



University Of Qom



Evaluation of Scaling of Ground Motion Records Based on Seismic Design Standards and Regulations

Alireza Mortezaei¹ , Mahdi Golpaygani², Hila Bahari³

1. Corresponding author, Seismic Geotechnical and High Performance Concrete Research Centre, Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran. E-mail: a.mortezaei@semnaniau.ac.ir
2. Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran. E-mail: mehdi.golpayegani2014@gmail.com
3. Civil Engineering Department, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran. E-mail: hila.bahari@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 08 Jun 2022
Revised 20 Nov 2022
Accepted 28 Nov 2022

Keywords:
Scaling,
Nonlinear time history
analysis,
Drift ratio,
Near-fault and far-fault
earthquake.

ABSTRACT

Today by increasing of earthquakes and population growth and development of building industry in city or country areas, building designing against applied loads especially earthquake load have regarded by engineers. Also for supplying of life and financial safety, buildings should have appropriate performance against applied loads. In this research work, influence of scaling of near-fault and far-fault records have been treated in 4 codes 2800 Iran, 4th edition, ASCE07, IBC 2006 and UBC 97 Simultaneously. In this study 3 buildings have been used in 4, 7 and 10 stories as indicators of low-rise and mid-rise buildings. The results show that in low-rise and mid-rise buildings Iranian earthquake code scaling has stricter rules to other regulations. By increasing of stories in tall-building (10 story) every four regulations has their own performance and could be maximum according to the kind and characteristic of earthquake (PGA, M_w). In fact, regulation of 2800 Iran, 4th edition, requires separated scaling rules for low-rise and mid-rise buildings. Drift ratio in ASCE07-10 has decreased %94 to 2800 Iran. Also this value for IBC2006 %93 and for UBC %89 has decreased.

Cite this article: Mortezaei, Alireza., Golpayegani, Mahdi., & Bahari, Hila. (2023). Evaluation of Scaling of Ground Motion Records Based on Seismic Design Standards and Regulations. *Civil Infrastructure Researches*, 9(1), 121-138. <https://doi.org/10.22091/cer.2022.8249.1400>





مقایسه ضریب مقیاس رکوردهای زلزله طبق آیین‌نامه‌های طراحی

علیرضا مرتضایی^۱✉، مهدی گلپایگانی^۲، هیلا بهاری^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه‌ای و بتن توانمند، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران.

رایانامه: a.mortezaei@semnaniau.ac.ir

۲. گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: mehdi.golpayegani2014@gmail.com

۳. گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: hila.bahari@yahoo.com

چکیده

امروزه با توجه به افزایش تعداد زمین‌لرزه‌ها و همچنین رشد جمعیت و پیشرفت صنعت ساختمان‌سازی در مناطق شهری و روستایی، طراحی ساختمان‌ها در مقابل نیروهای وارده به‌ویژه نیروی زلزله مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. بنابراین برای تأمین ایمنی جانی و مالی باید ساختمان‌ها عملکرد مناسبی در برابر بارهای وارده داشته باشند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده تاکنون اثر مقیاس‌سازی بر رکوردهای دور یا نزدیک در ساختمان‌ها انجام شده یا اینکه تنها دریافت (تغییر مکان نسبی) ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. اما در این پژوهش، ضریب مقیاس رکوردهای حوزه دور و نزدیک همزمان برای چهار آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، ASCE07، IBC و UBC در برنامه SAP2000 بررسی شده است. از سه ساختمان (۴، ۷ و ۱۰ طبقه) برای تحلیل ساختمان‌ها به عنوان نماینده ساختمان‌های (کوتاه‌مرتبه، میان‌مرتبه و بلندمرتبه) استفاده شده است. پس از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ساختمان‌ها نسبت دریافت و نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در ساختمان‌ها نیز نشان داده شده است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد برای ساختمان‌های بالای هفت طبقه استفاده هریک از آیین‌نامه‌های طراحی در برابر بارهای جانبی بلامانع است، چراکه نتایج به‌دست آمده از آیین‌نامه‌ها بسیار نزدیک می‌باشد. به‌طوری که ۹ تا ۲۳ درصد کاهش تفاوت در مقادیر به‌دست آمده از آیین‌نامه‌ها را نشان می‌دهد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۷

کلیدواژه‌ها:

تحلیل تاریخچه زمانی، استاندارد ۲۸۰۰، آیین‌نامه ASCE-07، آیین‌نامه IBC، آیین‌نامه UBC، نسبت تغییر مکان نسبی طبقات.

