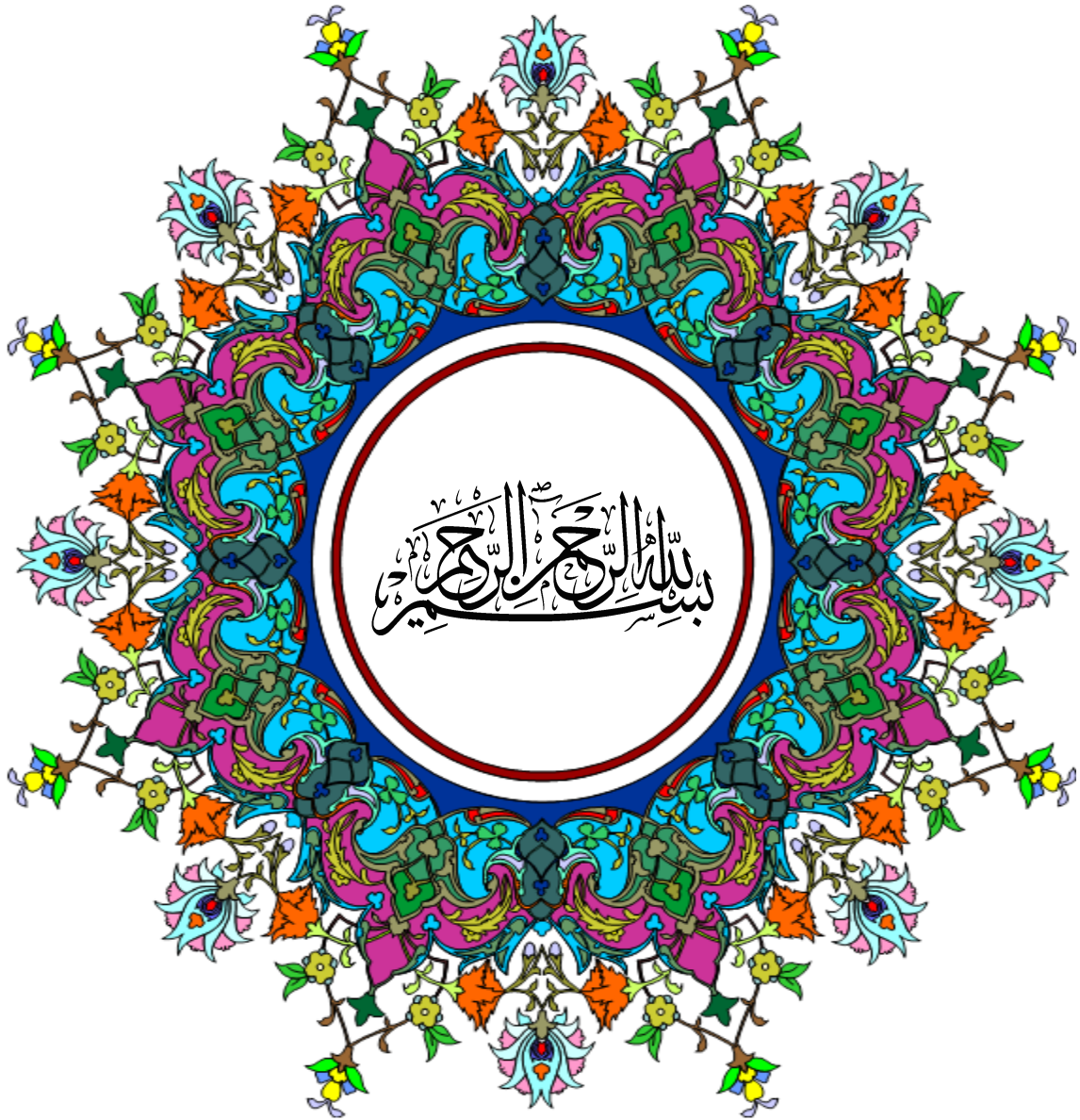






دانشکده فنی و مهندسی

رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه

پایان نامه کارشناسی ارشد

مطالعه عددی تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار در قاب خمشی بتن مسلح

نگارنده: علی فکوری آزارکی

استاد راهنما:

دکتر فرنوش باسلیقه

مهر ۱۴۰۰

تقدیم به

عزیزانم

پدر و مادر مهربانم

که در این راه سخت و طولانی مشوق و پشتیبان اصلی من بودند...

سپاسگزاری

سپاس خدایی مهربان را که اندیشه ام داد.

حمد و ستایش بی قیاس که خدای را سزا ست که از الطاف خود در انسان دمید و او را اشرف مخلوقات خود قرارداد. حال که به لطف او توفیق تحصیل علم و کسب دانش را پیدا نمودم، از خداوند متعال می خواهم که قدم هایم را در راه خدمت به جامعه استوار گرداند تا بتوانم از آنچه در این سالها در مسیر پیشرفت و آبادانی کشور عزیزم استفاده نمایم.

در پایان بر خود لازم میدانم از استاد محترم راهنما پایان نامه ام جناب دکتر فرنوش باسلیقه، پدر و مادر عزیزم و سایر دوستانی که در انجام این تحقیق مرا یاری نموده اند صمیمانه سپاسگزاری نمایم.

تعهدنامه

اینجانب **علی فکوری آزارکی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران سازه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **مطالعه عددی دیوار برشی فولادی موجدار در قاب خمشی بتن مسلح** تحت راهنمایی دکتر فرنوش باسلیقه متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام **دانشگاه صنعتی شاهرود** و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در سال‌های اخیر موارد مختلفی برای تحمل بار جانبی به سیستم قاب خمشی بتنی اضافه شده است که می‌توان به دیوارهای برشی بتنی، انواع بادبند فولادی، انواع میراگرها اشاره کرد، همچنین محققان برای افزایش راحتی در ساخت و ساز و کاهش هزینه‌ها، با استفاده از ورق فولادی با صفحات نازک در قاب بتنی، تحقیقاتی انجام داده‌اند. در سال‌های اخیر به کارگیری ورق‌های موجدار به دلیل سختی خارج از صفحه قابل ملاحظه و همچنین مقاومت کمانشی بیشتر، نسبت به ورق‌های صاف و عدم استفاده از سخت‌کننده و صرفه‌جویی در هزینه و زمان مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. از آنجایی که عنوان تحقیق، مطالعه عددی تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار در قاب خمشی بتن مسلح می‌باشد، سعی شده است ابتدا اهداف و کلیات تحقیق در خصوص محوریت موضوع تحقیق، بررسی و سپس پیشینه آخرین تحقیقات در خصوص محوریت موضوع بیان شود و در ادامه، صحت سنجی مقاله‌ای معتبر در خصوص بارگذاری جانبی قاب بتن آرمه با دیوار برشی فولادی صاف با نرم‌افزار المان محدود آباکوس با دقت مناسب، انجام شد. در ادامه، طبق نتایج صحت سنجی، تحلیل‌های مربوط به مدل‌سازی رفتار لرزه‌ای قاب بتنی با دیوار برشی فولادی موجدار به صورت پارامتریک بررسی شد، متغیرهای تحقیق حالت‌های مختلفی از تغییر ابعاد طول موج، تغییر زاویه موج و تغییر شکل مقطع ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب مسلح بتنی می‌باشند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی فولادی موجدار با افزایش تعداد گام می‌تواند نسبت به عملکرد لرزه‌ای دیوار برشی فولادی صاف در قاب بتنی بیشتر باشد، همچنین مشخص گردید ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی به شکل Z نسبت به دو شکل U و S، عملکرد مقاومت و انرژی جذب شده جانبی بالاتر ولی سختی و شکل‌پذیری کمتری دارند. ضمناً نتایج تحقیق نشان داد که در ابتدای رانش جانبی، سختی جانبی به شدت افت می‌کند به طوری که معمولاً ۸۰ درصد از سختی جانبی قاب بتنی با ورق فولادی در دریافت ۰٫۲۵ درصد از دست می‌رود، ضمناً سختی ابتدایی با افزایش زاویه ورق موجدار در قاب بتنی، کاهش می‌یابد و افزایش زاویه ورق موجدار در قاب بتنی تأثیر مثبت در روند حفظ سختی جانبی گذاشته است.

کلمات کلیدی : تجزیه و تحلیل غیر خطی، عناصر محدود، آباکوس، دیوار برشی با ورق فولادی، قاب خمشی بتن مسلح.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول:	۱.....
۱-۱ - مقدمه	۲.....
۲-۱ - بیان مسئله	۲.....
۳-۱ - هدف‌های تحقیق	۴.....
۴-۱ - اهمیت موضوع تحقیق	۵.....
۵-۱ - سؤالات / فرضیه‌های تحقیق - چهارچوب نظری	۶.....
۶-۱ - مدل تحقیق	۷.....
۸-۱ - ساماندهی نوشتار	۱۱.....
فصل دوم:	۱۳.....
۱-۲ - مقدمه	۱۴.....
۲-۲ - روابط تنش - کرنش بتن	۱۴.....
۳-۲ - شکل‌پذیری و اهمیت آن در سازه‌های بتن آرمه	۱۷.....
۲-۳-۱ - خواص شکل‌پذیری بتن و آرماتور	۲۰.....
۴-۲ - تقویت بتن مسلح	۲۱.....
۵-۲ - پیشینه تحقیق	۲۱.....
فصل سوم:	۴۳.....
۱-۳ - مقدمه	۴۴.....
۲-۳ - روش تحقیق و حجم نمونه	۴۵.....
۳-۳ - مروری بر مبانی پلاستیسیته ی به‌کاررفته در این مدل‌سازی	۴۶.....

۴۶.....	۳-۳-۱- معیارهای تسلیم
۵۱.....	۳-۴- مراحل مدل سازی با نرم افزار اجزاء محدود
۵۱.....	۳-۴-۱- مقدمه
۵۱.....	۳-۴-۲- معرفی نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS
۵۲.....	۳-۴-۳- تحلیل غیر خطی توسط نرم افزار ABAQUS
۵۵.....	۳-۴-۴- رفتار مصالح بتنی در نرم افزار ABAQUS
۵۷.....	۳-۴-۴-۱- مدل رفتاری بتن ترک دار
۵۷.....	۳-۴-۴-۲- مدل رفتاری ترک خوردگی ترد بتن
۵۷.....	۳-۴-۴-۳- مدل رفتاری بتن آسیب دیده خمیری
۵۸.....	۳-۴-۵- خصوصیات مدل رفتاری بتن آسیب دیده خمیری
۵۸.....	۳-۴-۵-۱- بررسی پارامترهای پلاستیسیته
۵۸.....	۳-۴-۵-۱-۱- تابع جریان پلاستیک
۵۹.....	۳-۴-۵-۱-۲- تنش ترک خوردگی
۵۹.....	۳-۴-۵-۱-۳- تابع تسلیم
۶۰.....	۳-۴-۵-۱-۶- پارامتر ویسکوزیته
۶۱.....	۳-۴-۵-۲- منحنی تنش- کرنش فشاری بتن
۶۱.....	۳-۴-۵-۳- منحنی تنش- کرنش کششی بتن
۶۲.....	۳-۴-۶- المان مورد استفاده در بتن
۶۳.....	۳-۴-۷- رفتار فولاد
۶۴.....	۳-۴-۸- نحوه مدل سازی میلگردها و خاموت ها
۶۶.....	۳-۵- همگرایی در حل مسائل
۶۷.....	۳-۶- ارزیابی صحت مدل سازی المان های محدود

۷۳.....	۳-۶-۱ - مدل سازی عددی نمونه ی ^۱ SPIW.....
۷۹.....	۳-۶-۲ - نتایج صحت سنجی عددی نمونه ی ساخته شده
۸۳.....	فصل چهارم:
۸۴.....	۴-۱- مقدمه
۸۵.....	۴-۲- معرفی تحلیل میکرومدل (بررسی به صورت المان محدود)
۸۷.....	۴-۳- محاسبه عملکرد جانبی سه طبقه با ورق فولادی پرکننده موجدار کنترلی (نمونه پیش فرض)
۹۸.....	۴-۴- تأثیر ابعاد طول موج ورق پرکننده موجدار بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۱۰۴.....	۴-۵- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی
۱۰۹.....	۴-۶- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی
۱۱۳.....	۴-۷- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی
۱۱۷.....	۴-۸- جمع بندی نتایج مربوط به عملکرد لرزه ای ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی
۱۳۱.....	فصل پنجم:
۱۳۲.....	۵-۱- مقدمه
۱۳۲.....	۵-۲- شرح نتیجه ها
۱۳۶.....	۵-۳- نتیجه گیری نهایی
۱۳۸.....	۵-۴- ارائه پیشنهادات برای مطالعات آتی
۱۴۳.....	Abstract:

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۲-۱- منحنی تنش- کرنش بتن محصورشده Mander . [۲]	۱۶
شکل ۲-۲- مجموعه‌ای از تغییر شکل یک سازه شکل‌پذیر و ترد [۵] .	۱۹
شکل ۲-۳- منحنی تنش- کرنش تک‌محوری بتن . [۵]	۲۰
شکل ۲-۴- آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی قاب‌های خمشی نیمه پیش‌ساخته بتنی . [۱۳]	۲۲
شکل ۲-۵- تصویر آزمایش استفاده از مهاربند فولادی داخل قاب بتنی [۱۴].	۲۳
شکل ۲-۶- تصویر انواع مختلفی از تقویت اتصالات قاب خمشی بتنی . [۱۶]	۲۷
شکل ۲-۷- تصویر ساختمان و نمونه آزمایشگاهی قاب خمشی تقویت‌شده با بادبندهای فولادی . [۱۸]	۳۰
شکل ۲-۸- مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب خمشی بتنی همراه با انواع مختلفی از تقویت قاب [۱۹].	۳۱
شکل ۲-۹- انواع مختلفی از تقویت داخل قاب خمشی بتنی توسط بادبند فولادی . [۲۰]	۳۲
شکل ۲-۱۰- تقویت داخل قاب خمشی بتنی توسط میراگرهای تسلیمی . [۲۰]	۳۳
شکل ۲-۱۱- استفاده از دیوار برشی فولادی جهت تقویت لرزه‌ای قاب خمشی بتنی . [۲۱]	۳۴
شکل ۲-۱۲- تحقیقات آزمایشگاهی In-Rak Choi و همکاران بر روی قاب خمشی بتنی . [۲۲]	۳۵
شکل ۲-۱۳- تحقیقات آزمایشگاهی Emre Akin و همکاران بر روی قاب خمشی بتنی . [۲۳]	۳۶
شکل ۲-۱۴- تصویر مدل عددی تحقیقات خانم Maryam Bypour و همکاران در خصوص تقویت لرزه‌ای قاب خمشی بتن مسلح [۲۴] .	۳۷
شکل ۲-۱۵- نتایج آزمایش بارگذاری لرزه‌ای بر روی قاب خمشی بتن مسلح . [۲۰]	۳۸
شکل ۲-۱۶- بارگذاری لرزه‌ای بر روی قاب خمشی بتن مسلح همراه با ورق پرکننده . [۲۰]	۳۹
شکل ۲-۱۷- نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی با ورق موجدار [۲۷].	۴۰
شکل ۲-۱۸- نمونه‌های عددی ورق صاف و موجدار استفاده شده در قاب فولادی . [۲۸]	۴۱
شکل ۳-۱- شمای کلی تنش‌ها در محورهای اصلی و صفحه π .	۴۷
شکل ۳-۲- سطح تسلیم فون - مایسز.	۵۰
شکل ۳-۳- المان‌های مورد استفاده در نرم افزار آباکوس.	۶۳
شکل ۳-۴- جزئیات ابعادی نمونه $SPIW^1$ [۲۲].	۶۹
شکل ۳-۵- جزئیات نحوه اتصال رابط‌های فولادی به قاب بتنی نمونه‌ی ساخته‌شده مربوط به کار آزمایشگاهی جهت صحت سنجی [۲۲].	۷۰
شکل ۳-۶- جزئیات نمونه‌های ساخته‌شده مربوط به کار آزمایشگاهی [۲۲].	۷۰
شکل ۳-۷- نحوه بارگذاری بار جانبی نمونه‌های ساخته‌شده [۲۲].	۷۱

- شکل ۳- ۸- خلاصه نتیجه آزمایشگاهی نمونه $SPIW^1$ و نمودار هیستریزس ناشی از بار جانبی [۲۲]. ۷۲
- شکل ۳- ۹- جزئیات مدل سازی عددی نمونه مورد نظر. ۷۴
- شکل ۳- ۱۰- تحلیل حساسیت نسبت به اندازه مش بندی. ۷۴
- شکل ۳- ۱۱- استفاده از قید COUPLING در ماژول اینتراکشن در نمونه. ۷۵
- شکل ۳- ۱۲- نحوه اعمال روابط تماسی بین المان های فولادی از نوع سطح به سطح. ۷۶
- شکل ۳- ۱۳- نحوه اعمال قید مدفون شدگی میلگردها در بتن. ۷۶
- شکل ۳- ۱۴- ایجاد شرایط مرزی گیردار در قاب. ۷۷
- شکل ۳- ۱۵- جابه جایی جانبی هیستریزس در قسمت انتهایی قاب. ۷۸
- شکل ۳- ۱۶- مقید کردن نمونه از لحاظ جابه جایی جانبی. ۷۸
- شکل ۳- ۱۷- کانتورهای رنگی مربوط به تغییر شکل نمونه در جهت اعمال بار. ۷۹
- شکل ۳- ۱۸- کانتورهای رنگی مربوط به تنش فون مایسز نشان دهنده محدوده شدت تنش ها. ۸۰
- شکل ۳- ۱۹- مقایسه کانتورهای رنگی تغییر شکل نمونه ی $SPIW^1$ با نمونه آزمایشگاهی. ۸۰
- شکل ۳- ۲۰- مقایسه و صحت سنجی بین دو نمودار آزمایشگاهی [۲۲] و نمونه عددی این تحقیق. ۸۱
- شکل ۴- ۱- نحوه محاسبه میزان شکل پذیری نمودار بار- جابه جایی. ۸۶
- شکل ۴- ۲- مدل ورق فولادی پرکننده موجدار با زاویه ۶۰ درجه و گام ۶ تایی در طول ورق ۱,۵ متری. ۹۱
- شکل ۴- ۳- قرار دادن ورق و مش بندی نمونه $U^{60.0}_b$ در قاب بتنی در نرم افزار آباکوس. ۹۱
- شکل ۴- ۴- تنش فون مایسز نمونه $U^{60.0}_b$. ۹۲
- شکل ۴- ۵- ناحیه پلاستیک ماندگار نمونه $U^{60.0}_b$. ۹۲
- شکل ۴- ۶- نمودار بار-جابه جایی نمونه $U^{60.0}_b$. ۹۳
- شکل ۴- ۷- الگوی نمودار معادل دوخطی ایده آل شده نمودار پوش آور. [۲۶] ۹۴
- شکل ۴- ۸- نمودار بار-جابه جایی معادل دوخطی ایده آل شده نمونه $U^{60.0}_b$. ۹۵
- شکل ۴- ۹- مقایسه نمودار بار-جابه جایی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف و موجدار. ۹۶
- شکل ۴- ۱۰- مقایسه کرنش پلاستیک ماندگار دو نمونه صاف و موجدار در قاب بتنی. ۹۷
- شکل ۴- ۱۱- مدل ورق فولادی پرکننده موجدار با زاویه ۶۰ درجه و گام ۱۲ تایی در طول ورق ۱,۵ متری. ۹۹
- شکل ۴- ۱۲- قرار دادن ورق و مش بندی نمونه U^{60} در قاب بتنی در نرم افزار آباکوس. ۹۹
- شکل ۴- ۱۳- تنش فون مایسز نمونه U^{60} . ۱۰۰
- شکل ۴- ۱۴- ناحیه پلاستیک ماندگار نمونه U^{60} . ۱۰۰
- شکل ۴- ۱۵- نمودار بار-جابه جایی و ایده آل شده نمونه U^{60} . ۱۰۱
- شکل ۴- ۱۶- مقایسه نمودار بار-جابه جایی تأثیر تعداد گام بر عملکرد لرزه ای قاب بتنی و ورق پرکننده. ۱۰۱
- شکل ۴- ۱۷- مقایسه کرنش پلاستیک ماندگار سه نمونه (صاف و موجدار) در قاب بتنی. ۱۰۳

- شکل ۴- ۱۸- مدل ورق پرکننده موجدار U شکل با زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول ورق ۱،۵ متری. ۱۰۴
- شکل ۴- ۱۹- قرار دادن ورق "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰" در قاب بتنی در ماژول اسمبلی و مش بندی. ۱۰۵
- شکل ۴- ۲۰- تنش فون مایسز نمونه‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰". ۱۰۶
- شکل ۴- ۲۱- ناحیه پلاستیک ماندگار نمونه‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰". ۱۰۶
- شکل ۴- ۲۲- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی. ۱۰۷
- شکل ۴- ۲۳- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی ایده آل شده قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی. ۱۰۷
- شکل ۴- ۲۴- مدل ورق پرکننده موجدار Z شکل با زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول ورق ۱،۵ متری. ۱۰۹
- شکل ۴- ۲۵- قرار دادن ورق "Z۳۰"، "Z۴۵" و "Z۶۰" در قاب بتنی در ماژول اسمبلی و نمایش کرنش پلاستیک ماندگار آن‌ها (با محدودیت ۳/۵٪). ۱۱۰
- شکل ۴- ۲۶- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی. ۱۱۱
- شکل ۴- ۲۷- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی ایده آل شده قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی. ۱۱۱
- شکل ۴- ۲۸- مدل ورق پرکننده موجدار S شکل با زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول ورق ۱،۵ متری. ۱۱۳
- شکل ۴- ۲۹- قرار دادن ورق "S۲۷"، "S۴۵" و "S۶۰" در قاب بتنی و نمایش کرنش پلاستیک ماندگار آن‌ها (با محدودیت ۳/۵٪). ۱۱۴
- شکل ۴- ۳۰- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی. ۱۱۵
- شکل ۴- ۳۱- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی ایده آل شده قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی. ۱۱۵
- شکل ۴- ۳۲- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی و ورق پرکننده تمام نمونه‌ها در کنار یکدیگر جهت بررسی کلی. ۱۱۷
- شکل ۴- ۳۳- عملکرد مربوط به حداکثر مقاومت جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار. ۱۱۹
- شکل ۴- ۳۴- عملکرد مربوط به سختی جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار. ۱۱۹
- شکل ۴- ۳۵- عملکرد مربوط به شکل‌پذیری جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار. ۱۲۰
- شکل ۴- ۳۶- عملکرد مربوط به جذب انرژی جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار. ۱۲۰
- شکل ۴- ۳۷- بررسی روابط احتمالی بین زاویه موج در ورق فولادی پرکننده قاب بتنی و نتایج عملکردهای لرزه‌ای. ۱۲۲

شکل ۴ - ۳۸- بررسی روابط احتمالی بین طول هر قسمت موج در ورق فولادی پرکننده قاب بتنی و نتایج عملکردهای لرزه‌ای. ۱۲۲

شکل ۴ - ۳۹- بررسی روابط احتمالی بین تعداد گام موج در ورق فولادی پرکننده قاب بتنی و نتایج عملکردهای لرزه‌ای. ۱۲۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱- نحوه انتخاب نمونه $SPIW^1$ از بین ۵ نمونه آزمایشگاهی [۲۲].	۶۸
جدول ۴-۱- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف و موجدار.	۹۶
جدول ۴-۲- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد طول موج (تعداد گام).	۱۰۲
جدول ۴-۳- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.	۱۰۸
جدول ۴-۴- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.	۱۱۲
جدول ۴-۵- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.	۱۱۶
جدول ۴-۶- مقایسه عملکردهای جانبی به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی پرکننده در تمامی نمونه‌های مورد بررسی.	۱۱۸
جدول ۴-۷- نمونه‌های مورد بررسی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی پرکننده همراه با زوایا، طول هر قسمت موج و تعداد گام آن‌ها.	۱۲۱

فصل اول

کلیات

۱-۱ - مقدمه

تاکنون سیستم های مختلفی برای تحمل بارهای جانبی (زلزله و باد) تحلیل و مورد بررسی قرار گرفته است که می توان به دیوار برشی بتنی، انواع بادبند فولادی و انواع میراگرها اشاره کرد ولی همواره محققان در پی یافتن یک سیستم موثر برای ایجاد سختی و مقاومت بالا، شکل پذیری و اتلاف انرژی مناسب بوده اند. به همین دلیل سیستم دیوار برشی فولادی به عنوان یک سیستم جدید مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. مطالعات و تحقیقات انجام شده در این زمینه و افزایش استفاده از این سیستم در کشورهای مختلف دنیا نشان دهنده رفتار مناسب این سیستم می باشد. همچنین به دلیل اجرای سریع و آسان و ضریب اطمینان اجرایی بیشتر نسبت به سایر سیستم ها و امکان ساخت و آماده سازی آن در کارخانه و نصب در محل استفاده از این نوع سیستم در کشورهای مختلف جهان با سرعت بیشتری رو به پیشرفت می باشد.

۱-۲ - بیان مسئله

سیستم قاب خمشی به دودسته قاب خمشی فولادی و قاب خمشی بتنی تقسیم می شود که دارای تیرها و ستون ها و اتصالات صلب هستند و تحمل نیروهای ثقلی و جانبی بر عهده این اعضا می باشد. به دلیل عدم وجود مهاربند یا دیوار برشی یا ورق پرکننده، دارای تغییر شکل جانبی مناسب و شکل پذیری بالایی می باشند و به عبارتی دیگر در صورت وارد شدن نیروی جانبی قاب سازه به راحتی تغییر شکل داده و از تخریب سازه جلوگیری می کند. همچنین شکل پذیری سیستم قاب خمشی و در نتیجه ایجاد یک سیستم مکمل در برابر بارهای جانبی، آزادی عمل بالا در معماری، اتصالات سنگین و پیچیده، افزایش وزن سازه، هزینه بالا و تغییر مکان های جانبی زیاد از مزایا و معایب سیستم قاب خمشی بتنی بدون تقویت می باشد. ایجاد سختی مناسب و داشتن مقاومت کافی در برابر نیروهای جانبی از پایه های اصلی طراحی سازه در مناطق زلزله خیز به شمار می آید. با توجه به ضرورت مقاوم سازی ساختمان های موجود و تقویت ساختمان

های بتنی ضعیف در برابر زلزله، بررسی چگونگی عملکرد این سیستم در زمینه افزایش مقاومت یا تغییر در شکل پذیری سازه، امری لازم می باشد.

سیستم تقویت جانبی مجموعه ای از اعضای قائم، اعضای افقی و المان های تقویت کننده جانبی متصل به یکدیگر می باشند که در این سیستم، المان تقویت کننده جانبی با ایجاد سختی، در برابر نیروهای جانبی مقاومت کرده که از خرابی سازه جلوگیری یا آن را به تعویق می اندازد.

تحلیل رفتار ساختمان های بتنی مقاوم سازی شده با تقویت جانبی و مقایسه باحالت بدون تقویت جانبی می تواند عملکرد لرزه ای آن ها را به خوبی نشان دهد، بدین منظور قاب های بتنی می تواند تحت آنالیز بار افزون قرار گیرد. برای تقویت قاب های خمشی بتن مسلح از روش های متعددی مانند مهاربندهای فولادی، دیوار برشی و... می توان استفاده کرد، اگرچه استفاده از ورق های پرکننده فولادی برای تقویت درون صفحه ای قاب های فولادی رایج است، اما استفاده از آن ها در فریم های بتنی، کمتر اجرا شده است و در مرحله تحقیقاتی می باشد.

این تحقیق در نرم افزار المان محدود به صورت میکرو مدل سازی در چند تحلیل هدفمند مدل و به صورت مفهومی محور بررسی شده است و با تحلیل نمودارهای برشی حاصل از نمودار بار - جابه جایی انجام می گردد. تحلیل انجام گرفته شده از نوع استاتیکی غیرخطی می باشد و در گام های مرتبط زمانی تحلیل گام های قبل به گام های بالاتر انتقال یافته و در نتیجه تغییر شکل های بزرگ قابل مدل سازی و تحلیل می باشد. در این تحقیق، استفاده از ورق پرکننده موجدار در قاب های خمشی بتن مسلح مورد بررسی قرار می گیرد. ضمناً فاکتورهای عملکردی لرزه ای شامل مقاومت بیشینه، سختی، شکل پذیری و ظرفیت جذب انرژی در تمام نمونه ها محاسبه و مقایسه می شود.

در این تحقیق، تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار در عملکرد جانبی قاب بتن مسلح بررسی می‌شود، از متغیرهای تحقیق می‌توان تأثیر حالت‌های مختلف تغییر ابعاد طول موج، تغییر زاویه موج و تغییر شکل مقطع ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب مسلح بتنی را نام برد.

۱-۳- هدف‌های تحقیق

هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار در عملکرد جانبی قاب بتن مسلح می‌باشد، به عبارت دیگر مشخص شود قاب بتن مسلح در برابر بار جانبی چه تحملی دارد و همچنین مشخص می‌گردد که با اضافه کردن دیوار برشی فولادی موجدار در حالت‌های مختلف، چه تأثیری در مقاومت، سختی و شکل‌پذیری سازه دارد. با توجه به آخرین تحقیقات انجام‌شده می‌توان در خصوص تأثیر حالت‌های مختلف تغییر ابعاد طول موج، تغییر زاویه موج و تغییر شکل مقطع ورق فولادی پرکننده موجدار در جهت ارزیابی ابعاد محورهای این موضوع به صورت زیر این پایان‌نامه را مورد بررسی قرار داد.

برنامه ABAQUS [۱] یکی از برنامه‌های تحلیلی سه بعدی می‌باشد که در مورد رفتار ساختمان‌ها (در شرایط بارگذاری شبه استاتیکی Dynamic Implicit) به کار گرفته می‌شود. هدف در این برنامه، ایجاد یک ابزار تحلیلی کاربردی مهندسی سازه برای کل سازه می‌باشد که بر اساس نرم افزار ABAQUS است. هدفی که در فصل دوم آمده است، بررسی پیشینه تحقیق می‌باشد و در فصل سوم نحوه مدل‌سازی عناصر محدود به تفصیل بیان گردیده و قابلیت‌های مختلف المان‌های انتخاب‌شده در نرم‌افزار ABAQUS معرفی شده است. برای صحت سنجی مدل‌سازی عناصر محدود، مقایسه‌ای بین کار آزمایشگاهی که توسط اینراک چویی و همکاران در کره جنوبی در سال ۲۰۱۱ [۲۲] تحت بارگذاری استاتیکی و چرخه‌ای آزمایش‌شده است و کار عددی این تحقیق صورت گرفته است. مقایسه بین نتایج عددی و آزمایشگاهی در مدل صحت سنجی حاکی از دقت قابل قبول مدل‌سازی عناصر محدود بوده و می‌توان از آن به عنوان پایه‌ای برای

مطالعات حاضر استفاده نمود. در فصل چهارم نتایج تحلیل یک مدل تحلیل میکرو مدل در چند حالت مورد آنالیز قرار می‌گیرد و در فصل پنجم نتایج و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

۴-۱- اهمیت موضوع تحقیق

با بررسی های بیشتر در پیشینه تحقیقاتی دیوار برشی فولادی در قاب بتنی، آنچه بیشتر به عنوان متغیر مشهود می‌باشد، متغیرهای دیوار برشی فولادی "صاف" در قاب بتنی می‌باشد، اما در مطالعه پیش رو تأثیر حالت‌های مختلف: تغییر ابعاد طول موج، تغییر زاویه موج و تغییر شکل مقطع ورق فولادی پرکننده "موجدار" در قاب مسلح بتنی، قرار می‌گیرد که این مسئله جزء نوآوری‌های این مطالعه می‌باشد. لذا با این تحقیق، رفتار دیوار برشی فولادی موجدار در قاب بتنی با تحلیل استاتیکی غیرخطی و ارزیابی عملکرد آن با روش‌های جدید تحلیلی همچون المان محدود را می‌توان به دست آورد.

این تحقیق دارای مدل‌های محاسباتی بوده که با استفاده از نرم‌افزار آباکوس به صورت سه بعدی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت که طبق آن آنالیز لرزه ای به صورت تحلیل دینامیکی انجام شده و نتایج هر تحلیل بعد از استخراج از نرم‌افزار آباکوس در نرم‌افزار اکسل بررسی می‌شود.

درواقع این تحقیق از روی صحت سنجی نتایج واقعی به دست آمده از تحقیق آزمایشگاهی و مدل نرم‌افزاری شروع شده و نسبت به آزمایش‌های انجام شده در این زمینه مقایسه می‌گردد تا نشان داده شود کار تحلیلی انجام شده تا چه حد به شرایط آزمایشگاهی نزدیک است و تا چه میزان می‌توان به نتایج تحلیلی المان محدود اطمینان پیدا کرد. بعد از آن با پردازش‌های مختلف در نرم‌افزار و مقایسه خروجی‌های آن در نرم‌افزار اکسل به صورت نمودارهای بار - جابه جایی و تحلیل این نمودارها در جداول ویژه، موارد باهم مقایسه و ارزیابی می‌شوند.

۱-۵- سؤالات / فرضیه‌های تحقیق - چهارچوب نظری

سؤالات تحقیق و پرسش‌های اصلی تحقیق (مسئله تحقیق):

۱. محاسبه عملکرد جانبی قاب بتنی سه طبقه با ورق فولادی پرکننده موجدار کنترلی (پیش فرض).
۲. تأثیر ابعاد طول موج ورق فولادی پرکننده موجدار بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۳. تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۴. تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۵. تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۶. جمع‌بندی نتایج مربوط به عملکرد لرزه‌ای ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی.

مدل‌سازی عددی نیز با در نظر گرفتن فرضیات زیر صورت گرفته است:

- چسبندگی بین هر نوع مصالح المان، کامل فرض می‌شود و هیچ‌گونه جابجایی میان آن‌ها وجود ندارد.
- مصالح فولادی دارای رفتاری نرم هستند و رابطه تنش - کرنش تا مرحله گسیختگی به صورت غیرخطی می‌باشد. در این مطالعه فرض می‌شود که رابطه تنش - کرنش برای مصالح فولادی به صورت پلاستیک و غیرخطی است.
- تحلیل‌های انجام شده از نوع شبه استاتیکی بوده و رفتار غیرخطی مصالح و غیرخطی هندسی در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- برای شبیه‌سازی وضعیت قاب تحت شرایط واقعی، از بارگذاری ساده‌شده به همراه بار ثقیلی استفاده می‌شود.
- به منظور سهولت در مدل‌سازی اندرکنش خاک و فونداسیون در نظر گرفته نشده و فرض می‌شود تکیه‌گاه به صورت گیردار یا مفصلی بدون جابه‌جایی می‌باشد.

- به منظور بررسی بهتر و تاثیر المان تقویتی، در مدل سازی عناصر محدود تنها یک قاب از کل ساختمان شبیه سازی و مدل خواهد شد.
- از لغزش احتمالی بین اعضاء صرف نظر و اثر آسیب (محدوده پلاستیک) در تحلیل ها در نظر گرفته خواهد شد.
- مدل تحلیل به صورت تمام آنالیز، تمام مقیاس و سه بعدی انجام می شود.
- برای مدل سازی تمام اعضاء مدل شده در نرم افزار المان محدود، از المان های سه بعدی مکعبی ۸ گره ای C^3D^8 استفاده می شود و همچنین در خصوص مش بندی اعضاء، سعی شده است که مش ها در گوشه ها ریزتر تعریف شوند تا اثرات اندرکنش سطوح بهتر دیده شوند.

۱-۶- مدل تحقیق

در این تحقیق روند کار، بر اساس بررسی های نرم افزاری و کتابخانه ای خواهد بود و بیشتر منابع به کاررفته، مقالات، کتب فارسی و انگلیسی به صورت تخصصی در روند پیشرفت کار تاثیر گذار بوده است. نمونه ها توسط نرم افزار اجزای محدود ABAQUS [۱]، در حالت سه بعدی مدل سازی و از المان های چهارگره ای باقابلیت چرخش و کرنش های بزرگ استفاده می شود و تحت بارگذاری یکنواخت تحلیل خواهد شد. به دلیل بارگذاری نمونه ها به صورت شبه استاتیکی، امکان کاربرد آنالیزهای استاتیکی و دینامیکی برای مدل های اجزای محدود وجود دارد. در صورت استفاده از آنالیز دینامیکی باید زمان موردنظر برای انجام تحلیل، به منظور جلوگیری از تأثیر سختی حاصل از اینرسی، به طور بهینه ای در نظر گرفته شود. همچنین جهت بهینه کردن اندازه المان بندی می توان از گزینه منبع جرم استفاده کرد؛ اما باید توجه داشت استفاده بزرگنمایی بیش از حد در این گزینه باعث ایجاد اعوجاج های زیاد در پاسخ می شود. مدل سازی و آنالیز

نمونه‌ها به منظور مقایسه و ارزیابی تنش‌ها، تغییر شکل‌ها، دیاگرام جابجایی نمونه‌های آزمایش و مدل‌های اجزای محدود صورت خواهد گرفت. در مرحله اول با مطالعه قاب بتنی با صفحه برشی فولادی پرکننده و همچنین مروری بر اثر ورق فولادی پرکننده در قاب خمشی مروری بر تحقیقات گذشته در این زمینه صورت می‌گیرد. سپس با مدل‌سازی قاب خمشی بتنی و قرار دادن ورق فولادی صاف پرکننده در آن، تأثیر این تقویت در نرم‌افزار اجزای محدود بر رفتار قاب خمشی بتنی سه طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. تمامی داده‌ها و اطلاعات مربوطه از مقالات مرجع و کتاب‌های معتبر جمع‌آوری خواهد شد و در نرم‌افزار ABAQUS [۱] توسط کامپیوترهای پر قدرت و سریع مورد تحلیل قرار خواهد گرفت. به منظور صحت‌سنجی با ورود اطلاعات درست و تنظیمات دقیق، نمونه‌های آزمایشگاهی موجود در مقالات در نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شده و نتایج حاصله با یکدیگر مقایسه می‌گردد و در صورت اختلاف کم این صحت‌سنجی مورد قبول خواهد بود که به دلیل تجاری بودن برنامه اجزای محدود مورد استفاده، پایداری آن قبلاً مورد تأیید قرار گرفته است.

نتایج تحلیل نرم‌افزار ABAQUS [۱] ضمن محافظه‌کارانه بودن، سازگاری بسیار خوبی با نتایج واقعی دارد ولی نمی‌تواند به عنوان روش طراحی کاربردی مورد استفاده قرار گیرد زیرا در مسائل مهندسی روابط طراحی علاوه بر داشتن دقت لازم، بایستی برای عموم کاربران دارای شکل ساده و قابل استفاده نیز باشند که روش اجزای محدود غیرخطی به دلیل وابسته بودن به پارامترهای پیچیده قادر به احراز شرط اخیر نیست، بنابراین سعی شده است که از خروجی‌های نرم‌افزار به صورت نمودار و جداول ضمن استفاده، پارامترها را قابل فهم و درک نمود.

ضمناً تمام تحلیل‌های انجام شده از نوع تحلیل شبه استاتیکی غیرخطی می‌باشد و با توجه به روند بارگذاری (تعریف نشده‌ی مشترک تمام تحلیل‌ها) نمودار بار محوری - تغییر مکان جانبی تعریفی برای هر تحلیل

موردی به دست آمده که به تفکیک برای هر نمودار استخراج می شود. بدین منظور قاب بتنی سه طبقه با صفحه برشی فولادی موجدار پرکننده به صورت تمام - مقیاس در نرم افزار ABAQUS [۱] مدل سازی گردیده و از نتایج صحت سنجی شده در فصل سوم جهت تحلیل آن استفاده شده و مشخصات رفتاری هریک مورد بررسی قرار می گیرد.

صحت سنجی در آباکوس به معنی مدل سازی دقیق یک نمونه آزمایشگاهی در محیط اجزا محدود آباکوس و تحلیل آن و به دست آوردن نتایج مشابه نتایج آزمایشگاهی می باشد. عموماً برای شروع کار پایان نامه ها مدلی مشابه آنچه در ذهن دارید از نظر هندسه و بارگذاری و ... انتخاب کرده و مقاله آزمایشگاهی تست آن مدل را مطالعه نموده و سپس بر اساس روش های ذکر شده در بخش آموزش آباکوس مدل ایجاد می شود. صحت سنجی برای اطمینان از نتایج خروجی نرم افزار آباکوس انجام می شود؛ زیرا در این نرم افزار آپشن های زیادی برای مدل سازی هندسه، تماس بین اجزا، روش بارگذاری و ... وجود دارد و تغییر هر کدام می تواند نتایج تحلیل را تغییر دهد؛ بنابراین با مقایسه نتایج مدل مشابه آزمایش شده با مدل عددی آباکوس و نشان دادن صحیح بودن روش مدل سازی با مقایسه یک نمودار آزمایش با نمودار به دست آمده از آباکوس یا خروجی یک سنسور آزمایشگاهی با خروجی تنش و کرنش همان نقطه در مدل آباکوس نشان می دهیم که مدل سازی ما صحیح بوده و پس از آن مجاز به تغییرات در مدل بوده و نتایج جدیدی به دست آورده می شود.

در فصل چهارم از پژوهش با استفاده از نتایج مدل سازی قاب بتنی سه طبقه با دیوار برشی فولادی صاف صحت سنجی شده ، به مدل سازی و مطالعات پارامتریک عددی دیوار برشی فولادی موجدار در قاب خمشی بتنی سه طبقه پرداخته خواهد شد. ضمناً روند تحلیل میکرو مدل تعریف شده قاب بتنی سه طبقه با دیوار برشی فولادی موجدار مبنای مفروض این پایان نامه در نرم افزار المان محدود به صورت زیر می باشد:

۱-مدل سازی

۲-اختصاص خصوصیات مصالح

۳-اسمبل کردن ستون‌ها، تیرها و تکیه‌گاه‌ها در کنار یکدیگر

۴-اختصاص گام تحلیل

۵-اختصاص روابط اندرکنشی بین اعضا

۶-تعریف شرایط مرزی و بارگذاری

۷-مش بندی مدل

۸-نتایج تحلیل

تمام بررسی های این قسمت به صورت بار جانبی به انتهای تیر طبقه سوم، قاب بتنی سه طبقه انجام می‌شود، بار اعمالی به صورت استاتیکی (به صورت کنترل جابه جایی) و افزایشی می باشد و مجموع عکس‌العمل نیز در جهت اعمال بار در پایه‌های مقید شده ثبت می‌شود، بدین‌صورت با ترسیم نمودار بار - جابه جایی در قاب بتنی سه‌طبقه با دیوار برشی فولادی موجدار را می توان در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه نمود. همچنین با توجه به اینکه مساحت زیر نمودار بار - جابه جایی میزان انرژی جذب‌شده محوری و جانبی می‌باشد، می‌توان با اطلاعات استخراج‌شده از منحنی پوش برشی، انرژی جذب‌شده تجمعی را محاسبه نمود.

در حالت کلی بعد از اتمام مدل نمونه مبنا موارد زیر جهت بررسی و مقایسه مطرح می‌باشد:

۱- محاسبه عملکرد جانبی قاب بتنی سه‌طبقه با ورق فولادی پرکننده موجدار کنترلی (پیش‌فرض).

۲- تأثیر ابعاد طول موج ورق فولادی پرکننده موجدار بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

۳- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

- ۴- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
 - ۵- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
 - ۶- جمع‌بندی نتایج مربوط به عملکرد لرزه‌ای ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی.
- همچنین در انتهای فصل چهارم از پایان‌نامه، نتایج محاسبات با یکدیگر مقایسه و نتیجه‌گیری می‌گردد.

۸-۱- ساماندهی نوشتار

این نوشتار، جمع‌آوری نتایج آخرین تحقیقات و آزمایش‌های انجام‌شده در رابطه با قاب بتنی با دیوار برشی فولادی موجدار را هدف قرار داده است و سعی بر آن شده تمام مطالب گردآوری‌شده، مستدل و مستند به نتایج آزمایش‌های انجام‌گرفته باشد، از آنجا که دامنه مطالب، گسترده و بعضاً در زمینه‌ی مختلف و جدا از هم می‌باشد، به‌جای اینکه در انتهای تحقیق، به یک نتیجه‌گیری کلی و طولانی پرداخته شود، جهت پیشگیری از سردرگمی خواننده، در هر قسمت، نتیجه‌گیری‌های مربوط به آن قسمت و احیاناً توصیه‌ها و پیشنهادهای لازم آورده و از تکرار آن‌ها در پایان تحقیق خودداری شده است.

در پایان‌نامه حاضر فصل‌های مختلف به ترتیب زیر ارائه‌شده است:

- فصل اول تحت عنوان "کلیات تحقیق" می‌باشد که در آن ضمن ارائه زمینه تحقیق و بیان مسئله و هدف از انجام آن، نحوه تقویت و متغیرهای پژوهش نیز به‌طور کامل شرح داده می‌شود.
- فصل دوم تحت عنوان "ادبیات و پیشینه تحقیق" شامل خلاصه‌ای از ادبیات فنی تحقیق، خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته روی علل خرابی سازه، روش‌های مقاوم‌سازی، بررسی مشخصات ابزار مورد استفاده جهت ترمیم سازه و مروری بر تحقیقات صورت گرفته شده می‌باشد.
- فصل سوم تحت عنوان "روش تحقیق" شامل توضیحاتی از نرم‌افزار اجزای محدود و نحوه مدل‌سازی می‌باشد و همچنین معرفی نمونه‌ها و صحت‌سنجی نتایج با نرم‌افزار اجزا محدود می‌باشد.

- فصل چهارم تحت عنوان "تجزیه و تحلیل یافته‌ها" این فصل شامل بیان نتایج حاصل از تحقیق است . مطالب این بخش تنها بر اساس یافته‌های حاصل از پژوهش تنظیم شده است و شامل اطلاعات نوشتاری، جداول و نمودارها می‌باشد و مقایسه رفتار نمونه‌ها بر اثر پارامترهای متفاوت جهت به دست آوردن یک نتیجه بهینه می‌باشد.
- فصل پنجم تحت عنوان "نتیجه‌گیری و پیشنهادها" شامل بحث، تفسیر، نتیجه‌گیری، جمع‌بندی و پیشنهادات است. قسمت اول پاسخ به سؤالات پژوهش است و دلایل تفاوت ذکر می‌شود. همچنین شامل خلاصه نتایج به دست آمده و پیشنهادهایی که شاید در آینده مدنظر قرار گیرد، می‌باشد.

فصل دوم

مبانی نظری

۲-۱- مقدمه

در این فصل از پایان نامه ابتدا به بررسی مختصر درباره روابط تنش - کرنش^۱ در بتن فشاری و سپس عوامل مؤثر بر رفتار اتصالات پرداخته می شود. در ادامه از بین عوامل تأثیرگذار، لغزش مهاری^۲ به طور مبسوط شرح داده خواهد شد. البته نحوه استفاده از مفهوم لغزش مهاری در بررسی رفتار غیرخطی بتن آرمه، با تکیه بر روابط ارائه شده در این فصل تشریح خواهد شد. در انتهای این فصل مطالعات و پژوهش های انجام شده در زمینه دیوار برشی فولادی به صورت اجمالی پرداخته می شود.

۲-۲- روابط تنش - کرنش بتن

روابط تنش - کرنش مختلفی برای بتن محصورشده، ارائه شده است. خیلی از این مدل ها برای محدوده های خاص از جمله برای اشکال هندسی نظیر مستطیلی و مربعی کارا هستند. تعدادی از محققین بر پایه آزمایش هایی که بر روی نمونه های بتنی استوانه ای محصور شده انجام دادند، مدل های مقاومت خاصی را برای بتن محصورشده ارائه کردند.

