت‌های بسیار کم می‌توان تا حد بسیار قابل توجهی با انتخاب طول اتصال مناسب در طبقات مختلف بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) طبقات را در ارتفاع سازه کنترل کرد. در ضخامت ۲ میلی‌متری، محدوده رفتار خطی صفحه بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی کردن است و صفحه به سرعت پس از بارگذاری وارد مرحله پس از کماتش شده و از حالت رفتار خطی خارج می‌شود. به همین دلیل رفتار این صفحه در حالت کلی می‌تواند تعیین‌کننده باشد. اما در صفحات لاغر با افزایش ضخامت، صفحه فولادی پس از بارگذاری بلافاصله دچار کماتش نشده و تا مدتی در مرحله رفتار خطی باقی می‌ماند. به همین لحاظ ممکن است تا قبل از وارد شدن به مرحله غیرخطی هندسی تغییرشکل سازه در ارتفاع تقریباً یکنواخت باشد و پس از کماتش دچار تغییر شود. در حالت کلی در صفحات فولادی با ضخامت‌های بسیار پایین با تعیین طول اتصال‌های متفاوت-همانطور که در شکل (۷) برای صفحه به ضخامت ۲ میلی‌متر مشاهده می‌شود ( $CLR_{story1} = 0.8$ ) و بهینه‌سازی آنها در ارتفاع سازه، می‌توان تغییرشکل‌های غیریکنواخت را که ناشی از بحرانی شدن نقطه کماتش است به تغییرشکل‌های نسبتاً یکنواختی تبدیل کرد. طبق نتایج ارائه شده در قسمت‌های قبل نشان داده شد در حالت اتصال سرتاسری صفحه برشی فولادی به المان‌های پیرامونی قاب، با بکارگیری صفحات لاغر با ضخامت بالاتر (معادل صفحات ۵ و ۸ میلی‌متر) در ارتفاع سازه

مصنوعی) بر اساس دستورالعمل‌های ژئوتکنیک ایران مطالعات را در این زمینه انجام داد. ولی در این مرحله تمرکز نتایج روی

شکل ۸ تغییرات جابه‌جایی نسبی داخل صفحه (دریفت) در مقابل CLR برای زلزله السترو

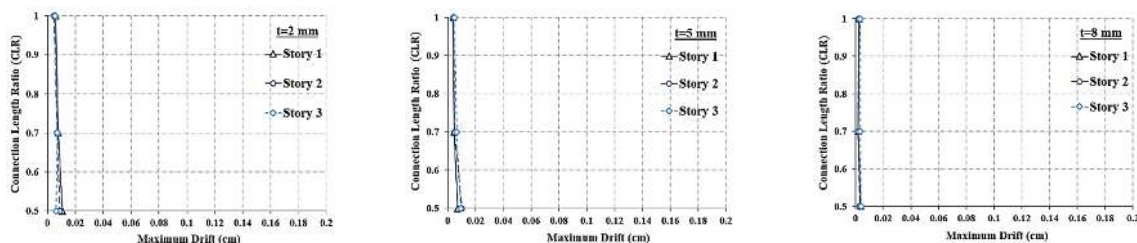


Fig. 8. Changes in relative in-plane displacement (drift) versus CLR for the EL-Centro earthquake

رفتار خطی در این صفحات بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی کردن است. به همین لحاظ رفتار دیوارهای برشی فولادی در این حالت می‌تواند تعیین‌کننده رفتار سازه باشد. با توجه به این مسأله در ضخامت‌های بسیار کم دیوارهای برشی فولادی، عدم یکنواختی در بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) دیده می‌شود. با انتخاب طول اتصال مناسب در طبقات مختلف سازه، می‌توان جابه‌جایی تقریباً یکنواختی را در ارتفاع سازه ایجاد کرد که منجر به طراحی لرزه‌ای بهینه‌تر شود.