استناد: مرتضایی، علیرضا؛ گلپایگانی، مهدی؛ و بهاری، هیلا. (۱۴۰۲). مقایسه ضریب مقیاس رکوردهای زلزله طبق آیین‌نامه‌های طراحی.

پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، (۱)۹، ۱۲۱-۱۳۸. <https://doi.org/10.22091/cer.2022.8249.1400>



۱- مقدمه

استانداردهای موردنظر براساس ضریب مقیاس اعلام شده توسط آن آیین‌نامه اصلاح شده، سپس نتایج تحلیل زلزله‌های مقیاس شده با یکدیگر مقایسه شده است.

۲- مروری بر پژوهش‌های پیشین

مطالعات بسیاری طی دو دهه اخیر بر روی مقیاس‌بندی زلزله‌ها انجام شده است. آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی هرکدام ضوابط خاصی را برای محاسبه ضریب مقیاس تعیین کرده‌اند. از آنجاکه در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی می‌بایست زلزله‌های موردنظر به حداکثر مقدار خود مقیاس شده‌اند (شتاب در مؤلفه‌ای که دارای بیشینه بزرگتری است برابر با شتاب ثقل g گردد) و با طیف آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی هم‌پایه شوند این ضریب، اهمیت ویژه‌ای دارد، چراکه بالابودن ضریب مقیاس نسبت به طیف آیین‌نامه باعث قوی شدن سازه و افزایش مقاطع شده و همچنین پایین بودن این ضریب نسبت به طیف آیین‌نامه موجب ضعیف شدن سازه‌ها می‌شود. اکثر مطالعات انجام شده به مقایسه آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی پرداخت نشده است چراکه دست بالابودن و یا پایین بودن طراحی سازه‌ها در برابر زلزله می‌تواند عملکرد ساختمان‌ها را در برابر زلزله را تغییر دهد. به همین دلیل می‌توان با مطالعات بیشتر آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی را بازبینی کرد.

رضائیان و همکاران فاکتورهای مقیاس‌بندی میرایی طیفی برای اجزای افقی حرکات زمین از زمین‌لرزه‌های فرورانش با استفاده از داده‌های NGA- Subduction را بررسی کردند. حرکات زمین ثبت شده تا به امروز را از هفت منطقه فرورانش آلاسکا، کاسکادیا، آمریکای مرکزی و مکزیک، آمریکای جنوبی، ژاپن، تایوان، و نیوزیلند با نسبت میرایی مرجع ۵ درصد انتخاب شده است. نتایج تحلیل برخی از تفاوت‌های قابل‌توجه ناشی از مدت زمان طولانی‌تر رکوردهای زلزله با بزرگی بسیار زیاد و با فرکانس بالا در مقایسه با زلزله‌های کم‌عمق را نشان داده است. همچنین تفاوت‌های منطقه‌ای با مقایسه مدل‌های

تحت اثر زلزله‌های شدید، خسارت‌های جبران‌ناپذیری به سازه‌ها وارد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که سازه‌ها تحت اثر زمین‌لرزه‌های مخرب وارد مرحله غیرارتجاعی می‌شوند. بنابراین مطالعه رفتار غیرارتجاعی سازه‌ها تحت اثر زمین‌لرزه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. با وقوع زلزله انرژی زیادی به سازه وارد می‌شود که سازه باید به صورت‌های مختلف این انرژی را جذب و یا تلف کند. اعضای سازه در اثر انرژی زلزله که مقدار قابل‌توجهی است، وارد محدوده غیرارتجاعی می‌شوند تا با تغییرشکل‌های خود بتوانند این انرژی را جذب کنند. با وارد شدن اعضای سازه‌ها به محدوده غیرارتجاعی، تغییرشکل‌های ماندگاری در سازه به‌وجود می‌آید [۱]. با افزایش تعداد زمین‌لرزه‌ها و همچنین رشد جمعیت و پیشرفت صنعت ساختمان‌سازی در مناطق شهری و روستایی، طراحی ساختمان‌ها در مقابل نیروهای وارده به‌ویژه نیروی زلزله مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. بنابراین برای تأمین ایمنی جانی و مالی باید ساختمان‌ها عملکرد مناسبی در برابر بارهای وارده داشته باشند. هدف از این پژوهش بررسی اثر مقیاس‌بندی زمین‌لرزه‌های مختلف بر تحلیل ساختمان‌های فولادی با سیستم قاب خمشی می‌باشد. سیستم قاب خمشی سیستم سازه‌ای است که در آن مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط قاب‌های خمشی تأمین می‌گردد. قاب‌های خمشی بسته به مقدار شکل‌پذیری و تحمل تغییرشکل‌های پلاستیک و براساس رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها به قاب‌های خمشی معمولی، متوسط و ویژه تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]. ضریب مقیاس ضریبی است که با ضرب در تمامی مقادیر شتاب‌نگاشت باعث می‌گردد که شدت اثر شتاب‌نگاشت موردنظر به‌شدت مدنظر آیین‌نامه تغییر یابد. به عملیات محاسبه و اعمال ضریب مقیاس بر روی مجموعه‌ای از زلزله‌ها مقیاس‌بندی گفته می‌شود. در این پژوهش، ابتدا برای هرکدام از زلزله‌های انتخاب شده برای آیین‌نامه‌ها و