ریچاری^۳ در ۱۹۲۸ نخستین مطالعه را برای یافتن روابط بتن محصورشده در هر دو حالت فشار هیدرواستاتیک^۴ و استفاده از آرماتور مارپیچی انجام داد. فرمول روابط آن تا مدت های زیادی مورد استفاده قرار می گرفت. در ۱۹۷۱، کنت^۵ و پارک^۶ مدلی را برای بتن محصورشده با استفاده از منحنی تنش - کرنش سهمی وار^۷ برای شاخه صعودی و یک منحنی تنش - کرنش خطی برای شاخه نزولی پیشنهاد دادند.

^۱ The stress-strain

^۲ Inhibitory slip

^۳ Richary

^۴ The hydrostatic

^۵ Kent

^۶ Park

^۷ Parabplic

در ۱۹۷۸، موگوروما^۱ مدلی متشکل از دو منحنی تنش- کرنش از مرتبه دوم سهموی را پیشنهاد داد. در ۱۹۸۲، Park مدل تنش- کرنش Kent و Park در ۱۹۷۱ را اصلاح کرد و ضریب تأثیر مقاومت بتن محصور نشده، نسبت حجمی و مقاومت تسلیم آرماتورهای فولادی جانبی را به آن مدل اضافه کرد. در ۱۹۸۸، مندر^۲ اصلاحی را به صورت استفاده از تابع سهموی برای بیان کردن رفتار تنش- کرنش بتن محصور شده با آرماتور عرضی ارائه کرد. جزئیات بیشتر از مدل ایشان در قسمت‌های بعدی آورده شده است. در ۱۹۹۲، رضوه^۳ و ساتکی اوقلو^۴ با استفاده از یک شاخه صعودی سهموی که با استفاده از شاخه خطی ادامه می‌یافت مدلی را برای بتن محصور شده با انواع حلقه‌های فولادی دایروی و مستطیلی تدوین کردند. هوشیکوما^۵ در ۱۹۷۷ فرم عمومی معادله چند جمله‌ای^۶ از مرتبه n ام را برای شاخه صعودی منحنی تنش- کرنش پیشنهاد داد. در سال ۲۰۰۰، دادی^۷ و فیلی ترالت^۸ ارزیابی لرزه‌ای و مقاوم سازی ستون‌های بتن مسلح با استفاده از جاکت‌های فولادی را معرفی کردند.

اگر به مکانیزم بتن محصور شده با استفاده از جاکت‌ها توجه شود، مشاهده می‌شود که بتن در داخل جاکت فولادی، تمایل به اتساع^۹ به سمت بیرون دارد و این اتساع، جاکت را تحت تنش قرار می‌دهد. در این حالت جاکت فولادی تحت اثر بارگذاری تک‌محوره، تنش محصورکنندگی را به بتن اعمال می‌کند (ناتاراجا^{۱۰} در ۱۹۹۹). بعد از آن با ساط جاکت موجب خرابی بتن شده و در نتیجه باعث توزیع مجدد تنش

^۱ Muguruma

^۲ Mander

^۳ Razve

^۴ Saatcioglu

^۵ Hoshikuma

^۶ . Polinomial

^۷ Daudey

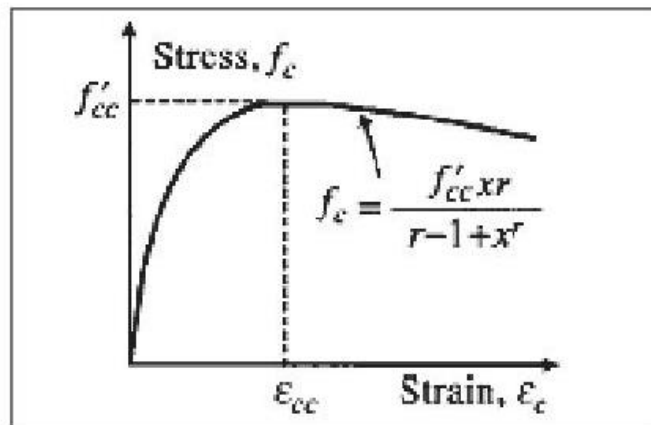
^۸ Filiatrault

^۹ . Dilation

^{۱۰} Nataraja

در جاکت می‌شود. در این حالت مقاومت و شکل‌پذیری بتن به علت حالت سه محوره تنش، افزایش خواهد یافت.

به‌منظور بررسی و تحلیل اثرات جاکت فولادی در ایجاد محصورکنندگی جانبی برای بتن، مدلی توسط Mander در ۱۹۸۸ میلادی برای بتن محصور شده با آرماتورهای فولادی ارائه شده است. این مدل برخلاف خیلی از مدل‌های موجود، برای همه اشکال هندسی مقاطع و همه سطوح از محصورکنندگی قابل کاربرد است. در شکل ۱-۲ منحنی تنش- کرنش مربوط به مدل Mander دیده می‌شود. [۲]



شکل ۱-۲- منحنی تنش- کرنش بتن محصور شده Mander . [۲]

فرمول‌هایی که مدل mander را تشریح می‌کنند، در روابط زیر آورده شده است:

$$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r} \quad (2-1)$$

$$f'_{cc} = f'_c \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_1}{f'_c}} - \frac{2 f'_1}{f'_e} - 1.254 \right) \quad (2-2)$$

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (2-3)$$

که در آن مقدار ϵ_{cc} از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\epsilon_{cc} = .002 \left(1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right) \quad (2-4)$$

مقدار r از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2-5)$$

که در آن مقدار $E_c = 5000 \sqrt{f'_c}$ برحسب مگاپاسکال است و E_{sec} از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$E_{sec} = \frac{f'_c}{\epsilon_{cc}} \quad (2-6)$$

در معادلات فوق، f'_{cc} و ϵ_{cc} تنش و کرنش بتن در میزان تنش حداکثر هستند و f'_1 تنش محصورکنندگی جانبی مؤثر است. تنش محصورکنندگی مؤثر f'_1 در مقاطع دایروی با تنش محصورکنندگی متوسط از

رابطه زیر به دست می‌آید: [۲]

$$f'_1 = K_e \cdot f_1 \quad (2-7)$$

در مقاطع مستطیلی با نسبت مساحت آرماتورهای عرضی متفاوت، ρ_x و ρ_y در امتدادهای اصلی، تنش‌های محصورکنندگی متفاوت بر طبق روابط زیر توسعه یافتند:

$$f'_{tx} = k_e \cdot \rho_x \cdot f_{yh} \quad f'_{ty} = k_e \cdot \rho_y \cdot f_{yh} \quad (2-8)$$

در معادلات فوق، مقدار k_e ضریب محصورکنندگی است. مقادیر معمول k_e در مقاطع دایروی برابر با ۰/۹۵، در مقاطع مستطیل برابر با ۰/۷۵ و در مقاطع دیوار شکل برابر با ۰/۶ است.

۲-۳- شکل‌پذیری و اهمیت آن در سازه‌های بتن آرمه

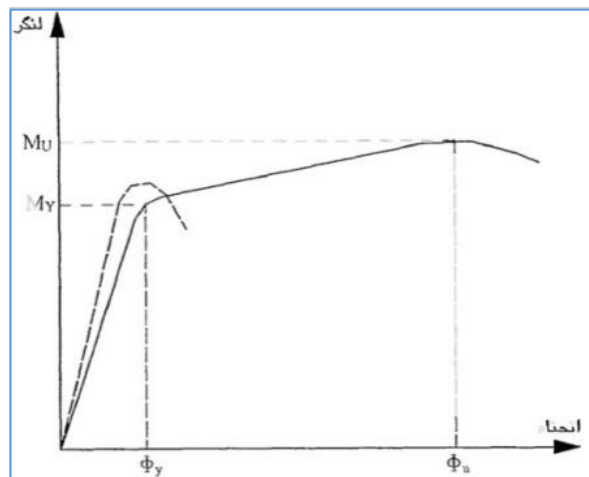
شکل‌پذیری یکی از مسائل مهم در کنار مقاومت نهایی و سرویس‌دهی سازه‌های بتن آرمه می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین در هنگام وقوع زلزله سازه تحت اثر باری نزدیک به بار نهایی رفتاری شکل‌پذیر داشته باشد. این به آن معنی است که علاوه بر جلوگیری از شکست ترد توانایی تحمل تغییر شکل‌های بزرگ تحت اثر بار نزدیک به بار نهایی را داشته باشد. ایجاد این تغییر شکل‌های زیاد باعث

- ایجاد ایمنی و آگاهی ساکنین قبل از خرابی ساختمان و خروج به موقع آنها را به همراه خواهد داشت. همچنین رفتار شکل پذیر اعضا، زمینه باز توزیع لنگرهای خمشی و طراحی بر اساس آن را فراهم می آورد. به طور کلی اهمیت و مزایای شکل پذیری در سازه های بتن آرمه به شرح زیر تقسیم بندی می گردد. [۵]
- ۱- روش طراحی مقاومت نهایی در آیین نامه ACI فرض می کند که تمام مقاطع بحرانی در سازه، در حالت نهایی و تحت اثر بارهای طراحی سازه، به لنگر نهایی خود خواهند رسید. برای آن که این امر اتفاق بیفتد، تمامی اتصالات باید قابلیت تحمل نیروها و تغییر شکل های متناظر را داشته باشند.
- ۲- اگر سازه دارای شکل پذیری کافی باشد، می توان انتظار داشت که قادر به تحمل بارهای اضافی غیرمترقبه، ضربه و بارهای رفت و برگشتی و حتی حرکت های ناشی از جابجایی پی سازه باشد. این موارد مهم که در بسیاری از مواقع در طراحی سازه نادیده گرفته می شود باید در شکل پذیری نهایی یک سازه مدنظر قرار گیرند.
- ۳- آیین نامه های مربوطه در بارگذاری زلزله هنگامی اثرگذار خواهند بود که سازه دارای شکل پذیری کافی برای جذب و مستهلک نمودن انرژی زلزله باشد و همچنین امکان ایجاد تغییر شکل های غیر ارتجاعی^۱ تحت اثر بارهای متناوب بزرگ مانند زلزله، در سازه وجود داشته باشند.
- ۴- در روش های طراحی پلاستیک باز توزیع لنگر و ایجاد مفصل های پلاستیک نیازمند وجود شکل پذیری کافی در مقاطع می باشد.
- ۵- پاسخ یک سازه در برابر نیروهای زلزله یا طوفان های شدید تابعی از سختی و شکل پذیری آن می باشد. به همین دلیل در آیین نامه های جاری مقدار نیروی معادل زلزله با استفاده از مفهوم ضریب رفتار در طراحی سازه های شکل پذیر کمتر از نیروی مورد نظر در سازه های غیر شکل پذیر معرفی می شود.

^۱ Non-elasticity deformation

درمجموع می‌توان رفتار شکل‌پذیر را به دلیل جذب انرژی زیاد و نیز وجود زنگ خطر قبل از خرابی سازه رفتار مطلوب و مورد انتظار از یک سازه بتن‌آرمه دانست. به جهت اطمینان از شکل‌پذیری سازه و جلوگیری از شکست ترد لازم است طراحان، ملاحظات و توجهات خاصی را در نحوه آرماتورگذاری طولی و عرضی، محصورشدگی بتن، مهاربندی آرماتورهای طولی و عرضی و ... داشته باشند. [۵].

شکل ۲-۲ مجموعه‌ای از تغییر شکل یک سازه شکل‌پذیر و ترد را نشان می‌دهد. برای تعریف شکل‌پذیری با استفاده از چنین نموداری می‌توان حاصل تقسیم $\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$ را به‌عنوان ضریب شکل‌پذیری معرفی کرد که Δ_u تغییر مکان نهایی عضو و Δ_y تغییر مکان متناظر با تسلیم آرماتورهای کششی می‌باشد. در این نمودار همچنین مقدار $\Delta_u - \Delta_y$ به‌عنوان تغییر شکل غیر ارتجاعی قابل‌محاسبه است. ضرایب شکل‌پذیری به‌صورت نسبت‌های $\frac{\varphi_u}{\varphi_y}$ و یا $\frac{\theta_u}{\theta_y}$ نیز قابل‌تعریف هستند که φ و θ به ترتیب انحناء و دوران مقاطع و اعضای خمشی می‌باشند. همچنین مقدار انرژی جذب شده توسط سازه، بر اساس سطح زیر نمودار بار-تغییر شکل قابل‌محاسبه است. این تعریف از نظر مفهومی به‌ویژه جهت طراحی سازه در برابر زلزله اهمیت دارد [۵].

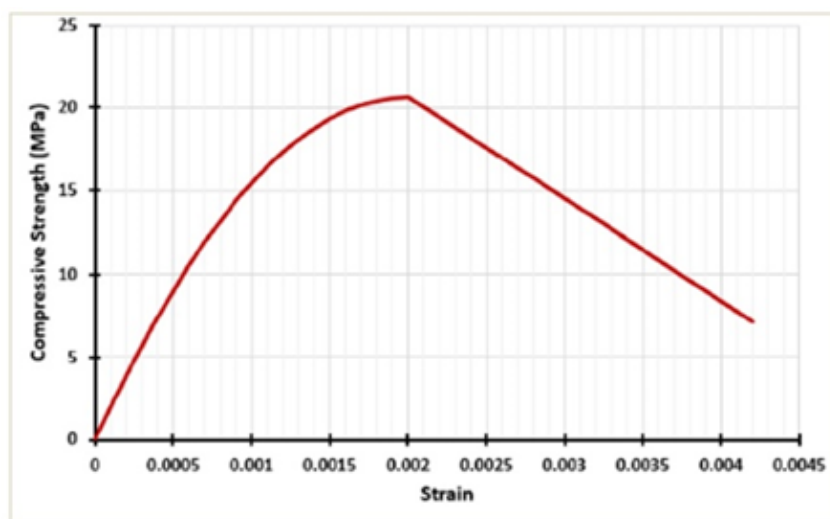


شکل ۲-۲- مجموعه‌ای از تغییر شکل یک سازه شکل‌پذیر و ترد [۵].

۲-۳-۱- خواص شکل‌پذیری بتن و آرماتور

بتن خالص تحت بارگذاری تک‌محوری رفتار شکننده داشته و منحنی تنش- کرنش آن مشابه شکل ۲-۴ می‌باشد. در فشار تا تنش حدود $0.4 f_c'$ رفتار بین خطی است و از آن پس بتن تحت فشار، رفتار غیرخطی دارد تا به حداکثر مقدار مقاومت فشاری خود، f_c' ، برسد. در بارگذاری سه محوری هنگامی که یک بتن معمولی تحت اثر فشار جانبی محصورشدگی قرار می‌گیرد، مقاومت فشاری بتن ممکن است تا چندین برابر افزایش یابد. مهم‌تر آن که محصورشدگی بتن شکل‌پذیری آن را نیز بالا می‌برد. [۵]

در بتن مسلح محصورشدگی و فشار سه محوری می‌تواند توسط آرماتورهای مارپیچ و یا فولادهای عرضی به صورت تنگ بسته که با فواصل مشخص در مقطع تعبیه می‌گردد، تأمین شود. اگر بتن در جهت جانبی افزایش طول دهد، حلقه آرماتور تنگ و یا مارپیچ تحت کشش واقع می‌شود و بتن را تحت فشار قرار می‌دهد [۵].



شکل ۲-۳- منحنی تنش- کرنش تک‌محوری بتن. [۵]

آرماتور به دلیل رفتار پس از تسلیم فولاد از شکل‌پذیری بیشتری نسبت به بتن برخوردار است. وجود فولاد در کنار بتن، شکل‌پذیر شدن یک مقطع بتن‌آرمه را ممکن می‌سازد. در فولادهای با مقاومت بالاتر

شکل پذیری و طول محدوده تسلیم کاهش می یابد. تحت اثر بارگذاری هایی بزرگ رفت و برگشتی زلزله، معمولاً سخت شوندگی کرنش در فولاد به کاررفته در یک تیر بتنی ایجاد می شود. در نتیجه تنش های فولاد از حد تسلیم در ناحیه مفصل پلاستیک تجاوز می کند. علاوه بر این در برخی از مراحل بارگذاری چرخه ای مدول الاستیسیته فولاد ممکن است کوچک تر شود و ممکن است در فشار کمانش اتفاق بیفتد. به این دلیل مهار شدن فولادها از اهمیت خاصی برخوردار است. [۵]

۲-۴- تقویت بتن مسلح

در اثر تحقیقات و مطالعات گوناگون تجربی و نظری، روش های گوناگون تقویت برای سازه بتنی تدوین و توسعه یافته است که می توان به موارد زیر اشاره کرد: [۸]

- مقاومت سازی با استفاده از مواد کامپوزیتی
- مقاومت سازی با استفاده از ژاکت های بتن مسلح
- مقاومت سازی با استفاده از ژاکت های فولادی
- مقاومت سازی با استفاده از ترکیب ژاکت های فولادی و مواد کامپوزیتی
- مقاومت سازی با استفاده روش های نوین و ابتکاری

۲-۵- پیشینه تحقیق^۱

در سال ۲۰۰۶، ارتاس و همکاران به بررسی چهار نوع اتصال شکل پذیر و مقاوم خمشی به صورت پیش ساخته و یک اتصال یکپارچه پرداختند. سپس آن ها پس از بررسی و ارزیابی مقاومت، کاهش سختی و اتلاف انرژی نمونه ها به این نتیجه رسیدند که کاهش سختی نمونه های یکپارچه پیش ساخته با اتصال

^۱ Literature review

داخل ستون و پیش‌ساخته با اتصال داخل تیر شبیه به هم است؛ ولی سختی نمونه پیش‌ساخته با اتصال مرکب از سایر نمونه‌ها کمتر است. همچنین میرایی ویسکوز با افزایش تغییر مکان جانبی نسبی افزایش پیدا می‌کند. [۱۱] چین یو و همکاران در سال ۲۰۰۸ یک نوع از سیستم‌های سازه‌ای پیش‌ساخته بتنی با تیرها و دال‌های پیش‌ساخته بتنی را مورد بررسی قرار دادند. سپس عملکرد لرزه‌ای سیستم تحت بارهای دوره‌ای روی گره‌های تیر به ستون و تحلیل بار افزون انجام شد. نمونه با نرم‌افزار تحلیل سازه‌ای OpenSees انجام شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که این سیستم‌های سازه‌ای رفتار لرزه‌ای خوبی از خود نشان می‌دهند. [۱۲] در سال ۲۰۱۵ فریدون رضایی و همکاران، ضریب رفتار قاب‌های خمشی نیمه پیش‌ساخته بتنی با نوعی اتصال خمشی تیر به ستون را به صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی کردند. به‌منظور بررسی رفتار اتصال تیر به ستون و استخراج نقاط ضعف و قوت آن، در یک برنامه آزمایشگاهی که در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن تهران انجام گردید، چند نمونه اتصال صلیبی شکل در مقیاس واقعی تیر و ستون ساخته شد و مورد آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی افزایشنده تا مرحله خرابی قرار گرفت. (شکل ۲-۴) [۱۳]



شکل ۲-۴- آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی قاب‌های خمشی نیمه پیش‌ساخته بتنی. [۱۳]

یکی دیگر از روش‌های مقاوم‌سازی قاب‌های بتنی، استفاده از مهاربندهای فولادی است. استفاده از مهاربندهای فولادی دارای سابقه نسبتاً طولانی و به دو صورت مهاربندهای خارجی و داخلی مورد استفاده

قرار می گیرد. در مهاربندهای خارجی، خرپاهای فلزی و قاب‌ها به هم متصل می‌شوند و به‌عنوان یک تکیه‌گاه سراسری در سازه خارجی و یا به‌صورت موضعی به‌عنوان قاب سازه‌ای تنها عمل می‌نماید. در مهاربندهای داخلی، اعضای فولادی مهاربند در جاهای خالی میان ستون‌ها و تیرهای قاب بتن مسلح قرار می‌گیرند. مهاربندها ممکن است به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم به قاب بتن مسلح متصل شوند. در مهاربندهای داخلی غیرمستقیم، موقعیت مهاربندهای فلزی در درون قاب بتن مسلح است. به‌عنوان یک نتیجه انتقال بار بین مهاربند فلزی و قاب بتنی به‌طور غیرمستقیم از طریق رابط فولادی انجام می‌شود. طبق مقالات و پژوهش‌های انجام شده سازه‌های کنونی که برای بهبودشان از مهاربندهای داخلی غیرمستقیم در فرم‌های مختلف مثل X (ضربدری)، V (وی شکل) و K (کا شکل) هم‌محور و برون‌محور استفاده می‌کنند نتایج موافقی داشته‌اند. M.A. Youssef و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مقاله‌ای تحت عنوان "عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتنی با بادبندهای فولادی داخلی ضدزنگ" به بررسی آزمایشگاهی قاب خمشی بتنی پرداختند که نشان می‌دهد در قاب خمشی بتنی بارگذاری چرخه‌ای در دو حالت استفاده و عدم استفاده از بادبندهای فولادی ضدزنگ به‌کاررفته است. نتایج بررسی نشان می‌دهد که استفاده از بادبندهای فولادی سختی و مقاومت قاب بتنی را افزایش می‌دهد (شکل ۲-۵). [۱۴]



شکل ۲-۵- تصویر آزمایش استفاده از مهاربند فولادی داخل قاب بتنی [۱۴].

نتایج تحقیق دانشمندان نشان می‌دهد که مهارندهای فولادی در قاب‌های بتنی با ارتفاع متوسط و در دهانه‌های با نسبت دهانه به ارتفاع بزرگ‌تر از $1/5$ بهترین بازدهی را دارد و می‌تواند ظرفیت نیروی جانبی اعمالی به سازه را حتی تا سه برابر افزایش دهد؛ که در این میان مهاربند ضربدری و پس‌از آن مهاربند نوع هشت بهترین شکل‌های مهاربندی برای افزایش سختی جانبی سازه می‌باشند. همچنین Youssef et.al به این نتیجه رسیده‌اند که در نظر گرفتن ضریب رفتار متداول قاب خمشی بتن مسلح با شکل‌پذیری متوسط، برای قاب بتنی مقاوم شده با مهاربند فولادی کافی و مناسب است. همچنین پیش‌بینی شده است که در صورت استفاده از سیستم قاب خمشی بتنی همراه با مهاربند فولادی، وزن سازه در حدود ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. [۱۴]

اولین موارد استفاده از مهارندهای فولادی در قاب‌های بتن‌آرمه به دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ بازمی‌گردد که سه ساختمان بتنی، یکی در ژاپن و دیگری در مکزیکوسیتی با مهارندهای فولادی پیرامونی مقاوم سازی شدند. از آن زمان این سیستم سازه‌ای مورد توجه و استفاده، به‌خصوص در مقاوم سازی ساختمان‌های بتنی موجود، قرار گرفته است. اگرچه تاکنون درباره رفتار و اثرات متقابل مهاربند فولادی و قاب بتنی تحقیقات نسبتاً زیادی انجام شده است، اما هنوز اطلاعات کافی و شناخت مناسبی از چگونگی اندرکنش این دو سیستم سازه‌ای در دست نیست. [۱۵]

در سال ۱۹۹۰، Badoux و Jirsa، با نگاهی تحلیلی، به بررسی رفتار قاب‌های بتنی مهاربندی‌شده در هنگام اعمال بارهای جانبی به‌خصوص بارهای سیکلی پرداختند. در این پژوهش اثر لاغری مهاربند در مقدار انرژی جذب شده توسط قاب موردتوجه قرار گرفت و نیز نشان داده شد که کاهش سطح مقطع تیرها و تعبیه مهارندهای فولادی در ساختمان‌های غیر نرم دارای ستون‌های ضعیف و تیرهای قوی، موجب افزایش قابل توجه شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی قاب بتنی می‌گردد. [۱۵]

در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ مقالات تحلیلی و آزمایشی مختلفی در رابطه با مهاربند ها و کارایی آن در افزایش مقاومت جانبی و شکل‌پذیری قاب و همچنین اقتصادی بودن آن پرداخته شده است. تقریباً در تمامی این موارد، از مهاربندهای نوع ضربدری به صورت دورن‌قابی استفاده شده است. همچنین در برخی مقالات، جزئیات اتصال مهاربند به قاب و نیز استفاده از مهاربندهای میرا کننده و مهاربندهای پس کشیده مورد توجه قرار گرفته است.

در مقاله‌ای که در سال ۱۹۹۱ توسط Bush et.al ارائه شد، مشخص گردیده است، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد برش وارد بر قاب، توسط مهاربندها تا قبل از کمانش مهاربند فشاری تحمل می‌شود. [۱۵]

در سال ۱۹۹۵، Maheri و Sahebi، طی یک مقاله به گزارش آزمایشی بر روی قاب بتنی با مهاربند ضربدری، مهاربند کششی تنها و مهاربند فشاری تنها پرداخته‌اند. در این آزمایش مشخص شده است که مهاربند کششی نسبت به مهاربند فشاری، سهم بیشتری در تحمل نیروی جانبی وارد بر قاب دارد. همچنین نشان داده شده است که در صورت استفاده از مهاربند ضربدری، برش قابل تحمل برای قاب، یک‌ونیم برابر ظرفیت برش در صورت استفاده از مهاربند کششی یا فشاری تک است. [۱۵]

در ۱۹۹۶ Masri و Goel، در مقاله‌ای نتایج آزمایشات انجام شده بر روی قاب بتن مسلح با دال قارچی و مهاربند فولادی را ارائه کرده و نشان داده‌اند که استفاده از این روش مقاوم‌سازی در کاهش تغییرمکان جانبی قاب بتنی بسیار مؤثر است. [۱۵]

تسنیمی و معصومی، در سال ۲۰۰۰ (۱۳۷۹) آزمایش‌هایی را بر روی قاب‌های بتنی مهاربندی شده با مهاربند ضربدری انجام داده‌اند که در هر آزمایش نحوه اتصال مهاربند به قاب متفاوت بوده است. نتایج آزمایشات نشان داده است که جزئیات اتصال مهاربند به قاب اثر قابل توجهی بر رفتار لرزه‌ای قاب و کارایی این روش مقاوم‌سازی دارد. [۱۵]

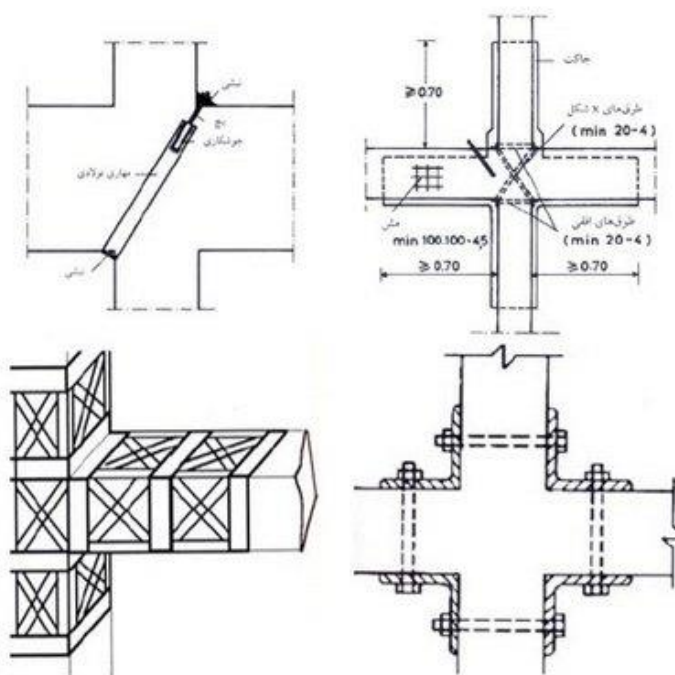
در سال ۲۰۰۱، Abou Elfath و Ghobarah، رفتار غیر الاستیک یک سازه با سه سقف بتنی و مقاوم سازی شده با دو گزینه مهاربند ضربداری و مهاربند واگرای هشت با اتصال برشی در رأس مهاربندها را، در نرم افزار DRAIN مدل سازی نموده و نشان داده اند که تحت اثر دوازده زلزله مهم و متفاوت، قاب مهاربندی شده واگرا رفتار غیرترد اطمینان بخشی دارد. [۱۵]

در سال ۱۳۸۰ (۲۰۰۱)، در مقاله ای که توسط خیرالدین، در دومین همایش بین المللی ساختمان های بلند ارائه شد، در بررسی رفتار خطی یک ساختمان ده طبقه بتنی با مهاربند فولادی ضربداری به این نتیجه رسیدند که در صد برش جذب شده در طبقات پایینی ساختمان توسط مهاربند ۶۰٪ و توسط قاب ۴۰٪ می باشد. به علاوه، وجود مهاربند در طبقات بالا، موجب افزایش تغییر مکان جانبی قاب خواهد شد؛ اما به طور کلی استفاده از مهاربند ضربداری، تغییر مکان جانبی قاب را حدود ۵۰٪ کاهش می دهد. همین محقق در مقاله دیگری، استفاده از مهاربند هشت با فاصله میانی در قاب بتن آرمه را مورد بررسی قرار داده است و مشخص نموده است که استفاده از این مهاربندها در ساختمان ۵ طبقه، در تمامی طبقات مفید است، اما در ساختمان های ۱۰ و ۱۵ طبقه، موجب ایجاد برش منفی در طبقات بالایی و بام ساختمان می گردد. [۱۶]

همچنین یکی دیگر از روش های افزایش مقاومت جانبی قاب خمشی بتن مسلح، مقاوم سازی اتصالات می باشد. اتصال تیر به ستون در قاب های خمشی بتنی به علت قرارگیری اتصال تحت تنش های رفت و برگشتی زلزله جزء بحرانی ترین نقاط در عملکرد قاب بتن مسلح خمشی می باشد. لذا اصلاح عملکرد اتصال و مقاوم سازی آن باعث بهبود عملکرد کل سیستم و مقاوم سازی کل ساختمان خواهد شد. روش های متنوعی برای تقویت اتصالات به شرح زیر موجود می باشد که با توجه به معیارهای مختلف یک یا ترکیبی از آنها برای بهبود عملکرد اتصال و تقویت آن در برابر زلزله انتخاب می شود: (شکل ۲-۶) [۱۶]

- تزریق رزین اپوکسی در ژاکت فولادی اتصالات بتنی

- استفاده از طوق‌های پیش‌تنیده X شکل
- مقاوم‌سازی و تقویت اتصالات با استفاده از FRP
- نصب ژاکت ورق فولادی در اتصالات بتنی
- ایجاد قفس فولادی در اتصالات بتنی
- پیش‌تنیدگی اتصالات



شکل ۲-۶- تصویر انواع مختلفی از تقویت اتصالات قاب خمشی بتنی. [۱۶]

امروزه یکی از پارامترهایی که در نگرش نوین پژوهشگران به رفتار سازه‌ها مدنظر قرار گرفته، مفهوم انرژی در سازه‌ها می‌باشد. برای بررسی عملکرد سازه بر اساس انرژی روش‌های مختلفی توسط محققان مختلفی در طول سالین گذشته پیشنهاد شده که در ادامه به آنان پرداخته می‌شود. [۱۷]

در سال ۱۹۸۴، Park, Y. J و Ang, A.Wen با استفاده از رابطه معروف شاخص خسارت پارک-انگر^۱، روشی در جهت طراحی سازه‌ها ارائه داد. در این روش عمده‌ترین پارامترهای اولیه طرح، برش پایه و شاخص شدت زمین‌لرزه است که بر اساس آن شکل‌پذیری^۲ سازه به دست می‌آید. [۱۷]

در سال ۱۹۸۵، Akiyama H در کتاب خود، روشی را برای طراحی سازه‌ها ارائه کرده است که مبتنی بر طیف انرژی ورودی (از طریق طیف سرعت معادل) و توزیع بهینه خسارت در کل سازه است. [۱۷]

در سال ۱۹۹۲، Krawinkler H و Nassar A.A، طراحی لرزه‌ای بر پایه شکل‌پذیری و خسارت تجمعی را مدنظر قرار دادند. در این روش با فرض سطح قابل قبول از خسارات شکل‌پذیری متناظر با آن به دست می‌آید و سپس مقاومت لازم برای محدود کردن شکل‌پذیری خواسته به ظرفیت موجود محاسبه می‌شود که این شیوه، نگرشی کلی به رفتار سازه دارد. [۱۷]

در سال ۱۹۸۶، Seckin و همکاران به بررسی ضعف و قوت سازه‌های پیش ساخته بتنی از لحاظ کفایت سازه‌ای پرداختند. برای این کار، یک ساختمان پنج طبقه به دو صورت قاب خمشی بتن درجا و قاب خمشی پیش‌ساخته مدل‌سازی کرده و تحت ترکیب بارهای متداول تحلیل نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده سیستم قاب خمشی پیش‌ساخته از لحاظ رفتار سازه‌ای از قبیل میزان جذب انرژی، شکل‌پذیری، میرایی و مقاومت و همچنین میزان مصالح مصرفی در اسکلت ساختمان، قابل رقابت با سیستم یکپارچه بتن درجا بوده، ولی تأمین گیرایی کامل در اتصالات سازه‌های پیش‌ساخته بزرگ‌ترین مشکل آن‌ها می‌باشد. [۱۷]

در سال ۱۹۹۷، J.F.Anderson و R.G.Dolan از دانشگاه شیکاگو به بررسی رفتار چندین نوع از اتصالات صلب در سازه‌های پیش ساخته بتنی برای مقایسه با رفتار اتصالات صلب در سازه‌های درجا ریز پرداختند.

^۱ Park-Anger

^۲ Ductility

آن‌ها طی یک برنامه تحقیقاتی پرهزینه توسط انجمن بتن پیش‌ساخته و بتن پیش‌تنیده امریکا^۱، هشت اتصال صلب تیر به ستون پیشنهادی در دانشگاه واشنگتن را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. در این برنامه تحقیقاتی، اتصال‌ها به صورت صلیب‌شکل آزمایش شده و منحنی‌های هیسترزیس آن‌ها به دست آمد. در نهایت اتصالات صلب مورد بررسی نشان می‌دادند که این اتصالات از نظر رفتار سازه‌ای در مناطق با لرزه‌خیزی بالا به خوبی می‌تواند انرژی ناشی از حرکت زمین را مستهلک نمایند. [۱۷]

در سال ۲۰۰۵، Elliott K. S. Butterworth و Heinemann به بررسی رفتار اتصالات معرفی شده با استفاده از بارگذاری چرخه‌ای و به دست آوردن منحنی‌های هیسترزیس پرداختند. خرابی سازه‌های پیش‌ساخته در زلزله‌های گذشته نشان داده بود که اتصالات در این نوع سازه‌ها یکی از بحرانی‌ترین نقاط بوده و نیازمند دقت در طراحی و اجرا می‌باشد. در نهایت چند اتصال شکل‌پذیر تیر-ستون مقاوم لرزه‌ای ارائه شده‌اند. [۱۷]

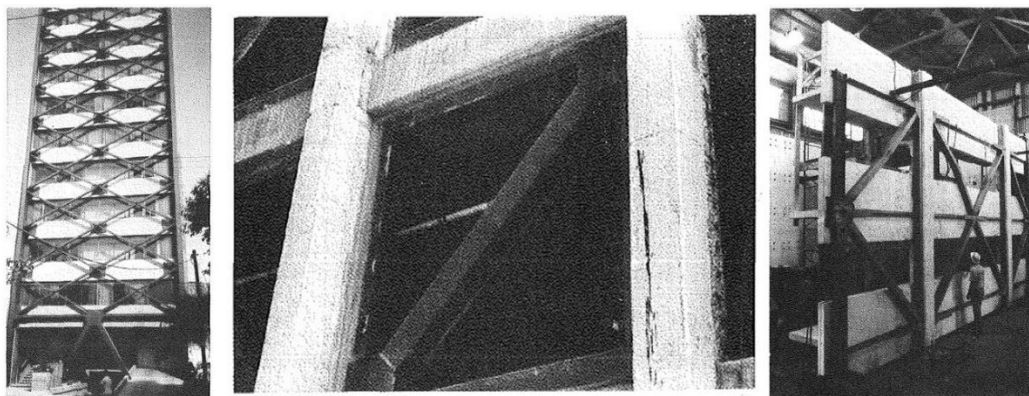
در سال ۲۰۰۷، Rogers و همکارانش در دانشگاه کانتربری به بررسی عددی نوع خاصی از اتصال پیش‌ساخته بتنی تیر به ستون پرداختند. هدف بررسی عددی یک نوع اتصال تیر به ستون بتنی پیش‌ساخته که رفتاری بسیار مشابه با اتصال بتنی درجا ریز دارد، می‌باشد. در این راستا با استفاده از روش‌های اجزای محدود و مدل‌سازی کامپیوتری با نرم‌افزار Abaqus به تحلیل غیرخطی این نوع اتصال پرداخته شده و رفتار آن با اتصال بتنی یکپارچه مشابه مقایسه گردید. در نهایت این موضوع نتیجه‌گیری شد که اتصالات بتنی پیش‌ساخته در صورت داشتن طراحی مناسب و رعایت نکات اجرایی می‌توانند دارای مقاومت، شکل‌پذیری و جذب انرژی مشابه اتصال بتنی یکپارچه باشند. نتایج تحلیل بر روی دو نمونه اتصال پیش‌ساخته و درجا در دو حالت وجود نیروهای فشاری و کششی بر روی ستون حاکی از آن است

^۱ PCI

که این دو نوع اتصال به صورت مشابه عمل می کنند و تنها مقاومت نهایی اتصال درجا^۱ کمی بیشتر از اتصال پیش ساخته است. [۱۷]

استفاده از ورق فولادی در قاب خمشی بتنی معمولاً رایج نبوده و پیشینه زیادی ندارد ولی تقویت داخل قاب خمشی بتنی با مهاربندهای فولادی در گذشته انجام شده است و تقریباً می توان یک رفتار مشترک را برای هر دو حالت تقویت داخل قاب بتنی (تقویت مهاربند یا ورق فولادی) متصور بود: [۱۸]

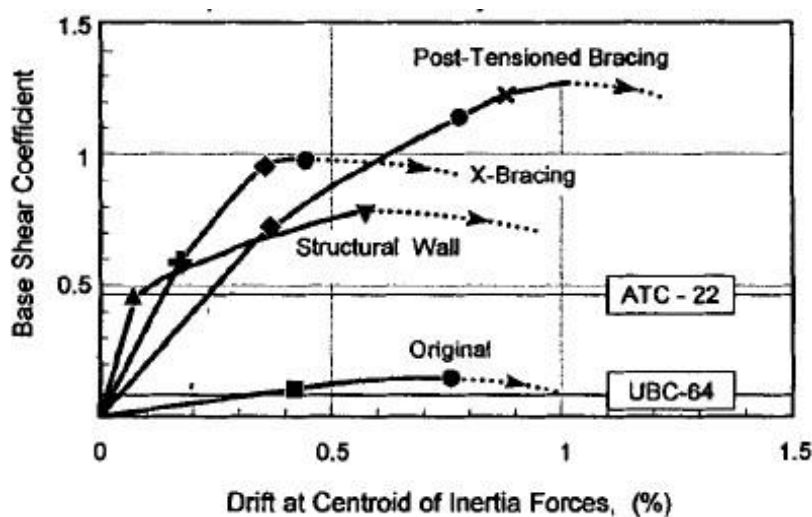
تحقیقاتی توسط Marc Badoux و همکاران در سال ۱۹۹۰ انجام گرفت که در مقاله ای تحت عنوان "بادبندهای فولادی در قاب های بتنی جهت تقویت عملکرد لرزه ای" در خصوص ساختمان هایی که در فاصله سال های ۱۹۸۲ تا ۱۹۸۷ در کالیفرنیا، سندای ژاپن و مکزیکوسیتی ساخته شده است، صحبت می کنند و همچنین در تستی آزمایشگاهی بادبندهای فولادی بر روی قاب خمشی بتنی با تیرهای عمیق مورد بحث و بررسی قرار گرفته است (شکل ۲-۷). بارگذاری رفت و برگشتی باعث شده است نویسنده در خصوص ملاحظات غیر سازه ای، کمانش غیر الاستیک، عملکرد لرزه ای بادبندها و ستون های ضعیف بحث و نتیجه گیری نماید. [۱۸]



شکل ۲-۷- تصویر ساختمان و نمونه آزمایشگاهی قاب خمشی تقویت شده با بادبندهای فولادی. [۱۸]

^۱ Cast in Place

در تحقیقاتی توسط Jose A. Pincheira و همکاران در سال ۱۹۹۶ در مقاله‌ای تحت عنوان " رفتار لرزه‌ای قاب‌های بتنی تقویت‌شده با بادبندها یا دیوارهای فولادی" در خصوص برش پایه و عملکرد لرزه‌ای ساختمان سه طبقه خمشی بتنی مفروضی بحث می‌نماید که توسط چند حالت: بادبند همگرا، بادبند پیش‌تنیده و دیوار بتنی تقویت‌شده است، محقق این مقاله با مقایسه رفتار عملکرد لرزه‌ای این چند حالت به این نتیجه می‌رسد که سازه مفروض بتنی با استفاده از بادبند پیش‌تنیده، دارای بیشترین مقاومت جانبی و با استفاده از دیوار برشی فولادی بیشترین سختی جانبی را دارد و همچنین هنگامی که بادبندهای همگرا در سازه استفاده می‌شود، رفتار لرزه‌ای سازه هم از لحاظ مقاومت و سختی متعادل می‌گردد (شکل ۲-۸). [۱۹]



شکل ۲-۸- مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب خمشی بتنی همراه با انواع مختلفی از تقویت قاب [۱۹].

در پژوهشی توسط Fatih Sutcu و همکاران در سال ۲۰۱۴ در مقاله‌ای تحت عنوان " طرح تقویت لرزه‌ای برای ساختمان‌های بتنی توسط قاب‌ها و بادبندهای فولادی کمانش ناپذیر" عملکردهای لرزه‌ای قاب بتنی را در حالت استفاده از بادبندهای کمانش ناپذیر فولادی بررسی می‌کند، طبق این بررسی مشخص گردیده است که تغییر شکل‌های سازه تا حد قابل قبولی کاهش پیدا می‌کند و زاویه رانش

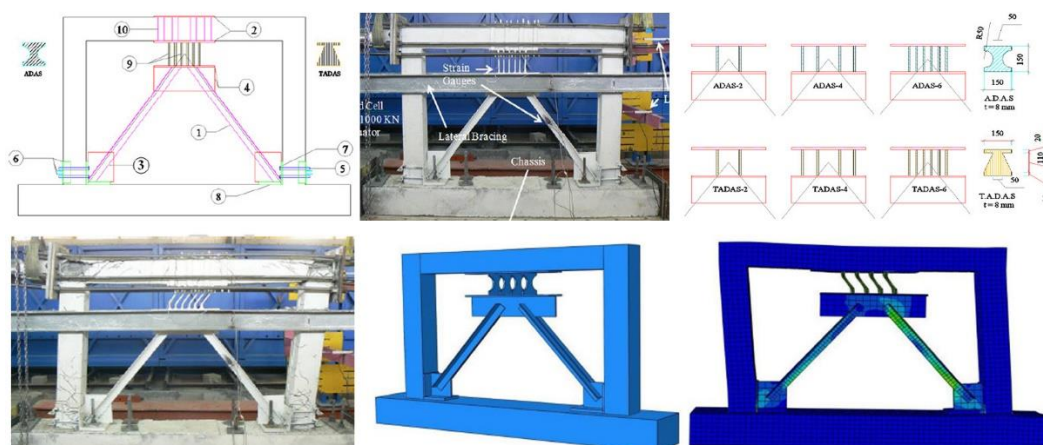
ساختمان بسیار بهبود پیدا می‌کند. همچنین Zhe Qu و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مقاله‌ای تحت عنوان "تقویت لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی توسط بادبندهای فولادی کمانش ناپذیر در پیکربندی زیگزاک" ساختمان مفروضی را با بادبندهای کمانش ناپذیر و بولت‌های پیش‌تنیده در داخل قاب بتنی فرض کرده است. بولت‌ها در ۴ نوع مختلف ارائه شده‌اند و محقق در انتهای مقاله به این نتیجه می‌رسد که بادبندهای زیگزاکی کمانش ناپذیر به‌خوبی پا‌سخت‌های لرزه‌ای سازه بتنی را جابگو هستند و مقاومت جانبی سازه را بالا می‌برند. [۱۶]

در تحقیقاتی توسط Mehrzad TahamouliRoudsari در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان "ارزیابی تجربی قاب‌های بتنی تقویت‌شده با انواع مختلف بادبندهای فولادی" به بررسی آزمایشگاهی قاب خمشی بتنی مفروضی می‌پردازند که توسط مدل‌های مختلف بادبند فولادی مقاوم‌سازی شده است، می‌پردازد (شکل ۹-۲). با بررسی بارهای چرخه‌ای در تمام مدل‌ها نشان می‌دهد که مقاومت، سختی، گسترش ترک، شکل‌پذیری، جذب انرژی و ضریب کاهش مقاومت جانبی بررسی‌شده حاکی از آن است که بادبند واگرا هشتی شکل با سخت‌کننده میانی دارای عملکرد لرزه‌ای بهتری نسبت به دیگر نمونه‌ها می‌باشند، باین‌حال از نظر مقاومت و کنترل ترک‌خوردگی بادبند همگرا X مطلوب‌تر می‌باشد. [۲۰]



شکل ۲-۹- انواع مختلفی از تقویت داخل قاب خمشی بتنی توسط بادبند فولادی. [۲۰]

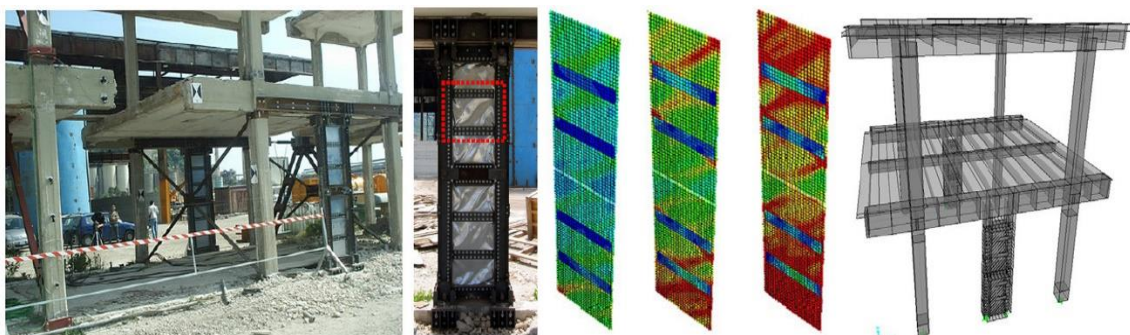
همچنین Mehrzad TahamouliRoudsari در سال ۲۰۱۸ در دو مقاله‌ای مختلف تحت عنوان " بررسی فرایندهای مقاوم در برابر تکیه‌گاه قاب خمشی بتنی با میراگرهای تسلیمی ADAS و TADAS " به بررسی قاب خمشی بتنی مفروضی می‌پردازند که توسط مدل‌های مختلف بادبند فولادی واگرا هشت شکل با میراگرهای تسلیمی ADAS و TADAS مقاوم‌سازی شده است، می‌پردازد (شکل ۲-۱۰). نتایج نشان می‌دهد که تعداد صفحات ADAS باید به گونه‌ای تعیین شود تا مقاومت برشی قاب خمشی بتنی بیشتر از ۳ برابر قاب اصلی بتنی بدون تقویت گردد. همچنین نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که میراگرهای تسلیمی نه تنها باعث افزایش مقاومت برشی قاب خمشی بتنی شده بلکه باعث افزایش شکل‌پذیری آن نیز می‌شود و اثر میراگر ADAS در قاب خمشی برشی بهتر از TADAS است و در هر دو مورد، کاهش در نمودار دیفرانسیل به میزان قابل توجهی دیده می‌شود. [۲۰]



شکل ۲-۱۰- تقویت داخل قاب خمشی بتنی توسط میراگرهای تسلیمی. [۲۰]

در تحقیقات تقریباً مشابهی توسط A. Formisano و همکاران در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ در خصوص استفاده از پنل‌های فولادی در سازه‌های قاب خمشی بتنی با بازشو و بدون بازشو بررسی‌هایی انجام داده است، نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند مؤثر باشد و ساختار ارتقاء یافته عملکردهای لرزه‌ای مؤید اثربخشی استفاده از پنل‌های فولادی می‌باشد. همچنین با بررسی عددی پنل فولادی در قاب خمشی بتنی این اثربخشی با موارد آزمایشگاهی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. آرایش پیکربندی پانل فولادی با توجه به یک روش تحلیلی ساده و سپس با اتخاذ یک مدل پیشرفته FEM [۱] بررسی می‌شود.

