مجله علمی – پژوهشی
«عـمـران مـدرس»
دوره دهم، شماره۳، پاییز ۱۳۸۹

مقادیر شاخص‌های خسارت دراتصالات مستقیم و با ورق اتصال بال در قاب‌های فولادی تحت اثر زلزله

صادق دردائی جوقان[1*]، فرهاد دانشجو[2]

۱- دانشجوی دوره دکتری عمران، سازه، بخش مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد گروه سازه و مهندسی زلزله، بخش مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس

danesh_f@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: فروردین ۱۳۸۸، دریافت پذیرش: مهر ۱۳۸۹)

چکیده – بررسی جزئیات رفتاری اتصالات با توجه به نقش آن ها در سیستم‌های قاب خمشی، دارای اهمیت خاصی است. در این مقاله ضمن معرفی شاخص‌های خسارت، شامل شاخص‌های فشار، میسز، کرنش پلاستیک معادل، سه محوره و گسیختگی، به استخراج و مقایسه‌ی این شاخص‌ها در اتصالات خمشی فولادی تحت اثر نیروی زلزله پرداخته می‌شود. بدین منظور با انجام آنالیز دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی با استفاده از رکوردهای زلزله‌های Duzce، طبس و Imperial Valley، برای مدل دو بعدی یک قاب فولادی ویژه با ده طبقه و یک دهانه، میزان بیشینه‌ی دوران در اتصالات استخراج می‌شود. سپس با انتخاب دو نوع اتصال خمشی، شامل اتصال مستقیم تیر به ستون و اتصال با ورق اتصال بال، شاخص‌های خسارت اتصالات برای دوران‌های حاصل از زلزله‌های منتخب بررسی و مقایسه می‌شود.

نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد با تغییر نوع اتصال، محل مورد بررسی و یا نوع زلزله، مقادیر شاخصهای خسارت و در نتیجه پتانسیل آسیب تغییر می‌نماید. این تغییرات در شاخصهای کرنش پلاستیک معادل و گسیختگی مشخص‌تر می‌باشد.

کلید واژگان: آنالیز دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی، اتصالات، قاب‌های خمشی، شاخص‌های خسارت اتصالات

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

مقدمه

در ساختمان‌های فولادی، اجزای سازه‌ای یعنی تیرها و ستون‌ها به وسیله‌ی اتصالات، اعم از پیچی، پرچی و یا جوشی با یک‌دیگر ارتباط دارند. از این‌رو، طرح، اجرا و بررسی اتصالات به عنوان عناصر واسطه، همانند سایر عناصر سازه از اهمیتی ویژه برخوردار است. در خلال زلزله‌ی نورثریج[1]، تعدادی از اتصالات جوشی در قاب‌های خمشی فولادی دچار خسارت و شکست شدند. مشاهده‌ی این آسیب‌ها این اندیشه را تقویت کرد که در زلزله‌های قبلی هم، آسیب‌هایی در اتصالات به وجود آمده است که مخفی مانده‌اند. تحقیقات بعدی درستی این نظر را اثبات کرد. این موضوع باعث انجام تحقیقات وسیعی در مورد اتصالات صلب در سازه‌های قاب خمشی شد[۱]. آستانه ی اصل و همکاران [۲] آزمایشاتی روی قاب‌های با اتصالات ساده، صلب و نیمه‌صلب، با استفاده از میز لرزان، تحت اثر سه زلزله السنترو، تافت و مکزیکوسیتی انجام دادند. هدف تحقیق، مطالعه‌ی رفتار دینامیکی و بررسی ظرفیت این قاب‌ها برای استفاده از سازه‌های نیمه‌صلب در مناطق فعال لرزه‌خیز بود. بر پایه‌ی مشاهدات آزمایشگاهی این نتیجه حاصل شد که برای زلزله‌های در سطح بهره‌برداری و خفیف، رفتار اتصالات نیمه‌صلب تقریباً مثل اتصالات صلب است. هم‌چنین عنوان شد که رفتار لرزه‌ای اتصالات اعم از رفتار شکل‌پذیر و رفتار ترد باید به‌شکل دقیقی، پیش‌بینی شود.

بر اساس تحقیقات Lemaitre [۳]، انواع مختلف خسارت برای حالات و بارگذاری‌های مختلف به شرح زیر است:

۱- خسارت ترد، ۲- خسارت شکل‌پذیر، ۳- خسارت خزش، ٤- خسارت خستگی با دامنه‌ی پایین و۵- خسارت خستگی با دامنه‌ی بالا.

طبق مشاهدات انجام شده، برای سازه‌های فولادی، خسارات ترد، شکل‌پذیر و خستگی با دامنه‌ی پایین رفتار لرزه‌ای اتصالات تیر- ستون سازه‌های فولادی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. براین اساس خسارت ترد به خسارتی اطلاق می‌شود که بدون وجود کرنش-های پلاستیک قابل توجه آغاز شود، به عبارتی زمانی که نسبت کرنش پلاستیک به کرنش الاستیک زیر واحد است. این بدین معناست که نیروهای تورق، از نیروهایی می‌توانند کرنش‌های پلاستیک را تولید کنند، کم‌تر ولی از نیروهای نگهدارنده بزرگ‌تر است. خسارت شکل‌پذیر به خسارتی گفته می‌شود که به صورت هم‌زمان با تغییر شکلهای پلاستیک بزرگ‌تر از کرنش پلاستیک آستانه اتفاق می‌افتد. در نهایت، خسارت خستگی با دامنه پایین نیز هنگامی‌که مصالح تحت تأثیر نیروهای چرخه‌ای در مقادیر بالای تنش کرنش قرار می‌گیرند، بعد از یک دوره‌ی رشد نهفته، فازهای تشکیل و تکثیر ترک‌های ریز همراه با کرنش‌های پلاستیک چرخه‌ای توسعه می‌یابد. خستگی با دامنه کم با مقادیر پایین تعداد سیکل‌ها برای گسیختگی شناسایی می‌شود.

Taejin Kim و همکاران [٤] به مطالعه‌ی اتصالات تقویت شده با استفاده از ورق‌های پوششی به‌صورت آزمایشگاهی و تحلیلی پرداختند. در قسمتی از این تحقیق شاخص‌های خسارت در اتصالات تقویت شده، مدنظر قرار گرفت. نتیجه‌ی حاصل نشانگر تغییر رفتار و بهبود آن در حالت تقویت شده با استفاده از ورق است.

مطالعات انجام شده توسط Kanvinde و همکاران [۵] سازوکارهای جدیدی را بر اساس مدل‌های میکرومکانیک برای پیش‌بینی آغاز و رشد ترک تحت بارهای خستگی دامنه پایین که در زلزله‌ها، اغلب سازه‌ها و اتصالات

1. Northridge

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

فولادی با آن مواجه هستند ارائه می‌دهد. در این تحقیق که از تئوری شاخص‌های خسارت استفاده شده، مطالعه‌ی وسیع‌تر روی مدل‌های میکرومکانیک برای پیش‌بینی خستگی با دامنه پایین در هنگام زلزله، پیشنهاد شده‌است. Cambpell وهمکاران[٦] روشی برای پیش‌بینی خسارت ناشی از خستگی با دامنه پایین را برای اتصالات قاب‌های خمشی ارائه دادند و دریافتند پیش‌بینی خسارت‌های وارده با واقعیت رفتاری انطباق دارد.

