

## مطالعه عددی عملکرد قاب بتن مسلح دارای ورق پرکننده فولادی شکل پذیر با نقطه تسلیم پایین

امان‌اله حسن‌زاده رحیم‌آبادی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

یحیی نصیرا\*

گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

علی قمری

گروه مهندسی عمران، واحد دره شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، دره‌شهر، ایران

Y.nassira@aut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

### چکیده:

دیوارهای برشی فولادی در کاربردهای اولیه بیشتر بصورت تقویت شده بودند، اما امروزه برای پژوهشگران، عملکرد مناسب دیوارهای برشی فولادی بدون سخت کننده مشخص شده است. زمانی که ضخامت ورق فولادی و تنش تسلیم کم می‌باشد، ورق در بارهای بسیار کم کماتش نموده و مکانیزم تحمل بار از برش درون صفحه به میدان کششی قطری تبدیل می‌گردد. در این پژوهش عملکرد خمشی قاب بتن مسلح سه طبقه و یک دهانه که دارای ورق پرکننده فولادی شکل پذیر با نقطه تسلیم پایین می‌باشد، با استفاده از نرم افزار آباکوس مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد نمونه های مورد بررسی در این پژوهش ۴۵ مدل در نظر گرفته شد. پارامترهای مورد بررسی در این قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی، تنش تسلیم دیوار برشی، ضخامت دیوار برشی و نسبت دهانه به ارتفاع می‌باشد و مولفه های سختی اولیه، نیروی تسلیم، نیروی ماکزیمم، جابجایی تسلیم و انرژی، مبنای مقایسه نمونه های عددی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه عددی نشان داد، با تغییر پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع، ضخامت و تنش تسلیم ورق فولادی با نقطه تسلیم پایین، بیشترین درصد افزایش مولفه سختی سکانتی ۴۹/۳۹، ۴۵/۵۹ و ۵۹/۶۷ درصد، بیشترین درصد افزایش مولفه مقاومت نهایی ۲۷/۶۴، ۳۰/۸۸ و ۴۰/۷۳ و بیشترین افزایش مولفه انرژی استهلاکی به ترتیب ۳۲/۳۵، ۳۴/۱۹ و ۴۴/۹ درصد حاصل شده است. در مدل های عددی قاب های بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق با نقطه تسلیم پایین، مود شکست ناشی از کماتش موضعی و چروک شدگی ورق پرکننده فولادی قاب و ترک های موضعی در محل اتصال تیر به ستون در قاب بتن مسلح است. پارامتری که بیشترین تأثیر را بر مقدار تغییرات سختی، مقاومت خمشی و انرژی استهلاکی در قاب مورد مطالعه دارد، پارامتر تنش تسلیم ورق فولادی با نقطه تسلیم پایین می‌باشد. همچنین در ستونها و تیرها، ترکهای بتنی طولی به دلیل نیروی لنگر منتقل شده در اثر میدان کششی در صفحات پر کننده فولاد رخ داده است.

کلید واژگان: قاب بتن مسلح، ورق فولادی با نقطه تسلیم پایین، بارگذاری افزایشنده جانبی، اجزای محدود

## ۱- مقدمه

چشمگیر ظرفیت، سختی و ظرفیت اتلاف انرژی سیستم شده است [۵]. در مطالعه آزمایشگاهی انجام شده در سال ۲۰۱۲، که برای بهبود عملکرد قاب بتن‌آرمه از دیوار برشی خارجی استفاده شده است، نتایج نشان‌دهنده عملکرد مطلوب دیوار برشی خارجی در افزایش ظرفیت سختی سیستم بوده است [۶]. در مطالعه آزمایشگاهی که در سال ۲۰۱۵ برای مقاوم‌سازی قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی انجام گرفت. در این مطالعه برای اتصال دیوار برشی فولادی به قاب بتن‌آرمه از بولت استفاده شده است، نتایج نشان داده است که مقاوم‌سازی قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی باعث افزایش ظرفیت باربری قاب بتن‌آرمه به میزان ۴-۵ برابر شده و شکل‌پذیری نمونه را افزایش داده است [۷]. در سال ۲۰۱۵، "فورمیسانو" مطالعه تحلیلی برای پیشنهاد راه‌حل بهینه برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن‌آرمه و بنایی موجود، انجام شد. مطالعه نخست مربوط به مقاوم‌سازی یک سازه بتن‌آرمه با ابعاد کامل با سیستم‌های مختلف مقاوم در برابر زلزله، با مصالح فلزی است که عملکرد آن در تحقیقات قبلی به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعه، یک راه حل بهینه برای سیستم فولاد سرد نورد شده، برای سبکی، اقتصادی بودن و پایداری ارائه کرد [۸].

در مطالعه آزمایشگاهی انجام شده در سال ۲۰۱۷، که یک دیوار برشی فولادی با ستون مرکب با اتصال جزئی و تیر با مقطع کاهش‌یافته در مقیاس بزرگ در دانشگاه آلبرتا برای بررسی رفتار سیستم و ارزیابی پارامترهای مؤثر در رفتار لرزه‌ای این سیستم مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که تحت بار چرخه‌ای شبه استاتیکی تا زمان مشاهده خرابی شدید، نمونه‌ها مشخصات مطلوبی مانند سختی الاستیک، شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی را بالایی را نشان دادند [۹]. در مطالعه عددی انجام شده در سال ۲۰۱۸ برای بهسازی قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی، چهار روش اتصال پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر نوع اتصال صلبیت اعضای مرزی نقش مهمی در استفاده بهینه از ظرفیت دیوار برشی فولادی داشته و استفاده از دیوار برشی فولادی باعث افزایش چشمگیر ظرفیت و سختی سیستم نسبت به قاب بتن‌آرمه اولیه شده و بدین ترتیب سیستم قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی شکل‌پذیری و ضریب رفتار بهتری را نسبت به قاب بتن‌آرمه اولیه نشان داده است [۱۰]. در سازه‌هایی که سیستم باربر جانبی آن‌ها دیوار برشی فولادی می‌باشد، نیروی میدان کششی ورق فولادی پرکننده باعث تشکیل ترک‌های قائم در بتن می‌شود که باعث شکست ناگهانی ستون می‌شود. برای جلوگیری از هر

عملکرد مناسب لرزه‌ای دیوار برشی فولادی سبب شده است تا استفاده از دیوار برشی فولادی در مقاوم‌سازی سازه‌های فولادی و بتن‌آرمه مورد توجه قرار گیرد. در مطالعه انجام‌شده در سال ۲۰۰۲ برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای قاب‌های فولادی انعطاف‌پذیر با استفاده از دیوار برشی فولادی با مقاومت تسلیم پایین، نتایج نشان داده است که استفاده از پانل فولادی با ضخامت کم باعث کاهش قابل‌توجه جابجایی نسبی طبقه<sup>۲۰</sup> بدون افزایش قابل‌توجه در شتاب طبقه می‌شود [۱]. در مطالعه عددی انجام‌شده در سال ۲۰۱۶، اثر پارامتر ارتفاع ساختمان بر سیستم سازه‌ای دیوار برشی فولادی بررسی شده است. نتایج نشان داده است که در سازه‌های با سیستم باربر جانبی دیوار برشی فولادی شاخص تاخیر برشی با افزایش تعداد طبقات افزایش می‌یابد. بدین معنا که نسبت نیروی محوری ستون‌های گوشه‌ای نسبت به ستون‌های میانی در سازه‌های بلندتر بیشتر می‌شود [۲].

در سال ۲۰۰۸، مطالعه آزمایشگاهی در مقیاس کامل به منظور بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بتن‌آرمه موجود با استفاده از ورق‌های فولادی نازک انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از ورق فولادی نازک باعث افزایش مقاومت و سختی قاب بتن‌آرمه اولیه به ترتیب به میزان ۱۰ و ۲ برابر شده است [۳]. در مطالعه آزمایشگاهی انجام‌شده در سال ۲۰۱۰ که برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتن‌آرمه، از ورق‌های فولادی و آلومینیومی استفاده شده است، نتایج نشان داده است که استفاده از هر دو نوع ورق باعث افزایش قابل‌ملاحظه‌ای در ظرفیت اتلاف انرژی سیستم شده و بدین ترتیب افزودن ورق‌های فولادی و آلومینیومی به دلیل عملکرد مناسب، روش‌های مناسبی برای مقاوم‌سازی و افزایش سختی سازه‌های بتن‌آرمه موجود می‌باشند [۴].

