

پیشنهاد پروتکل بارگذاری برای اتصال خمشی تیر به ستون ساختمان- های منظم فولادی رایج در ایران برای شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک

الیاس عالی زهی^۱، مهدی قاسمیه^{۲*}، سید رسول میرقادری^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران

* m.ghassemieh@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

چکیده

با توجه به کاربرد زیاد ساختمان‌های فولادی در ایران و اهمیت اتصال‌های خمشی تیر به ستون فولادی که از جمله اجزاء حیاتی در این گونه از ساختمان‌ها هستند، شناخت بهتر رفتار اتصال‌های یاد شده در برابر زمین‌لرزه، ضروری است. ویژگی‌های شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک متمایز از زلزله حوزه دور است. برخی از زمین‌لرزه‌های فاجعه‌بار رخ داده در ایران از جمله زلزله بم (۲۰۰۳) و زلزله طبس (۱۹۷۸) دارای ویژگی‌های شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک بودند، که اهمیت رکورد حوزه نزدیک را نشان می‌دهد. بنابراین در این مقاله سعی شده است که ضابطه‌ای برای آزمون اتصال‌های خمشی تیر به ستون فولادی موجود در ساختمان‌های فولادی‌ای که تحت شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک ممکن است قرار بگیرند، ارائه شود. بدین وسیله امکان بررسی رفتار اتصال‌های یاد شده در آزمایشگاه با توجه به دستورالعمل پیشنهاد شده، ایجاد می‌شود. همچنین امکان ساخت ساختمان‌های فولادی ایمن‌تر، فراهم می‌شود. هدف این مقاله، پیشنهاد پروتکل بارگذاری برای قاب‌های خمشی ویژه فولادی تحت رکوردهای حوزه نزدیک برای ایران است. برای این منظور با بررسی زلزله‌های رخ داده در ایران در طول سال‌های متعدد، به تعیین شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک پرداخته شد. ساختمان‌های فولادی ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۲ و ۲۰ طبقه ضوابط و مقررات ایران طراحی و تحلیل شدند. سپس برای هر یک از ساختمان‌های فولادی طراحی شده به تعیین قاب بحرانی پرداخته شد. برای هر یک از قاب‌های بحرانی، ضریب مقیاس مشخص شد. پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی و اعمال شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی حوزه نزدیک به هر یک از قاب‌های بحرانی، جابه‌جایی نسبی طبقه (یا همان زاویه جابه‌جایی داخلی طبقه) برای تمامی قاب‌ها بدست آمده و با هم مقایسه شدند. در پایان پروتکل بارگذاری برای اتصال خمشی تیر به ستون ساختمان‌های فولادی در ایران برای رکوردهای حوزه نزدیک بدست آمد.

واژگان کلیدی: قاب خمشی ویژه فولادی، شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک، پروتکل بارگذاری.

۱- مقدمه

عملکرد سازه‌های فولادی پس از زمین‌لرزه نورتریج (۱۹۹۴) و کوبه (۱۹۹۵)، موجب تحقیقات متعددی در خصوص اتصالات فولادی شد. نتیجه این تلاش بزرگ تحقیقی، بهبود بخشیدن جزئیات اتصالات موجود و ایجاد انواع جدیدی از اتصالات که موجب فراهم سازی سازه با شکل پذیری و مقاومت کافی به منظور دستیابی به عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار، برای هر سطح از خطر لرزه‌ای شد [1].

زلزله نورتریج به طور چشمگیری نشان داد که اتصال خمشی جوشی تیر به ستون مورد استفاده قرار گرفته در قاب‌های مقاوم خمشی نسبت به آن فکری که در گذشته بود، قابلیت تخریب بالاتری دارد، پایداری سازه‌های قاب خمشی در برابر زلزله، وابسته به صلاحیت اتصال تیر به ستون دارد، تا بتواند سالم بماند، پیشتر بر این باور بودند که این نوع اتصالات، شکل‌پذیر و قادر به تحمل چرخه‌های تکرار شده تغییرشکل غیرالاستیک هستند، هرچند که اتصالات زیادی مورد آسیب قرار نگرفتند ولی یک طیف وسیعی از آسیب ناشی از شکست ترد غیرمنتظره رخ داده بود، اعم از ترک‌های ریز، که فقط با آزمایش غیرمخرب قابل مشاهده بودند، تا ستون‌های بکار گرفته شده؛ و بیشترین آسیب مشاهده شده در جوش‌های بکار گرفته شده در بال‌های تحتانی تیر آهن‌های متصل به ستون بود، در برخی موارد شکست‌های ترد در این گونه از اتصالات مشاهده شد، اگرچه تلفات جانی یا فروریختن ناشی از این گونه از شکست اتصالات رخ نداد، و برخی از ساختمان‌های قاب خمشی فولادی جوش داده شده، آسیبی ندیده بودند، وقوع آسیب در نواحی با حرکت قوی (ناشی از زلزله)، موجب نگرانی مهندسين سازه و نیز مقامات شد [2]. یک نیاز مهم و فوری برای رسیدگی به مشکل قاب خمشی فولادی جوشی (WSMF) مشخص شده بود، برای این منظور سرمایه‌گذاری مشترک SAC یک کار مشترک مهندسين سازه انجمن کالیفرنیا (SEAOC)، انجمن فناوری عملی (ATC)، و دانشگاه‌های

کالیفرنیا برای تحقیق در مهندسی زلزله؛ (CUREE)، بطور خاص برای در نظر گرفتن نیازهای متوسط و دراز مدت برای حل مسائل مربوط به اتصال WSMF شکل گرفت [2].

در مهندسی زلزله، ظرفیت‌های مقاومت و تغییرشکل، به آسیب تجمعی بستگی دارد، به این معنی که اجزاء دارای حافظه دائمی از رخداد‌های آسیبی گذشته هستند و در هر لحظه از زمان ممکن است همه گذرگاه‌های گذشته (یا چرخه‌ها) را که در زوال حالت سلامت، همکاری دارند را به خاطر بیاورند، بنابراین چگونگی عملکرد، بستگی به سابقه چرخه‌های خسارتی اعمال‌شده قبلی دارد و تنها راه معقول برای ارزیابی پیامدهای پیشینه (بطور مختصر، توسعه مدل‌های تحلیلی پیچیده‌ای که می‌توانند برای پیش بینی‌های حالت تخریب مورد استفاده قرار بگیرند)، تکرار نمودن به بهترین وجه ممکن است، تاریخچه‌های بار و تغییرشکل یک جزء در یک زلزله (یا چندین زلزله در صورتی که مناسب باشد) انجام می‌گیرد، هدف پروتکل بارگذاری این است که این را در شیوه محافظه‌کارانه، نه بیش از حد محافظه‌کارانه به دست آورد [3]. یک پروتکل بارگذاری بطور معمول یک دنباله‌ای از جابه‌جایی‌های شبه استاتیکی است که به نمونه‌ای اعمال می‌شود تا تقاضاهای تحمیل شده توسط زلزله را شبیه‌سازی نماید [4].

از جمله پروتکل‌های پیشنهادی در ادبیات فنی می‌توان به پروتکل بارگذاری ATC-24 [5]، پروتکل بارگذاری SAC [6] که توسط کلارک و همکاران تهیه شده است، پروتکل حوزه نزدیک SAC [7] که توسط کراوینکلر و همکاران ساخته شده است، پروتکل بارگذاری FEMA 461 [8]، پروتکل بارگذاری پیشنهادی توسط قاسمیه و همکاران [9] که برای اتصالات خمشی فولادی در ایران تحت شتاب‌نگاشت حوزه دور پیشنهاد شده بود، پروتکل‌های بارگذاری پیشنهادی توسط فنگ و همکاران [10] که برای انواع قاب‌های فولادی تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک پیشنهاد شده است، اشاره نمود. در تحقیقی توسط قاسمیه و رحیم زاده [11] به اثر پروتکل بارگذاری بر عملکرد اتصالات قاب خمشی فولادی

بطور معمول حرکات زمین حوزه نزدیک در فاصله ۲۰ کیلومتری از گسل محدود می‌شوند، با این حال این تعریف جهانی نیست. دلیل این امر آن است که آثار حوزه نزدیک با افزایش فاصله، کاهش می‌یابد، و همچنین تأثیر چندین عامل دیگر، مانند بزرگا و شرایط محلی سایت و غیره، در حرکت زمین افزایش می‌یابد. بنابراین ایجاد فاصله کمی دشوار و غیرمنطقی است، بنابراین دادن محدوده‌ای از حد بالا به فاصله منطقی‌تر به نظر می‌رسد [15].