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی شاخص‌های خسارت اتصالات قاب‌های خمشی فولادی تحت تأثیر زلزله است. بدین منظور قاب خمشی ده طبقه با یک دهانه بر اساس استانداردهای رایج کشور طراحی شده و رفتار لرزه‌ای آن تحت‌تأثیر زلزله‌های اصلاح شده Duzce، طبس و Imperial Valley با استفاده از تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی براورد می‌شود. منظور از براورد رفتار، استخراج رفتار اتصالات است که در آن اتصالی که تحت اثر زلزله‌های در نظر گرفته شده، بیشینه‌ی دوران را داشته باشد مدنظر قرار می‌گیرد. سپس با در نظر گرفتن دو نوع اتصال تیر به ستون شامل اتصال با ورق اتصال بال و اتصال مستقیم تیر به ستون، شاخص‌های مختلف خسارت، با مدل‌سازی اتصالات، بررسی و تفاوت‌های این شاخص‌ها برای اتصالات در نظرگرفته شده با توجه به نوع اتصال، موقعیت مورد بررسی و هم‌چنین زلزله‌های انتخاب شده مقایسه می‌شود.

۱- معرفی شاخص‌های خسارت

شاخص‌های خسارت شامل شاخص‌های فشار، میسز، کرنش پلاستیک معادل، سه محوره و گسیختگی، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته که توسط El-Tawil [۷] پیشنهاد شده‌اند. در ادامه به ارائه ومعرفی این شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۱- شاخص فشار

شاخص فشار (PI) به‌عنوان نسبت تنش هیدرواستاتیکی (σ_m) تقسیم بر تنش تسلیم (σ_y) تعریف می‌شود. تنش هیدرواستاتیکی نیز به صورت منفی یک سوم تغییرناپذیر اول تانسور تنش (σ_{ij}) به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\sigma_m = -\frac{1}{3} trace(\sigma_{ij}) = -\frac{1}{3}\sigma_{ii} \qquad (۱)$$

۱-۲- شاخص میسز

شاخص میسز (MI) به صورت تنش میسز (σ_v) تقسیم بر تنش تسلیم (σ_y) به‌دست می‌آید. تنش میسز بر اساس دومین تغییرناپذیر تانسور تنش انحراف آور تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned}\sigma_v &= \sqrt{3J_2} \\ &= \sqrt{\frac{(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2+(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2+(\sigma_{33}-\sigma_{11})^2+6(\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2)^2}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_3-\sigma_1)^2}{2}} \qquad (۲) \\ &= \sqrt{\frac{3}{2}s_{ij}s_{ij}}\end{aligned}$$

که در آن S_{ij} مقادیر مولفه‌های تانسور تنش انحراف‌آور است.

$$S_{ij} = \sigma_{ij} + \sigma_m \delta_{ij} \qquad (۳)$$

۱-۳- شاخص کرنش پلاستیک معادل

شاخص کرنش پلاستیک معادل (PEEQI) به‌صورت کرنش پلاستیک معادل (PEEQ در نرم‌افزار ABAQUS)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

تقسیم بر کرنش تسلیم (ε_y) تعریف می‌شود. کرنش پلاستیک معادل به عنوان دومین تغییرناپذیر تانسور کرنش پلاستیک به‌شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$PEEQ = \sqrt{\frac{2}{3}\varepsilon_{ij}^{p}\varepsilon_{ij}^{p}} \qquad (٤)$$

که در آن $\varepsilon^{p}_{i,j}$ مولفه‌های کرنش پلاستیک است.

۱-٤- شاخص سه محوره

شاخص سه‌محوره (TI) به‌صورت حاصل تقسیم تنش هیدرواستاتیک بر تنش میسز تعریف می‌شود، به عبارتی:

$$TI = \frac{PI}{MI} \qquad (٥)$$

Lemaitre و همکاران به اهمیت تأثیر این شاخص بر گیسختگی شکل‌پذیر فلزاتی هم‌چون فولاد تأکید کرده‌اند. هم‌چنین بر اساس تحقیقات El-Tawil عنوان شده است که اگر مقادیر شاخص فشار و شاخص سه‌محوره کوچکتر از ۰/٦- باشد، پتانسیل شکست ترد کم‌تر می‌شود.

۱-٥- شاخص گسیختگی

تعریف شاخص گسیختگی (RI) به عنوان معیاری برای بررسی پتانسیل گسیختگی مقطع مورد بررسی به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$RI = a\frac{PEEQ}{\varepsilon_r} = \frac{PEEQ}{\exp(1/5\frac{\sigma_m}{\sigma_v})} \qquad (٦)$$

که a، ثابت مصالح و ε_r کرنش گسیختگی است.

۲- انتخاب و مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها

در این تحقیق برای انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی از سه رکورد زلزله مربوط به خاک نوع II استفاده شده است. از بین این شتاب‌نگاشت‌ها، رکورد طبس مربوط به ایران و بقیه مربوط به زلزله‌های واقع شده در سایر کشورها است. شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده به‌نحوی انتخاب شده‌اند که بیشینه‌ی دوران اتصال‌ها که از نتایج آنالیزهای دینامیکی غیرخطی حاصل می‌شوند، دارای مقادیری باشند که بررسی و مقایسه‌ی شاخص‌های خسارت اتصالات در آن‌ها ممکن باشد. هم‌چنین نظر به این‌که سازه در منطقه‌ای با خطر نسبی بالا و خاک نوع II در نظر گرفته شده و طراحی می‌شود، از شتاب‌نگاشتهایی استفاده شده است که روی خاک نوع II ثبت شده باشند. از آن‌جایی‌که شتاب-نگاشت‌هایی که برای تحلیل دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی انتخاب می‌شوند، باید از نظر محتوای فرکانسی، پاسخ طیفی و دوام (مدت زمان) جنبش شدید زمین، مشابه جنبش‌های شدید که امکان رویداد آن‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد، باشند، لذا شتاب‌نگاشت‌ها، بر اساس روش ارائه شده در ستورالعمل بهسازی ایران[۸] مقیاس شده‌اند. بدین منظور طیف طرح استاندارد (طیف طرح ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰[۹] در خاک نوع II و منطقه‌ی با خطرنسبی بالا) به همراه طیف پاسخ زمین‌لرزه مورد نظر (با میرایی ۵٪) ترسیم شده؛ سپس ضریب مقیاس به نحوی تعیین شده که مساحت زیر منحنی طیف پاسخ زمین‌لرزه با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ برای خاک نوع II و منطقه‌ی با خطر نسبی زیاد در محدوده‌ی ارائه شده در دستورالعمل مطابقت کند. در ادامه، مقادیر مربوط به ضرایب مقیاس به‌دست آمده برای زلزله‌های مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

جدول ۱ مشخصات شتاب‌نگاشتها

ردیف	زلزله	PGA (g)	PGV (cm/s)	PGD (cm)	ضریب مقیاس
۱	Imperial Valley 1979.10.15	۰/۱۰۹	۵/۲	۲/۲۱	۱/۷۹
۲	Tabas, Iran 1978	۰/۹۱۲	۱۱۷	۱۲۷	۰/۷
۳	Duzce, Turkey 1999.11.12	۰/۱۳۵	۱۳/۷	۸/۱۹	۱/۰٦٦

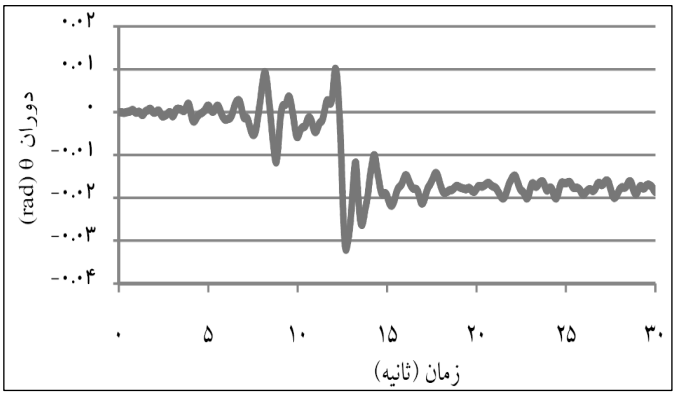
٤- مدل قاب خمشی فولادی و محاسبه‌ی بیشینه‌ی دوران اتصالات