## ۲- تاریخچه مطالعات

در مطالعه آزمایشگاهی که در سال ۲۰۱۱ به منظور بررسی عملکرد دیوار برشی فولادی در قاب بتن‌آرمه انجام شده، سیستم‌های قاب بتن‌آرمه، دیوار برشی بتن‌آرمه، دیوار برشی فولادی متصل شده به قاب بتن‌آرمه با و بدون بازشو مورد آزمایش قرار گرفته و عملکرد آن‌ها مقایسه شده‌اند، نتایج نشان‌دهنده شکل‌پذیری بهتر سیستم قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی در مقایسه با سیستم قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی بتن‌آرمه بوده و افزودن دیوار برشی فولادی به قاب بتن‌آرمه باعث افزایش

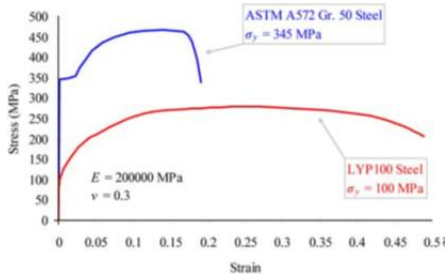
شکست بتن، ترک خوردگی کششی و خردشدگی فشاری اند. برای معرفی سطح تسلیم در نرم افزار آباکوس لازم است تا پارامترهای مربوط به آن در برنامه تعریف شوند. در این مدل اعضای بتنی از المان های هشت گره ای (C3D8R) و عضو تیوبی فولادی و ورق بارگذاری از المان های چهار گره ای (S4R) از نوع Shell می باشند.

جدول ۱- پارامترهای خواص پلاستیسیته بتن در روش CDP

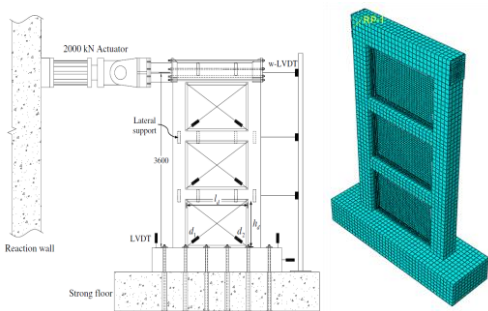
| پارامتر             | مقدار  |
|---------------------|--------|
| Poison's Ratio      | ۰/۲    |
| Dilation angle      | ۳۰     |
| Eccentricity        | ۰/۱    |
| $F_{b0}/f_{c0}$     | ۱/۱۶   |
| K                   | ۰/۶۷   |
| Viscosity Parameter | ۰/۰۰۰۱ |

جدول ۲- مشخصات مصالح فولادی

| پارامتر                     | فولادی پر مقاومت | فولاد کم مقاومت |
|-----------------------------|------------------|-----------------|
| مدول الاستیسیته (مگاپاسکال) | ۲۰۰۰۰۰           | ۲۰۰۰۰۰          |
| تنش تسلیم (مگاپاسکال)       | ۳۴۵              | ۱۰۰             |
| تنش نهایی (مگاپاسکال)       | ۴۶۰              | ۲۵۰             |
| کرنش نهایی                  | ۰/۱۸             | ۰/۴۵            |



شکل ۱- نمودار تنش-کرنش ورق فولادی LYP و اعضای فولادی



شکل ۲- شرایط مرزی و مش در نمونه آزمایشگاهی و عددی

خرابی ناشی از ترک و نیروی اضافی ناشی از نیروی میدان کششی، می توان از ورق فولادی پرکننده که به صورت جزئی به ستون متصل شده است، استفاده کرد. اتصال جزئی توسط چوبی و پارک برای قاب خمشی فولادی دارای دیوار برشی فولادی مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱]. در این پژوهش مطالعه عددی عملکرد قاب بتن مسلح سه طبقه و یک دهانه که دارای ورق پرکننده فولادی شکل پذیر LYP توسط نرم افزار آباکوس مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای مورد بررسی در این قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی، تنش تسلیم دیوار برشی، ضخامت دیوار برشی و نسبت دهانه به ارتفاع می باشد و مولفه های سختی سکانتی، نیروی تسلیم، نیروی ماکزیمم، جابجایی تسلیم و انرژی مبنای مقایسه نمونه های عددی قرار گرفته است.

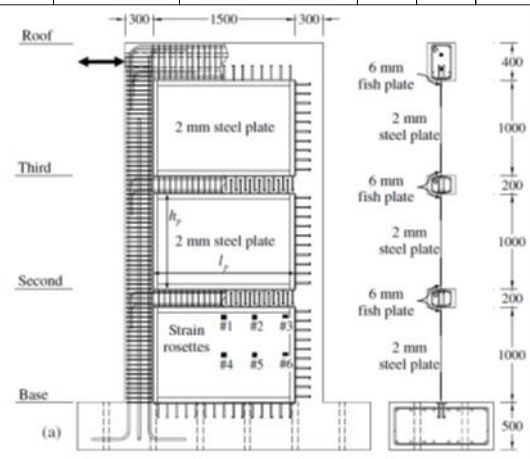
## ۲- فرضیات پژوهش

روش تحقیق پژوهش جاری اجزاء محدود است که برای آنالیز مطالعه عددی عملکرد قاب بتن مسلح با ورق پرکننده فولادی شکل پذیر از نرم افزار آباکوس استفاده شده است [۱۲]. برای تایید درستی مدل سازی و نحوه خروجی گرفتن پاسخ ها از صحت سنجی نمونه آزمایشگاهی چوبی و پارک [۵] استفاده شده است. فرضیات مدل سازی شامل رفتار خطی و غیرخطی برای مصالح، رفتار چندخطی برای فولاد، استفاده از روابط تنش-کرنش موجود در مقالات پیشین برای رفتار بتن در حالت محصور شده، ضریب اصطکاک ثابت برای اندرکنش بین فولاد و بتن اشاره کرد که در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است [۱۳]. در شکل (۱) نمودار تنش-کرنش ورق فولادی LYP و اعضای فولادی مشاهده می شود. در شکل (۲) نمای مش بندی قاب بتن مسلح با ورق پرکننده فولادی در نرم افزار و شرایط مرزی نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است. برای تعریف رفتار جوش در محل اتصال مرکب از قید تایی استفاده شده است. برای تعریف بتن در مدل قاب بتن مسلح با ورق پرکننده فولادی، نیاز به تعریف بتن غیرخطی در نرم افزار آباکوس [۱۲-۱۳] می باشد. برای تعریف بتن محصور از تئوری رفتار مندر و همکاران استفاده گردید که در شکل (۳) ترسیم شده است [۱۴]. رفتار نمودار تنش-کرنش بتن محصور از صفر تا  $0.3f'_c$  الاستیک فرض شده است که در آن  $f'_c$  مقاومت فشاری بتن می باشد. از مدل بتن آسیب دیده پلاستیک در محل هایی که بتن تحت بارگذاری های متنوع مانند بارگذاری رفت و برگشتی قرار دارد مورد استفاده قرار می گیرد. در مدل آسیب دیدگی پلاستیک، مهمترین مکانیزمهای

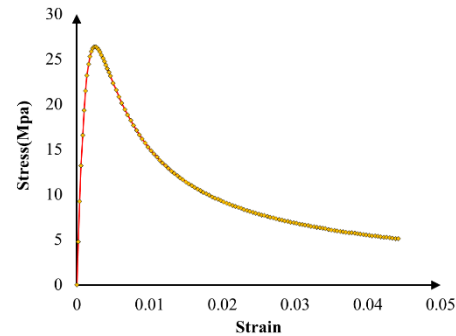
که شبیه‌سازی مدل قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی در آباکوس قابل اطمینان است و از نتایج قابل قبولی برای مطالعات پارامتریک این پژوهش برخوردار است. مقدار اختلاف شاخص سختی ( $K = P_y / \Delta_y$ ) و مقاومت و جذب انرژی (سطح زیر نمودار) نمونه آزمایشگاهی چوبی و پارک نسبت به نمونه شبیه‌سازی عددی دارای اختلاف ۳/۵، ۴/۰۴ و ۱۰/۹۰ درصد می‌باشد و بنابراین نتایج حاصل از نرم‌افزار اجزای محدود *ABAQUS* با نتایج آزمایشگاهی چوبی و پارک مطابقت خوبی دارد. دلیل اختلاف مقدار سختی و مقاومت و انرژی بین مدل آزمایشگاهی و مدلسازی رفتار نیرو-جابجایی در ناحیه پلاستیک است که به دلیل نحوه ساخت، رفتار واقعی و اسمی مصالح، عملیات جوش کاری و نقص‌های هندسی و تنش‌های پسماند می‌باشد. در ادامه در شکل (۶) مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی آورده شده است.