۵- در صفحات برشی فولادی لاغر کاهش طول اتصال صفحات پرکننده به المان‌های پیرامونی ناگزیر باعث افزایش میزان بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) نمی‌شود. بر اساس ارزیابی‌های اولیه انجام شده با بکارگیری شتابنگاشت‌های دیگر، مشاهده شد که در زلزله‌های دیگر ممکن است سازه رفتار مطلوب‌تری نشان دهد. به علاوه، تأثیر تغییرشکل سازه و تغییر طول اتصال دیوار برشی فولادی روی رفتار پیش از کمانش، پس از کمانش و توسعه میدان کششی صفحه پرکننده از پارامترهای حائز اهمیت است. به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر بررسی‌های گسترده‌تری در این زمینه لازم است.

## ۵- مراجع

- [1] E. Alavi, F. Nateghi, "Experimental study on diagonally stiffened steel plate shear walls with central perforation", *Constructional Steel Research* 89, pp. 9-20, 2013.
- [2] M. r. Haji mirsadeghi, N. Fanaie, "Steel plate shear walls with partial length connection to

## ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS<sup>TM</sup> رفتار قاب بتنی دارای دیوار برشی فولادی در آنالیز تاریخچه زمانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. اتصال این صفحات برشی به قاب فولادی بصورت سرتاسری و هم به صورت جزئی (بخشی از طول و عرض صفحه برشی) است، که به المان‌های پیرامونی (تیرها و ستون‌ها) متصل شده‌اند. به منظور ارزیابی بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) و دستیابی به جابه‌جایی‌های یکنواخت در ارتفاع قاب مدلسازی شده، صفحات با ضخامت‌ها و نسبت‌های طول اتصال متفاوت برای این قاب در نظر گرفته شدند. نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

۱-  $0/6 < CLR < 0/8$  ناحیه بحرانی برای صفحه لاغر به ضخامت ۵ میلی‌متر محسوب می‌شود. زیرا به دلیل کمانش زود هنگام و بروز مقاومت پس از کمانش، بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) کاهش یافته است. همچنین  $0/6 < CLR < 0/75$  و  $CLR \geq 0/7$  به ترتیب برای صفحات ۲ میلی‌متر و ۸ میلی‌متر به عنوان ناحیه بحرانی معرفی می‌شود.

۲- در  $CLR \geq 0/8$  با کاهش ضخامت صفحات برشی فولادی به سبب کاهش سختی، بیشینه جابه‌جایی نسبی درون صفحه (دریفت) افزایش می‌یابد.

۳- افزایش ضخامت صفحه پرکننده و اجرای اتصال سرتاسری (با ضخامت‌های مختلف) در مقایسه با اتصال جزئی، جابه‌جایی یکنواخت‌تری را در ارتفاع سازه ایجاد می‌کند.

۴- در صفحات فولادی برشی لاغر با ضخامت‌های بسیار کم، صفحه برشی فولادی تقریباً بلافاصله پس از بارگذاری کمانش کرده و وارد فاز رفتار غیرخطی هندسی می‌شود. محدوده

