

Seismic Evaluation of Steel Beam-Column End-Plate Connection, using Corrugated-Web I Sections and Nanotechnology in Materials

Seyed Mehdi Banijamali¹, Kowsar Yazdannejad^{2*}

1- M.Sc. Student in Structural Engineering, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Shahriar Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2-Assistant professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

ABSTRACT

Among the weaknesses of moment connections in large earthquakes were the damage of the connection's elements and main components of the structure, such as the column, prior to the failure of other members, which causes the total collapse of the structure. Therefore, it is necessary to introduce a moment connection system which dampens the earthquake induction energy well, without damaging the main elements of connection and main structural members. Also, another reason for the low resistance of structures against large earthquakes is the inappropriate function of materials under stress. Therefore, in this study, the seismic performance of steel beam-column end-plate connection using corrugated sheets in I-section and nanotechnology in materials is investigated. The variables studied consist of three types of sheets in the web section (plan, corrugated), three types of sheet's thicknesses and two types of material properties (St 37 and nanoparticles). Thus, 18 numerical models with similar dimensions, properties and lengths are simulated with the finite element method using Abaqus software. In most of the cases studied, increasing the thickness of the web's sheet leading to an increase in the energy absorption of the investigated samples. Also, by increasing the thickness, the values of stresses in most samples decreased. However, in the samples with trapezoidal geometries by increasing the thickness from 10 mm to 20 mm, the stress values were increased. According to the results of this study, increasing the thickness of structural elements does not always lead to a decrease in the stress values applied to the structure and the geometrical shape of the element is very effective in the stress values.

ARTICLE INFO

Receive Date: 07 January 2020

Revise Date: 02 March 2020

Accept Date: 08 March 2020

Keywords:

*Seismic Function,
End-Plate Connection,
Corrugated Sheet,
Nanomaterial,
Finite Element*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.214875.2043>

*Corresponding author: Kowsar Yazdannejad
Email address: yazdannejadk@gmail.com

ارزیابی عملکرد اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی با بکارگیری ورق موجدار در جان مقاطع I شکل و فناوری نانو در مصالح

سید مهدی بنی جمالی^۱، کوثر یزدان نجاد^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، واحد شهریار، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

از جمله نقاط ضعف اتصالات خمشی در زلزله‌های بزرگ، گسیختگی المان‌های تشکیل دهنده‌ی اتصال و خرابی اجزای اصلی سازه مانند ستون، قیل از خرابی سایر اعضا بوده، که خود منجر به خرابی کل سازه می‌گردد. بنابراین معرفی یک سیستم اتصال خمشی که با رفتار مناسب، بدون ایجاد خرابی در المان‌های اصلی اتصال و اعضای اصلی سازه، انرژی القایی زلزله را به خوبی مستهلک کند، ضروری می‌باشد. همچنین، یکی دیگر از دلایل کاهش مقاومت سازه‌ها در برابر زمین لرزه‌های بزرگ، عملکرد نامناسب مصالح مصرفی تحت تنش می‌باشد. لذا در مقاله حاضر، عملکرد لرزه ای اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی با بکارگیری ورق موجدار در جان مقاطع I شکل و فناوری نانو در مصالح مورد بررسی قرار می‌گیرد. متغیرهای مورد بررسی به ترتیب شامل سه نوع شکل ورق در جان مقطع تیر (ساده، موج دار کرکره ای، موج دار دوزنقه ای)، سه نوع ضخامت ورق و دو نوع خصوصیات مصالح (وجود و عدم وجود نانو ذرات) می‌باشند. بدین ترتیب ۱۸ مدل عددی با ابعاد، خصوصیات و طول یکسان در حالت‌های مختلف با استفاده از روش اجزای محدود به کمک نرم افزار *Abaqus* شبیه سازی می‌شوند. در بیشتر حالت‌های مورد بررسی، افزایش میزان ضخامت ورق جان منجر به افزایش میزان جذب انرژی نمونه‌های مورد بررسی شده است. همچنین با افزایش ضخامت، مقادیر تنش‌های ایجاد شده در اکثر نمونه‌ها کاهش یافته است، این در حالیست که در نمونه‌های دارای شکل هندسی دوزنقه ای اینگونه نبوده و با افزایش ضخامت از ۱۰ به ۲۰ میلیمتر، مقادیر تنش‌های ایجاد شده بیشتر شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش، افزایش ضخامت المان‌های سازه ای همیشه منجر به کاهش مقادیر تنش‌های وارده به سازه نشده و شکل هندسی المان در مقادیر تنش‌های وارده به سازه بسیار تاثیرگذار است.

کلمات کلیدی: عملکرد لرزه ای، اتصال فلنجی، ورق موجدار، مصالح نانو، اجزای محدود

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.214875.2043
۱۳۹۸/۱۰/۱۷	۱۳۹۸/۱۲/۱۲	۱۳۹۸/۱۲/۱۸	۱۳۹۸/۱۲/۱۸	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2020.214875.2043
*نویسنده مسئول:		کوثر یزدان نجاد			
پست الکترونیکی:		yazdannejadk@gmail.com			

۱- مقدمه

نظر به شرایط لرزه‌خیزی ایران طبق گزارشات بیان شده در مراکز تحقیقاتی معتبر، توپوگرافی منطقه، مشخصات لرزه‌شناسی از قبیل قرارگیری بر مسیر کمربند لرزه‌خیز (آپ هیمالیا) و حرکت تکتونیکی صفحه ایران بین صفحه روسیه و عربستان، تاییدکننده قرارگیری درصد بالایی از مناطق در پهنه‌ی لرزه‌ای زیاد و نسبتاً زیاد می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، چالش امروز، مبنی بر ماهیت رفتار اتفاقی زمین‌لرزه، خسارات مالی و جانی همراه با تحمیل هزینه‌هایی بسیار بالا به اقتصاد کشور عزیزمان ایران را به همراه داشته است. موارد فوق اهمیت انجام پژوهش‌های گسترده در جهت اصلاح مبانی مهندسی زلزله و طراحی لرزه‌ای سازه‌های نوین همراه با مقاوم‌سازی و بهسازی جهت استهلاک انرژی القایی زلزله را توجیه می‌نماید. با گسترش و توسعه سازه‌های فولادی در سراسر دنیا و نظر بر قرارگیری کشور مان ایران بر دامنه‌ای لرزه‌خیز از کره زمین، در جهت دستیابی به میزان قابل توجهی از باربری و مقاومت سازه در برابر زلزله، علاوه بر اتصالات خمشی ارائه شده در آیین‌نامه‌های معتبر، معرفی اتصالاتی کاربردی و دارای عملکرد لرزه‌ای مناسب در قاب‌های خمشی فولادی، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد.

در این تحقیق با هدف توسعه سیستم سازه‌ای مذکور و با بکارگیری فناوری در حال گسترش نانو در صنعت مصالح ساختمانی، عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی تحت تأثیر تغییر در پارامترهای متفاوت به عنوان مثال، بکارگیری ورق موج‌دار بجای ورق مسطح در جان مقاطع I شکل تیر و ستون و تغییر در شرایط هندسی آن و یا تغییر در برخی پارامترهای مؤثر دیگر و در دو حالت وجود و عدم وجود ذرات نانو در مصالح مصرفی، بررسی شده و مناسب‌ترین حالت ممکن برای هر پارامتر معرفی خواهد گشت. در راستای دستیابی به اهداف مطالعه، به دنبال صحت‌سنجی روش تحقیق، نمونه‌هایی طراحی شده و پس از مدلسازی سه بعدی در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS، [۱] (تحت بارگذاری چرخه‌ای) مطابق با الگوی ارائه شده در ATC24 مورد تحلیل قرار خواهند گرفت. در نهایت، نتایج حاصل از تحقیق برای حالات متفاوت بررسی شده و به دو صورت عددی و گرافیکی تفسیر، تشریح و مقایسه خواهند شد.

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

در زمینه عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی با بکارگیری ورق موج‌دار در جان مقاطع I شکل و فناوری نانو در مصالح تلاش‌هایی توسط محققین مختلف صورت گرفته است. در مطالعه‌ای ون لانگ و همکاران (۲۰۱۵) [۲]، به بررسی گسترش اتصالات با ورق انتهایی به وسیله‌ی پیچ‌های بلند به ستون مستطیلی توخالی پر شده با بتن پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه‌ی اشاره شده نشان داد که استفاده از سیستم ورق انتهایی پیچ شده به ستون، نسبت به سایر روش‌ها می‌تواند باعث کاهش هزینه‌ها در ساخت و ساز شود. با این حال، مشکلات مربوط به نصب بر روی محل مفاصل با استفاده از پیچ و مهره‌های بلند باید در نظر گرفته شود.

جاگر و همکاران (۲۰۱۷) [۳]، با مدلسازی نمونه‌هایی در آزمایشگاه و توسعه آن در نرم‌افزار، به بررسی مقاومت خمشی و کمانشی بال تیر ورق‌های فولادی متشکل از ورق موج‌دار دوزنقه‌ای در جان پرداختند و مشاهده کردند که میزان مقاومت خمشی و کمانشی بال نمونه‌های تحت مطالعه به میزان قابل توجهی به وجود و هندسه ورق موج‌دار در جان تیر وابسته است. لازم به ذکر است که با بکارگیری ورق موج‌دار دوزنقه‌ای در جان تیرهای تحت مطالعه، میزان مقاومت خمشی و کمانشی بال آن تیرها نیز افزایش یافت. از طرفی دیگر مشخص شد که بزرگی میزان مقاومت خمشی و کمانشی بال پروفیل‌های بررسی شده رابطه‌ای معکوس با میزان لاغری ورق جان آن دارد. فنگ و همکاران (۲۰۱۴) [۴] و شی و همکاران (۲۰۰۷) [۵]، طی مطالعاتی با اهداف یکسان، با مدلسازی نمونه‌هایی آزمایشگاهی شامل ۶ تیر فولادی I شکل که توسط پیچ در ناحیه جان و توسط جوش نفوذی در ناحیه بال به ستونی با مقطع BOX متصل شده بودند، رفتار لرزه‌ای این اتصالات را بررسی نمودند. نتایج حاصل از بارگذاری چرخه‌ای نشان دهنده‌ی ضعف اتصال مذکور در ناحیه اتصال بال به بدنه ستون و بعلت تمرکز تنش و تسلیم موضعی در این ناحیه بود. علاوه بر روش پیشنهادی مذکور، بدنبال روشی دیگر جهت رفع این نقص در اتصال تیر فولادی به ستون فولادی BOX، با مونتاژ یک سخت کننده روی بال‌های تیر و دیافراگمی در این ناحیه و پیرامون ستون، رفتار اتصال مذکور تا باربری دورانی معادل با ۳ درصد بهبود یافت.

