

# بررسی اثر فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب

محمد صادق رحیمی خواه (کارشناس ارشد)

مجید قلهکی\* (دانشیار)

امید رضایی فر (دانشیار)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

مهندسی عمران شریف، تابستان (۱۳۹۹)  
دوری ۲-۳۶، شماره ۱/۲، ص. ۱۳-۲۵

در نوشتار حاضر، نوع جدیدی از دیوارهای برشی فولادی مرکب که در آن پوشش بتنی به جای اتصال کامل با ورق، فاصله دارند، مطالعه‌ای عددی شده‌اند. بر این اساس، دیوارهای برشی فولادی کمانش تاب با پوشش بتنی به فواصل صفر تا ۱۵ میلی‌متر بین ورق فولادی و پوشش بتنی پس از صحت‌سنجی به صورت پارامتریک مطالعه شده‌اند. نتایج مطالعات عددی بارافزون بر روی بیش از ۱۶۰ مدل اجزاء محدود نشان داد که افزایش فاصله بین پوشش بتنی و ورق فولادی باعث کاهش مقاومت و سختی اولیه دیوار برشی فولادی کمانش تاب می‌شود. همچنین در حالتی که بین پوشش بتنی و المان‌های مرزی فاصله وجود دارد، مقدار ضریب رفتار به صورت میانگین حدود ۱۱/۲۱ و در حالت بدون فاصله حدود ۸/۱۱ است. همچنین پوشش بتنی در دو سمت ورق فولادی در حالت بدون فاصله با المان‌های مرزی باعث افزایش ۴۵ درصدی مقدار سختی اولیه می‌شود.

**واژگان کلیدی:** دیوار برشی فولادی کمانش تاب، فاصله با پوشش بتنی، سختی، مقاومت، ضریب رفتار.

## ۱. مقدمه

دیوار برشی فولادی کمانش تاب، یک سیستم مقاوم جانبی است که در ساختمان‌های میان‌مرتبه و بلندمرتبه استفاده می‌شود. سیستم مذکور شبیه دیوار برشی فولادی همراه با سخت‌کننده است که در آن بتن مسلح جایگزین سخت‌کننده‌ها شده است. نقش اصلی پوشش بتنی در دیوار برشی فولادی کمانش تاب جلوگیری از کمانش ورق فولادی است. وزن کم و ضخامت کمتر از نقطه نظر معماری در مقایسه با دیوار برشی بتنی و شکل‌پذیری، سختی و ظرفیت بیشتر در مقایسه با دیوار برشی فولادی از جمله مزایای دیوار برشی فولادی کمانش تاب است. اجزاء اصلی سیستم مقاوم دیوار برشی فولادی کمانش تاب در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

طرح استفاده از دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک براساس نتایج مطالعات انجام شده بر روی تیورق‌ها برای اولین بار در دهه ۸۰ میلادی در دانشگاه آلبرتای کانادا توسط کولاک و همکاران مطرح شد. آن‌ها بررسی‌ها و مطالعات تئوریک و آزمایشگاهی خود را فقط بر روی دیوارهای برشی فولادی با ورق نازک متمرکز ساختند و ضمن انجام آزمایش‌هایی برای محاسبه ظرفیت نهایی آن‌ها، صفحه‌ی نازک جان را با یک سری میله‌های کششی مورب جایگزین کردند.<sup>[۱]</sup> اخیراً به استفاده از دیوار برشی فولادی به عنوان یک گزینه اقتصادی و سهل‌الاجرا برای مقاوم‌سازی سازه‌ها توجه شده است و پژوهشگران زیادی درباره‌ی موضوعات مختلف سیستم مذکور،

\* نویسنده مسئول

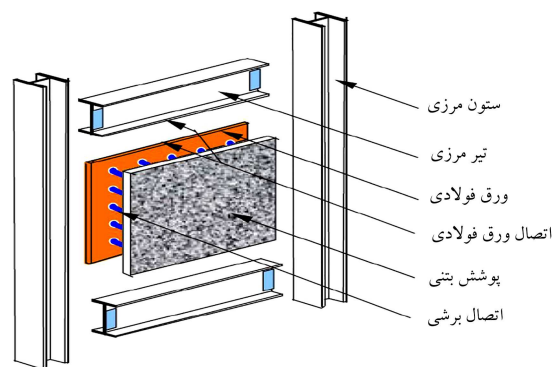
تاریخ: دریافت ۱۳۹۷/۲/۲، اصلاحیه ۱۳۹۷/۵/۷، پذیرش ۱۳۹۷/۸/۱۳.

DOI:10.24200/J30.2018.50618.2333

rahimikhah.mohammad.1370@semnan.ac.ir  
mgholhaki@semnan.ac.ir  
orezayfar@semnan.ac.ir

مطالعاتی انجام داده‌اند که از آن جمله می‌توان به این موارد اشاره کرد: طی سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۱، دو پروژه تحقیقاتی به موازات هم در دانشگاه برکلی در ارتباط با دیوارهای برشی انجام پذیرفت. ۱. پروژه دیوارهای برشی فولادی کمانش تاب بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۰، ۲. پروژه مطالعه رفتار لرزه‌ی دیوارهای برشی فولادی بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۱ که هر دو به سرپرستی پروفیسور آستانه اصل صورت پذیرفته است. موضوع اصلی پژوهش اخیر، بررسی آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی کمانش تاب تحت بار چرخشی در دو حالت نمونه‌ی قدیمی و نوین بود و نتایج نشان داد که مقاومت پیشین‌ی سیستم قدیم (بدون درز)، خیلی بیشتر از سیستم نوین (با درز) است و به نظر می‌رسد که مشارکت پوشش بتنی در مقاومت برشی، مقدار زیادی به سختی سیستم نمی‌افزاید. مهم‌ترین اختلاف بین دو نمونه‌ی اخیر در رفتار پوشش بتنی بوده است. در نمونه‌ی بدون درز در طول سیکل‌های اولیه در لبه‌های پوشش بتنی ترک ایجاد شده است، در حالی که در نمونه با درز، هیچ‌گونه آسیب در پوشش بتنی مشاهده نشد. در سیکل‌های بعدی، آسیب در نمونه‌ی بدون درز قابل توجه بود، در حالی که در نمونه‌ی با درز، آسیب ذکر شده به نسبت بسیار کمتر بود.<sup>[۲]</sup>

در مطالعات رهایی و حاتمی (۲۰۰۸)، به بررسی آزمایشگاهی و عددی فاصله بین برش‌گیرها، اثر اتصال تیر به ستون و تأثیر صلبیت تیر میانی در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب پرداخته شد و به منظور مطالعه‌ی عددی برای ارزیابی مدل و روش تحلیل به کمک نرم‌افزار اجزاء محدود انسیس<sup>۱</sup> نسخه ۱۱، دو مدل آزمایشگاهی



شکل ۱. اجزاء اصلی دیوار برشی فولادی کمانش تاب.<sup>[۱]</sup>

در دانشگاه برکلی و آلبرتا انتخاب شد و نتایج نشان داد که صلبیت تیر میانی و نوع اتصال بین تیر میانی و ستون، تأثیر ناچیزی در سیستم دیوار برشی فولادی کمانش تاب دارد و افزایش تعداد برشگیرها باعث کم شدن تغییرمکان محوری می‌شود. در واقع، افزایش تعداد برشگیرها باعث یکنواخت‌تر توزیع شدن تنش‌ها بر روی پوشش بتنی و برشگیرها می‌شود. همچنین افزایش فاصله بین برشگیرها، بیش از ۲۵٪ جذب انرژی سیستم دیوار برشی فولادی کمانش تاب را افزایش می‌دهد.<sup>[۴]</sup>

عربزاده و همکاران (۲۰۱۱)، نیز طی مطالعات آزمایشگاهی مهمی بر روی دیوار برشی فولادی کمانش تاب یک طبقه و سه طبقه نشان دادند در صورتی که ستون‌های سیستم، سختی خمشی بالایی داشته باشند، رفتار سیستم مذکور مطلوب خواهد بود و با افزایش تعداد بولت‌ها بار کمانشی زیاد می‌شود و تغییر جهت میلگردها فقط در آسیب دیدن پوشش بتنی مؤثر است. همچنین نسبت فاصله‌ی بولت‌ها به ضخامت ورق، تأثیر مستقیم در شکل‌پذیری دارد، در حالی که بار تسلیم ورق فولادی، رابطه‌ی معکوس با نسبت فاصله‌ی بولت‌ها به ضخامت ورق دارد.<sup>[۵]</sup>

همچنین رهنورد و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود مشاهده کردند که ضخامت بتن تأثیری در تغییرمکان قاب ندارد و استفاده از پوشش بتنی در هر دو سمت، باعث افزایش جذب انرژی و کاهش کمانش صفحه‌ی فولادی می‌شود، همچنین در لحظات اولیه در مدل بدون درز، ترک در پوشش بتنی رخ می‌دهد.<sup>[۶]</sup> شهریاری و اسفندیاری (۲۰۱۵) نیز از طریق مدل‌سازی دیوار برشی فولادی مرکب در نرم‌افزار آباکوس<sup>۲</sup> نتیجه گرفتند که با افزایش طبقات سازه، مقدار سختی و مقاومت کاهش می‌یابد، اما جذب انرژی و شکل‌پذیری افزایش می‌یابد.<sup>[۷]</sup> همچنین میوونگ و همکاران (۲۰۱۶)،<sup>[۸]</sup> برای تخمین رفتار لرزه‌ی سیستم دیوار برشی فولادی کمانش تاب تحت بار چرخه‌ی و یکنواخت از نرم‌افزار آباکوس نسخه‌ی ۱۳/۱ و از مدل اجزاء محدود برای بررسی تأثیر فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در مقاومت برشی استفاده کردند. با تعیین مقدار فاصله بین ۱ میلی‌متر تا بی‌نهایت، مشاهده شد که با افزایش مقدار فاصله، مقاومت برشی کاهش می‌یابد. به هر حال از تأثیر مقدار فاصله در اندازه‌های کمتر از ۵ میلی‌متر می‌توان چشم‌پوشی کرد. هر چه مقدار فاصله به سمت بی‌نهایت رود، مثل این است که پوشش بتنی وجود ندارد و مقاومت برشی سیستم به مقاومت برشی سیستم بدون پوشش نزدیک‌تر می‌شود. این نکته نیز مشاهده شد که با افزایش فاصله، تعداد موج‌های کمانشی کاهش یافتند. یعنی با افزایش فاصله، مدهای کمانش از بالا به پایین تغییر می‌کنند. در مطالعات آزمایشگاهی و عددی رسولی و همکاران (۲۰۱۶) بر روی دیوار برشی فولادی مرکب، ضمن بررسی تأثیر بتن سبک در سیستم مذکور نشان داده شد که ظرفیت برشی نمونه‌های دارای بتن سبک و نمونه‌های دارای