در نهایت، پس از تجزیه و تحلیل عددی جهانی از کل سیستم، آزمون کامل در مورد ساختار ارتقا یافته انجام شده است، تأیید اثربخشی تصویب می شود (شکل ۲-۱۱). [۲۱]



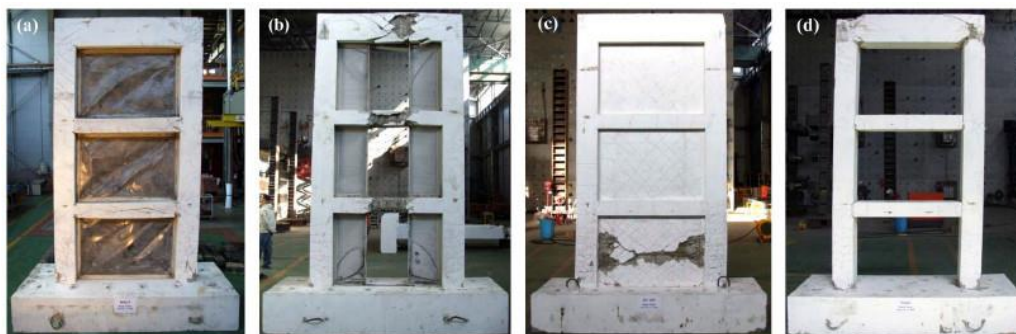
شکل ۲-۱۱- استفاده از دیوار برشی فولادی جهت تقویت لرزه ای قاب خمشی بتنی. [۲۱]

در مطالعاتی که Choi و Park در سال ۲۰۰۹ انجام داده اند، عملکرد ساختاری اتصالات جزئی ورق های فولادی به دیوارهای بتنی را بررسی کردند نتایج نشان داد دیوارهای صفحه فولادی با اتصالات صفحات نازک، دارای قابلیت انعطاف پذیری و ظرفیت تخریب انرژی و همچنین قدرت بالا هستند. [۱۷]

پینچیرا و جیرسا رویکردهای تطبیق پذیری از قبیل اتصالات پس از تنش، اتصالات فولادی و دیوارهای بتنی تقویت شده را مقایسه کردند. نتایج نشان می دهد روش های مختلفی می تواند مورد استفاده قرار گیرد تا ساختار بتواند عملکرد مناسب را نشان دهد. Masi و Goel در سال ۲۰۱۱ نیز با استفاده از صفحات فلزی بروی قاب های بتنی که مقاوم سازی شده بود مجدداً مقاوم سازی انجام دادند و نتیجه گرفتند رفتار فریم نسبت به حالت اول بهتر و مقاوم تر شده است. [۱۷]

در تحقیقات آزمایشگاهی توسط In-Rak Choi و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مقاله ای تحت عنوان "آزمایش چرخه ای در قاب خمشی بتن مسلح همراه با ورق پرکننده فولادی" به بررسی عملکرد لرزه ای قاب خمشی بتنی همراه با ورق پرکننده فولادی می پردازد. طبق این بررسی که در حالت های مختلف: قاب خمشی بتنی لخت، قاب خمشی بتنی با بازشو، قاب خمشی بتنی همراه با دیوار برشی بتنی و قاب خمشی بتنی همراه با

ورق پرکننده انجام می‌گیرد (شکل ۲-۱۲)، ظرفیت تغییر شکل نمونه‌های قاب خمشی بتنی همراه با ورق پرکننده فولادی به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از نمونه‌های نمونه قاب خمشی بتنی همراه با دیوار برشی بتنی است، هرچند نمونه‌ها یک ظرفیت باربری مشابهی را نشان می‌دهند. در حالت مقایسه دیوارهای برشی فولادی با المان مرزی قاب فولادی و نمونه‌های قاب خمشی بتنی همراه با ورق پرکننده فولادی، نشان می‌دهد که قاب خمشی بتنی با ورق پرکننده مقاومت جانبی، ظرفیت تغییر شکل‌پذیری و ظرفیت انهدام انرژی بسیار بالایی را نشان از خود نشان می‌دهد. علاوه بر این، با استفاده از ورق‌های فولادی، ترک‌خوردگی برشی و شکست اتصالات بین تیر و ستون جلوگیری می‌شود. [۲۲]



شکل ۲-۱۲- تحقیقات آزمایشگاهی **In-Rak Choi** و همکاران بر روی قاب خمشی بتنی. [۲۲]

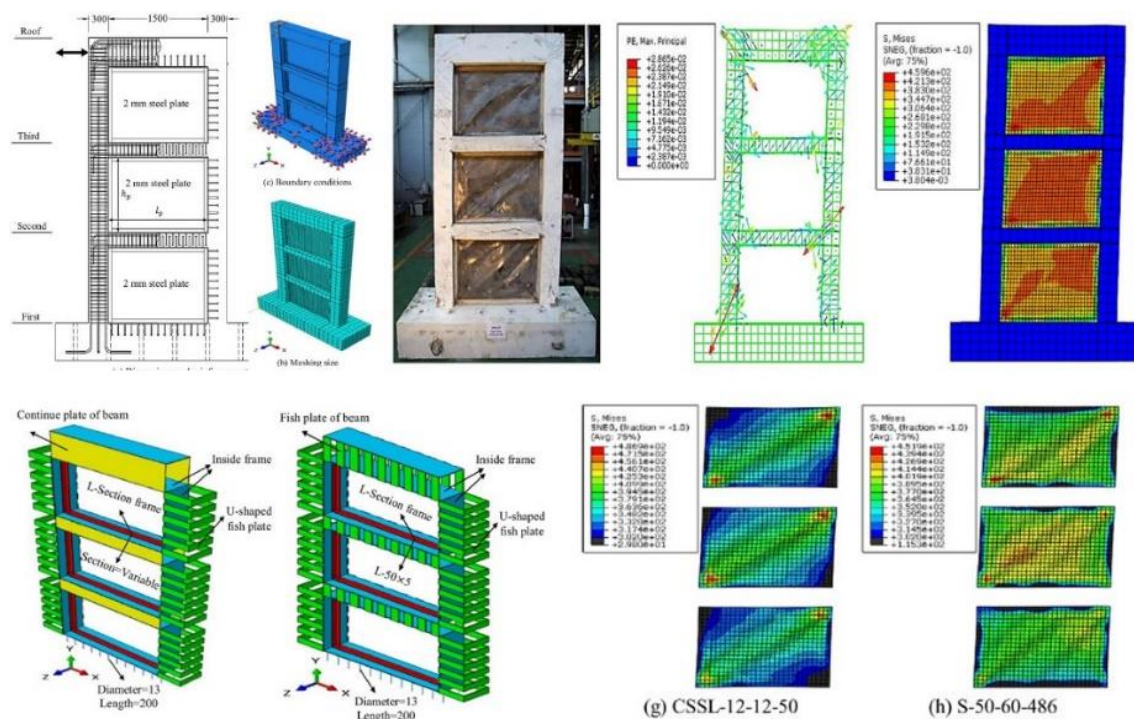
در تحقیقاتی توسط Emre Akın و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مقاله‌ای تحت عنوان "توان بخشی قاب خمشی بتنی همراه با مصالح بنایی و ورق فولادی نازک" یک قاب بتنی را که توسط مصالح بنایی در دو حالت با بازشو و بدون بازشو است را با ورق‌های فولادی نازک پوشش و تقویت کرده است و اثرات تقویت قبل و بعد از اضافه کردن ورق نازک فولادی در هر دو حالت را بررسی کرده است (شکل ۲-۱۳). نتایج نشان داد که با تقویت ورق فولادی پاسخ جانبی قاب بهبود قابل‌توجهی پیدا کرده و ظرفیت بار جانبی و تخلیه انرژی به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. با این حال، می‌توان از تقویت ستون محل برشی موضعی استفاده

کرد به علت اینکه تقاضای برشی در ستون‌ها به علت نیروهای میدان تنش دیوار برشی صفحات فولادی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. [۲۳]



شکل ۲-۱۳- تحقیقات آزمایشگاهی Emre Akan و همکاران بر روی قاب خمشی بتنی . [۲۳]

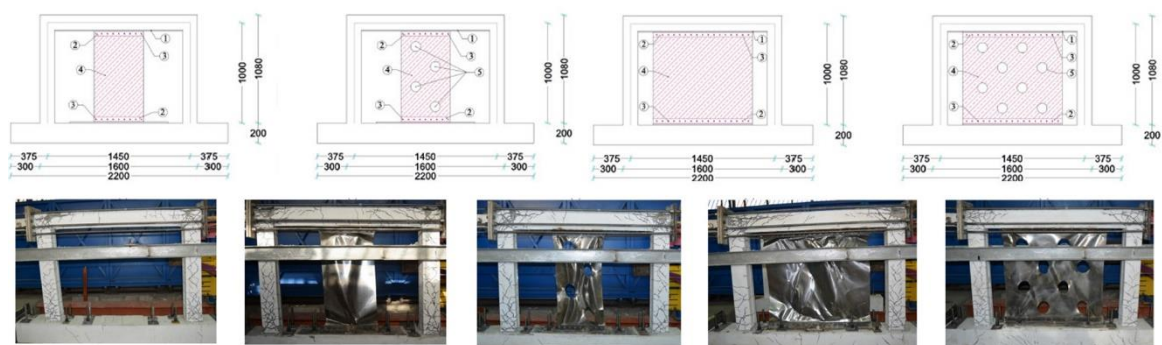
در پژوهشی توسط خانم Maryam Bypour و همکاران در سال ۲۰۱۹ در مقاله‌ای تحت عنوان " تجزیه و تحلیل غیرخطی جهت بررسی تأثیر نوع اتصال بر رفتار دیوار برشی فولادی در قاب خمشی بتن مسلح" با صحت سنجی کار آزمایشگاهی In-Rak Choi (۲۰۱۱) ، سعی در ارائه مدلی از قاب خمشی بتن مسلح با ورق پرکننده فولادی و اتصالات کمربندی فولادی به ستون بتنی دارد که با انجام تحلیل عددی و مقایسه نتایج با یکدیگر بررسی‌هایی در این خصوص انجام داده است. نتایج نمونه‌های مختلف انواع اتصالات، نشان می‌دهد که استفاده از دیوار برشی فولادی در قاب خمشی بتن مسلح با اتصالات مناسب می‌تواند قابلیت شکل‌پذیری عالی و ظرفیت تحمل بار جانبی بالا و همچنین سختی اولیه با توزیع منطقه عملکردی در دیوار برشی فولادی در امتداد ارتفاع دیوار را فراهم کند (شکل ۲-۱۴). [۲۴]



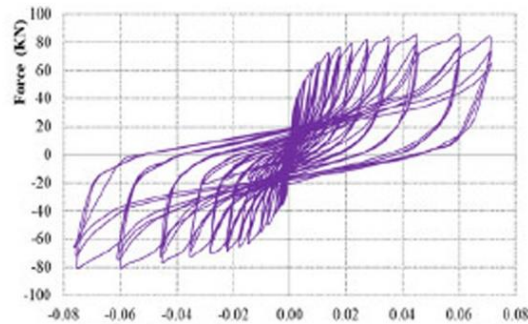
شکل ۲- ۱۴- تصویر مدل عددی تحقیقات خانم **Maryam Bypour** و همکاران در خصوص تقویت لرزه‌ای قاب خمشی بتن مسلح [۲۴].

در تحقیقات بسیار خوبی که توسط Mehrzad TahamouliRoudsari در سال ۲۰۱۹ در مقاله‌ای تحت عنوان "تحقیقات تجربی جهت تقویت قاب‌های مقاوم بتن مسلح با استفاده از صفحات فولادی متصل شده به بخشی از آن‌ها" به بحث و مطالعه در خصوص قاب‌های خمشی بتن مسلحی پرداخته است که توسط انواع مختلفی از ورق‌های پرکننده فولادی در داخل قاب تقویت شده است. مطالعات قبلی نشان داده است که استفاده از دیوارهای برشی فولادی ویژگی‌های لرزه‌ای قاب را بهبود می‌بخشد، اما باعث آسیب جدی به ستون‌ها می‌شود. از آنجاکه ستون‌ها، وظیفه حمل بارهای عمودی را دارند، آسیب در ستون‌ها می‌تواند سازه را در شرایط خطرناک قرار دهد. برای حل این مشکل، یک روش ساده این است که صفحه فولادی پرکننده به ستون‌ها متصل نشوند. بنابراین، هدف این تحقیقات ارزیابی پارامترهای فولادی متصل شده به قاب بتن مسلح و ارزیابی لرزه‌ای آن‌ها می‌باشد. بنابراین قاب به صورت عمودی به شاسی بسیار قوی در لبه متصل

می‌شود. در اکثر نمونه‌ها، پس از بارگذاری سیکلی، تخریب در نمودار هیستریزیس مشاهده می‌شود. بعد از اتمام آزمایش‌ها نتایج آزمون، شیوه شکست، گسترش ترک و مراحل ترک‌خوردگی در چرخه‌های مختلف نمونه‌ها ثبت گردید. اولین ترک‌ها به ترتیب در ستون و در پایه ستون ظاهر شد و در طی بارگذاری ترک‌ها، به‌خصوص آن‌هایی که در ستون گسترش یافته‌اند، عمیق‌تر شد که پس‌از آن بارگیری متوقف شد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که قابلیت مقاومت جانبی و استهلاک انرژی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. با این حال، به علت شدت خسارت ناشی از بارگذاری در ستون‌ها، تقویت قاب بتنی در اغلب موارد موردنیاز است. وقتی کمانش رخ می‌دهد، فاصله بین بال بالایی و پایینی از قوطی فلزی بیشتر می‌شود تا کمتر شود. بتن متمایل به جداسازی کمانش محلی از یک منطقه بزرگ را دارد و کرنش‌های شدید متمرکز را کم می‌کند که باعث ترک‌خوردگی می‌شود. البته در کشش، فقط صفحه فولادی به‌طور مؤثر در برابر نیروی محوری مقاومت می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از صفحات فولادی متصل شده به قاب الگوی ترک‌خوردگی قاب تقویت‌شده تقریباً شبیه به قاب اولیه عمل می‌کند. علاوه بر این ورق فولادی سوراخ شده فولاد نه تنها سختی و قدرت جانبی قاب را افزایش می‌دهد، بلکه باعث افزایش فاکتور کاهش مقاومت تا ۳۵٪ می‌شوند (شکل ۲- ۱۵ و شکل ۲-۱۶). [۲۰]



شکل ۲- ۱۵- نتایج آزمایش بارگذاری لرزه‌ای بر روی قاب خمشی بتن مسلح. [۲۰]



شکل ۲-۱۶- بارگذاری لرزه‌ای بر روی قاب خمشی بتن مسلح همراه با ورق پرکننده. [۲۰]

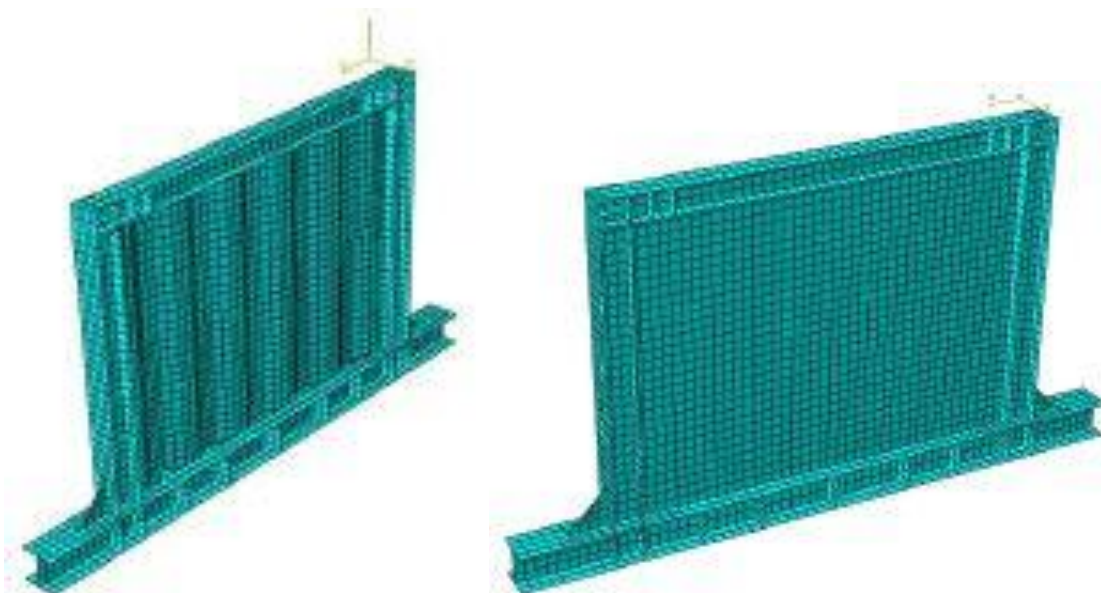
در تحقیقات آزمایشگاهی توسط فرشته امامی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله ای تحت عنوان " بررسی تجربی رفتار دیوار برشی فولادی موجدار با زاویه های مختلف ورق دوزنقه ای " به بررسی رفتار دیوار برشی فولادی با ورق های صاف بدون سخت کننده و دیوار برشی فولادی با ورق موجدار پرداختند و نمونه ها را در مقیاس $\frac{1}{4}$ و در قاب یک طبقه و یک دهانه ساخته و تحت بارگذاری چرخه ای قرار دادند. مشاهدات آزمایش نشان می دهد که با افزایش زاویه موج، تمرکز تنش در گوشه زیر پانل ها افزایش یافته است همچنین مشخص گردید توسعه میدان کششی، تسلیم و آسیب دیواره بستگی به هندسه صفحه دارد. ضمناً با افزایش زاویه رانش جانبی، سختی و اتلاف انرژی کاهش یافته و مقاومت جانبی زیادی را از دست می دهد. مقایسه نتایج عددی و تجربی نشان می دهد که برای نگاه دقیق تر به رفتار دیوار برشی فولادی دوزنقه‌ای، مکانیزم شکست، خستگی و میرایی نمونه ها باید با تحلیل عددی در نظر گرفته شود. [۲۷] (شکل ۲-۱۷)



شکل ۲- ۱۷- نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی فولادی با ورق موجدار [۲۷].

در مطالعاتی که توسط امید کلانتری در سال ۱۳۹۶ تحت عنوان "بررسی عملکرد سیستم نوین دیوار برشی فولادی موجدار تقویت شده با ورق فولادی" به بررسی رفتار و عملکرد دیوارهای برشی فولادی در حالت های سخت نشده، موجدار افقی، موجدار عمودی، تقویتی با ورق موجدار افقی و تقویتی با ورق موجدار عمودی به صورت دقیق پرداختند. کلانتری نمونه ها را برای قاب سه طبقه و یک دهانه و در مقیاس واقعی مدلسازی و تحت بارگذاری ثقلی و لرزه ای قرار داده و نمونه ها برای نسبت طول دهانه به ارتفاع طبقه در حالت های مختلف و ضخامت های مختلف مورد بررسی قرار داد. یافته های این مطالعه نشان می دهد که

دیوار برشی تقویتی در طول بارگذاری، رفتار پایدار و مناسبی از خود نشان داده و توانسته است ضعف های مربوط به عملکرد لرزه ای دیوارهای سخت نشده و موجدار را به خوبی بهبود بخشد. همچنین نتایج نشان داد که در دیوارهای برشی فولادی موجدار و تقویتی برای نسبت های L/h کوچکتر از ۱ استفاده از ورق های موجدار افقی مناسب تر و برای نسبت های L/h بزرگتر از ۱ استفاده از ورق موجدار قائم نتایج بهتری را به دنبال خواهد داشت. [۲۸] (شکل ۲-۱۸)



شکل ۲-۱۸- نمونه های عددی ورق صاف و موجدار استفاده شده در قاب فولادی. [۲۸]

فصل سوم

روش تحقیق و صحت سنجی

۳-۱- مقدمه

مطالعه رفتار سازه‌ها با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله تجربی و نظری امکان‌پذیر است. قبل از پیشرفت علم و دانش بشری به صورت کنونی، بهترین روشی که برای بررسی یک پدیده و پی بردن به مکانیسم‌ها و نحوه انجام آن‌ها می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد، آزمایش و تجربه بوده است. حاصل این آزمایش‌ها، حصول روابط و معیارهای ریاضی یا تجربی بوده است تا راه گشای نیازهای کاربردی بشر باشد.

مدل‌سازی و تحلیل لرزه‌ای سازه‌ها به عنوان یک پیشرفت بزرگ در طی دهه‌های اخیر محسوب می‌شود که به طور مستقیم مرتبط با توسعه سریع در محاسبات عددی^۱ و توسعه تکنولوژی کامپیوتر است. روش المان‌های محدود در اواسط دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۷۰ میلادی زمانی که نخستین متون درباره دینامیک سازه‌ها و مهندسی زلزله نوشته شد، توسعه یافته است و به همراه آن هردو تحلیل استاتیکی و دینامیکی سیستم‌های سازه‌ای میسر گردید. با بهبود تکنولوژی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در زمینه استفاده از کامپیوتر در طی مدت زمان کوتاهی، محدودیت‌های ناشی از محاسبات دستی و استراتژی حل تکراری در زمینه کارهای محاسباتی حجیم و پیچیده از بین رفت و امکان مدل کردن کامل سیستم سازه‌ای و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی^۲ با استفاده از وارد کردن داده‌های مربوط به حرکات زمین در امتداد سازه و با در نظر گرفتن هردو اثرات غیرخطی هندسی^۳ و مصالح به وجود آمد.

در روش المان‌های محدود، مسائل فیزیکی به کمک معادلات دیفرانسیل^۴ و یا به کمک مینیمم کردن انرژی پتانسیل^۵ حل می‌شوند. کل مدل هندسی به اجزای کوچکتری تقسیم می‌شود که المان نام دارد و هر المان

^۱ Numerical calculations

^۲ Dynamic time history analysis

^۳ Geometric nonlinear

^۴ Differential equations

^۵ Potential energy

دارای گره‌هایی می‌باشد که می‌توان برای آنها مقادیر ورودی و خروجی در نظر گرفت. با اعمال شرایط مرزی و نیرویی، برای تک‌تک اجزای و در نهایت کل سازه ماتریس سختی تشکیل می‌شود که از طریق روابط ریاضی می‌توان مجهولات مسئله را به دست آورد.

مزایای این روش در مقایسه با انجام آزمایش‌ها که صرف وقت و هزینه زیادی را همراه می‌باشد، دسترسی به مجهولات بیشتر از جمله چگونگی گسترش تنش‌ها و تغییر شکل‌ها می‌باشد. این امر باعث می‌شود نسبت به رفتار سازه در شرایط و گام‌های مختلف بارگذاری دید بهتری داشته باشیم.

۳-۲- روش تحقیق و حجم نمونه

ابتدایی‌ترین و ساده‌ترین بخش در هر مدل‌سازی، فراگیری نرم افزار مربوطه می‌باشد و نکته حائز اهمیت رسیدن به جواب‌های درست در تحلیل نمونه‌ها است. برای رسیدن به چنین هدفی باید از نمونه‌های آزمایشگاهی انجام شده در این زمینه جهت استفاده در نرم افزار المان محدود ABAQUS [۱] و بررسی و مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج نرم افزار می‌باشد. این مدل‌سازی مقدماتی به منظور آشنایی با نکات خاص مربوط به آنالیز استاتیکی غیرخطی انجام شده است و با روش‌های تئوریک تحلیل گردیده و سپس با مدل‌سازی و تحلیل آن در نرم افزار، نتایج حل غیرخطی آن به‌طور کامل بررسی شود. در انتهای همین بخش، نتایج صحت سنجی تحلیل غیرخطی انواع مختلفی از قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک را که توسط اینراک چویی و همکاران در کره جنوبی در سال ۲۰۱۱ [۲۲] تحت بارگذاری استاتیکی و چرخه‌ای آزمایش شده است، ارائه خواهد شد. در انجام مطالعات این فصل در هر قسمت با نکات خاصی روبرو خواهیم بود که ارائه مجموعه کاملی از این نکات را می‌توان مفیدترین مطلب این فصل دانست. به همین علت ابتدا به اهمیت ارائه مطالب در این فصل اشاره شده و سپس روند مدل‌سازی نمونه در مدل‌سازی‌ها ارائه خواهد گردید.

۳-۳- مروری بر مبانی پلاستیسیته ی به کاررفته در این مدل سازی

با توجه به این که مدل سازی این پروژه بر اساس رفتار غیرخطی مصالح استوار است، مرور کوتاهی بر مبانی پلاستیسیته که در این مدل سازی به کاررفته است، ضروری خواهد بود.

۳-۳-۱- معیارهای تسلیم

در پلاستیسیته ی ۳ بعدی، رسیدن تنش یک ماده به مقدار معین حدی (مثل تنش جاری شدن فولاد) مبنی بر شکست ماده نخواهد بود. درواقع ترکیبی خاص از عناصر تانسور تنش است که وقوع شکست را در ماده معین می کند. (رابطه ۱-۳)

$$F(\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{23}) = K \quad (1-3)$$

معیارهای مشخص کننده ی این شکست، معیارهای تسلیم^۱ نام دارند. در این نرم افزار، معیار شکست فون-مایسز^۲ برای تعریف سطوح شکست مصالح نرم مانند فولاد و از معیار دراکر-پراگر برای تعریف سطوح شکست مصالح ترد استفاده می شود. با توجه به ایزوتروپیک^۴ بودن مصالح، می توان رابطه ۱-۳ را برحسب تنش های اصلی^۳ به صورت رابطه ۲-۳ نوشت:

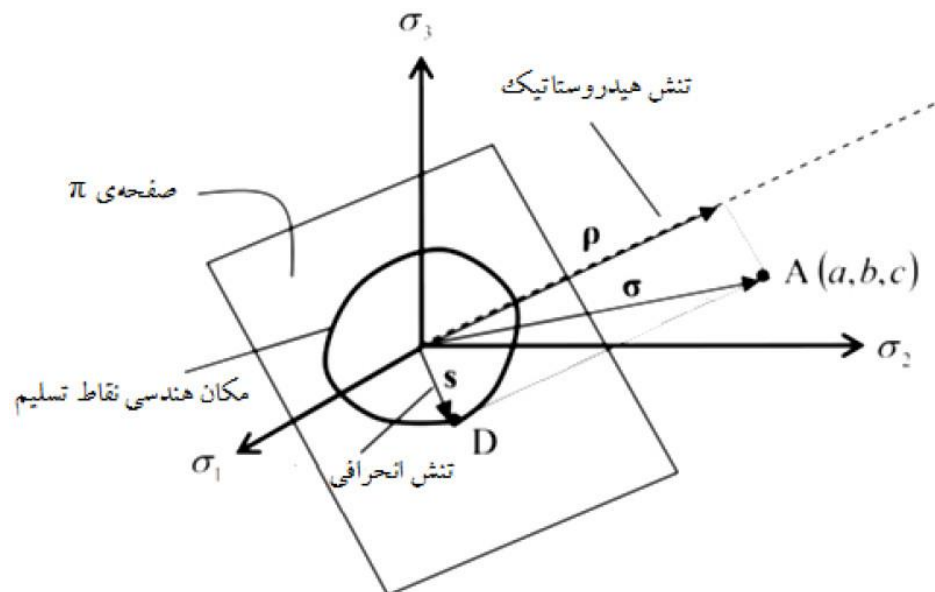
$$F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = K \quad (2-3)$$

شمای کلی تنش ها در محورهای اصلی و صفحه π در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.

^۱ Yield Criteria

^۲ Von-Mises

^۳ Isotropic



شکل ۳-۱- شمای کلی تنش‌ها در محورهای اصلی و صفحه π .

تئوری حداکثر تنش نرمال صرفاً برای مواد شکننده و سه مورد دیگر برای مواد شکل پذیر به کار می‌روند. تئوری حداکثر انرژی تغییر شکل در اکثر مواقع نتایج دقیق‌تری را فراهم می‌کند. به‌منظور استفاده از تئوری حداکثر انرژی کرنشی به ضریب پواسون قطعه مورد بررسی نیاز است که معمولاً مقدار آن به‌سادگی تعیین نمی‌شود. تئوری حداکثر تنش برشی، یک رویکرد محافظه‌کارانه است. در مسائل ساده با تنش‌های نرمال هم‌جهت، کارایی تمام تئوری‌های معرفی شده یکسان است. به عبارت دیگر، در این شرایط، تمام تئوری‌ها خروجی یکسانی را ارائه خواهند کرد.

۳-۱-۳- معیار فون-مایسز

تنش فون مایسز به‌طور گسترده‌ای توسط مهندسين طراح، عموماً برای بررسی اینکه آیا مدل با شرایط بار ارائه‌شده قابل تحمل است یا نه؟ استفاده می‌شود. تئوری حداکثر انرژی اعوجاج توسط ریچارد فون مایسز در سال ۱۹۱۳، ارائه شده است و با عنوان معیار تسلیم فون مایسز^۱ نیز شناخته می‌شود. فون مایسز اثبات کرد

^۱ von Mises yield criterion

که تنش برشی هشت وجهی دلیل اصلی تسلیم مواد است؛ بنابراین برای بررسی اینکه المان‌هایی که تحت تنش‌های ترکیبی نرمال و برشی قرار دارند به نقطه تسلیم رسیده یا خیر می‌توان با استفاده از معیار تنش فون مایسز بررسی کرد.

در مورد المان‌هایی که تحت تنش‌های ترکیبی نرمال و برشی قرار دارند می‌توان با استفاده از معیار تنش فون مایسز بررسی کرد که آیا جسم به نقطه تسلیم رسیده یا نه. در المان مورد نظر تنش‌های اصلی بر اساس دایره موهر محاسبه می‌شود. اگر این تنش‌های اصلی در رابطه کنترلی فون مایسز قرار داده شود و اگر مقدار تنش فون مایسز به دست آمده، از مقدار تنش تسلیم ماده کمتر بود یعنی شکست رخ نمی‌دهد ولی اگر این تنش از تنش تسلیم ماده بیشتر بود، مفهومش رسیدن المان به نقطه تسلیم است. در نرم افزارهای المان محدود هم در تحلیل‌های تنش معمولاً برای قضاوت در مورد تنش‌های وارده بر ماده از تنش فون مایسز استفاده می‌شود و این مقدار با تنش تسلیم ماده مقایسه می‌شود.

این تئوری که با عنوان «تئوری فون مایسز-هنکی»^۱ نیز شناخته می‌شود و بر اساس آن، شکست هنگامی رخ می‌دهد که انرژی تغییر شکل بر واحد حجم در هنگام اعمال تنش با انرژی تغییر شکل بر واحد حجم در نقطه تسلیم به دست آمده از آزمایش تک محوری برابر باشد. انرژی الاستیک ناشی از کرنش را می‌توان به دو بخش عامل تغییر در حجم و عامل تغییر در شکل تقسیم کرد. انرژی تغییر شکل، مقدار انرژی مورد نیاز برای تغییر دادن شکل ماده است.

بر اساس این تئوری، انرژی کرنشی را می‌توان به دو مؤلفه انرژی کرنش حجمی (هیدرو استاتیک) و انرژی کرنش شکل‌دهی (اعوجاج یا برش) تقسیم کرد. در این معیار، تسلیم هنگامی رخ می‌دهد که در آزمایش کشش ساده، مقدار مؤلفه اعوجاج بیشتر از نقطه تسلیم شود. بر اساس یک مبنای نظری متفاوت، به این

^۱ von Mises-Hencky Theory

تعریف «تئوری تنش برشی هشت وجهی» نیز گفته می شود. در المان مورد نظر تنش های اصلی بر اساس دایره موهر محاسبه می شود. اگر این تنش های اصلی را در رابطه کنترلی فون مایسز قرار گیرد، اگر مقدار تنش فون مایسز به دست آمده، از مقدار تنش تسلیم ماده کمتر بود یعنی شکست رخ نمی دهد ولی اگر این تنش از تنش تسلیم ماده بیشتر بود، مفهومی رسیدن المان به نقطه تسلیم است.

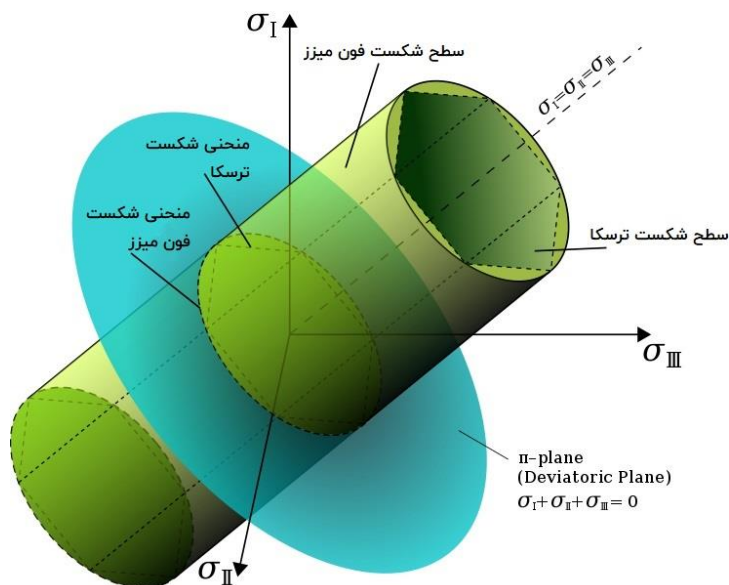
آزمایش هایی که روی مصالح نرمه انجام شده حاکی از این موضوع است که جسمی که تحت فشار هیدرواستاتیک است، در تنشی بیشتر از تنش جاری شدن همان ماده در شرایط کشش یا فشار، بدون حضور فشار هیدرواستاتیک، جاری می شود. با رسیدن تنش J_2 به یک میزان بحرانی ($J_2 = k^2$) جسم دچار تغییر شکل پلاستیک خواهد شد. (مطابق با رابطه ی ۳-۳)

$$\left(\sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2}} = K \right) \quad (3-3)$$

در حالت تک محوری ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$) سیستم با رسیدن تنش به σ_y جاری می شود، (رابطه ۴-۳) بنابراین:

$$K = \frac{\sigma_y}{\sqrt{3}} \quad (4-3)$$

بنابراین سطح تسلیم مکان هندسی نقاطی است که روی سطح استوانه ی به شعاع $\sqrt{\frac{2}{3}} \sigma_y$ قرار دارند (راستای استوانه در راستای بردار صفحه ی π است که به آن محور هیدرواستاتیک می گویند.) (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- سطح تسلیم فون - مایسز.

این معیار بر پایه انرژی است. طبق این معیار اگر انرژی اعوجاجی ایجاد شده در قطعه به مقداری برابر با انرژی اعوجاجی نمونه کششی حین تسلیم برسد، قطعه مورد بررسی هم تسلیم خواهد شد. رابطه نهایی‌ای که برای معیار انرژی اعوجاجی وجود دارد به صورت زیر می‌باشد. به طور کلی تنش فون مایسز از رابطه ۳-۵ به دست می‌آید:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2] + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2)} \quad (3-5)$$

به این معیار تئوری تنش برشی اکتاهدرال هم گفته می‌شود. ناحیه امن این معیار که به شکل یک بیضی است که معیار ترسکا به نسبت فون مایسز محافظه کارانه تر است.

۳-۴- مراحل مدل سازی با نرم افزار اجزاء محدود

۳-۴-۱- مقدمه

در بررسی رفتار سازه ها از طریق مدل سازی های آزمایشگاهی می تواند هزینه زیادی را دربر داشته باشد یا نیاز به امکانات خاصی باشد. نرم افزار قدرتمند المان محدود می تواند جایگزین مناسبی برای تحلیل بخشی از سازه ها در مقایسه با مدل آزمایشگاهی باشد. البته استفاده صحیح از این ابزار نیازمند شناخت از نحوه عملکرد نرم افزارها در حل مسائل، تئوری ها و فرضیات حاکم بر آنهاست. عدم اطلاع از نحوه صحیح مدل سازی در نرم افزارهای المان محدود منجر به نتایج غیرقابل اطمینان و گمراه کننده می شود. در این فصل به طور خلاصه به معرفی نحوه مدل سازی و فرضیات موجود در نرم افزار ABAQUS پرداخته می شود و مدل مرجع برای تحلیل های بعدی طرح و معرفی می گردد.

۳-۴-۲- معرفی نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS

نرم افزار ABAQUS در سال ۱۹۷۸ توسط شرکت ABAQUS، یکی از شرکت های فعال در عرصه نرم افزارهای المان محدود تولید شد. این شرکت در سال ۲۰۰۵ توسط شرکت Dassault Systems خریداری و با آن ادغام شد و به شرکت SIMULIA تغییر نام داد. از آن پس محصولات این شرکت شامل نرم افزارهای ABAQUS و CATIA با نام تجاری SIMULIA عرضه می شود. نرم افزار ABAQUS یکی از نرم افزارهای قدرتمند المان محدود است که توانایی شبیه سازی مصالح مختلف همچون فولاد، بتن، خاک و غیره را دارا می باشد. در این تحقیق برای مدل سازی از ABAQUS/CAE استفاده شده است.

۳-۴-۳- تحلیل غیر خطی توسط نرم افزار ABAQUS

در تحلیل استاتیکی غیر خطی ضمنی^۱ در این نرم افزار دو روش تحلیل Static و Static Riks Procedure قابل استفاده است. در روش اول از الگوریتم همگرایی نیوتن-رافسون استفاده می شود. در الگوریتم همگرایی^۲ نیوتن-رافسون هر گام از بارگذاری به چند نمو تقسیم می شود. طول این نموها را می توان در هر گام از بارگذاری تعیین کرد ولی بهتر است به صورت اتوماتیک توسط نرم افزار تعیین شود که از واگرایی جلوگیری نموده و سرعت حل مسئله بهتر شود. در الگوریتم نیوتن-رافسون در هر نمو از بارگذاری سختی مماسی^۳ سیستم محاسبه شده و با استفاده از سختی مماسی جابجایی سیستم به دست آمده و در معادله تعادل سیستم قرار داده می شود. در صورت برقرار نشدن تعادل در معادلات تعادل، بار خارج از تعادل^۴ به دست می آید. در تکرار^۵ بعدی مجدداً سختی مماسی سیستم در جابجایی به دست آمده، محاسبه شده و مشابه تکرار قبل بار خارج از تعادل به دست می آید. تکرارها تا جایی ادامه پیدا می کند که معادلات تعادل با دقت مناسب ارضا شده و همگرایی مورد نیاز در حل به وجود آمده باشد. در روش نیوتن-رافسون اصلاح شده برای کاهش زمان محاسبات در تمام تکرارها در یک نمو، از سختی مماسی محاسبه شده در تکرار اول استفاده می شود. چنانچه همگرایی لازم در طی تعداد تکرارهای مشخص حاصل نشود، نرم افزار سعی خواهد کرد با نمو بار کوچک تر مسئله را تحلیل نماید.

^۱ Implied

^۲ Convergence algorithm

^۳ Tangential stiffness

^۴ Out of Balance Load

^۵ Iteration

در روش تحلیل استاتیکی ریکس از الگوریتم همگرایی طول قوس^۱ استفاده می‌شود. در حل بعضی از مسائل، به دلیل تغییرات موضعی در سختی مماسی یا منفی شدن سختی سیستم باعث ایجاد مشکلات زیادی در همگرایی روش حل نیوتن-رافسون می‌شود. این چنین مواردی معمولاً شامل تحلیل‌های غیرخطی کمانش می‌باشند که در آن‌ها سازه غالباً به‌طور کامل تخریب می‌گردد و یا ممکن است به یک مرحله دیگر از پایداری برسد. در بعضی مسائل نیز مانند پرش در سختی^۲ ممکن است سختی سازه منفی شود و دوباره سختی مجدد پیدا کند. در این گونه موارد می‌توان از الگوی تکرار روش طول قوس استفاده کرد، که کمک می‌نماید حل مسئله انجام پذیرد. استفاده از روش طول قوس باعث می‌شود تکرارهای تعادلی در طی یک کمان به همگرایی برسند، بر این اساس حتی در صورتی که شیب نمودار بار-تغییر مکان معادل صفر یا منفی گردد، از واگرایی ممانعت می‌شود.

این نوع تحلیل استاتیکی معمولاً به‌صورت زیر بکار می‌رود: جهت پیش‌بینی خرابی غیرخطی ناپایدار سازه استفاده می‌شود. شامل غیرخطی شدن مصالح و شرایط مرزی است. به علت اینکه از خرابی سازه اطلاعاتی به دست می‌دهد، معمولاً به همراه تحلیل کمانش است. می‌تواند برای مسائلی که شرایط بدی از جهت ناپایداری دارند، مورد استفاده قرار گیرد. در حالت‌های ساده، تحلیل مقادیر ویژه برای ارزیابی طراحی کافی می‌باشد. اما اگر نگرانی درباره غیرخطی شدن مصالح، غیرخطی شدن هندسی (تغییر شکل‌های بزرگ) قبل از کمانش یا پاسخ غیر پایدار پس کمانشی وجود داشته باشد، می‌بایست تحلیل ریسک برای بررسی بیشتر مسئله انجام گیرد.

تحلیل ریسک از مقدار بار به‌عنوان یک مقدار مجهول استفاده می‌کند و به‌طور هم‌زمان برای بارها و تغییر مکان‌ها مسئله را حل می‌نماید. بنابراین کمیت دیگری برای اندازه‌گیری پیشرفت مسئله نیاز است. آباکوس

^۱ Arc Length

^۲ Snap-through

استاندارد از طول قوس در مسیر معادله استاتیکی در محدوده بار تغییر مکان استفاده می‌کند. این رویکرد بدون توجه به پایداری و یا ناپایداری، پاسخ را ارائه می‌دهد. چنانچه قبل از این آنالیز تحلیل دیگری انجام شده باشد، بار اعمال شده از تحلیل قبلی در این تحلیل به صورت بار مرده و با مقدار ثابت در طول تحلیل اعمال می‌گردد. باری که مقدار آن در این نوع تحلیل تعریف شود، به عنوان بار مبنا^۱ محسوب می‌گردد. همه بارهای تعیین شده از مقدار اولیه به مقدار مشخص شده بالابرده می‌شوند تا به مقدار مبنا برسند. از آنجایی که مقدار بار بخشی از حل مسئله است، هنگامی که مراحل تحلیل مذکور به اتمام رسید کاربر نیاز به روشی دارد که آن را مشخص نماید. با انتخاب یک مقدار حداکثر برای ضریب تناسب بار یا یک مقدار حداکثر تغییر مکان در یک درجه آزادی مشخص می‌توان این کار را انجام داد. اگر مقدار مشخص شده نادرست باشد، تحلیل خاتمه پیدا می‌کند. چنانچه هیچ کدام از این وقایع رخ ندهد تحلیل برای نمونه‌های مشخص شده در هنگام تعریف ادامه پیدا می‌کند. همان طور که گفته شد، برای حل مسائل ناپایدار باید از معادله استاتیکی غیرخطی استفاده نمود که شکل پاسخ بار-تغییر مکان در زمان پاسخ، طوری است که پاسخ بار و یا تغییر مکان در هنگام نمو حل کاهش می‌یابد. روش اصلاح شده ریکس، الگوریتمی است که اجازه حل این حالات را می‌دهد. فرض بارگذاری به صورت تناسبی وارد شود که در آن اندازه همه بارها با یک کمیت پارامتریک منفرد شدت پیدا می‌کند. همچنین فرض نمایید پاسخ به صورت معقولانه‌ای صاف و هموار است و انشعابی در آن به وجود نمی‌آید. ماهیت روش ریسک آن است که راه حل واحدی برای یافتن یک مسیر واحد در فضا بر اساس تغییر گره‌ها و پارامتر بارگذاری پیدا می‌کند. مبنای این روش بر اساس روش نیوتن است. بنابراین در هر حالتی یک شعاع همگرایی محدود وجود دارد. به علاوه بسیاری از مصالح (و شاید بارگذاری‌ها) دارای پاسخ وابسته به مسیر هستند؛ به همین دلایل باید اندازه نمو را محدود نمود. در الگوریتم استفاده شده در آباکوس، اندازه

^۱ Load base

نمو با جابجا کردن یک فاصله مشخص (که بر اساس استاندارد، وابسته به همگرایی، الگوریتم نمو اتوماتیک برای حالت استاتیکی در آباکوس استاندارد تعیین می‌گردد) در امتداد خط مماس به نقطه حل موجود و سپس جستجوی تعادل در صفحه‌ای که از آن نقطه می‌گذرد، به دست می‌آید؛ که متعامد بر همان خط مماس است. در اینجا هندسه‌ای که به آن ارجاع می‌شود فضای تغییر مکان‌ها، چرخش‌ها و پارامتر باری می‌باشد که ذکر گردید.

این مسئله موجب می‌شود که بررسی تعادل، عمود بر آخرین مماس باشد تا اینکه مماس بر اولین نمو باشد. علت این کار بیشتر به خاطر مسائل مربوط به پلاستیسیته است که در اولین تکرار هر نمو از سختی الاستیک ماده برای تعیین جهت شروع استفاده می‌شود و بنابراین چنانچه پلاستیسیته فعال به وجود آید سختی که نماینده مماس بر مسیر تعادل نیست، به دست می‌دهد. حرکت کلی طول مسیر^۱ با اندازه بار موجود بر اساس انتخاب‌های بار توسط کاربر، ذخیره می‌شود؛ در حالی که تعداد نموها در صورت انتخاب بر اساس اطلاعات نمو زمانی با مساعدت طرح آباکوس استاندارد انجام می‌گیرد.

در این پایان‌نامه از روش تحلیل غیرخطی Static, Riks استفاده شده است. همچنین اثر تغییر شکل‌های بزرگ با فعال نمودن گزینه Nlgeom در نظر گرفته شد. همچنین معیار توقف تحلیل حداکثر تغییر مکان نقطه میانی لبه سقف در نظر گرفته شد که با فعال نمودن گزینه Maximum displacement صورت گرفت و مقدار به میزان ۱۵ میلی‌متر در جهت نیروی دیافراگم در نظر گرفته شد.

۳-۴-۴- رفتار مصالح بتنی در نرم افزار ABAQUS

از ترکیب سنگ‌دانه‌ها و مواد چسباننده بتن تشکیل می‌شود که این ماده در کشش و فشار دارای رفتاری متفاوت است. رفتار بتن در فشار در ابتدا خطی و سپس وارد ناحیه غیرخطی می‌شود. در ناحیه خطی تغییر

^۱ Along the path

شکل دائمی^۱ در مصالح پس از بار برداری باقی نمی ماند ولی در ناحیه غیرخطی مقداری تغییر شکل دائمی در بتن وجود خواهد داشت. گسیختگی کششی بتن در تنشی در حدود ۷ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاری بتن رخ می دهد. این گسیختگی با سرعت زیادی انجام می گیرد و دستگاه های موجود قادر به ترسیم نرم شدگی پس از ترک خوردگی نیستند.

