

عملکرد لرزهای قاب فولادی با مهاربند ضربداری دارای اتصالات پیچ و مهره و رینگ سربی و لاستیکی

امید اسماعیلی

کارشناس امور روستایی، استانداری ایلام

سعید اسماعیلی

دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان، ایران

Od.esmaeili@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷

چکیده:

در سازه‌های دارای بادبند یکی از مسئله‌های مهم سختی زیاد مربوط به وجود بادبند در قابها می باشد که برای بهبود عملکرد لرزه‌ای بهتر است تا اندازه‌ای این سختی کاهش یابد. اگر بادبند با سختی زیاد همراه باشد، هنگام وقوع زلزله نمی‌تواند وظیفه مستهلک نمودن انرژی را بخوبی انجام دهد و تمام انرژی جذب سازه می‌شود در نتیجه باید به دنبال راهکار بهتری باشیم تا بتوانیم سازه را تا حدی همراه حرکات زلزله نموده و کارایی آن را برای استهلاک انرژی بالا ببریم. برای اینکار سعی شده تا یک راهکار مورد ارزیابی قرار گیرد و آن، استفاده از یک رینگ سربی و لاستیکی در اتصال پیچ و مهره بادبند به صفحه‌های اطراف آن و مقایسه تاثیرات آنها بر قاب فولادی دارای بادبند ضربداری می‌باشد. قاب مورد مطالعه توسط نرم‌افزار المان محدود (Abaqus/6.13) تحت سه رکورد زلزله‌های بم، کوپه و سن فرناندو تحلیل دینامیکی شده و سپس با وجود رینگ لاستیکی و سربی و بدون وجود رینگ، مقادیر برش پایه، جابجایی نسبی و انرژی داخلی سازه بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر برش پایه و میزان جذب انرژی در قاب دارای رینگ لاستیکی کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: اتصال پیچ و مهره، نرم افزار المان محدود، تحلیل دینامیکی، رینگ سربی، رینگ لاستیکی

۱- مقدمه

۱-۱ مهاربند ضربدری

نیست. سرب به ندرت در شکل خالص خود استفاده می‌شود و می‌توان استحکام آن را با افزودن مواد افزودنی آلیاژی کوچک (مانند قلع) بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. مقاومت کششی سرب خالص ۱۷-۱۲ مگاپاسکال می‌باشد که بسیار پایین‌تر از فلزات دیگر می‌باشد.

پدیده خزش در فلز سرب مهم می‌باشد. خزش؛ تغییر شکل (کرنش) پلاستیک آهسته مواد، تحت فشار ثابت می‌باشد. این خزش در درازمدت می‌تواند در تنش‌های پایین نیز رخ دهد اما اندازه‌گیری قدرت خزش در درازمدت برای فلزات دشوار می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که خزش سرب می‌تواند در تنش ۰.۷ مگاپاسکال نیز رخ دهد.

همانطور که اشاره شد خوردگی فلز سرب بسیار کند است چرا که بسیاری از ترکیبات آن می‌تواند موانع حفاظتی در سطح فلز تشکیل دهند. سرب بطور کلی هنگامی که در معرض هوا و آب قرار می‌گیرد، دوام خوبی دارد [4].

۱-۴ مواد هایپر الاستیک

بطور کلی از ویژگی‌های عمده‌ی مواد هایپر الاستیک تغییر شکل‌های بزرگ، مقاومت کششی بالا و استهلاک انرژی می‌باشد. تابع پتانسیل یا چگالی انرژی کرنشی (که بیان‌کننده‌ی انرژی کرنشی ذخیره شده در واحد حجم است) معمولاً با ترم‌هایی از ثوابت تانسور تغییر شکل نوشته می‌شود. برای نشان دادن این تابع از مدل‌هایی مانند آودا-بویس، مونی-ریولین، نوهوکن، اوگدن، چند جمله‌ای کاهش یافته، یئو و واندروالس استفاده می‌شود [5].

بصورت عمومی رفتار یک ماده هایپر الاستیک را می‌توان بصورت تابع انرژی کرنشی به فرم چند جمله‌ای رابطه ۱ بیان کرد [6,7]:

$$W = \sum_{i+j=1}^N C_{ij} J_1^i J_2^j + \sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} J_3^{2i} \quad (1)$$

که در آن C_{ij} و D_i ثوابت ماده و J ثوابت تانسور تغییر شکل است. تعیین مدل مورد استفاده به عواملی مانند نوع کاربرد، نرخ کرنش و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز و ... بستگی دارد. با در دسترس بودن آزمون‌های تک محوری و دو محوری، مدل‌های اوگدن و واندروالس دقیق‌تر خواهند بود. مدل‌های هایپر الاستیک که در بالا ذکر شد بطور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی المان محدود لاستیک و فرآیندهای شکل دهی استفاده می‌شوند.