در مطالعه‌ای حق اللهی و همکاران (۱۳۹۴) [۶]، به بررسی و ارزیابی عملکرد اتصالات تیر به ستون فلنجی در ساختمان‌های فولادی پرداختند. در این تحقیق به شبیه‌سازی و تحلیل دو نمونه اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی پرداخته شد. نتایج تحلیل نشان داد که اگر نمونه اول به روش گفته شده تقویت شود از شکل‌پذیری خوبی برخوردار خواهد شد و قابلیت استفاده در قاب خمشی ویژه را پیدا می‌کند. حسین زاده اصل و سعیدزاده (۱۳۹۶) [۷]، به بررسی رفتار لرزه‌ای اتصال گیردار فلنجی تیر مورب به ستون تحت زوایای مختلف با ورق انتهایی پرداختند. در این پژوهش عملکرد لرزه‌ای اتصال فلنجی تیر به ستون تحت زوایای مختلف در پلان و اثرات زاویه‌دار بودن تیرها بر افت مقاومت اتصال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعه‌ی اشاره شده نشان داد که، در اتصالات مورب، با اعمال جابجایی قائم به انتهای تیر، لنگر به صورت زاویه‌دار به محل اتصال وارد می‌شود که یک مؤلفه‌ی آن به صورت لنگر خمشی و مؤلفه‌ی دیگر به صورت لنگر پیچشی عمل می‌کند.

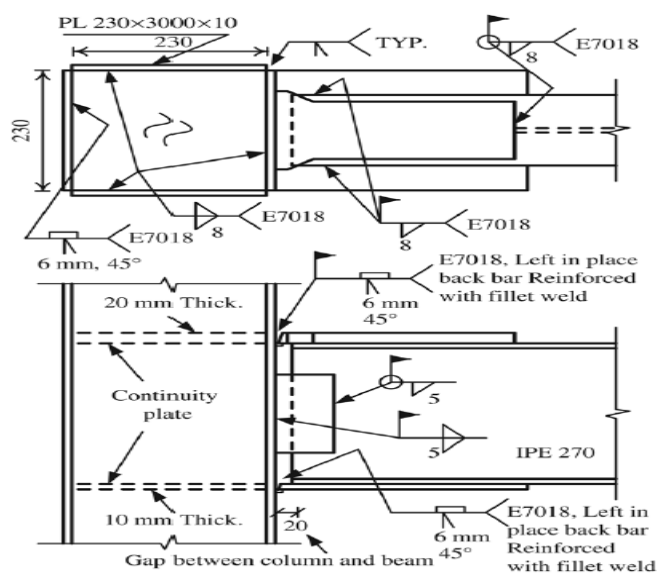
کلالی و همکاران (۲۰۱۵) [۸]، با مدلسازی نمونه‌هایی در آزمایشگاه و توسعه‌ی آن در نرم‌افزار، تأثیر بکارگیری ورق موج‌دار در پنبلی برشی را نسبت به حالت قرارگیری ورق ساده، تأثیر تغییر در ضخامت ورق پنبل در هر دو حالت مذکور و تأثیر تغییر در هندسه و تراکم موج‌های آن ورق بر عملکرد میدان برشی مذکور را بررسی نمودند. پس از انجام این مطالعه، مشاهده گردید که افزایش ضخامت ورق پنبل فولادی در هر دو حالت ساده و موج‌دار، تأثیر چشم‌گیری بر عملکرد و باربری لرزه‌ای پنبل برشی داشت. به طوری که با افزایش ضخامت این ورق، رفتار لرزه‌ای و نمودار هیسترسیزی پایدارتر از نمونه تحت مطالعه مشاهده شد. عرفانی و همکاران (۲۰۱۶)، در راستای جلوگیری از اتصال مستقیم و جوشی تیر به ستون فولادی، با مدلسازی و مونتاژ نمونه‌ای در آزمایشگاه و توسعه آن در نرم‌افزار المان محدود آباکوس، رفتار لرزه‌ای اتصال فلنجی شاخه درختی تیر فولادی I شکل به ستون فولادی BOX را بررسی نمودند. نتایج حاصل از تحقیق مذکور، ضمن اثبات نمودار هیسترسیزی پایدار، استهلاک انرژی را تا باربری ۵ درصد رادیان از دوران برای نمونه‌ی مذکور نشان دادند [۹]. در مطالعه‌ی جاگر و همکاران (۲۰۱۷)، با مدلسازی نمونه‌هایی در آزمایشگاه و توسعه آن در نرم‌افزار، به بررسی مقاومت خمشی و کمانشی بال تیر ورق‌های فولادی متشکل از ورق موج‌دار دوزنقه‌ای در جان پرداختند و مشاهده کردند که میزان مقاومت خمشی و کمانشی بال نمونه‌های تحت مطالعه به میزان قابل توجهی به وجود و هندسه ورق موج‌دار در جان تیر وابسته است. لازم به ذکر است که با بکارگیری ورق موج‌دار دوزنقه‌ای در جان تیرهای تحت مطالعه، میزان مقاومت خمشی و کمانشی بال آن تیرها نیز افزایش یافت [۱۰]. آیدین و همکاران (۲۰۱۴) و (۲۰۱۶)، با مدلسازی نمونه‌هایی در آزمایشگاه متشکل از تیر و ستون فولادی (دارای ورق موج‌دار کرکره‌ای در جان) که توسط پیچ و صفحه انتهایی به یکدیگر متصل شده بودند، عملکرد لرزه‌ای و رفتار چشمه اتصال را در این سیستم اتصالی در حالات وجود ورق ساده و موج‌دار در چشمه اتصال و در حالات وجود و عدم وجود سخت کننده در آن بررسی نمودند. در پی تحقیقات مذکور مشاهده شد که مکانیزم خرابی نمونه‌های تحت مطالعه در حالات عدم وجود سخت کننده در چشمه اتصال، تسلیم این ناحیه تحت نیروهای برشی بود [۱۱-۱۲]. یونتیان وو و همکاران، عملکرد لرزه‌ای اتصالات فلنجی بین دیوارهای بتنی تقویت شده با فولاد و تیرهای فولادی را به صورت آزمایشگاهی و تحلیلی مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که تطابق خوبی بین نتایج به دست آمده از دو روش وجود دارد [۱۳]. یانگ و زو چندین اتصالات مختلف تیر به ستون از نظر ظرفیت، رفتار هیسترتیک و شکل‌پذیری بررسی کرده و مشاهده کردند که اتصالات فلنجی عملکرد مناسب تری از خود نشان دادند [۱۴].

تکنولوژی نانو یکی از فناوری‌های نوین است که با افزایش جمعیت و افزایش میزان ساخت و ساز و همچنین به دلیل کمبود منابع و مصالح مصرفی، درخواست برای استفاده از مصالح جدید در صنعت ساختمان افزایش پیدا کرده است. تلاش به منظور دستیابی به راه حل‌هایی برای بهتر کردن کیفیت و افزایش کارکرد مصالح و کاهش مصرف مواد خام و انرژی، موجب استفاده از فناوری‌های نوین در این صنعت شده است. فناوری نانو یکی از بزرگ‌ترین فناوری‌های نوین در قرن حاضر است که کاربردهای ارزشمندی در صنعت ساختمان دارد. از جمله موارد استفاده تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان می‌توان به تولید مصالح مناسب و با ویژگی‌های مناسب در بخش‌های مختلف یک ساختمان، استفاده در تأسیسات ساختمان و همچنین کاربرد آن در تولید، مصرف و ذخیره‌سازی انرژی با کارکرد بالا اشاره نمود. جاویدی و مروجی (۱۳۹۵) [۱۵]، به بررسی کاربرد تکنولوژی نانو در صنعت ساختمان پرداختند.

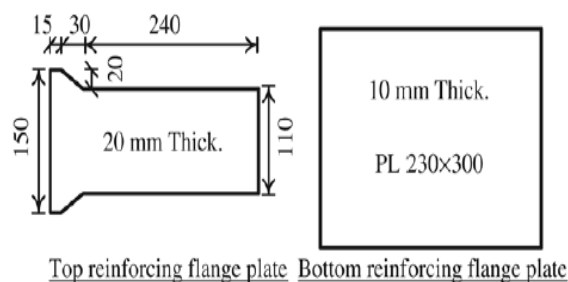
نوآوری در این تحقیق را می توان از سه بعد بکارگیری تیر ورق هایی در ابعاد و هندسه ای متفاوت از مقاطع مرسوم معرفی شده در جان مقاطع، توجه به جزئیات و عملکرد اجزای تشکیل دهنده به صورت جداگانه و بکارگیری مصالح متشکل از ذرات نانو(سه نوع فولاد، متشکل از آلیاژی های متفاوت از ذرات نانو) در کنار فولاد نرمة ساختمانی ذکر شده در ذیل، مورد توجه قرار داد.