قاب خمشی فولادی ویژه‌ی (SMRF) مورد استفاده در این تحقیق دارای ده طبقه با ارتفاع طبقات ۳ متر و یک دهانه با دهانه ۵ متری بوده و بر مبنای ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، آیین‌نامه‌ی ۵۱۹ و مبحث دهم مقرارت ملی [۹،۱۰،۱۱] طراحی شده است. انتخاب فقط یک قاب از دو جنبه قابل توجه است، اول این‌که هدف تحقیق صرفاً بررسی شاخص خسارت در اتصالات است و نه بررسی رفتار قاب‌های مختلف، دوم این‌که در انتخاب تعداد طبقات، رسیدن به یک حد شکل‌پذیری که میزان قابل قبولی از دوران اتصال را پوشش دهد، مدنظر قرار گرفته است. طراحی قاب بر اساس نیروی زلزله براورد شده برای منطقه با خطر نسبی زیاد و خاک نوع II است. در طراحی قاب، رفتار غیرخطی مصالح و هندسی در نظر گرفته شده و بار مرده به‌میزان ٦۰۰ kg/m^2 و بار زنده ۲۰۰ kg/m^2 در تمام طبقات فرض شده است. هم‌چنین در تحلیل و طراحی قاب فولاد مصرفی از نوع ST۳۷ در نظر گرفته شده است.

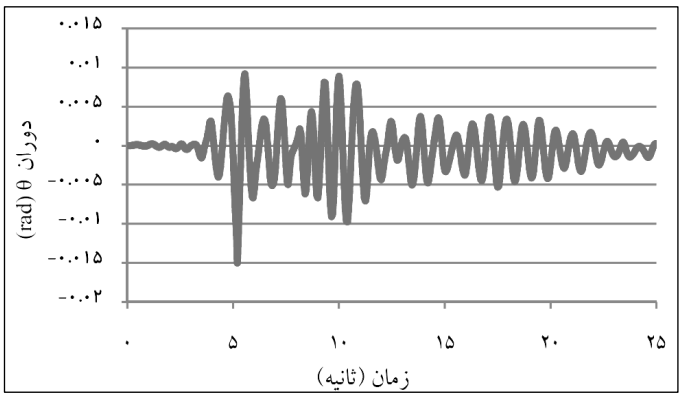
مدل دو بعدی قاب با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS تعریف شده است. برای مدل‌سازی المان‌های تیر و ستون، از المان دو بعدی غیرخطی Beam و برای مدل‌سازی جرم، از جرم متمرکز استفاده شده است. پس از مدل-سازی با نرم افزار انجام آنالیز دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی در دستور کار قرار گرفته و پاسخ اتصالات، شامل میزان دوران اتصالات استخراج شد.

بر این اساس نتایج تحلیل تاریخچه‌ی زمانی دوران اتصال‌هایی که دارای بیش‌ترین مقدار دوران است، برای زلزله‌های در نظرگرفته شده، در شکل(۱) و جدول (۲) آمده است. در ادامه و در جدول (۳) مشخصات اتصالاتی که در آن‌ها بیش‌ترین دوران تحت اثر زلزله‌های اعمالی حاصل شده است ارائه می‌شود. از مقادیر بیشینه‌ی دوران اتصال که بر اساس نتایج آنالیزهای غیرخطی به دست آمده است، برای بررسی رفتار دو نوع اتصال مدنظر در این تحقیق شامل اتصال مستقیم تیر به ستون و اتصال با ورق اتصال بال، استفاده شده است.

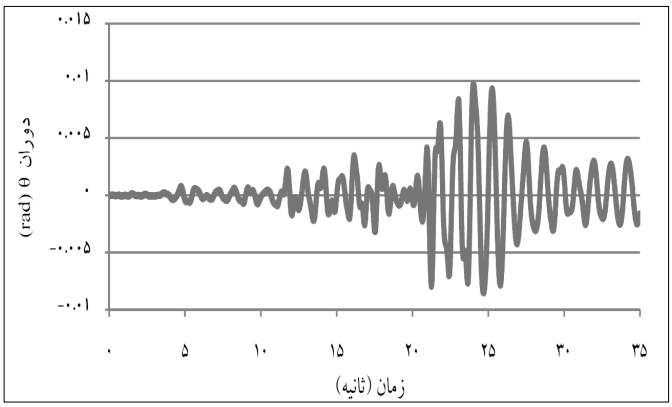
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]



الف) تاریخچه‌ی تغییرات دوران برای زلزله‌ی Imperial valley



ب) تاریخچه‌ی تغییرات دوران برای زلزله‌ی طبس



ج) تاریخچه‌ی تغییرات دوران برای زلزله‌یDuzce

شکل ۱ تاریخچه‌ی تغییرات دوران (θ) برای اتصال‌های دارای بیش‌ترین دوران

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

جدول ۲ بیشینه دوران اتصالات

زلزله / دوران	زلزله Imperial valley	زلزله طبس	زلزله Duzce
دوران ماکزیمم	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۹

جدول ۳ مشخصات اتصالات

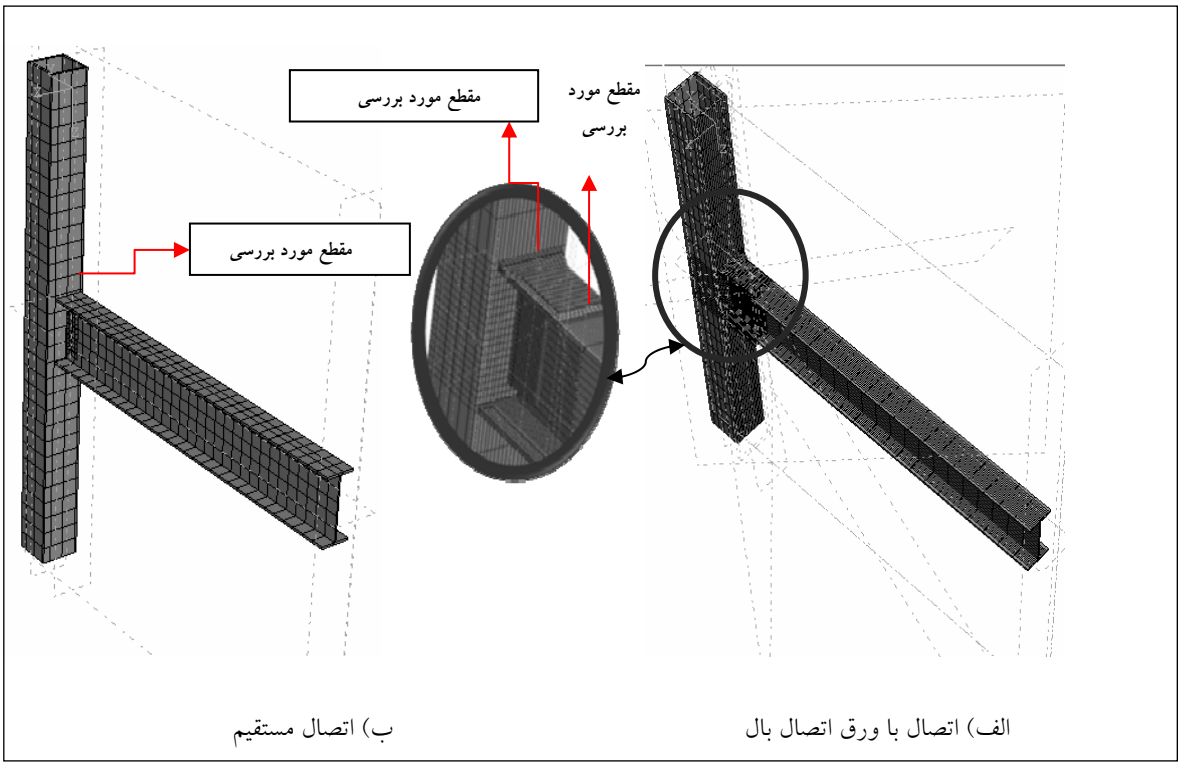
تیر	ستون	ورق فوقانی	جوش ورق فوقانی	ورق تحتانی	جوش ورق تحتانی
IPE ٤٠٠	BOX ٣٠٠	٢٥٠×١٤٠×٢٥	١٢	٢٥٠×٢٢٠×٢٠	١٠
IPE ٤٠٠	BOX ٣٠٠	–	١٢	–	١٠