حرکات زمین لرزه و مطابقت طیف پاسخ زوج مؤلفه‌های رکورد زلزله با در نظر گرفتن طیف هدف فراهم می‌کند. اثرات چهار پارامتر مهم در روش مقیاس‌بندی ذکر شده روی دامنه ضرایب مقیاس و پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها بررسی شده است. نتایج نشان داد که ضرایب دامنه‌های ضرایب مقیاس و پاسخ لرزه‌ای سازه‌های دارای پرپود کوتاه‌مدت در مقایسه با سازه‌های دارای پرپود بلندمدت بیشتر مستعد تغییر پارامترهای موردنظر هستند [۷]. در پژوهشی دیگر، اهمیت مبنای طیف هدف در مقیاس‌بندی حرکت زمین‌لرزه را مورد ارزیابی قرار داد. ظرفیت لرزه‌ای سازه‌ها را می‌توان با استفاده از تحلیل طیف پاسخ خطی، تحلیل تاریخچه زمانی خطی یا تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برآورد نمود. برای تجزیه و تحلیل تاریخچه پاسخ، مجموعه‌ای از زوج رکوردهای زمین‌لرزه مورد نیاز است [۸]. مرتضایی و بهاری اثر مقیاس‌بندی جغرافیایی زمین‌لرزه‌های منطقه‌ای بر تحلیل ساختمان‌های بتن‌آرمه با سیستم قاب خمشی را انجام دادند. نتایج تحلیل نشان داد که استاندارد ۲۸۰۰ ایران برای ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه نیازمند ضوابط مقیاس‌بندی جداگانه‌ای می‌باشد [۹]. محققان دریافتند که مقیاس‌بندی رکوردهای زلزله با در نظر گرفتن میرایی ۵ درصد برای زلزله رخ داده که دارای بزرگا و فاصله یکسانی است، برای تعیین پاسخ غیرخطی سازه بسیار مؤثر خواهد بود [۱۰]. ریز و چوپرا^۴، مقیاس‌بندی برای آنالیز غیرخطی سازه‌ها مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده است که آنالیز تاریخچه پاسخ غیرخطی (RHA) ساختمان برای مجموعه کوچکی از رکوردها که با روش مودال مقیاس‌بندی شده‌اند، تخمین بسیار دقیقی از پارامترهای مهندسی (EDPs) ارائه می‌دهد، که با کاهش قابل‌توجه تغییرات پاسخ رکورد به رکورد همراه است [۱۱]. ایشان همچنین دریافتند که اگر کمتر از هفت رکورد در تحلیل‌های