در تنش های چند محوره سطوح گسیختگی^۲ و مقاومت نهایی در فضای تنش تعریف می شوند. پارامترهای اصلی مورد استفاده در این مدل شامل: ویسکوزیته، نمودار تنش - کرنش تک محوره فشاری بتن و نمودار تنش - کرنش تک محوره کششی بتن می باشد که در ادامه به صورت مختصر توضیح داده خواهد شد. برای سایر پارامترهای این مدل مقادیر پیشنهادی خود نرم افزار در نظر گرفته خواهد شد که شامل زاویه اتساع برابر ۳۶ درجه، خروج از مرکزیت برابر ۰,۱, نسبت تنش فشاری حداکثر دو محوره به یک محوره برابر ۱,۶۶ و نسبت ثابت دوم تانسور تنش روی نصف النهار کششی به مقدار همین پارامتر به نصف النهار فشاری برابر ۰,۶۶ در نظر گرفته شده است. حل المان محدود دارای پتانسیل زیادی برای واگرایی زودرس است و دلیل اصلی آن کاهش بسیار شدید سختی پس از ترک خوردگی می باشد و برای حل این مشکل بتن به صورت ماده ویسکوپلاستیک در نظر گرفته می شود و این امر باعث می شود حساسیت نسبت به سطح تسلیم کاهش پیدا کند و برای این منظور مقدار ویسکوزیته بتن بسیار ناچیز برابر ۰,۰۰۲ استفاده شده است، در این تحقیق نمودار تنش - کرنش تک محوره مصالح به صورت تفکیک قسمت الاستیک و پلاستیک به نرم افزار معرفی می شود. در کتابخانه مصالح از پیش تعریف شده نرم افزار ABAQUS سه نوع مدل رفتاری مختلف برای بتن ارائه شده است که در زیر به صورت خلاصه هر سه نوع مدل رفتاری معرفی می شود:

^۱ Permanent deformation

^۲ Disruptive levels

۳-۴-۱- مدل رفتاری بتن ترک‌دار^۱

این مدل رفتاری در ABAQUS برای محل‌هایی که بتن اساساً تحت بارگذاری یک‌طرفه است و رفتار آن به‌صورت ترک کششی و خردشدگی فشاری است، به کار می‌رود. کرنش پلاستیک در فشار توسط سطح تسلیم فشاری کنترل می‌شود. فرض می‌شود که ترک‌خوردگی مهم‌ترین جنبه رفتاری بتن است و ترک‌خوردگی و رفتار غیر ایزوتوپ پس از ترک‌خوردگی بر مدل‌سازی حاکم می‌باشد.

۳-۴-۲- مدل رفتاری ترک‌خوردگی ترد بتن^۲

این مدل رفتاری در ABAQUS برای بتنی که ترک کششی حاکم بر مدل است و گسیختگی فشاری اهمیت چندانی ندارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل غیرایزوتروپیک ناشی از ایجاد ترک‌خوردگی را در نظر می‌گیرد. رفتار مدل در فشار الاستیک فرض می‌شود. یک معیار ساده گسیختگی ترد در این مدل اجازه حذف المان‌ها را از شبکه می‌دهد.

۳-۴-۳- مدل رفتاری بتن آسیب‌دیده خمیری^۳

این مدل رفتاری، در تمام محصولات ABAQUS برای محل‌هایی که بتن تحت بارگذاری‌های متنوع مانند بارگذاری رفت و برگشتی قرار دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مبنای این مدل رفتاری، فرض ضریب خسارت ایزوتروپ می‌باشد. در این تحقیق از این خصوصیت رفتاری برای مصالح بتن استفاده شده است.

^۱ Concrete Smeared Cracking

^۲ Cracking model for concrete

^۳ Concrete Damage Plasticity

۳-۴-۵ - خصوصیات مدل رفتاری بتن آسیب‌دیده خمیری

مدل رفتاری بتن آسیب‌دیده خمیری در کتابخانه مواد از پیش تعریف‌شده نرم‌افزار ABAQUS بر اساس مطالعات لی^۱ و فنوس^۲ در سال ۱۹۹۸ قرار دارد. به‌طور کلی سه دسته پارامتر برای تعریف این مدل مورد نیاز هستند که شامل پارامترهای پلاستیسیته، منحنی تنش-کرنش فشاری و کششی تک‌محوره بتن و پارامترهای آسیب در کشش و فشار، است. در زیر به توضیح در این مورد پرداخته می‌شود.

۳-۴-۵-۱ بررسی پارامترهای پلاستیسیته

این دسته پارامترها شامل تابع جریان پلاستیک^۳، تابع تسلیم^۴ و ویسکوزیته^۵ می‌باشد.

۳-۴-۵-۱-۱ تابع جریان پلاستیک

تابع پتانسیل جریان مورد استفاده تابع هیپربولیک دراکر-پراگر^۶ است. این تابع در فضای فشار هیدرواستاتیک - تنش انحرافی میزس، تعریف می‌شود. سای نیز زاویه اتساع^۷ بوده که زاویه بین تنش انحرافی میزس و فشار هیدرواستاتیک^۸ در تنش محصورشدگی بالا با این زاویه نشان داده می‌شود. این زاویه میزان تغییر حجم بعد از تسلیم را تعیین می‌کند. در حالت کلی مقدار این زاویه تأثیر زیادی بر رفتار نمونه‌های خمشی ندارد، اما رفتار نمونه‌های تحت فشار تا حد زیادی به این پارامتر وابسته است. با استفاده از این پارامتر تا حدودی می‌توان اثر محصورشدگی بتن در فشارهای محصورشدگی معمول را در نظر گرفت.

^۱ Li

^۲ Fenves

^۳ Plastic flow

^۴ Yield Function

^۵ Viscosity

^۶ Drucker-Prager

^۷ Dilatation

^۸ The hydrostatic

توصیه شده است که مقدار این زاویه برای نمونه های خمشی بین ۳۴ تا ۴۸ درجه در نظر گرفته شود در این تحقیق زاویه اتساع برابر با ۴۰ درجه فرض شده است. پارامتر اپسیلون پارامتر خروج از مرکزیت می باشد. تابع جریان پلاستیک در ابتدا محور هیدرواستاتیک را با زاویه ۹۰ درجه قطع می کند و در ادامه شیب آن شروع به کاهش می کند تا به مقدار سای برسد. بنابراین در قسمت اول این تابع به یک منحنی تبدیل خواهد شد. مشتق دوم این منحنی توسط این پارامتر تعیین می شود. بدیهی است که اگر مقدار این پارامتر صفر در نظر گرفته شود، منحنی تبدیل به یک خط خواهد شد. تغییر مقدار این پارامتر اثر چندانی روی پاسخ کلی ندارد ولی اگر بسیار کوچک در نظر گرفته شود، باعث واگرایی در مراحل اولیه تحلیل خواهد شد. در این مطالعه طبق توصیه راهنمای نرم افزار این پارامتر برابر ۰,۱ در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۵-۱-۲ - تنش ترک خوردگی^۱

برای تعیین تنش ترک خوردگی روابط زیادی توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است. در این تحقیق از رابطه پیشنهادی آیین نامه بتن آمریکا استفاده شده است.

۳-۴-۵-۱-۳ - تابع تسلیم

ضابطه تابع تسلیم پیشنهادی لی و فنوس به صورت رابطه ارائه می گردد. سطح تسلیم حاصله شبیه سطح تسلیم ویلیام-وارنک^۲ خواهد بود.

^۱ corrosion crack Stress

^۲ William -warnke

۳-۴-۵-۱-۴ - نسبت تنش فشار حداکثر دومحوره به یک محوره

مقدار این پارامتر بین ۱ تا ۱,۲۷ متغیر است. هرچه این مقدار بیش تر باشد نمونه رفتار سخت تری را از خود نشان خواهد داد. در این تحقیق مقدار این پارامتر مطابق پیشنهاد راهنمای نرم افزار برابر ۱,۱۶ در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۵-۱-۵ - نسبت ثابت دوم تانسور تنش روی نصف النهار کششی به مقدار همین پارامتر روی نصف النهار

فشاری (kC)

مقدار این پارامتر، شکل مقطع عرضی به دایره نزدیک تر خواهد شد شکل ۵-۳ اگر مقدار این پارامتر برابر یک در نظر گرفته شود، شکل مقطع عرضی سطح تسلیم شبیه معیار دراگر-پراگر خواهد شد. برای بتن معمولی این پارامتر بهتر است برابر ۰,۶۶ در نظر گرفته شود.

۳-۴-۵-۱-۶ - پارامتر ویسکوزیته

حل المان محدود با تئوری پلاستیسیته مبتنی بر قسمت قبل دارای پتانسیل زیادی برای واگرایی زودرس است. دلایل زیادی می تواند برای این واگرایی زودرس وجود داشته باشد که مهم ترین آن ها ایجاد ترک های کششی و کاهش شدید سختی ناشی از این ترک ها است، که باعث ایجاد تغییرات زیاد شیب مقطع عرضی سطح تسلیم می شود. برای حل این مشکل دووات^۱ و لیونز^۲ پیشنهاد کردند. بتن به صورت یک ماده ویسکوپلاستیک در نظر گرفته شود. در نظر گرفتن بتن به صورت ماده ویسکوپلاستیک^۳ باعث می شود که یک زمان آرامش در به دست آوردن معادلات در هر مرحله وجود داشته باشد که حساسیت حل نسبت به سطح تسلیم را کاهش می دهد. زمان آرامش از طریق اعمال ویسکوزیته در مسئله به وجود می آید که

^۱ Duvaut

^۲ Lions

^۳ Viscoplastic

در نتیجه مشکلات همگرایی را تا حدی بهبود می‌دهد. این زمان آرامش باید به حدی کوچک باشد که بر پاسخ کلی سازه تأثیر زیادی نگذاشته و اثرات آن قابل صرف نظر کردن باشد. در این تحقیق مقدار این پارامتر ۰,۰۱ در نظر گرفته شده است.

۳-۴-۵-۲ منحنی تنش- کرنش فشاری بتن

این نمودار بر اساس نتایج آزمایش فشاری تک محوره بتن تعیین می‌شود. برای بتن تحت فشار سه ناحیه از نمودار معرفی می‌شود. اولین قسمت از نمودار تا تنش حدی متناسب با آن الاستیک فرض می‌شود. مقدار این تنش حدی برابر $0.4f_c$ در نظر گرفته می‌شود؛ که در آن f_c مقاومت فشاری بتن می‌باشد. کرنش مربوط به تنش برابر ۰,۰۰۲۲ می‌باشد. مدول یانگ نیز بر اساس محاسبه می‌شود و نسبت پواسون هم برابر ۰,۲ در نظر گرفته می‌شود. دومین قسمت از نمودار که شکل سهموی را دارد از نقطه با تنش حدی شروع شده و تا رسیدن به بالاترین مقاومت فشاری بتن ادامه می‌یابد. در نرم افزار منحنی تنش - کرنش باید به صورت تنش-کرنش غیر الاستیک متناظر معرفی گردد. کرنش غیر الاستیک برابر اختلاف کرنش کل و کرنش الاستیک است.

۳-۴-۵-۳ منحنی تنش-کرنش کششی بتن

رفتار بتن تحت کشش برخلاف فشار تحت تأثیر سرعت بالای وقوع ترک خوردگی بوده و این گسیختگی از طریق آزمایش قابل تعیین نیست. اما به وسیله آزمایش می‌توان مقاومت کششی بتن (تنش ترک خوردگی) را تعیین کرد. این مقاومت حدود ۷ تا ۱۵ درصد مقاومت نهایی فشاری بتن است. مدول الاستیسیته بتن در کشش برابر مقدار فشاری آن در نظر گرفته می‌شود. بعد از ترک خوردگی سختی به یکباره صفر نشده و

حتی بعد از ترک خوردگی هم ماده سختی خواهد داشت که به این خاصیت بتن، سخت شدگی بعد از ترک خوردگی^۱ اطلاق می شود.

سختی بعد از ترک خوردگی در نمودار تنش - کرنش کششی بتن مسلح بیشتر از مقدار واقعی آن در بتن غیرمسلح است. در بتن غیرمسلح بعد از رسیدن بتن به تنش حداکثر کششی مقاومت کششی بتن به صورت ناگهانی کاهش زیادی می یابد و بعد از آن به صورت نرم شدگی تا نقطه گسیختگی کششی پیش می رود در مدل المان محدود به منظور در نظر گرفتن اثر برهم کنش بتن و فولاد (عملکرد شاخه ای^۲) کرنشی که در آن تنش صفر شده است بیشتر از مقدار آن در بتن غیرمسلح در نظر گرفته می شود. در راهنمای نرم افزار توصیه شده است که تنش در کرنش حدود ۱۰ برابر کرنش ترک خوردگی برابر صفر در نظر گرفته شود. هرچقدر مقدار این کرنش کمتر در نظر گرفته شود مشکلات همگرایی بیشتر شده و احتمال واگرایی حل در مراحل اولیه بیشتر می شود..

۳-۴-۶- المان مورد استفاده در بتن

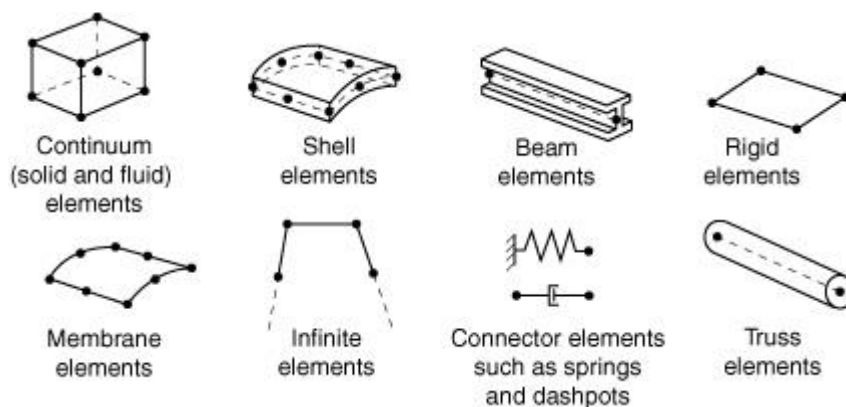
نرم افزار ABAQUS برخلاف نرم افزار ANSYS المان خاصی برای بتن ندارد و از المان های هشت نقطه ای DSTRESS^۳ معمولی استفاده می گردد. (شکل ۳-۳) انتگرال گیری عددی^۳ این المان به روش گوس انجام می پذیرد و رفتار مصالح در این نقاط انتگرال گیری کنترل می شود. برای سایر نقاط المان تنش ها و کرنش ها با استفاده از توابع شکل به دست می آید. برای در نظر گرفتن المان ها به صورت بتنی، مدل رفتاری بتن آسیب دیده خمیری به این المان ها اختصاص داده می شود. برای قسمت خطی بتن خصوصیت الاستیک در

^۱ Tension Stiffening

^۲ Dowel Action

^۳ Store the numerical integral

کتابخانه مصالح از پیش تعریف شده نرم افزار ABAQUS استفاده شده، که در آن از مدول الاستیسیته و نسبت پواسون استفاده می شود.



شکل ۳-۳- المان های مورد استفاده در نرم افزار آباکوس.

۳-۴-۷- رفتار فولاد

فولادهای مورد استفاده در کارهای ساختمانی عمدتاً از نوع فولاد نرمه بوده و دارای رفتاری شکل پذیر هستند. فولاد نرمه برخلاف بتن که رفتاری متفاوت در کشش و فشار از خود نشان می دهد، دارای رفتاری تقریباً مشابه در کشش و فشار می باشد. رفتار تک محوره آن توسط آزمایش کشش تعیین می شود. در نمودار تنش- کرنش فولادهای نرمه معمولاً یک پله تسلیم مشاهده می شود که بعد از آن فولاد دچار سخت شدگی کرنشی شده و به مقاومت نهایی خود می رسد. در آخر نیز بعد از نرم شدگی، گسیختگی در نمونه رخ می دهد.

معمولاً برای شبیه سازی رفتار فولاد از خصوصیت رفتاری پلاستیک^۱ از کتابخانه مواد از پیش تعریف شده نرم افزار ABAQUS استفاده می شود. در این خصوصیت رفتاری از معیار تسلیم فون میزس استفاده می شود. بر اساس این معیار در صورتی ماده تسلیم می شود که تنش برشی هشت وجهی به مقاومت حداکثر K که از آزمایش کشش یا فشار ساده تعیین می شود، برسد. مقطع عرضی سطح تسلیم معرفی شده در این معیار یک

^۱ Plastic

دایره بوده که مساحت آن فقط به وسیله مقدار k تعیین خواهد شد و مقدار تنش هیدرواستاتیکی بر آن تأثیری نخواهد داشت.

برای تعریف مصالح فولادی در نرم افزار باید منحنی تنش کرنش پلاستیک (کرنش پلاستیک مشابه منحنی تنش کرنش بتنی معرفی شده در قسمت قبل) یک بعدی فولاد به صورت یک تابع جدولی به نرم افزار معرفی گردد. برای المان های سه بعدی^۱ منحنی معرفی شده با استفاده از معیار ون میزس مورد استفاده قرار می گیرد ولی برای المان های تک بعدی مانند المان های خرابایی میلگردها معیار پلاستیسیته مهم نبوده و دقیقاً از منحنی تنش-کرنش معرفی شده، استفاده می شود. قسمت خطی نمودار تنش-کرنش مصالح با استفاده از خصوصیت الاستیک از کتابخانه مصالح از پیش تعریف شده نرم افزار (مشابه بتن) استفاده می شود. در این تحقیق مدول الاستیسیته فولاد برابر ۲۰۰ گیگا پاسکال و نسبت پواسون آن برابر ۰.۳۰ در نظر گرفته شد.

۳-۴-۸- نحوه مدل سازی میلگردها و خاموت ها

به طور کلی دو روش برای شبیه سازی فولادهای مسلح کننده سازه های بتن آرمه به روش المان محدود وجود دارد. در روش اول میلگرد به صورت المان های مجزا مدل شده و بعد از آن به درجات آزادی بتن بسته می شود. در روش دوم به جای مدل سازی با استفاده از المانی مستقل^۲ اثرات میلگرد در سختی المان های بتن در نظر گرفته می شود. امکان مدل سازی به هر دو روش در نرم افزار موجود است، اما برای المان های سه بعدی، رابط گرافیکی نرم افزار قادر به دریافت اطلاعات مربوط به روش دوم نیست. برای حل این مشکل در المان های سه بعدی باید در فایل های مربوط به تحلیل گر دست برد که کار بسیار مشکل و وقت گیری است. در این تحقیق از روش اول استفاده شده است. به علت این که میلگردهای خمشی معمولاً نسبت به بتن مقطع،

^۱ The next three elements

^۲ The independent

مساحت بسیار کمی دارند، معمولاً توزیع تنش در آن‌ها یکنواخت است و در نتیجه می‌توان رفتار آن‌ها را به وسیله المان‌های یک بعدی با تئوری تنش یک محوره (خرپا) مدل‌سازی کرد. لازم به توضیح است که می‌توان میلگردهای خمشی را با استفاده از المان‌های سه‌بعدی نیز مدل کرد، اما معمولاً تفاوت چندانی بین نتایج حاصله از این دو حالت مدل‌سازی وجود ندارد. ولی در حالت مدل‌سازی سه‌بعدی میلگردها، المان بندی در نواحی نزدیک به میلگردها بسیار ریز خواهد بود، به همین دلیل میلگردها معمولاً به صورت اعضای یک‌بعدی شبیه‌سازی می‌شوند. تا حد ممکن بهتر است که در مدل‌سازی آرایش واقعی میلگردها رعایت شود. اما در مواردی که میلگردها مساحت بالایی داشته باشند و تعدادشان کم باشد، اعمال آرایش واقعی می‌تواند منجر به واگرایی زودهنگام گردد. زیرا در این حالت ممکن است که در تعداد زیادی از المان‌های بتن مجاور هیچ‌گونه میلگردی وجود نداشته باشد و در نتیجه احتمال جدا شدن موضعی تعدادی از المان‌های بتن بر اثر ترک‌خوردگی وجود دارد. در این حالت به جای استفاده از آرایش واقعی بهتر است که از تعداد المان فولادی بیشتری استفاده شود و مساحت میلگردها بین آن‌ها تقسیم شود.

مشخص است که درجات آزادی میلگرد نباید مستقل از درجات آزادی بتن اطراف باشد. برای لحاظ کردن این مسئله قابلیت به نام Embedded در نرم‌افزار گنجانده شده است. به وسیله این قابلیت قطعه‌ای را می‌توان در درون قطعه دیگر قرار داد، به صورتی که درجات آزادی قطعه درونی با استفاده از درجات آزادی اطراف آن، از قطعه بیرونی درونی‌یابی شوند. برای نرم‌افزار باید تعریف شود که تا چه تعداد المان، درجات آزادی المان‌های قطعه‌ی بیرونی بر درجات آزادی^۱ قطعه درونی تأثیر داشته باشد. در این تحقیق، این تعداد برابر یک المان در نظر گرفته شده است، زیرا میلگردها تنها با بتن مجاور خود درگیر هستند و بنابراین درجات آزادی آن‌ها تنها با درجات آزادی بتن مجاور باید ارتباط داشته باشد. معمولاً میلگردهای برشی اثر زیادی

^۱ The degrees of freedom

روی سختی کلی مدل ندارند، اما در صورت بزرگ بودن فواصل بین این میلگردها نسبت به ابعاد المان بندی، احتمال وقوع واگرایی زودهنگام وجود دارد. به همین دلیل در نرم افزار ANSYS مساحت این میلگردها با استفاده از روش دوم شبیه سازی فولادهای مسلح کننده (در نظر گرفتن میلگرد به عنوان خاصیتی از رفتار المان بتنی) بین تعداد زیادی از المان های بتنی پخش می شود. اما در نرم افزار ABAQUS همان طور که گفته شد، به سادگی امکان تعریف این حالت برای المان های سه بعدی وجود ندارد. به همین دلیل در صورتی که فواصل میلگردها نسبت به ابعاد المان ها بزرگ باشد، بهتر است تعداد خاموت ها را به صورتی که فواصل آن ها مناسب شود، افزایش داده و مساحت واقعی میلگردهای برشی موجود در مقطع بین خاموت های تعریف شده، تقسیم شود. در این تحقیق میلگردهای برشی منطبق بر واقعیت مدل سازی شدند.

۳-۵- همگرایی^۱ در حل مسائل

فرایند تکرار در حل معادلات غیرخطی به وسیله روش تکراری نیوتن-رافسون ادامه می یابد تا این که همگرایی حاصل شود. کنترل همگرایی به دو طریق نیرو (نیرو و لنگر) و تغییر مکانی (انتقالی و دورانی) در نرم افزار ABAQUS صورت می گیرد. از روش های همگرایی در حل مسائل می توان به روش سخت شدگی تنش، روش های کاهش انطباقی، جستجوی خط و طول کمان اشاره کرد. پدیده سخت شدگی تنش به سختی یک سازه به علت حالت تنش آن اطلاق می شود. به طور معمول، اثرات سخت شدگی بایستی برای سازه هایی که دارای سختی خمشی کمی نسبت به سختی محوری هستند اعمال شود. این اثر همچنین ماتریس سختی غیرخطی منظم ایجاد شده به وسیله اثرات کرنش یا تغییر مکان های بزرگ را افزایش می دهد. این اثر برای تحلیل های استاتیکی یا گذرا^۲ قابل کاربرد است. روش طول کمان برای حل معادلات غیرخطی در مسائل

^۱ Convergence

^۲ Transient

ناپایدار مناسب می‌باشد و شامل رسم یک مسیر پیچیده پاسخ بار- تغییر مکان در نواحی کمانشی و پس کمانشی می‌باشد. در پروژه حاضر، از روش سخت شدگی تنش^۱ و جستجوی خط^۲ در تمامی تحلیل‌ها استفاده شده است ولی از روش طول کمان تنها در تحلیل اتصالات تحت اثر بارمحوری استفاده شده و برای بررسی رفتار پسماند اتصالات استفاده نشده است.

۳-۶- ارزیابی صحت مدل سازی المان‌های محدود

جهت اینکه صحت مدل سازی و ارائه اعداد مدل با موارد اجرایی اثبات شود به صحت سنجی یک کار آزمایشگاهی نیاز می‌باشد. برای ارزیابی صحت مدل سازی عناصر محدود، از کار آزمایشگاهی یک نمونه قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی را که توسط اینراک چویی و همکاران در کره جنوبی در سال ۲۰۱۱ [۲۲] تحت بارگذاری استاتیکی و چرخه‌ای آزمایش شده است، استفاده می‌شود.

در کار آزمایشگاهی اینراک چویی و همکاران که در مقاله‌ای تحت عنوان "آزمایش بارگذاری چرخه‌ای برای قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی" که در انتشارات JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING چاپ گردید، [۲۲] انواع مختلفی از قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی مورد آزمایش بارگذاری چرخه‌ای قرار گرفته شده است.

نحوه انتخاب نمونه SPIW^۱ از بین ۵ نمونه آزمایشگاهی و جزئیات خصوصیات مصالح مربوط به تنش تسلیم و تنش نهایی به کاررفته در این آزمایش‌ها در جدول ۳-۱ نشان داده شده است. همچنین جزئیات ابعادی نمونه SPIW^۱ نیز در شکل ۳-۳ مشخص می‌باشد.

^۱ Stress Stiffening

^۲ Line Search

جدول ۳-۱- نحوه انتخاب نمونه $SPIW^1$ از بین ۵ نمونه آزمایشگاهی [۲۲].

Properties of Test Specimens			SPIW1 (steel plate infilled wall)	SPIW2 (steel plate infilled wall)	SPIW3 (steel plate infilled wall with an opening)	RCIW (RC infilled wall)	RCF (RC frame)
Concrete compressive strength, MPa			26.4	26.4	26.4	32.1	26.4
Infilled steel plate	Thickness (mm)		2	2	4	—	—
	Yield strength (MPa)		302	302	300	—	—
Infill RC panel	Horizontal reinforcement ^a	Reinforcement ratio (%)	—	—	—	0.65	—
	Vertical reinforcement ^a	Reinforcement ratio (%)	—	—	—	0.43	—
Column	Longitudinal reinforcement	Area (mm ²)	3,336 ^b	4,596 ^c	3,336 ^b	3,097 ^d	3,336 ^b
		Reinforcement ratio (%)	3.7	5.1	3.7	3.4	3.7
Beam	Transverse reinforcement ^a	Spacing (mm)	50	50	50	50	50
	Longitudinal reinforcement	Area (mm ²)	794 ^e	794 ^e	794 ^e	794 ^e	794 ^e
		Reinforcement ratio (%)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
	Transverse reinforcement ^a	Spacing (mm)	60	60	Midspan: 50 Both ends: 60	60	60

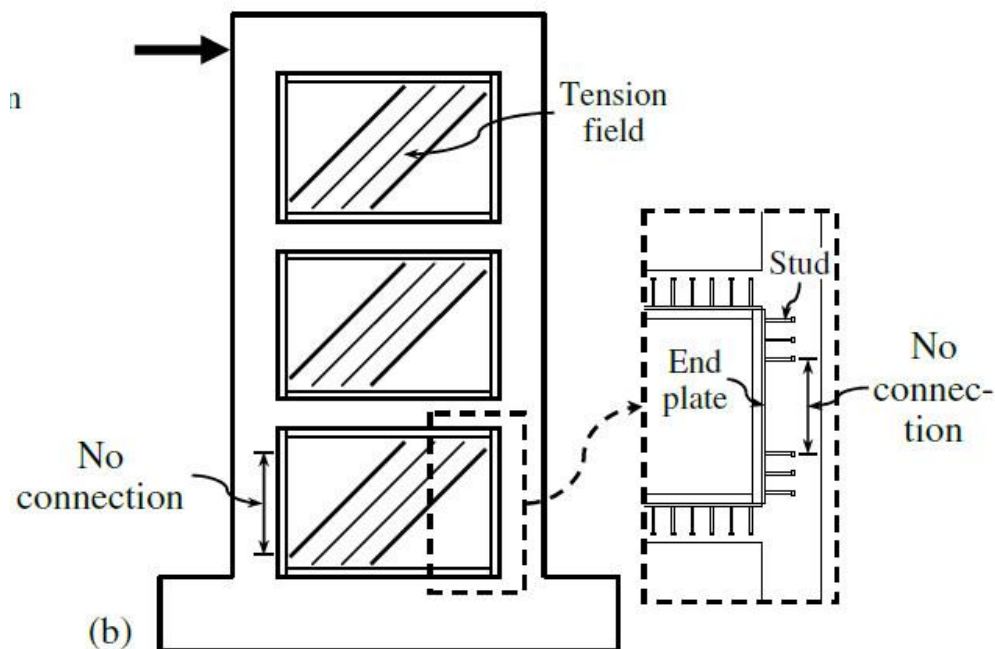
^aD10 ($A_b = 71.3 \text{ mm}^2$, $f_y = 486 \text{ MPa}$).

^b6-D22 ($A_b = 387.1 \text{ mm}^2$, $f_y = 430 \text{ MPa}$) and 2-D25 ($A_b = 506.7 \text{ mm}^2$, $f_y = 443 \text{ MPa}$).

^c4-D25 ($A_b = 506.7 \text{ mm}^2$, $f_y = 443 \text{ MPa}$) and 4-D29 ($A_b = 642.4 \text{ mm}^2$, $f_y = 486 \text{ MPa}$).

^d8-D22 ($A_b = 387.1 \text{ mm}^2$, $f_y = 430 \text{ MPa}$).

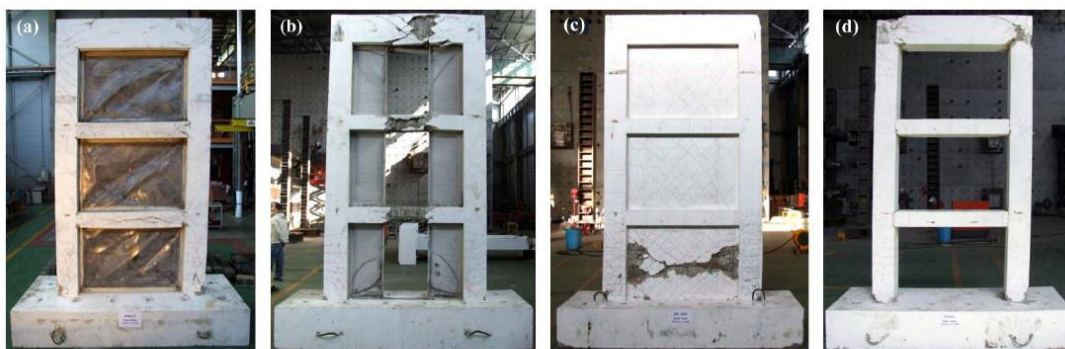
^e4-D16 ($A_b = 198.6 \text{ mm}^2$, $f_y = 471 \text{ MPa}$).



شکل ۳-۵- جزئیات نحوه اتصال رابط‌های فولادی به قاب بتنی نمونه‌ی ساخته‌شده مربوط به کار آزمایشگاهی جهت

صحت سنجی [۲۲].

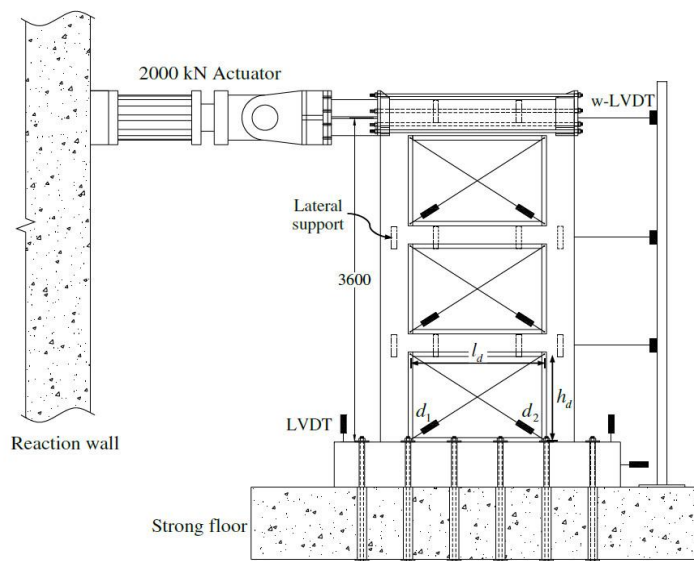
برای آزمایش نمونه قاب بتنی با صفحه فولادی از ۵ نمونه با مشخصات مختلف استفاده‌شده، اندازه‌های هندسی همه عناصر قاب در همه نمونه‌ها یکسان بوده که در شکل ۳-۶ نشان داده‌شده است.



Test specimens after failure: (a) SPIW1; (b) SPIW3; (c) RCIW; (d) RCF

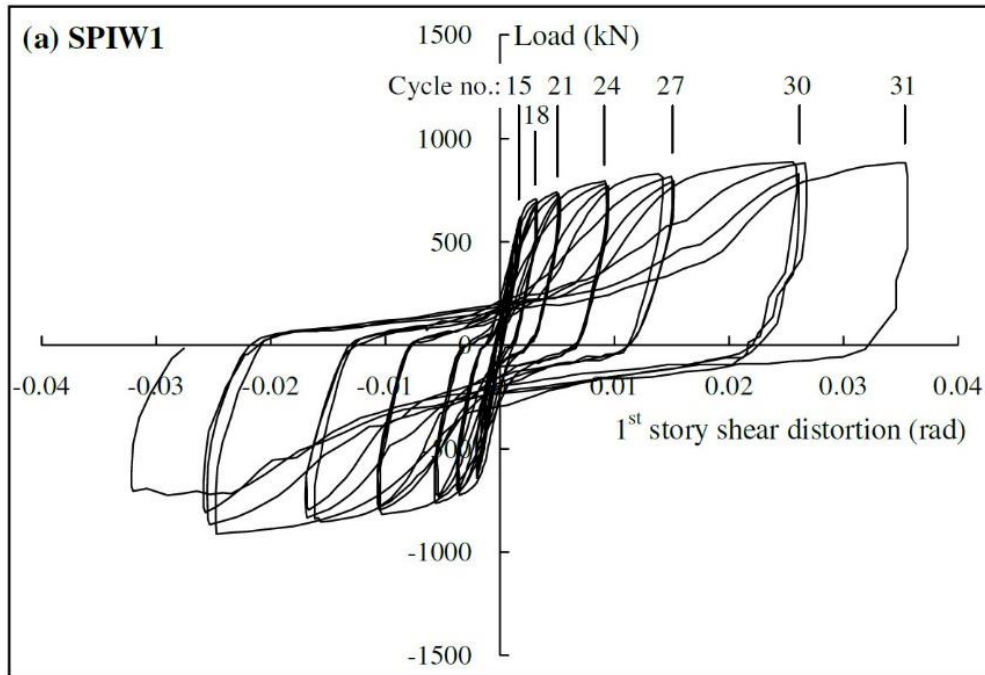
شکل ۳-۶- جزئیات نمونه‌های ساخته‌شده مربوط به کار آزمایشگاهی [۲۲].

پروتکل بارگیری بر اساس پروتکل ATC-۲۴ با جابجایی کنترل اعمال می‌شود. این پروتکل به‌طور خاص برای عناصر فولادی طراحی شده است. در پروتکل بارگذاری، تغییر شکل الاستیک مرجعی برای افزایش دامنه چرخه‌ها است. نحوه بارگذاری جانبی نمونه‌های ساخته شده که توسط جک هیدرولیکی به قسمت جانبی آن وارد می‌گردد در شکل ۷-۳ نشان داده شده است، ضمناً شرایط مرزی ابتدا و انتهای نمونه‌ها نیز مشخص است.



شکل ۳- ۷- نحوه بارگذاری بار جانبی نمونه‌های ساخته شده [۲۲].

پس از بارگذاری جانبی بر روی نمونه‌های ساخته شده خلاصه نتیجه آزمایشگاهی نمونه $SPIW^1$ و همچنین نمودار بار-جابجایی هیستریزس ناشی از بار جانبی و شکل آسیب دیده نمونه نیز در شکل ۸-۳ نشان داده شده است.



Specimens	Lateral-load-carrying capacity			Initial stiffness		
	V_{exp}^a (kN)	V_{pred}^b (kN)	$\frac{V_{pred}^{a,b}}{V_{exp}}$	K_{exp}^a (kN/mm)	K_{pred}^b (kN/mm)	$\frac{K_{pred}^{a,b}}{K_{exp}}$
SPIW1	886	739	0.83	53	50	0.94

شکل ۳-۸- خلاصه نتیجه آزمایشگاهی نمونه $SPIW^1$ و نمودار هیستریزس ناشی از بار جانبی [۲۲].

طبق شکل ۳-۹ نمونه‌ی $SPIW^1$ در زاویه دوران حدوداً به میزان 0.25° رادیان به نقطه ماکزیمم عکس‌العمل خود یعنی ۸۸۶ کیلو نیوتن می‌رسد که به‌صورت بارگذاری جانبی حاصل از آزمایش و مطالعه عددی موجود در مقاله راستی آزمایی گردیده است. جهت اینکه صحت مدل‌سازی و ارائه اعداد مدل با موارد اجرایی اثبات شود، می‌بایست تمام ویژگی‌های مصالح، هندسی و ذاتی عنوان‌شده در نمونه‌ی $SPIW^1$ انتخابی را مدل‌سازی و با کار آزمایشگاهی مقایسه نمود.

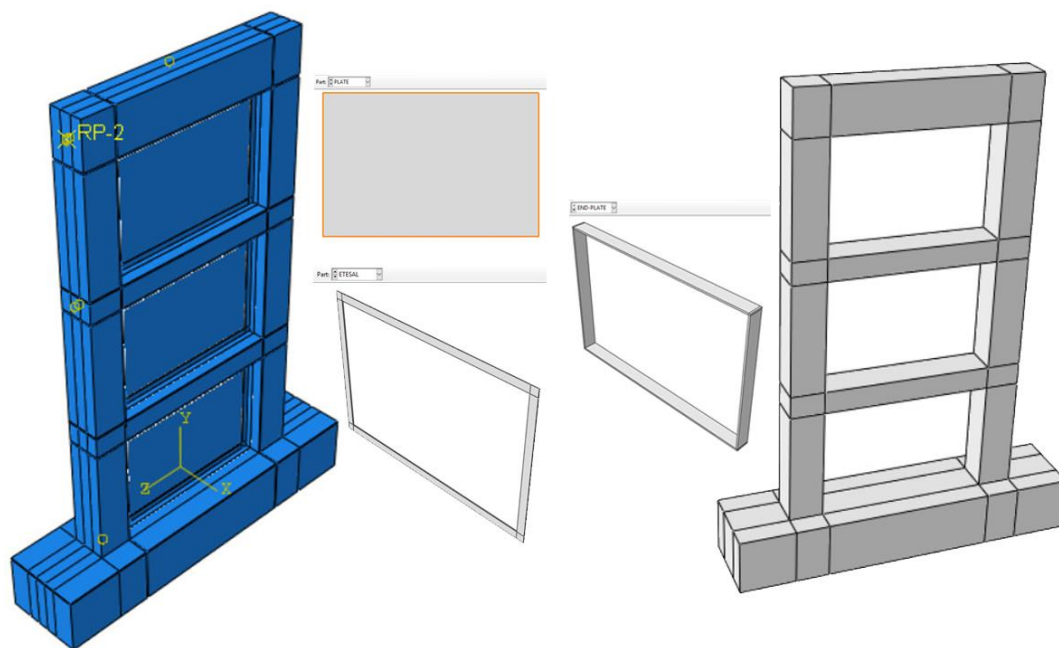
۳-۶-۱ - مدل سازی عددی نمونه ی $SPIW^1$

جهت صحت سنجی و مدل سازی عددی نمونه ی $SPIW^1$ ، از نرم افزار المان محدود آباکوس استفاده شده است و تمام مدل ها در ماژول پارت^۱ آماده شده و در ماژول اسمبلی^۲ طبق مشخصات نمونه آزمایشگاهی مونتاژ می شوند. شکل ۳-۹ جزئیات مدل سازی مورد نظر را نشان می دهد. تعریف خصوصیات مصالح بتن در ماژول خصوصیات^۳ مصالح انجام شده است که طبق آن فولاد استفاده شده در نرم افزار از نوع جدول ۳-۱ می باشد. در ماژول خصوصیات نرم افزار المان محدود آباکوس، ویژگی های مصالح هسته های فولادی، فولاد معمولی است که به المان های مدل سازی شده اختصاص داده می شود. جزئیات ویژگی های مصالح می بایست شامل تمام خصوصیات مکانیکی مورد نیاز تحلیل ها باشد تا در روند حل مسئله نرم افزار به درستی عمل کرده و به سمت واگرایی پیش نرود. گام تحلیلی از نوع شبه استاتیکی و نوع المان در تمام حالات از نوع توپر C^3D^8R (المان مکعبی با تابع درجه یک و انتگرال گیری کاهش یافته) می باشد، انتگرال کاهش یافته reduced integration fear formulation برای مش بندی و کاهش زمان محاسبه و دستیابی به نتایج با دقت بیشتر، جهت مدل سازی استفاده شده است و ضمناً نتیجه آنالیز غیرخطی تغییر شکل های بزرگ نیز در نظر گرفته شده است. شکل ۳-۱۰ مش بندی مدل سازی را نشان می دهد.

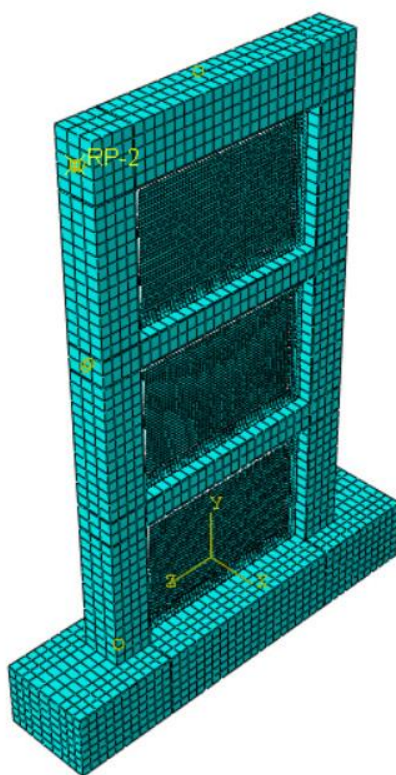
^۱ Part

^۲ Assembly

^۳ Property

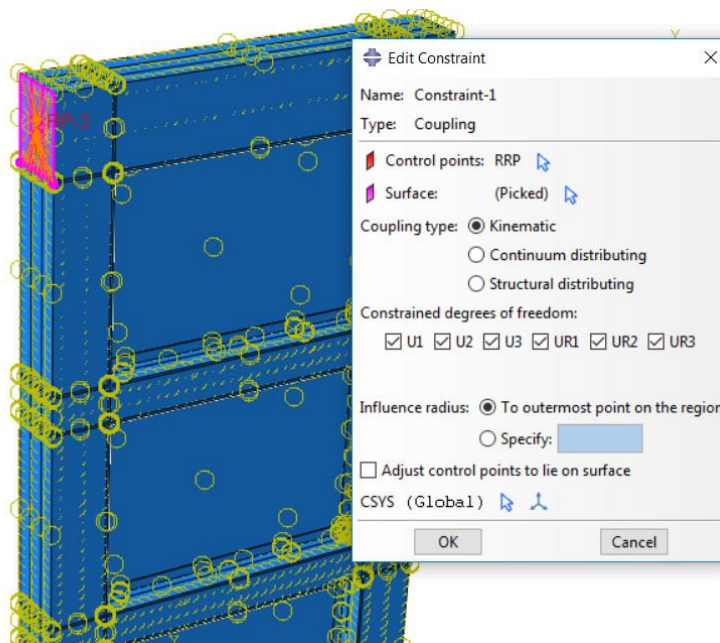


شکل ۳- ۹- جزئیات مدل سازی عددی نمونه مورد نظر.



شکل ۳- ۱۰- تحلیل حساسیت نسبت به اندازه مش بندی.

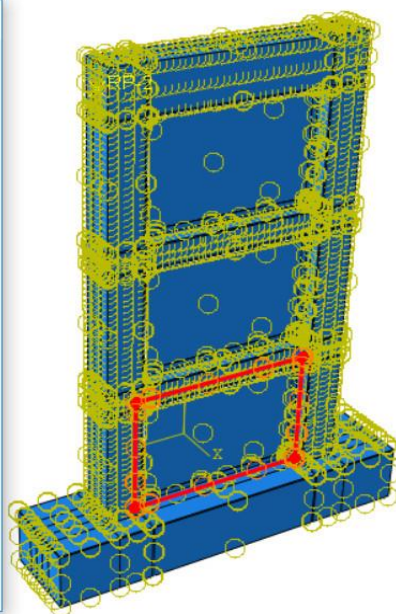
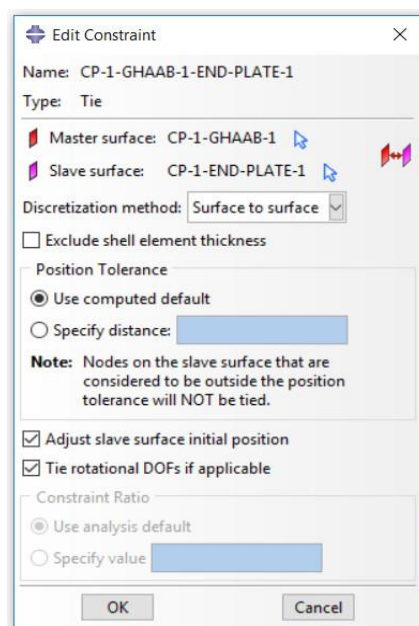
در ماژول اینتراکشن^۱ نرم افزار المان محدود آباکوس، تمام روابط تماسی بین المان های فولادی با هم از نوع روابط تماسی سطح به سطح بوده و بعضی از المان های فولادی در نقطه تماس از قید نوع Tie استفاده شده است، همچنین در قسمت انتهایی تیر و دو تکیه گاه ستون در نمونه ساخته شده از کوپل نقطه ای استفاده شده است که اعمال بار بهتر انجام گردد، بنابراین شکل ۳-۱۱ جزئیات اختصاص آن ها را نشان می دهد.



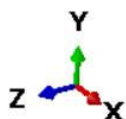
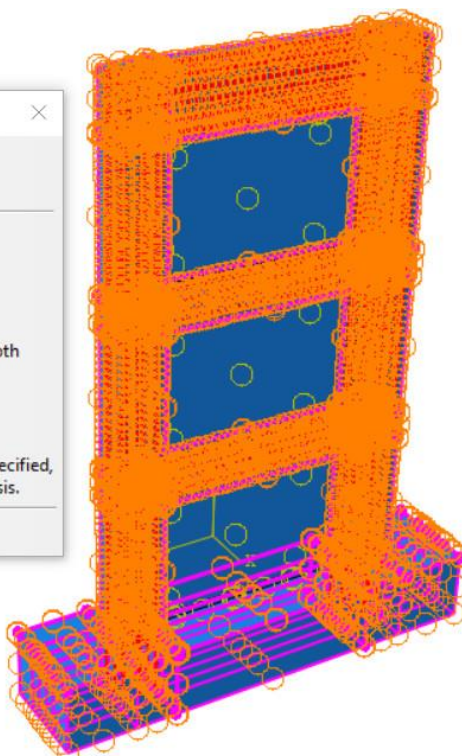
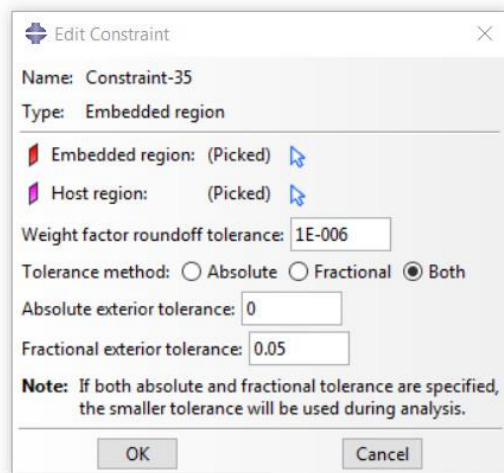
شکل ۳-۱۱ - استفاده از قید COUPLING در ماژول اینتراکشن در نمونه.