بتن معمولی با هم برابر است، هر چند که بتن سبک باعث کاهش وزن سازه می‌شود.<sup>[۹]</sup>

وانگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز در بررسی تأثیر پارامترهایی، از جمله: اعمال بار فشاری محوری، مقاومت فشاری بتن و درصد حجم میلگرد به کار برده شده در بتن نتیجه گرفتند که اعمال بار ثقلی، تأثیر منفی در رفتار لرزه‌ی سیستم دارد و با افزایش مقاومت فشاری بتن، از تأثیر ذکر شده کاسته می‌شود، همچنین مقدار میلگردها تأثیر ناچیزی در دیوار برشی فولادی مرکب دارد.<sup>[۱۰]</sup> همچنین در سال ۲۰۱۷، کین و همکاران روابط مربوط به مقاومت کمانشی ورق فولادی و ظرفیت برشی دیوار برشی فولادی مرکب را ارائه کردند.<sup>[۱۱]</sup> طبق نتایج آزمایشگاهی لی و همکاران (۲۰۱۷)، نیز رابطه‌ی مربوط به بار ترک‌خوردگی بتن به دست آمد و مشاهده شد که ضخامت ورق فولادی و اعمال بار ثقلی باعث افزایش سختی و مقاومت دیوار برشی فولادی مرکب می‌شود و مقاومت فشاری بتن، تأثیر ناچیزی در سختی و مقاومت دیوار برشی فولادی مرکب دارد.<sup>[۱۲]</sup> همچنین در آزمایش‌های ژنگ و همکاران (۲۰۱۸)، ضمن بررسی و مقایسه‌ی عملکرد دیوار برشی فولادی مرکب و دیوار برشی بتنی، نتیجه‌گیری شد که دیوار برشی فولادی مرکب از عملکرد لرزه‌ی بالاتری دارد.<sup>[۱۳]</sup> مرور ادبیات فنی و مطالعات پیشین حاکی از آن است که تاکنون مطالعات اندکی در زمینه‌ی اثر فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب انجام شده است و فقط بررسی اثر فاصله‌ی ذکر شده در مقاومت برشی سیستم اخیر به چشم می‌خورد که توسط میوونگ و همکاران (۲۰۱۶)، البته بدون در نظر گرفتن اثر فاصله بین پوشش بتنی و آلان‌های مرزی صورت گرفته است. لذا بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی اثر فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب محدود است و نیاز به پژوهش بیش از پیش احساس می‌شود. بنابراین در پژوهش حاضر سعی شده است تا با استفاده از یک روش عددی مناسب و کارآمد، تخمین دقیقی از اثر فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در سختی اولیه، مقاومت تسلیم و ضریب رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب با در نظر گرفتن اثر فاصله بین پوشش بتنی و آلان‌های مرزی ارائه شود.

## ۲. صحت‌سنجی و مدل‌سازی نمونه‌ی آزمایشگاهی

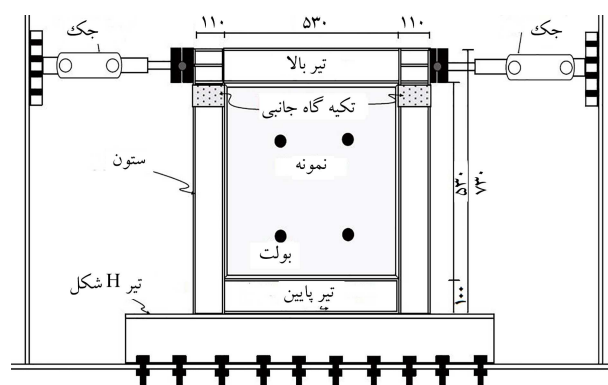
به منظور صحت‌سنجی مدل‌سازی عددی، مشخصات مدل دیوار برشی فولادی کمانش تاب از مطالعه‌ی آزمایشگاهی که توسط عربزاده و همکاران در دانشگاه تربیت مدرس (۲۰۱۱)،<sup>[۵]</sup> بر روی رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب انجام شده بود، انتخاب شده است. مطابق شکل ۲، مدل آزمایشگاهی شامل یک دیوار برشی فولادی کمانش تاب یک طبقه تک‌دهانه با مقیاس ۱:۴ بوده و در ادامه، مشخصات مصالح و مقاطع به کار رفته در مطالعه‌ی آزمایشگاهی حاضر شرح داده شده است.

### ۱.۲. مشخصات مصالح نمونه‌ی آزمایشگاهی

خصوصیات مصالح فولادی در جدول ۱ ارائه شده است. مقاومت فشاری استوانه‌ی پوشش بتنی ۴۳ مگاپاسکال با مدول کشسانی ۳۰۰۷۱ مگاپاسکال گزارش شده است. معمولاً برای به دست آوردن مشخصات خمیری فولاد (کرنش خمیری) که در آنالیز غیرخطی کاربرد دارد، از منحنی دوخطی تنش - کرنش فولاد استفاده و شیب قسمت سخت‌شوندگی منحنی ۲٪ تا ۳٪ در نظر گرفته می‌شود. همچنین ضریب پواسون فولاد برابر ۰/۳ در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه صحت‌سنجی

جدول ۳. مشخصات مقاطع در مدل آزمایشگاهی [۵].

نوع مقطع	ابعاد
ستون‌ها	$2IPE + 2PL 100 \times 5$
تیرها	$2IPE 100$
ضخامت ورق فولادی (mm)	۲
قطر بولت (mm)	۲۰
قطر میلگرد (mm)	۳
ضخامت پوشش بتنی (mm)	۳۰



شکل ۲. مدل آزمایشگاهی انتخاب شده از دانشگاه تربیت مدرس [۵].

جدول ۱. مشخصات فولاد مصرفی در مدل آزمایشگاهی [۵].

نوع مقطع	تنش تسلیم (MPa)	مقاومت نهایی (MPa)	مدول کشسانی (MPa)
بال ستون و تیر	۳۰۸	۴۷۹	۲۰۰۰۰۰
جان ستون و تیر	۲۸۵	۴۴۶	۲۰۰۰۰۰
ورق فولادی	۲۶۸	۴۱۵	۲۰۰۰۰۰
بولت	۱۰۸۰	۱۲۹۰	۲۰۰۰۰۰
میلگرد	۲۳۶	۴۹۲	۲۰۳۰۰۰

جدول ۲. مشخصات محدوده‌ی خمیری بتن [۵].

ویسکوزیته	سختی	خروج از مرکزیت	زاویه اتساع
۰/۰۱	۰/۶۷	۰/۰۵	۳۰

تحت بارگذاری چرخه‌یی صورت می‌گیرد، نیاز است که یک سیکل سخت‌شدگی با نسبت ثابت در نظر گرفته شود، به همین دلیل با انتخاب گزینه‌ی kinematic در قسمت مربوط به مشخصات خمیری مصالح فولادی، سخت‌شدگی مذکور لحاظ می‌شود. [۱۲]

در نرم‌افزار آباکوس برای در نظر گرفتن خرابی بتن، سه نوع ترک‌خوردگی شامل: مدل ترک‌خورده، مدل شکسته و مدل خمیری آسیب‌دیده قابل مدل‌سازی است. با توجه به اینکه مدل خمیری آسیب‌دیده، دو فرض اصلی شامل ترک‌خوردگی کششی و خردشدگی فشاری را در نظر می‌گیرد و در واقع رفتار بتن واقعی‌تر نشان داده می‌شود، از مدل خمیری آسیب‌دیده<sup>۲</sup> استفاده شده است. [۱۴] مشخصات محدوده‌ی خمیری بتن در جدول ۲ ارائه شده است.

## ۲.۲. مشخصات مقاطع نمونه

در جدول ۳، مشخصات مقاطع استفاده شده در مطالعه‌ی آزمایشگاهی ارائه شده است.

## ۳.۲. انتخاب نوع المان

با توجه به صحت‌سنجی انجام گرفته در پژوهش حاضر، جهت مدل‌سازی ورق فولادی، سخت‌کننده‌ها و المان‌های مرزی از المان پوسته‌یی Shell با ۴ گره و با استفاده از انتگرال کاهش یافته‌ی S۴R استفاده شده است. لازم به ذکر است از المان Shell برای مدل‌سازی سازه‌هایی که تغییرات تنش در بُعد سوم آن‌ها قابل

چشم‌پوشی است، استفاده می‌شود. همچنین استفاده از انتگرال گیری کاهش یافته موجب کاهش زمان اجرای برنامه می‌شود. [۱۵]

جهت مدل‌سازی پوشش بتنی و بولت‌ها از المان پیوسته‌ی (Solid) سه بعدی ۸ گره‌یی با استفاده از انتگرال کاهش یافته‌ی C۳D۸R استفاده شده است. المان‌های Solid می‌توانند برای تحلیل‌های خطی یا غیرخطی پیچیده با وجود تماس، حالت خمیری و یا تغییر شکل‌های بزرگ در مسائل، از جمله: تحلیل‌های تنش، انتقال حرارت، آکوستیک، ترمومکانیکی، الکترومغناطیسی و غیره به‌کار روند. برای مشاهده‌ی یک تنش سه بعدی در آباکوس از المان Solid استفاده می‌شود. جهت مدل‌سازی میلگردها از المان خرابی (Truss) سه بعدی با مرتبه‌ی هندسی خطی T۳D۲ استفاده شده است. المان‌های Truss، اعضایی سازه‌یی هستند که فقط نیروی محوری را انتقال می‌دهند و لنگر خمشی و برش را انتقال نمی‌دهند.

## ۴.۲. تعیین اندرکنش المان‌های مدل

با توجه به اتصال گیردار تیر به ستون و سخت‌کننده‌ها به ستون، اتصال‌های مذکور در مدل عددی به صورت merge انجام شده است. با توجه به اینکه از مدل کردن ورق‌های اتصال ورق فولادی به المان‌های مرزی صرف‌نظر شده است، ورق فولادی به تیرها و ستون‌ها به صورت گره به گره بسته شد. جهت مدل‌سازی اتصال جوشی بولت‌ها به ورق فولادی، از قید tie برای اتصال merge در مدل و برای اتصال بولت‌ها به پوشش بتنی از قید tie استفاده شده است. همچنین از یک لایه‌ی تماسی بدون اصطکاک و مانع نفوذ، جهت تماس بتن مسلح با المان‌های مرزی و ورق فولادی استفاده شده است.