جهانی پیشنهادی با داده‌های هر منطقه فرورانش همراه با توصیه‌هایی در مورد کاربرد مدل‌ها مورد بحث قرار می‌گیرند [۳]. داورنیا و فرهمند روشی جدید برای مقیاس‌گذاری رکوردهای زلزله با استفاده از انرژی ورودی سازه‌ها با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به‌عنوان مطمئن‌ترین و دقیق‌ترین روش در تحلیل و طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها را ارائه دادند. در این روش انرژی ورودی الاستیک به‌عنوان اندازه‌گیری شدت در نظر گرفته می‌شود. کارایی و دقت روش پیشنهادی با روش‌های حاصل از روش ASCE/SEI 7 ارزیابی و مقایسه می‌شود. نتایج نشان داد که رکوردهای مقیاس‌بندی شده با روش پیشنهادی منجر به پارامترهای دقیق‌تر و کارآمدتر می‌شوند [۴]. داوالوس و میرندا^۱ با استفاده از Sa(T1) به‌عنوان پارامتر اندازه‌گیری شدت، برای سیستم‌های تک‌درجه آزادی و چند درجه آزادی با پرپودهای مختلف ارتعاش و مقاومت معمولی تحت اثر مجموعه شتاب‌نگاشت‌های متفاوت ثبت‌شده که نیازمند ضرایب متفاوت مقیاس‌بندی برای رسیدن به شدت هدف می‌باشد، ارزیابی انجام دادند. نتایج نشان داد که این نوع مقیاس‌بندی دامنه نوسان، یک انحراف را معرفی می‌کند که در آن جابه‌جایی جانبی و فروپاشی سازه با افزایش ضریب مقیاس دست بالا در نظر گرفته می‌شوند و انحراف به شدت به پرپود و مقاومت جانبی سیستم وابسته است [۵]. واتسون و ابراهامسون^۲ پیشنهاد داده‌اند که نتایج پاسخ تحلیل‌های غیرخطی صرفاً براساس بزرگی، فاصله و شکل طیفی نیست [۶]. کودار^۳ و همکاران اهمیت پارامترهای مقیاس حرکت زمین (زلزله) روی دامنه ضرایب مقیاس و پاسخ لرزه‌ای سازه‌های دارای پرپود کوتاه و بلند را بررسی کردند. روش مقیاس‌بندی ذکر شده الزامات آیین‌نامه زلزله ترکیه را با در نظر گرفتن مقیاس‌بندی

¹- Dávalos and Miranda

²- Watson and Abrahamson

³- Cavdar

⁴- Reyes and Chopra

واقعی را می‌توان برای تعیین سریع بزرگی، معمولاً در اولین دقیقه شروع گسیختگی و در بسیاری موارد قبل از کامل شدن گسیختگی استفاده کرد [۱۶]. پژوهشگران، استفاده از یک روش تجزیه طیفی بهبودیافته برای بررسی مقیاس‌بندی منبع زلزله در کالیفرنیا جنوبی پیشنهاد دادند. آنها تکنیک تجزیه طیفی را برای طیف موج P از پنج ناحیه لرزه‌خیزی فعال به‌طور هم‌زمان در کالیفرنیا جنوبی اعمال کردند: صحرای یوها، گسل سن جاسینتو، و مناطق خرس بزرگ، لندرز و معدن هکتور در صحرای موهاوه. نتایج نشان داد که طیف‌های منبع با افزایش افت تنش متوسط نوع برون با گشتاور لرزه‌ای ثابت هستند، اما این انحراف مشاهده شده از مقیاس‌بندی مشابه هم وابسته به مدل بوده و قدرت آن نیز از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است [۱۷]. مرتضایی و رونق، اثربخشی روش تحلیل پوش‌آور اصلاح شده برای تخمین نیازهای لرزه‌ای ساختمان‌های تحت حرکات زمین‌لرزه نزدیک به گسل دارای پله پرت شدن (دارای افت) را بررسی کردند. هدف آنها بهبود دقت روش پوش‌آور در این شرایط با معرفی یک الگوی بارگذاری جدید در روش پوش‌آور است. چندین تحلیل پوش‌آور برای شش ساختمان بتن مسلح موجود که دارای پیوندهای متغیری هستند، انجام شده است. سپس، مقایسه‌ای بین نتایج آنالیز پوش‌آور (با چهار الگوی بارگذاری جدید) و با توجه به ضوابط آیین‌نامه FEMA-356 (آژانس مدیریت اضطراری فدرال) با اشاره به تحلیل‌های تاریخچه زمانی دینامیکی غیرخطی انجام می‌شود. مقایسه نشان می‌دهد که، به‌طور کلی، روش پوش‌آور پیشنهادی نتایج بهتری نسبت به همه روش‌های تحلیل پوش‌آور FEMA-356 برای بررسی همه کمیت‌های پاسخ بررسی‌شده حاصل می‌شود و مطابقت نزدیک‌تری با پاسخ‌های غیرخطی تاریخچه زمانی دارد. به‌طور کلی، این روش قادر به بازتولید ویژگی‌های پاسخ ضروری است که معیاری معقول از سهم احتمالی حالت‌های بالاتر در تمام مراحل پاسخ ارائه می‌کند [۱۸].