ضمناً در ماژول اینتراکشن در شکل ۳-۱۲ و شکل ۳-۱۳ نحوه اعمال روابط تماسی بین المان های فولادی از نوع سطح به سطح و قید مدفون شدگی میلگردها در بتن نشان داده شده است.

^۱ Interaction

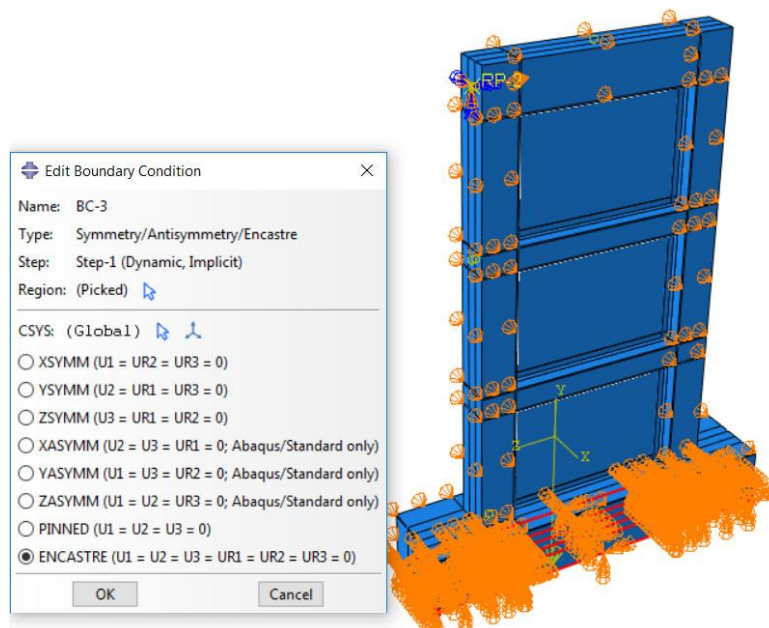


شکل ۳- ۱۲- نحوه اعمال روابط تماسی بین المان‌های فولادی از نوع سطح به سطح.



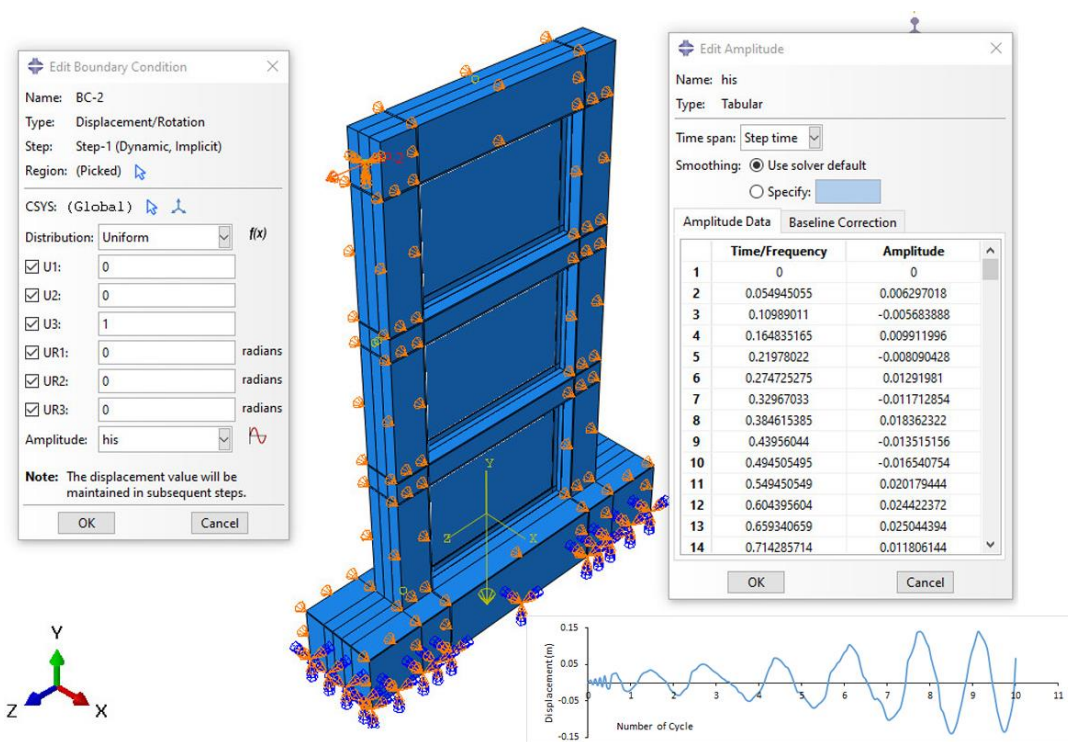
شکل ۳- ۱۳- نحوه اعمال قید مدفون‌شدگی میلگردها در بتن.

در ماژول بارگذاری^۱ از نرم افزار المان محدود ابتدا شرایط مرزی تکیه گاهی به صورت گیردار تعریف می شود (شکل ۳-۱۴) و سپس قسمت انتهایی قاب به صورت جانبی پوش رفت و برگشتی داده می شود تا عکس العمل نمونه محاسبه گردد (شکل ۳-۱۵). پوش جانبی در جهت محوری نمونه و به میزان ۱۰ سانتی متر می باشد. همچنین با توجه به شکل ۳-۷ نمونه از لحاظ جانبی محدود و مقید شده است تا هیچ گونه جابه جایی در حین آزمایش در آن اتفاق نیافتد بنابراین نمونه از لحاظ جابه جایی جانبی در ماژول بارگذاری مقید گردیده است (شکل ۳-۱۶). بعد از تحلیل و مشاهده خروجی های مربوط به تحلیل، کانتورهای رنگی مربوط به تنش فون مایسز بار جانبی، تغییر شکل ها، کمانش موضعی در نواحی پلاستیک نمونه در انتهای زمان بارگذاری و نمودارهای عددی آن ها مشخص گردید که در بخش بعدی به تفصیل بیان می گردد و همچنین به دلیل اینکه ورق های نازک فولادی معمولاً صاف نیستند، در تحلیل ها از یک پیش بارگذاری به صورت خروج از مرکزیت در نظر گرفته شده است.

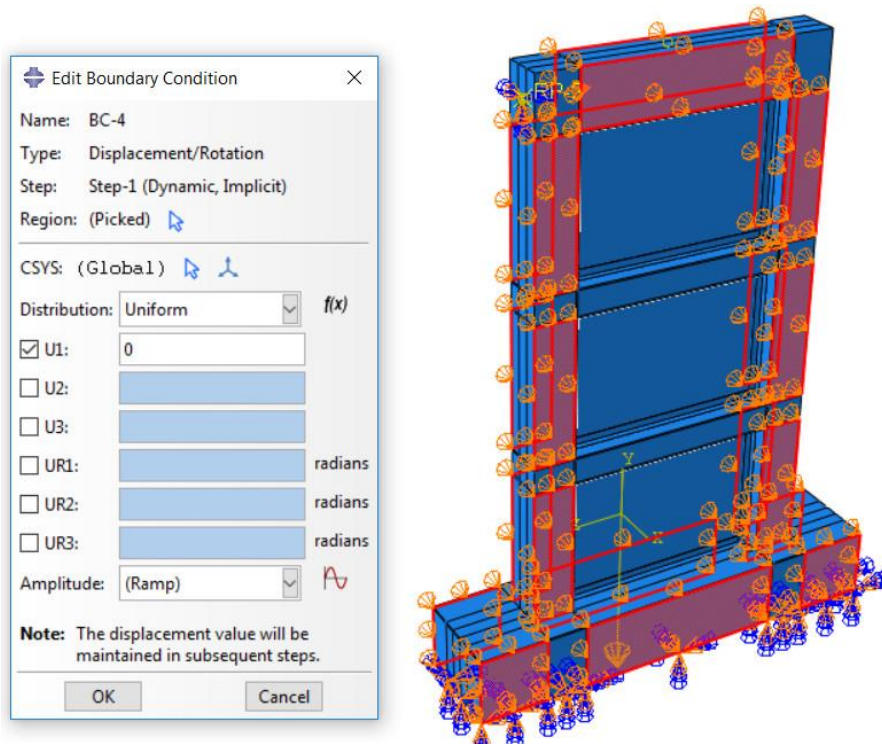


شکل ۳-۱۴- ایجاد شرایط مرزی گیردار در قاب.

^۱ Load



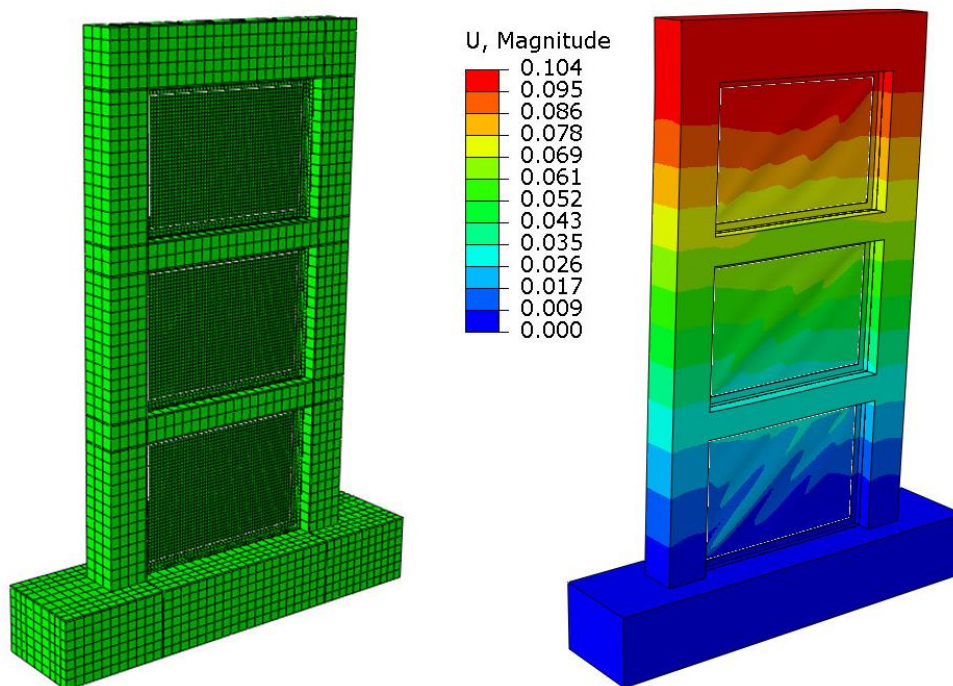
شکل ۳- ۱۵- جابه‌جایی جانبی هیستریزیس در قسمت انتهایی قاب.



شکل ۳- ۱۶- مقید کردن نمونه از لحاظ جابه‌جایی جانبی.

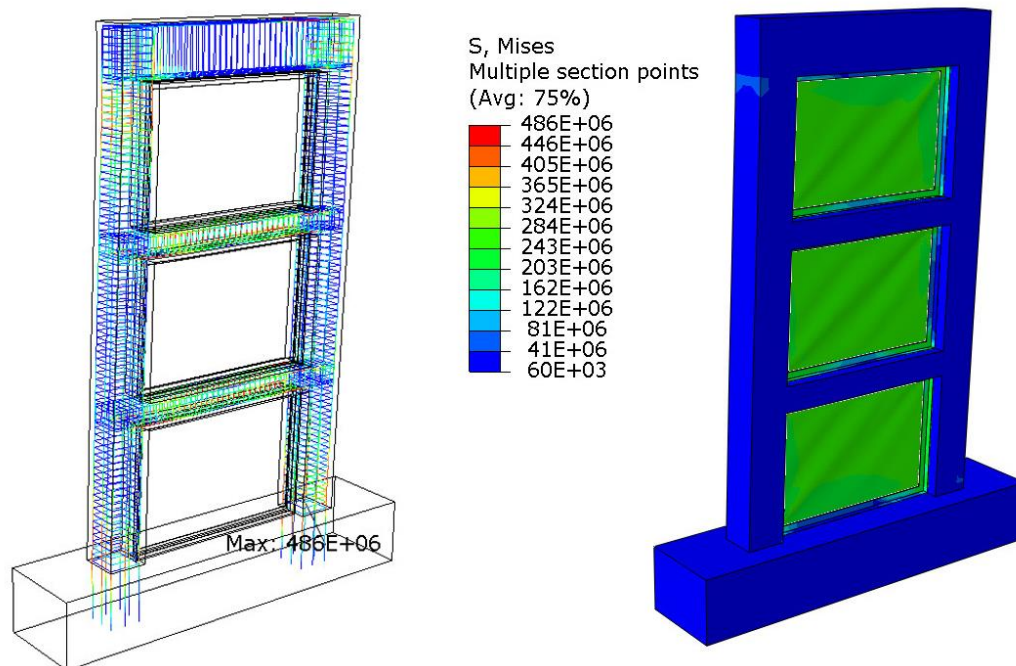
۳-۶-۲ - نتایج صحت سنجی عددی نمونه‌ی ساخته‌شده

نتایج تجزیه و تحلیل عددی نمونه‌ی $SPIW^1$ این بخش در مازول تجسم نتایج^۱ نرم‌افزار المان محدود قابل‌رؤیت است، طبق بررسی انجام‌شده کانتورهای رنگی حاصل از خروجی‌های این مازول، راستی آزمایی و صحت ورودی‌ها و خروجی‌ها را نشان می‌دهد: برای این منظور کانتورهای رنگی مربوط به جابه‌جایی نمونه در جهت اعمال بار جانبی در شکل ۳-۱۷ نشان داده شده است. کانتورهای تنش فون مایسز محدوده شدت تنش‌ها را بیان می‌کند، شکل ۳-۱۸ کانتورهای تنش فون مایسز نمونه‌ی $SPIW^1$ مفروض را در ماکزیمم حالت با تنش ۴۸۶ مگاپاسکال را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۳-۱۹ مقایسه کانتورهای رنگی کرنش پلاستیک نمونه آزمایشگاهی $SPIW^1$ ، مقایسه می‌کند.

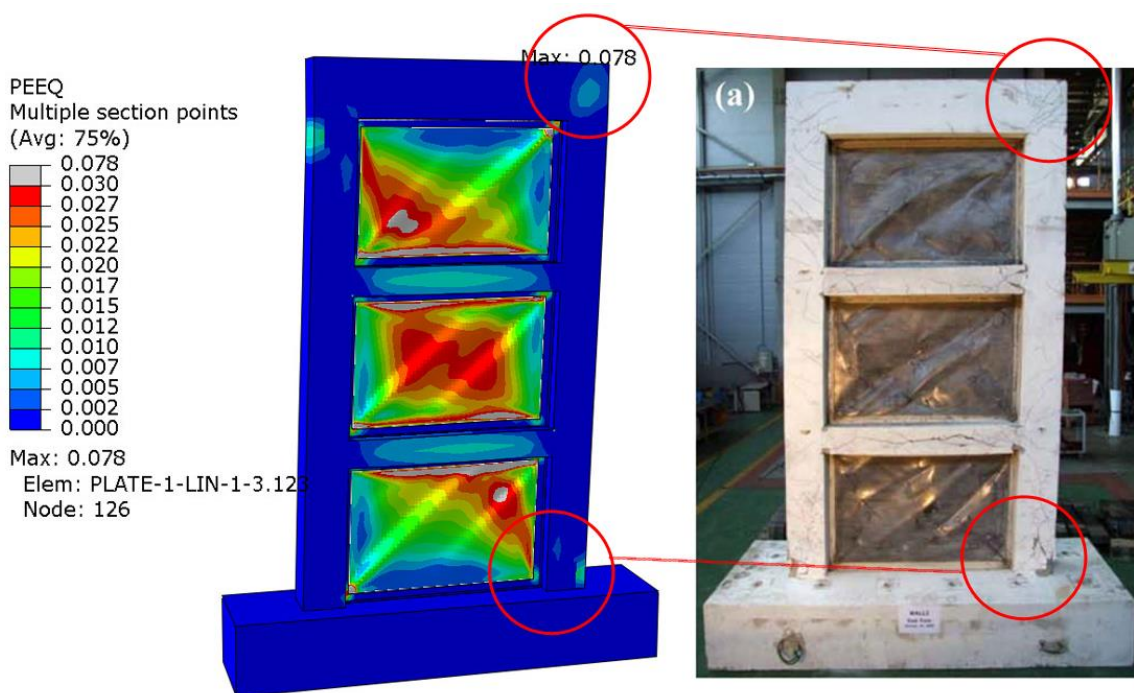


شکل ۳-۱۷ - کانتورهای رنگی مربوط به تغییر شکل نمونه در جهت اعمال بار.

^۱ Visualization



شکل ۳-۱۸- کانتورهای رنگی مربوط به تنش فون مایسز نشان دهنده محدوده شدت تنش‌ها.

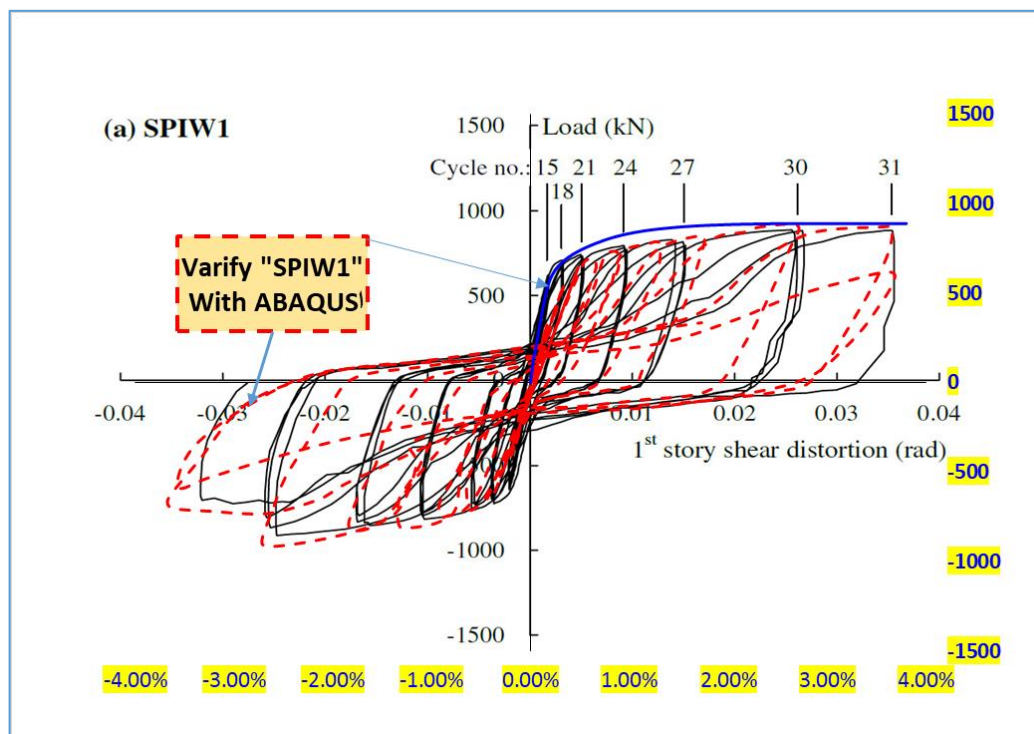


شکل ۳-۱۹- مقایسه کانتورهای رنگی تغییر شکل نمونه‌ی $SPIW^1$ با نمونه آزمایشگاهی.

همان‌طور که در شکل ۳-۲۰ مشاهده می‌گردد، مقایسه بین کار آزمایشگاهی و نتایج عددی مقاله اینراک چویی و همکاران در کره جنوبی [۲۲] بامطالعه عددی تحقیق حاضر از نظر شکلی نزدیک یکدیگر بوده و نمایانگر این مسئله می‌باشد که در این خصوص، صحت سنجی خوبی انجام گرفته‌شده است.

اگر نقطه مبنا قسمت فوقانی را به‌عنوان جابه‌جایی جانبی و عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی را میزان بار تحملی جانبی نمونه عددی فرض شود با استخراج این دو متغیر می‌توان نمودار بار-جابه‌جایی جانبی را به‌صورت نمودار پوش هیستریزیس ترسیم نمود.

اگر اطلاعات مربوط به نمودار هیستریزیس به محیط نرم‌افزار اکسل جابه‌جا شود و با نمودارهای بار-جابه‌جایی مقاله [۲۲] (نمودار آزمایشگاهی مربوط به نمونه $SPIW_1$) مقایسه گردد، می‌توان میزان صحت سنجی را بررسی نمود. ضمناً می‌بایست واحد جابه‌جایی با مقاله همگام‌سازی شود، همچنین واحد نیرو از واحد نیوتن به کیلو نیوتن تغییر کند؛ بنابراین شکل ۳-۲۰ این مقایسه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۰- مقایسه و صحت سنجی بین دو نمودار آزمایشگاهی [۲۲] و نمونه عددی این تحقیق.

با توجه به شکل ۳-۲۰ تطبیق نسبتاً خوبی بین نمودار حاصله از تحلیل المان محدود با نتایج آزمایشگاهی دیده می‌شود و اندک خطای موجود ممکن است در روش‌های عددی، رفتار غیرخطی مصالح بکار رفته در مدل، ناکاملی‌های احتمالی موجود در نمونه آزمایشگاهی، نحوه شبکه‌بندی‌های بکار گرفته‌شده و ساده‌سازی‌های انجام‌شده در مدل‌سازی باشد.

در پایان این فصل از پایان‌نامه می‌توان اعلام نمود که صحت سنجی نمونه‌ی $SPIW^1$ از نظر نرم‌افزاری با محاسبات عددی با تقریب نسبتاً خوبی قابل‌قبول می‌باشد و با توجه به اینکه مقایسه بین نتایج عددی و محاسباتی در مدل صحت سنجی نمونه‌ی $SPIW^1$ در نرم‌افزار المان محدود آباکوس، حاکی از دقت قابل‌قبول مدل‌سازی عناصر محدود داشته است، می‌توان از آن به‌عنوان پایه‌ای برای مطالعات فصل چهارم استفاده نمود.

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل یافته های تحقیق

۴-۱- مقدمه

مطالعات آزمایشگاهی و تجربی همواره بهترین و مطمئن ترین روش بررسی رفتار سازه‌ها می‌باشد، ولی به علت صرف وقت، هزینه‌های بالا و کمبود امکانات آزمایشگاهی، انجام مطالعات آزمایشگاهی در بسیاری از موارد میسر نمی‌باشد. روش عناصر محدود به عنوان مکمل مطالعات آزمایشگاهی امروزه از مقبولیت خاصی برخوردار است زیرا با استفاده از این روش و با صرف هزینه‌های اندک می‌توان تأثیر پارامترهای مختلف را در رفتار سازه‌ها مورد ارزیابی قرار داد.

در دو فصل قبل توضیحات کاملی در خصوص پیشینه تحقیقات مربوط به موضوع پایان‌نامه عنوان شد، همچنین نحوه مدل‌سازی عناصر محدود به تفصیل بیان گردید و قابلیت‌های مختلف المان‌های انتخاب شده در نرم‌افزار ABAQUS معرفی شد، همچنین در فصل سوم از پایان‌نامه جهت صحت سنجی مدل‌سازی عناصر محدود، مقایسه‌ای بین کار تجربی انجام شده، از کار آزمایشگاهی یک نمونه قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی صاف را که توسط اینراک چویی و همکاران در کره جنوبی در سال ۲۰۱۱ [۲۲] تحت بارگذاری استاتیکی و چرخه‌ای آزمایش شده است، استفاده شد. مقایسه بین نتایج عددی و آزمایشگاهی در مدل صحت سنجی حاکی از دقت قابل قبول مدل‌سازی عناصر محدود بوده و می‌توان از آن به عنوان پایه‌ای برای مطالعات حاضر استفاده نمود.

در فصل جاری تحلیل مربوط به مدل‌سازی رفتار لرزه‌ای قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار که با استفاده از حالت‌های مختلف عملکرد آن افزایش می‌یابد، بررسی می‌شود. هدف از تحلیل میکرومدل قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار در این پژوهش، بررسی عملکرد قاب بتن‌آرمه، منطبق با قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی صاف صحت سنجی شده در فصل سوم با نرم‌افزار المان محدود ABAQUS می‌باشد و از آنجایی که موضوع معرفی شده در این پایان‌نامه تأثیر حالت‌های مختلف تغییر شکل صفحه موجدار در

قاب بتن آرمه به روش المان محدود می‌باشد، لذا در قاب بتن آرمه مورد بررسی بعد از بررسی حالت عنوان شده در صحت سنجی (فصل سوم)، با استفاده از نمودار نیرو- جابه‌جایی پایش شده و باهم مقایسه می‌شوند. البته در خصوص پایش نمودارها، ابتدا نمودار نیرو و جابه‌جایی می‌بایست تمامی نمودارهای بار جابه‌جایی به صورت دوخطی تبدیل شده و فاکتورهای لرزه‌ای آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که این فاکتورها شامل حداکثر ظرفیت برش جانبی، حد مقاومت جاری شدن قاب، سختی الاستیک، شکل‌پذیری و جذب انرژی می‌باشد. همچنین مشخص می‌شود که تغییر حالت در کدام قسمت بیشترین تأثیر را دارد و میزان این تأثیر به چه میزان است.

۴-۲- معرفی تحلیل میکرومدل (بررسی به صورت المان محدود)

در این قسمت از پژوهش در جهت بررسی موضوع پایان‌نامه، همان‌طور که در مقدمه این فصل نیز بیان شد، یک قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار، منطبق با مشخصات فصل سوم همین پایان‌نامه می‌باشد، در ادامه تحقیقات فصل سوم به صورت المان محدود در فصل چهارم مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: ضمناً روند تحلیل میکرومدل تعریف شده یک قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار مبنا، مفروض این پایان‌نامه در نرم‌افزار المان محدود به صورت زیر می‌باشد:

۱- مدل‌سازی

۲- اختصاص خصوصیات مصالح

۳- اسمبل کردن ستون‌ها، تیرها و تکیه‌گاه‌ها در کنار یکدیگر

۴- اختصاص گام تحلیل

۵- اختصاص روابط اندرکنشی بین اعضا

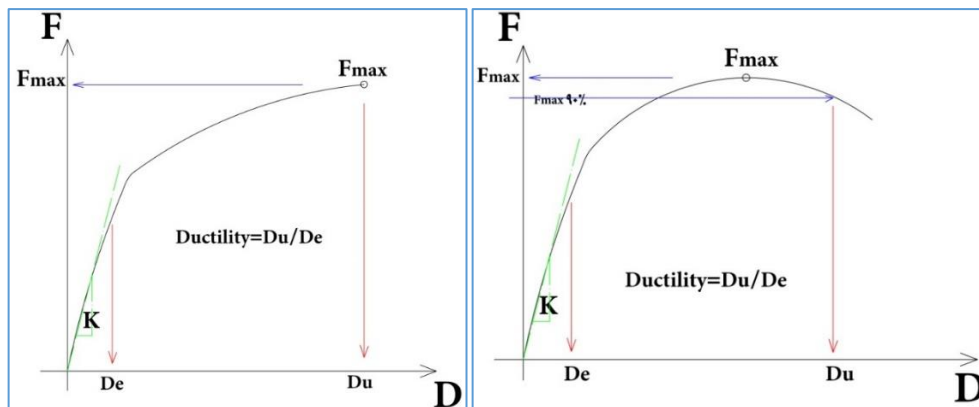
۶- تعریف شرایط مرزی و بارگذاری

۷- مش بندی مدل

۸- نتایج تحلیل

تمام بررسی‌های این قسمت به صورت بار جانبی به بالای تیر انجام می‌شود، بار اعمالی به صورت استاتیکی (به صورت کنترل جابه‌جایی) و افزایشی می‌باشد و مجموع عکس‌العمل نیز در جهت اعمال بار در پایه‌های مقید شده ثبت می‌شود، بدین صورت با ترسیم نمودار بار-جابه‌جایی اتصال می‌توان مقاومت جانبی آن را در حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه نمود. همچنین با توجه به اینکه مساحت زیر نمودار بار - جابه‌جایی میزان انرژی جذب‌شده قاب می‌باشد، می‌توان با اطلاعات استخراج‌شده از منحنی پوش برشی، انرژی جذب‌شده تجمعی را محاسبه نمود.

ضمناً ماکزیمم مقاومت ثبت‌شده در نمودار پوش برشی حداکثر مقاومت اتصال و شیب اولیه نمودار، سختی اولیه الاستیک اتصال می‌باشد. شکل‌پذیری نمودار بار جابه‌جایی نیز از میزان تقسیم جابه‌جایی معادل ۹۰ درصد ماکزیمم مقاومت به جابه‌جایی متناظر الاستیک به دست می‌آید توضیح اینکه اگر نمودار بار جابه‌جایی پس از اوج به صورت نزولی نرسیده باشد، شکل‌پذیری نمودار بار جابه‌جایی نیز از میزان تقسیم جابه‌جایی معادل آخرین نقطه مقاومت بر جابه‌جایی متناظر الاستیک به دست می‌آید (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱ نحوه محاسبه میزان شکل‌پذیری نمودار بار- جابه‌جایی.

در حالت کلی بعد از اتمام مدل نمونه مبنا موارد زیر جهت بررسی و مقایسه مطرح می‌باشد:

۱. محاسبه عملکرد جانبی قاب بتنی سه طبقه با ورق فولادی پرکننده موجدار کنترلی (پیش فرض).
۲. تأثیر ابعاد طول موج ورق فولادی پرکننده موجدار بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۳. تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۴. تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۵. تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.
۶. جمع بندی نتایج مربوط به عملکرد لرزه ای ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی.

۴-۳- محاسبه عملکرد جانبی سه طبقه با ورق فولادی پرکننده موجدار

کنترلی (نمونه پیش فرض)

رفتار لرزه ای قاب بتن آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار کنترلی، در نرم افزار المان محدود آباکوس، با مشخصات قسمت ۳-۸ فصل سوم می‌باشد، تمام مدل‌های مربوط به ایجاد قطعه به قطعه اعضاء اتصال در ماژول پارت^۱ ایجاد شده و در ماژول اسمبلی^۲ نرم افزار آباکوس تمام قطعه‌ها در کنار یکدیگر و در نقاط پیش‌بینی شده قرار گرفتند. نوع فولاد بکار گرفته شده برای اتصال کنترلی در ماژول خصوصیات^۳ نرم افزار آباکوس به اتصال و قطعات فولادی کنترلی اختصاص داده می‌شود.

همچنین روابط تماسی بین اعضاء فولاد، شرایط مرزی مفصلی در قسمت تحتانی و فوقانی ستون و مش بندی ستون به ترتیب ماژول اینتراکشن، بارگذاری و مش انجام شده است. ضمناً المان مقاطع تیر و ستون در تمام حالات از نوع C³D⁸R (المان مکعبی با تابع درجه یک و انتگرال گیری کاهش یافته) می‌باشد و

^۱ PART

^۲ ASSEMBLY

^۳ PROPERTY

همچنین المان مقاطع فولادی به کاررفته از نوع توپر S⁴R (المان پوسته‌ای ۴ گره‌ای دوطرفه‌ای منحنی نازک یا ضخیم با انتگرال‌گیری کاهش‌یافته و کرنش غشایی محدود) می‌باشد و نوع فولاد بکار گرفته‌شده برای ورق فولادی ستون کنترلی از نوع ورق با تنش تسلیم با توجه به جدول ۳-۱ می‌باشد.

نوع تحلیل به کار گرفته‌شده برای بارگذاری محوری از نوع دینامیکی صریح^۱ (شبه استاتیکی^۲) می‌باشد که در ماژول استپ^۳ (گام تحلیلی) در نظر گرفته‌شده است. همچنین گزینه تغییر شکل‌های بزرگ^۴ نیز فعال شده است تا نرم‌افزار تغییر شکل‌های ماندگار بارگذاری‌ها را در ادامه همدیگر در نظر بگیرد.

البته باید توجه داشت که نرم‌افزار المان محدود صرف‌نظر از اینکه اعضا با کمک ماژول اسمبلی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند را ملاک کنش و واکنش اعضا نسبت به یکدیگر قبول نمی‌کند و برای اینکه علاوه بر مماس بودن اعضا می‌بایست اتصال گیردار اعضا همانند اتصال ورق فولادی در کنار یکدیگر را موردپذیرش قرار دهد، ماژول اندرکنش^۵ وظیفه چنین امری را در نظر دارد که جهت چنین ارتباطی، در ابتدا می‌بایست در ماژول پارت مدل فولادی موردنظر مدل‌سازی شود بنابراین در ماژول اسمبلی مطابق با فصل سوم مونتاژ می‌شوند، همچنین در قسمت تحتانی و فوقانی ستون جهت تعریف شرایط مرزی مفصلی و در قسمت انتهایی تیر جهت تعریف بار (کنترل جابه‌جایی) می‌بایست در ماژول اینتراکشن سطح یکپارچه ایجاد و به یک نقطه مبنا اختصاص داده شود که به صورت قید کوپلی می‌باشد.

^۱ Dynamic, Implicit

^۲ Quasi-static

^۳ Step

^۴ Nlgeom

^۵ Interaction

جهت ارتباط و ایجاد کنش و واکنش اعضا نسبت به یکدیگر، بین قسمت مختلف تیر و ستون فولادی می‌بایست در مازول اینتراکشن قیود ارتباط گیرداری کامل ایجاد کرد، بنابراین قید Tie برای این ارتباط مشخص شده و اعمال می‌گردد.

اعمال شرایط مرزی و بارگذاری محوری در مازول بارگذاری^۱ صورت می‌گیرد. جهت تعریف بارگذاری ابتدا بارگذاری ثقلی با تعریف شتاب ثقلی زمین به کل نمونه اختصاص داده می‌شود سپس در نقاطی که قبلاً بر روی ستون در مازول Interaction به صورت سطوح یکپارچه پیش‌بینی شده بود بارگذاری اعمال می‌شود. شرایط مرزی در قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار کنترلی بدین صورت است که در مازول بارگذاری در قسمت تحتانی و فوقانی ستون به علت اینکه اتصال را مفصلی فرض می‌شود، لذا تمامی درجات آزادی حرکتی به طور کامل مقید ولی تمامی درجات آزادی دورانی به طور کامل آزاد می‌باشند. همچنین جهت بارگذاری درون صفحه‌ای اتصال در مازول بارگذاری از حرکت به سمت جانبی مقید می‌شود. نقطه اعمال بارگذاری قبلاً در قسمت انتهایی تیر در مازول Interaction به صورت سطح یکپارچه جانبی پیش‌بینی شده بود که در آن نقطه بارگذاری قائم اعمال می‌شود، چگونگی اعمال بارگذاری و شرایط مرزی حین اعمال بارگذاری همانند قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی صحت سنجی شده در فصل سوم توضیح داده شده است.

در مرحله آخر از آماده‌سازی مدل اتصال کنترلی در آنالیز عددی می‌بایست تمام اعضاء تعریفی را برای تحلیل با تقسیم‌بندی به صورت مش آماده ساخت. بدین منظور در مازول Mesh تمام اعضا به صورت مناسب تقسیم می‌شود زیرا با تقسیم بیشتر از حد، زمان تحلیل زیاد می‌شود و با تقسیم کمتر از حد لازمه نتیجه‌ای مناسب دریافت نمی‌شود بنابراین با توجه به پیش‌بینی‌ها از تک‌تک اعضا از نظر درجه اهمیت و احتمال به

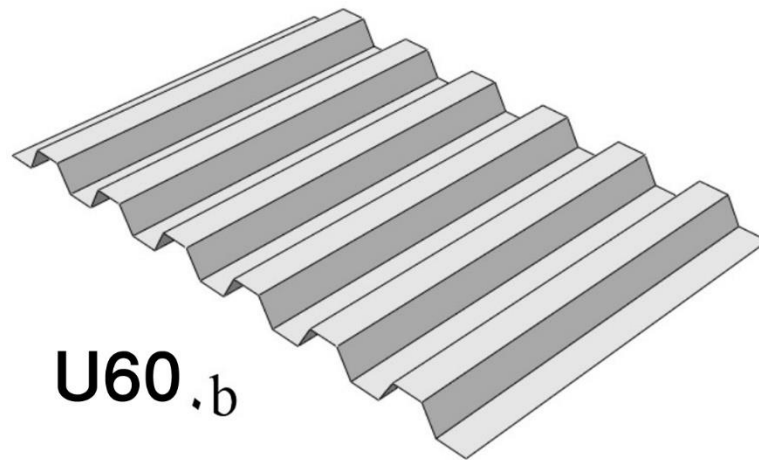
^۱ Load

وجود آمدن ناحیه پلاستیک احتمالی مش بندی انجام می شود. بعد از اینکه صحت اطلاعات ورودی به نرم افزار مورد بازبینی قرار گرفت، در ماژول انجام تحلیل^۱ نمونه تحلیلی مورد آنالیز و نتیجه تحلیل بعد از صرف زمان تحلیل مورد ارزیابی قرار می گیرد. بعد از اعمال آنالیز و تحلیل نتایج قابل توجهی در ماژول تجسم نتایج^۲ به دست می آید که تمامی نتایج نشان دهنده صحت سنجی مناسب بین نمونه آزمایشگاهی و نمونه کنترلی عددی می باشد.

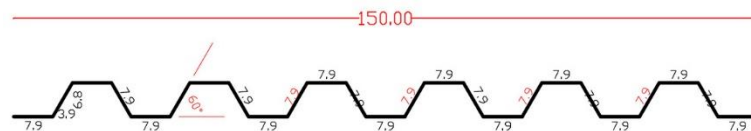
جهت معرفی قاب بتنی سه طبقه با ورق فولادی پرکننده موجدار کنترلی (نمونه مبنا) می بایست در فایلی جدا از نرم افزار آباکوس فقط جای ورق فولادی پرکننده صاف با ورق فولادی پرکننده موجدار عوض گردد و تمام تنظیمات اسمبلی و بارگذاری در جای خود ثابت باشد. با تعریف ورق فولادی پرکننده موجدار در ماژول پارت (از جنس Shell با همان ابعاد ورق فولادی پرکننده صاف) می توان در ماژول اسمبلی این ورق را در جای ورق صاف قرار داد. با این کار فقط تنظیمات اتصال در ماژول Interaction و مش بندی ورق فولادی پرکننده موجدار می بایست انجام شود و با انجام تحلیل پوش جانبی، در ماژول تجسم نتایج را ثبت و کنترل کرد. مدل ورق فولادی پرکننده موجدار با زاویه ۶۰ درجه در طول ورق یک و نیم متر ایجاد می گردد گام های ورق ۶۰ درجه با اندازه ثابت (۷/۹ سانتی متر) هر تغییر زاویه هندسه ورق ۶ گام می باشد که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. همچنین به علت اینکه هندسه ورق موجدار به شکل U می باشد، ورق مبنا با نام "U_{60.b}" معرفی می شود.

^۱ Job

^۲ Visualization

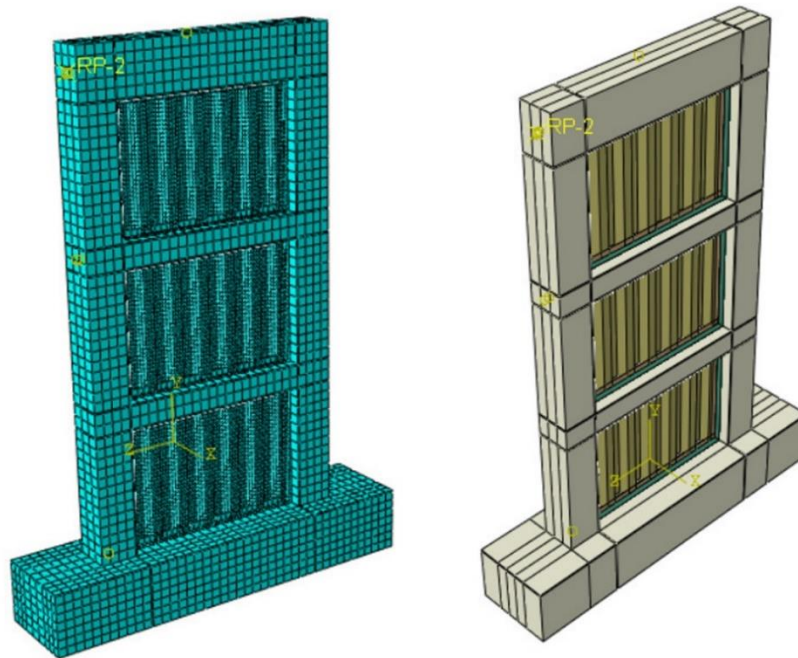


U60.b



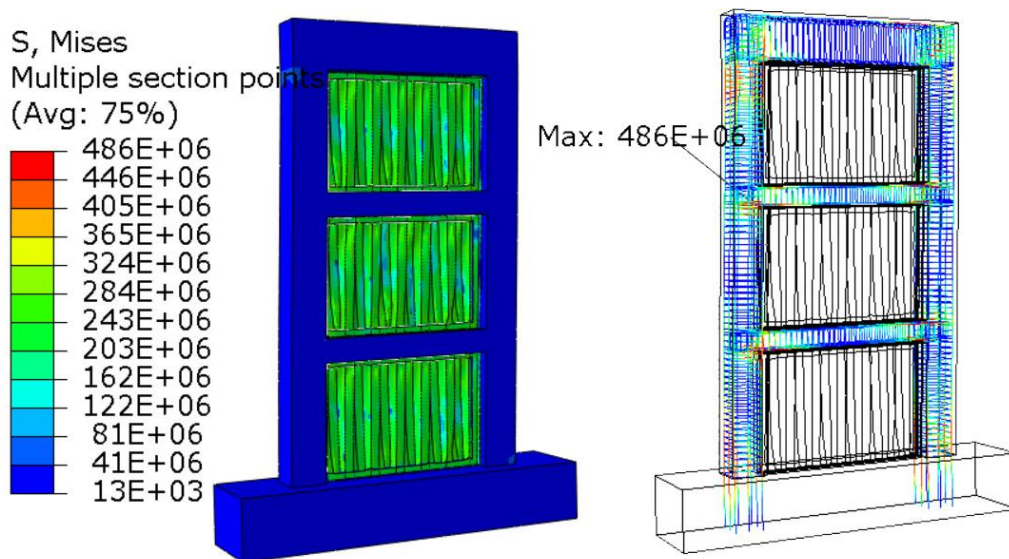
شکل ۴-۲- مدل ورق فولادی پرکننده موجدار با زاویه ۶۰ درجه و گام ۶ تایی در طول ورق ۱,۵ متری.

در شکل ۴-۳ نیز قرار دادن ورق U60.b در قالب بتنی در مازول اسمبلی و مش بندی نمونه U60.b را نشان می دهد.

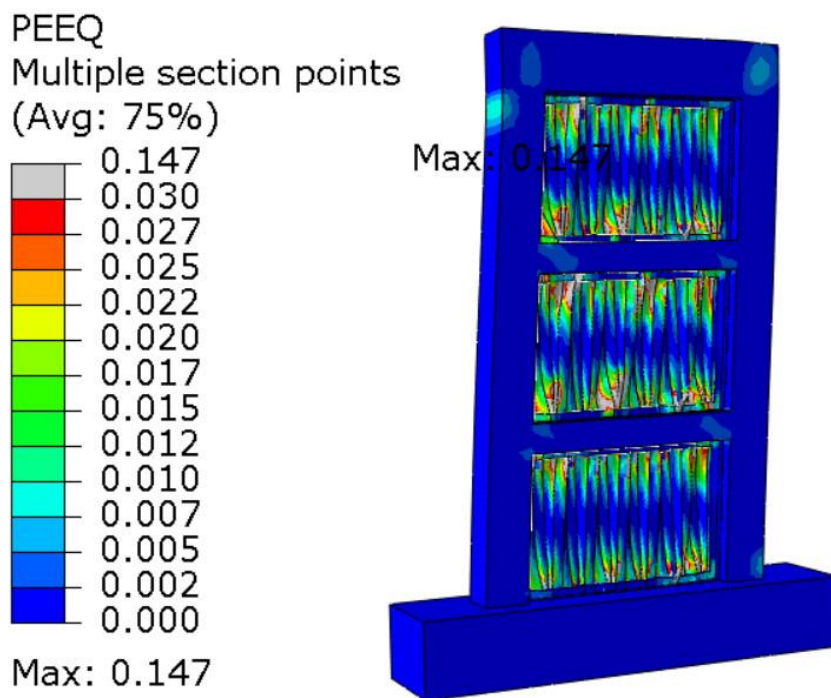


شکل ۴-۳- قرار دادن ورق و مش بندی نمونه U60.b در قالب بتنی در نرم افزار آباکوس.

در بررسی نتایج تحلیل پوش آور جانبی قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجداری کنترلی شکل ۴-۴ تنش فون مایسز و شکل ۴-۵ ناحیه پلاستیک ماندگار ورق فولادی موجداری کنترلی را نشان می‌دهد.

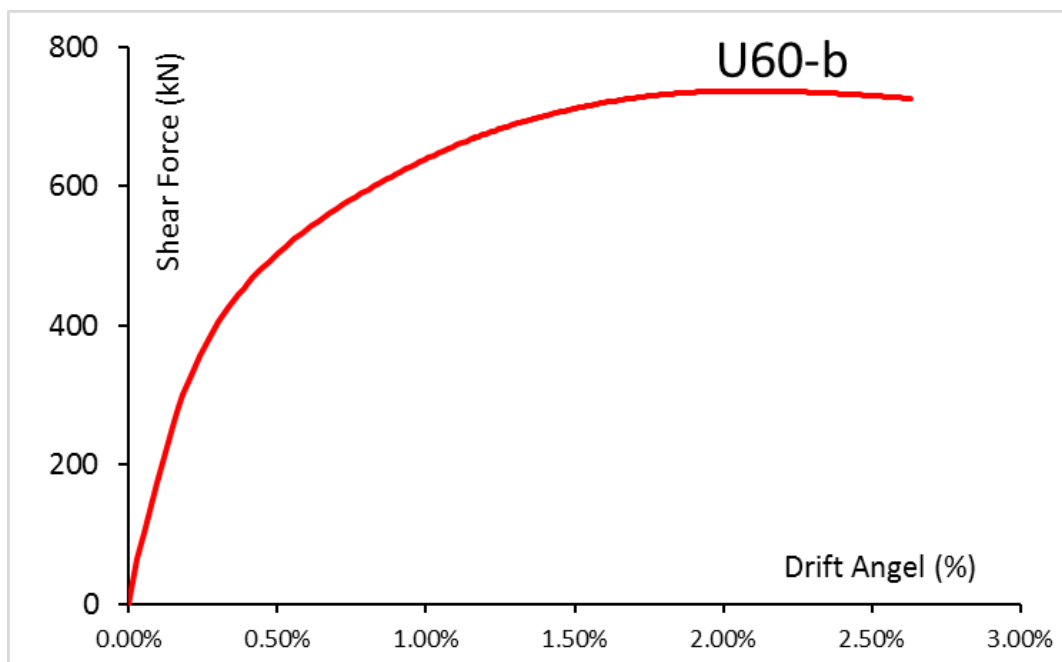


شکل ۴-۴ - تنش فون مایسز نمونه U_{60b} .



شکل ۴-۵ - ناحیه پلاستیک ماندگار نمونه U_{60b} .