## ۵.۲. تعیین شرایط مرزی و بارگذاری

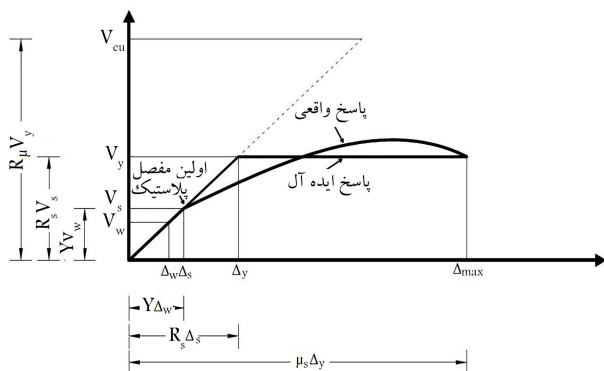
با توجه به اتصال پیچی در مدل آزمایشگاهی، اتصال پای ستون‌ها و تیرکف به صورت گیردار مدل شده است. از طرفی دیگر، به منظور انجام تحلیل پوش‌آور، تغییر مکانی برابر تغییر مکان موردنظر در گره‌های بالای قاب و در راستای تیر سقف اعمال شده است. مدل نهایی در نرم‌افزار آباکوس که نوع بارگذاری و شرایط مرزی نیز در آن مشخص است، در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

## ۶.۲. تعیین اندازه‌ی مش بندی

طبق صحت‌سنجی مشاهده شده در شکل‌های ۴ الی ۶، با انجام آنالیز حساسیت به مش‌بندی، ابعاد المان‌ها مطابق جدول ۴ به دست آمده و مطابق شکل‌های اخیر، نمودارهای به دست آمده با نمودارهای آزمایشگاهی تطبیق مناسبی داشته است.

جدول ۴. ابعاد نهایی المان‌های مورد استفاده در آنالیز حساسیت به مش‌بندی.

نوع	ابعاد (mm)	تعداد	تعداد کل
قاب	۳۰	۱۳۱۲	
پوشش بتنی	۲۰	۱۲۵۰	
ورق فولادی	۳۰	۳۲۴	۵۶۶۲
بولت‌ها	۳	۵۱۰	
میلگردها	۵	۲۲۶۶	



شکل ۷. نحوه‌ی ترسیم منحنی دوطبقی. [۱۶]

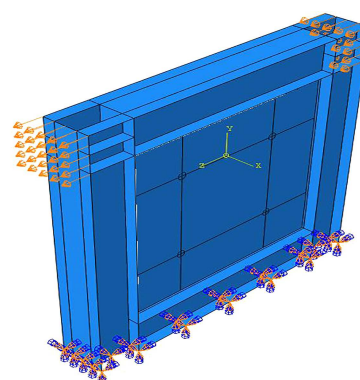
## ۷.۲. تعیین نوع تحلیل

نرم‌افزار آباکوس، قابلیت انجام انواع تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی و نیز خطی و غیرخطی را دارد. آنالیز بارافزون در واقع یک تحلیل استاتیکی غیرخطی تحت اثر بارهای جانبی فزاینده است. هدف از تحلیل انجام شده، برآورد رفتار موردانتظار یک سیستم سازه‌یی به کمک تخمین مقاومت و تغییرشکل موردنیاز است. علت استفاده از آنالیز بارافزون، سرعت بالای انجام آن، سادگی تفسیر نتایج، و دقت قابل‌قبول آن است. یکی از مهم‌ترین نتایج تحلیل بارافزون، تعیین نمودار بار- تغییرمکان است که با مشخص کردن نیروی برش پایه و تغییرمکان جانبی بالاترین سطح سازه به‌دست می‌آید که به منحنی پوش‌آور معروف است و برای سازه‌های کوتاه مناسب است. با وجود این، نشان ندادن موده‌های بالاتر و قابلیت نداشتن ارائه‌ی پاسخ واقعی سازه در مقابل زلزله، از جمله نقاط ضعف تحلیل پوش‌آور است. با توجه به مطالب اخیر به منظور بررسی رفتار دیوار برشی فولادی کم‌ناش تاب، از تحلیل پوش‌آور استفاده شده است. [۱۴]

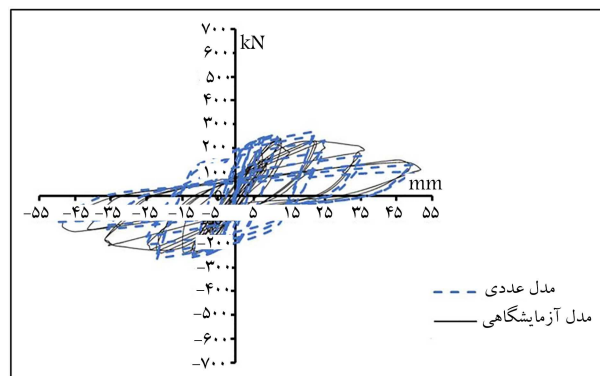
## ۳. نحوه‌ی تعیین سختی و مقاومت و ضریب رفتار

سختی، مقاومت تسلیم و ضریب رفتار مدل‌ها مطابق شکل ۷ براساس آیین‌نامه‌ی ATC۴۰ و با استفاده از روش یوانگ به‌دست آمده است. مطابق شکل ۷، سختی برابر شیب اولیه‌ی منحنی، مقاومت تسلیم برابر  $V_y$  و ضریب رفتار آن به این شرح به‌دست می‌آید. براساس پژوهش‌های یوانگ (۱۹۹۵)، [۱۶] فرمول‌بندی جدیدی برای ضریب رفتار ارائه شده است که مطابق رابطه‌ی ۱ به صورت حاصل‌ضرب سه عامل بوده و در پژوهش حاضر استفاده شده است: [۱۷]

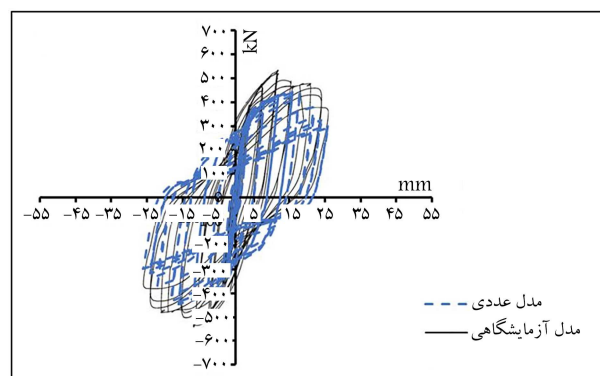
$$R = R_s R_\mu R_R \quad (۱)$$



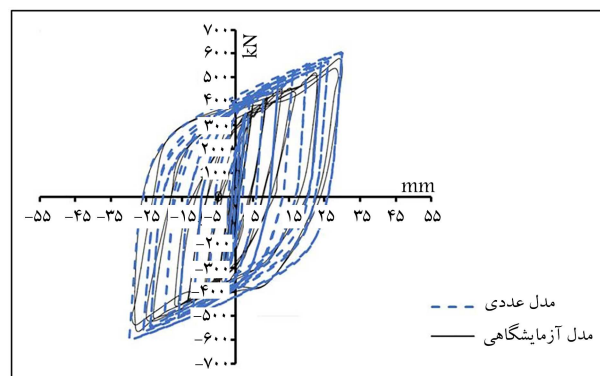
شکل ۳. شرایط مرزی و بارگذاری مدل عددی.



شکل ۴. مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی برای فقط قاب.



شکل ۵. مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی برای دیوار برشی فولادی.



شکل ۶. مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی برای دیوار برشی فولادی مرکب.

## ۵. پارامترهای مورد بررسی در مدل‌های عددی

در نوشتار حاضر، تأثیر ۴ پارامتر در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب بررسی شده است که از میان آن‌ها، مقدار فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی که موضوع اصلی نوشتار حاضر است، اهمیت بیشتری دارد. به‌طور کلی، ۱۶۰ نمونه دیوار برشی فولادی کمانش تاب (CSPSW) مدل‌سازی و بررسی شده است که به منظور شناسایی و رهگیری مناسب مدل‌ها، از یک نام‌گذاری مناسب استفاده شده است که ۵ بخش دارد: بخش اول، مشخص‌کننده فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی از ورق فولادی؛ بخش دوم، مشخص‌کننده تنش تسلیم ستون؛ بخش سوم، نشان‌دهنده تنش تسلیم ورق؛ بخش چهارم، مقاومت فشاری پوشش بتنی؛ و بخش پنجم، داشتن درز بین پوشش بتنی با المان‌های مرزی را نشان می‌دهد. به‌طور مثال، نام ۲۴۰-۲۴۰-gap-۱۵-CSPSW نشان‌دهنده نمونه‌ای است که در آن فاصله بین پوشش بتنی و ورق فولادی ۱۵ میلی‌متر، تنش تسلیم ستون ۲۴۰ مگاپاسکال، تنش تسلیم ورق ۲۴۰ مگاپاسکال، مقاومت فشاری پوشش بتنی ۴۳ مگاپاسکال در دو طرف ورق است. در صورتی که پوشش بتنی به المان‌های مرزی متصل باشد، از عبارت no gap و در غیر این صورت، از عبارت gap استفاده می‌شود. در ادامه، پارامترهای ذکر شده شرح داده شده‌اند.

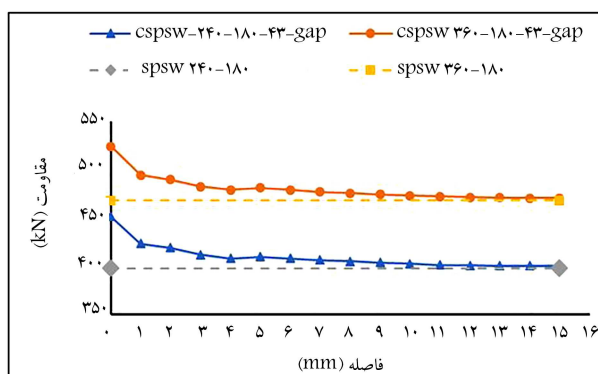
### ۱.۵. مقدار فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی

جهت بررسی تأثیر مقدار فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب، با توجه به مقدار تغییر شکل خارج از صفحه‌ی ورق فولادی، مقدار فواصل مذکور بین ۰ تا ۱۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

### ۲.۵. تنش تسلیم ستون‌ها

جهت بررسی تأثیر تنش تسلیم ستون‌ها در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب، از دو نوع فولاد با تنش تسلیم ۲۴۰ و ۳۶۰ مگاپاسکال استفاده شده است. شکل‌های ۸ و ۹، به ترتیب تأثیر تنش تسلیم ستون‌ها را با در نظر گرفتن فواصل مختلف در مقاومت در دو حالت درزدار و بدون درز و شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب تأثیر تنش تسلیم ستون‌ها را با در نظر گرفتن فواصل مختلف در ضریب رفتار در دو حالت درزدار و بدون درز در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب نشان می‌دهند.