۳- مدل‌های مورد بررسی

غیرخطی به‌کار گرفته شود، روش مقیاس‌بندی ASCE/SEI-7 محافظه‌کارانه است. استفاده از هفت یا چند رکورد به‌صورت تصادفی تخمین دقیق‌تری از پاسخ‌ها را ارائه می‌دهد. انتخاب رکوردها براساس شکل طیفی و شتاب طیفی طرح باعث افزایش دقت و کارایی روش این روش می‌شود [۱۲]. در تحقیق دیگری مشاهده شد که روش مودال در مقایسه با روش مقیاس‌بندی ASCE/SEI 7-10 برای تحلیل سه‌بعدی ساختمان‌های با پلان نامتقارن بسیار برتر است [۱۳]. ارگان و آتس^۵، دریافتند که ملاک قرار دادن روش‌ها و معیارهای انتخاب و مقیاس‌بندی رکوردهای زلزله و مقایسه اثرات آن بر پاسخ سازه‌ای با در نظر گرفتن اثرات رکوردهای زلزله واقعی بر پاسخ سازه‌ای برحسب تغییرات رکورد می‌باشد [۱۴]. ونگ^۶، مروری بر مقیاس‌بندی گسل‌های زلزله را انجام داده است. مقیاس‌بندی گسل‌های زلزله نه تنها برای فیزیک زلزله بلکه برای ارزیابی خطر لرزه‌ای نیز مهم است. مطالعات زیادی در مورد این موضوع انجام شده است. گردآوری، بررسی و بحث در مورد آن مطالعات بسیار قابل‌توجه است. این کار، مشاهدات و مدل‌سازی مقیاس‌بندی پارامترهای گسل شامل طول گسل (L)، عرض گسل (W)، سطح گسل (A)، میانگین جابه‌جایی (Do)، حداکثر جابه‌جایی (D_{max})، گشتاور لرزه‌ای (Mo) و افت تنش استاتیکی ($\Delta\sigma$) را بررسی می‌کند [۱۵]. ملگر^۷ و همکاران، محاسبه بزرگای زلزله بدون اشباع از مقیاس‌بندی پیک جابه‌جایی زمین را انجام دادند. ابزارهای GPS، غیراینرسی هستند و به‌طور مستقیم جابه‌جایی‌ها را با در نظر گرفتن چارچوب مرجع جهانی اندازه‌گیری می‌کنند، در حالی که حسگرهای اینرسی تحت تأثیر انحرافات سیستماتیک-واژگونی اولیه-قرار می‌گیرند که بر یکپارچگی تا جابه‌جایی تأثیر منفی می‌گذارد. از نتایج دریافتند که شکل موج‌های لرزه‌ای GPS در زمان

⁵- Ergun and Ates

⁶- Wang

⁷- Melgar

۳-۱- بررسی ضوابط تحلیل لرزه‌ای

از یک شتاب‌نگاشت در دو جهت را با وجود تأخیر فاز در یک جهت جایز نمی‌دانند. در جدول ۱، ضوابط آیین‌نامه‌های طراحی در زمینه انتخاب رکوردهای زلزله که در تحلیل چندجهته مورد استفاده قرار می‌گیرند با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در این جدول خانه‌های پر شده، بیانگر ملاک انتخاب در آیین‌نامه مورد نظر می‌باشد. همانطور که از جدول مشخص است، آیین‌نامه ASCE-07 با سایر آیین‌نامه‌ها تفاوت مشخصی دارد که در آن شکل طیفی و وابستگی رکوردهای زلزله به یکدیگر ملاک انتخاب قرار گرفته است، در حالی که در سایر موارد، انتخاب رکورد زلزله بر مبنای مشخصات گسل و فاصله آن تا محل و همچنین نوع خاک منطقه انجام می‌گیرد. بر این اساس:

۱- با استفاده از سه رکورد زلزله مقادیر ماکزیمم و استفاده از ۷ رکورد میانگین نتایج معیار خواهد بود.

۲- هرکدام از سه مؤلفه می‌توانند به‌عنوان شتاب‌نگاشت مورد استفاده قرار بگیرد.