- [14] S. Timoshenko, Theory of elastic stability, New York: McGraw Hill, 1936 .
- [15] H. Valizadeh, B. Farahmand Azar, H. Veladi و M. R. Sheidaii“ ,The shear capacity assessment of steel plate shear walls with peripheral circular holes ”,Thin-Walled Structures 163 , pp. 107-638, 2021 .
- [16] S. Sayyar Roudsari, S. M. Soleimani , S. A. Hamoush“ ,Analytical study of the effects of opening characteristics and plate thickness on the performance of sinusoidal and trapezoidal corrugated steel plate shear walls ”, Constructional Steel Research 182 ,pp. 106-660, 2021 .
- [17] E. Zamani Beydokhti , S. Khatibi“ ,Improving cyclic behavior of steel plate shear walls with elliptical perforations ”,Civil Engineering Infrastructures Journal 53 ,(1) pp. 89-102, 2019 .
- [18] A. S. Lubell, H. G. L. Prion, C. E. Ventura, member ASCE و M. Rezaei“ ,Unstiffened steel plate shear wall performance under cyclic loading ”,Structural Engineering 126 ,pp. 453-460, 2000 .
- [19] A. 360-16“ ,Supersedes the Specification for Structural Steel Buildings ”,American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois 60601-6204, 2016.
- [20] F. 450“ ,NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures ”,The building seismic safety council national institute of building sciences for the Federal emergency management agency, Washington, D.C, 2003.
- [21] AISC“ ,Seismic Provisions for Structural Steel Building ”,American Institute of Steel Construction Inc, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2005.
- [22] “American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, LRFD bridge design specifications (8th ed.) ”,2018.
- [23] Z. Aliarab , S. Hosseinzadeh“ ,Effect of buckling and yielding phenomena on the behavior of steel and aluminium shear panels ”, AmirKabir Journal of Civil Engineering 54(3) , p. 99, 2022 .
- [24] Z. Aliarab و S. Hosseinzadeh“ ,Behavioral characteristics of steel shear panels with different materials and slenderness ratios ”, AmirKabir Journal of Civil Engineering 53(4) , pp. 24-24, 2021 .
- vertical boundary element ”,Structures 32 ,pp. 1820-1838, 2021 .
- [3] M. Bahrebar, M. Z. Kabir, T .Zirakian, M. Hajsadeghi و J. B .Limd“ ,Structural performance assessment of trapezoidally-corrugated and centrally-perforated steel plate shear walls ”,Constructional Steel Research 122 ,pp. 584-594, 2016 .
- [4] F. Ahmadi zarrinkolaei, A. Naseri , S. Golampour“ ,Numerical assessment of effect of opening on behavior of perforated steel shear walls ”,Constructional Steel Research 181 ,pp. 106-587, 2021 .
- [5] S. Hosseinzadeh , M. Tehranizadeh“ ,The wall-frame interaction effect in steel plate shear wall systems ”,Constructional Steel Research 98 ,pp. 88-99, 2014 .
- [6] M. Alinia , M. Dastfan“ ,Cyclic behaviour, deformability and rigidity of stiffened steel shear panels ”,Constructional Steel Research 63 ,pp. 554-563, 2007 .
- [7] J. Yu, J. Huang, B. Li و X. Feng“ ,Experimental study on steel plate shear walls with novel plate-frame connection ”,Constructional Steel Research 180 ,pp. 106-601, 2021 .
- [8] S. Nassernia , H. Showkati“ ,Experimental study of opening effects on mid-span steel plate shear walls ”,Constructional Steel Research 137 ,pp. 8-18, 2017 .
- [9] M. gholhaki, G. Pachideh و M. Karimi , “Investigation of subpanel size effect on behavior factor of stiffened steel plate shear wall ”,Structural and Construction Engineering 5(4) ,pp. 73-87, 2017 .
- [10] C. H. Lin, K. C. Tsai, B. Qu و M. Bruneau , “Sub-structural pseudo-dynamic performance of two full-scale two-story steel plate shear walls ”,Constructional Steel Research 66 ,pp. 1467-1482, 2010 .
- [11] A. Gheitasi , M. Alinia“ ,Slenderness classification of unstiffened metal plates under shear loading ”,Thin-Walled Structures 48 ,pp. 508-518, 2010 .
- [12] M. Alinia, H. Habashi و A. Khorram , “Nonlinearity in the post buckling behaviour of thin steel shear panels ”,Thin-Walled Structures 47 ,pp. 412-420, 2009 .
- [13] G. Bryan“ ,On the stability of a plane plate under thrusts in its own plane with applications on the buckling of the sides of a ship ”,Proc London Math Soc, 1891.