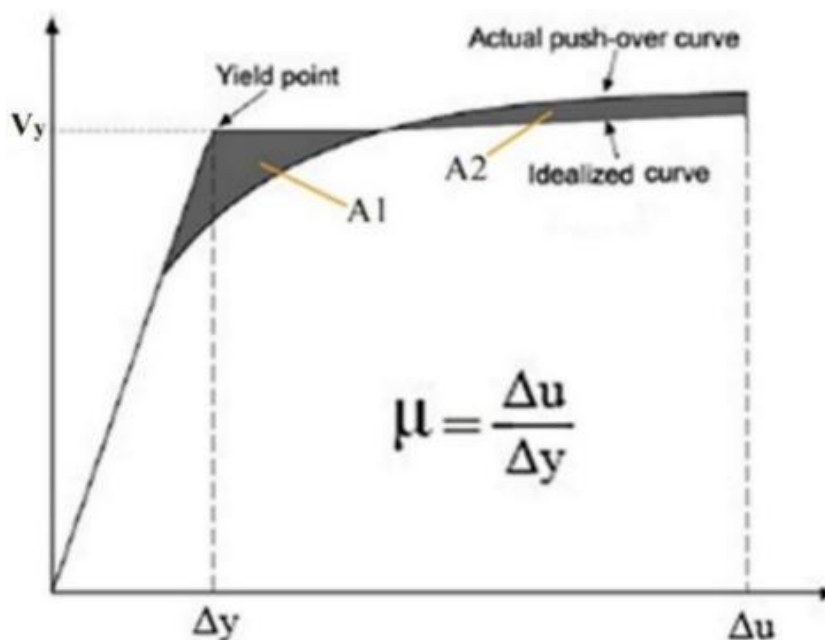
همچنین نمودار بار-جابه‌جایی نمونه U60-b در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶- نمودار بار-جابه‌جایی نمونه U60-b.

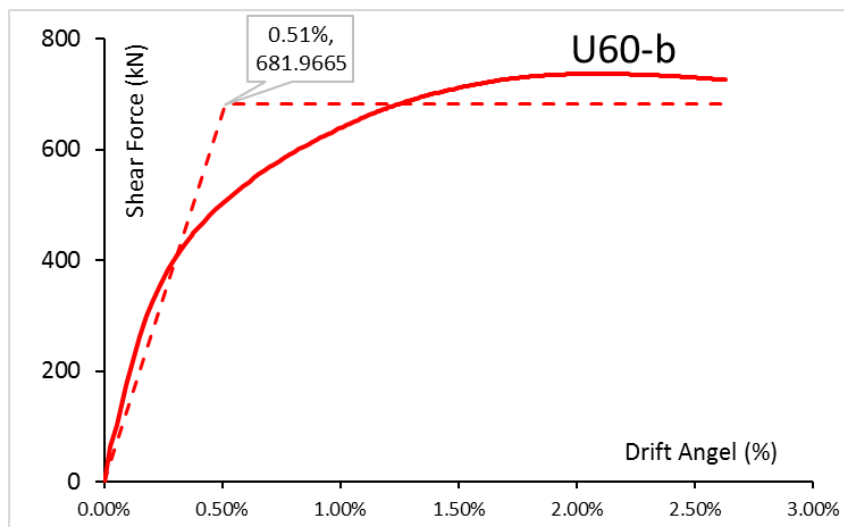
با توجه به شکل ۴-۶ حداکثر مقاومت ثبت شده نمودار بار- جابه‌جایی معیار عملکرد مقاومت قاب بتنی با دیوار برشی فولادی موجدار می‌باشد که برای نمونه U60-b مقاومت ۷۳۶ کیلونیوتن می‌باشد. در کنار معیار مقاومت، سازه باید سختی کافی داشته باشد تا تغییر شکل‌های بیش از حد مجاز در آن ایجاد نگردد. سختی عبارت است از میزان صلبیت در مقابل نیروی اعمالی می‌باشد که درواقع شیب نمودار پوش آور می‌باشد، بنابراین شیب اولیه نمودار بار- جابه‌جایی، سختی اولیه الاستیک ستون فولادی می‌باشد که با دوخطی کردن نمودار اطلاعات آن می‌تواند، حاصل گردد. الگوی شکل ۴-۷ نمودار معادل دوخطی ایده آل شده، نمودار پوش آور را نشان می‌دهد، طبق این الگو مساحت کم شده از نمودار پوش آور (A_2) با مساحت اضافه شده به نمودار ایده آل شده (A_1) می‌بایست باهم برابر باشند و نقطه متناظر نقطه تسلیم نمودار دوخطی، روی محور (افقی) جابه‌جایی و (عمودی) مقاومت، به ترتیب Δy و V_y می‌باشد. [۲۵]

معیار شکل پذیری درواقع قابلیت جذب و اتلاف انرژی در محدوده‌ی رفتارهای غیره خطی تحت اثر بارهای اعمالی می‌باشد که در شکل ۷-۴ شکل پذیري نمودار ایده آل شده (μ) از تقسیم میزان Δu به Δy به دست می‌آید. همچنین مساحت زیر نمودار بار- جابه‌جایی انرژی جذب‌شده نمودار می‌باشد؛ بنابراین تمام ویژگی‌های عملکرد لرزه‌ای ستون کنترلی شامل نیرو، زاویه رانش، سختی و شکل پذیری جهت کنترل دیگر نمونه‌ها مشخص می‌باشد. [۲۶]



شکل ۷-۴ - الگوی نمودار معادل دوخطی ایده آل شده نمودار پوش آور به روش انرژی معادل. [۲۶]

طبق الگوی شکل ۷-۴ می‌توان تمام نمودارهای بار- جابه‌جایی را به صورت نمودار معادل دوخطی ایده آل شده نمودار پوش آور تبدیل نمود، بنابراین نمودار معادل دوخطی ایده آل شده نمودار پوش آور نمونه $U_{60,b}$ در شکل ۸-۴ نشان داده می‌شود.



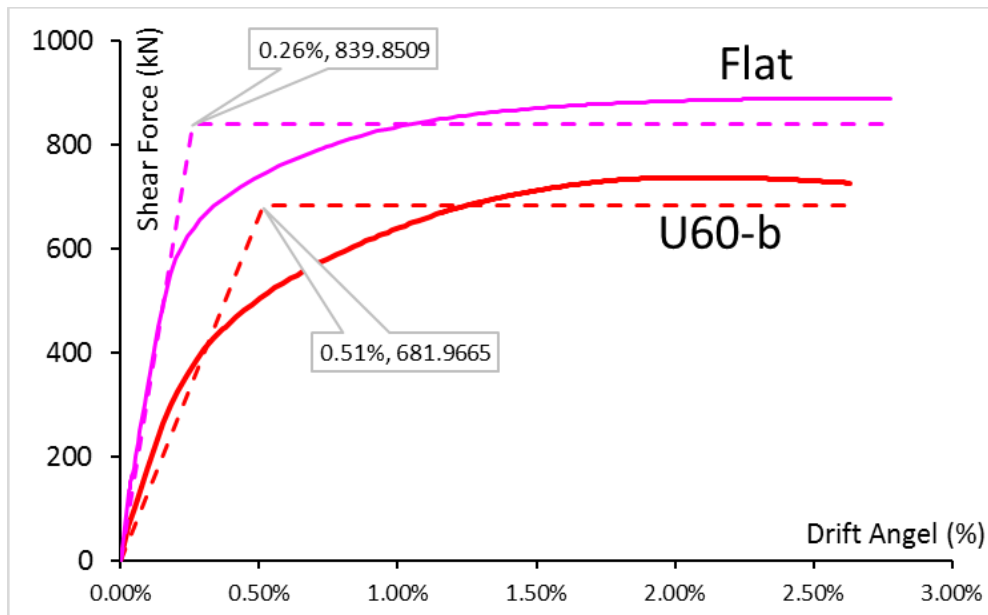
شکل ۴-۸- نمودار بار-جاب‌جایی معادل دوخطی ایده آل شده نمونه U_{60-b}.

همان‌طور که در نمودار دوخطی ایده آل شده نمودار پوش آور نمونه U_{60-b} در شکل ۴-۸ مشخص است، نقطه متناظر نقطه تسلیم نمودار دوخطی، روی محور (افقی) جابه‌جایی و (عمودی) مقاومت که Δy و V_y نمونه U_{60-b} بوده، به ترتیب ۵۱٪ و ۶۸۲ کیلونیوتن می‌باشند.

با تقسیم میزان V_y به میزان Δy میزان سختی اولیه قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی موجدار به دست می‌آید که این میزان تقریباً ۳۵ کیلونیوتن بر میلی‌متر می‌باشد، همچنین میزان Δu نمودار دوخطی نمونه U_{60-b}، ۶۳٪ می‌باشد که از تقسیم میزان Δu به Δy میزان شکل‌پذیری نمونه U_{60-b} برابر با ۵/۱۳ می‌باشد. مساحت زیر نمودار بار-جاب‌جایی انرژی جذب‌شده نمودار بوده و با محاسبه این مساحت انرژی جذب‌شده نمونه U_{60-b} برابر با ۱۶/۲۰ کیلونیوتن در متر به دست می‌آید.

اگر بتوان عملکرد لرزه‌ای (مقاومت، سختی، شکل‌پذیری و انرژی جذب‌شده) نمونه صحت سنجی شده در فصل سوم این پایان‌نامه یعنی نمونه قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف (نمونه Flat) را با عملکرد لرزه‌ای نمونه قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی موجدار کنترلی را مقایسه نمود می‌توان از تأثیر ورق فولادی پیشنهادی موجدار نسبت به نمونه ورق فولادی صاف متوجه شد؛ بنابراین در شکل ۴-۹ مقایسه

نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف (نمونه Flat) و قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی موجدار (نمونه U60.b) انجام می‌گردد.

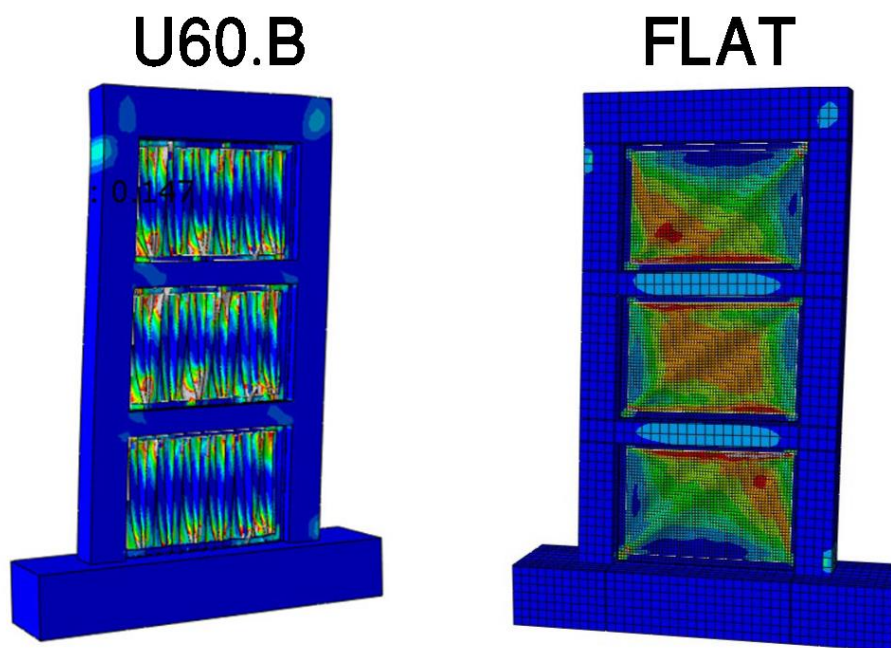


شکل ۴-۹- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف و موجدار. با مقایسه عملکردهای به‌دست‌آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف و موجدار در جدول ۴-۱ می‌توان از کم و کیف انتخاب ورق فولادی موجدار به جای ورق صاف در قاب بتنی متوجه شد.

جدول ۴-۱- مقایسه عملکردهای به‌دست‌آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف و موجدار.

	مقاومت P KN	سختی K KN/mm	شکل پذیری μ	انرژی جذب شده E KN*m
U60.b	736	34.97	5.13	61.54
Flat	889	84.54	10.06	79.76
	-0.17	-0.59	-0.49	-0.23

با توجه به جدول ۴-۱ و مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی صاف و موجدار مشخص گردیده است که تمام عملکردهای لرزه‌ای در نمونه قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی موجدار نسبت به نمونه قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی صاف ضعیف‌تر می‌باشد. اگر بتوان کرنش پلاستیک ماندگار دو نمونه صاف و موجدار را باهم مقایسه نمود می‌توان از کم و کیف این ویژگی در دو نمونه متوجه شد که در شکل ۴-۱۰ نشان داده می‌شود.



شکل ۴-۱۰- مقایسه کرنش پلاستیک ماندگار دو نمونه صاف و موجدار در قاب بتنی.

همان‌طور که در شکل ۴-۱۰ نیز مشاهده می‌شود، کرنش پلاستیک ماندگار در ورق فولادی صاف در تمام سطح آن به‌ویژه در وسط ورق نازک فولادی اتفاق می‌افتد ولی در ورق فولادی موجدار در ابتدا و انتهای آن یعنی در محل اتصال به ورق رابط به تیر بتنی اتفاق می‌افتد که این پدیده قابل تأمل است و نشان‌دهنده آن است که ورق فولادی موجدار از تمام ظرفیت خود استفاده نمی‌کند ولی ورق فولادی صاف از تمام ظرفیت خود استفاده کرده و کل ورق در بارگذاری جانبی جاری می‌شود.

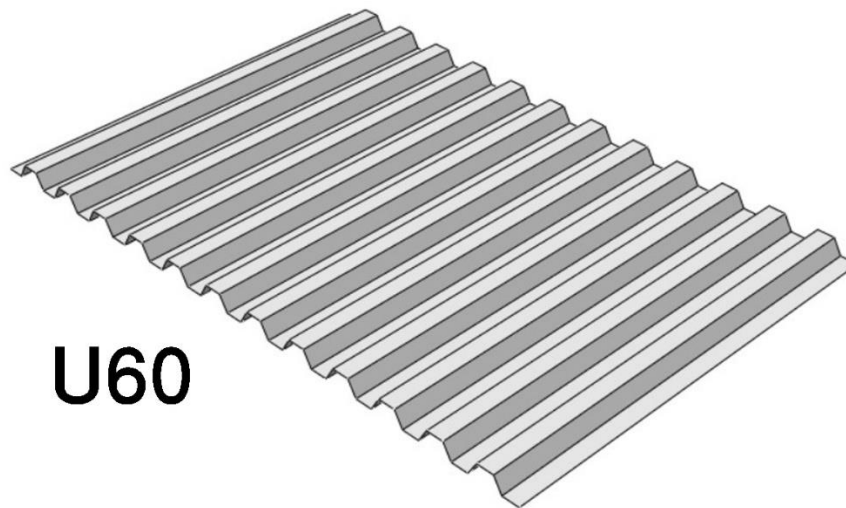
۴-۴- تأثیر ابعاد طول موج ورق پرکننده موجدار بر روی عملکرد جانبی قاب

بتنی.

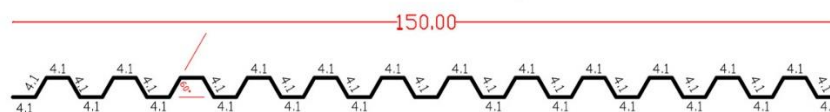
جهت شروع محاسبات پارامتریک در خصوص رفتار لرزه‌ای قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار ابتدا می‌بایست بررسی گردد که اگر ابعاد طول موج ورق فولادی به ورق صاف نزدیک‌تر شود (طول موج کوتاه‌تر یا گام‌های بیشتر) چه تأثیری در رفتار لرزه‌ای قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار می‌گذارد، علت این سناریو برمی‌گردد به جدول ۴-۱ که نمونه $U_{60,b}$ نسبت به نمونه Flat ضعیف‌تر می‌باشد.

بنابراین با کاهش طول موج (افزایش گام‌ها) وضعیت عملکرد رفتار لرزه‌ای قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار بررسی می‌گردد، روی این منوال مدل ورق فولادی پرکننده موجدار با زاویه ۶۰ درجه در طول ورق یک و نیم متر ایجاد می‌گردد گام‌های ورق ۶۰ درجه با اندازه ثابت (۴/۱ سانتی‌متر) هر تغییر زاویه هندسه ورق ۱۲ گام می‌باشد که در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است. همچنین به علت اینکه هندسه ورق موجدار به شکل U می‌باشد، ورق با نام " U_{60} " معرفی می‌شود. نکته قابل‌توجه در این مدل از ورق این است که تعداد گام نسبت به حالت قبل دو برابر شده است و یا طول موج نصف حالت قبل است. در شکل ۴-۱۲ نیز قرار دادن ورق U_{60} در قاب بتنی در مازول اسمبلی و مش بندی نمونه U_{60} را نشان می‌دهد.

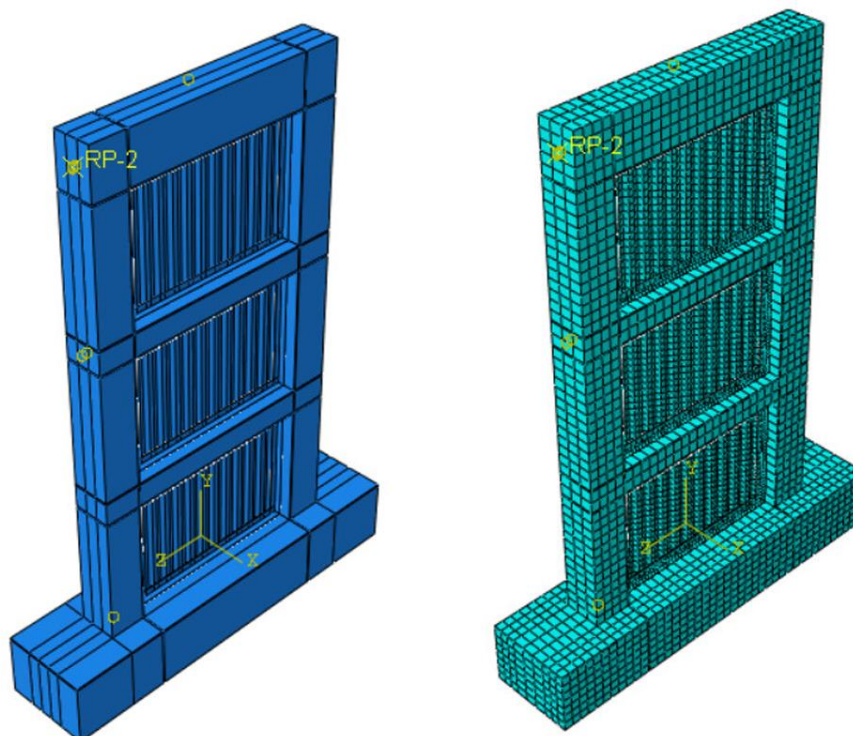
در بررسی نتایج تحلیل پوش آور جانبی قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار شکل ۴-۱۳ تنش فون مایسز و شکل ۴-۱۴ ناحیه پلاستیک ماندگار ورق فولادی موجدار نمونه U_{60} را نشان می‌دهد. همچنین نمودار بار-جابه‌جایی و ایده آل شده نمونه U_{60} در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است.



U60

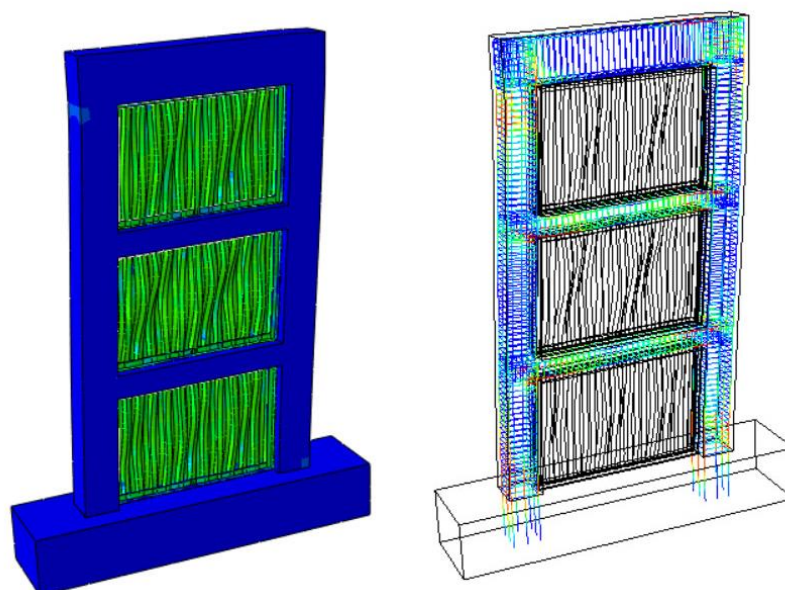
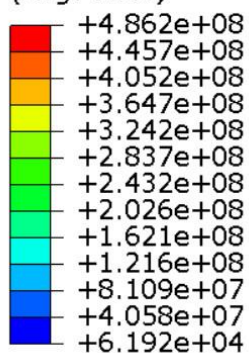


شکل ۴- ۱۱- مدل ورق فولادی پرکننده موجدار با زاویه ۶۰ درجه و گام ۱۲ تایی در طول ورق ۱,۵ متری.



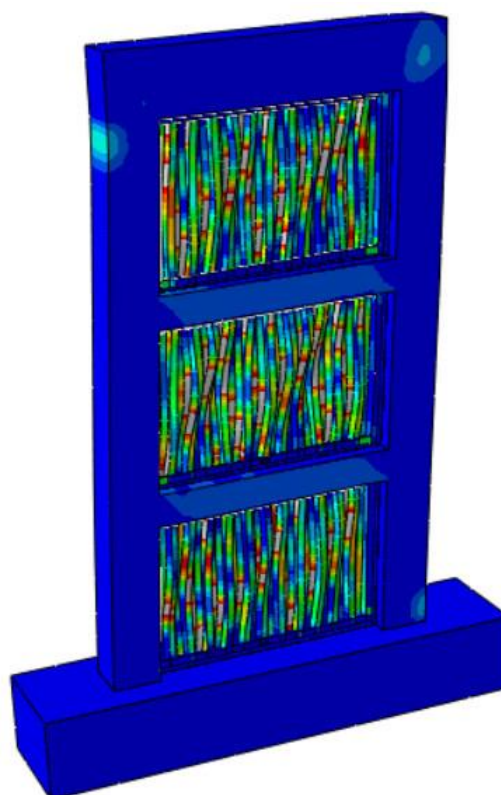
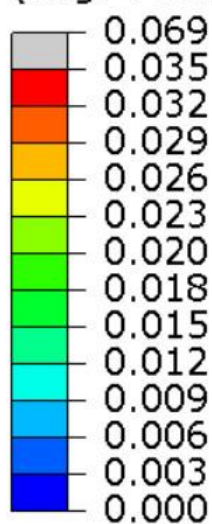
شکل ۴- ۱۲- قرار دادن ورق و مش بندی نمونه U60 در قاب بتنی در نرم افزار آباکوس.

S, Mises
Multiple section points
(Avg: 75%)

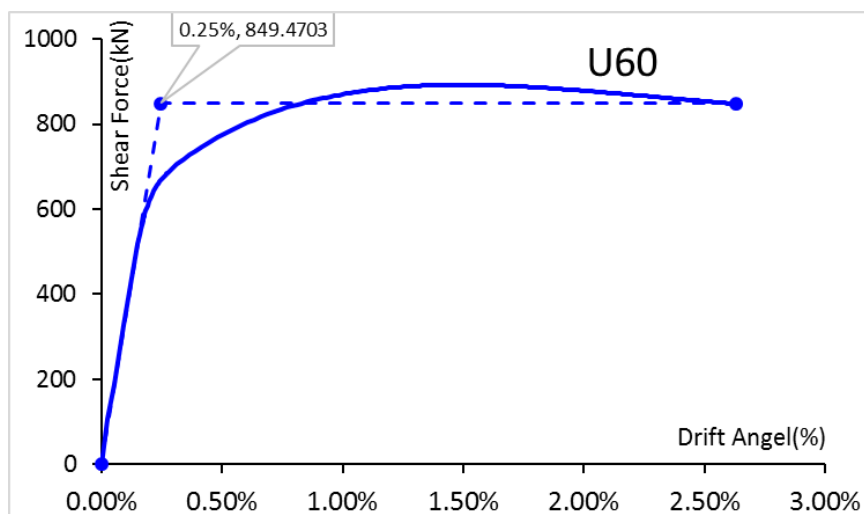


شکل ۴-۱۳- تنش فون مایسز نمونه U₆₀.

PEEQ
Multiple section points
(Avg: 75%)

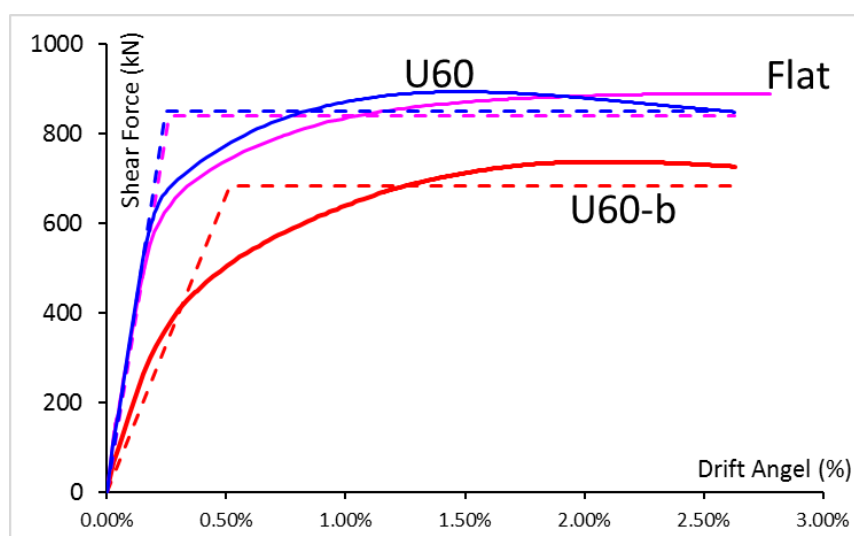


شکل ۴-۱۴- ناحیه پلاستیک ماندگار نمونه U₆₀.



شکل ۴-۱۵- نمودار بار-جاب‌جایی و ایده آل شده نمونه U60.

با توجه به شکل ۴-۱۵ حداکثر مقاومت ثبت‌شده نمودار بار-جاب‌جایی و ایده آل شده معیار عملکرد مقاومت قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی موجدار می‌باشد که برای نمونه U60 مقاومت ۸۹۳ کیلونیوتن می‌باشد. اگر نمودار بار-جاب‌جایی و ایده آل شده سه نمونه Flat، U60-b و U60 با یکدیگر مقایسه شوند می‌توان کم و کیف عملکردها را به‌خوبی مشاهده نمود، بنابراین در شکل ۴-۱۶ نمودار مقایسه‌ای مشاهده می‌شود.



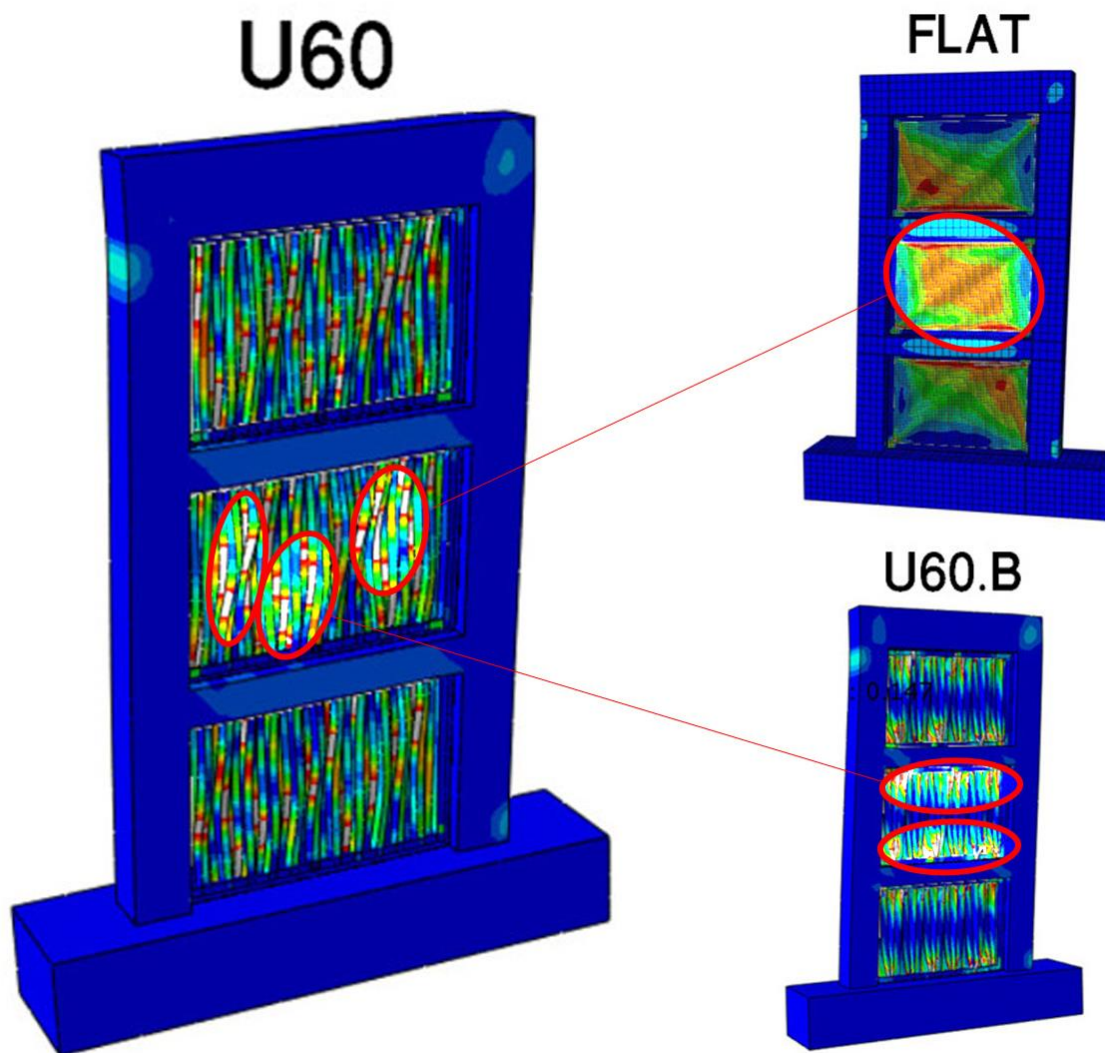
شکل ۴-۱۶- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی تأثیر تعداد گام بر عملکرد لرزه‌ای قاب بتنی و ورق پرکننده.

با مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد طول موج (تعداد گام) ورق پرکننده موجود بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی در جدول ۴-۲ می توان از کم و کیف انتخاب ورق فولادی موجود در جهت تأثیر ابعاد طول موج (تعداد گام) به جای ورق صاف در قاب بتنی متوجه شد.

جدول ۴-۲- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد طول موج (تعداد گام).

	مقاومت	سختی	انرژی جذب شده	شکل پذیری
	P	K	μ	E
	KN	KN/mm		KN*m
U60	893	90.40	10.65	80.96
Flat	889	84.54	10.06	79.76
U60.b	736	34.97	5.13	61.54

با توجه به جدول ۴-۲ و مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف و موجود در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد طول موج (تعداد گام)، مشخص گردیده است که با دو برابر کردن تعداد گام (نصف شدن طول موج) ورق پرکننده فولادی موجود (در نمونه U^{60} نسبت به نمونه $U^{60.b}$) تمام فاکتورهای عملکرد لرزه ای نسبت به نمونه ورق پرکننده فولادی صاف Flat در قاب بتنی بهبود و افزایش می یابد به طوری که معیار مقاومت، سختی، شکل پذیری و انرژی جذب شده به ترتیب ۴/۰٪، ۷/۰٪، ۸/۵٪ و ۵/۱٪ نسبت به نمونه Flat افزایش می یابد. اگر بتوان کرنش پلاستیک ماندگار سه نمونه را باهم مقایسه نمود می توان از کم و کیف این ویژگی در سه نمونه متوجه شد که در شکل ۴-۱۷ نشان داده می شود.



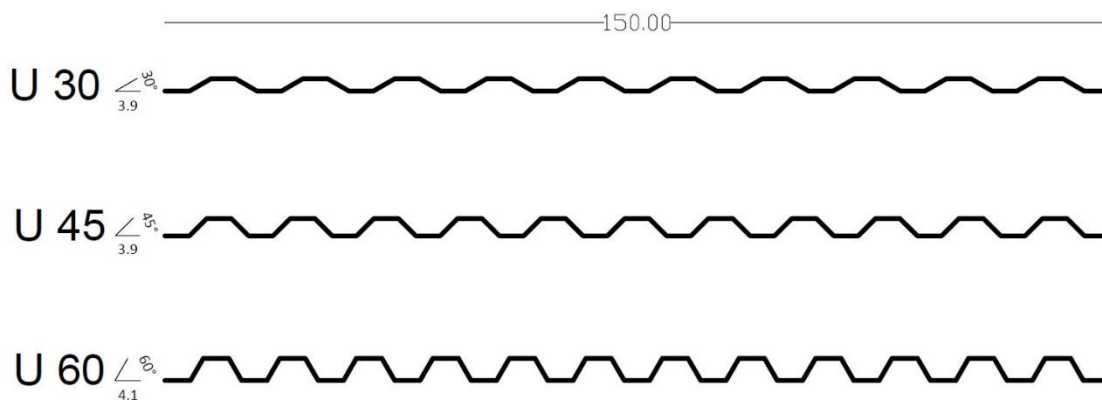
شکل ۴- ۱۷- مقایسه کرنش پلاستیک ماندگار سه نمونه (صاف و موجدار) در قاب بتنی.

در مقایسه کرنش پلاستیک ماندگار سه نمونه با توجه به اینکه تمام نمونه‌ها در محدوده کرنش پلاستیک ۳/۵ درصد محدود شده‌اند (به یک نسبت مقایسه می‌شوند) بنابراین می‌توان در خصوص آرایه کرنش پلاستیک ماندگار سه نمونه نتیجه‌گیری درستی نمود. در شکل ۴- ۱۷ سه نمونه در کنار یکدیگر مقایسه شدند و مشخص است که در نمونه U60 به علت اینکه طول موج ورق موجدار نسبت به نمونه U60.B ریزتر شده (به نوعی طول ورق نسبت به نمونه Flat بیشتر شده است)، کرنش پلاستیک ماندگار در نقاط و

محدوده‌های نامشخص از ورق پخش می‌شود، درحالی‌که کرنش پلاستیک ماندگار در ورق صاف در کل ورق و کرنش پلاستیک ماندگار در ورق موجدار نمونه $U_{60,0}$ (نمونه با طول موج بلند) در بالا و پایین ورق اتفاق می‌افتد که این پدیده نشان‌دهنده ظرفیت بالای ورق موجدار با طول موج پایین در قاب بتنی را دارد.

۴-۵- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی

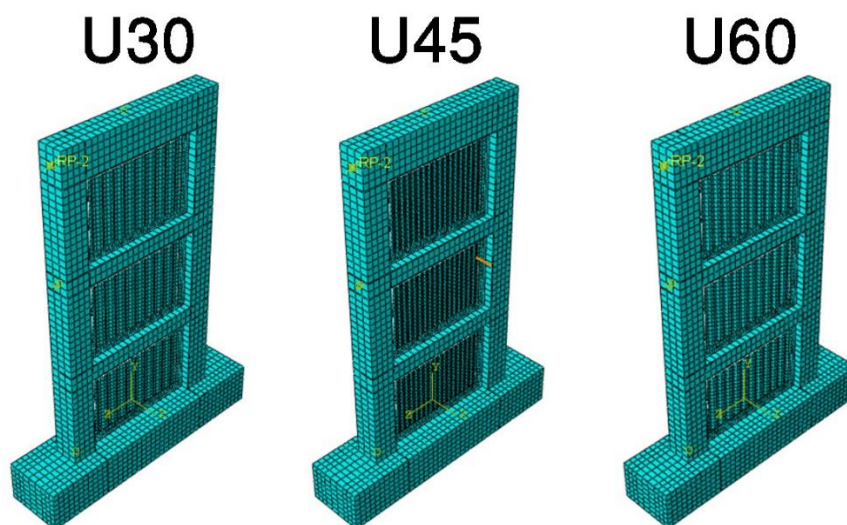
در این بخش از پایان‌نامه حاضر بررسی می‌گردد که اگر ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل با زاویه‌های دیگر در قاب بتنی قرار بگیرد چه تأثیری در رفتار لرزه‌ای قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار می‌گذارد، بنابراین سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار بر این منوال بررسی می‌گردد. شکل ۴-۱۸ جزئیات سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار نشان داده می‌شود.



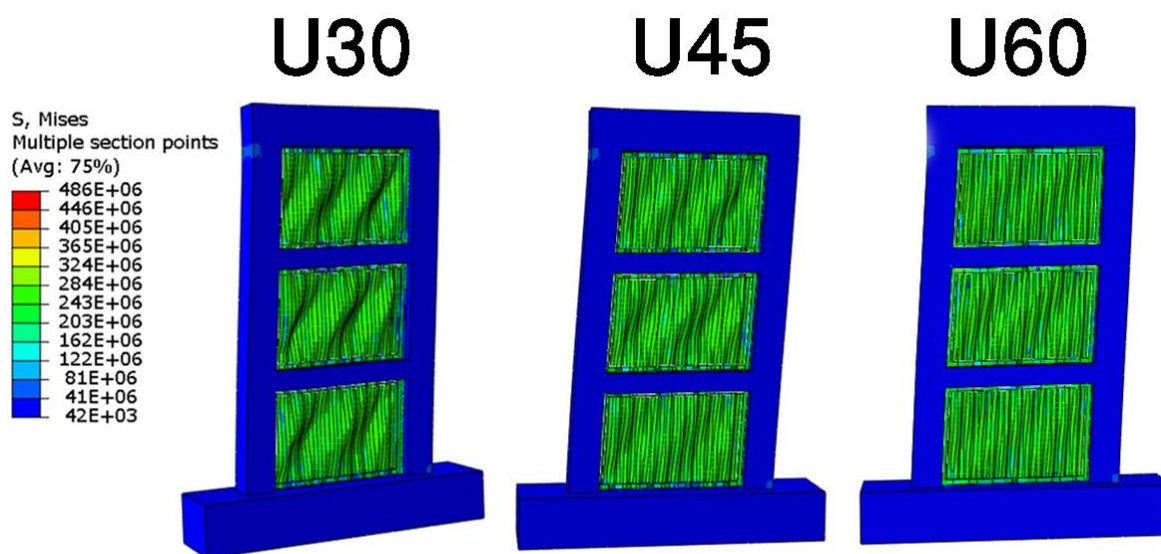
شکل ۴-۱۸- مدل ورق پرکننده موجدار U شکل با زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول ورق ۱،۵ متری.

با توجه به شکل ۴-۱۸ سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار در قاب بتن‌آرمه نشان داده شده است، روی این منوال مدل ورق فولادی پرکننده موجدار در طول ورق یک و نیم متر ایجاد می‌گردد، گام‌های ورق ۳۰ درجه با اندازه ثابت (۳/۹ سانتی‌متر) دارای ۱۰ گام، ورق ۴۵ درجه با

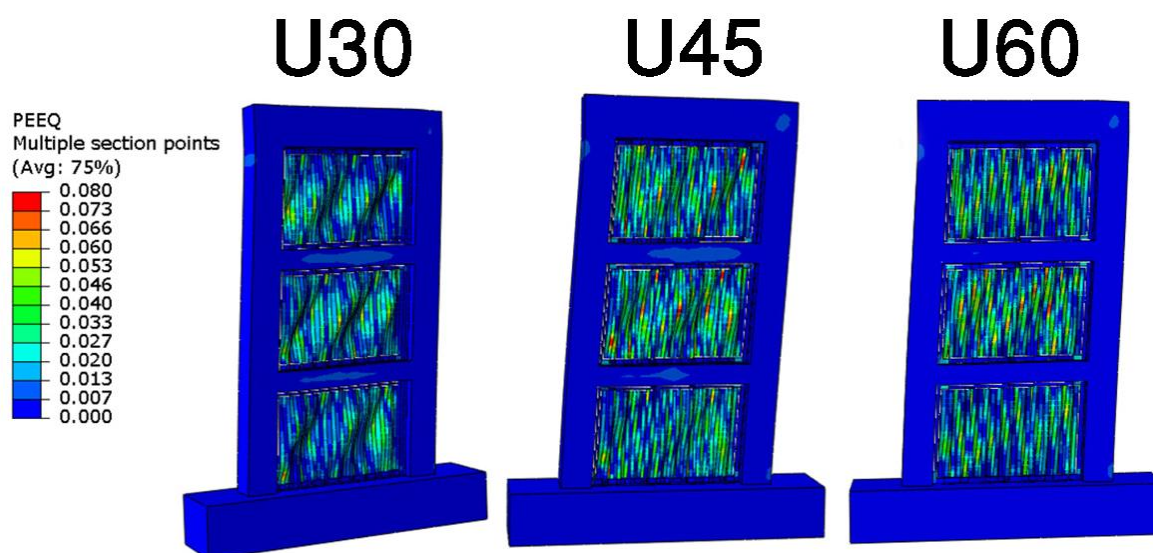
اندازه ثابت (۳/۹ سانتی‌متر) دارای ۱۱ گام و ورق ۶۰ درجه با اندازه ثابت (۴/۱ سانتی‌متر) دارای ۱۲ گام نشان داده شده است. همچنین به علت اینکه هندسه ورق موجدار به شکل U می‌باشد، ورق‌ها به ترتیب بانام‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰" معرفی می‌شوند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه موج ورق در ورق فولادی پرکننده موجدار تعداد گام نیز افزایش می‌یابد. در شکل ۴-۱۹ نیز قرار دادن ورق "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰" در قاب بتنی در مازول اسمبلی و مش بندی آن‌ها را نشان می‌دهد. در بررسی نتایج تحلیل پوش آور جانبی قاب بتن‌آرمه با دیوار برشی فولادی موجدار شکل ۴-۲۰ تنش فون مایسز و شکل ۴-۲۱ ناحیه پلاستیک ماندگار ورق فولادی موجدار نمونه‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰" را نشان می‌دهد. همچنین نمودار بار-جابجایی و ایده آل شده نمونه‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰" در شکل ۴-۲۲ و شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است.



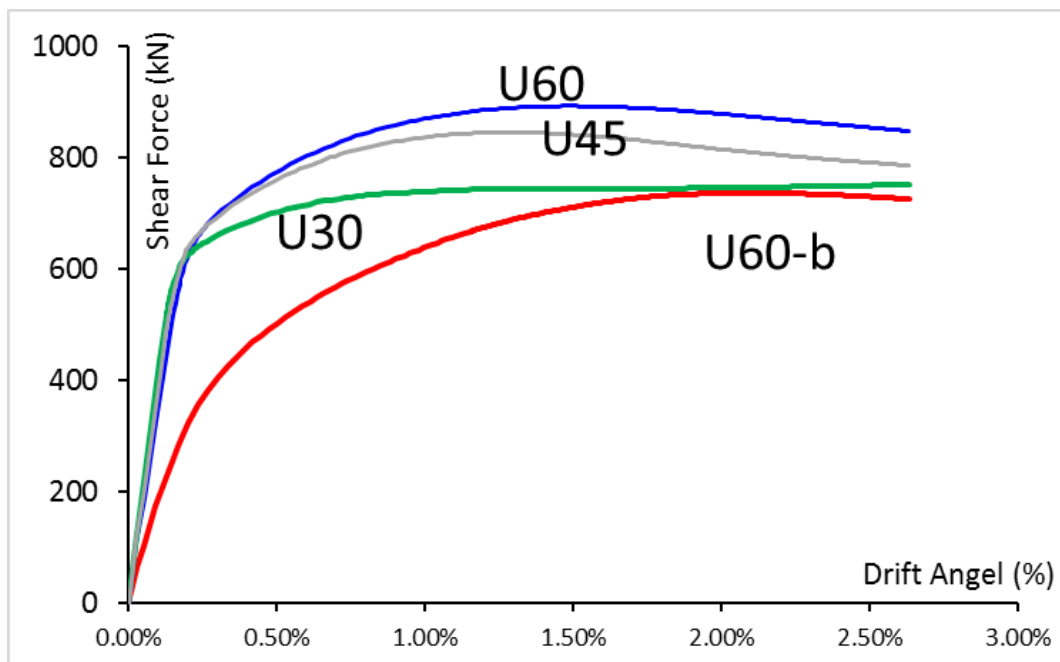
شکل ۴-۱۹ - قرار دادن ورق "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰" در قاب بتنی در مازول اسمبلی و مش بندی.



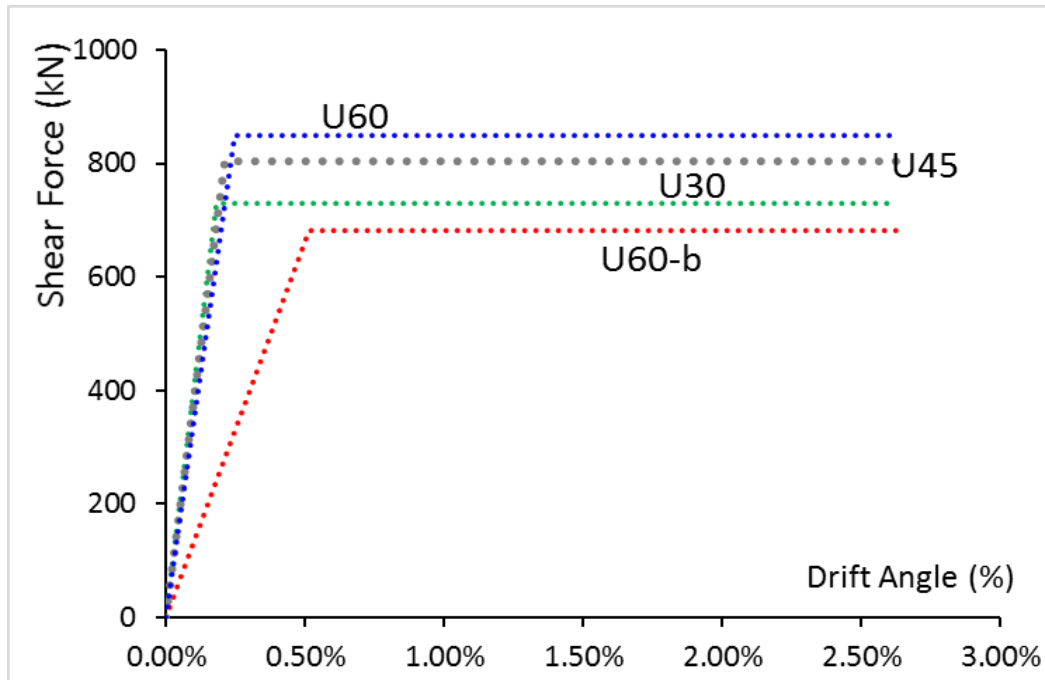
شکل ۴- ۲۰- تنش فون مایسز نمونه‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰".



شکل ۴- ۲۱- ناحیه پلاستیک ماندگار نمونه‌های "U۳۰"، "U۴۵" و "U۶۰".



شکل ۴-۲۲- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.



شکل ۴-۲۳- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی ایده آل شده قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

با مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی در جدول ۳-۴ می توان از کم و کیف انتخاب ورق فولادی موجدار در جهت تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی به جای ورق صاف در قاب بتنی متوجه شد.