۳- تنها در صورت موجود نبودن رکورد طبیعی استفاده از شتاب‌نگاشت‌های مصنوعی مجاز است. همچنین اختلافی بین آیین‌نامه‌ها در استفاده از رکوردهای مصنوعی زلزله و اصلاح شتاب‌نگاشت‌های طبیعی وجود دارد.

یکی از پیشرفت‌های تحلیل لرزه‌ای همگام با گسترش علوم رایانه، تحلیل سه‌بعدی سازه با اعمال مؤلفه‌های زلزله در چند جهت برای سازه‌های مهم و یا با پیچیدگی‌های رفتاری دینامیکی است. با توجه به ماهیت زلزله و انتشار فضایی امواج در جهات مختلف، تحلیل تک‌جهته تا حدی با بارگذاری واقعی سازه متفاوت خواهد بود که در بسیاری از مواقع می‌تواند دقت و واقع‌بینانه بودن تحلیل‌های انجام شده را سؤال برانگیز نماید. آیین‌نامه‌های تحلیل لرزه‌ای، تحلیل چندجهته برای سازه‌های مهم را لازم دانسته‌اند و روش‌هایی برای در نظر گرفتن پاسخ نهایی و حداکثر سازه با در نظر گرفتن اثرات مؤلفه‌های زلزله در جهات مختلف ارائه کرده‌اند. با این وجود به نظر می‌رسد که آیین‌نامه‌های لرزه‌ای نگرش یکسانی در ارزیابی سازه تحت مؤلفه‌های چندجهته زلزله ندارند. در این بررسی ضوابط آیین‌نامه‌های لرزه‌ای ۲۸۰۰، ASCE-7، IBC2015، UBC1997 و Euro Code 8- با 1998 با یکدیگر مقایسه شده است [۱۹].

۳-۲- ضوابط آیین‌نامه‌ها در انتخاب رکوردهای زلزله

تقریباً در تمام آیین‌نامه‌ها تفاوت چندانی بین انتخاب رکورد زلزله در یک‌جهت و چندجهت وجود ندارد. استفاده از شتاب‌نگاشت یکسان در دو جهت زلزله قابل قبول نمی‌باشد. حتی آیین‌نامه ASCE4-07، استفاده

جدول ۱- تعریف مشخصات رکوردهای زلزله در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای

آیین‌نامه	شدت زلزله	فاصله تا گسل	مکانیزم گسل	نوع خاک منطقه	مدت زمان زلزله	شکل طیفی	مؤلفه‌های زلزله وابستگی	رکوردهای زلزله حداقل تعداد	نوع شتاب‌نگاشت	زاویه ورودی شتاب‌نگاشت
۲۸۰۰	*	*	*	*	*			۳(۷) ^۱	طبیعی-مصنوعی ^۳	جهت اصلی سازه
ASCE-07						*	*	۳(۷)	طبیعی-مصنوعی ^۳	زاویه بحرانی
FEMA 368	*	*	*					۳(۷)	طبیعی-مصنوعی ^۳	زاویه بحرانی
EC8	*	*	*	*				۳(۷)	طبیعی-مصنوعی ^۲	جهت اصلی سازه
IBC 2015	*	*	*					۳(۷)	طبیعی-مصنوعی ^۳	زاویه بحرانی
UBC 97	*	*	*					۳(۷)	طبیعی-مصنوعی ^۳	زاویه بحرانی

فرکانس ارتعاشی سازه‌ای دارد که مورد تحلیل قرار می‌گیرد. برای مثال، برای سازه‌های با دوره تناوب بالا تعداد رکوردهای مناسب کاهش می‌یابد. سوم، نحوه ثبت رکورد زلزله و فیلترکردن است که تنها مربوط به رکوردها برای تحلیل چندجهته نبوده و برای رکوردهای تک‌جهته نیز صادق است [۴].