۳- صحت سنجی

در مطالعه حاضر، ارزیابی عملکرد لرزه ای اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی با بکارگیری ورق موجدار در جان مقطع I شکل و فناوری نانو در مصالح مورد بررسی قرار می گیرد. مدل های عددی با ابعاد، خصوصیات و طول یکسان در حالت های مختلف با استفاده از روش اجزای محدود به کمک نرم افزار Abaqus شبیه سازی می شوند. در تحقیق حاضر نیز، اعتبارسنجی روش المان محدود به کار رفته، با استفاده از شبیه سازی عددی یک اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی مقاوم سازی شده صورت پذیرفت. به منظور صحت سنجی اتصال تیر به ستون، کار آزمایشگاهی قبادی و همکاران [۱۶] که در سال ۲۰۰۹ صورت پذیرفته بود انتخاب گردید. در مطالعه ی آزمایشگاهی اشاره شده رفتار اتصالات مقاوم خمشی جوش داده شده ارزیابی گردید. بدین منظور پنج مدل اتصال آزمایشگاهی تیر به ستون با مقیاس واقعی ساخته شدند و هر نمونه با استفاده از یک الگوی استاندارد بارگذاری چرخه ای شبه استاتیکی تحت بارگذاری قرار گرفتند. برای صحت سنجی روش اجزای محدود مورد استفاده از میان پنج مدل مورد بررسی در آزمایشگاه، مدل RC4 انتخاب گردید. شکل (۱) جزئیات و ابعاد نمونه آزمایشگاهی RC4 را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود ستون مورد بررسی به صورت قوطی شکل با ابعاد ۲۳×۲۳ سانتیمتر می باشد که ارتفاع آن برابر ۳ متر در نظر گرفته شده است. همچنین مقطع تیر مورد بررسی از نوع IPE270 می باشد. ورق مسلح کننده بال های بالایی و پایینی نیز در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱: مشخصات اتصال RC4 در مطالعه ی آزمایشگاهی قبادی و همکاران (۲۰۰۹) [۱۶]



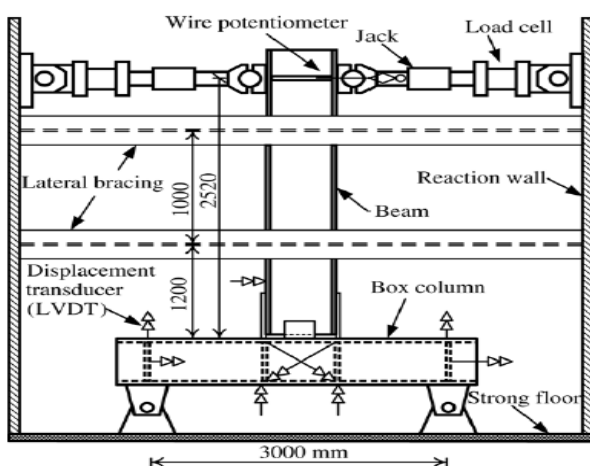
شکل ۲: مشخصات ورق مسلح کننده بال های بالایی و پایینی اتصال تیر به ستون در مطالعه ی آزمایشگاهی قبادی و همکاران (۲۰۰۹) [۱۶]

مشخصات مصالح تیر و ستون ساخته شده که به ترتیب شامل کرنش، تنش تسلیم و تنش نهایی می باشد، به طور کامل در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات مصالح مورد استفاده در مدل های آزمایشگاهی (قبادی و همکاران، ۲۰۰۹) [۱۶]

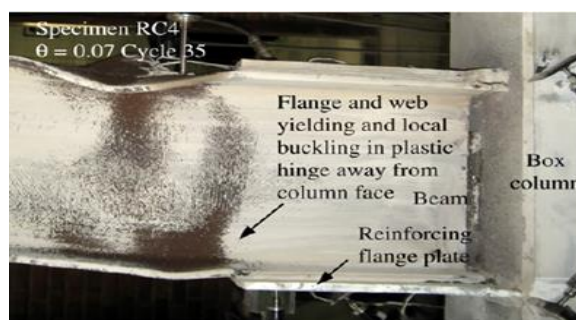
Test coupon	F _y (MPa)	F _u (MPa)	F _y /F _u	Elongation (%)
Beam web (ST37-2)	334	464	0.71	30
Beam flange (ST37-2)	311	438	0.71	26
Column plate, bottom flange plate and 7 – stiffener (10 mm Thick)	320	460	0.69	27
Top flange plate (20 mm Thick)	267	424	0.63	27
E6013-φ4 mm electrode	460	522	0.88	4
E7018-φ4 mm electrode	540	627	0.86	16

مطابق شکل (۳) ضخامت ورق های پیوستگی قرار گرفته در ترازهای بالایی و پایینی تیر که در ناحیه ی داخلی ستون قرار گرفته اند، به ترتیب برابر ۲۰ میلیمتر و ۱۰ میلیمتر می باشند. به منظور اندازه گیری پاسخ های کلی و موضعی، مدل های آزمایشگاهی توسط ترکیبی از جابجایی سنج ها و کرنش سنج های تک محوره مجهز شدند. برای انجام آزمایش یک جک هیدرولیکی با ظرفیت اعمال بار تا ۵۰۰ کیلو نیوتن و یک جابجایی سنج که توانایی اندازه گیری تا ± 200 را دارا می باشد مورد استفاده قرار گرفت. نمونه ها در معرض بارگذاری چرخه ای قرار گرفتند.

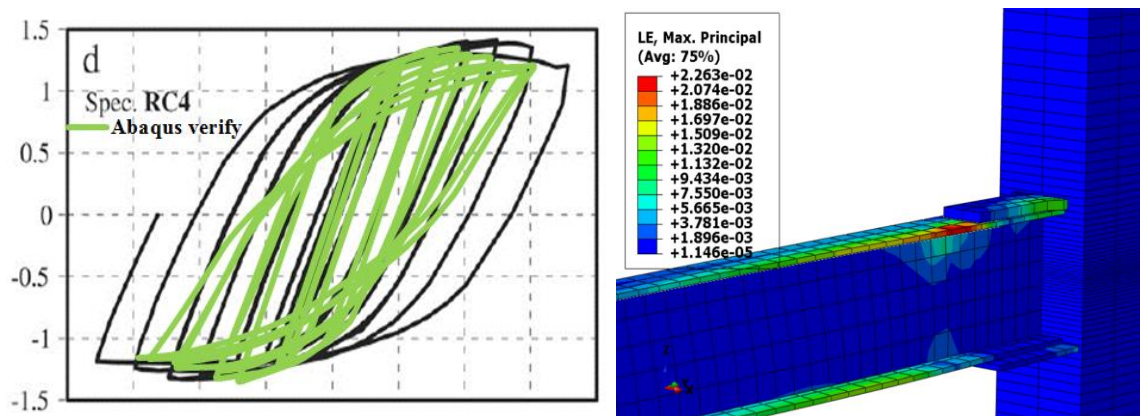


شکل ۳: نحوه اعمال بار به مدل های آزمایشگاهی (قبادی و همکاران، ۲۰۰۹) [۱۶]

در شکل (۴) مدل آزمایشگاهی اتصال RC4 نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، تسلیم بال و جان و کمانش موضعی دور از وجه ستون به وجود آمده است. همچنین در شکل (۵)، مدل اجزای محدود اتصال RC4 نمایش داده شده است. مشاهده می شود که در مدل اجزای محدود نیز مفصل پلاستیک در ناحیه ای دور از محل اتصال به وجود آمده است.



شکل ۴: مدل آزمایشگاهی اتصال RC4 (قبادی و همکاران، ۲۰۰۹)



شکل ۵: توزیع کرنش در اتصال RC4

شکل ۶: منحنی چرخه ای لنگر دوران برای اتصال RC4 مدل آزمایشگاهی و مدل عددی

با توجه به منحنی های چرخه ای لنگر- دوران نشان داده شده در شکل (۶) و مقایسه مدل آزمایشگاهی و مدل عددی شبیه سازی شده توسط نرم افزار Abaqus، مشاهده می شود که پوش نتایج آزمایشگاهی نزدیک به نقاط min, max نمودار استخراج شده از نرم افزار می باشد؛ در نتیجه نتایج حاصل از روش مورد استفاده در این پژوهش که با استفاده از نرم افزار Abaqus انجام می گیرد، نسبت به نتایج

آزمایشگاهی از تطابق نسبتاً خوبی برخوردار می باشد.

۴- روش تحقیق

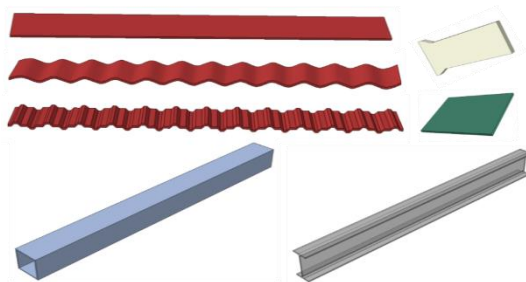
متغیرهای مورد بررسی به ترتیب شامل سه نوع شکل ورق در جان مقطع تیر (ساده، موج دار کرکره ای، موج دار ذوزنقه ای)، سه نوع ضخامت ورق و دو نوع خصوصیات مصالح (وجود و عدم وجود نانو ذرات در مقطع جان تیر) می باشند. بدین ترتیب ۱۸ مدل عددی با ابعاد، خصوصیات و طول یکسان در حالت های مختلف با استفاده از روش اجزای محدود به کمک نرم افزار Abaqus/CAE 6.16 شبیه سازی می شوند. در جدول (۲) تمامی حالت های مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۲: معرفی حالت های مورد بررسی در مطالعه حاضر

حالت	علامت اختصاری	شکل ورق مقطع جان تیر	ضخامت ورق جان
۱	P-t10-St 37	ساده (Plain)	۱۰ mm
۲	P-t10-Nano		
۳	P-t15- St 37		۱۵ mm
۴	P-t15-Nano		
۵	P-t20- St 37		۲۰ mm
۶	P-t20-Nano		
۷	S-t10-St 37	موج دار کرکره ای (Shutter)	۱۰ mm
۸	S-t10-Nano		
۹	S-t15-St 37		۱۵ mm
۱۰	S-t15-Nano		
۱۱	S-t20-St 37		۲۰ mm
۱۲	S-t20-Nano		
۱۳	T-t10-St 37	موج دار ذوزنقه ای (Trapezoid)	۱۰ mm
۱۴	T-t10-Nano		
۱۵	T-t15-St 37		۱۵ mm
۱۶	T-t15-Nano		
۱۷	T-t20-St 37		۲۰ mm
۱۸	T-t20-Nano		

۴-۱- مدلسازی اجزای محدود

اجزای اتصال تیر به ستون در این مطالعه شامل ستون، بال تیر، جان تیر ورق های پیوستگی بالایی و پایینی می باشند که در شکل (۷) نشان داده شده اند.



شکل ۷: اجزای اتصال تیر به ستون در این مطالعه

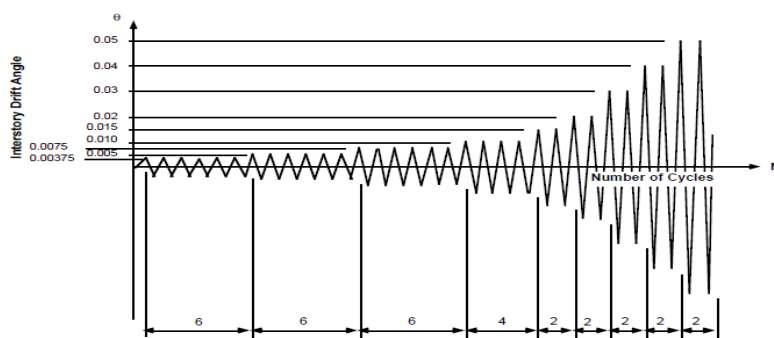
مشخصات مصالح تعریف شده برای مدل های مورد بررسی بر اساس مطالعه تجربی قبادی و همکاران (۲۰۰۹) به مدل های مورد بررسی اعمال گردید. این مشخصات در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین نانو مصالح بکار برده شده در مطالعه حاضر از مطالعه گائو^۱ و اگسای^۲ (۲۰۱۴) [۱۷] با مدول الاستیسیته ۵۷۰ گیگاپاسکال استفاده شده است.