در این پژوهش برای بیان رفتار تغییر شکل الاستیک رینگ لاستیکی از مدل مونی ریولین استفاده شده است. در رابطه ۱ پارامتر N می‌تواند تا عدد ۶ باشد که به ازای $N=1$ مدل مونی ریولین بصورت رابطه ۲ بیان می‌شود:

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k} \quad (2)$$

مهاربند ضربدری (X-Bracing) یکی از متداول‌ترین انواع مهاربندی در ایران است که طرح و اجرای آن در بیشتر ساختمان‌های فولادی به چشم می‌خورد و به دو نوع مهاربند هم مرکز و مهاربند خارج از مرکز تقسیم می‌شوند. در قابهایی که مهاربند هم مرکز دارند محور مهاربندها تقریباً از محل محورهای تیر و ستون عبور می‌کند. از خصوصیات ویژه این نوع مهاربندها سختی بسیار زیاد آن است در صورتی که اعضای مهاربند ضربدری در مرکز به یکدیگر، به گونه‌ی مناسبی اتصال داشته باشند باعث کاهش طول کمانش مهاربند می‌شود بنابراین دیده می‌شود که این اعضا در مرکز به هم متصل می‌شوند [1].

۱-۲ اتصالات پیچ و مهره

جهت اتصال اعضای سازه و مهاربندها به صفحه‌ها می‌توان از اتصال پیچ و مهره استفاده نمود امروزه استفاده از سازه‌های پیچ و مهره بطور چشمگیری افزایش یافته است بطور کلی این سازه‌ها در سوله‌های صنعتی و مجتمع‌های پتروشیمی و سازه‌های مورد استفاده در صنایع نفت و گاز بسیار پرکاربرد می‌باشد. از مهمترین دلایل استفاده از سازه های پیچ و مهره، عدم نیاز به جوشکاری زمان نصب سازه و سرعت بالای اجرای آن می‌باشد.

اتصالات در کلیه سازه‌ها از جمله سازه‌های فولادی یکی از اجزای اصلی سازه بوده بنابراین یک اتصال ضعیف و نامناسب می‌تواند منجر به زوال های پی در پی و بنیادی در سازه فولادی گردد. طراحی نامناسب اتصالات سبب شده که در بسیاری از زلزله‌ها، اکثر خرابی‌ها در اتصال ها رخ دهد. کریشنا مورتی با سرپرستی گروه تحقیقاتی انستیتوی AISC و انجمن مجریان ساختمان‌های فولادی آمریکا اولین مطالعات را در زمینه رفتار اتصالات پیچی انجام داده است کار تحقیقاتی او در زمینه نظری و تجربی پیش رفت و حاصل آن ده‌ها گزارش، مقاله و پایان‌نامه بود. نتایج این تحقیقات در آیین‌نامه (AISC1980) به عنوان ضوابط طراحی اتصالات پیچی عرضه شده است [2].

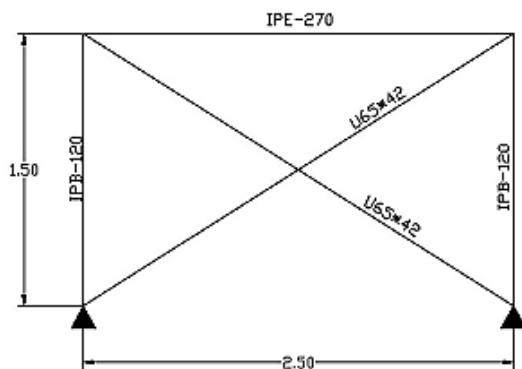
روش‌های طراحی اتصالات پیچی بر مبنای مدل دو بعدی تنش مسطح کریشنامورتی استوار است. پیشرفت‌های اخیر در نرم‌افزار المان محدود و ابزارهای اندازه‌گیری دقیق این امکان را فراهم نموده است که با ارائه مدرک درستی از نحوه توزیع تنش، کرنش و رفتار اتصال، بهبود روشهای تحلیل و طراحی امکان پذیر باشد [3].

۱-۳ فلز سرب

سرب یکی از با ارزش‌ترین مواد است که انعطاف‌پذیری زیاد و کندی زنگ زدن از ویژگی‌های مهم است. این ماده نسبتاً فراوان وجود دارد. فلز سرب به راحتی می‌تواند از سنگ معدن آن جدا شده و استخراج آن هزینه زیادی ندارد بنابراین در مقایسه با سایر فلزات غیر آهنی قیمت مناسبی دارد.

فلز سرب در مقایسه با سایر فلزات مقاومت کمتری دارد بنابراین استفاده از آن برای مواردی که نیاز به استحکام حتی متوسطی می‌باشد، مناسب

مدل المان محدود قاب مورد مطالعه در این پژوهش بر اساس تحقیق مذکور ساخته شده با این تفاوت که در تحقیق مذکور بارگذاری چرخه ای (استاتیکی)، و محل اعمال بار روی ستون و در امتداد تیر می باشد. در این تحقیق با توجه به محدودیت های آزمایشگاهی، مدل سازی با مقیاس ۱/۲ انجام شده است. از این رو برای تعیین مشخصات مقاطع نمونه آزمایشگاهی، بر اساس روش های متداول، یک سازه فولادی ۵ طبقه با ارتفاع هر طبقه ۳ متر و تعداد ۲ و ۵ دهانه در دو راستا با فواصل ۵ متر در برنامه ETABS مدل سازی شده، سپس مشخصات بالاترین طبقه یکی از دهانه های مهاربندی به عنوان نمونه آزمایشگاهی در نظر گرفته شده است و ستون ها در انتهای فوقانی توسط دو تیر آهن در جهت عمود بر قاب بسته شده اند تا از حرکت آنها در این جهت جلوگیری شود که مشخصات هندسی و ابعاد قاب و مشخصات مقاطع در بخش بعدی ذکر خواهد شد.