جدول ۳-۴ - مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

	مقاومت	سختی	شکل پذیری	انرژی جذب شده
	P	K	μ	E
	KN	KN/mm		KN*m
U60	893	90.40	10.65	80.96
U45	845	99.88	12.42	77.19
U30	752	107.00	14.65	70.57
Flat	889	84.54	10.06	79.76
U60.b	736	34.97	5.13	61.54

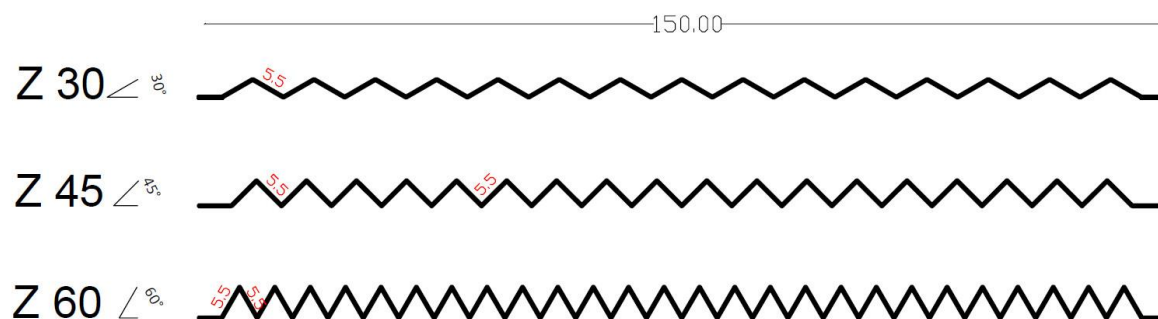
با توجه به جدول ۳-۴ و مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی صاف و موجدار در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی، مشخص گردیده است که وقتی زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل در قاب بتنی کم می گردد (از ۶۰ درجه به ۳۰ درجه) به نوعی با کاهش زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل و کاهش تعداد گام ورق موجدار، عملکردهای مقاومت و انرژی جذب شده جانبی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی کاهش می یابد و عملکردهای سختی اولیه و شکل پذیری جانبی افزایش می یابد

به طوری که انرژی جذب شده جانبی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی با کاهش زاویه موج (از ۶۰ درجه به ۳۰ درجه) ۴/۶٪ و ۱۲/۸۳٪ کاهش می یابد.

۴-۶- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد

جانبی قاب بتنی

در این بخش از پایان نامه حاضر بررسی می گردد که اگر ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل با زاویه های دیگر در قاب بتنی قرار بگیرد چه تأثیری در رفتار لرزه ای قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار می گذارد، بنابراین سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار بر این منوال بررسی می گردد. شکل ۴-۲۴ جزئیات سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار نشان داده می شود.

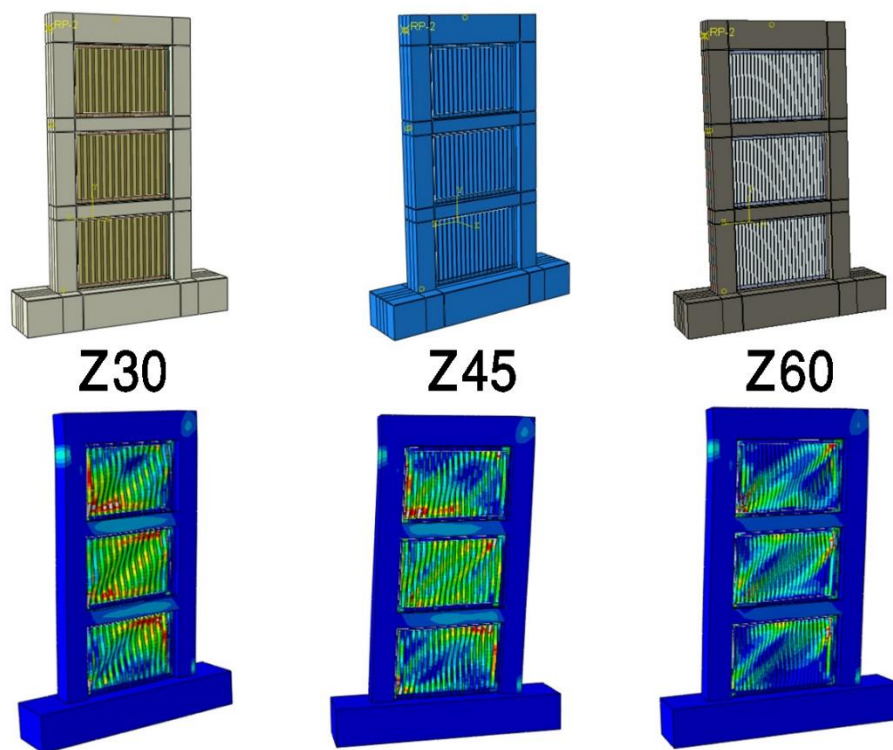


شکل ۴-۲۴- مدل ورق پرکننده موجدار Z شکل با زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول ورق ۱،۵ متری.

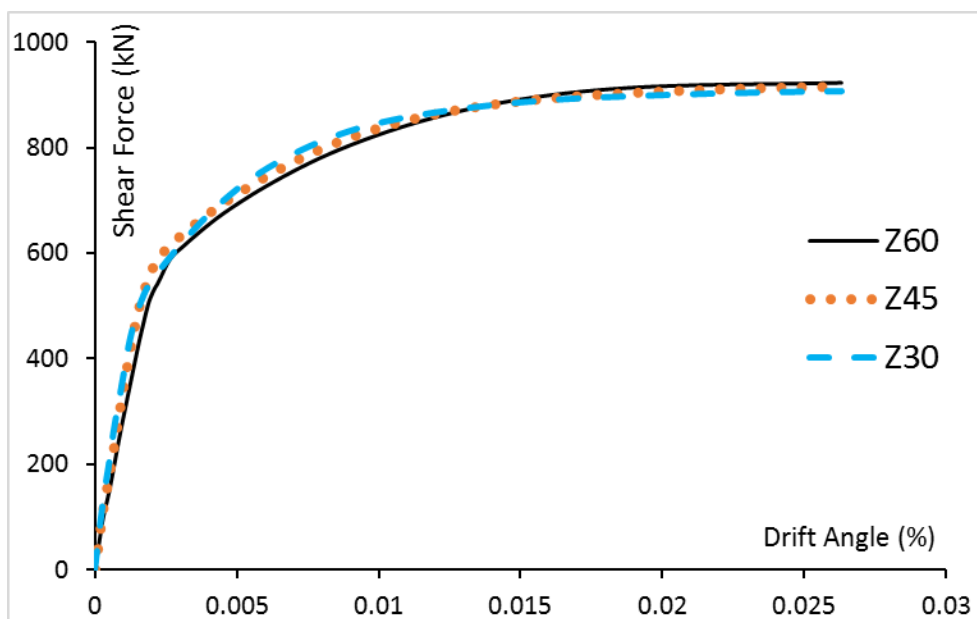
با توجه به شکل ۴-۲۴ سه زاویه موج ۲۷، ۴۵ و ۶۰ درجه صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار در قاب بتن آرمه نشان داده شده است، روی این منوال مدل ورق فولادی پرکننده موجدار در طول ورق یک و نیم متر ایجاد می گردد، گام های ورق ۳۰ درجه با اندازه ثابت (۵/۵ سانتی متر) دارای ۱۵ گام، ورق ۴۵ درجه با اندازه ثابت (۵/۵ سانتی متر) دارای ۱۸ گام و ورق ۶۰ درجه با اندازه ثابت (۵/۵ سانتی متر) دارای ۲۶ گام

نشان داده شده است. همچنین به علت اینکه هندسه ورق موجدار به شکل S می باشد، ورق ها به ترتیب بانام های "Z۳۰"، "Z۴۵" و "Z۶۰" معرفی می شوند. همان طور که مشاهده می شود با افزایش زاویه موج ورق در ورق فولادی پرکننده موجدار تعداد گام نیز افزایش می یابد.

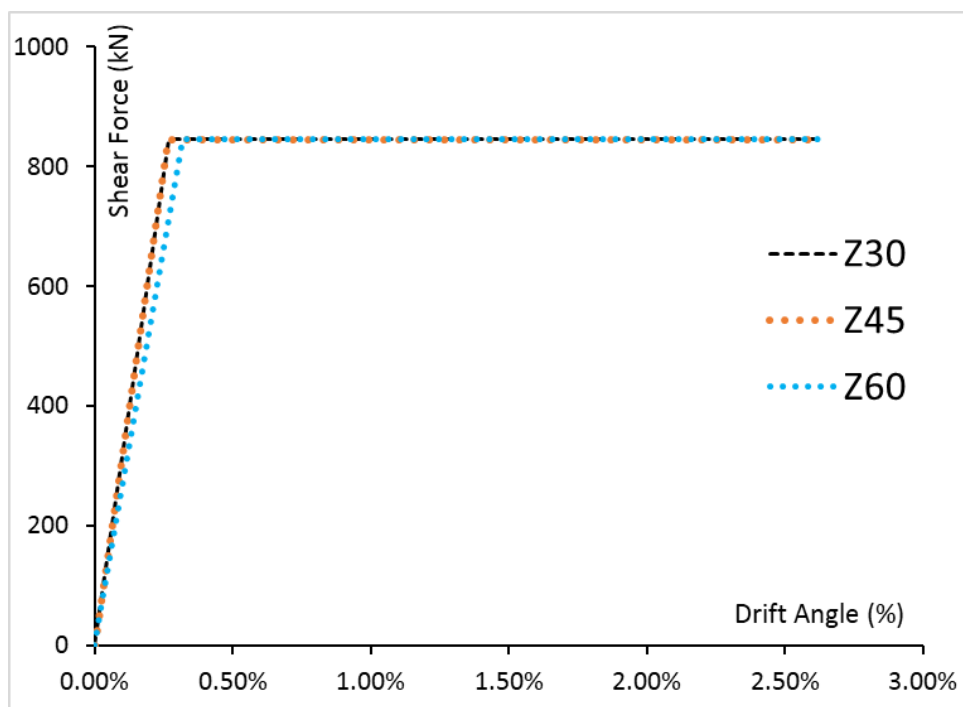
در شکل ۴-۲۵ نیز قرار دادن ورق "Z۳۰"، "Z۴۵" و "Z۶۰" در قاب بتنی در ماژول اسمبلی و کرنش پلاستیک ماندگار (با محدودیت ۰.۳/۵) آن ها را نشان می دهد. همچنین نمودار بار-جابجایی و ایده آل شده نمونه های "Z۳۰"، "Z۴۵" و "Z۶۰" در شکل ۴-۲۶ و شکل ۴-۲۷ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۵- قرار دادن ورق "Z۳۰"، "Z۴۵" و "Z۶۰" در قاب بتنی در ماژول اسمبلی و نمایش کرنش پلاستیک ماندگار آن ها (با محدودیت ۰.۳/۵).



شکل ۴- ۲۶- مقایسه نمودار بار-جابہ جایی قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.



شکل ۴- ۲۷- مقایسه نمودار بار-جابہ جایی ایده آل شده قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

با مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی در جدول ۴-۴ می توان از کم و کیف انتخاب ورق فولادی موجدار در جهت تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی به جای ورق صاف در قاب بتنی متوجه شد.

جدول ۴-۴ - مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

	مقاومت	سختی	انرژی جذب شده شکل پذیری	
	P	K	μ	E
	KN	KN/mm		KN*m
Z60	923	70.13	8.29	80.96
Z45	915	83.18	9.86	80.12
Z30	908	82.36	9.73	80.27
Flat	889	84.54	10.06	79.76

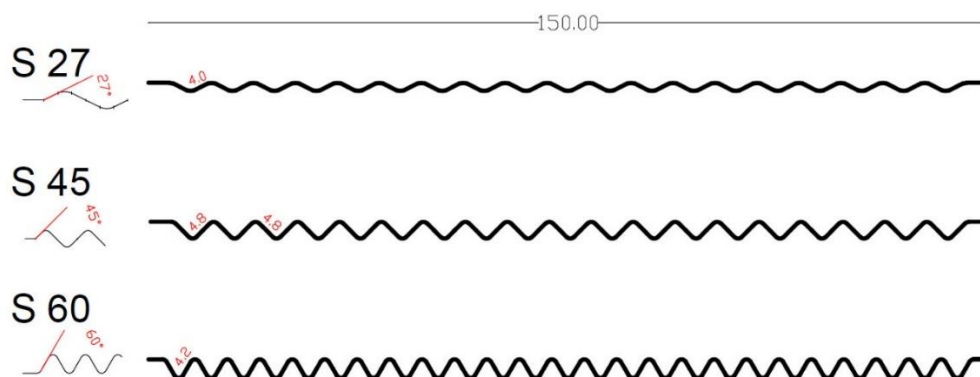
با توجه به جدول ۴-۴ و مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی صاف و موجدار در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی، مشخص گردیده است که وقتی زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل در قاب بتنی کم می گردد (از ۶۰ درجه به ۳۰ درجه) به نوعی با کاهش زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل و کاهش تعداد گام ورق موجدار، عملکردهای مقاومت و انرژی جذب شده جانبی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی اندکی کاهش می یابد ولی عملکردهای سختی اولیه و شکل پذیری جانبی افزایش

می‌یابد. درنهایت با مقایسه کلی نمونه‌ها انرژی جذب‌شده سه نمونه ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل تقریباً برابر و نسبت به عملکرد قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی صاف را کمی بهبود بخشیده است.

۴-۷- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی

عملکرد جانبی قاب بتنی

در این بخش از پایان‌نامه حاضر بررسی می‌گردد که اگر ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل با زاویه‌های دیگر در قاب بتنی قرار بگیرد چه تأثیری در رفتار لرزه‌ای قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار می‌گذارد، بنابراین سه زاویه موج ۲۷، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار بر این منوال بررسی می‌گردد. شکل ۴-۲۸ جزئیات سه زاویه موج ۲۷، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار نشان داده می‌شود.

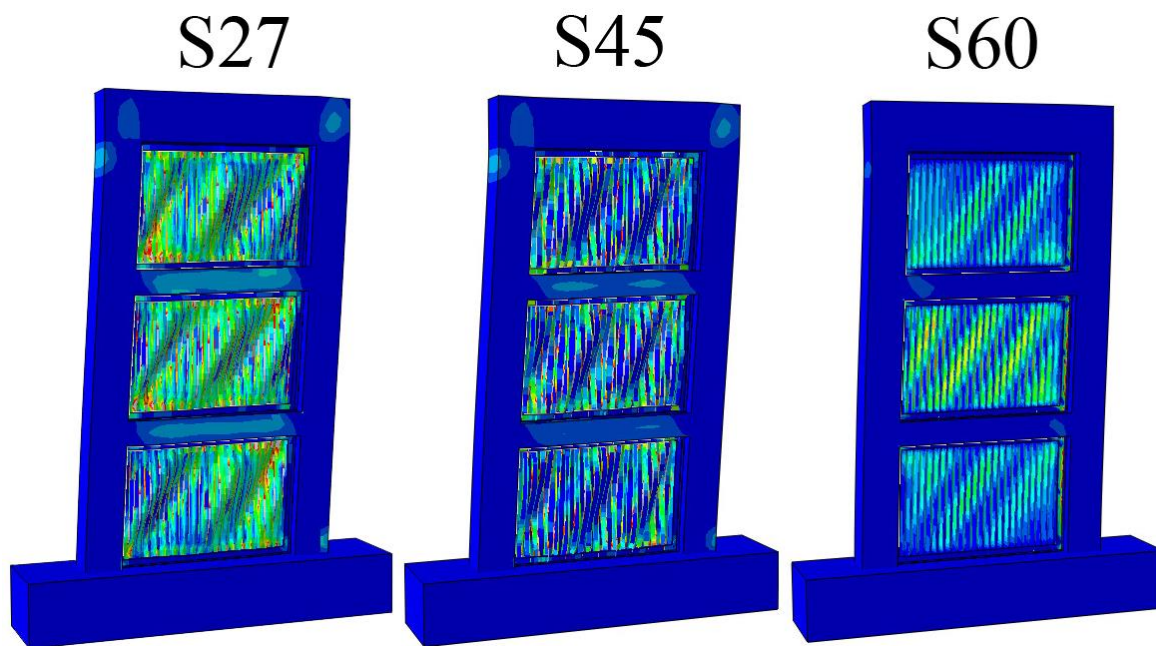


شکل ۴-۲۸- مدل ورق پرکننده موجدار S شکل با زاویه ۲۷، ۴۵ و ۶۰ درجه در طول ورق ۱،۵ متری.

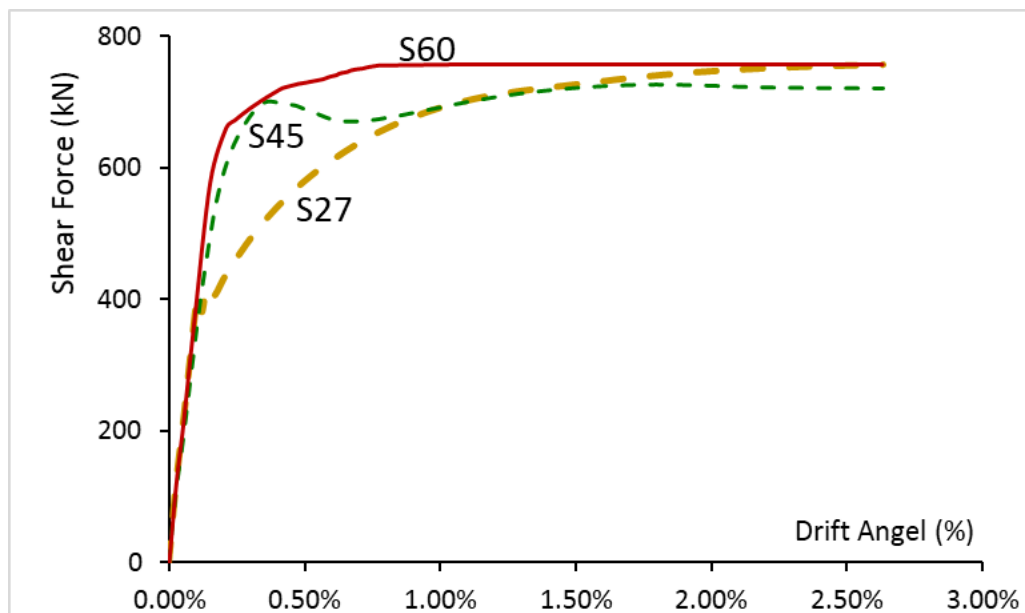
با توجه به شکل ۴-۲۸ سه زاویه موج ۲۷، ۴۵ و ۶۰ درجه صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار در قاب بتن‌آرمه نشان داده شده است، روی این منوال مدل ورق فولادی پرکننده موجدار در طول ورق یک و نیم متر ایجاد می‌گردد، گام‌های ورق ۲۷ درجه با اندازه ثابت (۴/۰ سانتی‌متر) دارای ۱۸ گام، ورق ۴۵ درجه با اندازه ثابت (۴/۸ سانتی‌متر) دارای ۱۸ گام و ورق ۶۰ درجه با اندازه ثابت (۴/۲ سانتی‌متر) دارای ۲۴ گام

نشان داده شده است. همچنین به علت اینکه هندسه ورق موجدار به شکل S می باشد، ورق ها به ترتیب بانام های "S۲۷"، "S۴۵" و "S۶۰" معرفی می شوند. همان طور که مشاهده می شود با افزایش زاویه موج ورق در ورق فولادی پرکننده موجدار تعداد گام نیز افزایش می یابد.

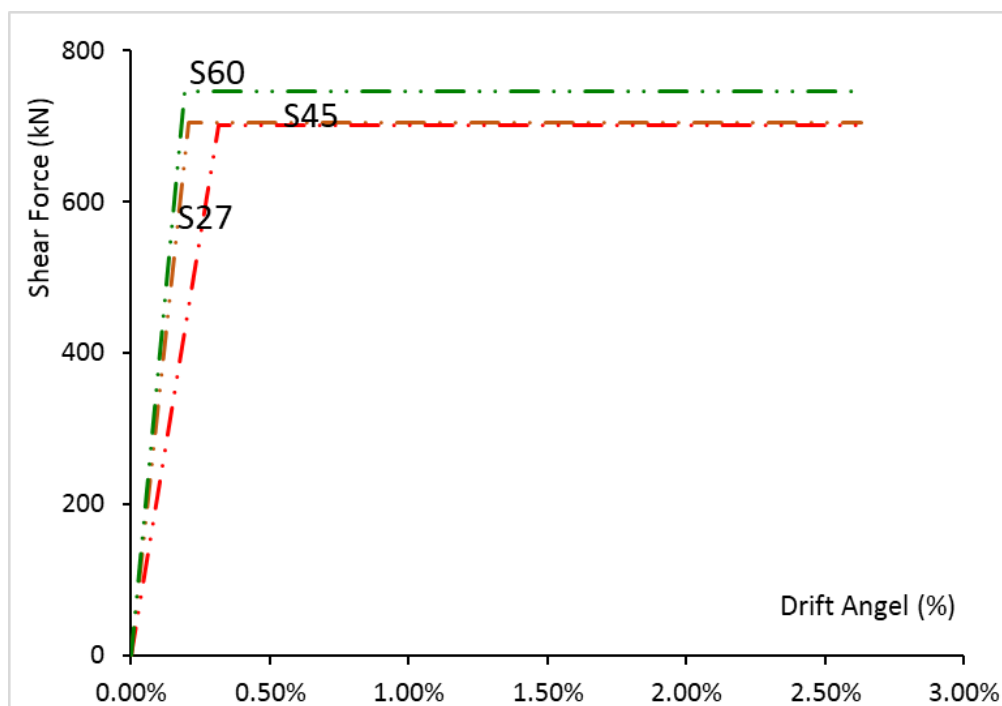
در شکل ۴-۲۹ نیز قرار دادن ورق "S۲۷"، "S۴۵" و "S۶۰" در قاب بتنی و نمایش کرنش پلاستیک ماندگار آنها (با محدودیت ۰.۳/۵) را نشان می دهد. همچنین نمودار بار-جابجایی و ایده آل شده نمونه های "S۲۷"، "S۴۵" و "S۶۰" در شکل ۴-۳۰ و شکل ۴-۳۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۹- قرار دادن ورق "S۲۷"، "S۴۵" و "S۶۰" در قاب بتنی و نمایش کرنش پلاستیک ماندگار آنها (با محدودیت ۰.۳/۵).



شکل ۴-۳۰- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.



شکل ۴-۳۱- مقایسه نمودار بار-جاب‌جایی ایده آل شده قاب بتنی و ورق پرکننده جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

با مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی در جدول ۴-۵ می توان از کم و کیف انتخاب ورق فولادی موجدار در جهت تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی به جای ورق صاف در قاب بتنی متوجه شد.

جدول ۴-۵- مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی.

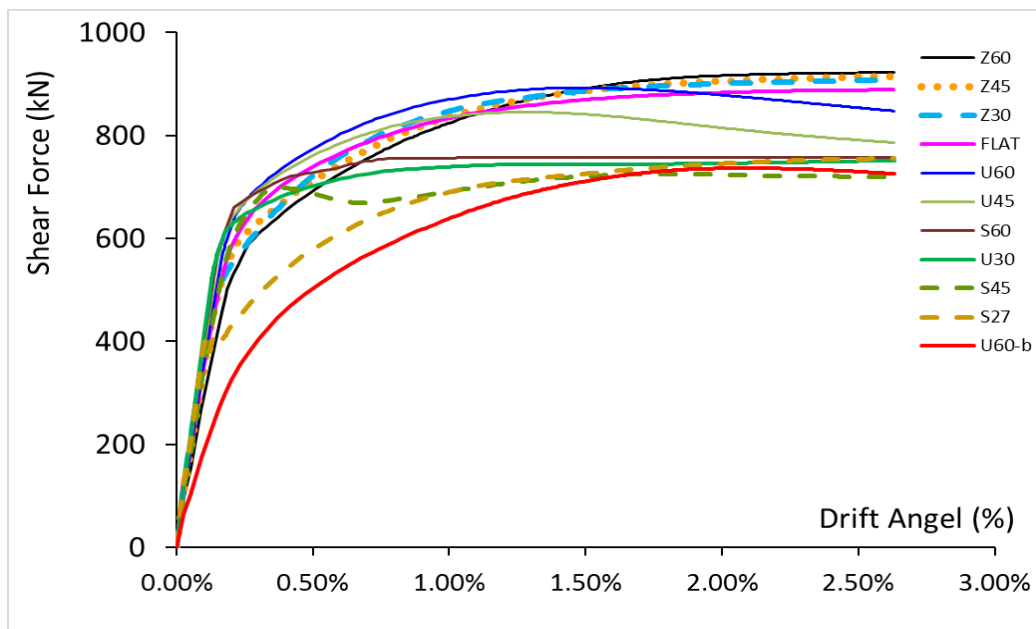
	مقاومت	سختی	انرژی جذب شده شکل پذیری	
	P	K	μ	E
	KN	KN/mm		KN*m
S60	757	102.14	13.67	71.97
S45	757	88.75	12.60	67.63
S27	756	58.48	8.34	65.94
Flat	889	84.54	10.06	79.76

با توجه به جدول ۴-۵ و مقایسه عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی صاف و موجدار در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی، مشخص گردیده است که وقتی زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل در قاب بتنی کم می گردد (از ۶۰ درجه به ۲۷ درجه) به نوعی با کاهش زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل و کاهش تعداد گام ورق موجدار، عملکردهای مقاومت جانبی قاب بتنی به همراه دیوار برشی فولادی اندکی کاهش می یابد ولی عملکردهای سختی اولیه و شکل پذیری جانبی کاهش می یابد. در نهایت با مقایسه کلی نمونه ها انرژی جذب شده سه نمونه ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل وقتی زاویه موج ورق فولادی

پرکننده موجدار S شکل در قاب بتنی کم می‌گردد، انرژی جذب‌شده نیز کاهش می‌یابد و این مقادیر نسبت به عملکرد قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف، کمتر می‌باشد.

۴-۸- جمع‌بندی نتایج مربوط به عملکرد لرزه‌ای ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی

در این قسمت از پژوهش با پایان یافتن محاسبات پارامتریک لازم است که بر روی عملکردهای لرزه‌ای آنها بحث و نتیجه‌گیری گردد، روی این منوال نمودار بار-جابجایی کلیه نمونه‌های موردبررسی در شکل ۴-۳۲ نشان داده شده است و جدول ۴-۶ تمام عملکردهای لرزه‌ای نمونه‌های موردبررسی سورت شده با فاکتور عملکرد انرژی جذب‌شده را نشان می‌دهد. در شکل ۴-۳۲ همچنین می‌توان عملکرد کلیه نمونه‌ها را در کنار یکدیگر مقایسه نمود، طبق این شکل آنچه بیشتر مشهود است، این است که نمونه U60-b بسیار نمونه‌ای با عملکرد ضعیف بوده و نمونه‌های S27 و S45 نیز عملکرد چندان بالایی ندارند. همچنین مشخص است که نمونه‌های سری Z و نمونه U60 عملکرد مناسبی دارند.



شکل ۴-۳۲- مقایسه نمودار بار-جابجایی قاب بتنی و ورق پرکننده تمام نمونه‌ها در کنار یکدیگر جهت بررسی کلی.

جدول ۴-۶- مقایسه عملکردهای جانبی به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی پرکننده در تمامی

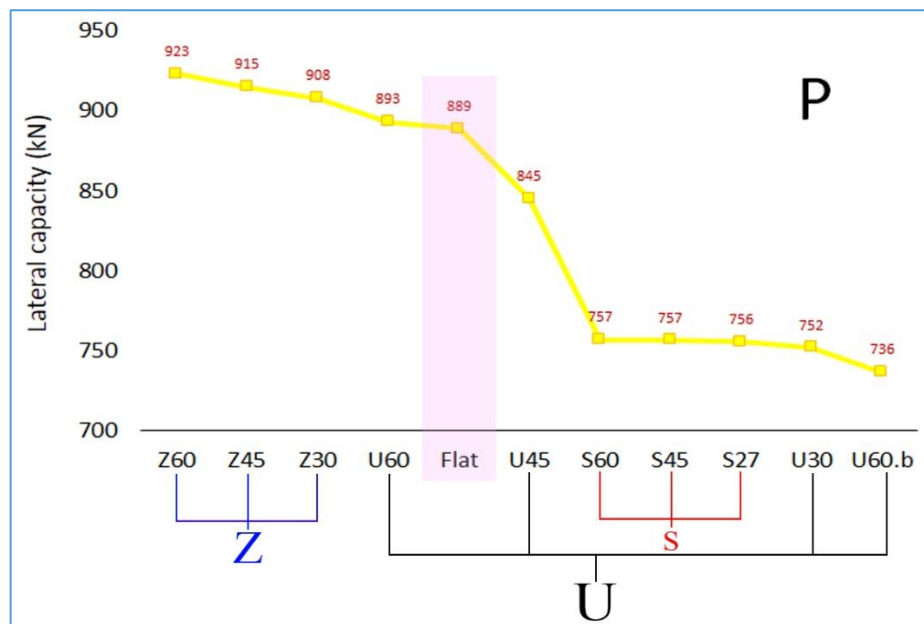
نمونه‌های مورد بررسی.

Spectrum	مقاومت P KN	سختی K KN/mm	شکل پذیری μ	انرژی جذب شده E KN*m
Z60	923	70.13	8.29	80.96
U60	893	90.40	10.65	80.96
Z30	908	82.36	9.73	80.27
Z45	915	83.18	9.86	80.12
Flat	889	84.54	10.06	79.76
U45	845	99.88	12.42	77.19
S60	757	102.14	13.67	71.97
U30	752	107.00	14.65	70.57
S45	757	88.75	12.60	67.63
S27	756	58.48	8.34	65.94
U60.b	736	34.97	5.13	61.54

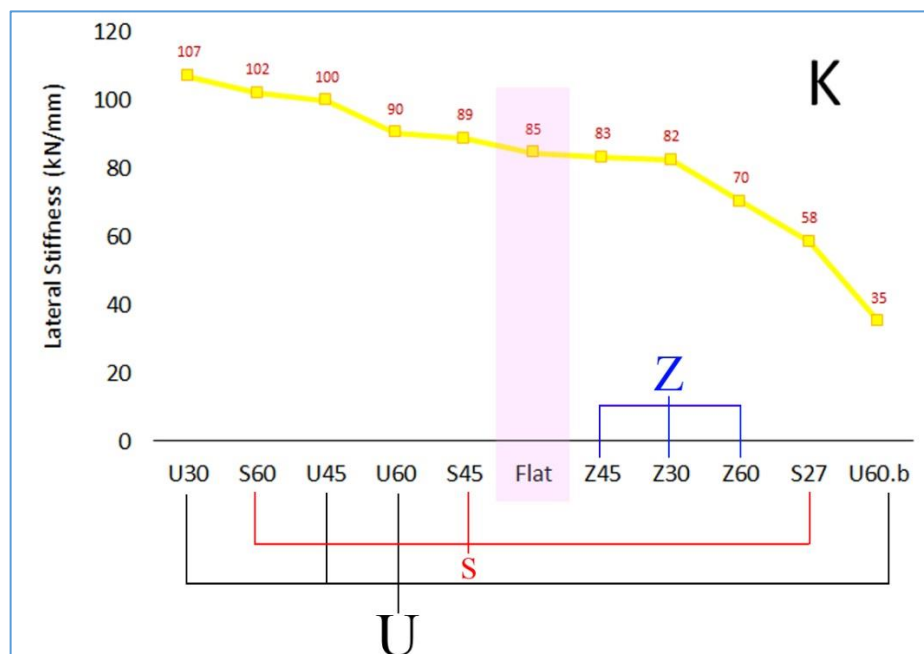
طبق جدول ۴-۶ سورت شده با فاکتور عملکرد انرژی جذب شده، تمامی عملکردهای نمونه‌های مورد بررسی در کنار یکدیگر نشان داده شده است. تمامی نمونه‌های سری Z و نمونه U^{۶۰} از نمونه ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) دارای عملکرد جانبی بهتری در خصوص جذب انرژی جانبی هستند، البته این اختلاف ناچیز بوده ولی این نکته رو هم باید در نظر گرفت که نمونه صاف تماماً جاری می‌شود و آسیب به المان‌های اطراف می‌زند ولی این چهار نمونه این‌طور نمی‌باشند.

برای هر چه بهتر روشن شدن نتایج می‌بایست تک تک فاکتورهای عملکردی را در کنار یکدیگر مقایسه نمود و که در ادامه در فصل پنجم نتایج آن‌ها تشریح می‌شوند، روی این منوال در شکل ۴-۳۳ عملکرد مربوط به حداکثر مقاومت جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار و در شکل ۴-۳۴ عملکرد مربوط به سختی جانبی

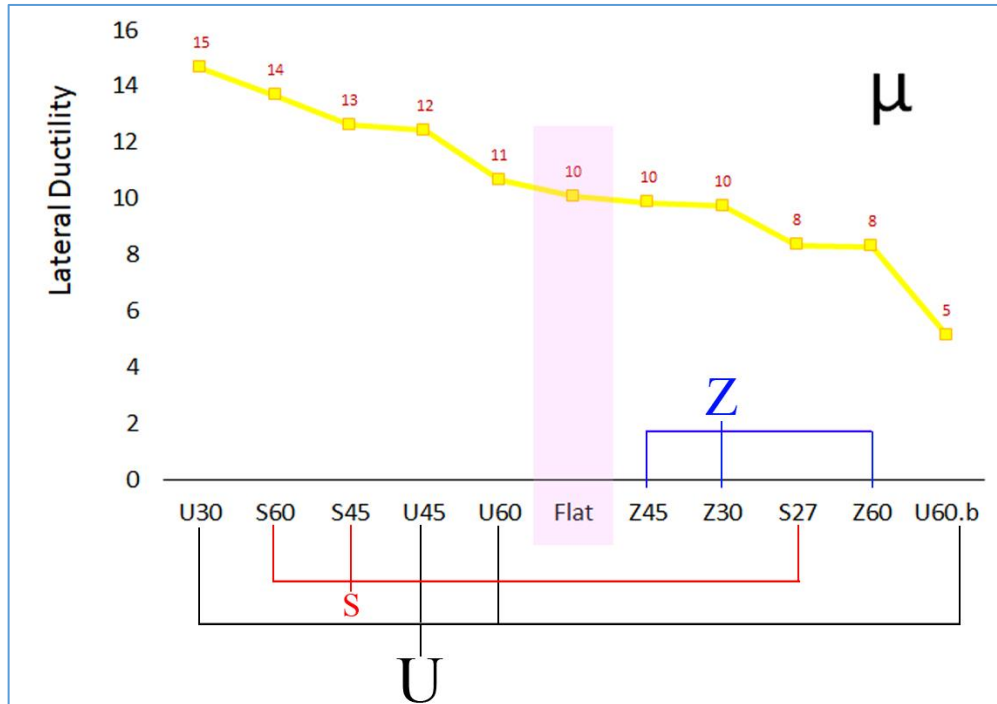
و شکل ۳۵-۴ عملکرد مربوط به شکل پذیری جانبی آن‌ها را نشان می‌دهد. ضمناً در شکل ۳۶-۴ عملکرد مربوط به میزان جذب انرژی جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار با یکدیگر مقایسه می‌شوند.



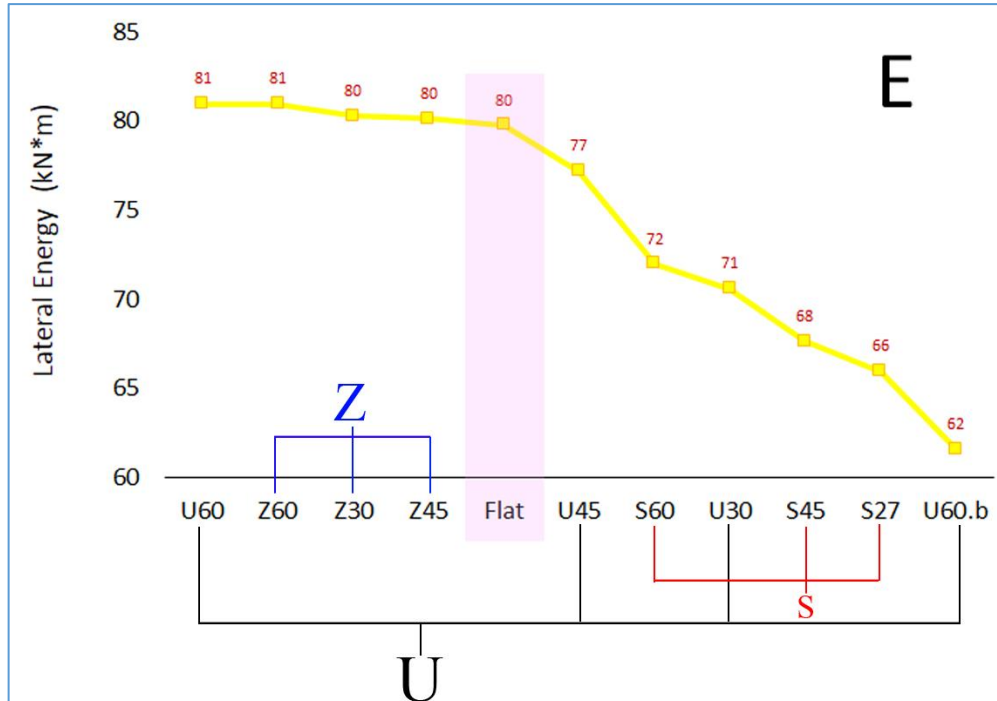
شکل ۴-۳۳- عملکرد مربوط به حداکثر مقاومت جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار.



شکل ۴-۳۴- عملکرد مربوط به سختی جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار.



شکل ۴ - ۳۵- عملکرد مربوط به شکل‌پذیری جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار.



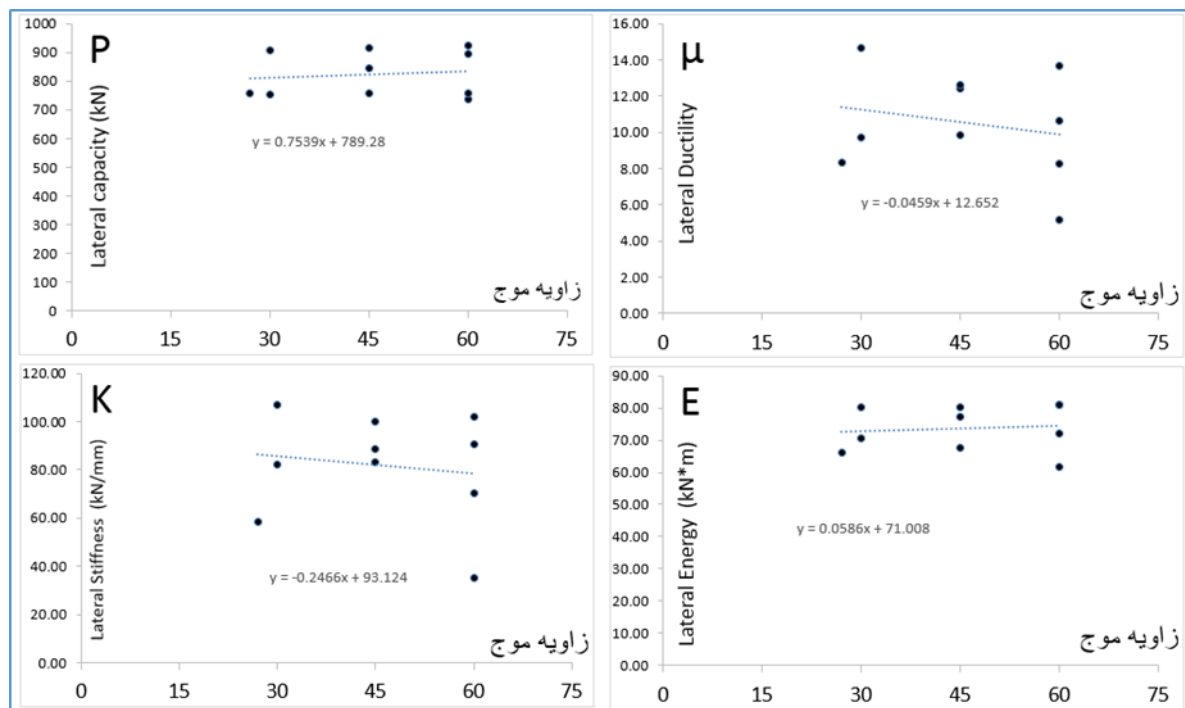
شکل ۴ - ۳۶- عملکرد مربوط به جذب انرژی جانبی قاب و صفحه‌های فولادی موجدار.

اگر از زاویه دیگر به موضوع تحقیق توجه شود، می‌توان نمونه‌های ورق پرکننده فولادی موجدار را با توجه به زاویه موج، طول هر قسمت موج و تعداد گام نسبت به عملکردهای لرزه‌ای بررسی نمود. بر این اساس در این قسمت از پژوهش قصد بر آن است که شاید رابطه‌ای بین زاویه موج، طول هر قسمت موج و تعداد گام با معیارهای لرزه‌ای همچون مقاومت، سختی، شکل‌پذیری و جذب انرژی وجود داشته باشد؛ بنابراین در جدول ۴-۷ نمونه‌های موردبررسی با زوایا، طول هر قسمت موج و تعداد گام آن‌ها نشان داده شده است.

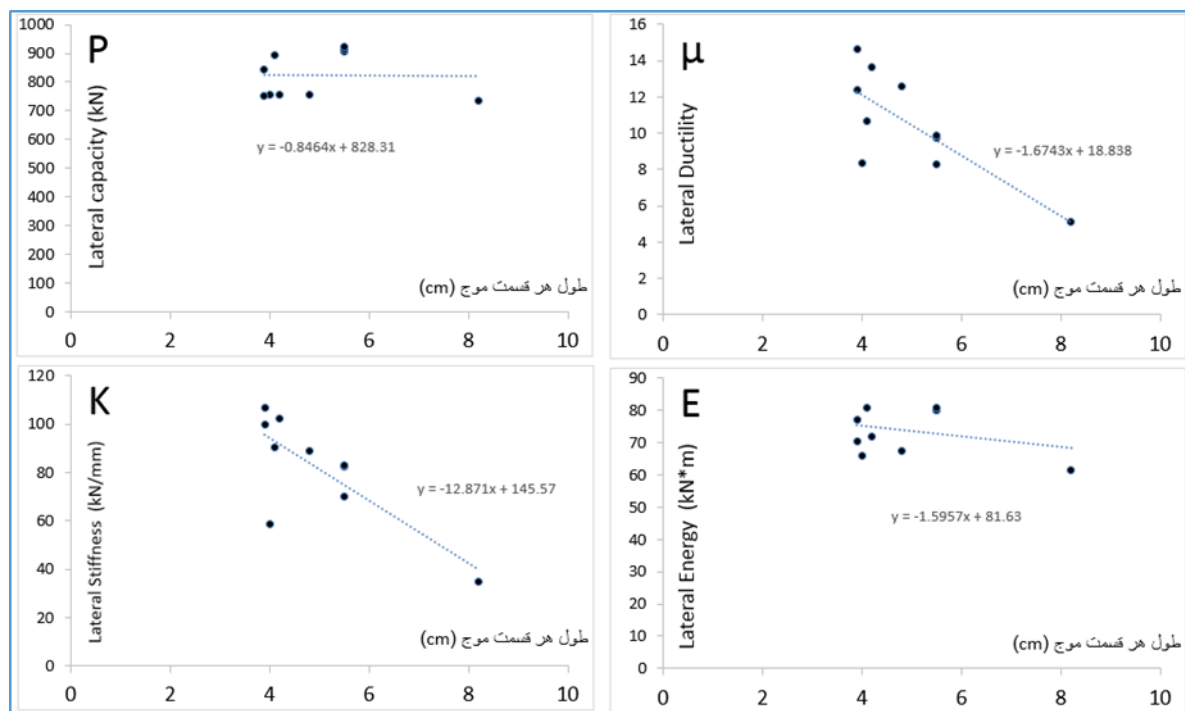
جدول ۴-۷ - نمونه‌های موردبررسی قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی پرکننده همراه با زوایا، طول هر قسمت موج و تعداد گام آن‌ها.

Spectrum	زاویه درجه	طول هر قسمت موج cm	تعداد گام
U30	30	3.90	10
U45	45	3.90	11
U60	60	4.10	12
U60.b	60	8.20	6
S27	27	4.00	18
S45	45	4.80	18
S60	60	4.20	24
Z30	30	5.50	15
Z45	45	5.50	18
Z60	60	5.50	26

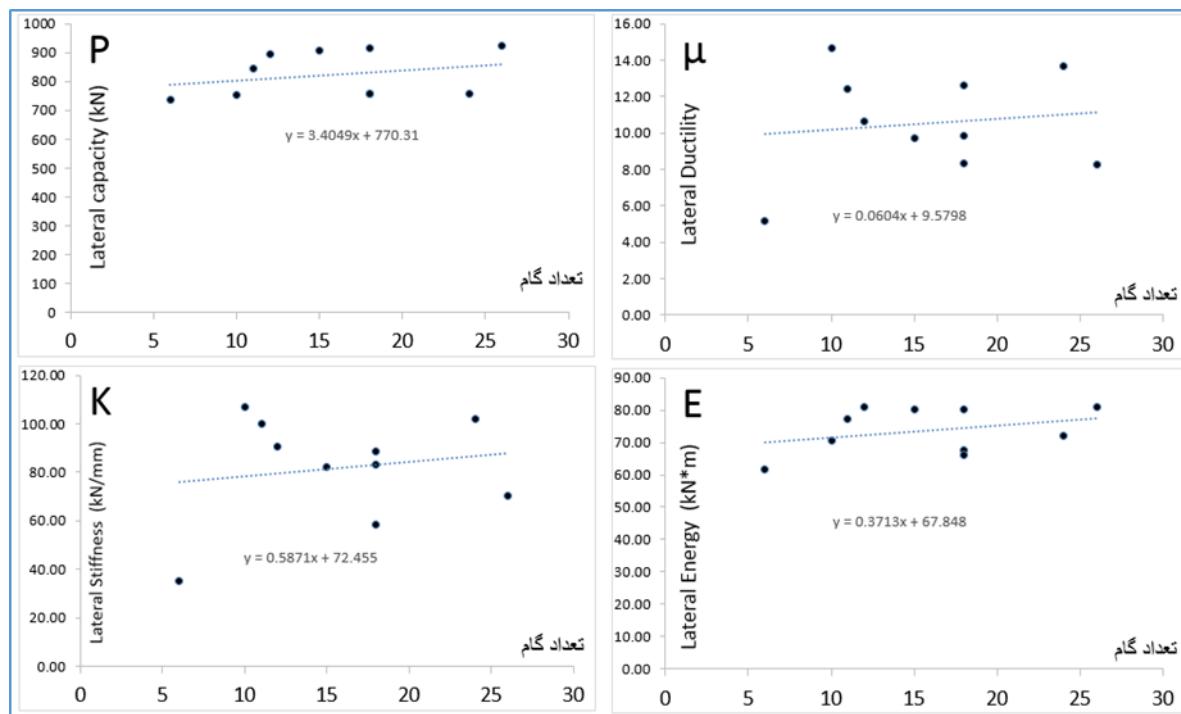
در شکل‌های ۴-۳۷، ۴-۳۸ و ۴-۳۹ به ترتیب رابطه احتمالی بین عملکردهای لرزه‌ای با زاویه موج، طول هر قسمت موج و تعداد گام نشان داده شده است که برای تشریح بیشتر در فصل پنجم به نتایج احتمالی آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۴-۳۷- بررسی روابط احتمالی بین زاویه موج در ورق فولادی پرکننده قاب بتنی و نتایج عملکردهای لرزه‌ای.