۵- مدل‌سازی اتصالات

برای محاسبه و تعیین رفتار در اتصالات، شامل میزان تنش‌ها و کرنش‌ها و در نتیجه استخراج شاخص‌های خسارت، برای مدل‌سازی اتصال‌ها از یک تیر که به وسط یک ستون با ارتفاعی برابر با ارتفاع طبقه متصل می‌شود، استفاده شده است. در مدل‌سازی انجام شده، شرایط مرزی تیر به گونه‌ای تعریف شده‌است که بتواند در انتها به صورت قائم جابه‌جایی داشته باشد؛ هم‌چنین دو سر ستون در مدل اتصال که در واقع همان وسط ارتفاع ستون در قاب خمشی است، دارای تکیه‌گاه‌های مفصلی است. دلیل انتخاب شرایط سرحدی مفصلی این است که در قاب خمشی تحت تأثیر نیروهای جانبی، نقاط عطف در وسط ارتفاع طبقه ایجاد شده و لنگر خمشی صفر است. مدل‌سازی شرایط سرحدی مفصلی در مدل سه بعدی اتصال به‌گونه‌ای است که سطح مقطع ستون امکان دوران حول مرکز سطح مقطع ستون را داشته باشد تا از ایجاد لنگر خمشی در این محل جلوگیری شود، هم‌چنین جابه‌جایی کلیه نقاط سطح مقطع ستون در اثر بارگذاری به‌گونه‌ای است که سطح مقطع ستون قبل و پس از بارگذاری دچار تغییرشکل‌های نسبی نشود و شرایط مفصلی در سر ستون احراز شود. برای مدلسازی اتصالات از المان‌های Solid در نرم‌افزار ABAQUS استفاده می‌شود

همان‌طور که قبلا نیز ذکر شد، دو نوع اتصال در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل اتصال از نوع مستقیم تیر به ستون و هم‌چنین اتصال با استفاده از ورق‌های اتصال بال است. در ادامه، بر اساس میزان دوران بیشینه‌ی ناشی از زلزله، بر اساس نتایج تحلیل در قسمت قبل به مقایسه و بررسی رفتار دو اتصال از لحاظ شاخص‌های رفتاری پرداخته می‌شود. در شکل (۲) نحوه‌ی مدل‌سازی اتصالات در نظر گرفته شده در این تحقیق نمایش داده شده است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]



شکل ۲ اتصالات در نظر گرفته شده

٦- مقایسه‌ی شاخص‌های خسارت

پس از مدل‌سازی و اعمال نتایج حاصل از آنالیز دینامیکی تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی در اتصالات مدل شده، نتایج تنش‌ها و کرنش‌ها در اتصالات استخراج شده و سپس شاخص‌های خسارت برای هر یک از اتصالات به‌دست می‌آید. در ادامه، مقایسه‌ی این شاخص‌ها در دو بخش شامل مقایسه با توجه به نوع اتصال و مقایسه با توجه به نوع زلزله‌ها ارائه می‌شوند.

٦-١- مقایسه‌ی شاخص‌ها با توجه به نوع اتصال

در این قسمت، مقادیر شاخص‌های خسارت در اتصالات در نظر گرفته شده، استخراج و مقایسه می‌شود. بدین منظور برای نمونه‌ی اول (اتصال مستقیم تیر به ستون) بال بالایی تیر به ستون در محل اتصال و در نمونه‌ی دوم (اتصال با ورق بال) در دو قسمت شامل محل اتصال ورق اتصال تیر به ستون و انتهای ورق روی بال بالایی تیر انتخاب شده و شاخص‌های خسارت در این نواحی استخراج می‌شود(مطابق شکل(۲)). علت انتخاب این نواحی بدین دلیل است که طبق تجربیات زلزله‌های گذشته در این نواحی خسارات سازه‌ای بیش-تر متمرکز شده‌اند و بررسی شاخص‌های خسارت در این نواحی به شناخت بیش‌تر رفتار آن‌ها کمک می‌کند. در ادامه با توجه به یکسان بودن الگوی تغییر شاخص‌ها برای هریک از دوران‌های استخراجی، نتایج مقایسه‌ها برای زلزله‌ی Imperial valley که دارای بیش‌ترین

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

مقدار بیشینه‌ی دوران (θ=۰/۰۳۲) در مقایسه با سایر رکوردها است ارائه می‌شود.

شکل‌های (۳) تا (۷)، توزیع مقادیر شاخص میسز، شاخص کرنش پلاستیک معادل، شاخص فشار، شاخص سه‌محوره و شاخص گسیختگی را برای اتصال مستقیم در محل اتصال تیر به ستون و برای اتصال با ورق اتصال بال در ناحیه‌ی بالایی بال تیر دقیقاً بعد از اتمام ورق اتصال بال نمایش می‌دهد. مطابق شکل (۳) بر اساس نتایج حاصل از استخراج شاخص میسز مشاهده می‌شود که شاخص میسز در مقاطع مورد بررسی در هر دو نوع اتصال، دارای مقادیر بزرگ‌تر از واحد است و این بدین معناست که در هر دو نوع اتصال، رفتارها غیرخطی شده‌اند؛ با این‌حال میزان تنش-های غیرخطی در انتهای تیر با اتصال مستقیم، در کناره‌ها بیش،تر است. در اتصال با استفاده از ورق نیز تنش‌های غیرخطی در کناره‌ها و میانه‌ی تیر نسبت به سایر قسمت‌ها بیش‌تر است. مقایسه‌ی رفتار دو نوع اتصال در این مقطع نشان می‌دهد که تیر با اتصال مستقیم به ستون، دارای تنش‌های غیرخطی یکنواخت‌تری نسبت به اتصال با ورق اتصال بال در مقطع مورد بررسی است.

نتایج حاصل از به‌دست آوردن شاخص کرنش پلاستیک معادل در شکل (٤) نشان داده شده است.