شکل ۱- ابعاد قاب مورد مطالعه در مقاله

بارگذاری در تحقیق مذکور با سرعت ۴ میلی متر بر ثانیه و با گام های ۴، ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۸، ۳۶، ۴۴ میلی متر و تکرار دو بار در هر گام در نظر گرفته شده است.

همچنین معادله ساختاری برای مواد هایپر الاستیک تراکم ناپذیر را می توان بصورت رابطه ۳ تعریف کرد که در آن σ تانسور تنش کوشی و P فشار هیدرواستاتیک می باشد [6].

$$\sigma = -pI + 2(C_1C - c_2C^{-1}) \quad (3)$$

اگر جهات سیستم مختصات در جهت اصلی تغییر شکل فرض شود می توان تانسور تنش کوشی-گرین را بصورت رابطه ۴ بیان کرد:

$$C = \begin{bmatrix} \lambda_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

از طرفی در کرنش یا فشار تک محوری می توان رابطه ۵ را نوشت:

$$\text{رابطه (۵)} \quad \sigma_{11} = \sigma, \quad \sigma_{11} = \sigma, \quad \lambda_1 = \lambda, \quad \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda^{-1/2}$$

$$\sigma_{22} = \sigma$$

از ترکیب روابط ۳، ۴ و ۵ معادله ساختاری کشش/ فشار تک محوری بصورت رابطه ۶ بدست می آید:

$$\sigma = (\lambda^2 - \lambda^{-1})(C_1 + C_2\lambda^{-1}) \quad (6)$$

به منظور دست یابی به یک رابطه خطی رابطه ۶ بصورت زیر نوشته می شود که در آن C_2 شیب خط و C_1 عرض از مبدا آن می باشد:

$$B = \frac{\sigma}{2(\lambda^2 - \lambda^{-1})} = C_1 + C_2\lambda^{-1} \quad (7)$$

۴-۱ پیشینه تحقیق

در زمینه عملکرد لرزه ای سازه های دارای بادبند، تحقیقات گسترده ای صورت پذیرفته است. از جمله آنها تحقیقات بر روی رفتار لرزه ای بادبند و عملکرد بادبند در بارگذاری سیکلی [۸] می باشد که در آن برای افزایش انعطاف پذیری، سطح ورق گاست نسبت به طول بادبند افزایش می یابد. تحقیقاتی دیگری نیز در زمینه عملکرد لرزه ای اتصالات بادبند های هم مرکز [۹] انجام شده است که به چگونگی اتصال بادبند به صفحه گاست و فاصله بادبند از قطر صفحه گاست اشاره دارد.

پژوهش های دیگری نیز در زمینه تغییرات در مقاطع و طول بادبند و صفحه گاست [۱۰] و همچنین استفاده از دمپرها در قاب های فولادی [۱۱] برای افزایش انعطاف پذیری قاب فولادی انجام شده است که در اینجا به همین موارد اکتفا می شود.

۲- صحنه گذاری مدل المان محدود در خصوص قاب فولادی

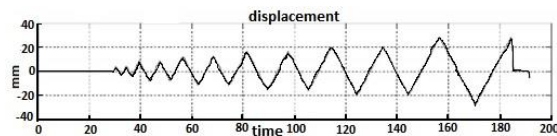
با مهاربند ضربدری

جهت کالیبره کردن نرم افزار از یک تحقیق تحت عنوان "بررسی آزمایشگاهی - عددی رفتار چرخه ای قاب مهاربندی شده با میانقاب مصالح بنایی و بدون میانقاب" [۱۲] استفاده شده است. مقاله مذکور یک مطالعه آزمایشگاهی است که در پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله انجام گرفته است.

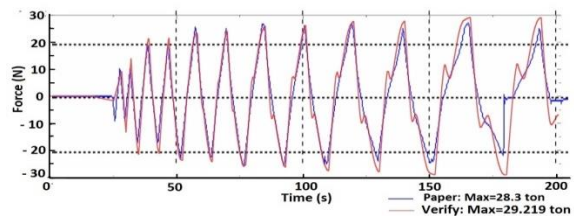
تک برای مهاربندها استفاده شده است. انتهای ستون‌ها در قسمت فوقانی آن در جهت عمود بر صفحه قاب بسته شده است. برای صفحه گاست‌ها از صفحه‌ی 20×20 سانتی‌متر با ضخامت ۱۰ میلی‌متر، و برای صفحه ستون‌ها از صفحه‌ی 80×60 سانتی‌متر با ضخامت ۱۰ میلی‌متر استفاده شده است. جهت اتصال تیر به ستون از چهار نبشی استفاده شده که در پایین همه‌ی سطح نبشی‌ها، و در بالا سر نبشی‌ها به تیر و ستون Tie شده است (شکل ۷). بطور کلی جهت جوش زدن قطعات بهم، از قید Tie و جهت تماس قطعات در قسمت‌های مورد نیاز از Interaction-General Contact استفاده شده است که سطوح مورد نیاز تماس در قسمت selected surface pairs تعریف شده‌اند. همچنین خواص تماس‌ها از نوع Contact و بدون اصطکاک می‌باشد. جهت اتصال مفصلی ستون‌ها به صفحه ستون‌ها فقط جان آنها به صفحه‌ها Tie شده است. انتهای مهاربندها توسط یک پیچ به صفحه گاست متصل شده و برای مدل سازی اتصال پیچ‌ها، یک سر آنها به انتهای بادبند و سر دیگر آنها به یک صفحه دایره ای (بجای مهره) Tie شده است (شکل ۸) و جداره آنها در مدل ۱ در تماس با جداره سوراخ صفحه‌ها می‌باشند و در مدل ۲ و ۳ (جدول ۳)، پیچ‌ها که قطر آنها ۱۰ میلی‌متر کمتر در نظر گرفته شده است، توسط یک رینگ سربی و لاستیکی به ضخامت ۱۰ میلی‌متر (معادل ضخامت صفحه گاست) محاط شده‌اند (شکل ۹ و ۱۰).