جدول ۳: مشخصات مصالح مورد استفاده در شبیه سازی عددی (قبادی و همکاران، ۲۰۰۹)

المان	تنش تسلیم (Mpa)	تنش نهایی (Mpa)
جان تیر	۳۴۴	۴۶۴
بال تیر	۳۱۱	۴۳۸
ورق ستون	۳۲۰	۴۶۰
ورق های پیوستگی	۳۲۰	۴۶۰
مقاطع مورد استفاده در محل اتصال	۳۲۰	۴۶۰

برای تحلیل مدل های مورد بررسی از تحلیل استاتیکی غیر خطی استفاده گردید. بارگذاری سیکلی ابتدا بصورت کنترل شونده توسط نیرو انجام شد تا آنکه اتصال به نقطه تسلیم رسید. از این مرحله به بعد بارگذاری بصورت کنترل شونده توسط تغییر مکان تنظیم شد. بارگذاری سیکلی همچنان ادامه می یابد تا آنکه اتصال دچار خرابی شود یا آنکه انحراف شدید در منحنی هیستریزس رخ بدهد. این پروتکل بارگذاری، که به طور خاص برای اجزای ساختمان های فولادی مورد استفاده قرار می گیرد، یکی از پروتکل های رسمی مورد استفاده در آمریکا در ارزیابی لرزه ای سازه ها می باشد. پروتکل بارگذاری یکسانی که بر روی تمامی مدل ها اعمال شده است، در شکل (۸) نشان داده شده است. در این نمودار θ برابر است با نسبت جابجایی طبقه به ارتفاع سازه.

¹ Guo
² Xie



شکل ۸: پروتکل بارگذاری بر روی مدل های مورد بررسی (FEMA)

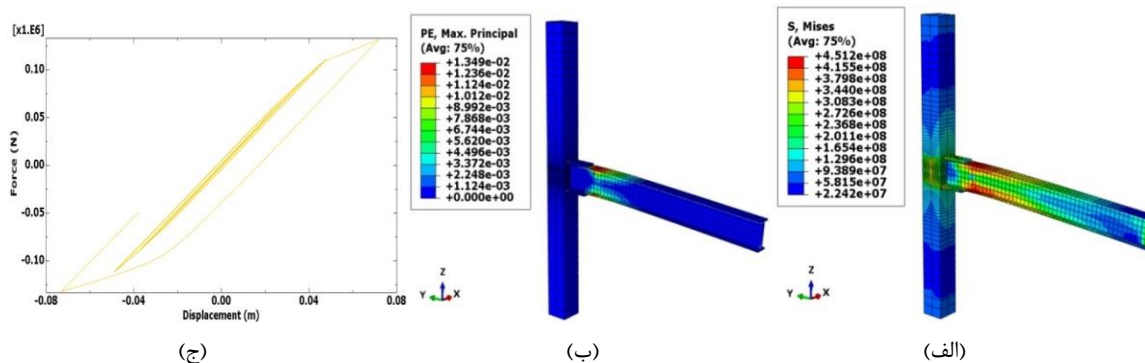
از آنجا که مصالح مورد استفاده در مدل های مورد نظر شامل فولاد می باشند، لذا می بایست اندرکنش و تماس های بین سطوح به نحوی مناسب شبیه سازی گردد. برای انتخاب بهترین اندازه مش بندی، آنالیز حساسیت مش بندی انجام شده است. بدین منظور ابتدا با اندازه مش پیشنهادی آباکوس تحلیل انجام شده و تنش بیشینه از خروجی نرم افزار یادداشت شده است. در گام بعد تعداد المان ها را دو برابر کرده و تأثیر این ریز کردن مش بر پارامتر مذکور سنجیده شده است. کار تا جایی ادامه یافته که با افزایش تعداد المان ها تغییر خاصی در تنش های بیشینه ایجاد نشده و جواب ها همگرا شوند.

۴-۲- بررسی خروجی های حاصل از تحلیل

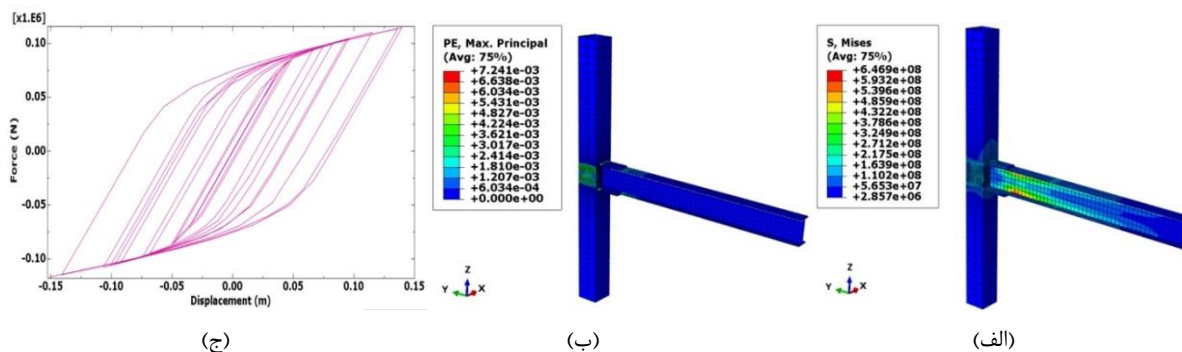
پس از شبیه سازی و تحلیل اتصالات فلنجی تیر به ستون مورد بررسی به روش اجزای محدود، نتایج و خروجی های حاصل در قالب مقادیر تنش فون میزز، توزیع کرنش، منحنی چرخه ای بار-جابجایی ارائه می گردد. سطح زیر نمودار یا به عبارتی سطح محصورشده بین نمودارهای هیستریزس نشان دهنده انرژی مستهلک شده توسط عضو است. هرچه این سطح بزرگتر باشد نشان دهنده این است که عضو شکل پذیرتر بوده و قابلیت جذب انرژی بیشتری دارد. پس از ارائه ی خروجی ها، انتخاب مقاطع بهینه بر حسب سطح منحنی هیستریزس و میزان جذب انرژی آنها انجام می شود و بدین ترتیب بهینه ترین حالت معرفی می گردد. در ادامه به ترتیب توزیع تنش فون میزز، توزیع کرنش و منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای هر هجده حالت مورد بررسی ارائه گردیده است:

۴-۲-۱- بررسی مقاطع با ورق جان ساده

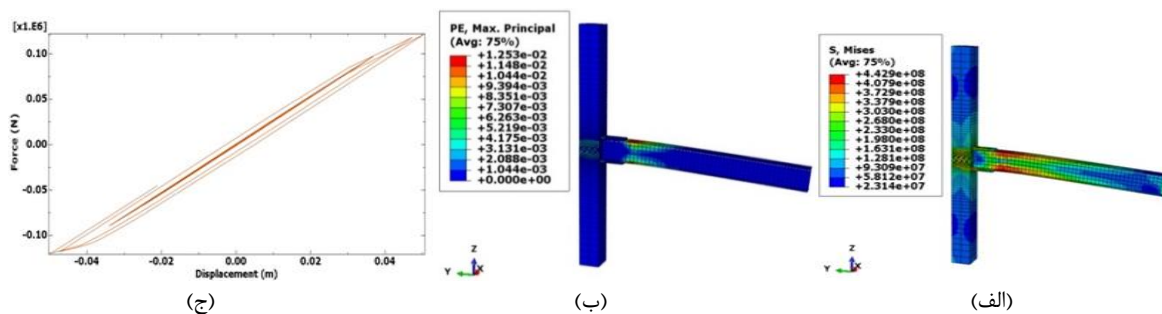
توزیع تنش، کرنش و منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای نمونه های با ورق جان ساده در شکل های ۹ تا ۱۴ آورده شده است. همچنین مقادیر بیشینه تنش، کرنش و جذب انرژی برای نمونه ها در جدول ۴ نشان داده شده است.



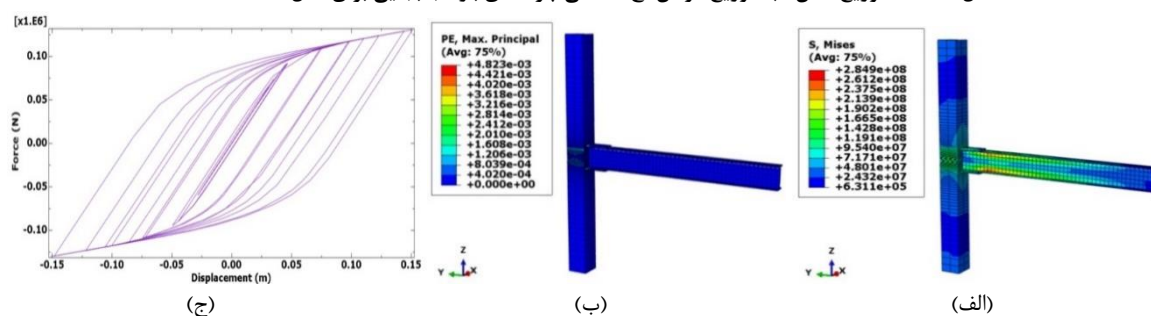
شکل ۹: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (P-t10-St 37)



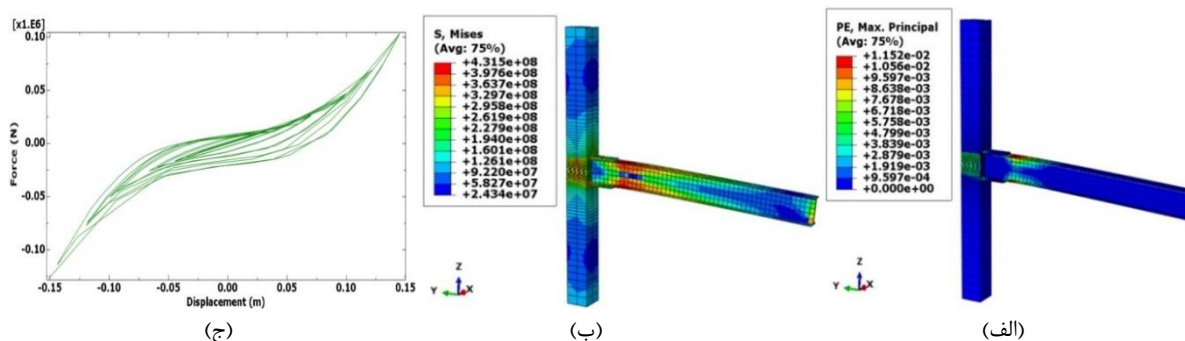
شکل ۱۰: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (P-t10-Nano)