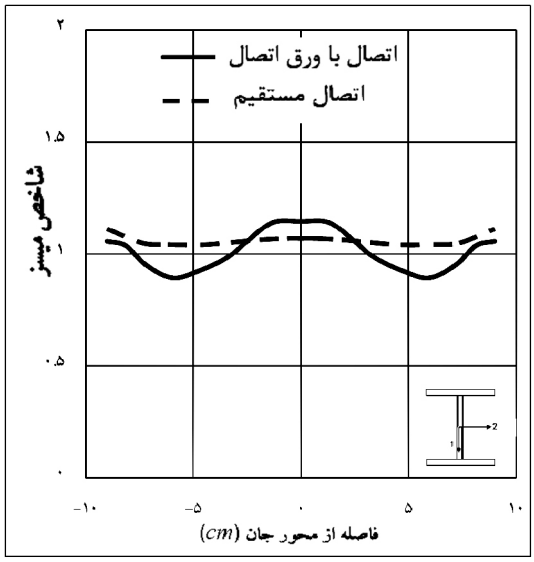
همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص کرنش پلاستیک معادل در اتصال مستقیم تیر به ستون دارای مقادیر بزرگ‌تری است و بزرگ‌ترین مقدار آن برابر ۲۰، در گوشه‌های مقطع تیر می‌باشد که می‌تواند باعث گسیختگی جوش و در نتیجه خرابی اتصال شود.

همان‌طور که مشاهده می‌شود برای اتصال با ورق اتصال بال، کرنش پلاستیک معادل، دارای مقادیر کم‌تری از اتصال نوع مستقیم است و این موضوع مؤید کاهش کرنش‌ها و در نتیجه کاهش پتانسیل شکست اعم از ترد و شکل‌پذیر در این نوع اتصالات در مقطع بررسی شده است.

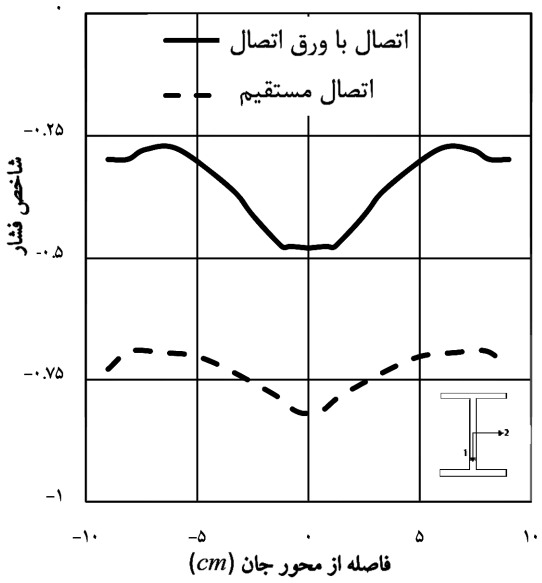
مقایسه‌ی شاخص‌های فشار و سه‌محوره برای اتصالات در نظر گرفته شده، همان‌طور که در شکل‌های (۵) و (٦) مشاهده می‌شود نشان می‌دهد، اتصال با ورق‌های اتصال بال دارای مقادیر کم‌تری از اتصال نوع مستقیم است و این بدین معناست که احتمال رخداد شکست ترد در این نوع اتصال کمتر است.

روند تغییرات شاخص گسیختگی مطابق شکل (۷) همانند شاخص کرنش پلاستیک معادل و با ماکزیمم مقدار برابر ۰/۱ برای اتصال مستقیم و ۰/۰٤٥ برای اتصال با ورق اتصال بال می‌باشد. همانطورکه مشاهده می‌گردد مقادیر مربوط به شاخص گسیختگی در اتصال مستقیم در قسمت کناره‌های بال تیر و وسط تیر دارای مقادیر بزرگتری نسبت به سایر قسمتهاست که نشانگر این موضوع است که گسیختگی این نقاط دارای پتانسیل بالاتری است. برای اتصال با ورق اتصال نیز با مشاهده مقادیر مشخص می‌گردد که کناره‌ها دارای پتانسیل بالاتری برای گسیختگی می‌باشند. نکته دیگری که از مقایسه دو منحنی حاصل می‌شود این است که اتصال با ورقهای اتصال بال دارای پتانسیل به مراتب کمتری برای گسیختگی در مقطع مورد بررسی در مقایسه با اتصال نوع مستقیم می‌باشد.

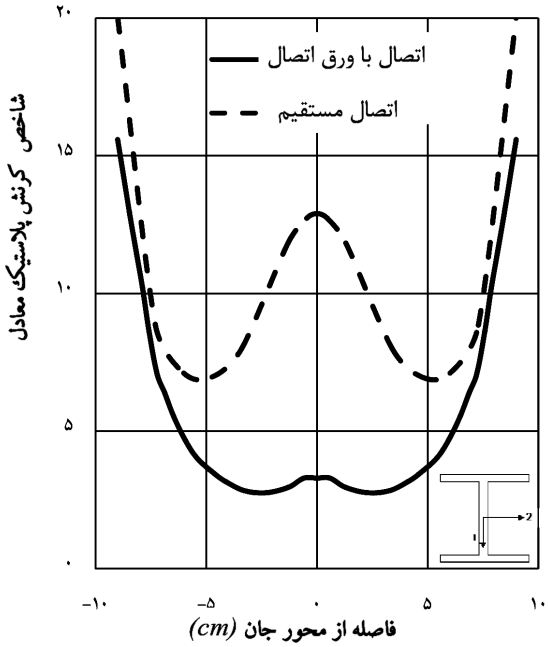
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]



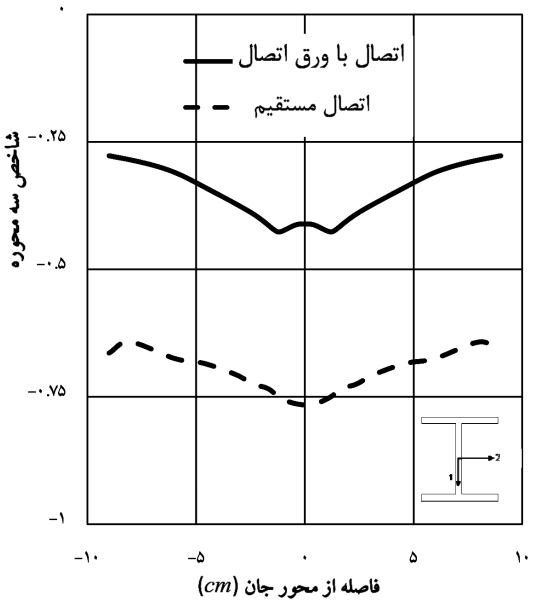
شکل(۳) مقایسه شاخص میسز



شکل(۵) مقایسه شاخص فشار



شکل(٤) مقایسه شاخص کرنش پلاستیک معادل

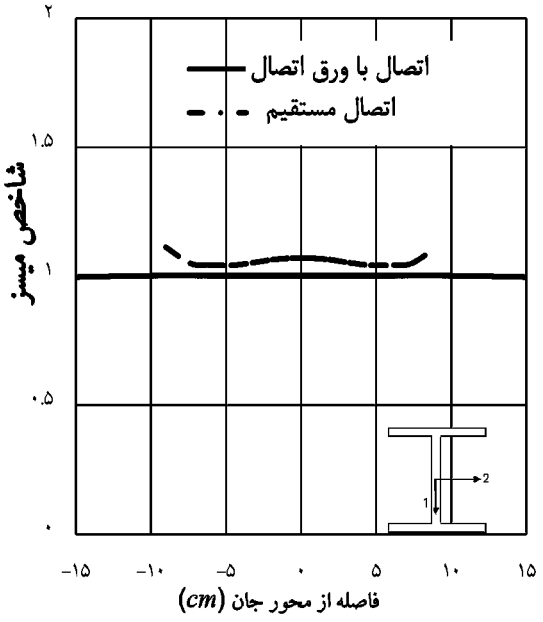


شکل(٦) مقایسه شاخص سه محوره

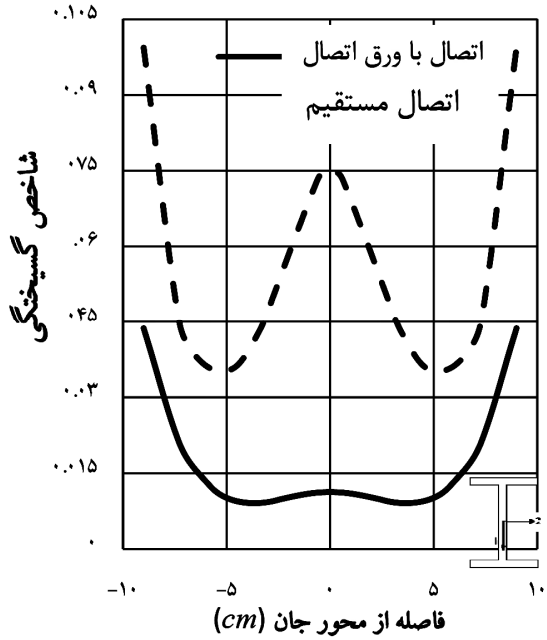
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