اعضای مورد استفاده در قاب از نوع فولاد می‌باشد اما جهت بار گذاری تیر، چگالی آن معادل بار ۱۵ تن در نظر گرفته شده است که مشخصات آن در جدول ۱ آمده است [13]. رینگ مورد استفاده از جنس سرب با منحنی تنش- کرنش شکل ۵ در نظر گرفته شده [14] که با چگالی ۱۱۳۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب، سختی ۱۶ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۴۴ در نرم افزار مدل شده است و رینگ لاستیکی مورد استفاده از نوع لاستیک پلی اورتان با مشخصات واقع در جدول ۲ می‌باشد.

برای محاسبه ضرایب مدل رفتاری مونی ربولین در مشخصات لاستیک، با ایجاد برازش خطی بر طبق رابطه ۷ و با استفاده از منحنی تنش کرنش لاستیک (شکل ۶)، ثوابت C1 و C2 بدست می‌آیند. همچنین ضریب D1 که معرف میزان تراکم‌پذیری لاستیک است عدد بسیار کوچکی می‌باشد.



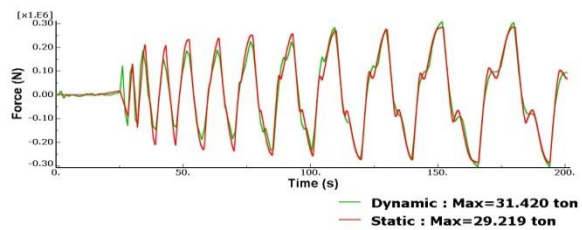
شکل ۲- بارگذاری اعمال شده در مقاله برحسب جابجایی- زمان پس از مدل سازی قاب مورد مطالعه و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی در تحقیق، مقادیر برش پایه در نمودار زیر ارائه می‌گردد:



شکل ۳- نمودار مقایسه عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها در شرایط آزمایشگاهی تحقیق و خروجی مدل ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس

در شکل ۳ مشاهده می‌شود که مقدار ماکزیمم برش پایه در تحلیل آزمایشگاهی (که با رنگ آبی نشان داده شده است)، ۲۸ تن می‌باشد و در تحلیل توسط نرم‌افزار (که با رنگ قرمز نشان داده شده است)، این مقدار ۲۹/۲۱۹ تن می‌باشد.

در تحقیق مذکور بارگذاری از نوع استاتیکی و چرخه‌ای می‌باشد که جهت صحت سنجی نرم‌افزار بارگذاری با همین مشخصات اعمال شد و نتایج آن ارائه شد اما چون در این پژوهش بارگذاری اعمالی از نوع دینامیکی بوده برای اطمینان بیشتر از صحت این نوع تحلیل، بارگذاری تحقیق یک بار هم بصورت دینامیکی اعمال شد و نتیجه آن با تحلیل استاتیکی مقایسه شد.

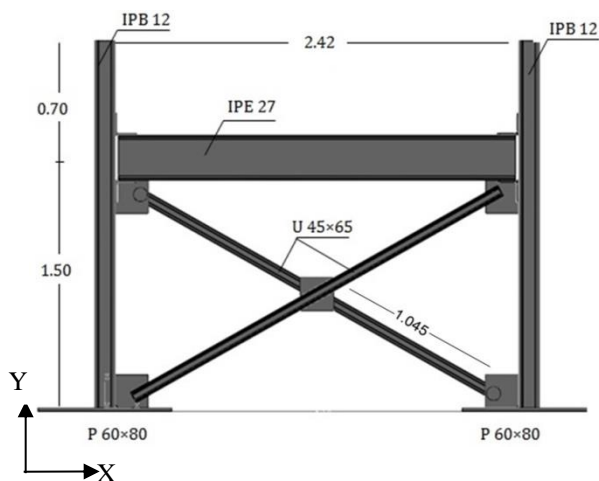


شکل ۴- نمودار مقایسه عکس‌العمل تکیه‌گاه‌ها تحت تحلیل دینامیکی و استاتیکی مدل ساخته شده در نرم‌افزار

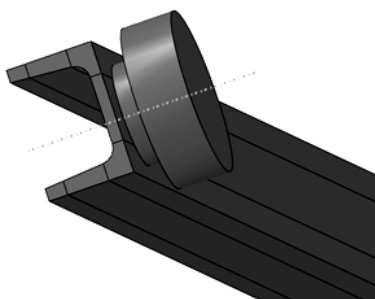
همانطور که مشاهده می‌شود مقدار ماکزیمم برش پایه تحلیل استاتیکی (که با رنگ قرمز نشان داده شده)، ۲۹/۲۱۹ تن می‌باشد و این مقدار در تحلیل دینامیکی (که با رنگ سبز نشان داده شده)، ۳۱/۴۲ تن می‌باشد.