- frame structures”, Dissertation submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2007 .
- [36] Y. Deguchi, T. Kawashima, M. Yamanari , K. Ogawa“ ,Seismic design load distribution in steel frame ”,World Conference on Earthquake Engineering 14 ,Beijing, China, 2008 .
- [37] H. Moghadam“ ,Earthquake engineering: Principles and applications ”,Jahad publisher of sharif university and technology, Tehran, Iran , 2008 .
- [38] S .M. Miri و H. Tajmir riahi“ ,Optimal seismic design of concrete structures based on performance using durability time method ”, Sharif 35(2) ,pp. 39-50, 2019 .
- [39] R. Karami Mohammadi, M. El Naggar , H. Moghaddam“ ,Optimum strength distribution for seismic resistant shear buildings ”, International Journal of Solids and Structures 41 ,pp. 6597-6612, 2004 .
- [40] H. Moghaddam , R. Karami Mohammadi , “More efficient seismic loading for multidegrees of freedom structures ”,J. Struct. Eng 132 ,pp. 1673-1677, 2006 .
- [41] N. Nabid, I. Hajirasouliha و M. Petkovski , “Adaptive low computational cost optimisation method for performance-based seismic design of friction dampers ”,Engineering Structures 198 ,pp. 109-549, 2019 .
- [42] A. s. o. c. engineers“ ,FEMA 356 Prestandard ”, 2000.
- [43] S. Hosseinzadeh , M. Tehranizadeh , “Behavioral characteristics of code designed steel plate shear wall systems ”,Constructional Steel Research 99 ,pp. 72-84, 2014 .
- [44] M. Alinia , R. Sarraf Shirazi“ ,On the design of stiffeners in steel plate shear walls ”, Constructional Steel Research 65 ,pp. 2069-2077, 2009 .
- [25] “American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ”,2012.
- [26] A. Vafai, M. Javidruzi و H. Estekanchi , “Parametric instability of edge cracked plates ”, Thin-Walled Structures 40 ,pp. 29-44, 2002 .
- [27] A. Khaloo, A. Ghamari و M. Foroutani“ ,On the design of stiffened steel plate shear wall with diagonal stiffeners considering the crack effect ”,Structures 31 ,pp. 828-841, 2021 .
- [28] A. Khaloo, M. Foroutani , A. Ghamari , “Influence of diagonal stiffeners on the response of steel plate shear walls (SPSWs) considering crack propagation ”,Bulletin of Earthquake Engineering ,2019 .
- [29] M. Sarcheshmehpour, M. Shabanlou, Z. Meghdadi, H. Estekanchi , M. Mofid“ ,Seismic evaluation of steel plate shear wall systems considering soil-structure interaction ”,Soil Dynamics and Earthquake Engineering 145 , pp. 106-738, 2021 .
- [30] A. Kheyroddin, M. Gholhaki , G. Pachideh , “Seismic evaluation of reinforced concrete moment frames retrofitted with steel braces using IDA and pushover methods in the near-fault field ”,Rehabilitation in Civil Engineering 7(1) ,pp. 159-173, 2019 .
- [31] G. Pachideh, M. Kafi , M. Gholhaki , “Evaluation of cyclic performance of a novel bracing system equipped with a circular energy dissipater ”,Structures 28 ,pp. 467-481, 2020 .
- [32] G. Pachideh, M. Gholhaki , M. Kafi , “Experimental and numerical evaluation of an innovative diamond-scheme bracing system equipped with a yielding damper ”,Steel and Composite Structures 36(2) ,pp. 197-211, 2020 .
- [33] A. Ghobarah“ ,Performance-based design in earthquake engineering: state of development ”,Engineering Structures 23 ,pp. 878-884, 2001 .
- [34] S. H. Chao, S. C. Goel و S. S. Lee“ ,A Seismic Design Lateral Force Distribution Based on Inelastic State of Structures ”,Earthquake Spectra 23(3),pp. 547-569, 2007 .
- [35] P. Kyungha“ ,Lateral load patterns for the conceptual seismic design of moment-resisting