جدول ۳ - مشخصات مصالح نمونه آزمایشگاهی

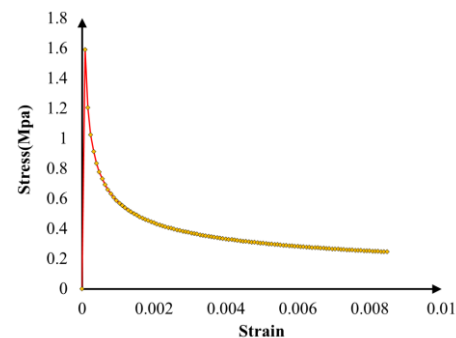
| نام همنو           | مشخصات                            | تنش نهایی       |                 |                 |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                    |                                   | تنش تسلیم (Mpa) | تنش نهایی (Mpa) | تنش نهایی (Mpa) |
| مستون              | مساحت (به متر مربع) / آزمایش طولی | 3336            | 25              | 443             |
|                    | دو صد از متور /                   | 37              | 22              | 430             |
|                    | فصله (به متر) / آزمایش عرضی       | 50              | 16              | 471             |
| تیر                | مساحت (به متر مربع) / آزمایش طولی | 794             | 10              | 466             |
|                    | دو صد از متور /                   | 13              | 13              | 240             |
|                    | فصله (به متر) / آزمایش عرضی       | 60              | 10              | 466             |
| ورق فولادی اتصالات | ضخامت (به متر)                    | 12              | 240             | 360             |
| ورق فولادی اتصالات |                                   | 6               | 240             | 360             |
| ورق فولادی پرکننده |                                   | 2               | 302             | 440             |



شکل ۴ - جزییات ابعاد مقطع [۱۶]



(الف)



(ب)

شکل ۳- نمودار تنش کرنش بتن، (الف) رفتار فشاری، (ب) رفتار کششی

### ۳- صحت سنجی

برای کنترل و اطمینان از صحت نتایج، نمونه آزمایشگاهی چوبی و پارک [۵]، در نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس مدلسازی شد. این مقاله بر روی رفتار لرزه ای قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی متمرکز شده است. در شکل (۴) قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی *SPIWI* نشان داده شده است که مورد صحت سنجی قرار گرفته است. مشخصات مصالح بتن و فولاد نمونه آزمایشگاهی در جدول ۳ ارائه شده است. مدول الاستیسیته بتن و فولاد به ترتیب ۲۴۰۰۰ و ۲۰۶۰۰۰ مگاپاسکال و ضریب پواسون به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۳ و مقاومت فشاری بتن ۲۶/۴ مگاپاسکال می‌باشد. پس از مدلسازی هر یک از اعضای قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی به بررسی نتایج بین نمودار نیرو-جابجایی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی پرداخته شده است. در شکل (۵) نتایج توزیع کماتش موضعی دیوار برشی فولادی در مدل *SPIWI* آورده شده است، در شکل (۵)-(الف) مود کماتش موضعی برای نمونه اجزای محدود و در شکل (۵)-(ب) مود کماتش موضعی برای نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است. پس از بررسی نتایج شبیه‌سازی، می‌توان ادعا نمود

SW نام گذاری شده است. در ادامه جزئیات نامگذاری مدل‌ها در جدول (۵) و در شکل (۷) جزئیات حالات مختلف مدل‌های عددی در محیط نرم‌افزار آباکوس آورده شده است.

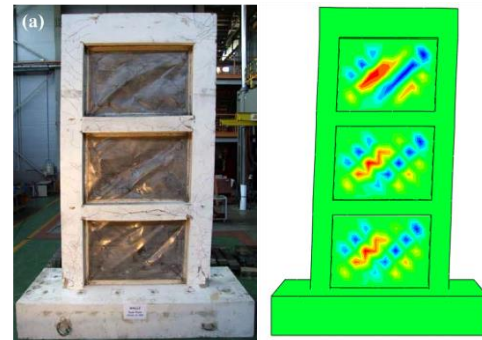
|                          |                       |
|--------------------------|-----------------------|
|                          |                       |
| <b>L/H=1.25</b>          | <b>L/H=1</b>          |
| <b>RCF-SW-1.25-2-240</b> | <b>RCF-SW-1-2-240</b> |

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
|                          |                         |
| <b>L/H=1.75</b>          | <b>L/H=1.5</b>          |
| <b>RCF-SW-1.75-2-240</b> | <b>RCF-SW-1.5-2-240</b> |

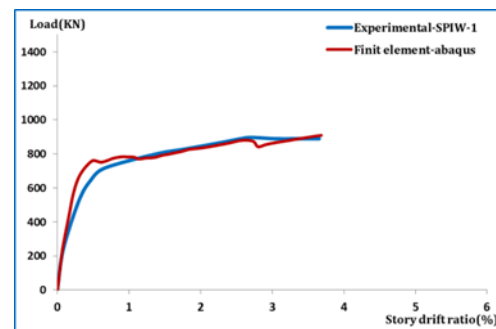
شکل ۷- جزئیات حالات مختلف مدل‌های عددی در محیط نرم‌افزار آباکوس

جدول ۴- نام گذاری مدل‌های عددی مورد مطالعه

| نام نمونه               |                      |                  |                      |
|-------------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| RCF-SW-1-2-240          |                      |                  |                      |
| RCF-SW                  | 1                    | 2 (mm)           | 240 (MPa)            |
| قاب بتن مسلح+دیوار برشی | نسبت دهانه به ارتفاع | ضخامت دیوار برشی | تنش تسلیم دیوار برشی |



شکل ۵- نتایج کماتش موضعی ورق فولادی، (الف) مدل اجزای محدود، (ب) مدل آزمایشگاهی

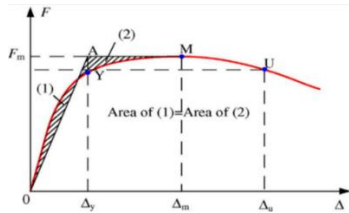


شکل ۶- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل آزمایشگاهی و شبیه‌سازی

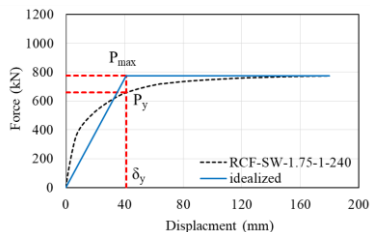
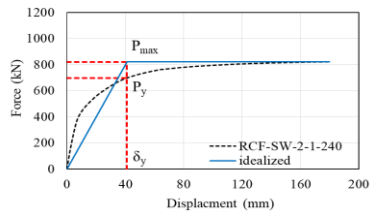
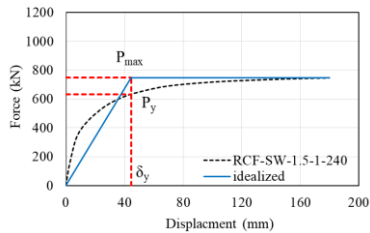
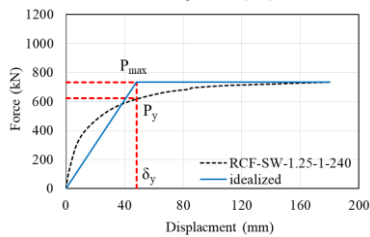
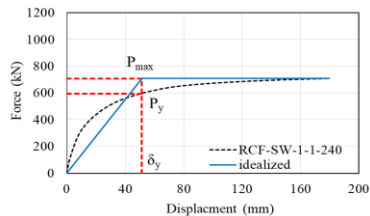
#### ۴- مشخصات اتصالات مدل‌های عددی در آباکوس

پس از انجام صحت سنجی و تایید شدن قابلیت نرم افزار در مدلسازی قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی در این قسمت به معرفی مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش پرداخته می‌شود. در اتصال مورد بررسی در این پژوهش از ورق *LYP* در داخل قاب بتن مسلح به عنوان دیوار برشی استفاده شده است. بارگذاری وارد شده به مدل‌ها بصورت بار افزایشی جانبی که بصورت کنترل جابجایی است، به بالای ستون طبقه آخر اعمال شده است. در تمامی مدل‌های قاب که نسبت ارتفاع به دهانه ۱ در نظر گرفته شده است، ارتفاع ستون ۱۲۰۰ میلی‌متر و طول تیر ۱۲۰۰ میلی‌متر است. تعداد میلگردها و طبقات در نظر گرفته شده در تمامی نمونه‌های عددی ثابت فرض گردید. خواص مقطع فولادی مطابق با مقاله صحت سنجی فرض گردید. پارامترهای متغیر این قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی شامل تنش تسلیم دیوار برشی، ضخامت دیوار برشی و نسبت دهانه به ارتفاع می‌باشد. در جدول (۴) نحوه نام گذاری و در جدول (۵) حالات مختلف مدل‌های مورد مطالعه آورده شده است که با نام *RCF*-

محاسبه هر یک از مولفه‌های نام برده شده از روش انرژی استفاده شده است. روش انرژی یکی از روش‌های ایده آل سازی نمودارهای نیرو-جابجایی در سازه‌ها است که سطح زیر نمودار دوخطی ایده آل و نمودار واقعی نمونه مورد مطالعه برابر قرار داده می‌شود. در شکل (۸) شمایک نمودار آورده شده است. در ادامه در شکل (۹): نمودار نیرو-جابجایی واقعی و ایده آل شده برای چند مدل عددی آورده شده است که در ادامه نمودارهای بیشتر و مقایسه‌ها آورده شده است.