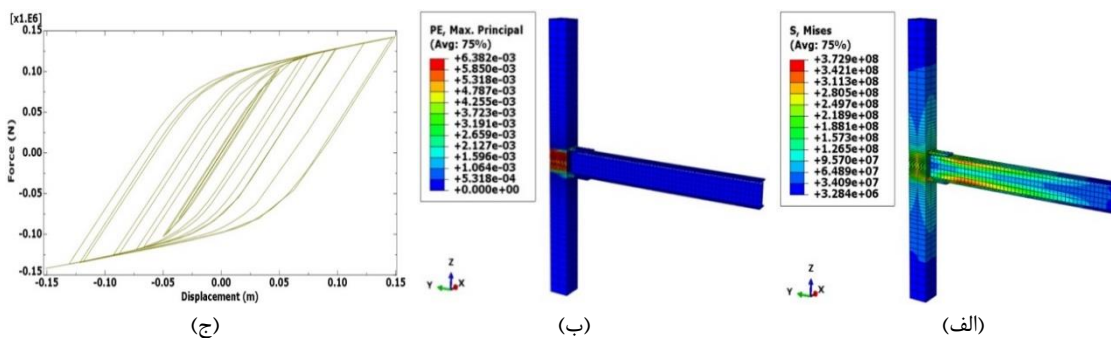
شکل ۱۱: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (P-t15-St37)



شکل ۱۲: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (P-t15-Nano)



شکل ۱۳: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (P-t20-St37)



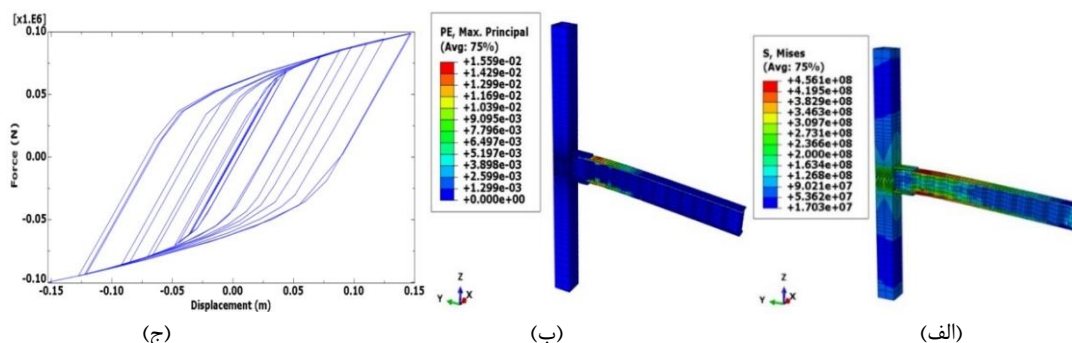
شکل ۱۴: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (P-t20-Nano)

جدول ۴: مقادیر بیشینه تنش، کرنش و جذب انرژی برای نمونه های با ورق جان ساده

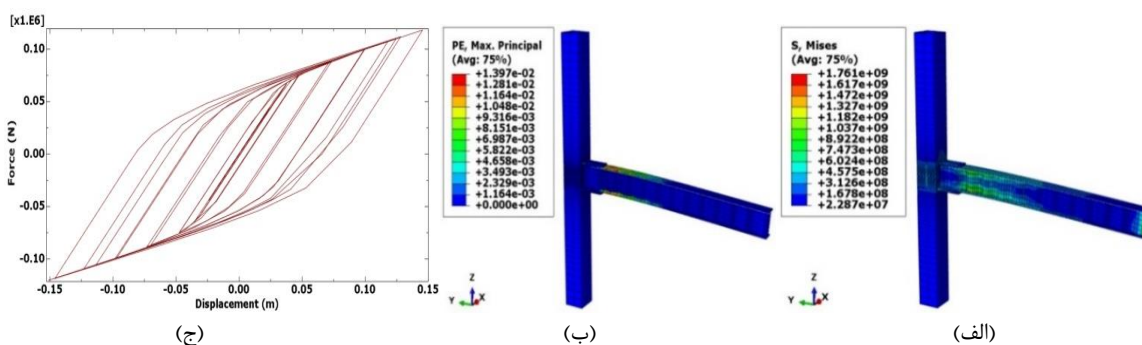
جذب (J)	بیشینه کرنش فون میزز	بیشینه تنش فون میزز (Mpa)	
8	0.0135	451	P-t10-St 37
133	0.0072	647	P-t10-Nano
3	0.0125	443	P-t15- St 37
156	0.0048	285	P-t15-Nano
38	0.0115	432	P-t20- St 37
161	0.0064	373	P-t20-Nano

۲-۲-۴- بررسی مقاطع با ورق جان موج دار کرکره ای

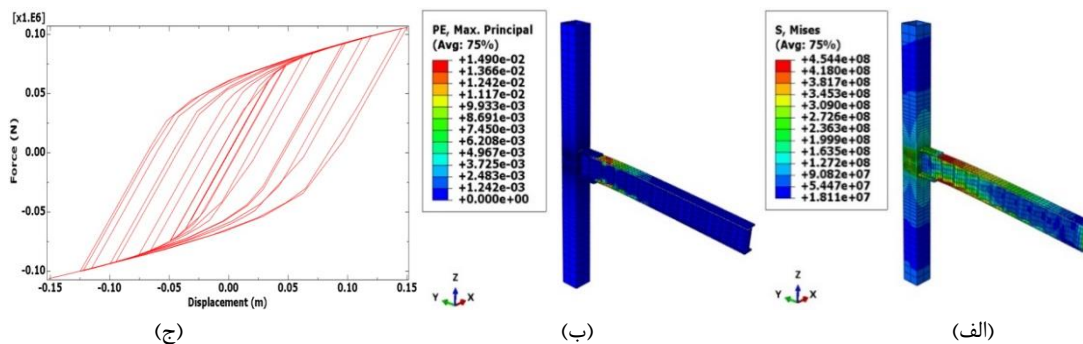
توزیع تنش، کرنش و منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای نمونه های با ورق جان موج دار کرکره ای در شکل های ۱۵ تا ۲۰ آورده شده است. همچنین مقادیر بیشینه تنش، کرنش و جذب انرژی برای نمونه ها در جدول ۵ نشان داده شده است.



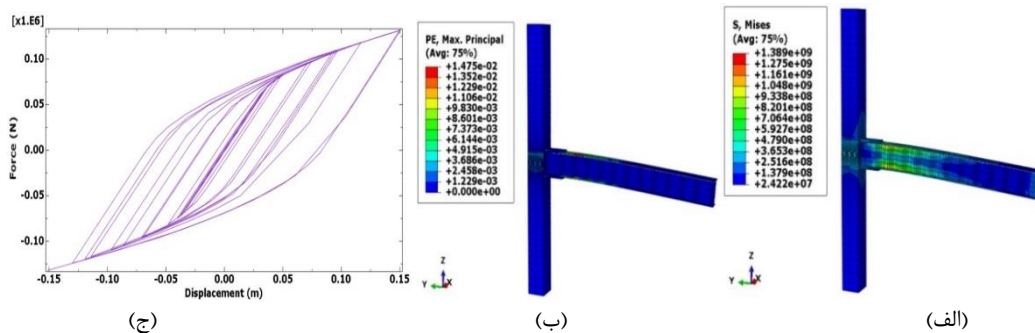
شکل ۱۵: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (S-t10-St 37)



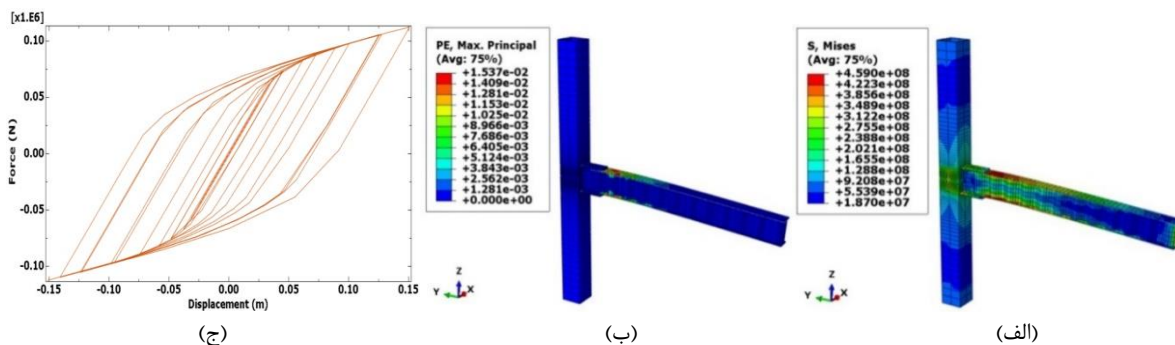
شکل ۱۶: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای مدل (S-t10-Nano)



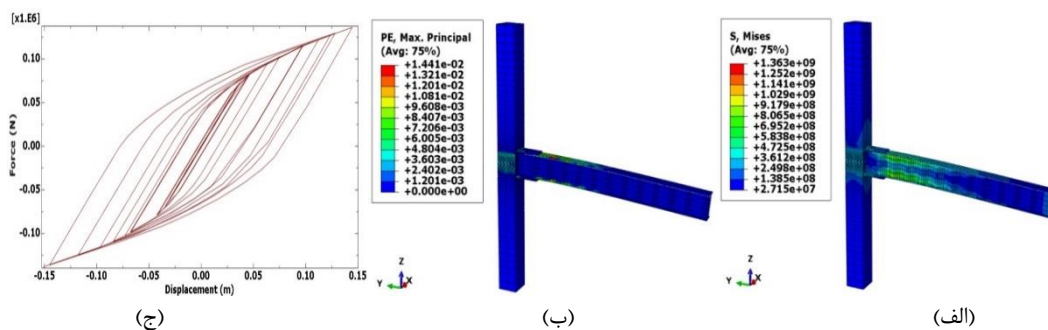
شکل ۱۷ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (S-t15-St 37)



شکل ۱۸ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (S-t15-Nano)



شکل ۱۹ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (S-t20-St 37)