# Feasibility of Guaranteed Uniform Deformation using Steel Shear Wall with Partial Connections

Zahra Aliarab<sup>1</sup>, Ali Biglari Fadafan<sup>2\*</sup>

1. M.Sc. Structure Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Golestan, Gorgan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Golestan University, Golestan, Gorgan, Iran

## Abstract

In the present study, the feasibility of ensuring uniform deformations in the lateral bearing system of thin steel shear walls has been investigated. For this purpose, using ABAQUS<sup>TM</sup> finite element software, a 3-story concrete frame was modeled and analyzed by the nonlinear time history analysis method. Due to the lower weight, speed of execution and consequently the reduction of construction costs in steel shear walls compared to reinforced concrete shear walls, they have been significantly developed. In important buildings in North America and Japan, this type of lateral bearing system has shown very good behavior against strongly earthquakes. Also, due to the good performance of steel shear wall systems, the use of steel shear wall in seismic countries during earthquakes in North Ridge, USA, Kobe and Japan has greatly increased. The system of steel shear walls is similar in performance to plate girder. In steel shear walls, the columns act like flanges, the filler steel plate acts as the web and beam similar to the stiffeners in the plate girder system. In general, the performance of steel shear walls is based on the creation of a diagonal tensile field in the steel plate that occurs after buckling. In 2003, the Canadian Steel Structures FEMA 450 proposed guidelines for the design of steel shear walls. In 2005, the design requirements for steel shear walls with special details were added to the steel structures section of the AISC Regulation. According to ASSHTO 2018 regulations, steel plates are divided into three behavioral ranges slender, moderate, and stocky according to their thickness. In 2021, during research, a new method for evaluating the behavior of steel shear walls with the relationship of part of the plate height to the vertical boundary elements was reviewed. In this type of connection, the middle of the filler plate was not connected to the vertical boundary elements. In this type of connection, reducing the connection length between the filler plate and the vertical elements leads to a reduction in stiffness and bending on the vertical boundary elements. In this paper, three different thicknesses were selected in the behavioral range of slender plates and how to connect them to the surrounding elements was defined in whole and in partial. In this evaluation, the effect of changing the connection length of the steel plate for the range of slender plates is investigated. The connection of steel shear walls to the surrounding members (beams and columns) is based on the percentage of the shear plate and the connection length ratio of steel plates are examined on the maximum relative in-plane displacement (drift) and the displacement of all stories. Uniform distribution of live and dead loads for the roof floor 1 and 5.3 ( $\text{KN}/\text{m}_2$ ) respectively and for the other floors equal to 2.5 and 5.5 ( $\text{KN}/\text{m}_2$ ) respectively is assumed. The behavior of the frame in the first stage is evaluated by the record of the Kobe earthquake. The results showed that in general, reducing the length of the plate connection leads to an increase in the maximum relative in-plane displacement (drift) of the stories and it is possible to control the ductility of the structure.  $0.6 < \text{CLR} < 0.8$  is the critical area for a sender plate 5 mm. Because due to the early buckling and the occurrence of resistance after buckling, the maximum relative in-plane displacement (drift) has decreased. Also,  $0.6 < \text{CLR} < 0.75$  and  $\text{CLR} \geq 0.75$  introduced as critical areas for 2 mm and 8 mm plates, respectively. In slender plates with very small thicknesses, the shear strength is very low and can be ignored, and the plate enters the post-buckling resistance immediately after loading. For this reason, the results of these plates determine the behavior of the structure. By reducing the thickness, the non-uniformity in the maximum relative in-plane displacement (drift) of the stories was seen, which was significantly improved by using suitable partial connections of the shear steel plate to the surrounding elements

**Keywords:** Steel Shear Wall, Slender Steel Plate, Rehabilitation, Nonlinear Time History Analysis