مطابق شکل‌های ۸ الی ۱۱ مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله تحت تنش‌های



شکل ۸. منحنی مقاومت-فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های دارای درز.

که در آن،  $R_S$  ضریب کاهش ناشی از مقاومت افزون یا ضریب مقاومت افزون،  $R_\mu$  ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری و  $R_R$  ضریب کاهش ناشی از نامعینی یا ضریب درجه‌ی نامعینی سازه است. با ایده‌آل کردن منحنی رفتار کلی سازه به منحنی ارتجاعی خمیری (کشسان - خمیری) کامل مطابق شکل ۷، ضریب شکل‌پذیری کلی سازه به صورت خارج قسمت پیشینه‌ی تغییرمکان جانبی نسبی ( $\Delta_{max}$ ) به تغییرمکان جانبی نسبی تسلیم ( $\Delta_y$ ) تعریف می‌شود (رابطه‌ی ۲):

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (2)$$

برای سازه‌های سخت یا بسامد بین ۲ تا ۸ هرتر (تناوب بین ۰/۱۲ تا ۰/۵ ثانیه) ضریب کاهش ناشی از شکل‌پذیری از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید: [۱۷، ۱۶]

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \quad (3)$$

که در آن باید شرط رابطه‌ی ۴ برقرار باشد:

$$\frac{\mu}{R_\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2\mu - 1}} \geq 1 \quad (4)$$

مقاومت افزون سازه مقاومتی است که سازه بعد از تشکیل شدن اولین لولای خمیری در اعضا تا مرحله‌ی مکانیزم ناپایداری سازه از خود نشان می‌دهد. از عوامل مؤثر در مقاومت افزون می‌توان به موارد زیاد بودن مقاومت واقعی مصالح از مقاومت اسمی آن‌ها، مقاومت اعضاء غیرسازه‌یی، لرزه‌خیزی منطقه، زمان تناوب سازه، نوع سیستم سازه‌یی و غیره اشاره کرد. [۱۸] در واقع، مقاومت ذخیره‌یی که بین تراز تسلیم کلی سازه ( $V_y$ ) و تراز اولین تسلیم ( $V_S$ ) وجود دارد، به عنوان مقاومت افزون  $R_S$  شناخته می‌شود. از این رو ضریب مقاومت افزون عبارت است از خارج قسمت نیروی متناظر با حد تسلیم کلی سازه به هنگام تشکیل مکانیزم خرابی ( $V_y$ )، به نیروی متناظر با تشکیل اولین مفصل خمیری در سازه ( $V_S$ ) (رابطه‌ی ۵):

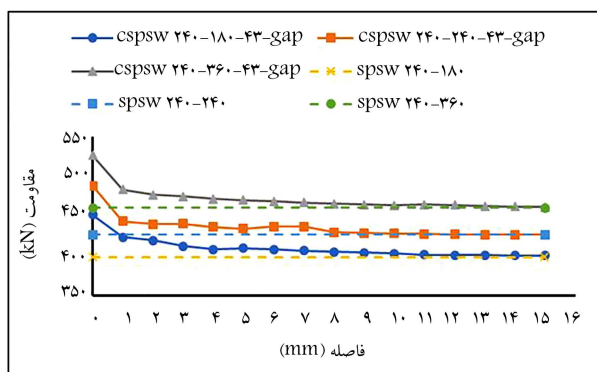
$$R_S = \frac{V_y}{V_S} \quad (5)$$

لازم به ذکر است که مقدار ضریب تنش مجاز ( $Y$ ) عبارت از نسبت نیرو در حد تشکیل اولین مفصل خمیری ( $V_S$ ) به نیرو در حد تنش‌های مجاز ( $V_W$ ) است. با افزایش درجه‌ی نامعینی سازه، مقدار ضریب وابسته به درجه‌ی نامعینی به مقدار ۱ نزدیک می‌شود. یکی از مزایای دیوار برشی فولادی، توزیع و تعدیل مناسب تنش‌ها در بین اعضا به دلیل وجود ایجاد اتصال پیوسته بین عناصر و جلوگیری از پدیده‌ی تمرکز اتصال‌ها در آن‌هاست. بر این اساس با توجه به کاربرد سیستم مذکور در یک قاب و اجرای دیگر قاب‌ها به صورت خمشی، درجه‌ی نامعینی در سازه‌های اشاره شده و نیز قابلیت اعتماد آن‌ها بسیار بالاست که بر این اساس می‌توان ضریب وابسته به درجه‌ی نامعینی آن‌ها را برابر ۱ در نظر گرفت.

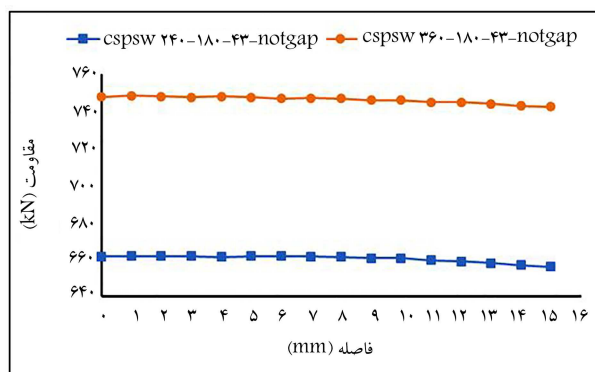
## ۴. نحوه‌ی دوخطی‌سازی منحنی بارافزون

طبق ضوابط موجود در بند ۸، ۲، ۲، ۲ در آیین‌نامه‌ی ۴۰-ATC [۱۹] منحنی دوخطی باید طوری رسم شود که:

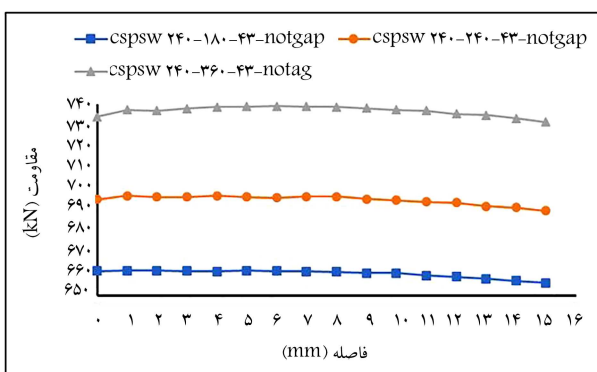
۱. سطح زیر منحنی واقعی بارافزون و منحنی دوخطی آن با هم برابر باشند.
۲. مختصات نقطه‌ی تقاطع خط مماس رسم شده در ناحیه‌ی کشسان با شیب اولیه‌ی سختی کشسان مؤثر ( $k_e$ ) و منحنی بارافزون، بر روی محور مختصات عمودی (نیرو) برابر مقدار ۰/۶ نیروی برشی تسلیم موردنظر باشد. [۲۰-۲۱]



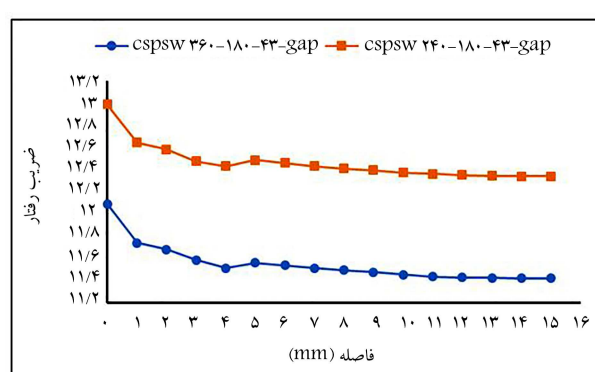
شکل ۹. منحنی مقاومت - فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های دارای درز.



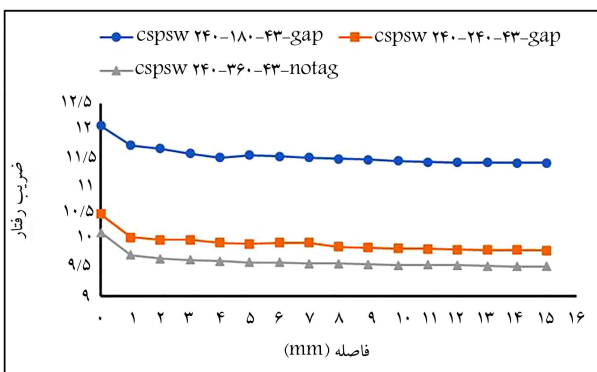
شکل ۱۰. منحنی مقاومت - فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های بدون درز.



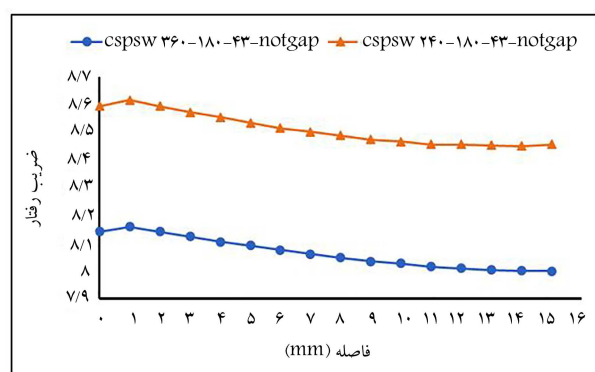
شکل ۱۱. منحنی مقاومت - فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های دارای درز.



شکل ۱۲. منحنی ضریب رفتار - فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های دارای درز.



شکل ۱۳. منحنی ضریب رفتار - فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های بدون درز.

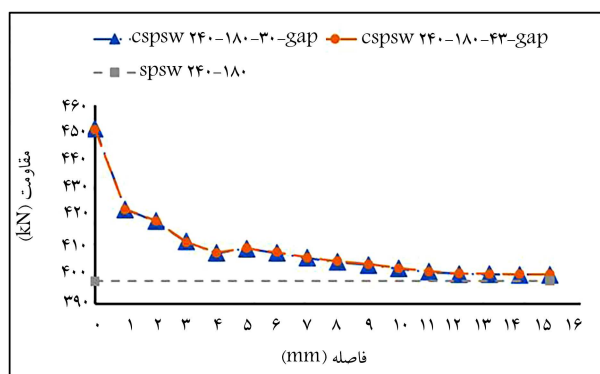


شکل ۱۴. منحنی ضریب رفتار - فاصله تحت تأثیر تنش‌های مختلف تسلیم ستون در مدل‌های بدون درز.