شکلهای (۸) تا (۱۲) توزیع مقادیر شاخص میسز، شاخص کرنش پلاستیک معادل، شاخص فشار، شاخص سه محوره و شاخص گسیختگی برای اتصالات مدنظر در این تحقیق در ناحیه اتصال تیر به ستون ارائه شده است.

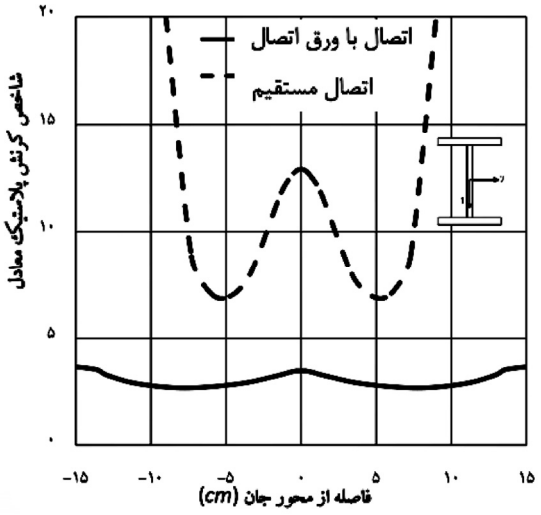
نتایج حاصل از محاسبه شاخص میسز مطابق شکل (۸) می‌باشد، همانطورکه مشاهده می‌شود اتصال با ورق اتصال بال در این مقطع دارای توزیع یکنواخت‌تر تنشهای غیرخطی می‌باشد. مقدار شاخص حدود واحد برای این اتصال در مقطع مورد بررسی بیانگر قرار گرفتن این مقطع در حد جاری شدن می‌باشد. با مقایسه نتایج با نتایج اتصال مستقیم مشاهده می‌شود که تنشهای غیرخطی در اتصال با ورق اتصال بال کاهش می‌یابد.



شکل (۸) مقایسه شاخص میسز

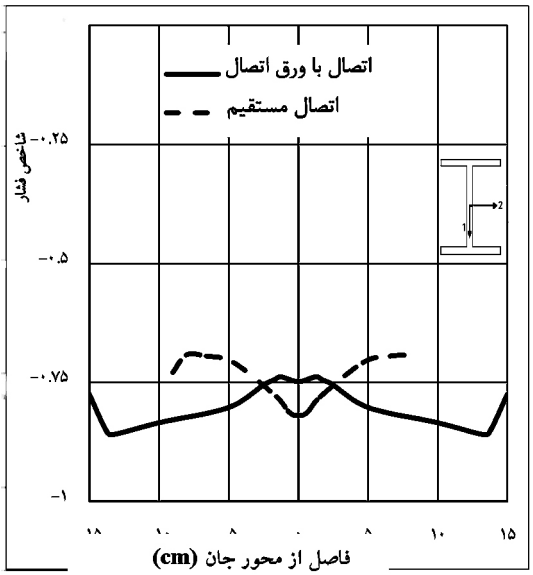


شکل(۷) مقایسه شاخص گسیختگی

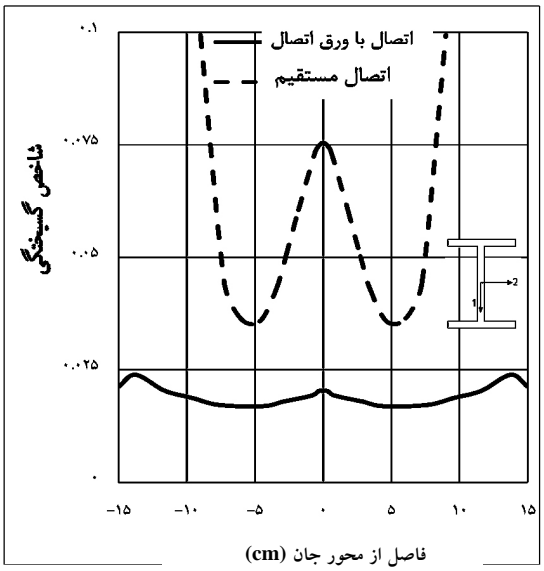


شکل۹ مقایسه شاخص کرنش پلاستیک معادل

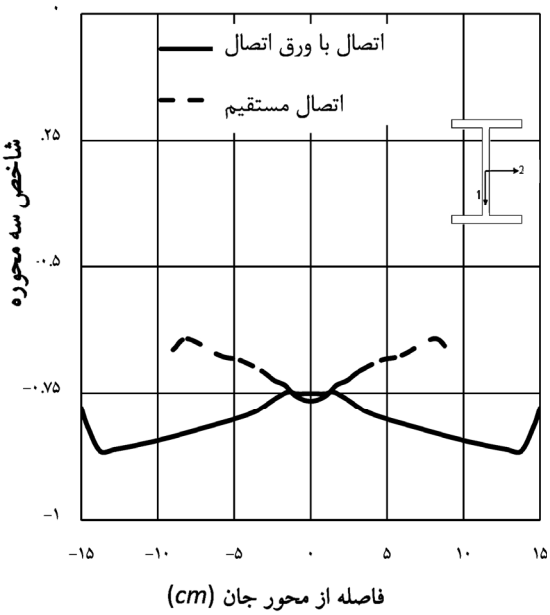
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]



شکل۱۰ مقایسه شاخص فشاری



شکل۱۲ مقایسه شاخص گسیختگی



شکل۱۱ مقایسه شاخص سه محوره

نتایج حاصل از استخراج مقادیر شاخص کرنش پلاستیک معادل در شکل (۹) ارائه گردیده است. مقادیر مربوط در مقطع مورد بررسی برای اتصالات در نظر گرفته شده نشان می‌دهد که شاخص کرنش پلاستیک معادل در اتصال با ورق اتصال بال دارای توزیع یکنواخت‌تری نسبت به اتصال مستقیم تیر به ستون می‌باشد ثانیاً مقادیر این شاخص حدود ۲۰ درصد مقادیر مربوط به اتصال مستقیم تیر به ستون می‌باشد و این بدین معناست که در اتصال با ورق اتصال بال در این مقطع نیز مشابه مقطع قبلی کرنش‌های پلاستیک کاهش و احتمال خسارت چه به‌صورت شکست ترد و چه به‌صورت شکست شکل‌پذیر کم شده است.

اتصالات در نظر گرفته شده همانطور که در شکلهای (۱۰) و (۱۱) مشاهده می‌گردد توزیع شاخص در هر دو نوع اتصال در مقطع مورد بررسی دارای تغییرات کاملاً متفاوتی می‌باشد. اتصال با ورقهای اتصال بال در این مقطع دارای مقادیر نزدیکتری به اتصال مستقیم می‌باشد. ولی از لحاظ نحوه توزیع در طول مقطع تفاوتهای عمده‌ای دارند.