استوارت و همکاران [16] فاصله ۲۰ الی ۶۰ کیلومتر از سایت تا گسل را به عنوان محدوده مناسب از حد بالا توصیه نمودند. در حال حاضر مطالعات بیشتر نشان داده است که فاصله تأثیرگذار برای آثار حوزه نزدیک بیش‌تر از ۲۰ کیلومتر و ممکن است ۲۰ الی ۶۰ کیلومتر باشد [15].

۲-۱- اصلاح رکورد

اطلاعات شتاب‌نگاشتی فراهم شده توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن خام هستند، اکثرشان، کمتر یا بیشتر، شامل نویز (نوفه)‌هایی هستند [17]. عمل اصلاح شتاب‌نگاشت‌ها با توجه به اصلاح خط‌مبنای خطی ۱ و فیلتر میان‌گذر Butterworth (فرکانس برش پایین $\omega_c = 0.1$ هرتز، برش بالا $\omega_h = 25$ هرتز، مرتبه $n = 4$) صورت گرفت. به عنوان نمونه در شکل (۱) برای مولفه طولی زلزله ورزقان ثبت شده در ایستگاه شیخملو، تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی، قبل و بعد از اصلاح نشان داده شده است. با انجام تصحیح، بیشترین تغییر در تاریخچه زمانی جابه‌جایی و کمترین تغییر در تاریخچه زمانی شتاب حاصل شد.

پرداخته شده است. در پژوهش‌هایی که به تازگی توسط قاسمیه و همکاران انجام شده است به رفتار اتصالات خمشی جوشی در ستون‌های قوطی شکل و بررسی تقاضاهای اعمال شده برای پروتکل‌های بارگذاری چرخه‌ای مختلف پرداخته‌اند [12] همچنین به ارزیابی وابستگی چرخه‌ای اتصال خمشی RBS در ستون قوطی شکل پرداختند [13]. حرکات زمین مربوط به شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک که موجب آسیب زیادی در زلزله-های بزرگ اخیر شده‌اند (نورث‌ریچ و کوبه) به گونه‌ای مشخص هستند که توسط یک حرکت تکان‌دهنده با مدت زمان کوتاه انرژی ورودی زیادی در شروع رکورد به سازه وارد می‌نماید، این حرکت پالس‌گونه بطور خاص در جهت "روبه جلو" رایج است، جایی که گسیختگی گسل به طرف سایت با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی انتشار می‌یابد، الگوی تابش جابه-جایی برشی گسل موجب می‌شود که پالس متمایل به عمود بر گسل شود، موجب می‌شود مولفه عمود گسل حرکت شدیدتری نسبت به مولفه موازی گسل داشته باشد [14].

هدف این مقاله ارائه پروتکل بارگذاری برای اتصال خمشی تیر به ستون ساختمان‌های فولادی در ایران برای رکوردهای حوزه نزدیک است. در این مطالعه تلاش شد به دلیل گسترش روزافزون استفاده از فولاد در صنعت ساختمان، اهمیت شناخت بیش از پیش، مطالعه رفتار این گونه از سازه‌ها در برابر نیروهای زلزله مورد توجه قرار بگیرد. تعدادی قاب خمشی فولادی رایج به عنوان مدل، مورد بررسی قرار گرفتند. در گام نخست تهیه فهرستی از شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک ایران بسیار حایز اهمیت است و فهرست مناسبی از شتاب‌نگاشت‌ها تهیه شد. در گام بعد ضریب مقیاس برای فهرست انتخابی تعیین شد. برای هر شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک در قاب‌های فولادی مورد استفاده در مقاله، ضرایب مقیاس تعیین شد. در گام بعدی تحلیل دو بعدی تاریخچه زمانی برای قاب‌های مدل، صورت گرفت. در ادامه نتایج و خروجی‌های مد نظر مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از روش شمارش چرخه رین فلو، پارامترهای مورد نیاز برای تشکیل پروتکل بارگذاری بدست آمدند.

۲- تهیه شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک ایران

1. linear baseline correction
2. Bandpass
3. low-cut
4. high-cut
5. order

شکل ۱. تاریخچه‌های زمانی شتاب، سرعت و جابه‌جایی قبل و بعد از اصلاح.

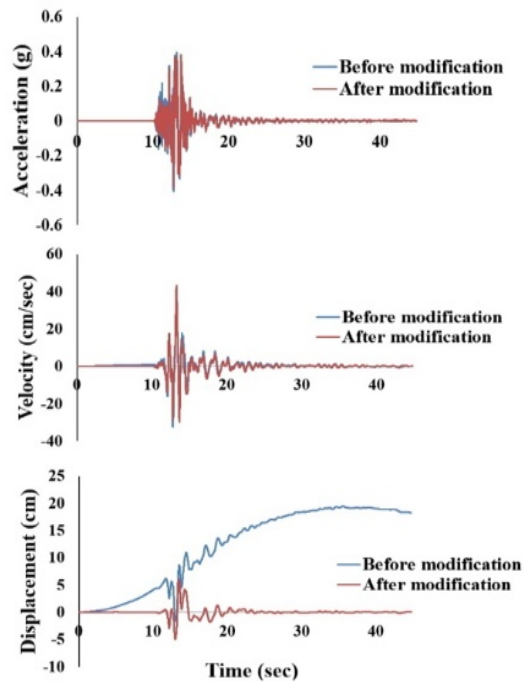


Fig. 1. Acceleration, velocity and displacement time histories before and after modification.

شکل ۲. پالس استخراج شده از تاریخچه زمانی سرعت.

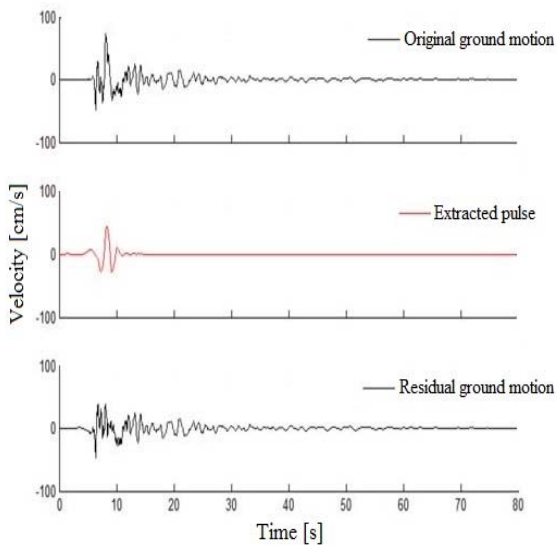


Fig. 2. Extracted pulse from velocity time history.

در جدول (۱) رکوردهای انتخاب شده به عنوان شتاب-نگاشت حوزه نزدیک بر اساس رویکرد شاهی و بیکر [18] ارائه شده است.

۲-۳- مقیاس نمودن شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک انتخاب شده

قبل از استفاده شتاب‌نگاشت‌ها به منظور انجام تحلیل غیرخطی، ابتدا باید برای شتاب‌نگاشت‌ها ضریب مقیاس‌های مربوطه را بیابیم. به منظور مقیاس نمودن شتاب‌نگاشت‌ها از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ [19] برای خاک نوع دو و برای پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد استفاده شده است. از آیین نامه ASCE 7-10 [20] نیز برای مقیاس نمودن استفاده شده است. به منظور تعیین ضریب مقیاس برای قاب‌های خمشی مورد نظر گام‌های زیر طی می‌شود:

- ۱- شتاب‌نگاشت‌ها به بیشترین مقدار خود مقیاس می‌شوند (هم‌پایه نمودن به g). ۲- تعیین طیف پاسخ هر یک از شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده در مرحله قبل با لحاظ نمودن میرایی ۵ درصد. ۳- تعیین ضریب مقیاس اولیه طیف پاسخ هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها بطور جداگانه با طیف طرح استاندارد به گونه‌ای که در محدوده زمان تناوب برابر با 0.7 الی $1/3$ برابر زمان تناوب پالس طیف پاسخ شتاب‌نگاشت که در مرحله قبل

۲-۲- انتخاب رکورد حوزه نزدیک از رکوردهای اصلاح شده

در این مطالعه به منظور انتخاب رکورد برای شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک ایران از روش پیشنهاد شده توسط شاهی و بیکر [18] استفاده شده است. رکوردهای مورد بررسی از سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ۱ از بخش بانک شبکه شتاب‌نگاری انتخاب شده‌اند. با توجه به بیشینه سرعت، رکوردهایی که دارای بیشینه سرعت پایینی بودند مورد استفاده قرار نگرفتند و مولفه‌های طولی بقیه رکوردها بطور جداگانه بر اساس روش یاد شده مورد بررسی قرار گرفتند (رکوردهایی با بیشینه سرعت ۲۰ سانتی متر بر ثانیه به بالا). در انتها تعداد ۱۷ رکورد به عنوان رکورد پالس‌دار برای شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک انتخاب شدند؛ که البته تمامی رکوردها طبق روش یاد شده اصلاح نیز شده بودند. به عنوان نمونه برای مولفه طولی زلزله چالان چولان (شماره رکورد 4027/08) پالس استخراج شده در شکل (۲) نمایش داده شده است.