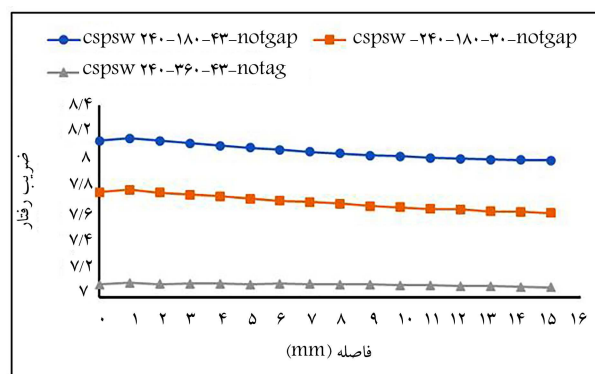
### ۳.۵. تنش تسلیم ورق فولادی

جهت بررسی تأثیر تنش تسلیم ورق فولادی در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب، از سه نوع فولاد با تنش‌های تسلیم ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ مگاپاسکال استفاده شده است. شکل‌های ۱۲ و ۱۳، به ترتیب تأثیر تنش تسلیم ورق‌ها را با در نظر گرفتن فواصل مختلف در مقاومت در دو حالت درزدار و بدون درز، و شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به ترتیب تأثیر تنش تسلیم ورق‌ها را با در نظر گرفتن فواصل مختلف در ضریب رفتار در دو حالت درزدار و بدون درز در رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب نشان می‌دهند.

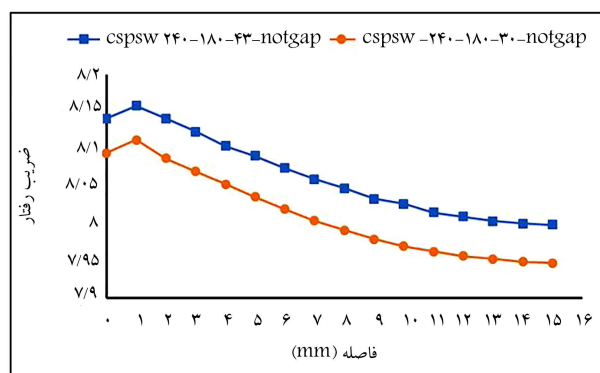
مختلف تسلیم ستون، مقاومت و ضریب رفتار دیوار برشی فولادی کمانش تاب کاهش می‌یابد و تنش تسلیم ستون، رابطه‌ی مستقیم با مقاومت و رابطه‌ی معکوس با ضریب رفتار دیوار دارد. همچنین ملاحظه می‌شود که پوشش بتنی در حالت بدون درز باعث افزایش حدود ۳۰٪ مقاومت و کاهش حدود ۳۰٪ ضریب رفتار دیوار شده است. همچنین مجدداً مشاهده می‌شود که در نمونه‌های دارای درز با افزایش فاصله، مقدار مقاومت به مقدار مقاومت دیوار برشی فولادی بدون پوشش نزدیک شده است، که صحت محاسبات را نشان می‌دهد.



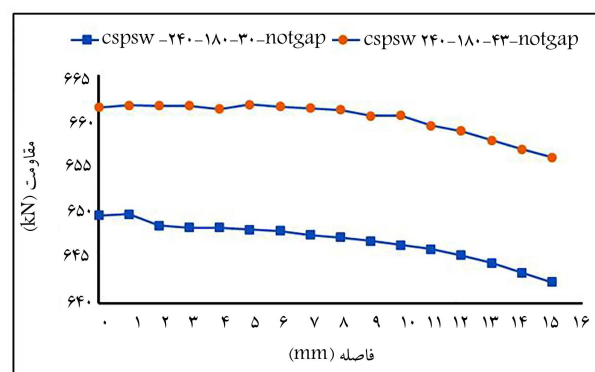
شکل ۱۷. منحنی مقاومت - فاصله تحت مقاومت های مختلف فشاری بتن در مدل های دارای درز.



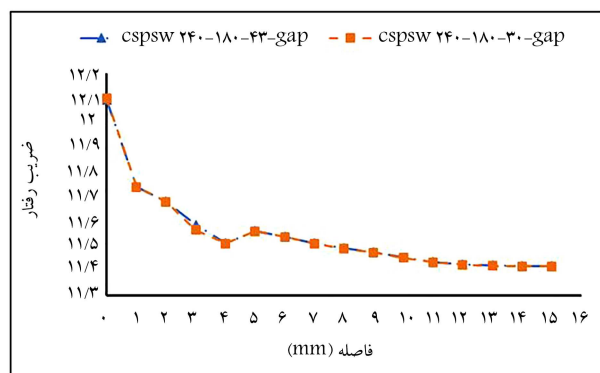
شکل ۱۵. منحنی ضریب رفتار - فاصله تحت تنش های مختلف تسلیم ورق در مدل های بدون درز.



شکل ۱۸. منحنی ضریب رفتار - فاصله تحت مقاومت های مختلف فشاری بتن در مدل های بدون درز.



شکل ۱۶. منحنی مقاومت - فاصله تحت مقاومت های مختلف فشاری بتن در مدل های بدون درز.



شکل ۱۹. منحنی ضریب رفتار - فاصله تحت مقاومت های مختلف فشاری بتن در مدل های دارای درز.

است. همچنین ملاحظه می شود که در حالت دارای درز به دلیل درگیر نشدن پوشش بتنی با المان های مرزی مقاومت فشاری بتن، تأثیری در مقاومت و ضریب رفتار دیوار نداشته است. به هر ترتیب در نمونه های بدون درز نسبت به نمونه های دارای درز، مقاومت دیوار در حدود ۴۰٪ افزایش و ضریب رفتار در حدود ۳۰٪ کاهش یافته است. همچنین مشاهده می شود که در نمونه های دارای درز با افزایش فاصله، مقدار مقاومت به مقدار مقاومت دیوار برشی فولادی بدون پوشش نزدیک شده است که صحت محاسبات را نشان می دهد.

مطابق شکل های ۱۲ الی ۱۵ مشاهده می شود که با افزایش فاصله تحت تنش های مختلف تسلیم ورق فولادی، مقاومت و ضریب رفتار دیوار برشی فولادی کماتش تاب کاهش می یابد و تنش تسلیم ورق فولادی، رابطه ی مستقیم با مقاومت و رابطه ی معکوس با ضریب رفتار دیوار دارد. همچنین ملاحظه می شود که پوشش بتنی در حالت بدون درز باعث افزایش حدود ۳۵٪ مقاومت و کاهش حدود ۲۵٪ ضریب رفتار دیوار شده است. همچنین مجدداً مشاهده می شود که در نمونه های دارای درز با افزایش فاصله، مقدار مقاومت به مقدار مقاومت دیوار برشی فولادی بدون پوشش نزدیک شده است که صحت محاسبات را نشان می دهد.

#### ۴.۵. مقاومت فشاری پوشش بتنی

جهت بررسی تأثیر مقاومت فشاری بتن در رفتار دیوار برشی فولادی کماتش تاب، از بتن با مقاومت فشاری ۳۰ و ۴۳ مگاپاسکال استفاده شده است. شکل های ۱۶ و ۱۷، به ترتیب تأثیر مقاومت فشاری بتن را با در نظر گرفتن فواصل مختلف در مقاومت در دو حالت بدون درز و دارای درز و شکل های ۱۸ و ۱۹ به ترتیب تأثیر مقاومت فشاری بتن را با در نظر گرفتن فواصل مختلف در ضریب رفتار در دو حالت بدون درز و دارای درز بر رفتار دیوار برشی فولادی کماتش تاب نشان می دهد.

مطابق شکل های ۱۶ الی ۱۹ مشخص است که با افزایش فاصله تحت مقاومت های فشاری مختلف، مقاومت دیوار برشی فولادی کماتش تاب کاهش یافته



## ۶. نمایش وضعیت کمانش ورق‌ها

در بخش حاضر، به عنوان نمونه وضعیت کمانش ورق‌ها در مدل‌های با تنش تسلیم ستون ۲۴۰ مگاپاسکال، تنش تسلیم ورق ۱۸۰ مگاپاسکال، مقاومت فشاری بتن ۴۳ مگاپاسکال تحت فواصل ۰ تا ۱۵ میلی‌متر در دو حالت دارای درز و بدون درز به ترتیب در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ مشاهده می‌شود.

مطابق شکل ۲۲ مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله، تعداد موج‌های کمانشی کاهش یافته، مدهای کمانش از بالا به پایین تغییر کرده، مقدار تغییر شکل خارج از صفحه‌ی ورق فولادی افزایش یافته و شکل مودهای کمانشی به حالت بدون پوشش نزدیک شده است. در حالتی که بین پوشش بتنی و قاب فولادی، فاصله وجود نداشته باشد، مطابق شکل ۲۳ مشاهده می‌شود با توجه به درگیر شدن پوشش بتنی با المان‌های مرزی، مقدار تغییر شکل خارج از صفحه‌ی ورق فولادی در مقایسه با نمونه‌ی متناظر دارای درز کاهش یافته است. لازم به ذکر است جهت مدل کردن کمانش ورق فولادی، یک میلی‌متر تغییر مکان خارج از صفحه در وسط ورق به عنوان عیب ابتدایی اعمال شده است که همان دلیل تغییر شکل خارج از صفحه‌ی مدل دارای فاصله‌ی صفر است.

## ۷. وضعیت تنش‌های ایجاد شده‌ی اجزاء دیوار برشی

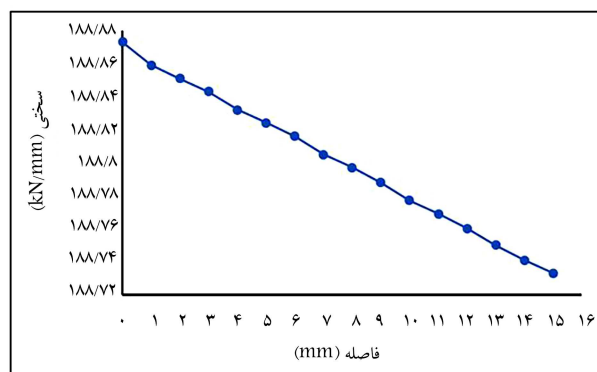
### فولادی کمانش تاب

در بخش کنونی، وضعیت تنش‌های تسلیم ایجاد شده در هر یک از اجزاء دیوار، شامل: پوشش بتنی، میلگردها، بولت‌ها، ورق فولادی و قاب فولادی برای دو حالت بدون درز و دارای درز برای نمونه‌ها با فاصله‌ی صفر و ۱۵ میلی‌متر به عنوان نمونه مطابق شکل‌های ۲۴ الی ۲۸ ارائه و تشریح شده است. برای نمونه‌های ارائه شده، تنش تسلیم ورق فولادی ۱۸۰ مگاپاسکال، تنش تسلیم ستون و تیرها ۲۴۰ مگاپاسکال و مقاومت فشاری بتن نیز ۴۳ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که رنگ خاکستری در مدل‌ها، نشان‌دهنده‌ی تسلیم شدن اجزا است. مطابق شکل ۲۴ به نظر می‌رسد که با افزایش فاصله بین پوشش بتنی و ورق فولادی، تنش بیشتری در قاب فولادی ایجاد می‌شود، همچنین در مدل بدون درز تنش بیشینه‌ی بیشتر مشاهده می‌شود.