شکل ۸- نمودار معمول نیرو-جابجایی در حالت ایده آل سازی به روش انرژی



شکل ۹- نمودار نیرو-جابجایی واقعی و ایده آل شده برای چند مدل عددی

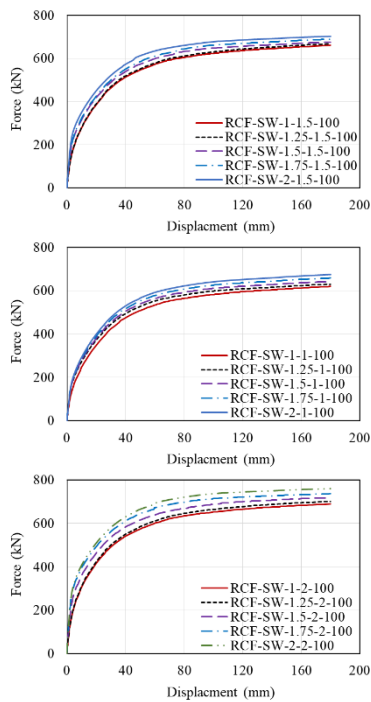
جدول ۵- مدل‌های عددی مورد مطالعه

| شماره | نام نمونه با دیوار برشی | نسبت دهانه به ارتفاع | ضخامت دیوار برشی | تنش تسلیم دیوار برشی |
|-------|-------------------------|----------------------|------------------|----------------------|
| 1     | RCF-SW-1-1-240          | 1                    | 1                | 240                  |
| 2     | RCF-SW-1.25-1-240       | 1.25                 | 1                | 240                  |
| 3     | RCF-SW-1.5-1-240        | 1.5                  | 1                | 240                  |
| 4     | RCF-SW-1.75-1-240       | 1.75                 | 1                | 240                  |
| 5     | RCF-SW-2-1-240          | 2                    | 1                | 240                  |
| 6     | RCF-SW-1-1.5-240        | 1                    | 1.5              | 240                  |
| 7     | RCF-SW-1.25-1.5-240     | 1.25                 | 1.5              | 240                  |
| 8     | RCF-SW-1.5-1.5-240      | 1.5                  | 1.5              | 240                  |
| 9     | RCF-SW-1.75-1.5-240     | 1.75                 | 1.5              | 240                  |
| 10    | RCF-SW-2-1.5-240        | 2                    | 1.5              | 240                  |
| 11    | RCF-SW-1-2-240          | 1                    | 2                | 240                  |
| 12    | RCF-SW-1.25-2-240       | 1.25                 | 2                | 240                  |
| 13    | RCF-SW-1.5-2-240        | 1.5                  | 2                | 240                  |
| 14    | RCF-SW-1.75-2-240       | 1.75                 | 2                | 240                  |
| 15    | RCF-SW-2-2-240          | 2                    | 2                | 240                  |
| 16    | RCF-SW-1-1-170          | 1                    | 1                | 170                  |
| 17    | RCF-SW-1.25-1-170       | 1.25                 | 1                | 170                  |
| 18    | RCF-SW-1.5-1-170        | 1.5                  | 1                | 170                  |
| 19    | RCF-SW-1.75-1-170       | 1.75                 | 1                | 170                  |
| 20    | RCF-SW-2-1-170          | 2                    | 1                | 170                  |
| 21    | RCF-SW-1-1.5-170        | 1                    | 1.5              | 170                  |
| 22    | RCF-SW-1.25-1.5-170     | 1.25                 | 1.5              | 170                  |
| 23    | RCF-SW-1.5-1.5-170      | 1.5                  | 1.5              | 170                  |
| 24    | RCF-SW-1.75-1.5-170     | 1.75                 | 1.5              | 170                  |
| 25    | RCF-SW-2-1.5-170        | 2                    | 1.5              | 170                  |
| 26    | RCF-SW-1-2-170          | 1                    | 2                | 170                  |
| 27    | RCF-SW-1.25-2-170       | 1.25                 | 2                | 170                  |
| 28    | RCF-SW-1.5-2-170        | 1.5                  | 2                | 170                  |
| 29    | RCF-SW-1.75-2-170       | 1.75                 | 2                | 170                  |
| 30    | RCF-SW-2-2-170          | 2                    | 2                | 170                  |
| 31    | RCF-SW-1-1-100          | 1                    | 1                | 100                  |
| 32    | RCF-SW-1.25-1-100       | 1.25                 | 1                | 100                  |
| 33    | RCF-SW-1.5-1-100        | 1.5                  | 1                | 100                  |
| 34    | RCF-SW-1.75-1-100       | 1.75                 | 1                | 100                  |
| 35    | RCF-SW-2-1-100          | 2                    | 1                | 100                  |
| 36    | RCF-SW-1-1.5-100        | 1                    | 1.5              | 100                  |
| 37    | RCF-SW-1.25-1.5-100     | 1.25                 | 1.5              | 100                  |
| 38    | RCF-SW-1.5-1.5-100      | 1.5                  | 1.5              | 100                  |
| 39    | RCF-SW-1.75-1.5-100     | 1.75                 | 1.5              | 100                  |
| 40    | RCF-SW-2-1.5-100        | 2                    | 1.5              | 100                  |
| 41    | RCF-SW-1-2-100          | 1                    | 2                | 100                  |
| 42    | RCF-SW-1.25-2-100       | 1.25                 | 2                | 100                  |
| 43    | RCF-SW-1.5-2-100        | 1.5                  | 2                | 100                  |
| 44    | RCF-SW-1.75-2-100       | 1.75                 | 2                | 100                  |
| 45    | RCF-SW-2-2-100          | 2                    | 2                | 100                  |

## ۵- نتایج مطالعه پارامتریک

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی عددی رفتار قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی با ورق LYP پرداخته شده است. پارامترهای مورد بررسی در این قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی، تنش تسلیم دیوار برشی، ضخامت دیوار برشی و نسبت دهانه به ارتفاع می‌باشد و مولفه‌های سختی سکانتی (کیلو نیوتن بر میلی‌متر)، نیروی تسلیم (کیلو نیوتن)، نیروی ماکزیمم (کیلو نیوتن)، جابجایی تسلیم (میلی‌متر) و انرژی (کیلو نیوتن در میلی‌متر) مبنای مقایسه نمونه‌های عددی قرار گرفت که در جدول (۶) گزارش شده و در این بخش به بررسی آنها پرداخته شده است. در این پژوهش برای

عددی مورد مطالعه آورده شده که مقادیر محاسبه شده مولفه‌ها دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP در هر گروه نشان داده افزایش مولفه‌های سختی، مقاومت و انرژی با افزایش پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع همراه است. در ۱۵ مدل عددی که دارای تنش تسلیم ۱۰۰ مگاپاسکال و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر است، مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۶/۴۰، ۱۰/۱۷ و ۱۴/۱۱ درصد حاصل شده است که روند افزایش را نشان داده است. در ۱۵ مدل عددی که دارای تنش تسلیم ۱۷۰ مگاپاسکال و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر است، مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۵/۳۵، ۲۴/۴۷ و ۲۷/۷۵ درصد حاصل شده است که در این حالت نیز روند افزایشی را نشان داده است. در ۱۵ مدل عددی که دارای تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر است، مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۹/۳۹، ۲۷/۶۴ و ۳۲/۳۵ درصد حاصل شده است که در این حالت نیز روند افزایشی را نشان داده است.