پاسخ شتاب‌نگاشت به گونه‌ای مقیاس شده است که از طیف طرح استاندارد پایین‌تر قرار نگیرد، آن است که با توجه به مطالعه‌ای که توسط شاهی و بیکر [21] انجام شده بود به این نتیجه رسیده بودند که شتاب طیفی مربوط به رکورد حوزه نزدیک دارای پالس، در زمان تناوبی حدود زمان تناوب پالس دارای بیشترین ضریب تقویت است. پس، حدود 0.7 الی $1/3$ زمان تناوب پالس با توجه به شکل ارائه شده در آن مطالعه که در شکل (۳) نشان داده شده است، در این مقاله انتخاب شده است.

به دست آمده بود کمتر از طیف طرح استاندارد نشود، T_p زمان تناوب پالس بدست آمده از روش شاهی و بیکر [18] است. ۴- مقدار متوسط حاصل از طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده در مرحله قبل را با طیف طرح استاندارد در محدوده $0.2T$ الی $1.5T$ مقایسه شده و به گونه‌ای ضریب مقیاس‌های مرحله قبل تغییر داده شد که متوسط طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها در محدوده ذکر شده کمتر از طیف طرح استاندارد نشود، T زمان تناوب اصلی ساختمان است. دلیل آن که در گام ۳ در محدوده زمان تناوب $0.7T_p$ الی $1.3T_p$ طیف

جدول ۱. رکوردهای پیشنهادی برای شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک ایران.

Event	Station	Year	Record no.	Component	M_w	Epicentral distance(km)	PGV (cm/s)	T_p (sec)
Tabas	Tabas	1978	1084/01	T	7.4	54	107.6	5.96
Bam	Bam	2003	3168/02	L	6.5	6	109.5	2.07
Bam	Bam	2003	3168/02	T	6.5	6	62.5	1.90
Chalanchulan	Chalanchulan	2006	4027/05	L	5.2	5	38.7	0.92
Chalanchulan	Chalanchulan	2006	4027/05	T	5.2	5	26.0	0.90
Chalanchulan	Chalanchulan	2006	4027/08	L	5.9	9	51.9	2.58
Chalanchulan	Chalanchulan	2006	4027/08	T	5.9	9	41.3	1.11
Suza	Tomban	2006	4147/13	T	5.7	28	22.6	0.91
Musian	Moosiyān	2008	4646	T	5.8	25	25.5	0.58
Bandar-e khamir	Tomban	2008	4686/03	L	6.0	9	38.4	0.99
Bandar-e khamir	Tomban	2008	4686/03	T	6.0	9	42.5	0.86
Tokhmdel	Varzaqan	2012	5579/01	L	6.1	35	49.2	2.04
Varzagan	Chaykandi	2012	5631/53	L	4.8	11	28.1	0.31
Varzagan	Sheykh Malu	2012	5715/13	L	5.3	10	43.3	0.97
Jushan	Sirch	2017	7150	L	5.3	14	29.8	0.78
Firoozabad-Kajoor (Baladeh)	Hasan Keyf	2004	3333	L	6.4	48	41.6	0.43
Firoozabad-Kajoor (Baladeh)	Hasan Keyf	2004	3333	T	6.4	48	40.6	0.55

Table 1. Proposed records for Iran near-field earthquakes.

شکل ۳. ضریب تقویت برای شتاب طیفی [21].

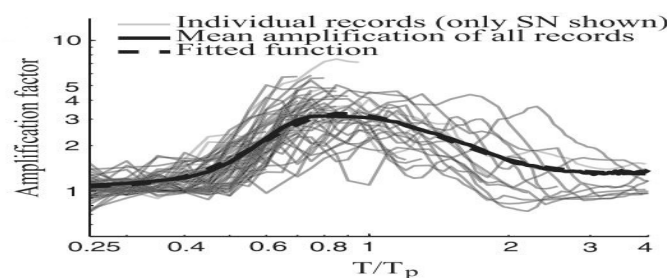


Fig 3. Amplification factor for spectral acceleration [21]

طیفی نیروی زلزله تعیین شد. در شکل (۴) ساختمان ۹ طبقه مدلسازی شده در نرم افزار ETABS نشان داده شده است. جدول ۲. ضریب مقیاس بر اساس DBE و MCE برای قاب ۲۰ طبقه.

Event	Com ponent	Scale factor	
		DB E	MCE
Tabas	T	2.76	4.140
Bam	L	2.70	4.050
Bam	T	2.75	4.125
Chalanchulan	L	2.72	4.080
Chalanchulan	T	2.70	4.050
Chalanchulan	L	2.74	4.110
Chalanchulan	T	2.74	4.110
Suza	T	2.71	4.065
Musian	T	2.71	4.065
Bandar-e khamir	L	2.79	4.185
Bandar-e khamir	T	2.75	4.125
Tokhmde	L	2.73	4.095
Varzagan	L	2.73	4.095
Varzagan	L	2.76	4.140
Jushan	L	2.72	4.080
firoozabad-kajoor (Baladeh)	L	2.71	4.065
firoozabad-kajoor (Baladeh)	T	2.72	4.080

Table 2. Scale factor based on the MCE and the DBE for 20-story frame.

شکل ۴. مدل سه بعدی ساختمان ۹ طبقه.

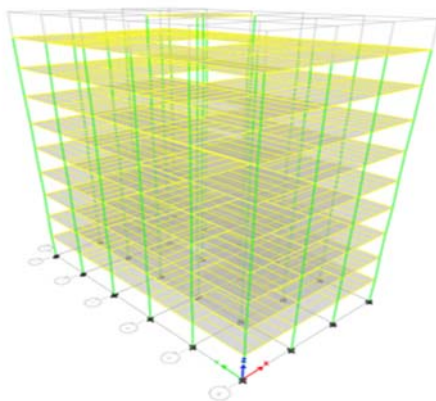


Fig. 4. 3D model of the 9-story building.

سپس برای هر یک از ساختمان‌ها، قاب بحرانی تعیین شد. قاب بحرانی قابی است که بیشترین جابه‌جایی را متحمل می‌شود. در شکل ۵ یک نمونه از مقاطع استفاده شده نشان داده شده است. در جدول (۳) مشخصات مقاطع مورد استفاده در قاب‌های بحرانی آمده است. در شکل (۶) هر یک از قاب‌ها

به منظور انجام تحلیل تاریخچه زمانی در نرم افزار OpenSees [22] با توجه به آنچه که توسط فنگ و همکاران [10] ارائه شده، باید تحلیل هم تحت DBE (زمین‌لرزه اساس طراحی ۱) و هم تحت MCE (بیشینه زلزله در نظر گرفته شده ۲) صورت بگیرد. با توجه به ASCE 7-10 [20]، طیف پاسخ در حالت MCE، ۱/۵ برابر حالت DBE است. در حالت MCE طیفی که باید با توجه به آن شتاب‌نگاشت‌ها را مقیاس نمود، ۱/۵ برابر طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ خواهد بود. برای قاب‌های ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۲ و ۲۰ طبقه تحت DBE و MCE ضریب مقیاس بدست آمد. در جدول (۲) ضریب مقیاس نهایی شتاب‌نگاشت‌های پیشنهادی برای قاب ۲۰ طبقه نشان داده شده است.