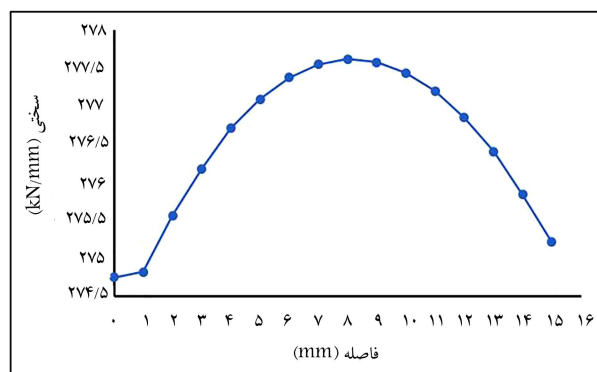
مطابق شکل ۲۵ مشاهده می‌شود که در مدل‌های دارای درز با افزایش فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی، مقدار تنش بیشتری در ورق فولادی ایجاد شده است. این در حالی است که در مدل‌های بدون درز با افزایش فاصله، مقدار تنش کمتری در ورق ایجاد شده است. مطابق شکل ۲۶ به نظر می‌رسد که با افزایش فاصله، تنش کمتری بر بولت ایجاد شده است.

مطابق شکل ۲۷ مشاهده می‌شود که در مدل‌های بدون درز با توجه به درگیر شدن مستقیم پوشش بتنی با قاب فولادی، تنش بیشتری در پوشش ایجاد شده است که در این حالت به نظر می‌رسد فاصله‌ی بین پوشش بتنی و ورق فولادی، تأثیر چندانی در تنش ندارد. در مدل‌های دارای درز مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله، تنش موجود در پوشش بتنی کاهش یافته و تنش‌های ذکر شده از وسط پوشش دور شده و به گوشه‌ی آن انتقال یافته است.

مطابق شکل ۲۸ مشاهده می‌شود که در مدل‌های بدون درز با توجه به درگیر شدن مستقیم پوشش بتنی با قاب فولادی تنش بیشتری در میلگردها ایجاد شده



شکل ۲۰. منحنی سختی برحسب فاصله برای نمونه‌ی دارای درز.



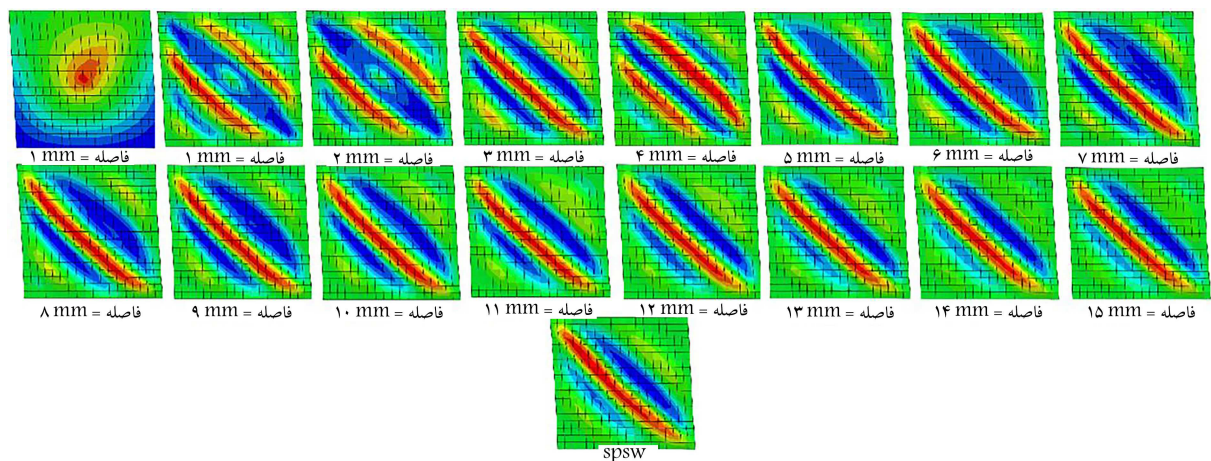
شکل ۲۱. منحنی سختی برحسب فاصله برای نمونه‌ی بدون درز.

## ۵.۵. بررسی تأثیر فاصله در سختی دیوار برشی فولادی کمانش تاب

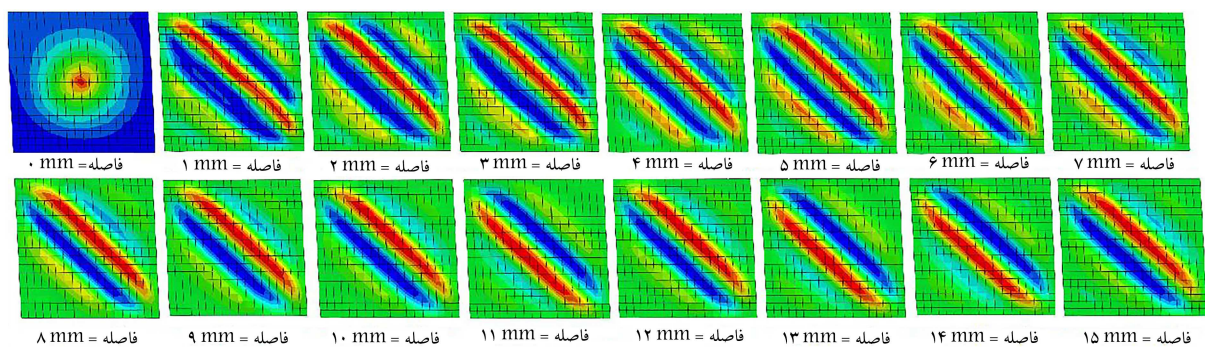
بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای مورد بررسی در پژوهش حاضر، یعنی تنش تسلیم ستون‌ها، تنش تسلیم ورق و مقاومت فشاری پوشش بتنی در سختی دیوار برشی فولادی کمانش تاب تأثیر نداشته و فقط مدول کشسانی مصالح و ابعاد اجزا در سختی دیوار مذکور مؤثر بوده‌اند. به هر ترتیب، سختی دیوار برشی فولادی کمانش تاب تحت فواصل مختلف در دو حالت بدون درز و دارای درز محاسبه شده‌اند و نتایج در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ مشاهده می‌شوند.

مطابق شکل ۲۰ مشخص است در دیوار برشی فولادی کمانش تاب دارای درز، مقدار سختی با افزایش فاصله کاهش یافته است که ناچیز است. در مدل‌های بدون درز با توجه به تأثیر مستقیم و زیاد سختی پوشش بتنی در سختی دیوار برشی فولادی کامپوزیت، در مقایسه با تأثیر غیرمستقیم و کم پوشش بتنی در سختی دیوار مذکور از طریق جلوگیری از کمانش ورق، تحت تأثیر هندسه‌ی دیوار، رابطه‌ی سختی و فاصله مطابق شکل ۲۱ است. در واقع هر چه پوشش بتنی در فاصله‌ی بین ورق فولادی و لبه‌ی بال ستون وسط‌تر و در میانه قرار گیرد، سختی دیوار برشی فولادی کمانش تاب افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود، نمونه‌های بدون درز حدود ۴۵٪ از نمونه‌های دارای درز سخت‌تر هستند. همچنین مشاهده می‌شود که در نمونه‌های دارای درز با افزایش فاصله، مقدار سختی به مقدار سختی دیوار برشی فولادی بدون پوشش نزدیک شده است که صحت محاسبات را نشان می‌دهد. به طور کلی مشاهده می‌شود که فاصله‌ی بین پوشش بتنی و ورق فولادی، تأثیر چندانی در سختی سیستم ندارد.

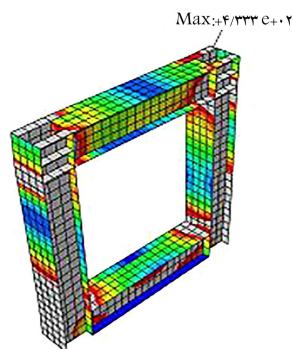
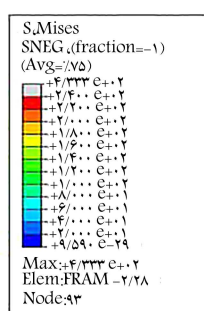




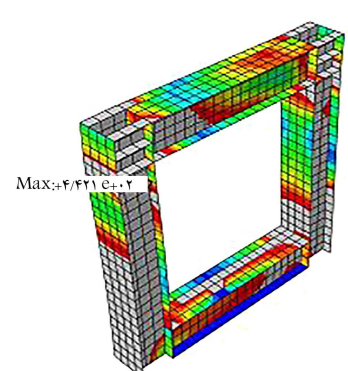
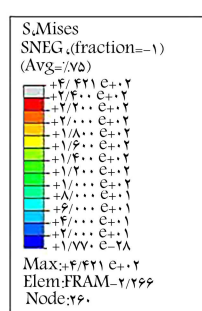
شکل ۲۲. مقایسه‌ی وضعیت کمانش ورق‌ها در مدل‌های C-SPSW-۲۳۰-۱۸۰-۴۳-gap و SPSW تحت فواصل ۱۵ میلی‌متر.



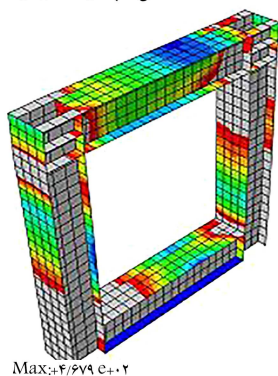
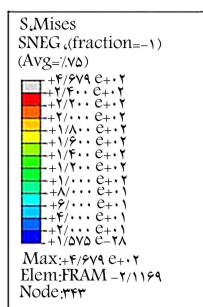
شکل ۲۳. مقایسه‌ی وضعیت کمانش ورق‌ها در مدل‌های C-SPSW-۲۴۰-۱۸۰-۴۳-nogap تحت فواصل ۱۵ میلی‌متر.