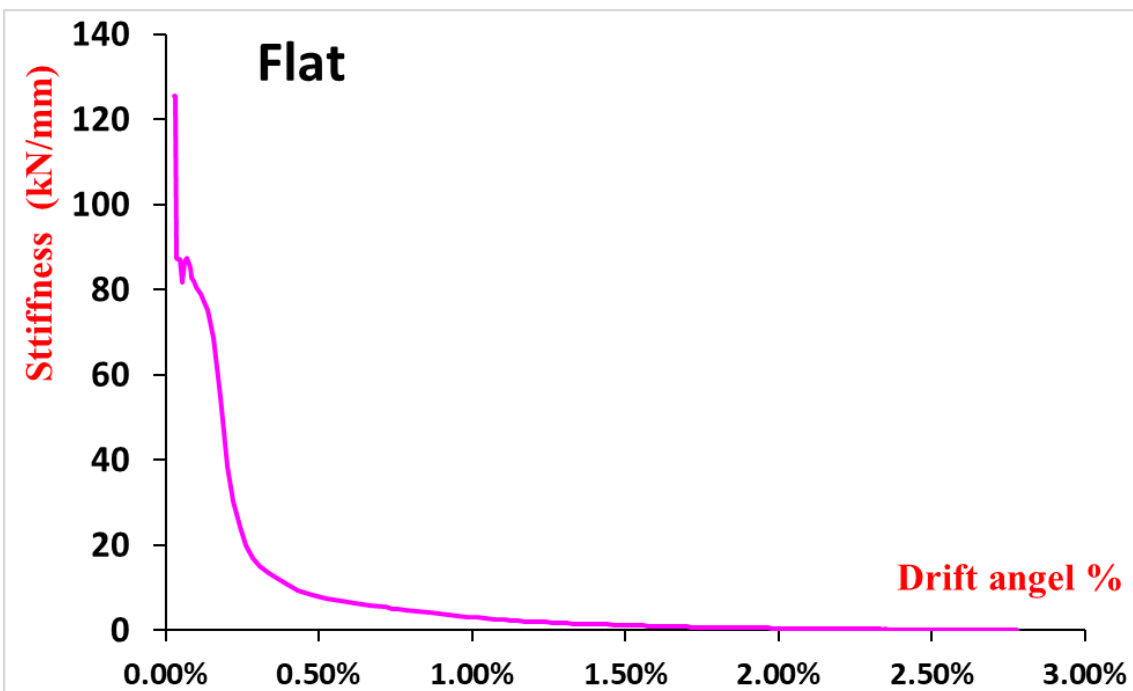


شکل ۴-۳۸- بررسی روابط احتمالی بین طول هر قسمت موج در ورق فولادی پرکننده قاب بتنی و نتایج عملکردهای لرزه‌ای.

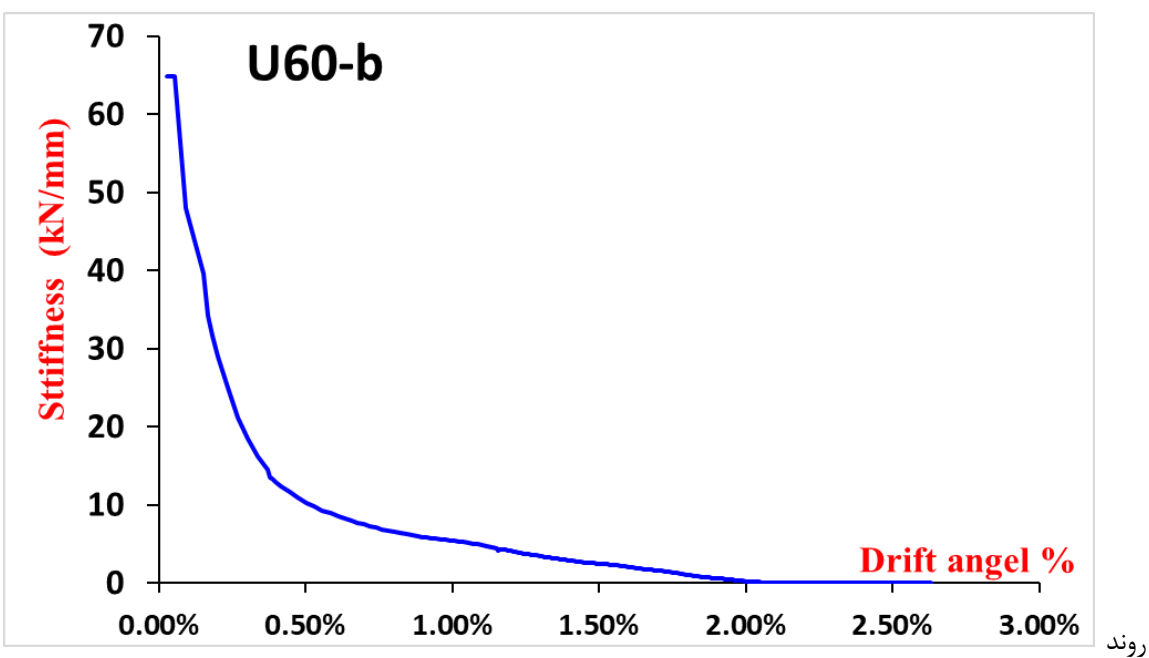


شکل ۴- ۳۹- بررسی روابط احتمالی بین تعداد گام موج در ورق فولادی پرکننده قاب بتنی و نتایج عملکردهای لرزه‌ای.

در ادامه نتایج می‌توان تغییرات لحظه ای سختی هر نمودار بار-جابه جایی را در طول روند بارگذاری جانبی بررسی نمود و نتایج آنها را مورد بررسی قرار داد. به عبارتی سختی نمودار بار-جابه جایی شیب (مشتق) نمودار می‌باشد. اگر در هر لحظه از روند بارگذاری جانبی که به صورت دریافت مشخص می‌شود، سختی جانبی از نمودار بار-جابه جایی استخراج گردد و تمام اطلاعات در نمودار تغییرات لحظه ای سختی بر اساس بار جانبی ترسیم گردد می‌توان نتایج سختی جانبی را مشاهده نمود. بر این اساس تغییرات لحظه ای سختی در نمودار شکل ۴۰-۴ و ۴۱-۴ که به ترتیب قاب بتنی و ورق صاف فولادی (نمونه Flat) و قاب بتنی و ورق موجدار فولادی کنترلی (نمونه U_{۶۰.b}) می‌باشند، نشان داده شده است.



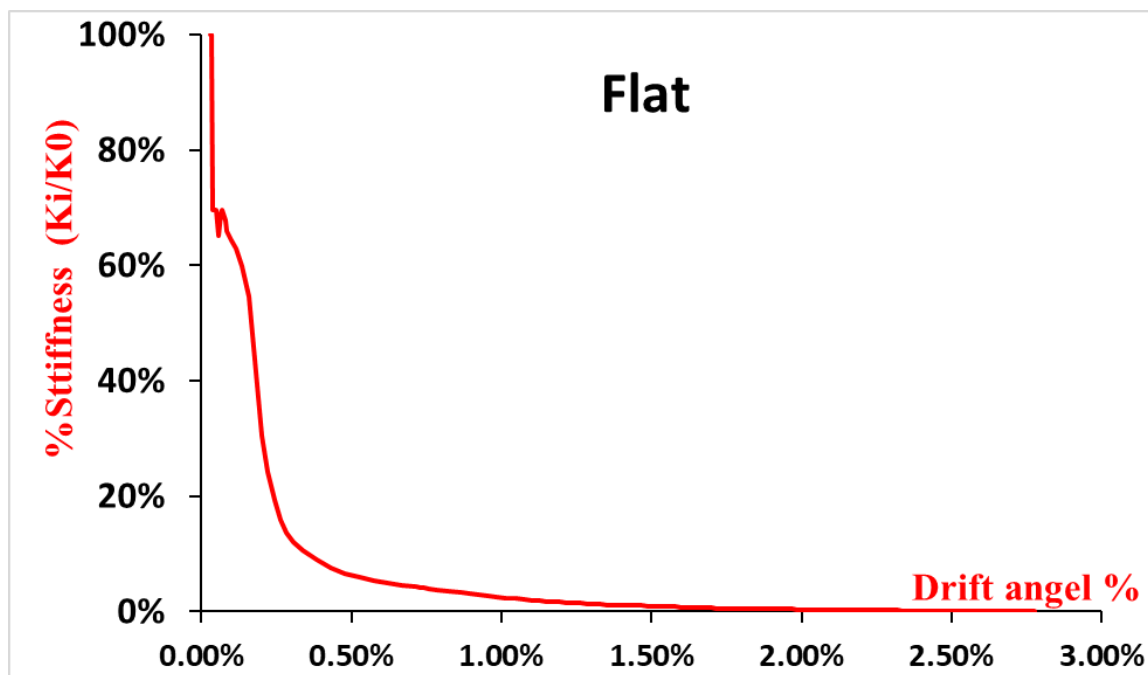
شکل ۴ - ۴۰- نمودار تغییرات لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه Flat.



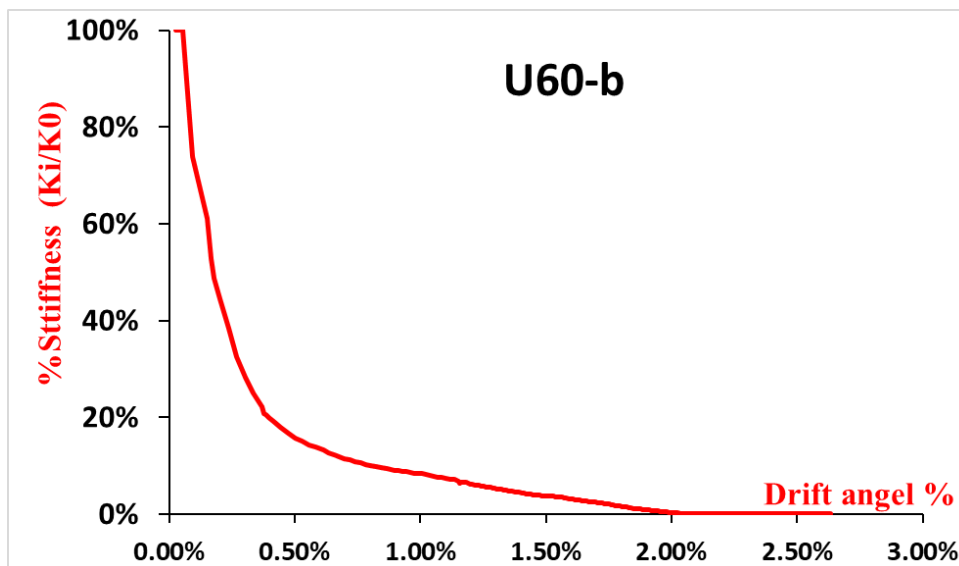
شکل ۴ - ۴۱- نمودار تغییرات لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه U60.b.

بر اساس نتایج، روند تغییرات لحظه ای سختی جانبی بر اساس درصد زاویه رانش جانبی دو نمونه صاف و موجدار کنترلی نشان می دهد که در زاویه های بسیار کم و در ابتدای رانش جانبی سختی جانبی به شدت افت می کند، به طوری که این میزان رانش جانبی چیزی در حدود ۰,۱ درصد زاویه رانش می باشد. همچنین نمونه صاف سختی ابتدایی ۱۲۵ و نمونه موجدار کنترلی سختی ابتدایی ۶۵ کیلونیوتن بر میلی متر را نشان می دهد، ضمناً نمودار ها نشان می دهد که سختی جانبی در نمونه صاف در رانش جانبی ۱,۵ درصد و در نمونه موجدار کنترلی در رانش جانبی ۲ درصد، صفر شده اند.

همان طور که از نمودار های سختی مشخص است سختی ابتدایی ماکزیمم سختی هر نمونه می باشد، اگر میزان سختی لحظه ای بر سختی ابتدایی در طول روند بارگذاری جانبی تقسیم گردد یک معیار ثابت از کاهش سختی در هر نمونه بدست می آید که با درصد می توان بیان نمود، بنابراین دو نمودار شکل ۴-۴۲ و ۴-۴۳ به ترتیب درصد کاهش سختی لحظه ای در دو نمونه Flat و U_{60.b} را نشان می دهد.

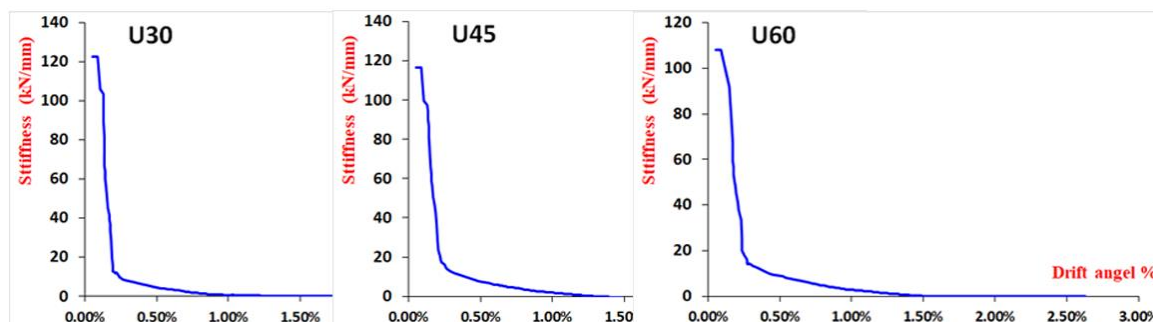


شکل ۴-۴۲ - نمودار درصد کاهش سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه Flat.



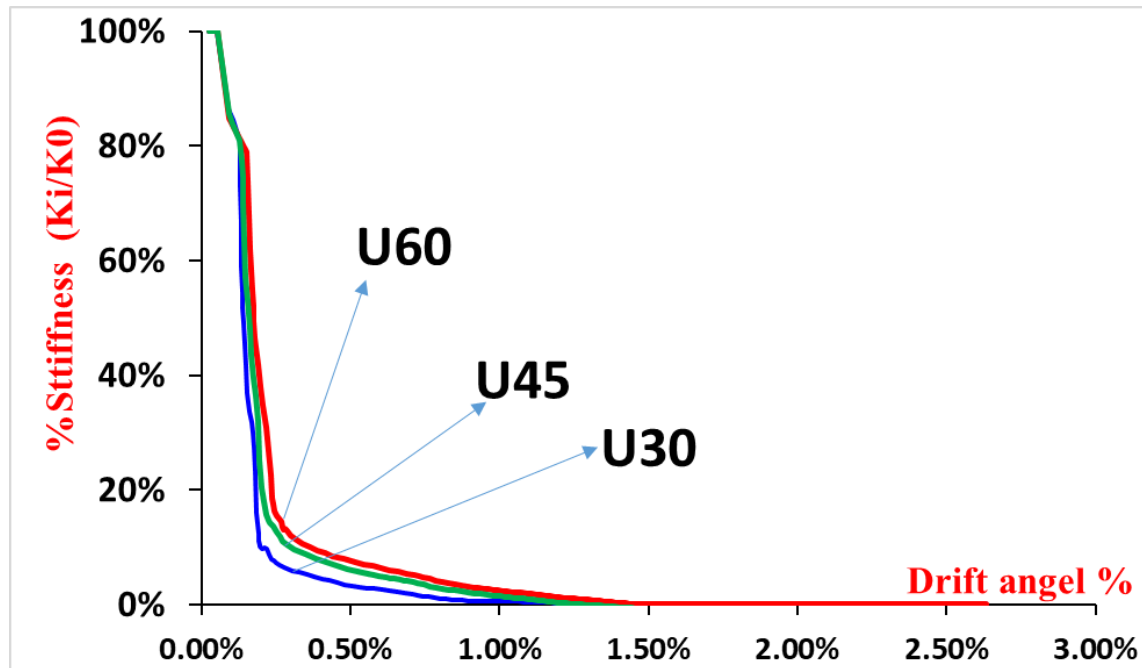
شکل ۴-۴۳- نمودار درصد کاهش لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه U60-b.

همانطور که در دو شکل ۴-۴۲ و ۴-۴۳ مشخص می باشد، نمونه Flat، ۳۰ درصد از سختی جانبی خود را در لحظات اولیه از بارگذاری جانبی (دریافت ۰,۱ درصد) و ۸۰ درصد از سختی جانبی خود را در دریافت ۰,۲۵ درصد از دست می دهد و این درحالی است که نمونه U60-b ۸۰ درصد از سختی جانبی خود را در دریافت ۰,۴ درصد از دست می دهد که نشان از مفید بودن ورق های موجدار در حفظ سختی جانبی در تغییر شکل های بزرگتر است. اگر بر همین منوال تغییرات لحظه ای سختی تمام نمودارهای بار-جابه جایی در طول روند بارگذاری جانبی بررسی شوند، می توان در خصوص عملکرد سختی آنها بحث نمود. بنابراین شکل ۴-۴۴ تغییرات لحظه ای سختی نمودار بار-جابه جایی ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل در قاب بتنی در طول روند بارگذاری جانبی بررسی می شود.



شکل ۴-۴۴- تغییرات لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه های ورق موجدار U شکل در قاب بتنی.

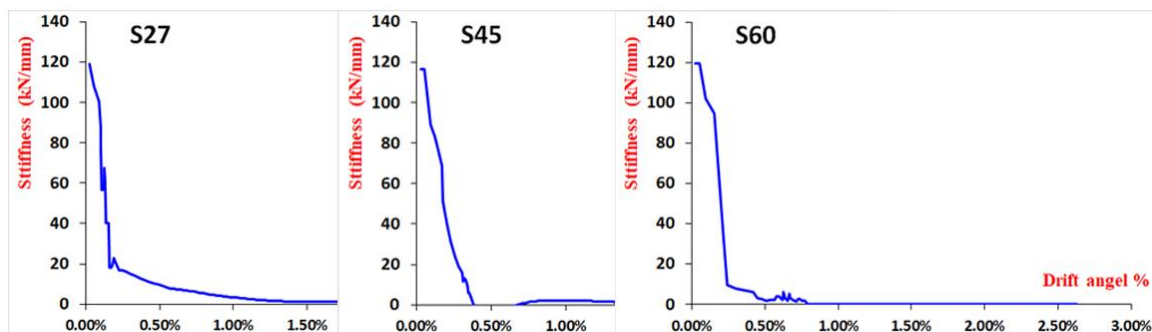
همچنین نمودار کاهش سختی نمونه های ورق موجدار U شکل در قاب بتنی در شکل ۴-۴۵ نشان داده می شود.



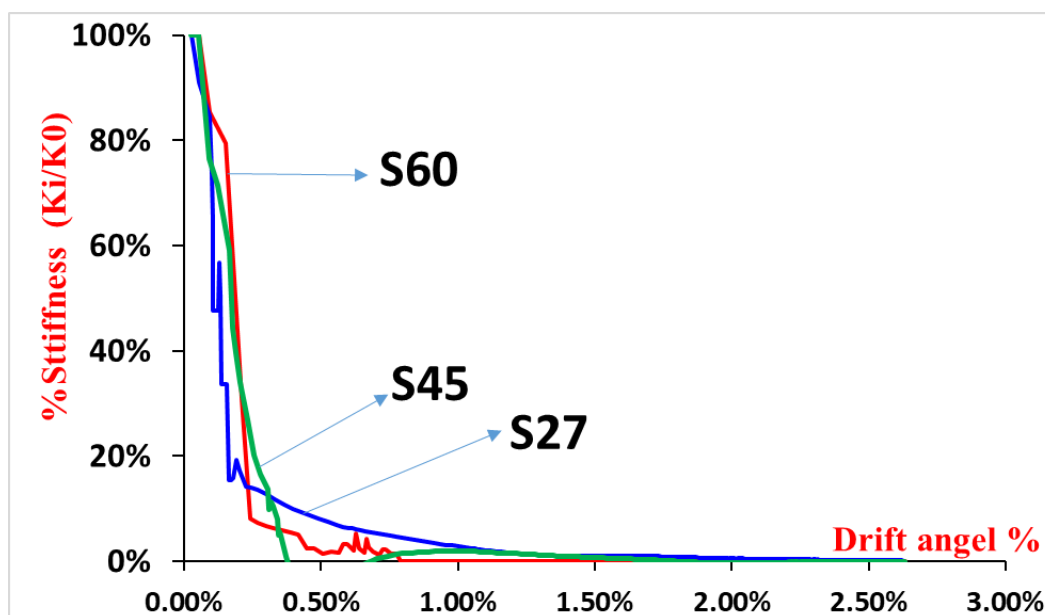
شکل ۴-۴۵- نمودار درصد کاهش لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه های ورق موجدار U شکل در قاب بتنی.

نتایج دو نمودار ۴-۴۴ و ۴-۴۵ در خصوص سختی جانبی نمونه های ورق موجدار U شکل در قاب بتنی نشان می دهد که اولاً سختی ابتدایی با افزایش زاویه ورق موجدار U شکل در قاب بتنی، کاهش می یابد به طوری سختی ابتدایی در زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ به ترتیب ۱۲۲، ۱۱۸ و ۱۱۲ کیلونیوتن بر میلیمتر شده است و ثانیاً افزایش زاویه ورق موجدار U شکل در قاب بتنی تاثیر مثبت در روند حفظ سختی جانبی گذاشته است.

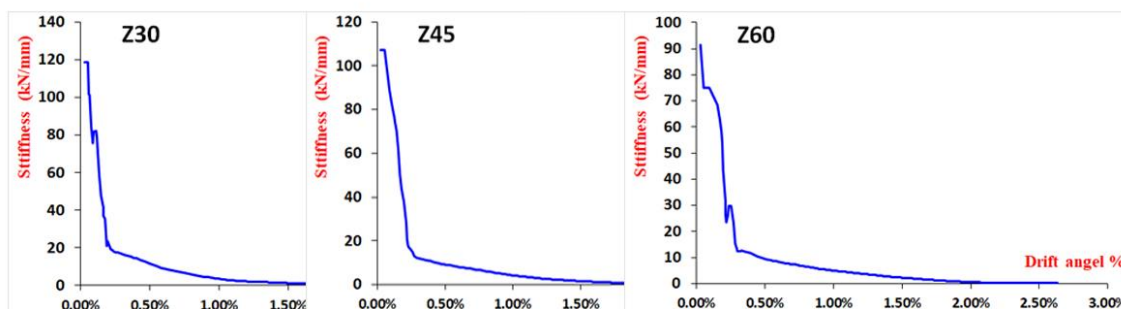
شکل ۴-۴۶ تغییرات لحظه ای سختی نمودار بار-جابه جایی ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل در قاب بتنی در طول روند بارگذاری جانبی و شکل ۴-۴۷ نمودار کاهش سختی نمونه های ورق موجدار S شکل در قاب بتنی را نشان می دهد. همچنین شکل ۴-۴۸ تغییرات لحظه ای سختی نمودار بار-جابه جایی ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل در قاب بتنی در طول روند بارگذاری جانبی و شکل ۴-۴۹ نمودار کاهش سختی نمونه های ورق موجدار Z شکل در قاب بتنی را نشان می دهد.



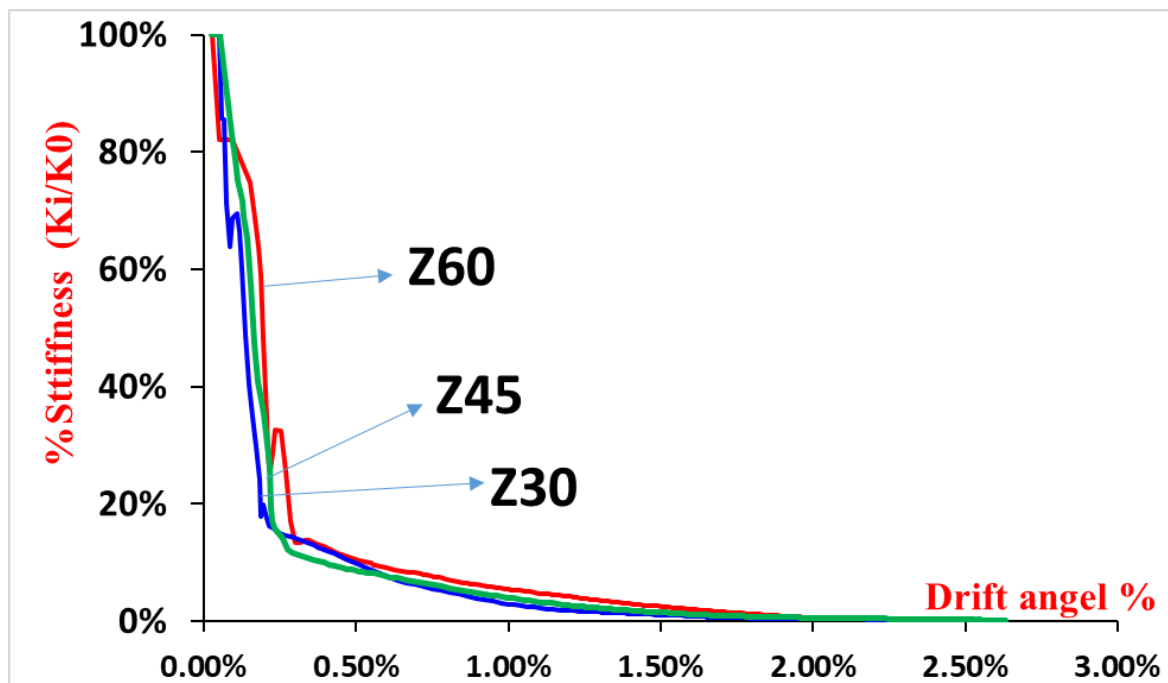
شکل ۴-۴۶- تغییرات لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه های ورق موجدار S شکل در قاب بتنی.



شکل ۴-۴۷- نمودار درصد کاهش لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه های ورق موجدار S شکل در قاب بتنی.



شکل ۴-۴۸- تغییرات لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه های ورق موجدار Z شکل در قاب بتنی.



شکل ۴-۴۹- نمودار درصد کاهش لحظه ای سختی در طول روند بارگذاری جانبی در نمونه های ورق موجدار Z شکل در قاب بتنی.

نتایج چهار نمودار ۴-۴۶ تا ۴-۴۹ در خصوص سختی جانبی نمونه های ورق موجدار S و Z شکل در قاب بتنی نشان می دهد که سختی ابتدایی با افزایش زاویه ورق موجدار S شکل در قاب بتنی، تغییر خاصی نمی کند ولی با افزایش زاویه ورق موجدار Z شکل در قاب بتنی، کاهش می یابد، همچنین افزایش زاویه ورق موجدار S و Z شکل در قاب بتنی تاثیر مثبت در روند حفظ سختی جانبی گذاشته است.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

در این تحقیق، عملکرد لرزه‌ای تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار در قاب خمشی بتن مسلح به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور جهت بررسی رفتار قاب خمشی بتن مسلح همراه با دیوار برشی فولادی موجدار، ابتدا کار آزمایشگاهی مربوط به یک نمونه قاب بتن آرمه همراه با دیوار برشی فولادی صاف را که توسط اینراک چویی و همکاران در کره جنوبی در سال ۲۰۱۱ [۲۲] تحت بارگذاری استاتیکی و چرخه‌ای آزمایش شده است، به عنوان مطالعه جهت صحت سنجی و کار عددی این تحقیق که در انتهای فصل سوم ارائه شده و با استفاده از نرم افزار آباکوس مدل سازی می شود، البته با توجه به اینکه نتایج آزمایشگاهی، مدل نرم افزاری با تقریب بسیار نزدیک به هم می باشند، لذا صحت سنجی جهت تحقیقات فصل چهارم انجام شده است. بعد از تائید مدل با نرم افزار آباکوس، در فصل چهارم بررسی عملکرد لرزه‌ای تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار در قاب خمشی بتن مسلح در حالت های مختلف تغییر شکل صفحه موجدار در قاب بتن آرمه به روش المان محدود انجام شد و نتایج آن به صورت عددی با یکدیگر مقایسه گردید که در ادامه به مقایسه و شرح و تفسیر نتایج پرداخته می شود:

۵-۲- شرح نتیجه ها

در تحقیق انجام گرفته شده بعد از صحت سنجی نرم افزاری، ابتدا بررسی پوش آور مربوط به مدل سازی رفتار لرزه‌ای قاب خمشی بتن مسلح همراه با صفحه فولادی پرکننده موجدار، انجام گرفت و نتایج آن به صورت نمودار نیرو-عکس العمل ثبت گردید و سپس در حالت های مختلف تغییر ابعاد طول موج، تغییر زاویه موج و تغییر شکل مقطع ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب مسلح بتنی قرار گرفت و نتایج آن ثبت شد. مقایسه بین نتایج حاکی از این واقعیت است که در مواردی لحاظ کردن ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب مسلح بتنی، رفتار و عملکرد خوبی دارند که در ادامه شرح و نتیجه گیری به آن ها پرداخته می شود:

- طبق بررسی ابتدایی مدل سازی پارامتریک فصل چهارم رفتار لرزه ای تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار، در قاب خمشی بتن مسلح کنترلی، مشخص گردیده است که در نمونه مبنا ورق فولادی موجدار (که به شکل U می باشد) عملکرد مقاومت، سختی، انرژی جذب شده و شکل پذیری در قاب خمشی بتن مسلح به ترتیب تقریباً ۷۳۶ کیلونیوتن، ۳۵ کیلونیوتن بر میلی متر، ۶۱٫۵ کیلونیوتن در متر و ۵٫۱ می باشد که در مقایسه با قاب بتنی با ورق صاف (نمونه صحت سنجی شده فصل سوم) دارای عملکرد لرزه ای ضعیف تری می باشد.

- در نمونه دوم پارامتریک ورق فولادی موجدار، سعی بر افزایش عملکرد نمونه بوده، بنابراین تعداد گام های موج از ۶ گام به ۱۲ گام افزایش یافت، نتایج عملکردهای به دست آمده قاب بتنی به همراه ورق پرکننده در جهت پی بردن به چگونگی تأثیر ابعاد طول موج (تعداد گام) نشان می دهد که افزایش تعداد گام در مقایسه با قاب بتنی با ورق صاف (نمونه صحت سنجی شده فصل سوم) باعث افزایش تمامی عملکردهای لرزه ای می شود.

- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی بررسی شده است که سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار U شکل معرفی گردید که نتایج بررسی نشان می دهد که وقتی زاویه کم می گردد، عملکردهای مقاومت و انرژی جذب شده جانبی کاهش می یابد و عملکردهای سختی اولیه و شکل پذیری جانبی افزایش می یابد.

- تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی بررسی شده است که سه زاویه موج ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار U شکل معرفی گردید که نتایج بررسی نشان می دهد که وقتی زاویه کم می گردد، عملکردهای مقاومت

جانبی اندکی کاهش می‌یابد ولی عملکردهای سختی اولیه و شکل‌پذیری جانبی افزایش می‌یابد. مقایسه کلی نمونه‌ها انرژی جذب‌شده سه نمونه ورق موجدار Z شکل تقریباً برابر و نسبت به عملکرد ورق صاف کمی بهبود یافته است.

- ضمناً تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی بررسی شده است که سه زاویه موج ۲۷، ۴۵ و ۶۰ درجه در قاب بتن‌آرمه با صفحه پرکننده نازک فولادی موجدار S شکل معرفی گردید که نتایج بررسی نشان می‌دهد که وقتی زاویه کم می‌گردد، عملکردهای مقاومت جانبی تقریباً ثابت و اندکی کاهش می‌یابد، همچنین عملکردهای سختی اولیه و شکل‌پذیری جانبی افزایش می‌یابد. مقایسه کلی نمونه‌ها انرژی جذب‌شده سه نمونه ورق موجدار S شکل با کاهش زاویه موج کاهش می‌یابد و این مقادیر نسبت به عملکرد قاب بتنی به همراه ورق پرکننده فولادی صاف، کمتر می‌باشد.

- در قسمت جمع‌بندی پژوهش ابتدا عملکرد کلیه نمونه‌ها، در کنار یکدیگر به صورت نمودار بار-جابه‌جایی و جدول عملکرد، مقایسه شد، نتایج بررسی کلی نمودار بار-جابه‌جایی نشان می‌دهد که نمونه U^{۶۰}-b بسیار نمونه‌ای با عملکرد ضعیف بوده و نمونه‌های S^{۲۷} و S^{۴۵} نیز عملکرد چندان بالایی ندارند. همچنین مشخص گردید که نمونه‌های سری Z و نمونه U^{۶۰} عملکرد مناسبی دارند. همچنین نتایج بررسی از لحاظ جذب انرژی جانبی جدول عملکرد کلیه نمونه‌ها نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های سری Z و نمونه U^{۶۰} از نمونه ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد جانبی بهتری دارند.

- بررسی سورت شده عملکرد مقاومت جانبی در تمامی نمونه‌ها در شکل ۴-۳۳ نشان می‌دهد که عملکرد مقاومت قاب بتنی و ورق پرکننده فولادی موجدار به ترتیب در سه نمونه Z^{۶۰}، Z^{۴۵}، و Z^{۳۰} و نمونه U^{۶۰}، نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد مقاومت جانبی

بهتری دارند و نمونه‌های سری S و نمونه U^{30} و نمونه $U^{60}.b$ با اختلاف زیاد نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد مقاومت جانبی کمتری دارند.

- بررسی سورت شده عملکرد سختی جانبی در تمامی نمونه‌ها در شکل ۴-۳۴ نشان می‌دهد که عملکرد سختی قاب بتنی و ورق پرکننده فولادی موجدار به ترتیب در نمونه‌های U^{30} ، S^{60} ، U^{45} ، U^{60} و نمونه S^{45} نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد سختی جانبی بهتری دارند و نمونه‌های سری Z، نمونه S^{27} و نمونه $U^{60}.b$ نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد سختی جانبی کمتری دارند.

- بررسی سورت شده عملکرد شکل‌پذیری جانبی در تمامی نمونه‌ها در شکل ۴-۳۵ نشان می‌دهد که عملکرد شکل‌پذیری قاب بتنی و ورق پرکننده فولادی موجدار به ترتیب در نمونه‌های U^{30} ، S^{60} ، S^{45} و نمونه U^{60} ، نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد شکل‌پذیری جانبی بهتری دارند و نمونه‌های سری Z، نمونه S^{27} و نمونه $U^{60}.b$ نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد سختی جانبی کمتری دارند.

- بررسی سورت شده عملکرد انرژی جذب‌شده جانبی در تمامی نمونه‌ها در شکل ۴-۳۶ نشان می‌دهد که عملکرد انرژی جذب‌شده قاب بتنی و ورق پرکننده فولادی موجدار به ترتیب در نمونه U^{60} و سه نمونه Z^{60} ، Z^{30} ، Z^{45} نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد انرژی جذب‌شده جانبی بهتری دارند و نمونه‌های سری S و نمونه U^{45} ، U^{30} و نمونه $U^{60}.b$ با اختلاف نسبت به نمونه قاب بتنی و ورق صاف صحت سنجی شده (نمونه Flat) عملکرد مقاومت جانبی کمتری دارند.

- بررسی زاویه موج نسبت به عملکردهای لرزه‌ای نمونه‌های ورق پرکننده فولادی موجدار در قاب بتنی تقریباً نشان می‌دهد که با افزایش زاویه موج ورق پرکننده فولادی موجدار: معیار مقاومت جانبی تقریباً ثابت و رو به افزایش، معیار سختی جانبی تقریباً ثابت و رو به کاهش، معیار شکل‌پذیری جانبی کاهش و معیار انرژی جذب‌شده جانبی تقریباً ثابت و رو به افزایش می‌باشد.
- بررسی طول هر قسمت موج نسبت به عملکردهای لرزه‌ای نمونه‌های ورق پرکننده فولادی موجدار در قاب بتنی تقریباً نشان می‌دهد که با افزایش طول هر قسمت موج ورق پرکننده فولادی موجدار: معیار مقاومت جانبی تقریباً ثابت، معیار سختی جانبی کاهش، معیار شکل‌پذیری جانبی کاهش و معیار انرژی جذب‌شده جانبی تقریباً ثابت و رو به کاهش می‌باشد.
- بررسی تعداد گام موج نسبت به عملکردهای لرزه‌ای نمونه‌های ورق پرکننده فولادی موجدار در قاب بتنی تقریباً نشان می‌دهد که با افزایش تعداد گام موج ورق پرکننده فولادی موجدار: معیار مقاومت، سختی، شکل‌پذیری و انرژی جذب‌شده جانبی تقریباً ثابت و رو به افزایش می‌باشد.

۵-۳- نتیجه‌گیری نهایی

۱. طبق بررسی به‌عمل‌آمده نتایج بررسی تأثیر دیوار برشی فولادی موجدار مبنا در قاب بتنی، نشان داد که عملکرد مقاومت، سختی، انرژی جذب‌شده و شکل‌پذیری دیوار برشی فولادی موجدار مبنا از دیوار برشی فولادی صاف در قاب بتنی کمتر می‌باشد که علت آن را می‌توان در تعداد گام کم در دیوار برشی فولادی موجدار مبنا، فرض نمود.
۲. با افزایش تعداد گام در دیوار برشی فولادی موجدار، عملکرد مقاومت، سختی، انرژی جذب‌شده و شکل‌پذیری دیوار برشی فولادی موجدار جدید نسبت به دیوار برشی فولادی صاف در قاب بتنی بیشتر شد است که نشان از تأثیر مستقیم تعداد گام در عملکرد لرزه‌ای می‌باشد.

۳. بررسی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار U شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی، نشان از تأثیر مستقیم افزایش زاویه بر عملکردهای مقاومت و انرژی جذب شده جانبی و تأثیر غیرمستقیم آن بر عملکردهای سختی و شکل پذیری جانبی می باشد.

۴. بررسی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار Z شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی، نشان از تأثیر مستقیم ناچیز افزایش زاویه بر عملکرد مقاومت جانبی و تأثیر غیرمستقیم آن بر عملکردهای سختی، انرژی جذب شده و شکل پذیری جانبی می باشد.

۵. بررسی تأثیر زاویه موج ورق فولادی پرکننده موجدار S شکل بر روی عملکرد جانبی قاب بتنی، نشان از تأثیر مستقیم افزایش زاویه بر عملکرد انرژی جذب شده جانبی و تأثیر غیرمستقیم آن بر عملکردهای سختی و شکل پذیری جانبی می باشد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش زاویه بر عملکرد مقاومت جانبی تقریباً بی تأثیر است.

۶. نتایج نهایی نشان می دهد اگر شکل ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی به شکل Z باشد، عملکرد مقاومت و انرژی جذب شده جانبی نسبت به عملکرد ورق صاف بالاتر ولی دارای سختی و شکل پذیری کمتری می باشند که این حالت در ورق Z شکل با زاویه و تعداد گام بیشتر، مشهودتر است.

۷. همچنین اگر شکل ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی به شکل S باشد، عملکرد مقاومت و انرژی جذب شده جانبی نسبت به عملکرد ورق صاف کمتر ولی دارای سختی و شکل پذیری بالاتری می باشند که این حالت در ورق S شکل با زاویه و تعداد گام بیشتر، مشهودتر است.

۸. ضمناً نتایج نهایی نشان می دهد اگر شکل ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی به شکل U باشد، در زاویه های بالاتر عملکرد مقاومت و انرژی جذب شده خیلی مناسب نسبت به عملکرد

ورق صاف بالاتر است و همچنین در این نمونه سختی و شکل پذیری نیز نسبت به عملکرد ورق صاف بالاتر است که می‌تواند جزو نمونه‌های مناسب جهت ورق فولادی ورق فولادی پرکننده موجدار در قاب بتنی باشد.

۹. همچنین نتایج نهایی نشان می‌دهد که سختی ابتدایی با افزایش زاویه ورق موجدار در قاب بتنی، کاهش می‌یابد و افزایش زاویه ورق موجدار در قاب بتنی تاثیر مثبت در روند حفظ سختی جانبی گذاشته است.

۵-۴- ارائه پیشنهادات برای مطالعات آتی

۱. مطالعه عددی تاثیر دیوار برشی فولادی موجدار افقی در قاب خمشی بتن مسلح
۲. مطالعه عددی تاثیر دیوار برشی فولادی موجدار دویل در قاب خمشی بتن مسلح
۳. مطالعه عددی تاثیر دیوار برشی فولادی موجدار همراه با بازشو در قاب خمشی بتن مسلح

منابع

- [1] ABAQUS-V6.16-1 (2016), "Finite Element Analysis Software", Johnston, RI, USA. ABAQUS/Standard theory. Manual, Dassault Systèmes Simulia Corp., ۲۰۱۵.
- [۲] خیرالدین، علی - نادر پور، حسین - واعظی، سید روح اله، (۱۳۸۷)، پیشنهاد رابطه محاسبه مقاومت بتن محصورشده در ستون‌های پل‌های بتن‌آرمه، دانشگاه سمنان.
- [۳] سبحانی، جعفر، (۱۳۸۰)، پیش‌بینی رفتار اتصالات بتن‌آرمه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۴] تورنگ، زهرا، (۱۳۸۵)، بررسی نقش مفصل پلاستیک در طرح بهسازی لرزه‌ای پایه‌های بتنی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - زلزله، دانشگاه تهران، استاد راهنما، خسرو برگی.
- [۵] طلایی طبّا، سید بهزاد، (۱۳۸۲)، افزایش شکل‌پذیری اتصالات بتن‌آرمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۶] فلاح زیارانی، مرتضی، (۱۳۸۳)، رفتار اتصالات نوین در قاب‌های بتن مسلح تحت بار لرزه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - دانشگاه تهران.
- [۷] مستوفی نژاد، داوود، (۱۳۸۲)، مطالعه رفتاری و طبقه‌بندی اتصالات بتن‌آرمه در بار نهایی، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۷، شماره ۲، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [۸] تسنیمی، عباسعلی (۱۳۸۰)، رفتار و طرح لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، جلد اول - تهران.
- [۹] مستوفی نژاد، د.، سازه‌های بتن‌آرمه - جلد اول، انتشارات ارکان دانش، دانشگاه صنعتی اصفهان، پائیز ۱۳۸۸.

[۱۰] وتر، محمدقاسم- شیخی، علی، (۱۳۸۲)، بررسی رفتار لرزه‌ای ستون‌های مقاوم‌سازی شده بتنی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد- عمران- دانشگاه گیلان.

[۱۱] رهایی، علیرضا - نعمتی، سعید، (۱۳۸۳)، ارزیابی عملکرد و روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی، موافین- تهران، فدک ایستاتیس.

[۱۲] کریمی رودبالی، سعید و دیگران، (۱۳۸۹)، بررسی عناصر محدود رفتار اتصال خارجی تیر-ستون بتنی تقویت‌شده تحت اثر بارهای لرزه‌ای، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۱۳] آندرسن، جیمز و دیگران، (۱۳۸۰)، طراحی سازه‌های ضد زلزله، ویراستار مؤلف، فرزاد نعیم؛ ترجمه علی شریفی، رسول میرقادر، تهران؛ مرکز نشر دانشگاهی.

[۱۴] M.A.Youssef (۲۰۰۷) "Seismic performance of concrete frames with stainless steel inner braces".

[۱۵] Ozgur Anil, Sinan Altin, (۲۰۰۷), "An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames", Engineering Structures 29 (2007) 449–460, doi:10.1016/j.engstruct.2006.05.011.

[۱۶] Mehdi Kahrizi & Mehrzad TahamouliRoudsari "Experimental and numerical investigation of the parameters affecting the behavior of steel frames with masonry infill walls anchored with the ADAS yielding damper" <https://doi.org/10.1080/19648189.2018.1543057>.

[۱۷] MehrzadTahamouliRoudsari.AlirezaEntezari."Experimental Assessment of Retrofitted RC Frames With Different Steel Braces" <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2017.06.003>.

[۱۸] Marc Badoux, Lect., Dept. of Civ. Engrg., The Univ. of Texas at Austin, Austin, TX 78759-4497 (1990) "Steel braces in concrete frames to enhance seismic performance" [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1990\)116:1\(55\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:1(55)).

[۱۹] Jose A. Pincheira, Associate Member, ASCE, and James O. Jirsa, Member, ASCE, (1996),” SEISMIC RESPONSE OF RC FRAMES RETROFITTED WITH STEEL BRACES OR WALLS”, JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING / AUGUST 1995, .121:1225-1235, ASCE, ISSN 0733-9445/95/0008-1225-1235/Paper No. 7228.

[۲۰] M. TahamouliRoudsaria, M. Torkamana A.R. Entezari, H. Rahimi, K. Niazi K, (۲۰۱۹), “Experimental investigation of strengthening reinforced concrete moment resisting frames using partially attached steel infill plate”, Structures 19 (2019) 173–183, <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.01.009>.

[21] A. Formisano, G. De Matteis, F.M. Mazzolani, (2010), “Numerical and experimental behaviour of a full-scale RC structure upgraded with steel and aluminium shear panels”, Computers and Structures 88 (2010) 1348–1360, doi:10.1016/j.compstruc.2008.09.010.

[22] In-Rak Choi and Hong-Gun Park, (2011), “Cyclic Loading Test for Reinforced Concrete Frame with Thin Steel Infill Plate”, JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE / JUNE 2011, 137(6): 654-664, DOI: 10.1061/(ASCE)ST,1943-541X.0000317. © 2011 American Society of Civil Engineers.

[23] Emre Akin, Serra Zerrin Korkmaz, Hasan Hüsnü Korkmaz and Ersan Diri, (2016), “Rehabilitation of Infilled Reinforced Concrete Frames with Thin Steel Plate Shear Walls”, Journal of Performance of Constructed Facilities, © ASCE, ISSN 0887-3828, 04015098, DOI: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000840. © 2016 American Society of Civil Engineers.

[۲۴] Maryam Bypour, Majid Gholhaki, Mahdi Kioumarsi, Benyamin Kioumarsi, (۲۰۱۹), “Nonlinear analysis to investigate effect of connection type on behavior of steel plate shear wall in RC frame”, Engineering Structures 179 (2019) 611–624, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.010>

[۲۵] Morteza Jamshidi , Taksiah A. Majid, and Norazura M. Bunnori, (۲۰۱۵),” Seismic Behaviour of Slab-on-Girder Steel Bridges Equipped with Ductile Steel Infill Plate End Diaphragms”, International Journal of Steel Structures 15(2): 459-472 (2015).

[۲۶] ATC-۲۴ (۱۹۹۲), "Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures", Applied Technology Council-1992.

[۲۷] Fereshteh Emami, Leila Hosseinzadeh, Masood Mofid (۲۰۱۷), "Experimental investigation on the behavior of corrugated steel shear wall subjected to the different angle of trapezoidal plate", Struct Design Tall Spec Build. 2017;e1390, <https://doi.org/10.1002/tal.1390>.

[۲۸] امید کلانتری، (۱۳۹۶)، "بررسی عملکرد سیستم نوین دیوار برشی فولادی موجدار تقویتشده با ورق فولادی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه، دانشگاه صنعتی شاهرود، استاد راهنما دکتر وحیدرضا کلاتجاری و دکتر محمد شامخی امیری.

Abstract:

In recent years, the use of corrugated sheets has received more attention due to its considerable off-plate stiffness as well as higher buckling strength than flat sheets and the lack of stiffener and cost and time savings. Since the title of the research is a numerical study of the effect of corrugated steel shear wall in reinforced concrete flexural frame, it has been tried to first study the objectives and generalities of the research on the centrality of the research subject and then the background of the latest research on the centrality of the subject. Valid for lateral loading of reinforced concrete frame with smooth steel filler plate with Abaqus finite element software was performed with appropriate accuracy. Then, according to the validation results, the analyses related to modeling the seismic behavior of concrete frame with corrugated steel filler plate were investigated parametrically. Are. The results show that the seismic performance of corrugated steel shear wall with increasing the number of steps can be higher than the seismic performance of smooth steel shear wall in concrete frame. , Have higher yield strength and lateral absorbed energy but less hardness and ductility. The results also showed that at the beginning of the lateral drift, the lateral stiffness decreases sharply so that usually 80% of the lateral stiffness of the concrete frame with steel sheet is lost in drift 0.25%, while the initial stiffness decreases with increasing corrugated sheet angle in the concrete frame. And increasing the angle of corrugated sheet in the concrete frame has a positive effect on the process of maintaining lateral stiffness.

Key Words: Non-Linear Stability Analysis, Finite Element, Abaqus, Corrugated Steel Plate shear wall, RC Frame.



Shahrood University of Technology

Technical Engineering Faculty
"M. Sc" Thesis
Field of STRUCTURE

**Numerical Study on Effect of Corrugated Steel Plate shear wall
in RC Frame**

By: Ali Fakouri Azarki

Supervisor:
Farnoosh Basaligheh

October ۲۰۲۱