۳- مدل‌های بکار گرفته شده

تمامی مدل‌های مورد بحث در این مطالعه، یعنی ساختمان‌های ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۲ و ۲۰ طبقه، دارای ارتفاع طبقه ۳/۲ متر و طول دهانه‌های ۵ متر هستند. علاوه بر مدل‌های ۷، ۱۲ و ۲۰ طبقه، ساختمان‌های ۳، ۵ و ۹ طبقه نیز بر اساس مشخصات مدل‌های در نظر گرفته شده در مرجع [23] هستند. فولاد مورد استفاده از نوع ST37 با تنش‌های تسلیم و مقاومتی به ترتیب 240 Mpa و 370 Mpa و همچنین مدول الاستیسیته 200 Gpa است. برای مقاطع ستون‌ها از مقطع قوطی شکل و برای مقاطع تیرها از مقطع بال پهن ساخته شده از نوع تیورق استفاده شده است. سیستم سازه‌ای کف برای انتقال بارهای ثقلی از نوع سقف کامپوزیت است. همچنین سیستم سازه‌ای برای انتقال بارها به شالوده و برای تحمل بارهای جانبی ناشی از زلزله، قاب خمشی ویژه در هر دو جهت طولی X و عرضی Y است. ساختمان‌ها دارای پلان منظم، و در ارتفاع نیز منظم هستند. طراحی لرزه‌ای مدل‌ها بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ انجام شد. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ نیروی زلزله برای همه ساختمان‌های کوتاه‌تر از بیست طبقه به روش استاتیکی معادل بدست آمد و برای ساختمان بیست طبقه از روش تحلیل

1. Design Basis Earthquake
2. Maximum Considered Earthquake

قابل مشاهده هستند، مقاطع هر یک از اعضا در قاب‌ها با توجه به شماره آن و ویژگی‌های جدول (۳) تعیین می‌شود.

شکل ۵. یک نمونه از مقاطع استفاده شده (واحد: میلی متر).

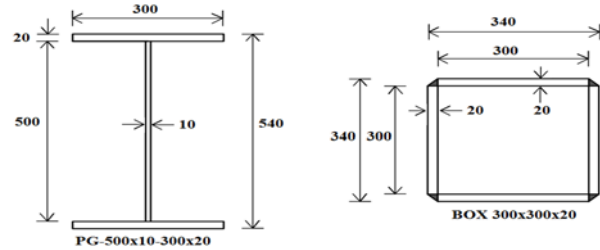


Fig. 5. A sample of used sections (unit: mm).

جدول ۳. مشخصات مقاطع هر یک از قاب‌های بحرانی.

Label	Section	Label	Section
1	BOX 150x150x10	15	BOX 450x450x30
2	BOX 200x200x20	16	BOX 550x550x35
3	BOX 230x230x20	17	PG-200x8-120x10
4	BOX 185x185x15	18	PG-300x8-150x10
5	BOX 210x210x20	19	PG-300x8-160x15
6	BOX 220x220x20	20	PG-300x8-240x15
7	BOX 250x250x20	21	PG-120x8-100x15
8	BOX 165x165x15	22	PG-300x8-200x15
9	BOX 200x200x15	23	PG-330x8-240x15
10	BOX 270x270x20	24	PG-360x10-240x20
11	BOX 280x280x20	25	PG-400x8-200x15
12	BOX 300x300x20	26	PG-450x10-220x20
13	BOX 350x350x25	27	PG-500x10-300x20
14	BOX 400x400x25		

Table 3. Sectional characteristics of each one of the critical frames.

شکل ۶. قاب‌های بحرانی.

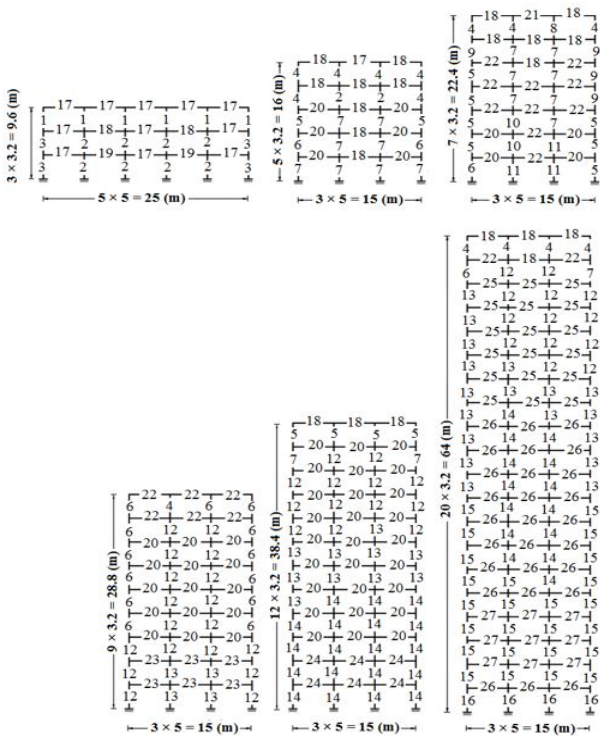


Fig. 6. Critical frames.

۴- مدل‌سازی در نرم‌افزار OpenSees

هر یک از قاب‌های بحرانی در نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی و نتایج جابه‌جایی نسبی طبقه برای هر یک از طبقات در قاب‌ها پس از اعمال شتاب‌نگاشت‌های زلزله حوزه نزدیک تحت DBE و MCE بدست آمد. در این‌جا مدل‌سازی تیرها و ستون‌ها از نوع مبتنی بر نیرو با ۵ نقطه انتگرال‌گیری مدل شده و مقاطع بطور فایبری ساخته شدند. در مقاطع تیر ورق هر بال در جهت طولی به ۶ قسمت و در جهت عرضی به ۲ قسمت و نیز جان در جهت طولی به ۶ قسمت و در جهت عرضی به ۸ قسمت تقسیم بندی شدند. همچنین برای مقاطع قوطی‌شکل که از اتصال چهار ورق ساخته شده بود، هر یک از ورق‌ها به ۸ قسمت در بعد بزرگتر و ۲ قسمت در بعد کوچکتر، تقسیم بندی شدند. اتصال تیر به ستون از نوع گیردار در نظر گرفته شده است. فولاد مورد استفاده از نوع uniaxialMaterial Steel02 و مقادیر R_0 ، cR_1 و cR_2 به ترتیب برابر با ۱۵، ۰/۹۲۵ و ۰/۱۵ بودند که با توجه به مقادیر پیشنهادی در سایت OpenSees انتخاب شدند. نسبت سخت شوندهگی کرنشی ۰/۰۱ برای فولاد ST37 فرض شد. غیرخطی بودن هندسی با

است. مقدار بیشینه مطلق جابه‌جایی نسبی طبقه برای هر یک از رکوردهای زلزله حوزه نزدیک پیشنهادی تحت DBE و MCE بدست آمده و مقادیر میانگین، میانه و ۸۴ درصد با هم مقایسه شدند. مقایسه مذکور تحت MCE، در شکل‌های (۷ و ۸) نشان داده شده است.

شکل ۷. خلاصه جابه‌جایی نسبی بیشینه قاب‌های مختلف تحت MCE.

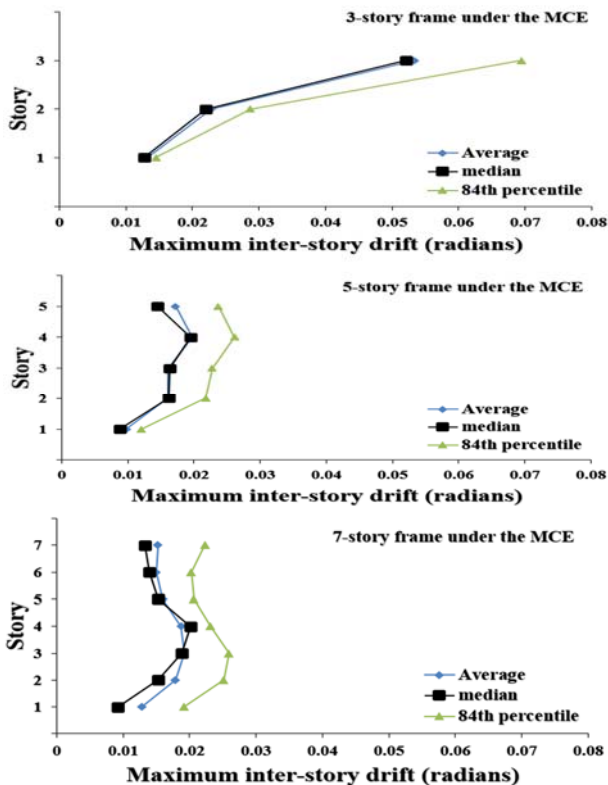
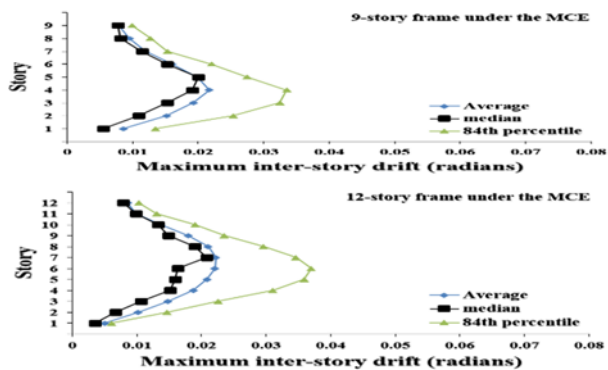


Fig 7. Summary of maximum inter-story drifts different frames under the MCE.