جدول ۶- مقادیر مولفه‌های مدل‌های عددی مورد مطالعه

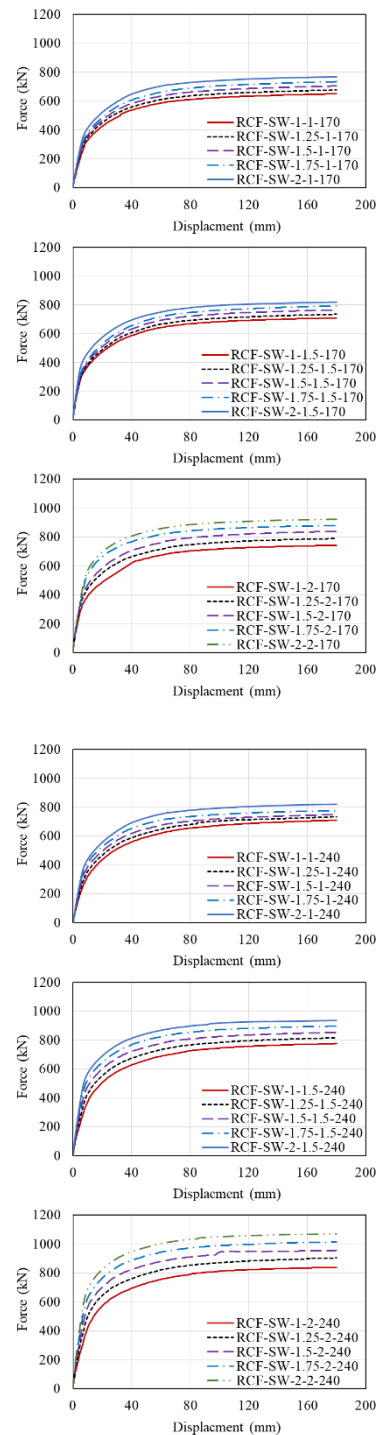
| نام نمونه‌ها        | سختی سکانتی<br>(کیلو نیوتن بر<br>میلیمتر) | نیروی تسلیم<br>(کیلو نیوتن) | نیروی ماکزیمم<br>(کیلو نیوتن) | جابجایی<br>تسلیم<br>(میلیمتر) | انرژی<br>در<br>(کیلو نیوتن<br>متر) |
|---------------------|---|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
|                     | K<br>(kN/m<br>m)                          | P <sub>y</sub><br>(kN)      | P <sub>max</sub> (kN)         | δ <sub>y</sub><br>(mm)        | E(kN.<br>m)                        |
| RCF-SW-1-1-240      | 13.79                                     | 594.75                      | 708.92                        | 43.12                         | 109.4                              |
| RCF-SW-1.25-1-240   | 15.23                                     | 623.94                      | 732.48                        | 40.98                         | 114.2                              |
| RCF-SW-1.5-1-240    | 16.82                                     | 632.17                      | 748.21                        | 37.58                         | 118.0                              |
| RCF-SW-1.75-1-240   | 18.86                                     | 657.72                      | 774.49                        | 34.88                         | 123.5                              |
| RCF-SW-2-1-240      | 19.97                                     | 695.03                      | 820.18                        | 34.81                         | 130.8                              |
| RCF-SW-1-1.5-240    | 16.61                                     | 654.56                      | 775.67                        | 39.41                         | 121.3                              |
| RCF-SW-1.25-1.5-240 | 18.52                                     | 695.29                      | 815.56                        | 37.55                         | 128.8                              |
| RCF-SW-1.5-1.5-240  | 20.27                                     | 726.01                      | 851.90                        | 35.81                         | 136.3                              |
| RCF-SW-1.75-1.5-240 | 22.71                                     | 760.81                      | 896.19                        | 33.51                         | 144.4                              |
| RCF-SW-2-1.5-240    | 24.79                                     | 796.30                      | 935.53                        | 32.12                         | 152.1                              |
| RCF-SW-1-2-240      | 19.28                                     | 703.42                      | 837.86                        | 36.49                         | 132.6                              |
| RCF-SW-1.25-2-240   | 21.46                                     | 768.09                      | 903.45                        | 35.79                         | 144.0                              |
| RCF-SW-1.5-2-240    | 24.49                                     | 809.56                      | 954.74                        | 33.06                         | 154.6                              |
| RCF-SW-1.75-2-240   | 26.38                                     | 862.49                      | 1013.65                       | 32.70                         | 165.0                              |
| RCF-SW-2-2-240      | 28.80                                     | 908.37                      | 1069.44                       | 31.54                         | 175.5                              |
| RCF-SW-1-1-170      | 12.33                                     | 552.53                      | 649.45                        | 44.83                         | 102.2                              |
| RCF-SW-1.25-1-170   | 14.19                                     | 571.01                      | 675.83                        | 40.23                         | 106.6                              |
| RCF-SW-1.5-1-170    | 15.28                                     | 594.24                      | 703.32                        | 38.89                         | 111.0                              |
| RCF-SW-1.75-1-170   | 16.49                                     | 621.47                      | 733.32                        | 37.70                         | 115.7                              |
| RCF-SW-2-1-170      | 17.67                                     | 649.74                      | 766.74                        | 36.78                         | 122.3                              |
| RCF-SW-1-1.5-170    | 15.36                                     | 592.80                      | 708.83                        | 38.61                         | 112.2                              |
| RCF-SW-1.25-1.5-170 | 17.09                                     | 610.21                      | 733.78                        | 35.70                         | 116.2                              |
| RCF-SW-1.5-1.5-170  | 18.30                                     | 639.23                      | 764.35                        | 34.94                         | 121.0                              |
| RCF-SW-1.75-1.5-170 | 19.27                                     | 662.24                      | 791.87                        | 34.36                         | 125.4                              |
| RCF-SW-2-1.5-170    | 21.14                                     | 684.47                      | 818.88                        | 32.37                         | 131.5                              |
| RCF-SW-1-2-170      | 17.30                                     | 632.76                      | 741.77                        | 36.58                         | 117.6                              |
| RCF-SW-1.25-2-170   | 19.26                                     | 663.20                      | 788.36                        | 34.43                         | 126.0                              |
| RCF-SW-1.5-2-170    | 20.98                                     | 704.94                      | 837.97                        | 33.61                         | 133.9                              |
| RCF-SW-1.75-2-170   | 23.44                                     | 750.15                      | 877.75                        | 32.01                         | 142.9                              |
| RCF-SW-2-2-170      | 25.15                                     | 789.06                      | 923.27                        | 31.38                         | 150.3                              |
| RCF-SW-1-1-100      | 10.84                                     | 516.44                      | 619.32                        | 47.63                         | 93.8                               |
| RCF-SW-1.25-1-100   | 12.02                                     | 532.85                      | 629.35                        | 44.33                         | 96.8                               |
| RCF-SW-1.5-1-100    | 13.26                                     | 543.51                      | 641.93                        | 40.99                         | 98.7                               |
| RCF-SW-1.75-1-100   | 14.57                                     | 557.09                      | 657.98                        | 38.24                         | 101.2                              |
| RCF-SW-2-1-100      | 15.87                                     | 570.68                      | 674.03                        | 35.95                         | 103.7                              |
| RCF-SW-1-1.5-100    | 12.12                                     | 553.09                      | 660.48                        | 45.65                         | 100.9                              |
| RCF-SW-1.25-1.5-100 | 13.25                                     | 559.27                      | 667.86                        | 42.21                         | 102.0                              |
| RCF-SW-1.5-1.5-100  | 14.92                                     | 584.92                      | 675.27                        | 39.21                         | 105.2                              |
| RCF-SW-1.75-1.5-100 | 16.20                                     | 596.69                      | 688.86                        | 36.84                         | 107.3                              |
| RCF-SW-2-1.5-100    | 16.86                                     | 610.24                      | 702.45                        | 36.18                         | 110.7                              |
| RCF-SW-1-2-100      | 13.17                                     | 585.62                      | 689.74                        | 44.48                         | 106.1                              |
| RCF-SW-1.25-2-100   | 14.40                                     | 596.16                      | 702.15                        | 41.39                         | 108.0                              |
| RCF-SW-1.5-2-100    | 15.55                                     | 595.24                      | 719.18                        | 38.29                         | 112.8                              |
| RCF-SW-1.75-2-100   | 17.80                                     | 605.11                      | 737.11                        | 33.99                         | 117.4                              |
| RCF-SW-2-2-100      | 18.04                                     | 623.83                      | 759.91                        | 34.59                         | 121.1                              |

### ۱-۵- بررسی تاثیر پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع

یکی از پارامترهای مهم در رفتار قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع است. در این قسمت به بررسی تاثیر پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع با مقادیر ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵ و ۲ بر روی رفتار خمشی قاب بتن مسلح سه طبقه و یک دهانه پرداخته شده است. در شکل (۱۰) نمودار نیرو-جابجایی مربوط به ۴۵ مدل عددی نشان داده شده است. در این شکل، ۹ گروه ۵ تایی از نمودار نیرو-جابجایی طوری ترسیم شده که در هر گروه پارامتر متغیر نسبت دهانه به ارتفاع و پارامترهای ضخامت و تنش تسلیم ورق فولادی LYP ثابت در نظر گرفته شده است. ارتفاع تمامی مدل‌های مورد بررسی ثابت و دهانه آن با توجه به نسبت‌های اشاره شده تغییر کرده است. در جدول (۴) مقادیر مولفه‌های مدل‌های