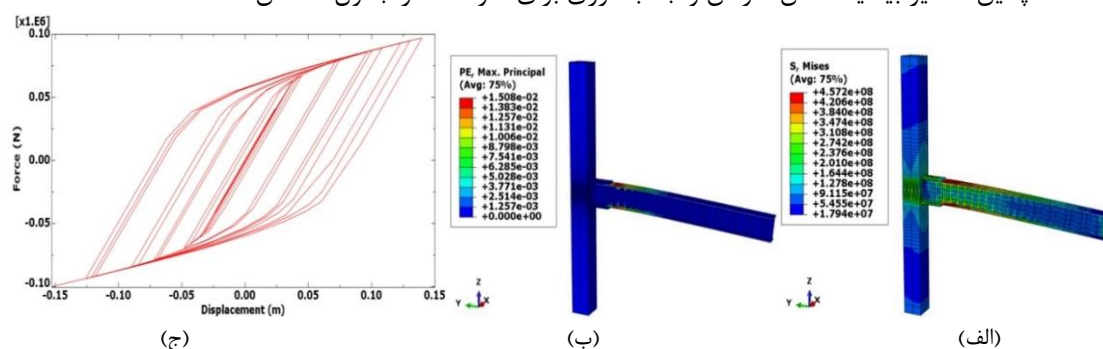
شکل ۲۰ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (S-t20-Nano)

جدول ۵: مقادیر بیشینه تنش، کرنش و جذب انرژی برای نمونه های با ورق جان موج دار کرکره ای

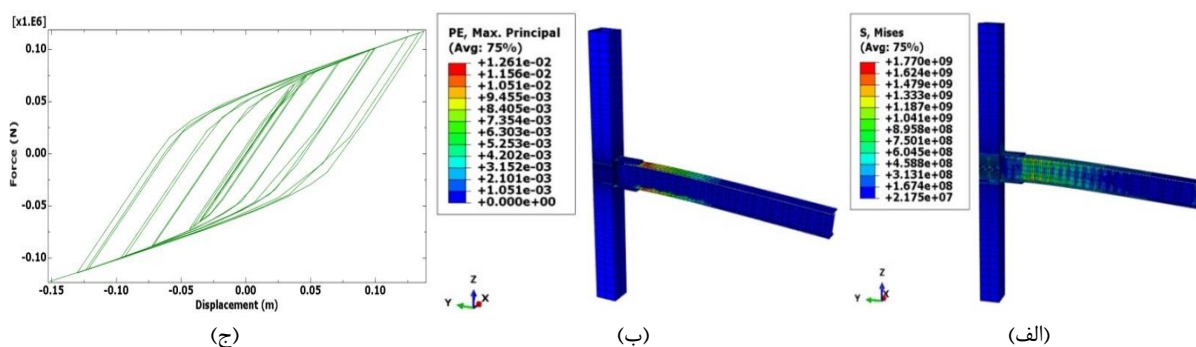
جذب (J)	بیشینه کرنش فون میزز	بیشینه تنش فون میزز (Mpa)	
117	0.0156	456	S-t10-St 37
123	0.0140	1761	S-t10-Nano
124	0.0149	454	S-t15- St 37
123	0.0148	1389	S-t15-Nano
126	0.0154	459	S-t20- St 37
120	0.0144	1363	S-t20-Nano

۴-۲-۳- بررسی مقاطع با ورق جان موج دار دوزنقه ای

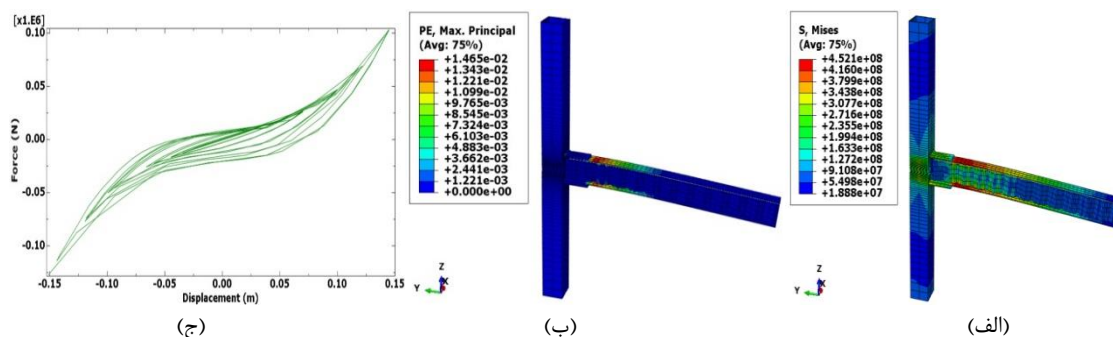
توزیع تنش، کرنش و منحنی چرخه ای بار-جابجایی برای نمونه های با ورق جان موج دار دوزنقه ای در شکل های ۲۱ تا ۲۵ آورده شده است. همچنین مقادیر بیشینه تنش، کرنش و جذب انرژی برای نمونه ها در جدول ۶ نشان داده شده است.



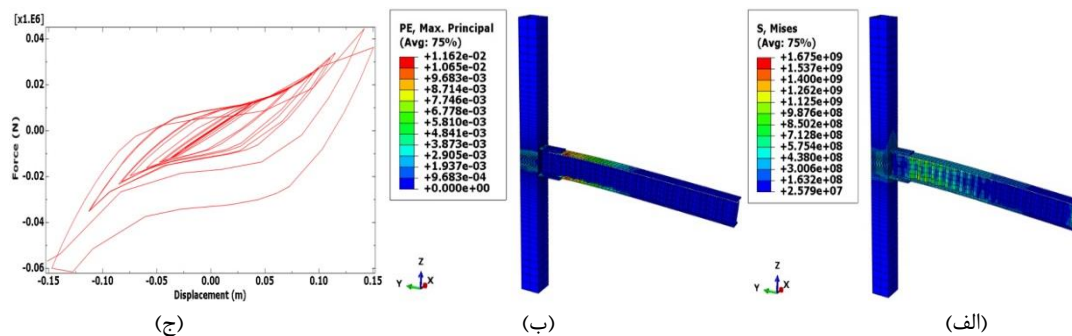
شکل ۲۱ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (T-t10-St37)



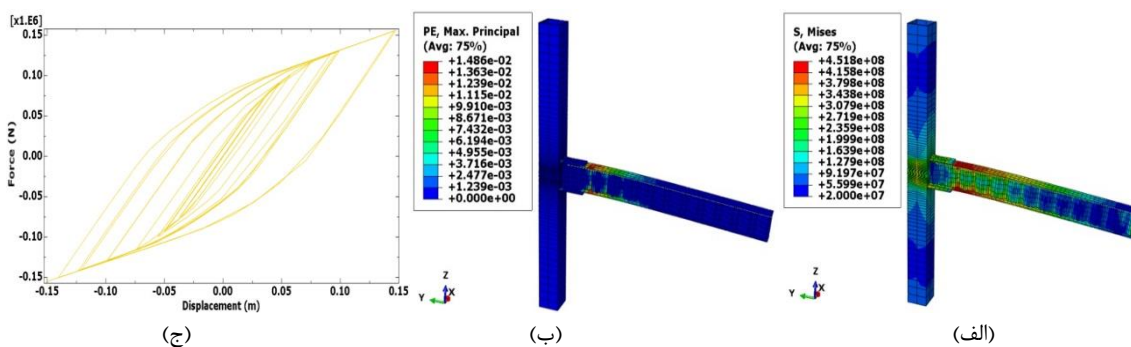
شکل ۲۲ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (T-t10-Nano)



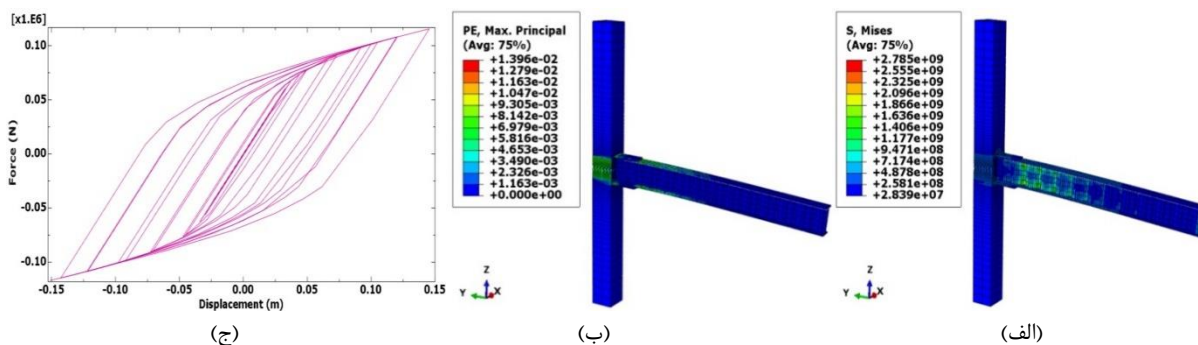
شکل ۲۳ الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (T-t15-St37)



شکل ۲۴: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (T-t15-Nano)



شکل ۲۵: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (T-t20-St37)



شکل ۲۶: الف: توزیع تنش، ب: توزیع کرنش، ج: منحنی چرخه ای بار - جابجایی برای مدل (T-t20-Nano)

جدول ۶: مقادیر بیشینه تنش، کرنش و جذب انرژی برای نمونه های با ورق جان موج دار دوزنقه ای

جذب (J)	بیشینه کرنش فون میزز	بیشینه تنش فون میزز (Mpa)	
117	0.0151	457	T-t10-St 37
116	0.0126	1770	T-t10-Nano
33	0.0147	452	T-t15- St 37
35	0.0116	1675	T-t15-Nano
122	0.0149	452	T-t20- St 37
129	0.0140	2785	T-t20-Nano

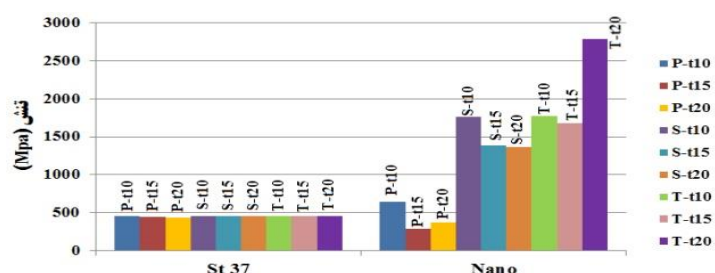
۵- نتیجه گیری

پس از ارائه خروجی های حاصل از تحلیل های انجام شده بر روی مدل های مورد بررسی، در این بخش به تجزیه و تحلیل نتایج

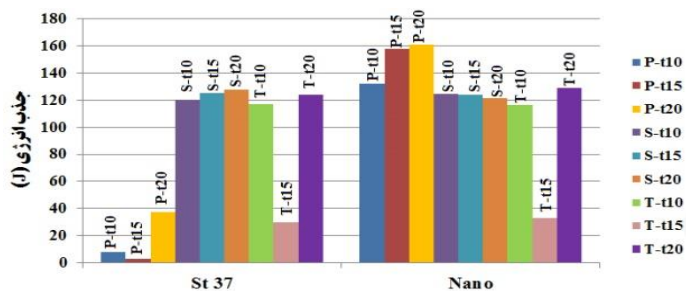
حاصل پرداخته می شود؛ بدین منظور با استفاده از نمودارهای مقایسه ای تاثیر پارامترهای متغیر مورد نظر که به ترتیب شامل سه نوع شکل ورق در جان مقطع تیر (ساده، موج دار کرکره ای و موج دار دوزنقه ای)، سه نوع ضخامت ورق (۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلیمتر) و دو نوع خصوصیات مصالح (وجود و عدم وجود نانو ذرات) می باشند، ارزیابی خواهد شد.