بر اساس مقایسه شاخصهای فشار و سه محوره برای مقادیر مربوط به شاخص گسیختگی در شکل(۱۲) ارائه شده‌است. مقایسه مربوط به مقادیر شاخص در بال بالایی تیر در بر ستون برای دو نوع اتصال نشان می‌دهد که مقادیر

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

مربوط به این شاخص برای اتصال با ورقهای اتصال بال به مراتب پایین‌تر از اتصال مستقیم می‌باشد و ماکزیمم مقدار این شاخص برای اتصال با ورق اتصال بال حدود یک چهارم اتصال مستقیم می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که در اتصال با ورق اتصال بال پتانسیل رخداد گسیختگی در اتصال در بر ستون به مراتب کاهش می‌یابد، موضوعی که در اتصال مستقیم طی زلزله‌های مختلف به آسیب اتصال و در نتیجه سازه منجر شده است.

۲-۲- مقایسه شاخصهای خسارت با توجه به‌زلزله

در این قسمت ماکزیمم مقادیر شاخصهای به‌دست آمده تحت اثر دورانهای حاصل از زلزله‌های منتخب ارائه و مقایسه می‌گردد.

همانطور که در جدول (٤) مشاهده می‌گردد مقادیر شاخهای خسارت برای اتصال با ورق اتصال بال در دو ناحیه ارائه شده است. بر این اساس مقادیر مربوط به شاخصهای میسز و کرنش پلاستیک معادل در هر دو ناحیه از اتصال برای زلزله طبس بزرگتر از زلزله Duzce و برای زلزله Imperial valley بزرگتر از دو زلزله دیگر می‌باشد. این مطلب بیانگر این موضوع است که زلزله طبس نیازهای تغییرشکلی بزرگتری از زلزله Duzce و زلزله Imperial valley نیازهای تغییر شکلی بزرگتری از دو زلزله دیگر طلب نموده است و در نتیجه دارای مقادیر بزرگتر شاخصهای کرنش پلاستیک معادل و میسز می‌باشد. بزرگتر بودن مقادیر مربوط به کرنش پلاستیک برای زلزله Imperial valley نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر این زلزله برای ایجاد شکست اعم از ترد و شکل پذیر می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه مقدار شاخص میسز برای زلزله Duzce در هر دو ناحیه مورد بررسی کمتر از واحد می‌باشد می‌توان نتیجه‌گیری نمود که این اتصال در هر دو ناحیه مورد بررسی تحت اثر دوران حاصل از این زلزله وارد مرحله پلاستیک نشده و تنشهای پلاستیک را تجربه نکرده است.

در خصوص مقادیر مربوط به شاخصهای سه محوره و فشار همانطور که مشاهده می‌گردد مقادیر این شاخصها در ناحیه بعد از اتمام ورق اتصال بال برای هر سه زلزله بزرگتر از ۰/٦- می‌باشد این موضوع بیانگر پایین بودن پتانسیل شکست ترد در این ناحیه برای اتصال می‌باشد. در محل اتصال بال به ستون با توجه به مقادیر مربوط به شاخصهای سه محوره و فشار میزان پتانسیل مربوط به شکست ترد برای زلزله Imperial valley بیشتر از بقیه زلزله‌هاست چرا که مقادیر مربوط به این شاخصها دارای مقدار کوچکتری از سایر مقادیر است.

مقادیر شاخص گسیختگی برای زلزله‌های مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که این مقدار برای زلزله Imperial valley بزرگتر از دو زلزله دیگر می‌باشد و پتانسیل رخداد گسیختگی در این زلزله بیشتر از سایر زلزله‌های منتخب می‌باشد که مطابقت کامل با مقادیر شاخص کرنش پلاستیک معادل را داراست.

برای اتصال مستقیم تیر به ستون نیز مقادیر شاخصهای خسارت در جدول (۵) ارائه گردیده است. همانطور که در جدول مشخص می‌باشد تحت اثر هر سه زلزله اتصال در مقطع مورد بررسی وارد مرحله پلاستیک گردیده است همچنین مقادیر شاخص میسز و کرنش پلاستیک معادل برای زلزله Imperial valley بزرگتر از زلزله‌های طبس و Duzce و برای زلزله طبس بزرگتر از زلزله Duzce می‌باشد. همانطور که بیان شد این موضوع بیانگر این مطلب است که زلزله Imperial valley نیازهای تغییر شکلی بالاتری از زلزله طبس و زلزله Duzce، همچنین پتانسیل رخداد گسیختگی در این زلزله بیش‌تر از سایر زلزله‌های منتخب است که مطابقت کامل با مقادیر شاخص کرنش پلاستیک معادل را داراست.

برای اتصال مستقیم تیر به ستون نیز مقادیر شاخص‌های خسارت در جدول (۵) ارائه شده است. همان‌طور که در

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

جدول مشخص است، تحت اثر هر سه زلزله، اتصال در مقطع مورد بررسی وارد مرحله‌ی پلاستیک شده است هم‌چنین مقادیر شاخص میسز و کرنش پلاستیک معادل برای زلزله‌ی Imperial valley بزرگتر از زلزله‌های طبس و Duzce و برای زلزله‌ی طبس بزرگتر از زلزله‌یDuzce است. همان‌طور که بیان شد، این موضوع نشان دهنده‌ی این مطلب است که زلزله‌ی Imperial valley زلزله طبس و زلزله Duzce، نیازهای تغییر شکلی بالاتری دارد هم‌چنین زلزله‌ی طبس نیازهای تغییرشکلی بالاتری از زلزله‌ی Duzce طلب می‌کند که باعث افزایش کرنش‌های پلاستیک شده و در نتیجه پتانسیل ایجاد آسیب را بالا برده است. مقادیر مربوط به شاخص سه محوره و فشار نیز بیانگر وجود پتانسیل بالاتر شکست ترد برای زلزله‌ی Imperial valley در مقایسه با سایر زلزله‌هاست.

مقادیر شاخص گسیختگی نیز نشان‌دهنده‌ی بزرگ‌تر بودن این شاخص برای زلزله‌ی Imperial valley، نسبت به سایر زلزله‌ها و هم‌چنین بزرگ‌تر بودن این مقدار در زلزله‌ی طبس نسبت به زلزله Duzce است. پس در زلزله Imperial valley احتمال گسیختگی اتصال بیش‌تر از زلزله طبس و در زلزله طبس این احتمال بیش‌تر از زلزله Duzce است.