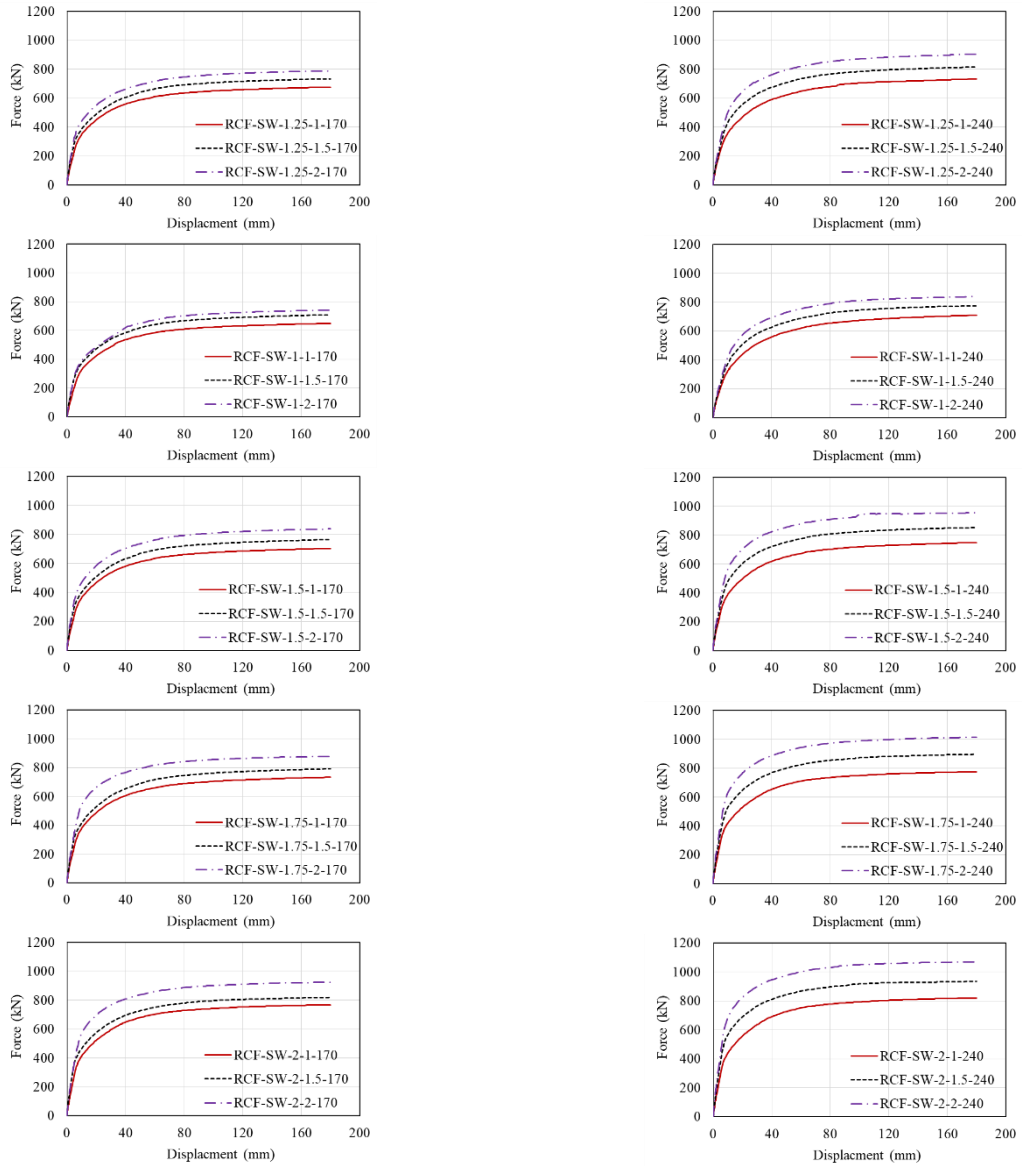
## ۲-۵- بررسی تاثیر پارامتر ضخامت دیوار برشی

یکی از پارامترهای مهم در رفتار قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP پارامتر ضخامت دیوار برشی است. در این قسمت به بررسی تاثیر پارامتر ضخامت دیوار برشی با مقادیر ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر بر روی رفتار خمشی قاب بتن مسلح سه طبقه و یک دهانه پرداخته شده است. در شکل (۱۱) مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل‌های عددی برای ضخامت ورق فولادی LYP نشان داده شده است. در این شکل، ۱۵ گروه ۳ تایی از نمودارهای نیرو-جابجایی طوری ترسیم شده که در هر گروه پارامتر متغییر ضخامت ورق فولادی LYP و پارامترهای نسبت دهانه به ارتفاع و تنش تسلیم ورق فولادی LYP ثابت در نظر گرفته شده است. در جدول (۵) مقادیر مولفه‌های مدل‌های عددی مورد مطالعه آورده شده که مقادیر محاسبه شده مولفه‌ها دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP در هر گروه نشان داده افزایش مولفه‌های سختی، مقاومت و انرژی با افزایش پارامتر ضخامت ورق فولادی LYP همراه است. در ۱۵ مدل عددی که دارای تنش تسلیم ۱۰۰ مگاپاسکال و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر و دهانه‌های مختلف است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۲۲/۲، ۱۲/۷۴ و ۱۶/۷۵ درصد حاصل شده است. در ۱۵ مدل عددی که دارای تنش تسلیم ۱۷۰ مگاپاسکال و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۲/۳۳، ۲۰/۴۱ و ۲۲/۹۰ درصد حاصل شده است که در این حالت نیز روند افزایشی در بین نمونه‌ها مشاهده شده است. در ۱۵ مدل عددی که دارای تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۵/۵۹، ۳۰/۸۸ و ۳۴/۱۹ درصد حاصل شده است که در این حالت نیز روند افزایشی حاصل شده است.

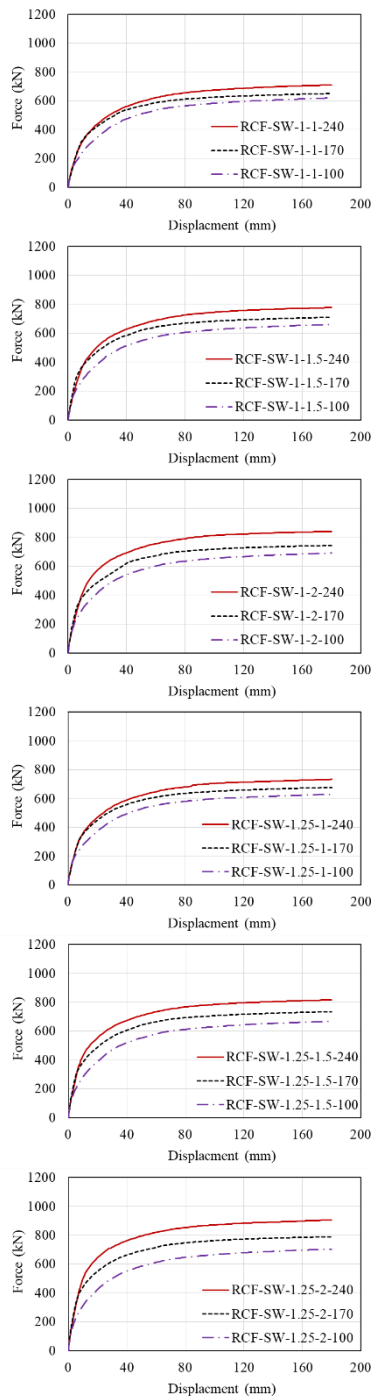


شکل ۱۰- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل‌های عددی برای نسبت دهانه به ارتفاع



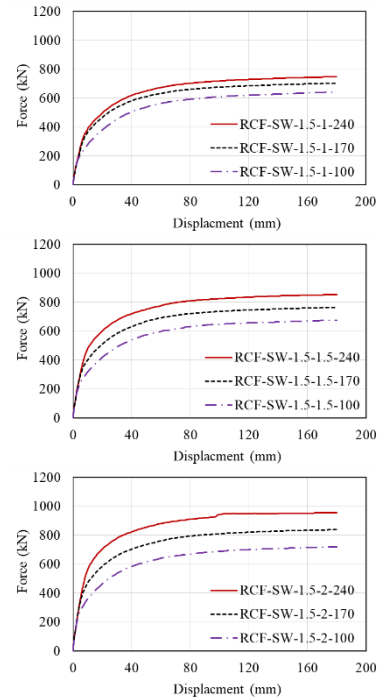
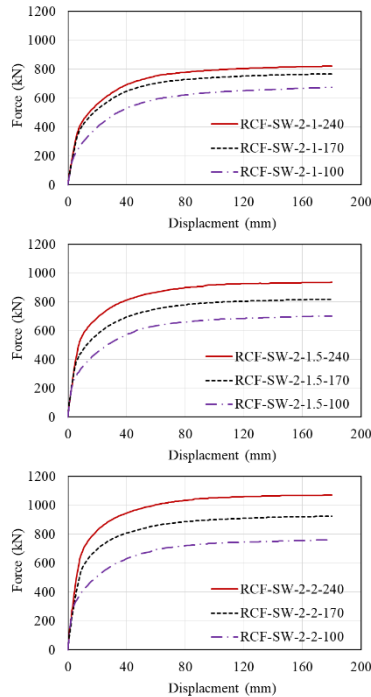