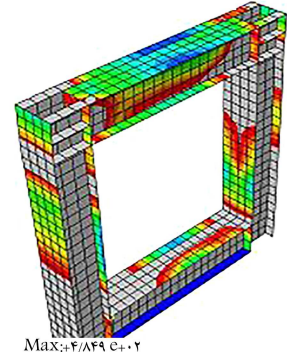
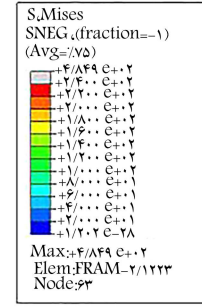
تنش قاب در مدل C-SPSW ۰-۲۴۰-۱۸۰-۴۳-gap



تنش قاب در مدل C-SPSW ۱۵-۲۴۰-۱۸۰-۴۳-gap

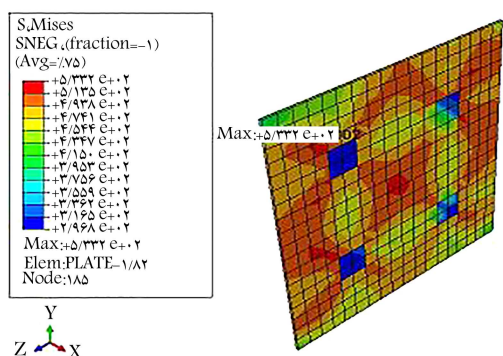


تنش قاب در مدل C-SPSW ۰-۲۴۰-۱۸۰-۴۳-nogap

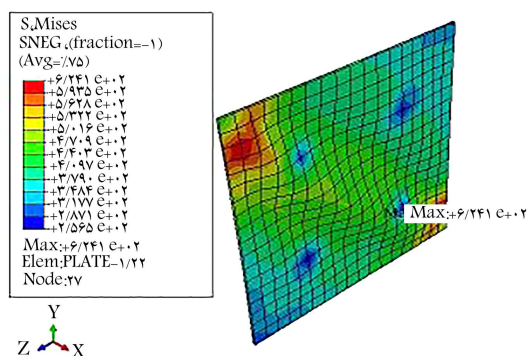


تنش قاب در مدل C-SPSW ۱۵-۲۴۰-۱۸۰-۴۳-nogap

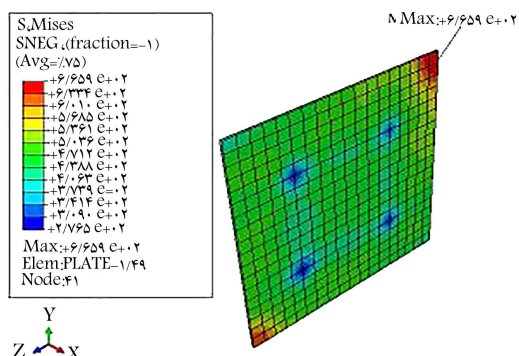
شکل ۲۴. مقایسه‌ی تنش قاب تحت فواصل ۱۵ میلی‌متر در دو حالت دارای درز و بدون درز.



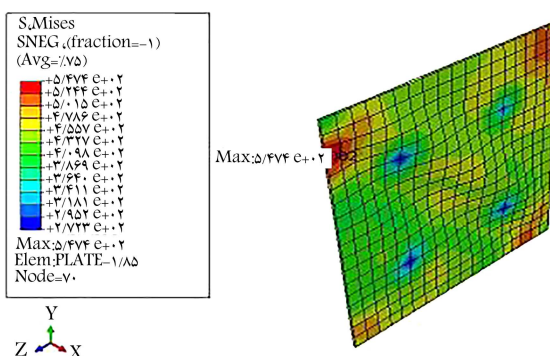
تنش ورق در مدل CSPSW 0-240-180-43-gap



تنش ورق در مدل CSPSW 15-240-180-43-gap

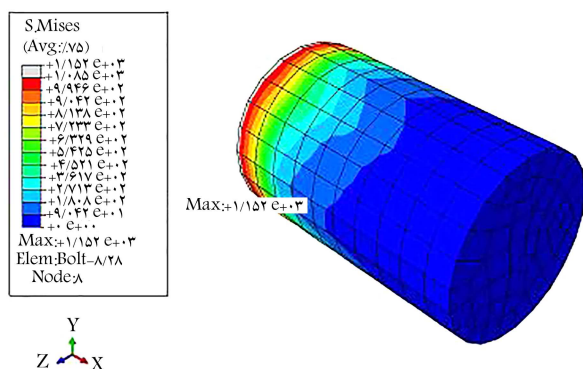


تنش ورق در مدل CSPSW 0-240-180-43-nogap

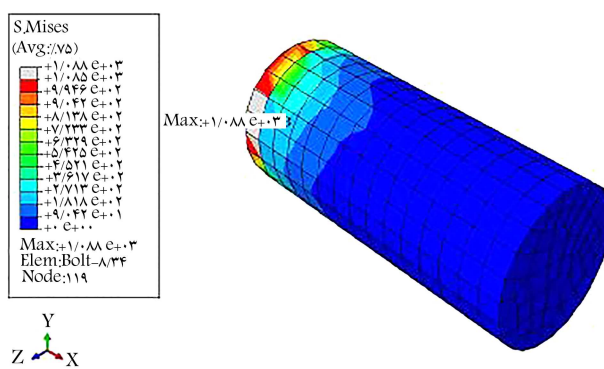


تنش ورق در مدل CSPSW 15-240-180-43-nogap

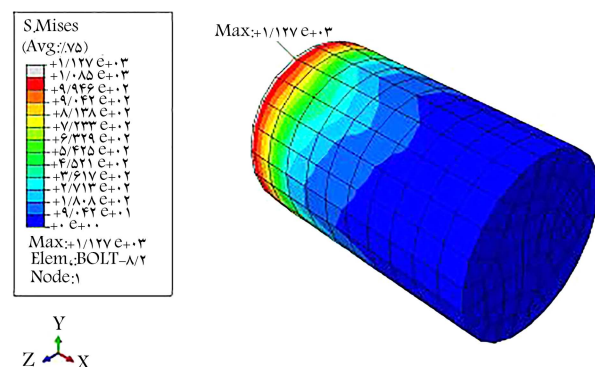
شکل ۲۵. مقایسه‌ی تنش ورق تحت فواصل ۰ و ۱۵ میلی‌متر در دو حالت دارای درز و بدون درز.



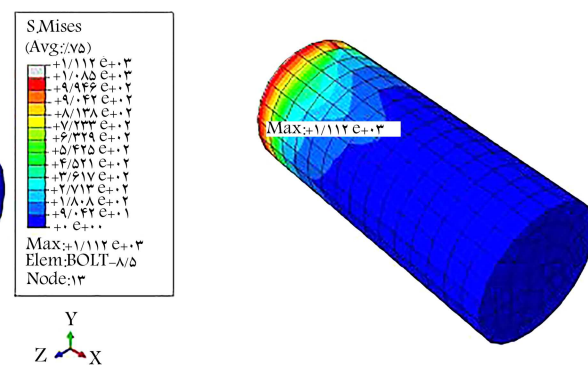
تنش بولت در مدل CSPSW 0-240-180-43-gap



تنش بولت در مدل CSPSW 15-240-180-43-gap



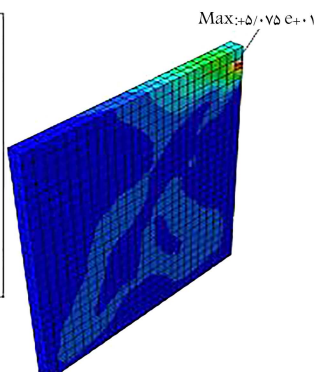
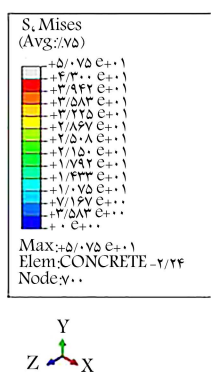
تنش بولت در مدل CSPSW 0-240-180-43-nogap



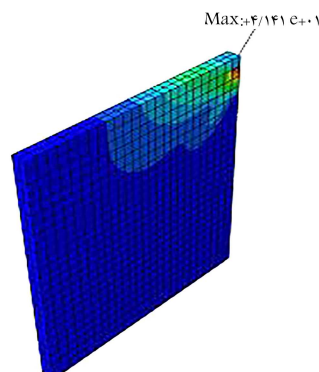
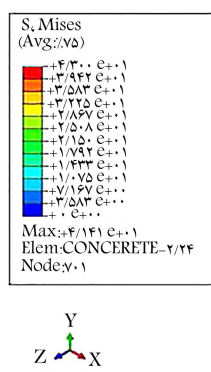
تنش بولت در مدل CSPSW 15-240-180-43-nogap

شکل ۲۶. مقایسه‌ی تنش بولت‌ها تحت فواصل ۰ و ۱۵ میلی‌متر در دو حالت دارای درز و بدون درز.

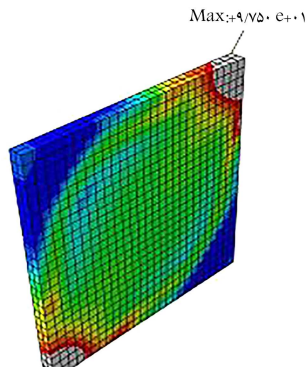
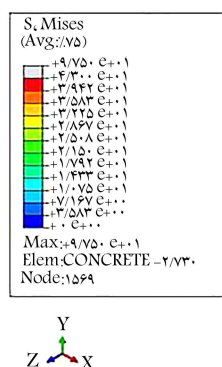




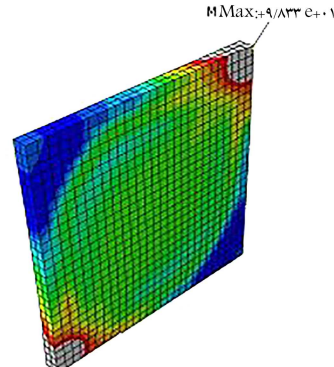
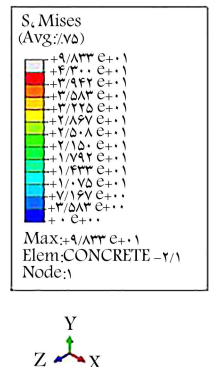
تنش بتن در مدل CSPSW 0-240-180-43-gap