جدول ٤ مقایسه‌ی بیشینه‌ی شاخص‌های خسارت برای اتصال با ورق اتصال

محل اتصال به ستون					مقطع انتهایی ورق اتصال بال					
گسیختگی	سه محوره	فشار	کرنش پلاستیک معادل	میسز	گسیختگی	سه محوره	فشار	کرنش پلاستیک معادل	میسز	شاخص
٠/٠٢٣٨	−٠/٨٦٥	−٠/٨٥٩	٣/٦٧٢	١/٠٠٢	٠/٠٤٣٦	−٠/٤٢٧	−٠/٤٧٩	١٥/٥٩	١/١٤٦	**زلزله‌ی Imperial valley**
٠/٠٠٤٩	−٠/٧٥٣	−٠/٧٣٩	٠/٩١٨	٠/٩٨٥	٠/٠٠٣	−٠/٤٩٧	−٠/٤٩٩	١/٣٩٦	١/٠٣٥	**زلزله‌ی طبس**
٠	−٠/٦٧١	−٠/٣٨٧	٠	٠/٧٣٠	٠	−٠/٤٧٧	−٠/٢٧٩	٠	٠/٦٣٧	**زلزله‌یDuzce**

جدول٥ مقایسه‌ی بیشینه‌ی شاخص‌های خسارت برای اتصال مستقیم

گسیختگی	سه محوره	فشار	کرنش پلاستیک معادل	میسز	شاخص
٠/٠٩٩	−٠/٧٦٦	−٠/٨١٩	٢٠/٠٣	١/١١٢	زلزله ی Imperia valley
٠/٠١٦٥	−٠/٧٦٤	−٠/٧٥٢	٣/٢٤	١/٠٢١	زلزله‌ی طبس
٠/٠٠٢	−٠/٦٥٣	٠/٨٢١	٠/٣٨٨	١/٠٠٤	زلزله‌ی Duzce

٧- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با کمک شاخص‌های خسارت اتصالات، رفتار اتصال مستقیم و با ورق اتصال بال در مقاطع مختلف اتصال تحت دوران‌های حاصل از بارهای لرزه‌ای مطالعه شده و نتایج زیر استخراج شد:

- مقادیر مربوط به شاخص‌های خسارت به میزان دوران ناشی از هر یک از زلزله‌های مورد استفاده در این تحقیق بستگی دارد، در این میان تفاوت بین شاخص‌های کرنش

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

پلاستیک معادل و گسیختگی در دوران‌های ناشی از زلزله‌های منتخب قابل توجه است.

- نتایج حاصل از استخراج شاخص میسز نشان می‌دهد بزرگتر بودن شاخص از واحد، نشانگر ورود اتصال به مرحله‌ی پلاستیک است به‌طوری‌که برای اتصال مستقیم تحت اثر دوران حاصل از هر سه زلزله در نظر گرفته شده در این تحقیق و برای اتصال با ورق اتصال بال تحت اثر دوران حاصل از زلزله‌های .Impvall و طبس مقادیر شاخص میسز بزرگ‌تر از واحد بوده و در نتیجه این اتصالات وارد مرحله‌ی پلاستیک شده‌اند. میزان تنش‌های پلاستیک در تیر با اتصال مستقیم در کناره‌ها بیش‌تر است در اتصال با استفاده از ورق نیز در مقطع انتهایی ورق اتصال بال، تنش‌های غیرخطی در کناره‌ها و میانه‌ی تیر بیش‌تر است و در بر ستون برای این نوع از اتصال توزیع تنش‌های غیرخطی یکنواخت‌تر است. با مقایسه‌ی نتایج با نتایج اتصال مستقیم تیر به ستون مشاهده می‌شود که تنش‌های غیرخطی در اتصال با ورق اتصال بال در محل اتصال به ستون کاهش می‌یابد و مؤید فلسفه‌ی ارائه این نوع اتصال در کاهش تنش‌ها در محل اتصال به ستون است. از طرف دیگر مقادیر مربوط به بیشینه‌ی شاخص میسز در ناحیه‌ی بعد از ورق اتصال بال قابل توجه است.
- نتایج حاصل از استخراج مقادیر شاخص کرنش پلاستیک معادل در مقاطع مورد بررسی برای اتصالات در نظر گرفته شده نشان می‌دهد که شاخص کرنش پلاستیک معادل در اتصال با ورق اتصال بال دارای توزیع یکنواخت‌تری به نسبت اتصال نوع مستقیم است، در ضمن مقادیر این شاخص به نسبت اتصال نوع مستقیم کم‌تر است. این بدین معناست که ورق اتصال بال در کاهش کرنش‌های پلاستیک و در نتیجه احتمال شکست چه به‌صورت ترد و چه به‌صورت شکل‌پذیر نقش قابل-توجهی دارد؛ هم‌چنین مقادیر این شاخص به‌طرز قابل توجهی به دوران‌های ناشی از زلزله بستگی داشته و برای زلزله‌ی Imperial valley با نیاز لرزه‌ای بالاتر، دارای مقادیر بزرگ‌تری نسبت به سایر زلزله‌هاست.
- مقایسه‌ی شاخص‌های فشار و سه محوره برای اتصالات در نظر گرفته شده نشان می‌دهد همان‌طور که انتظار می‌رفت، اتصال با ورق‌های اتصال بال دارای مقادیر کم-تری از اتصال نوع مستقیم است و این بدین معناست که احتمال رخداد شکست ترد در این نوع اتصال کم‌تر است. مقادیر مربوط به شاخص سه‌محوره و فشار بیانگر وجود پتانسیل بالاتر شکست ترد برای زلزله با نیاز لرزه‌ای بالاتر ازجمله زلزله ی Imperial valley است.
- مقایسه‌ی مقادیر شاخص گسیختگی برای مقاطع مورد بررسی دو نوع اتصال نشان می‌دهد اولاً مقادیر مربوط به این شاخص برای اتصال با ورق‌های اتصال بال به مراتب پایین‌تر از اتصال مستقیم است این موضوع بیان می‌کند که در اتصال با ورق اتصال بال، پتانسیل رخداد گسیختگی در اتصال در بر ستون به مراتب کاهش می‌یابد. ثانیاً مقادیر این شاخص نیز برای دوران‌های ناشی از زلزله‌های در نظر گرفته شده متفاوت است به‌طوریکه می‌تواند به عنوان معیاری برای بررسی تفاوت نوع رفتار اتصالات استفاده شود.

۸- پیشنهادها

- شاخص‌های خسارت اتصالات برای اتصالات میانی قابهای خمشی بررسی شود.
- با افزایش آنالیزهای غیرخطی با استفاده از زلزله‌ها برقراری ارتباط منطقی بین پارامترهای لرزه‌ای و میزان شاخص‌های خسارت بررسی و ارائه شود.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]

۹- منابع

[1] FEMA 351, Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment- Frame Buildings, Washington D.C., 2001.

[2] Marwan N.Nader and Abolhassan Astaneh-Asl, Member, ASCE, "Shaking table tests of rigid, semi rigid, and flexible steel frames", Journal of Structural Engineering, June 1996.

[3] Lemaitre, J. 1996. A course of damage mechanics. Berlin: Springer-Verlag.

[4] Taejin Kim et.al . "cover-plate and flange-plate reinforced steel moment-resisting connections" Report to sponsor SAC Joint Venture, 2000.

[5] A.M. Kanvinde and G.G. Deierlein "Continuum Based Micro-Models for Ultra Low Cycle Fatigue Crack Initiation in Steel Structures" 2005.

[6] Campbell S.D, Richard R.M. , Partridge J.E. " Steel moment frame damage predictions using low cycle fatigue" the 14WCEE conference , Beijing , China 2009

[7] El-Tawil, S., Mikesell, T., Vidarsson, E., and Kunnath, S. Strength and ductility of FR welded-bolted connections. SAC Report 98-01. Sacramento, Calif.: SAC Joint Venture 1998.

[۸] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان های موجود، ۱۳۸٦.

[۹] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش سوم، ۱۳۷۸

[۱۰] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، آیین‌نامه‌ی حداقل بار وارده بر ساختمان‌ها و ابنیه‌ی فنی (استاندارد۵۱۹)، ۱۳۷۹

[۱۱] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان،

[۱۲] طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی، مبحث دهم ازمجموعه مقررات ملی ساختمان.

[۱۳] ادوین گیلورد چارلز گیلورد، طراحی ساختمانهای فلزی، و جیمز استالمایر، ترجمه‌ی کامبیز شایان، انتشارات سخن گستر.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-05-06]