۵-۱- مقایسه حالت های مختلف از جنبه خصوصیات مصالح مصرفی

شکل (۲۷) و (۲۸) به ترتیب مقادیر تنش و میزان جذب انرژی ایجاد شده در حالت های مورد بررسی از جنبه خصوصیات مصالح مصرفی را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد، در تمامی حالت های مورد بررسی، هنگامیکه از مصالح نانو در جان مقطع تیر استفاده گردید، مقادیر تنش های وارده نسبت به حالتی که از فولاد ساختمانی استفاده گردید، بیشتر شده است، بطوریکه در بیشترین حالت که مربوط به نمونه با ضخامت جان مقطع ۲۰ میلیمتر می باشد، تنش های ایجاد شده به میزان ۵ برابر افزایش یافته است. از سویی با مشاهده شکل (۲۸) که مربوط به مقادیر جذب انرژی می باشد، نمونه های حاوی نانو مصالح نسبت به نمونه های حاوی فولاد ساختمانی در بیشتر حالات دارای جذب انرژی بیشتری می باشند بطوریکه جذب انرژی نمونه های نانو مصالح نسبت به فولاد ساختمانی مورد بررسی در بیشترین حالت به میزان ۱۶/۵ برابر شده است. همچنین همانطور که از شکل (۲۸) مشاهده می گردد، در نمونه های حاوی نانو ذرات، اختلاف مقادیر جذب انرژی نسبت به نمونه های حاوی فولاد ساختمانی کمتر می باشد، به نوعی در نمونه های دارای نانو ذرات تاثیر پارامترهای دیگر مورد بررسی، نسبت به نمونه های دارای فولاد ساختمانی کمتر شده است.



شکل ۲۷: تنش های ایجاد شده در حالت های مورد بررسی از جنبه خصوصیات مصالح مصرفی

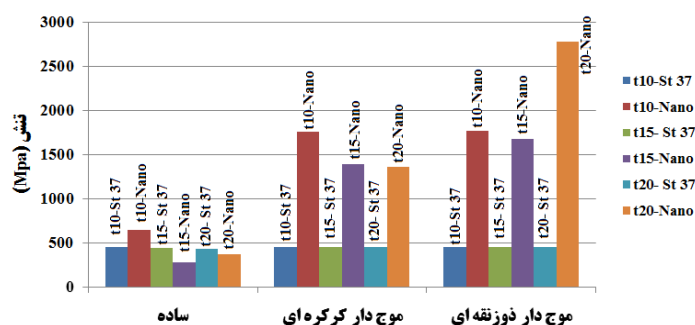


شکل ۲۸: جذب انرژی حالت مورد بررسی از جنبه خصوصیات مصالح مصرفی

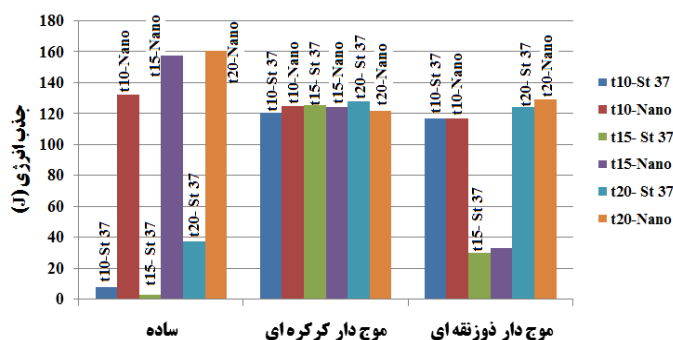
۵-۲- مقایسه حالت های مختلف از جنبه شکل ورق مقطع جان تیر

شکل (۲۹) و (۳۰) به ترتیب مقادیر تنش و میزان جذب انرژی ایجاد شده در حالت های مورد بررسی از جنبه شکل ورق مقطع جان را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می گردد در تمامی حالت های مورد بررسی هنگامی که شکل جان تیر ساده می باشد، تغییرات میزان تنش در بیشترین و کمترین حالت به میزان ۲/۵ و ۱/۵ برابر بوده و مقادیر تنش های ایجاد شده در اتصال تیر به ستون فلنجی در یک محدوده می باشد، اما در حالاتی که شکل جان تیر، موج دار کرکره ای و موج دار دوزنقه ای بوده، اختلاف بین حالات مورد بررسی تغییر چشمگیری در مقایسه با حالت شکل جان مقطع ساده تیر دارد، به طوریکه در بیشترین و کمترین حالت به میزان ۷/۴۶ و ۱/۰۱ برابر شده است. از سویی از مقایسه شکل (۳۰) که مربوط به جذب انرژی حالت مورد بررسی از جنبه شکل ورق مقطع جان تیر می باشد می

توان مشاهده نمود هنگامیکه از ورق با شکل موج دار کرکره ای استفاده گردید تاثیر سایر پارامترها بسیار ناچیز بوده، این درحالیست که در حالت های با شکل ورق موج دار دوزنقه ای، تغییر ضخامت بسیار تاثیرگذار می باشد، بطوریکه اختلاف ضخامت ورق موجدار دوزنقه ای از ۱۵ به ۲۰ میلیمتر در بیشترین حالت منجر به افزایش جذب انرژی کلی به میزان ۳/۹ برابر شده است. از سویی با مشاهده مقادیر جذب انرژی نمونه های دارای ورق جان ساده، می توان به این نتیجه دست یافت که مقادیر جذب انرژی نمونه های دارای ورق جان ساده در مقایسه با حالت های دارای ورق جان با شکل هندسی کرکره ای و دوزنقه ای بیشتر می باشد، به نوعی در بیشترین و کمترین حالت به میزان ۱/۲۵ و ۱/۱۳ برابر افزایش یافته است.



شکل ۲۹: تنش های ایجاد شده در حالت های مورد بررسی از جنبه شکل ورق مقطع جان تیر



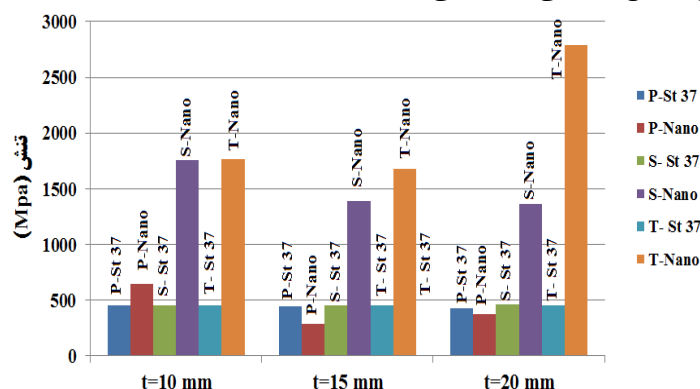
شکل ۳۰: جذب انرژی حالت مورد بررسی از جنبه شکل ورق مقطع جان تیر

۵-۳- مقایسه حالت های مختلف از جنبه ضخامت ورق جان موج

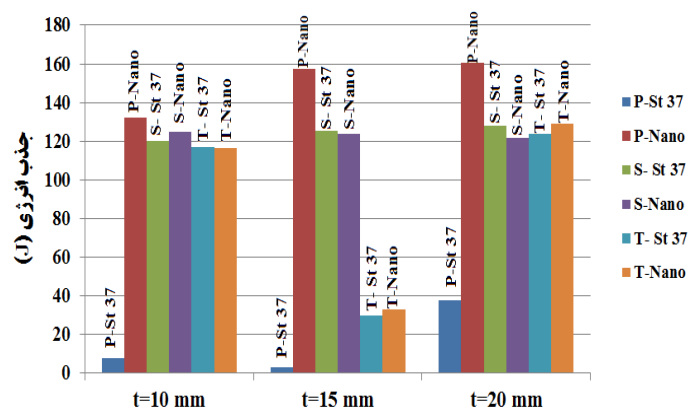
شکل (۳۱) و (۳۲) به ترتیب مقادیر تنش و میزان جذب انرژی ایجاد شده در حالت های مورد بررسی از جنبه ضخامت ورق جان موج دار را نشان می دهد. همانطورکه مشاهده می گردد، در اکثر حالت های مورد بررسی، افزایش میزان ضخامت ورق جان منجر به افزایش میزان جذب انرژی شده است. همچنین با افزایش ضخامت مقادیر تنش های ایجاد شده در اکثر نمونه ها کاهش یافته است این در حالیست که در نمونه های دارای شکل هندسی دوزنقه ای اینگونه نشده است و با افزایش ضخامت از ۱۰ به ۲۰ میلیمتر، مقادیر تنش های ایجاد شده بیشتر شده است. از این موضوع می توان به این نتیجه دست یافت افزایش ضخامت المان های سازه ای همیشه نمیتواند منجر به کاهش مقادیر تنش های وارده به سازه شود و شکل کلی المان در مقادیر تنش های وارده به سازه بسیار تاثیرگذار است. بطوریکه اختلاف ضخامت ورق موجدار دوزنقه ای از ۱۰ به ۲۰ میلیمتر منجر به افزایش تنش های ایجاد شده به میزان ۱/۵۷ برابر شده است. این در حالیست که در نمونه های دارای جان مقطع تیر ساده و جان مقطع تیر با شکل هندسی کرکره ای مقادیر تنش های وارده به میزان ۱/۰۴ و ۱/۲۹ برابر کاهش یافته است.