شکل ۸. خلاصه جابه‌جایی نسبی بیشینه قاب‌های مختلف تحت MCE.



استفاده از تبدیل پی-دلتا در OpenSees برای ستون‌ها انجام شده است. چشمه اتصال مدل نشده بود. میرایی رایلی با ۵ درصد نسبت میرایی برای مود اول و دوم نوسان در نظر گرفته شده است. روش نیومارک با شتاب متوسط و الگوریتم نیوتن به منظور حل معادلات دینامیک غیرخطی استفاده شده است. قبل از تحلیل تاریخچه زمانی و اعمال رکوردهای زلزله، تحت بارهای ثقیلی هر یک از قاب‌ها تحلیل شده‌اند.

به منظور درستی آزمایشی تحلیل‌ها، مانند مرجع [24] زمان تناوب اصلی تقریبی حاصل از ASCE 7-10 [20] و نیز زمان تناوب مود اول مربوط به OpenSees مقایسه می‌شود. در ASCE 7-10 مطابق بخش 12.8.2 زمان تناوب اصلی سازه بدست می‌آید. در جدول (۴)، مقادیر زمان تناوب مود اول بدست آمده برای قاب‌های مدل شده در OpenSees و نیز حاصل از زمان تناوب تقریبی برای ساختمان‌های مدل شده نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، زمان تناوب بدست آمده توسط OpenSees و ASCE 7-10 اختلاف چندانی ندارند؛ هر چند که برای مدل ۳ طبقه این اختلاف بیشتر است. با توجه به مرجع [25]، زمان تناوب بدست آمده از مدلسازی به دلیل نتایج حاصل از انتخاب‌های عضو، از زمان تناوب مربوط به مقدار تقریبی آیین نامه کمی بیشتر خواهد شد.

جدول ۴. زمان تناوب‌های اصلی ساختمان.

Model	T_{OpenSe} (sec)	$T_{ASCE 7-10}$ [20] (sec)
3-story frame	0.832	0.532
5-story frame	0.803	0.747
7-story frame	1.081	0.948
9-story frame	1.200	1.138
12-story frame	1.455	1.410
20-story frame	1.929	2.080

Table 4. Fundamental building periods.

جابه‌جایی نسبی هر طبقه خروجی مدنظر حاصل از انجام تحلیل تاریخچه زمانی برای هر یک از قاب‌های مدل شده،

ساخت پروتکل بارگذاری استفاده شود، باید انتخاب شود. در ابتدا باید تغییرشکل تجمعی در طبقات دوم و سوم که دارای بیشینه جابه‌جایی نسبی در قاب ساختمانی سه طبقه بودند با هم مقایسه شوند. در شکل (۹) مقایسه مذکور با در نظر گرفتن توزیع لگ‌نرمال تحت MCE نشان داده شده است.

شکل ۹. مقایسه تغییرشکل تجمعی طبقه دوم و سوم از قاب ساختمانی ۳ طبقه.

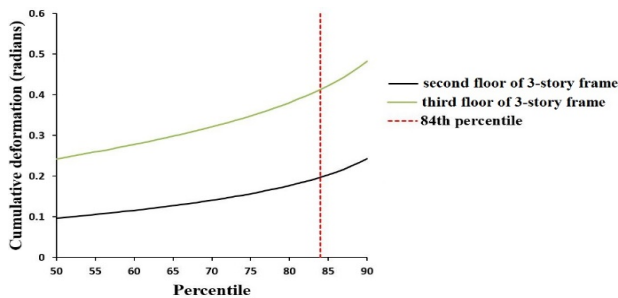


Fig 9. Comparison of the cumulative deformation of the second and third floors of the 3-story frame.

با توجه به نتایج شکل ۹، تغییرشکل تجمعی طبقه سوم قاب ساختمانی ۳ طبقه بیشتر از طبقه دوم آن است (نتایج تحت DBE نیز برای طبقه سوم، بیشتر است و در این جا نشان داده نشده است). بنابراین شمارش چرخه رین فلو برای طبقه بحرانی، یعنی طبقه سوم قاب ۳ طبقه صورت می‌گیرد. پارامترهای تقاضای مورد نیاز برای ساخت پروتکل بارگذاری، تحت DBE و MCE محاسبه شده است، این پارامترها عبارتند از تعداد چرخه‌های خسارتی (N_f)، بازه تغییرشکل ($\Delta\theta_i$)، بیشترین جابه‌جایی نسبی طبقه (θ_{max})، بیشینه بازه تغییرشکلی ($\Delta\theta_{max}$)، مجموع بازه تغییرشکلی ($\Sigma\Delta\theta_i$) و تغییرشکل باقی مانده (θ_r) است.

۶- ساخت پروتکل بارگذاری

در این مطالعه از مقادیر مربوط به حالت MCE که از حالت DBE بیشتر است، به منظور ساخت پروتکل بارگذاری استفاده شده است. روند تولید پروتکل بارگذاری برای قاب‌های مورد بحث تحت رکورد حوزه نزدیک، بر اساس روش پیشنهادی توسط فنگ و همکاران [10] صورت گرفته است. در شکل

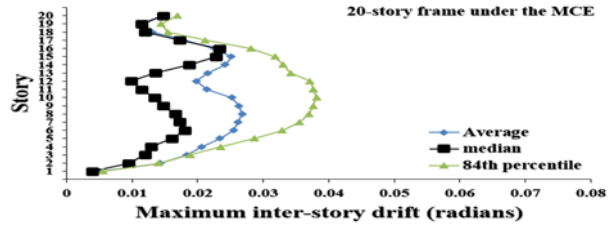


Fig. 8. Summary of maximum inter-story drifts different frames under the MCE.

با توجه به نتایج حاصل از شکل‌های (۷ و ۸)، بیشینه جابه‌جایی نسبی برای قاب ساختمانی ۳ طبقه بیشترین مقدار را به خودش اختصاص داده است. در این جا نیز طبقه بحرانی، به عنوان طبقه‌ای که تغییر شکل تجمعی بیشتری را از بین دو طبقه‌ای که بیشترین جابه‌جایی نسبی را دارند، انتخاب شد. با توجه به نتایج مربوط به بیشینه جابه‌جایی نسبی طبقه، قاب ۳ طبقه رفتار بغرنج‌تری را نسبت به سایر قاب‌ها از خود نشان داده است. بنابراین طبقه بحرانی قاب ۳ طبقه به منظور انجام فرایند چرخه رین فلو مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۵- شمارش چرخه رین فلو

روش شمارش چرخه رین فلو در ابتدا توسط ماتسویچی و اندو [26] به منظور شمارش چرخه‌ها یا نیم‌چرخه‌های سیگنال‌های تاریخچه زمانی کرنش پیشنهاد شد. بعدها روش شمارش چرخه رین فلو به عنوان چندین الگوریتم‌های شمارش در ASTM [27] منتشر شد.

دو روش شمارش چرخه رین فلو، یکی روش شمارش چرخه رین فلو اصلی ۱ و دیگری روش شمارش چرخه رین فلو ساده شده ۲ برای رکوردهای حوزه نزدیک می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد و بازه تغییرشکلی بیشتر از ۰/۰۰۵ رادیان به عنوان بازه تغییرشکلی مخرب انتخاب می‌شود [10]. قابل ذکر است که به منظور استفاده از روش شمارش چرخه رین فلو ساده شده تاریخچه زمانی جابه‌جایی نسبی اصلی باید به گونه‌ای دوباره تنظیم شود که همواره با مقدار بیشینه شروع شود. با توجه به نتایج تحلیل تاریخچه زمانی، طبقه بحرانی قاب ساختمانی سه طبقه به عنوان طبقه‌ای که از نتایج آن به منظور

1. basic rainflow counting
2. simplified rainflow counting

حساب می‌آیند. در انتها، مقدار متوسط چرخه‌ها به جابه‌جایی نسبی باقی‌مانده (θ_r) می‌رسد. مقدار θ_r با توجه به شمارش چرخه رین فلوی اصلی بدست می‌آید. همچنین چرخه با بیشترین بازه تغییرشکلی ($\Delta\theta_{max}$) حاصل از شمارش چرخه رین فلوی ساده شده، به منظور جبران چرخه‌های پالسی در نظر گرفته نشده است. زیرا یکبار بیشینه بازه تغییرشکلی حاصل از شمارش چرخه رین فلوی اصلی یعنی $\Delta\theta_{max}$ ، در چرخه‌های پالس استفاده شده است. بلکه سایر بازه‌های تغییرشکلی (یعنی از $\Delta\theta_2$ به بعد) پس از چرخه‌های پالس با توجه به نتایج شمارش چرخه رین فلوی ساده شده تشکیل می‌شوند.