۳- مدل سازی المان محدود

یک قاب فولادی با مهاربند ضربردی مدل شده که از مقاطع IPB 120 برای ستون‌ها و مقطع IPE 270 به طول $2/38$ متر (۴ سانتی متر کوتاه تر از دهانه) برای تیر و از مقاطع ناودانی 45×65 U بصورت



شکل ۷- قاب مدل شده مورد مطالعه



شکل ۸- جزئیات اتصال پیچ به مهاربند و مهره

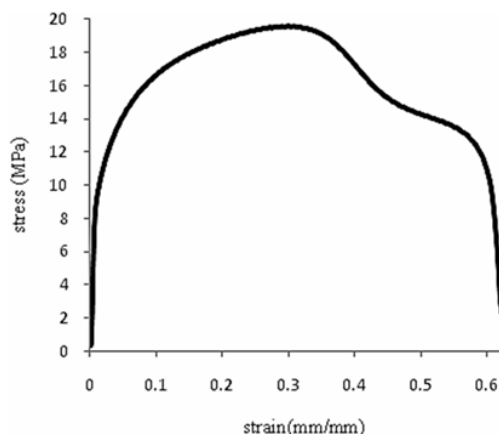
آنچه که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است تاثیر استفاده از رینگ سربی و لاستیکی در اتصال پیچ و مهره در قاب مورد نظر می باشد و به این منظور یک رینگ سربی و لاستیکی بدور پیچ اضافه می شود (شکل ۹ و ۱۰) که در آن یک پیچ با شعاع کمتر به اندازه تفاضل شعاع خارجی و داخلی رینگ در نظر گرفته (جدول ۳) و سپس نتایج آنالیز آنها ارائه، و با هم مقایسه می شوند.

جدول ۱- مشخصات فولاد استفاده شده در مدل ها

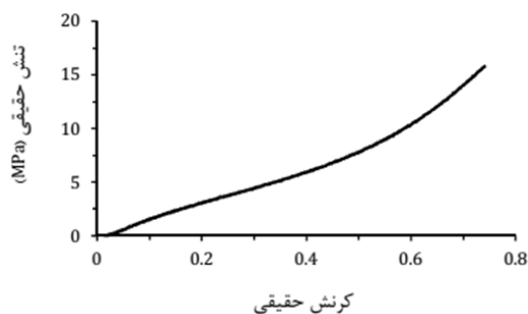
| مصالح | چگالی kg/m ³ | سختی Gpa | تنش تسلیم kg/cm ² | تنش نهایی kg/cm ² |
|-------------|----------------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|
| فولاد | ۷۸۵۰ | ۲۰۰ | ۲۴۰۰ | ۳۶۰۰ |
| فولاد (تیر) | ۱۳۵۴۰۳۵ | ۲۰۰ | ۲۴۰۰ | ۳۶۰۰ |

جدول ۲- مشخصات لاستیک استفاده شده در مدل ۲

| مصالح | ضریب (MPa)c ₁ | ضریب (MPa)c ₂ | ضریب (1/MPa)D ₁ |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| لاستیک | ۱/۸۵۶۵ | ۰/۳۲۸۲ | ۱۰ ^{-۹} |



شکل ۵- نمودار تنش کرنش سرب مورد استفاده



شکل ۶- نمودار تنش کرنش لاستیک مورد استفاده

جدول ۳- مشخصات پیچ و مدل‌های مورد مطالعه

| مدل | قطر سوراخ صفحه گاست | قطر پیچ | جنس رینگ | تفاضل شعاع داخلی و خارجی رینگ |
|-------|---------------------|---------|-----------|-------------------------------|
| مدل ۱ | 50 mm | 50 mm | بدون رینگ | بدون رینگ |
| مدل ۲ | 50 mm | 40 mm | سرب | 5 mm |
| مدل ۳ | 50 mm | 40 mm | لاستیک | 5 mm |

جهت آنالیز مدل‌های مورد مطالعه، شتابنگاشت سه زلزله ی بم، کوبه و سن فرناندو که با استفاده از نرم‌افزار سیمو سیگنال مقیاس گردیده‌اند، توسط نرم‌افزار Abaqus/6.13 اعمال شده و پس از تحلیل دینامیکی غیرخطی (هندسی) آن توسط نرم‌افزار مذکور، نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. قاب مورد مطالعه در جهت X تحت رکورد زلزله قرار گرفته، بنابراین مقادیر شتاب‌های زلزله‌های مذکور در یک جهت به مدل اعمال گردیده است.

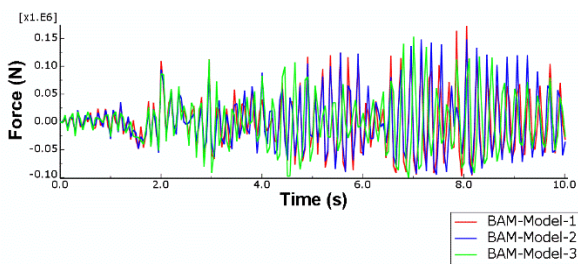
۴- تحلیل دینامیکی و آنالیز مدل‌های مورد مطالعه

جهت آنالیز مدل‌های مورد مطالعه، شتابنگاشت سه زلزله ی بم، کوبه و سن فرناندو که با استفاده از نرم‌افزار سیمو سیگنال مقیاس گردیده‌اند، توسط نرم‌افزار Abaqus/6.13 اعمال شده و پس از تحلیل دینامیکی غیرخطی (هندسی) آن توسط نرم‌افزار مذکور، نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. قاب مورد مطالعه در جهت X تحت رکورد زلزله قرار گرفته، بنابراین مقادیر شتاب‌های زلزله‌های مذکور در یک جهت به مدل اعمال گردیده است.