شکل ۱۱- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل‌های عددی  
 برای ضخامت ورق فولادی LYP



### ۳-۵- بررسی تاثیر پارامتر تنش تسلیم دیوار برشی

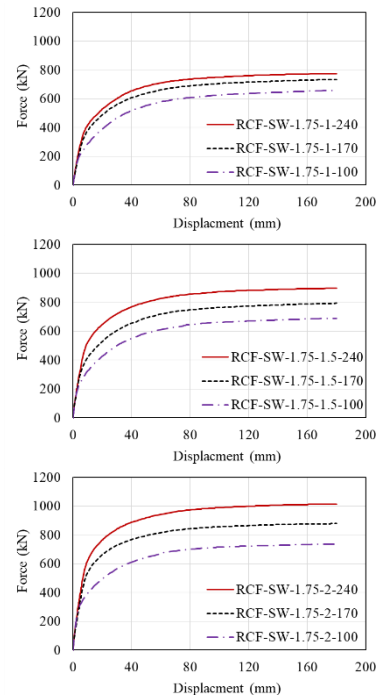
یکی از پارامترهای مهم در رفتار قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP پارامتر تنش تسلیم دیوار برشی است. در این قسمت به بررسی تاثیر پارامتر تنش تسلیم دیوار برشی با مقادیر ۱۰۰، ۱۷۰ و ۲۴۰ مگاپاسکال بر روی رفتار خمشی قاب بتن مسلح سه طبقه و یک دهانه پرداخته شده است. در شکل (۱۲) مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل‌های عددی برای تنش تسلیم ورق فولادی LYP نشان داده شده است. در این شکل، ۱۵ گروه ۳ تایی از نمودارهای نیرو-جابجایی طوری ترسیم شده که در هر گروه پارامتر متغییر تنش تسلیم ورق فولادی LYP و پارامترهای نسبت دهانه به ارتفاع و ضخامت ورق فولادی LYP ثابت در نظر گرفته شده است. در جدول (۶) مقادیر مولفه‌های مدل‌های عددی مورد مطالعه آورده شده که مقادیر محاسبه شده مولفه‌ها دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP در هر گروه نشان داده افزایش مولفه‌های سختی، مقاومت و انرژی با افزایش پارامتر تنش تسلیم ورق فولادی LYP همراه است. در ۹ مدل عددی که دارای نسبت دهانه به ارتفاع ۱ و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۲۵، ۲۱/۴۸ و ۴۶/۴۱ درصد حاصل شده است. در ۹ مدل عددی که دارای نسبت دهانه به ارتفاع ۱/۲۵ و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۹، ۲۸/۶۷ و ۳۳/۳۷ درصد حاصل شده است. در ۹ مدل عددی که دارای نسبت دهانه به ارتفاع ۱/۵ و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۵۳/۵۷، ۳۲/۷۵ و ۳۷/۰۸ درصد حاصل شده است. در ۹ مدل عددی که دارای نسبت دهانه به ارتفاع ۱/۷۵ و ضخامت ۱، ۱/۵ و ۲ میلی‌متر است، بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۶۷/۵۹، ۴۰/۷۳ و ۴۴/۹ درصد حاصل شده است.

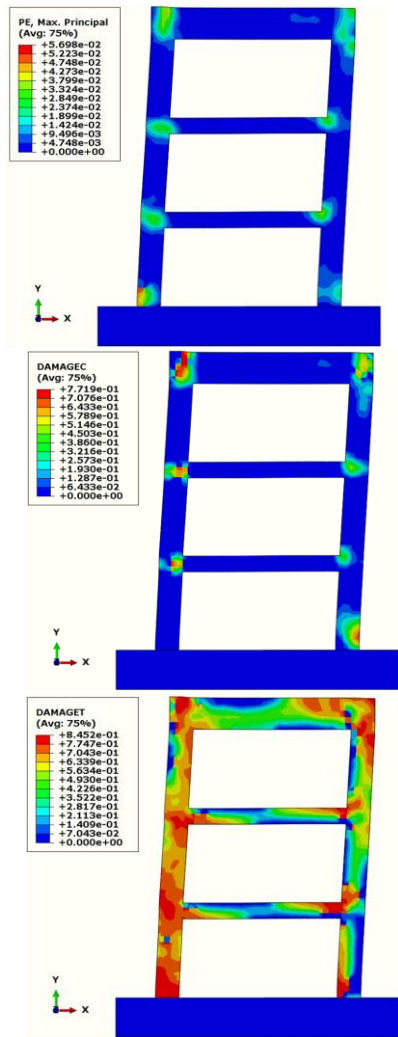


شکل ۱۲- مقایسه نمودار نیرو-جابجایی مدل‌های عددی برای تنش تسلیم ورق فولادی LYP

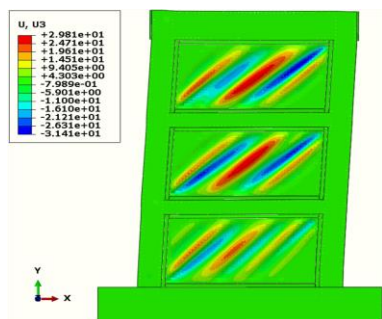
#### ۴-۵- بررسی وضعیت تنش- کرنش بر اساس نتایج گرافیکی

با توجه حجم بالای نتایج گرافیکی در مدل‌های مورد آنالیز اجزای محدود در این بخش نتایج گرافیکی مربوط به قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP با نسبت دهانه به ارتفاع ۲، ضخامت ورق ۲ میلی‌متر و تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال آورده شده است. در شکل (۱۳) کانتور توزیع مولفه تنش برای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ (دیوار برشی ۲-۲-۲۴۰) نشان داده شده است. موقعیت نشان داده شده از وضعیت تنش در قاب بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی برای لحظه آخر بارگذاری است که اتصال به شکست رسیده است. تنش نهایی می‌گردد فولادی در تیر و ستون ۴۸۶ مگاپاسکال، در ورق فولادی و برشگیرها ۲۴۰ مگاپاسکال و در ورق LYP ۲۷۶ مگاپاسکال حاصل شده است. مقادیر تنش تسلیم در این نمونه ۲۴۰ مگاپاسکال است که در این حالت تنش‌ها به بالای ۲۷۶ مگاپاسکال رسیده و قسمت بالایی از دیوار تسلیم شده است. در شکل (۱۴) کانتور توزیع مولفه کرنش (PE) و آسیب کششی<sup>۲۲</sup> و آسیب فشاری<sup>۲۳</sup> در مقاطع بتنی برای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ (دیوار برشی ۲-۲-۲۴۰) نشان داده شده است. کانتور توزیع کرنش پلاستیک، مقدار کرنش ۰/۰۶ را در قاب بتن مسلح نشان



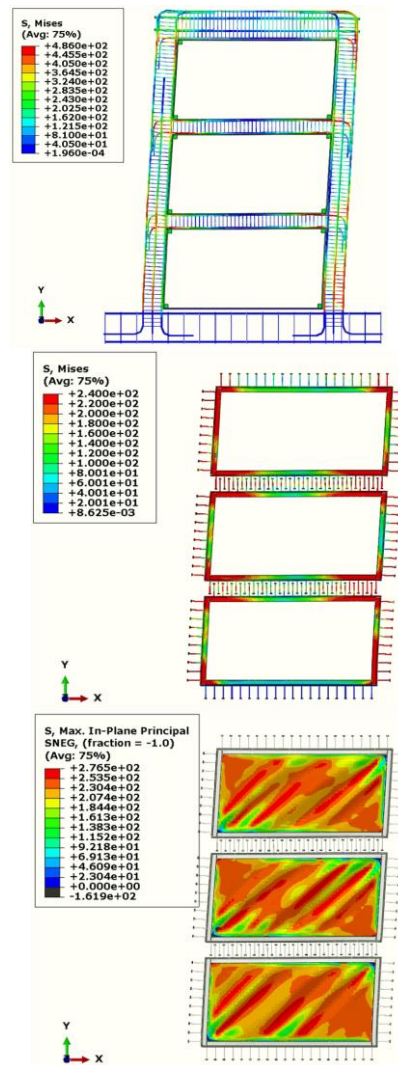


شکل ۱۴- کانتور توزیع مولفه کرنش و آسیب برای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ (دیواربرشی ۲-۲-۲۴۰)



شکل ۱۵- کانتور توزیع تغییرمکان خارج از صفحه برای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ (دیواربرشی ۲-۲-۲۴۰)

داده است که تمرکز مفصل پلاستیک در اتصالات رخ داده است که بیانگر استفاده از حداکثر ظرفیت قاب بتن مسلح و ورق فولادی LYP است که در لحظه نهایی بارگذاری از ظرفیت نهایی هر دو عضو فولادی و بتنی استفاده شده است. در شکل (۱۵) کانتور توزیع کماتش موضعی (جابجایی عمود بر قاب) برای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ (دیواربرشی ۲-۲-۲۴۰) نشان داده شده است. بیشترین میزان چروکیدگی و کماتش عمود بر صفحه در ورق های LYP، ۳۱ میلیمتر حاصل شده است.