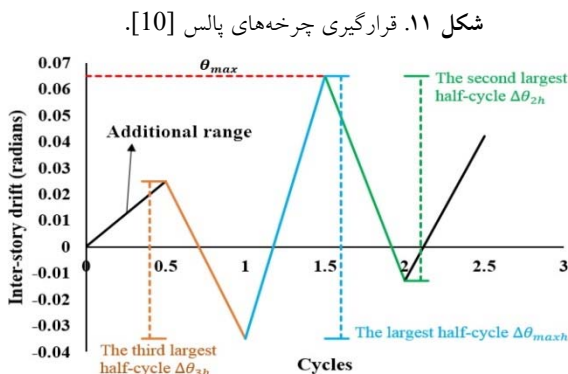


Fig. 11. The placing of pulsing cycles [10].

پس از شمارش چرخه رین فلوی برای جابه‌جایی نسبی طبقه در طبقه بحرانی برای هر یک از رکوردهای حوزه نزدیک، مقدار ۸۴ درصد نتایج حاصل از شمارش چرخه رین فلوی با در نظر گرفتن توزیع لگ‌نرمال تحت DBE و MCE محاسبه شده است که در جدول (۴) قابل مشاهده است. به عنوان نمونه در شکل‌های (۱۲ و ۱۳) پارامترهای N_t ، θ_{max} ، θ_r ، $\Delta\theta_{maxh}$ ، $\Delta\theta_{2h}$ و $\Delta\theta_{3h}$ تحت MCE با توجه به توزیع لگ‌نرمال نشان داده شده است.

(۱۰) مراحل ساخت پروتکل بارگذاری پس از بدست آوردن نتایج دریافت نسبی طبقه بحرانی نشان داده شده است.

شکل ۱۰. مراحل ساخت پروتکل بارگذاری.



برای ساخت چرخه‌های پالسی از سه مقدار اول بیشینه بازه تغییرشکلی بدست آمده توسط شمارش چرخه رین فلوی اصلی یعنی $\Delta\theta_{maxh}$ ، $\Delta\theta_{2h}$ و $\Delta\theta_{3h}$ استفاده شده است. این سه نیم چرخه مطابق شکل (۱۱) موجب تشکیل چرخه‌های پالس می‌شوند. در چرخه‌های پالس، در ابتدا از یک بازه تغییرشکل اضافی استفاده می‌شود و پروتکل به مقدار بیشینه جابه‌جایی نسبی نیز رسیده است. بقیه چرخه‌ها، یعنی از چرخه شماره ۲ به بعد، توسط نتایج مربوط به شمارش چرخه رین فلوی ساده شده به دست آمده‌اند. تعداد چرخه‌های خسارتی یعنی تعداد بازه‌های تغییرشکلی بیشتر از 0.05 رادیان (N_t) و مجموع بازه تغییرشکلی ($\sum\Delta\theta_i$) نیز بر اساس شمارش چرخه رین فلوی ساده شده بدست آمده است. در پروتکل پیشنهادی، چرخه‌های پالس نیز در شمارش تعداد چرخه‌های خسارتی به

پروتکل بارگذاری پیشنهادی دارای ۲۳ نیم چرخه خسارتی، شامل ۳ نیم چرخه پالسی با بازه‌های تغییرشکلی ۰/۰۶۰، ۰/۱۰۰ و ۰/۰۷۸ رادیان است. بیشینه جابه‌جایی نسبی در آن برابر ۰/۰۶۵ رادیان حاصل شد. همچنین مجموع بازه‌های تغییرشکلی برابر ۰/۶۸۴ رادیان است. تابع پخش تجمعی (CDF) پروتکل بارگذاری پیشنهاد شده با نتایج تحلیل تاریخیچه زمانی (حاصل از شمارش چرخه رین فلو) مقایسه شده‌اند که در شکل (۱۵) نشان داده شده است. به عنوان نمونه CDF برابر ۰/۶ در $\Delta\theta$ مساوی ۰/۰۲ رادیان به این معنی است که ۶۰ درصد از تمامی چرخه‌های آسیبی دارای $\Delta\theta$ کمتر مساوی ۰/۰۲ رادیان هستند. با توجه به شکل (۱۵) مشخص است پروتکل بارگذاری پیشنهادی نسبت به نتایج تحلیل به ازای CDF مشخص دارای بازه تغییرشکلی بیشتری است، که برای اطمینان است. در جدول (۶) مقادیر مربوط به پروتکل بارگذاری پیشنهادی که اعداد دقیق شکل (۱۴) هستند، نشان داده شده است. نیم چرخه ابتدایی دارای بازه تغییرشکلی ۰/۰۲۵ رادیان و سه نیم چرخه پالسی دارای بازه‌های تغییرشکلی ۰/۰۶، ۰/۱ و ۰/۰۷۸ رادیان است. بیشینه بازه تغییرشکلی ۰/۰۶۵ رادیان است. همچنین تعداد کل نیم چرخه‌ها ۲۳ است.

جدول ۵. ۸۴٪ پارامترهای تقاضای لرزه‌ای بر اساس چرخه رین فلو.

Parameter	3 rd floor of 3-story frame	
	DBE	MCE
$\Delta\theta_{max}$	0.05290	0.09245
$\Delta\theta_2$	0.03408	0.04823
$\Delta\theta_3$	0.02691	0.03694
$\Delta\theta_4$	0.02024	0.02934
$\Delta\theta_5$	0.01743	0.02469
$\Delta\theta_6$	0.01569	0.02199
$\Delta\theta_7$	0.01417	0.01903
$\Delta\theta_8$	0.01430	0.01896
$\Delta\theta_9$	0.01529	0.01798
$\Delta\theta_{10}$	0.01494	0.01556
$\Delta\theta_{11}$	0.01474	0.01507
$\Delta\theta_{12}$	0.01437	0.01432

1. cumulative distribution functions

شکل ۱۲. مقادیر درصد از پارامترهای تقاضای لرزه‌ای مختلف طبقه بحرانی.

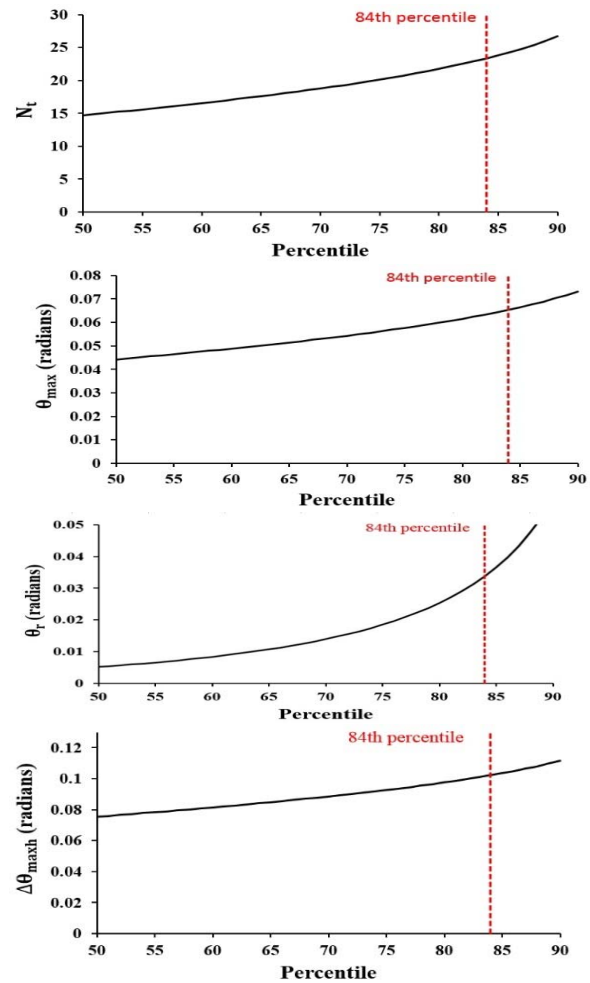


Fig. 12. Percentile values of different seismic demand parameters of critical story.

شکل ۱۳. مقادیر درصد از پارامترهای تقاضای لرزه‌ای مختلف طبقه بحرانی.