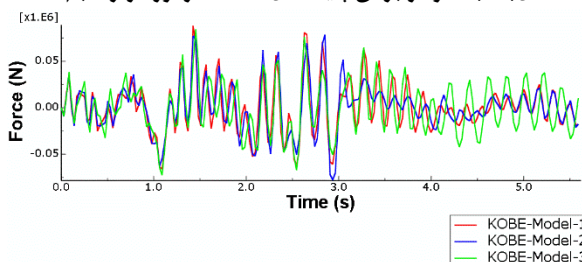
۵- نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی

۱-۵ برش پایه

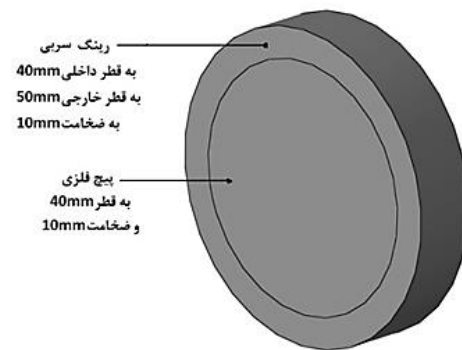
اندازه برش پایه در طراحی لرزه‌ای مهم بوده و هر اندازه این نیرو کمتر به سازه وارد شود عملکرد لرزه‌ای آن بهتر خواهد بود. نمودار برش پایه مدل‌ها برای سه زلزله مورد نظر در زیر ترسیم شده است (شکل ۱۳ - ۱). آنچه در ادامه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد ماکزیمم این مقدار برای هر کدام از مدل‌ها می‌باشد.



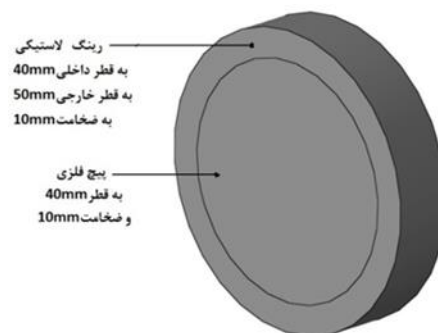
شکل (۱۳) نمودار برش پایه مدل‌ها تحت رکورد زلزله بم



شکل (۱۳) نمودار برش پایه مدل‌ها تحت رکورد زلزله کوبه



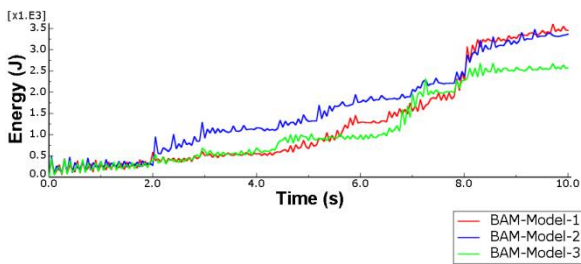
شکل ۹- جزییات قرارگیری رینگ سربی بدور پیچ‌ها



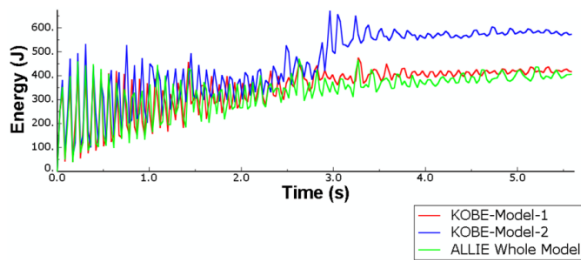
شکل ۱۰- جزییات قرارگیری رینگ لاستیکی بدور پیچ‌ها

۳-۵- انرژی داخلی سازه

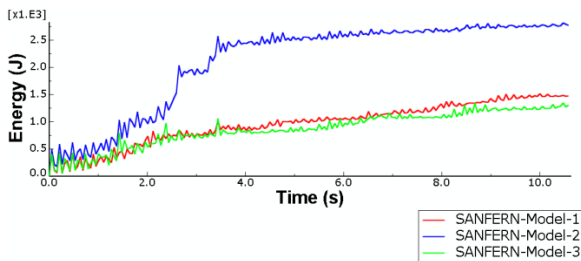
هر اندازه انرژی داخلی سازه کمتر باشد میزان جذب انرژی توسط سازه کمتر و استهلاک انرژی در سازه بیشتر می‌شود [۱۵] و عامل این استهلاک انرژی همان تغییر در مشخصات سازه می‌باشد بنابراین کم شدن مقدار انرژی داخلی سازه نشان‌دهنده آن است که سازه در طول بارگذاری دینامیکی مقداری از انرژی داخلی خود را مستهلک نموده است و در پایان زلزله، انرژی کمتری در اجزای خود دارد و این کاهش انرژی باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه خواهد شد. در ادامه نمودار انرژی دو مدل برای هر سه زلزله ترسیم شده است (شکل ۱۷-۱۹).