از سویی با مشاهده مقادیر جذب انرژی نمونه های مورد بررسی، همانگونه که مشاهده می گردد، با افزایش ضخامت مقطع، مقادیر جذب انرژی کلی اتصال تیر به ستون افزایش یافته است. همچنین همانطورکه مشاهده می گردد، در نمونه های دارای جان مقطع ساده در حالتی که از نانو مواد استفاده گردیده، اختلاف مقادیر جذب انرژی کلی سازه بین نمونه های با ضخامت ۱۵ و ۲۰ میلیمتر بسیار ناچیز می باشد، به همین دلیل می توان بیان نمود در طراحی های بهینه سازه، انتخاب و تعیین مقطع و ضخامت با توجه به عملکرد سازه

می تواند در هزینه های نهایی ایجاد شده در مجموعه بسیار تاثیرگذار باشد و بدین ترتیب انتخاب روش و الگویی صحیح جهت بهینه سازی می تواند در مجموع منجر به روشی صحیح و اصولی در طراحی سازه ها باشد.



شکل ۳۱: تنش های ایجاد شده در حالت های مورد بررسی از جنبه ضخامت ورق جان موج دار



شکل ۳۲: جذب انرژی در حالت های مورد بررسی از جنبه ضخامت ورق جان موج دار

۵-۴- نتایج

در این مطالعه، عملکرد لرزه ای اتصال فلنجی تیر به ستون فولادی با بکارگیری ورق موجدار در جان مقاطع I شکل و فناوری نانو در مصالح مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور سه نوع شکل ورق در جان مقطع تیر (ساده، موج دار کرکره ای، موج دار دوزنقه ای)، سه نوع ضخامت ورق و دو نوع خصوصیات مصالح (وجود و عدم وجود نانو ذرات) در نظر گرفته شد. مدل ها در حالت های مختلف تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی به کمک نرم افزار Abaqus قرار گرفتند. نتایج به دست آمده به شرح زیر می باشد:

۱- در بیشتر حالت های مورد بررسی، افزایش میزان ضخامت ورق جان منجر به افزایش میزان جذب انرژی وارده به نمونه های مورد بررسی شده است. همچنین با افزایش ضخامت، مقادیر تنش های ایجاد شده در اکثر نمونه ها کاهش یافته است این در حالیست که در نمونه های دارای شکل هندسی دوزنقه ای اینگونه نشده است و با افزایش ضخامت از ۱۰ به ۲۰ میلیمتر، مقادیر تنش های ایجاد شده بیشتر شده است. از این موضوع می توان به این نتیجه دست یافت، افزایش ضخامت المان های سازه ای همیشه نمیتواند منجر به کاهش مقادیر تنش های وارده به سازه شود و شکل هندسی المان در مقادیر تنش های وارده به سازه بسیار تاثیرگذار است. اختلاف ضخامت ورق موجدار دوزنقه ای از ۱۰ به ۲۰ میلیمتر منجر به افزایش تنش های ایجاد شده به میزان ۱/۵۷ برابر شده است. این در حالیست که در نمونه های دارای جان مقطع تیر ساده و جان مقطع تیر با شکل هندسی کرکره ای مقادیر تنش های وارده به میزان ۱/۰۴ و ۱/۲۹ برابر کاهش یافته است.

۲- با مشاهده مقادیر جذب انرژی نمونه های مورد بررسی مشاهده می گردد، با افزایش ضخامت مقطع، مقادیر جذب انرژی کلی اتصال تیر به ستون افزایش یافته است. همچنین در نمونه های دارای جان مقطع ساده در حالتی که از نانو مواد استفاده گردیده، اختلاف مقادیر جذب انرژی کلی سازه بین نمونه های با ضخامت ۱۵ و ۲۰ میلیمتر بسیار ناچیز می باشد، به همین دلیل می توان بیان نمود در

طراحی های بهینه سازه، انتخاب و تعیین مقطع و ضخامت با توجه به عملکرد سازه می تواند در هزینه های نهایی ایجاد شده در مجموعه بسیار تاثیرگذار باشد و بدین ترتیب انتخاب روش و الگویی صحیح جهت بهینه سازی می تواند در مجموع منجر به روشی صحیح و اصولی در طراحی سازه ها باشد.

۳- در تمامی حالت های مورد بررسی، هنگامیکه شکل جان تیر ساده می باشد، تغییرات میزان تنش در بیشترین و کمترین حالت به میزان $2/5$ و $1/5$ برابر و مقادیر تنش های ایجاد شده در اتصال تیر به ستون فلنجی در یک محدوده می باشد اما در حالتی که شکل جان تیر، موج دار کرکره ای و موج دار دوزنقه ای بوده، اختلاف بین حالات مورد بررسی تغییر چشمگیری در مقایسه با حالت شکل جان مقطع ساده تیر داشته به طوریکه در بیشترین و کمترین حالت به میزان $7/46$ و $1/01$ برابر شده است.

۴- هنگامیکه از ورق با شکل موج دار کرکره ای استفاده گردید، تاثیر سایر پارامترها بسیار ناچیز بوده این درحالیست که در حالت های با شکل ورق موج دار دوزنقه ای، تغییر ضخامت بسیار تاثیرگذار می باشد، بطوریکه اختلاف ضخامت ورق موجدار دوزنقه ای از 15 به 20 میلیمتر در بیشترین حالت منجر به افزایش جذب انرژی کلی به میزان $3/9$ برابر شده است.

۵- با مشاهده مقادیر جذب انرژی نمونه های دارای ورق جان ساده، می توان به این نتیجه دست یافت، مقادیر جذب انرژی نمونه های دارای ورق جان ساده در مقایسه با حالت های دارای ورق جان با شکل هندسی کرکره ای و دوزنقه ای بیشتر می باشد به نوعی در بیشترین و کمترین حالت به میزان $1/25$ و $1/13$ برابر افزایش یافته است.

۶- در تمامی حالت های مورد بررسی، هنگامیکه از مصالح نانو در جان مقطع تیر استفاده گردید، مقادیر تنش های وارده نسبت به حالتی که از فولاد ساختمانی استفاده گردید، بیشتر شده است، بطوریکه در بیشترین حالت که مربوط به نمونه با ضخامت جان مقطع 20 میلیمتری باشد، تنش های ایجاد شده به میزان 5 برابر افزایش یافته است.

۷- نمونه های حاوی نانو مصالح نسبت به نمونه های حاوی فولاد ساختمانی در بیشتر حالات دارای جذب انرژی بیشتری می باشند بطوریکه جذب انرژی نمونه های نانو مصالح نسبت به فولاد ساختمانی مورد بررسی در بیشترین حالت به میزان $16/5$ برابر شده است. همچنین در نمونه های حاوی نانو ذرات، اختلاف مقادیر جذب انرژی نسبت به نمونه های حاوی فولاد ساختمانی کمتر می باشد، به نوعی در نمونه های دارای نانو ذرات تاثیر پارامترهای دیگر مورد بررسی، نسبت به نمونه های دارای فولاد ساختمانی کمتر شده است.

مراجع

- [1] ABAQUS theory manual. Pawtucket, R.I: Hibbit, Karlsson and Sorensen, Inc.;2016. Version 6.16.
- [2] Van-Long, H., Jean-Pierre, J. and Jean-François, J. (2015), "Extended End-Plate to Concrete-Filled Rectangular Column
- [3] Jáger, B., L. Dunai, and B. Kövesdi. "Flange buckling behavior of girders with corrugated web Part I: Experimental study."
- [4] Fang, Cheng, et al. "Cyclic performance of extended end-plate connections equipped with shape memory alloy bolts." *Journal of Constructional Steel Research* 94 (2014): 122-136.
- [5] Shi, Yongjiu, Gang Shi, and Yuanqing Wang. "Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections." *Journal of constructional steel research* 63.9 (2007): 1279-1293.
- [6] Haghallahi, Abbas; Hassan Ahmadi and Reza Jan Nisar, 2, Evaluation and Evaluation of the Performance of Welded Beams to Steel Pillars Using Scarfs and Sections, 5th International Conference on Sustainable Development and Civil Engineering, Isfahan, Higher Education Institute
- [7] Hosseinzadeh Asl, Masoud and Mahsa Saidzadeh, 1, Investigation of seismic behavior of diagonal beam flange retainer column under different angles with end plate, International Conference on Contemporary Iranian Civil Engineering, Architecture and Urban Planning, Tehran, Asouh University - Tehran - Shahid Beheshti University
- [8] Kalali, Hamed, et al. "Hysteretic performance of SPSWs with trapezoidally horizontal corrugated web-plates." *Steel Composite Structures, An International Journal* 19.2 (2015): 277-292.
- [9] Erfani, Saeed, Ahmad Ali Asnafi, and Alireza Goudarzi. "Connection of I-beam to box-column by a short stub beam." *Journal of Constructional Steel Research* 127 (2016): 136-150.
- [10] Jáger, B., L. Dunai, and B. Kövesdi. "Flange buckling behavior of girders with corrugated web Part I: Experimental study." *Thin-Walled Structures* 118 (2017): 181-195.
- [11] Aydın, R., et al. "In-plane behaviour of beam-to-column connections of corrugated web I-sections." *Journal of Constructional Steel Research* 100 (2014): 183-196.

- [12] Aydın, R., et al. "Cyclic behaviour of diagonally-stiffened beam-to-column connections of corrugated-web I sections." *Engineering Structures* 121 (2016): 120-135.
- [13] Yang, R. and Zhou, X "Analysis of the Mechanical Behavior of Bolted Beam-Column Connections with Different Structural Forms." *Advances in Civil Engineering* 6 (2019): 1-11.
- [14] Wu, Y., et al. " Seismic Performance of Endplate Connections between Steel Reinforced Concrete Walls and Steel Beams" *Structural Engineering International* 28 (2018): 208-217.
- [15] Javidi, Ebrahim and Kamran Marouji, 2, Investigating the Application of Nanotechnology in the Building Industry, 4th International Congress on Civil, Architecture and Urban Development, Tehran, Permanent Secretariat of Conference, Shahid Beheshti University.
- [16] Ghobadi, M.S. Mazroib, A., Ghassemieh, M. (2009), Cyclic response characteristics of retrofitted moment resisting connections, doi:10.1016/j.jcsr.2008.02.008, *Journal of Constructional Steel Research* 65 (2009) 586–598.
- [17] Zhi Ge, Zhili Gao "Applications of nanotechnology and nano materials in construction" *Advancing and Integration Construction Education, Research & Practice*, 2008, Karachi, Pakistan