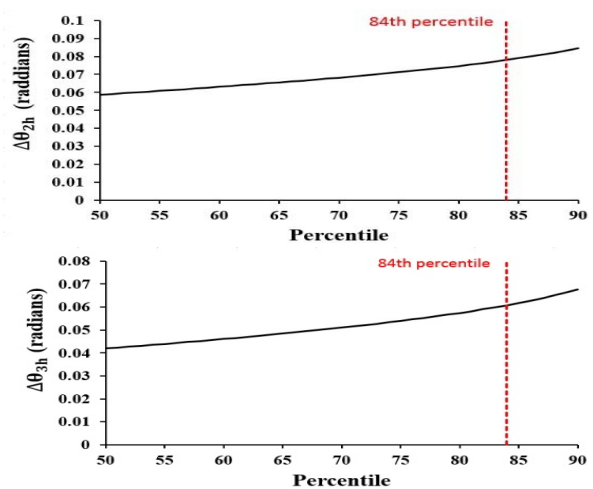


Fig. 13. Percentile values of different seismic demand parameters of critical story.

با توجه به رویکردی که ذکر شد و نیز نتایج تحت MCE

جدول (۵) پروتکل بارگذاری مطابق شکل (۱۴) پیشنهاد شد.

جدول ۶. تقاضاهای مربوط به پروتکل بارگذاری پیشنهادی.

Cycles	Inter-story drift (radians)	Inter-story drift range (radians)
0.0	0.000	0.000
0.5	0.025	0.025
1.0	-0.035	0.060
1.5	0.065	0.100
2.0	-0.013	0.078
2.5	0.042	0.055
3.0	0.002	0.040
3.5	0.042	0.040
4.0	0.017	0.025
4.5	0.042	0.025
5.0	0.022	0.020
5.5	0.042	0.020
6.0	0.022	0.020
6.5	0.042	0.020
7.0	0.027	0.015
7.5	0.042	0.015
8.0	0.027	0.015
8.5	0.042	0.015
9.0	0.027	0.015
9.5	0.042	0.015
10.0	0.027	0.015
10.5	0.042	0.015
11.0	0.022	0.020
11.5	0.038	0.016

Table 6. Demands for the proposed loading protocol.

شکل ۱۵. مقایسه CDF بین نتایج تحلیل و پروتکل بارگذاری پیشنهادی.

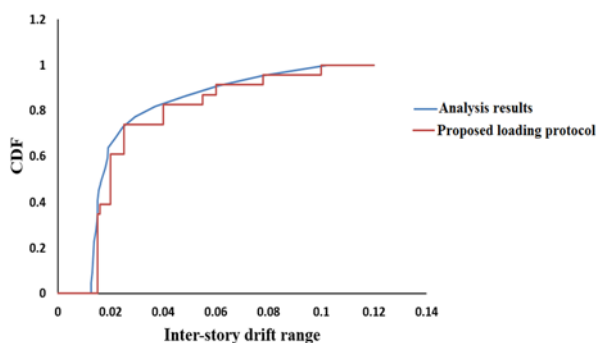


Fig. 15. Comparison of CDF between analysis results and proposed loading protocol.

۷- مقایسه پروتکل بارگذاری پیشنهادی با پروتکل حوزه نزدیک SAC

در شکل (۱۶) پروتکل بارگذاری حوزه نزدیک SAC نشان داده شده است. در ابتدای پروتکل پیشنهادی از بازه تغییرشکل اضافی ۰/۰۲۵ رادیان استفاده شده است در حالی که در پروتکل SAC، ۰/۰۲ رادیان به کار گرفته شده است. چرخه‌های پالس

$\Delta\theta_{13}$	0.01507	0.01377
$\Delta\theta_{14}$	0.01365	0.01355
$\Delta\theta_{15}$	0.01266	0.01258
$\Delta\theta_{16}$	0.01185	0.01333
$\Delta\theta_{17}$	0.01185	0.01299
$\Delta\theta_{18}$	0.01064	0.01478
$\Delta\theta_{19}$	0.01057	0.01666
$\Delta\theta_{20}$	0.01012	0.01511
$\Delta\theta_{21}$	0.00922	0.01405
$\Delta\theta_{22}$	0.00775	0.01316
$\Delta\theta_{23}$	0.00741	0.01289
$\Delta\theta_{maxh}$	0.06656	0.10217
$\Delta\theta_{2h}$	0.05274	0.07795
$\Delta\theta_{3h}$	0.04398	0.06075
θ_{max}	0.04217	0.06531
N_t	16.25360	23.34327
$\Sigma\Delta\theta_i$	0.24965	0.41350
θ_r	0.01173	0.03372

Table 5. 84% seismic demand parameters based on rainflow counting.

شکل ۱۴. پروتکل بارگذاری پیشنهادی برای ساختمان‌های فولادی

قاب خمشی ویژه تحت رکوردهای حوزه نزدیک برای ایران.

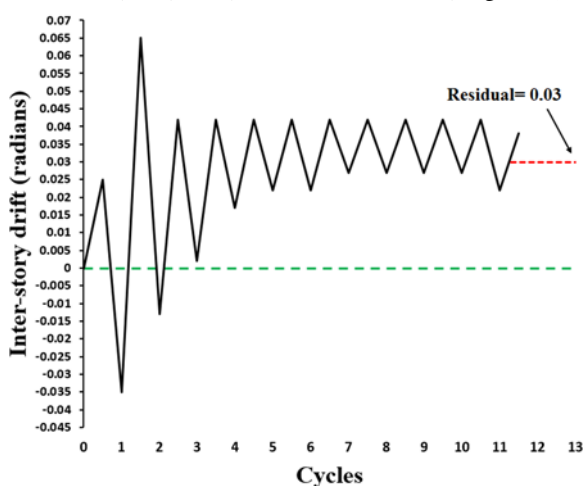


Fig. 14. Proposed loading protocol for steel special moment resisting frame buildings under near-field earthquakes for Iran.

دهند، مناسب است. پروتکل بارگذاری پیشنهادی دارای ۲۳ نیم چرخه خسارتی، شامل ۳ نیم چرخه پالسی با بازه‌های تغییرشکلی ۰/۰۶۰، ۰/۱۰۰ و ۰/۰۷۸ رادیان است. بیشینه جابه جایی نسبی در آن برابر ۰/۰۶۵ رادیان حاصل شد. همچنین مجموع بازه‌های تغییرشکلی برابر ۰/۶۸۴ رادیان هست.

۹- مراجع

- [1] Bravo, Miguel A., and Ricardo A. Herrera. 2014 Performance under cyclic load of built-up T-stubs for double T moment connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 103, 117-130.
- [2] Malley, James O. 1998 SAC steel project: Summary of phase 1 testing investigation results. *Engineering structures*, 20(4-6), 300-309.
- [3] Krawinkler, Helmut. 2009 Loading histories for cyclic tests in support of performance assessment of structural components. *In The 3rd international conference on advances in experimental structural engineering, San Francisco*.
- [4] Maison, Bruce F., and Matthew S. Speicher. 2016 Loading Protocols for ASCE 41 Backbone Curves. *Earthquake Spectra*, 32(4), 2513-2532.
- [5] ATC-24. 1992 Guidelines for Cyclic Seismic Testing of Components of Steel Structures for Buildings. Applied Technology Council, Redwood City, CA, Report No. ATC-24.
- [6] Clark, P., Frank, K., Krawinkler, H., and Shaw, R. 1997 Protocol for Fabrication, Inspection, Testing, and Documentation of Beam-Column Connection Tests and Other Experimental Specimens. SAC Steel Project Background Document, Report No. SAC/BD-97/02.
- [7] Krawinkler, H., Gupta, A., Medina, R., and Luco, N. 2000 Development of Loading Histories for Testing of Steel Beam-to-Column Assemblies. SAC Background, Report No. SAC/BD-00/10.
- [8] FEMA. 2007 Interim Protocols for Determining Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components Through Laboratory Testing. FEMA 461 Draft document, Federal Emergency Management Agency.
- [9] Ghassemieh, M. and Hasani sokhtesaraei, M. 2016 Effect of Loading Protocol on the Steel Moment Connections in Iran. *Modares Civil Engineering Journal (M.C.E.J)*, 16(4), 213-223. (In Persian).
- [10] Fang, C., Ping, Y., & Chen, Y. 2020 Loading protocols for experimental seismic qualification of members in conventional and emerging steel

در پروتکل پیشنهادی دارای بازه‌های تغییرشکلی ۰/۰۶۰، ۰/۱۰۰ و ۰/۰۷۸ رادیان است، در حالی که سه نیم چرخه پالسی در ابتدای پروتکل بارگذاری SAC دارای بازه‌های تغییرشکلی ۰/۰۸، ۰/۰۵ و ۰/۰۴ رادیان است. بیشینه جابه‌جایی نسبی در پروتکل پیشنهادی برابر ۰/۰۶۵ رادیان و در پروتکل SAC برابر ۰/۰۶ رادیان است. پس از سپری شدن چند چرخه در پروتکل SAC دوباره چرخه‌های پالس تکرار شده‌اند در حالی که در پروتکل پیشنهادی این چنین نیست. بنابراین پروتکل بارگذاری پیشنهادی نسبت به پروتکل حوزه نزدیک SAC دارای بیشینه جابه‌جایی نسبی بیشتر و چرخه‌های پالس قوی‌تر است؛ ولی به دلیل تکرار مجدد چرخه‌های پالس در پروتکل SAC و همچنین تعداد کل چرخه‌های تعریف شده در پروتکل SAC که از پروتکل پیشنهادی بیشتر می‌باشد، به نظر می‌رسد پروتکل SAC نسبت به پروتکل پیشنهادی اثر مخرب‌تری روی اتصال خواهد داشت.