شکل (۱۷) نمودار انرژی داخلی مدل‌ها تحت رکورد زلزله بم

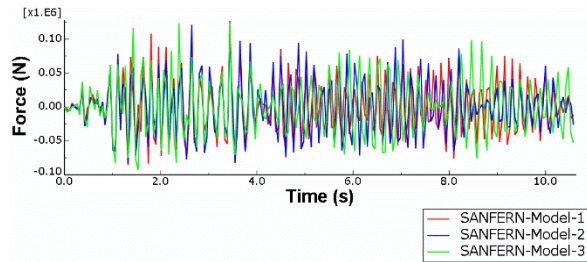


شکل (۱۸) نمودار انرژی داخلی مدل‌ها تحت رکورد زلزله کوبه



شکل (۱۹) نمودار انرژی داخلی مدل‌ها تحت رکورد زلزله سن فرناندو

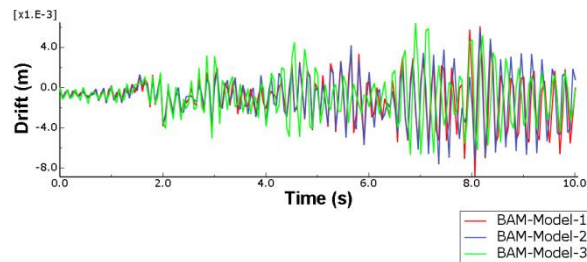
- در جدول ۴ مقادیر ماکزیمم برگرفته از تمامی نمودارها جهت ارائه نتایج ارائه شده است.



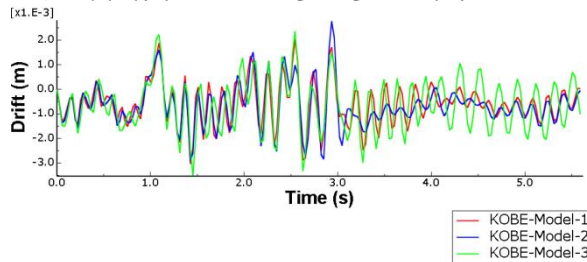
شکل (۱۳) نمودار برش پایه مدل‌ها تحت رکورد زلزله سن فرناندو

۲-۵- جابجایی نسبی

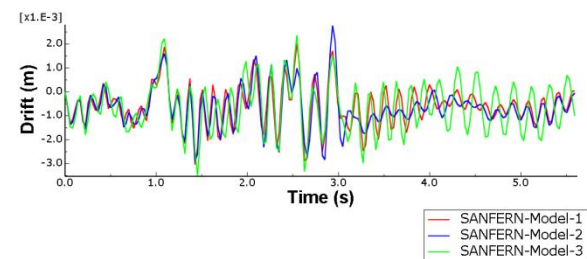
در ادامه نمودار جابجایی نسبی تیر نسبت به صفحه ستون‌ها برای هر سه زلزله ترسیم شده است (شکل ۱۴-۱۶).



شکل (۱۴) نمودار جابجایی نسبی مدل‌ها تحت رکورد زلزله بم



شکل (۱۵) نمودار جابجایی نسبی مدل‌ها تحت رکورد زلزله کوبه



شکل (۱۶) نمودار جابجایی نسبی مدل‌ها تحت رکورد زلزله سن فرناندو

[4] Iain, T., Radu, R., Susan B., LEAD the facts, Prepared by IC Consultants Ltd London, 2001, London.

[5] Abaqus Reference Manual, Accessed.

[6] Y-S. Yu, Y-P. Zhao, Deformation of PDMS membrane and microcantilever by a water droplet: Comparison between Mooney-Rivlin and linear elastic constitutive models, Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 332, No. 2, 2009, pp. 467-476.

[7] Ramezani, M., Ripin Z. M., Rubber- Pad Forming Processes: Technology And Applications, Woodhead Publishing, 2012, Elsevier.

[8] Roeder, Ch., Lehman, D., Performance Of Concentrically Braced Frames Under Cyclic Loading, Nathan Canney, Seattle University, 2004., University of Washington

[9] Wijesundara, K.K., Rassathi, G.A., Nascimbene, R., Bolognini, D., Seismic Performance of Brace-Beam-Column Connections in Concentrically Braced Frames, Structures Congress ASCE, Vol. 12, No. 1, 2010., pp 930-942.

[10] Zamani, M., Vafai, A., Aghakouchak, A.A., Kazemi, M.T., Experimental investigation of steel frames with single bays of symmetrical y-shaped concentric bracings, Scientia Iranica A, Sharif University of Technology, Vol. 19, No. 2, 2012., pp. 195-210.

[11] Khazaei, M., Investigation on Dynamics Nonlinear Analysis of Steel Frames with Steel Dampers, Science Direct-Elsevier, Procedia Engineering, Vol. 54, No. 1, 2013., pp. 401-412.