شکل ۱۳- کانتور توزیع مولفه تنش برای نسبت دهانه به ارتفاع ۲ (دیواربرشی ۲-۲-۲۴۰)

## ۶- نتیجه گیری

۶- نتایج آسیب فشاری و کششی و کرنش پلاستیک در قاب بتن آرمه نشان داد که استفاده از ورق‌های LYP سبب جلوگیری از ترک برشی در اتصالات تیر و ستون در قاب مرزی شده است.

۷- در ستونها و تیرها، ترکهای بتنی طولی به دلیل نیروی لنگر منتقل شده در اثر میدان کششی در صفحات پرکننده فولاد رخ داده است. بنابراین، در طراحی ستون ها، نیروهای لنگر باید با دقت در نظر گرفته شوند تا از خرابی زودرس ستون و اتصالات جلوگیری شود.

با آنالیز نمودارهای نیرو-جابجایی برای هر یک از قاب‌های بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP با نسبت دهانه به ارتفاع ۱، ۱/۲۵، ۱/۵، ۱/۷۵ و ۲، ضخامت ورق ۱، ۱/۵ و ۲ میلیمتر و تنش تسلیم ۱۰۰، ۱۷۰ و ۲۴۰ مگاپاسکال و محاسبه نتایج عددی بر حسب مولفه‌های سازه‌ای در این قسمت به ارزیابی نتایج حاصل از بارگذاری جانبی پرداخته شده است. نتایج اثرات پارامترهای ذکر شده بر روی مولفه‌های های سختی، مقاومت، انرژی نشان داد که:

۱- با تغییر پارامتر نسبت دهانه به ارتفاع از ۱ به ۱/۵ و از ۱ به ۲ بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۹/۳۹، ۲۷/۶۴ و ۳۲/۳۵ درصد حاصل شده است که در این حالت روند افزایشی با افزایش نسبت دهانه به ارتفاع حاصل شده است.

۲- با تغییر پارامتر ضخامت ورق فولادی LYP از ۱ به ۱/۵ و از ۱ به ۲ میلیمتر بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۴۵/۵۹، ۳۰/۸۸ و ۳۴/۱۹ درصد حاصل شده است که در این حالت روند افزایشی با افزایش ضخامت ورق فولادی LYP حاصل شده است.

۳- با تغییر پارامتر تنش تسلیم ورق فولادی LYP از ۱۰۰ به ۱۷۰ و از ۱۰۰ به ۲۴۰ مگاپاسکال بیشترین افزایش مولفه سختی سکانتی، مقاومت نهایی و انرژی استهلاکی به ترتیب ۵۹/۶۷، ۴۰/۷۳ و ۴۴/۹ درصد حاصل شده است که در این حالت روند افزایشی با افزایش تنش تسلیم ورق فولادی LYP حاصل شده است.

۳- در مدل‌های عددی قاب‌های بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی از جنس ورق LYP مود شکست ناشی از کماتش موضعی و چروک شدگی ورق پرکننده فولادی قاب و ترک‌های موضعی در محل اتصال تیر به ستون در قاب بتن مسلح است.

۴- پارامتری که بیشترین کنترل و تأثیر سختی، مقاومت خمشی و انرژی استهلاکی را در رفتار خمشی قاب‌های بتن مسلح دارای دیوار برشی فولادی دارد، پارامتر تنش تسلیم ورق فولادی LYP می‌باشد.

۵- بر اساس نمودار نیرو-جابجایی و نحوه توزیع تنش و کرنش صفحات پرکننده فولادی در طول دیوار، می‌توان دیوارهای با ورق فولادی LYP را دارای مقاومت بالا در رفتار خمشی معرفی کرد.

## مراجع

- [1] Bruneau M, Bhagwagar T. Seismic retrofit of \_exible steel frames using thin inill panels. *Engineering Structures*.2002; 24(4): 443-453.
- [2] Kioumarsi B, Gholhaki M, Kheyroddin A, Kioumarsi M. Analytical study of building height effects over Steel Plate Shear Wall Behavior. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*. 2016; 6(4): 255-263.
- [3] Formisano A, De Matteis M, Panico Mazzolani S. Seismic upgrading of existing RC buildings by slender steel shear panels, A full-scale experimental investigation. *Advanced Steel Construction*.2008; 4(1):25-45.
- [4] Formisano A, De Matteis G, Mazzolani F. Numerical and experimental behavior of a full-scale RC structure upgraded with steel and aluminum shear panels. *Computers & structures*.2010;88(23-24): 1348-1360.
- [5] Choi R-I, Park H-G. Cyclic loading test for reinforced concrete frame with thin steel infill plate. *Journal of Structural Engineering*. 2011; 137(6): 654-664.
- [6] Görgülü T, Tama Y S, Yilmaz S, Kaplan H, Ay Z. Strengthening of reinforced concrete structures with external steel shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*.2012; 70: 226-235.
- [7] Li C-H, Wu A-C, Tsai K-C. Experimental Investigation on the Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings Using Steel Plate Shear Walls. *Improving the Seismic Performance of Existing Buildings and Other Structures 2015*; 681-692.
- [8] Formisano A, Mazzolani F M. On the selection by MCDM methods of the optimal system for seismic retrofitting and vertical addition of existing buildings *Computers & Structures*.2015;159(1):1-13.
- [9] Dastfan M, Driver R. Test of a Steel Plate Shear Wall with Partially Encased Composite Columns and RBS Frame Connections. *Journal of*

Structural Engineering.2017;144(2) (February 2018)

[10] Bypour M, Gholhaki M, Kioumarsi M, Kioumarsi B. Nonlinear analysis to investigate effect of connection type on behavior of steel plate shear wall in RC frame. Engineering Structures.2019;179: 611-624.

[11] Choi, Park H. Steel Plate Shear Walls with Various Infill Plate Designs. Journal of Structural engineering. 2009; 135(7): 785-796.

[12] ABAQUS, Version 11/6. Dassault Systemes Simulia Corp. Providence, RI, USA; 2011.

[13] Lee J, Fenves G L. "Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures". Journal of Engineering Mechanics. 1998; 124: 892-900.

[14] Mander J, Priestley B, Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of structural engineering,1988; 114(8): 1804-1826.

## Numerical Study of a Reinforced Concrete Frame with Low Yield Point Infill Plates

Aman hassanzade rahimabadi

Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, zanzan Branch, Islamic Azad University, zanzan, Iran

Yahya nasira\*

Department of Civil Engineering, zanzan Branch, Islamic Azad University, zanzan, Iran  
Ali ghamari

Department of Civil Engineering, darehshahr Branch, Islamic Azad University, darehshahr, Iran

Y.nassira@aut.ac.ir

### Abstract

The first steel shear walls were mainly utilized in retrofitted form, but steel shear walls are now known to offer reliable performance without stiffeners. With low thickness and yield strength, the plate would buckle under small loads, transitioning from an in-plane shear mechanism to the diagonal tension field. Using ABAQUS, the present study takes a numerical approach and investigates a three-story, single span Reinforced Concrete Frame (RCF) with Low Yield Point (LYP) steel infill plates. A total of 45 models were studied. The yield stress of the shear wall, shear wall thickness, and the span-to-height ratio of the RCF were evaluated for the RCF, and the numerical models were compared in terms of secant stiffness, yield load, maximum load, yield displacement, and dissipated energy. Changing the span-to-height ratio and the thickness and yield strength of the LYP steel plate, increased the secant stiffness by, respectively, 49.39, 45.59, and 59.67%, the ultimate strength by 27.64, 30.88, and 40.73%, and energy dissipation by 32.35, 34.19, and 44.9%. The failure modes in the numerical models of RCFs with LYP steel plate shear walls resulted from local buckling and wrinkling of the steel infill plate. The yield strength of the LYP steel plate was found to control the stiffness, flexural strength, and energy dissipation in the RCF with a steel plate shear wall. Moreover, longitudinal cracks were created in the concrete in columns and beams due to the transfer of momentum by the tension field of the steel infill plates.

**Keywords:** Reinforced Concrete Frame, LYP Steel Plate, Incremental Lateral Loading, Finite Element



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license:

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)