شکل ۱۶. پروتکل بارگذاری حوزه نزدیک SAC [7].

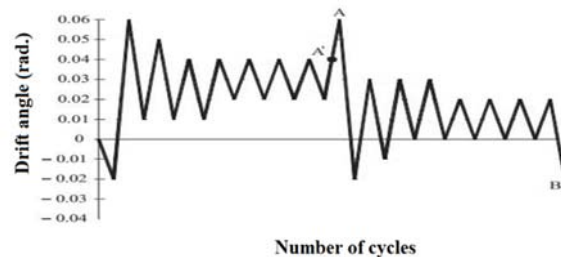


Fig. 16. SAC near-field loading protocol [7].

۸- نتیجه گیری

با پیشنهاد پروتکل بارگذاری، این امکان بوجود آمده است تا اتصالات خمشی تیر به ستون ساختمان‌های فولادی در ایران که ممکن است تجربه رکورد حوزه نزدیک را داشته باشند، با توجه به پروتکل پیشنهادی تحت آزمایش قرار بگیرند. با توجه به لرزه‌خیز بودن ایران و ویژگی‌های خاص شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک که آن را از حوزه دور متمایز می‌نماید، تهیه پروتکل بارگذاری حوزه نزدیک برای اتصالات خمشی فولادی تیر به ستون ساختمان‌های فولادی به منظور ساخت ساختمان‌های فولادی‌ای که عملکرد بهتری در برابر زمین‌لرزه از خود نشان

- [20] ASCE. 2013 Minimum design loads for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
- [21] Shahi, S. K., & Baker, J. W. 2011 An empirically calibrated framework for including the effects of near-fault directivity in probabilistic seismic hazard analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(2), 742-755.
- [22] Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., & Fenves, G. L. 2006 OpenSees command language manual. *Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center*, 264, 137-158.
- [23] Hassani sokhtesaraei, M. 2013 Effect of loading protocols on structural steel moment connections in Iran, M.sc. Thesis, University of Tehran, Tehran. (In Persian).
- [24] Zhou, M., Jiang, L., Chen, S., Cardoso, R. P., & Usmani, A. 2020 Remaining fire resistance of steel frames following a moderate earthquake—A case study. *Journal of Constructional Steel Research*, 164, 105754.
- [25] National Institute of Building Sciences Council, Building Seismic Safety Council. 2012 FEMA P-751: 2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions, Design Examples.
- [26] Matsuishi, M., & Endo, T. 1968 Fatigue of Metals Subjected to Varying Stress. Proceedings of the Kyushu Branch of Japan Society of Mechanics Engineering, Fukuoka, Japan.
- [27] ASTM. 2005 Standard Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis. ASTM International.
- frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 49(2), 155-174.
- [11] Ghassemieh, M., & Rahimzadeh, A. 2018 Impact of loading protocol on the performance of the steel moment frame connections. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 6(2), 115-138.
- [12] Ghassemieh, M., Hassani Sokhtesaraei, M., & Mirghaderi, S. R. 2021 The Behavior of Welded Moment Connections in Box-Columns and Investigating Applied Demands for Different Cyclic Loading Protocols. *International Journal of Steel Structures*, 21(2), 455-474.
- [13] Ghassemieh, M., Hassani S, M., & Mirghaderi, S. R. 2021 Cyclic dependency assessment of RBS moment connection in box-column. *Journal of Constructional Steel Research*, 177, 106472.
- [14] Alavi, B., & Krawinkler, H. 2000 Consideration of near-fault ground motion effects in seismic design. *In Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*.
- [15] Li, S., & Xie, L. L. 2007 Progress and trend on near-field problems in civil engineering. *Acta Seismologica Sinica*, 20(1), 105-114.
- [16] Stewart J P, Chiou S J, Bray J D, et al. 2001 Ground motion evaluation procedures for performance-based design [R]. California, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. 01-09, 63-67.
- [17] Khansefid, A., Bakhshi, A., & Ansari, A. 2019 Development of declustered processed earthquake accelerogram database for the Iranian Plateau: including near-field record categorization. *Journal of Seismology*, 23(4), 869-888.
- [18] Shahi, S. K., & Baker, J. W. 2014 An efficient algorithm to identify strong-velocity pulses in multicomponent ground motions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(5), 2456-2466.
- [19] BHRC. 2014 Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. Tehran, Building and Housing Research Center, Standard No.2800. (In Persian).

Proposing loading protocol for beam to column steel moment connection in Iran for near-field earthquakes

Elyas Alizehi¹, Mehdi Ghassemieh^{2*}, Seyed Rasoul Mirghaderi³

1- M.Sc. Graduate Student, School of civil engineering, University of Tehran

2- Professor, School of civil engineering, University of Tehran

3- Professor, School of civil engineering, University of Tehran

*m.ghassemieh@ut.ac.ir

Abstract

Due to the relatively high use of steel buildings in Iran and the importance of rigid steel beam-to-column connections, which are among the vital components in this type of buildings, the need to better understand the behavior of these connections against earthquakes has been noted. Also due to the special characteristics of the near-field earthquakes, which is different than far-field earthquakes and it has its own characteristics; and the fact that some catastrophic earthquakes occurred in Iran, such as the Bam earthquake (2003) and the Tabas earthquake (1978) had the characteristics of the near-field earthquakes, which can show the importance of the near-field ground motions; the purpose of this study was to propose a loading protocol for special steel moment-resisting frames under near-field earthquakes for Iran. Therefore, first, by examining the earthquakes that have occurred in Iran during several years, near-field earthquakes have been selected. Steel buildings of 3, 5, 7, 9, 12 and 20 floors were designed and analyzed according to the rules and regulations of Iran, then for each of the designed steel buildings a critical frame was determined; the values of the scale factors are also specified. After performing nonlinear time-history analysis and applying the proposed near-field ground motions to all of the critical frames, inter-story drift angles for all frames was obtained and compared. The third floor of the 3-story critical frame was selected as the critical floor; which is a story whose results will be used to construct a loading protocol; The basic rainflow counting and simplified rainflow counting were performed for the critical inter-story drift angles results; The proposed loading protocol are derived based on the MCE-level seismic hazard and 84th percentile values of key seismic demand parameters. These parameters are number of damaging cycles, maximum inter-story drift, sum of inter-story drift range, inter-story drift range and residual inter-story. The rationality of the proposed loading protocol was justified by showing the cumulative distribution function. The proposed loading protocol has 23 damage half-cycles, including 3 pulse half-cycles with inter-story drift ranges of 0.060, 0.100 and 0.078 radians; which are calculated by the basic rainflow counting method. The maximum inter-story drift was obtained 0.065 radians. In the final half cycle, the mean value is the same as the residual inter-story drift of 0.03 radians. Also, the sum of the inter-story drift ranges is equal to 0.684 radians. The proposed loading protocol was compared with the SAC near-field earthquake protocol, the maximum inter-story drifts in the proposed protocol is 0.065 radians and in the SAC protocol is 0.06 radians. Furthermore the pulse cycles in the proposed protocol have inter-story drift ranges equal to 0.060, 0.100 and 0.078 radians; while the three pulse half-cycles at the beginning of the SAC loading protocol have inter-story drifts of 0.08, 0.05 and 0.04; respectively. Therefore, the proposed loading protocol has a higher inter-story drift and stronger pulse cycles than the SAC near-field earthquake protocol; but the total number of cycles defined in the SAC protocol is greater than the proposed protocol.

Keywords: Steel moment-resisting frame, Near-field earthquake, Rainflow counting, Loading protocol.