[۱۲] فرشچی، ح؛ سروقد مقدم، ع، بررسی آزمایشگاهی - عددی رفتار چرخه‌ای قاب مهاربندی شده با میانقاب مصالح بنایی و بدون میانقاب، مجله علمی- پژوهشی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (JSEE)، شماره ۴، سال ۱۳۸۵، ۲۰۹-۲۲۰

[۱۳] Madhukar Vable., Mechanics Of Materials (Second Edition), Michigan Technological University, from www.me.mtu.edu

[۱۴] برزکار، ا؛ فروزان، م، خزش و ویژگی های خزش- گسیختگی سرب خالص و آلیاژ قلع ۷۰٪ - سرب ۳۰٪، مجله علمی پژوهشی مهندسی مکانیک مجلسی/سال ۱۳۸۹/شماره سوم، ۶۹-۶۳

[15] Chopra, A. K., Dynamic of Structures: Theory and applications to earthquake engineering, 2nd edition, Prentice Hall In, 2001., London.

جدول (۴) پاسخ های برگرفته از نمودارهای خروجی آنالیز شده

| زلزله | مدل | ماکزیمم اندازه برش پایه (نیوتن) $\times 10^6$ | ماکزیمم اندازه دررفت (متر) $\times 10^{-3}$ | ماکزیمم انرژی (ژول) $\times 10^2$ |
|------------|-------|---|---|-----------------------------------|
| بیم | مدل ۱ | ۱۷/۲۸ | ۸/۸۰۲ | ۳۶/۰۴ |
| | مدل ۲ | ۱۴/۸۲ | ۷/۶۲ | ۳۴/۷۹ |
| | مدل ۳ | ۱۵/۳۱ | ۶/۶۶ | ۲۶/۸۲ |
| کوبه | مدل ۱ | ۸/۸۱ | ۳/۰۲ | ۴/۷۵ |
| | مدل ۲ | ۷/۸۳ | ۲/۹ | ۶/۷۱ |
| | مدل ۳ | ۸/۴۱ | ۴/۹ | ۴/۷ |
| سن فرزاندو | مدل ۱ | ۱۲/۶۶ | ۴/۵۱ | ۱۵/۱۴ |
| | مدل ۲ | ۱۲/۰۶ | ۴/۸۱ | ۲۷/۰۸ |
| | مدل ۳ | ۱۲/۳۳ | ۵/۳۲ | ۱۳/۴۶ |

۶- بحث و نتیجه گیری:

پس از مشاهده جدول ۴ و مقایسه مقادیر آن که از نمودارها منتج شده اند، می توان نتایج را بصورت زیر ارائه نمود:

- ۱- استفاده از رینگ سربی و لاستیکی باعث کاهش ماکزیمم برش پایه در هر سه زلزله شده است.
- ۲- تاثیر رینگ سربی در کاهش ماکزیمم برش پایه بیشتر از رینگ لاستیکی بوده است.
- ۳- مقدار ماکزیمم جابجایی نسبی در مدل ها وابسته به نوع زلزله می باشد و بسته به نوع زلزله استفاده از رینگ سربی و لاستیکی باعث کاهش یا افزایش جابجایی نسبی می شود.
- ۴- مقدار ماکزیمم جذب انرژی در قاب دارای رینگ لاستیکی در هر سه زلزله نسبت به مدل بدون رینگ و مدل دارای رینگ سربی، کمتر می باشد که نشانگر استهلاک انرژی توسط ماده هایپر الاستیک موجود در اتصالات می باشد.

۷- مراجع:

- [۱] فرشچی، ح؛ سروقد مقدم، ع؛ احمدی جزینی، روح،، بررسی تحلیلی-آزمایشگاهی اثر مقاومت اتصالات در قاب های مهاربند ضربدری، مجله علمی پژوهشی "عمران مدرس"، دوره یازدهم، شماره ۴، سال ۱۳۹۰، ۸۲-۶۹
- [2] Krishnamurthy, N., Modeling and prediction of steel bolted connection behavior, Computers & Structures, Vol. 11, No. 2, 1980., pp. 75-82
- [۳] یوسف زاده، ح؛ فرج پور، م؛ لطف الهی یقین، م، اصلاح روش طراحی اتصالات مفصلی پیچی با در نظر گرفتن اثر نیروهای اهرمی شدن، نشریه علمی و پژوهشی سازه و فولاد، سال ۱۳۹۰، شماره نهم، ۱۳-۲۶

Seismic Performance of X-Type Braced Steel Frame with Rubber and Lead Rings in Bolt Connections

Omid Esmaeili*

Civil Engineering MA, Ilam Governorship

Saeid Esmaeili

Department of Civil, Islamic Azad University of Khorasgan (Isfahan) branch Institute of Science

Abstract:

In structures with brace, one major problem is the great hardness of the bracings frames which are efficient to improve the seismic performance and to reduce the size of the hardness. A highly stiff braced frame cannot adequately dissipate the energy exerted by earthquake, so it causes the structure to absorb a large portion of this energy. As a result, designers always look for viable strategies that allow the steel structure to move along earthquake motions and dissipate this energy. This paper sought to evaluate one of such strategies, which is the use of rubber and lead rings in the bolted connections between braces and gusset plates. Finite element software (Abaqus / 6.13) was used to perform a dynamics analysis on a frame by subjecting it to the seismic records of Bam, Kobe and San Fernando earthquakes. This procedure was then repeated for the frame whose bolted connections contain rubber and lead rings and the values of base shear, drift, maximum stress in the structural members and the internal energy of the structure were compared. The results showed that the adding rubber rings to the connections of braced frame decreases its maximum base shear and energy absorption.

Keywords: bolt connections, software finite element, dynamic analysis, lead rings, rubber rings.