تنش بتن در مدل CSPSW 15-240-180-43-gap

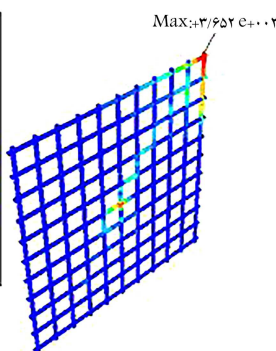
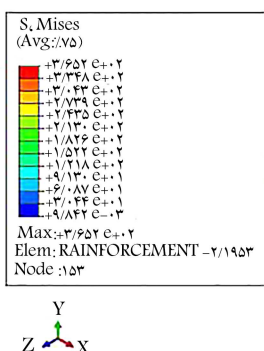


تنش بتن در مدل CSPSW 0-240-180-43-nogap

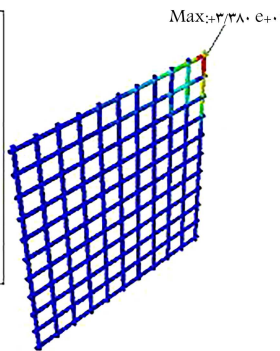
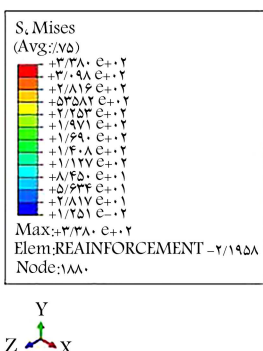


تنش بتن در مدل CSPSW 15-240-180-43-nogap

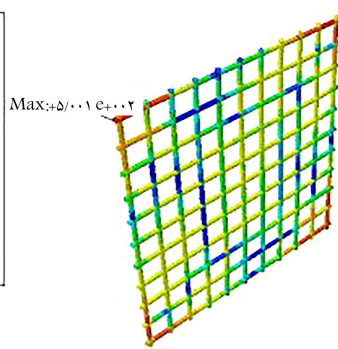
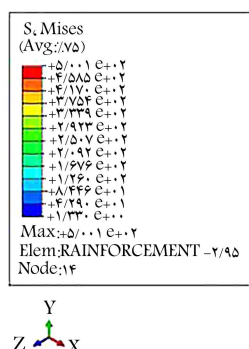
شکل ۲۷. مقایسه‌ی تنش بتن تحت فواصل ۱۵ و ۰ میلی متر در دو حالت دارای درز و بدون درز.



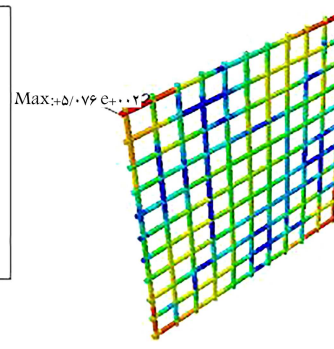
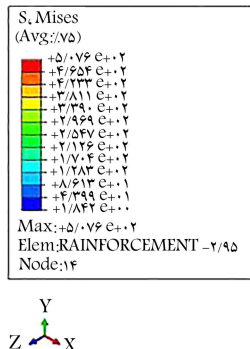
تنش میلگرد در مدل CSPSW 0-240-180-43-gap



تنش میلگرد در مدل CSPSW 15-240-180-43-gap



تنش میلگرد در مدل CSPSW 0-240-180-43-nogap



تنش میلگرد در مدل CSPSW 15-240-180-43-nogap

شکل ۲۸. مقایسه‌ی تنش میلگردها تحت فواصل ۱۵ و ۰ میلی متر در دو حالت دارای درز و بدون درز.

است که در این حالت به نظر می‌رسد فاصله‌ی بین پوشش بتنی و ورق فولادی، تأثیر چندانی در تنش نداشته است. در مدل‌های دارای درز مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله‌ی تنش موجود در پوشش بتنی کاهش یافته و تنش‌های مذکور از وسط ناحیه‌ی میلگردها دور شده و به گوشه‌ی آن‌ها انتقال یافته است.

## ۸. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، به بررسی اثر فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی در مقدار سختی اولیه، مقاومت و ضریب رفتار دیوار برشی فولادی مرکب، و نیز فاصله‌ی بین پوشش بتنی و قاب محیطی در دو حالت چسبیده و دارای درز پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل بارافزون نشان می‌دهند که:

- پوشش بتنی باعث افزایش جذب انرژی و مقاومت سیستم می‌شود.
- سختی اولیه‌ی دیوار برشی فولادی کمانش‌تاب در حالت بدون درز حدود ۴۵٪ بیشتر از حالت دارای درز است.
- مقاومت تسلیم دیوار برشی فولادی کمانش‌تاب در حالت بدون درز حدود ۳۵٪ بیشتر از حالت دارای درز است.
- تغییر تنش تسلیم ورق فولادی و ستون‌ها و مقاومت فشاری بتن، تأثیری در سختی دیوار برشی فولادی کامپوزیت ندارد.

- مقاومت فشاری بتن در حالت بدون درز در مقایسه با نمونه‌ی دارای درز، تأثیر بیشتری در مقاومت دیوار برشی فولادی کامپوزیت دارد.
- تنش تسلیم ستون و ورق فولادی و مقاومت فشاری بتن، تأثیر مستقیم در مقاومت دیوار برشی فولادی کامپوزیت دارد.
- با افزایش فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی، سختی سیستم کاهش می‌یابد و مقدار آن کمتر از ۱٪ است.
- با افزایش فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی، مقاومت سیستم کاهش می‌یابد.
- ضریب رفتار دیوار برشی فولادی کمانش‌تاب دارای درز به صورت میانگین حدود ۱۱/۱۲ است.
- ضریب رفتار دیوار برشی فولادی به صورت میانگین حدود ۱۰/۷۵ است.
- در نمونه‌های دارای درز با افزایش فاصله، مقدار ضریب رفتار به مقدار ضریب رفتار دیوار برشی فولادی بدون پوشش نزدیک می‌شود.
- ضریب رفتار دیوار برشی فولادی کمانش‌تاب بدون درز به صورت میانگین حدود ۸/۱۱ است.
- با افزایش فاصله بین ورق فولادی و پوشش بتنی، ضریب رفتار سیستم کاهش می‌یابد.
- افزایش تنش تسلیم ورق و ستون، باعث کاهش ضریب رفتار سازه می‌شود.
- در نمونه‌های بدون درز، وجود فاصله بین پوشش بتنی و ورق فولادی تأثیر کمتری در نتایج دارد.

## پانوشته‌ها

1. Ansys
2. Abaqus
3. concrete damage plasticity model

## منابع (References)

1. Astaneh-Asl, A. "Seismic behavior and design of composite steel plate shear walls", Structural Steel Educational Council, Technical Information & Product Service, California (2002).
2. Sabouri, S. "Lateral load resisting systems an introduction to steel shear walls", Anguizeh Publishing Co., 1th Edn., pp. 20-227, Tehran (2001).
3. Zhao, Q. and Astaneh-Asl, A. "Cyclic behavior of traditional and innovative Composite Shear walls", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver. B.C., Canada (2004).
4. Rahai, A., Hatami, F. and Ayazi, A. "Evaluation of composite shear wall behavior under cyclic loadings", *Journal of Constructional Steel Research*, **65**(7), pp. 1528-1537 (2009).
5. Arabzadeh, A., Soltani, M. and Ayazi, A. "Experimental investigation of composite shear walls under shear loadings", *Journal of Thin-Walled Structures*, **49**(7), pp. 842-854 (2011).
6. Rahnavard, R., Hassanipour, A. and Mounesi, A. "Numerical study on important parameters of composite steel-concrete shear walls", *Journal of Constructional Steel Research*, **121**, pp. 441-456 (2015).
7. Shahryari, L. and Sfandari, M. "Comparison of plasticity and stiffness of steel shear walls with composite steel plate shear wall", *Journal of Structural Engineering and Geotechnics*, **5**(3), pp. 21-26 (2015).
8. Mu-Wang, W., Richard Liew, J., Ming-Xiang, X. and et al. "Hysteresis model of a novel partially connected buckling-restrained steel plate shear wall", *Journal of Constructional Steel Research*, **125**, pp. 74-87 (2016).
9. Rassouli, B., Shafaei, S., Ayazi, A. and et al. "Experimental and numerical study on steel-concrete composite shear wall using light-weight concrete", *Journal of Constructional Steel Research*, **126**, pp. 117-128 (2016).
10. Wang, B., Jiang, H. and Lu, X. "Seismic performance of steel plate reinforced concrete shear wall and its application in China Mainland", *Journal of Constructional Steel Research*, **131**, pp. 132-143 (2017).

11. Qin, y., Shu, G.P., Fan, S.G. and et al. "Strength of double skin steel-concrete composite walls", *International Journal of Steel Structures*, **17**(2), pp. 535-541 (2017).
12. Li, X. and Li, X. "Steel plates and concrete filled composite shear walls related nuclear structural engineering: Experimental study for out-of-plane cyclic loading", *Nuclear Engineering and Design*, **315**, pp. 144-154 (2017).
13. zheng, L., Wei, W. and Yan, W. "Experimental study on seismic behavior of steel plate reinforced concrete composite shear wall", *Journal of Engineering Structures*, **160**, pp. 281-292 (2018).
14. Soroushnia, S. "The most complete practical reference of abaqus", Negarandaneh Publishing, 3th Edn., pp. 161-508, Tehran (2015).
15. Zaman Abadi, E., Nateghi-Alahi, F. and Motamedi, M. "Comparison of accordion metallic dampers with filled accordion metallic dampers using polymeric foam under axial cyclic loading", *Journal of Tarbiat Modarres Scientific-Research*, **10**(2), Tehran, pp. (2010).
16. Uang, C.M. "Establishing R (or  $R_w$ ) and Cd factors for building seismic provisions", *Journal of Structural Engineering*, *ASCE.*, **117**(1), pp. 19-28 (1991).
17. Gholhaki, M. and Shirazian, A. "Determination of the coefficient of behavior of steel shear walls by finite element method", 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan University (2011).
18. Zahrai, M. and Mohammady, O. "Methods of determining the coefficient of behavior of structures and factors affecting it", *3rd National Conference on Urban Development*, Islamic Azad University of Sanandaj Branch (2011).
19. ATC, "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", ATC-40 Report, Applied Technology Council, Redwood City, California (1996).
20. FEMA, "Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building", FEMA-356 Report, Federal Emergency Management Agency, Washington (2000).
21. Ghodrati, G., Eghbali, M. and Yaghmaei, S. "Modern method of dual curvature dual linearization for the evaluation of seismicity of steel structures", 5th National Congress on Civil Engineering, Mashhad Ferdowsi University (2010).
22. Ghodrati, G., Barkhordari, M. and Cheraghalizadeh, A. "Review ATC 40 and FEMA 356 instructions and compare the methods presented in them", National Congress on Renewal of Iran, Yazd University (2008).