۳-۳- مشخصات ساختمان مورد بررسی

در این مقاله، سه ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با پنج دهانه به طول ۵ متر در نظر گرفته شده است. ارتفاع سازه‌ای ساختمان‌ها ۳/۲ متر و سیستم مقاوم سازه‌ای در برابر زلزله، قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری متوسط می‌باشد. بار مرده وارد بر قاب‌ها ۵۰۰ و بار زنده وارد بر کفها ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع است. مدول الاستیسیته فولاد طبق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران محاسبه و اعمال شده است [۲۰]. در این پژوهش از برنامه SAP 2000 نسخه ۱۹ برای تحلیل و طراحی ساختمان‌ها استفاده شده است. زمان تناوب ساختمان ۴ طبقه ۰/۶۷ ثانیه، ۷ طبقه ۱/۰۲۹ ثانیه و ساختمان ۱۰ طبقه ۱/۳۴ ثانیه با در نظر گرفتن ضریب ۱/۲۵ به دست آمده است. برای اعضا مانند (تیر، ستون و غیره) رفتار غیرخطی به صورت متمرکز در نظر گرفته می‌شود. اکثر آیین‌نامه‌ها و نرم‌افزارهای کامپیوتری به منظور ساده‌سازی رفتار اعضای تحت اثر بارهای ناشی از زلزله از مدل چندخطی برای مدل‌سازی استفاده می‌کنند. در نرم‌افزار می‌توان برای هر درجه آزادی خمشی در تیرها از نوع مفصل M_3 در فواصل نسبی ۰/۰۵L و ۰/۹۵L و در ستون‌ها از نوع مفصل PM_3M_2 در فواصل نسبی ۰/۰۵L و ۰/۹۵L تعریف نمود [۲۱]. مقاطع ستون از باکس و تیرها از ورق جان (Tw) و بال ورق (F) و ضخامت ورق جان و بال (T) ساخته شده است. در شکل ۱، پلان ساختمان و جدول ۲، مشخصات مکانیکی فولاد آورده شده است. در جدول ۳، ابعاد ستون و تیرهای مورد استفاده در تحلیل آورده شده است.

در حالی که آیین‌نامه‌های ASCE-7، IBC و FEMA 368 و استاندارد ۲۸۰۰، استفاده از زلزله‌های واقعی را توصیه می‌کنند و استفاده از رکوردهای مصنوعی را در صورت نبود رکوردهای طبیعی مجاز می‌داند، آیین‌نامه EC8 استفاده از رکوردهای مصنوعی یا طبیعی را به طراح واگذار می‌کند. در مورد وابستگی رکوردهای زلزله تنها آیین‌نامه ASCE-07 ضابطه‌ای دارد که باید مؤلفه‌های زلزله مورد استفاده مستقل از یکدیگر باشند. در این حالت، اشاره می‌کند که برای استقلال دو مؤلفه از یکدیگر، ضریب همبستگی دو مؤلفه باید کمتر از ۰/۳ باشد. در مورد زاویه اعمالی مؤلفه‌های شتاب‌نگاشت‌ها، استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌های ASCE-07 و EC8 توصیه می‌کنند که مؤلفه‌های رکورد زلزله در جهات اصلی به سازه‌ها اعمال شوند، اما توضیحی در مورد اینکه جهات اصلی برای سازه نامنظم چگونه تعیین می‌شوند نداده است. سایر آیین‌نامه‌های مورد بررسی، تنها اعمال شتاب‌نگاشت‌ها در زاویه بحرانی را مجاز می‌داند. در این حالت برای به دست آوردن زاویه بحرانی معمولاً جهت مؤلفه‌های زلزله را با زوایای ۱ یا ۵ درجه می‌چرخانند و پاسخ را در هر زاویه به دست آورده و حداکثر آن را ملاک قرار می‌دهند. بعد از تحلیل سازه تحت شتاب‌نگاشت‌های زلزله، برآیند پاسخ سازه در دو جهت با ظرفیت سازه مقایسه و ملاک ارزیابی نهایی قرار خواهد گرفت. همچنین در آیین‌نامه‌ها اشاره شده است که اگر سه رکورد زلزله جهت تحلیل استفاده گردد، پاسخ ماکزیمم و اگر هفت رکورد جهت تحلیل استفاده شود، متوسط پاسخ‌ها ملاک ارزیابی خواهد بود. به طور کلی، انتخاب رکوردهای زلزله بر مبنای دو پارامتر عمده انتخاب می‌شود:

۱- سناریوی زلزله به معنای انتخاب رکورد زلزله بر

مبنای مشخصات گسل و منطقه،

۲- مشخصات طیف منطقه و مدت زمان زلزله.

در هر صورت اولین معیار انتخاب رکورد زلزله برای تحلیل چندجهته، داشتن چند مؤلفه برای آن رکورد است. دوم، بحث محتوای فرکانسی است که بستگی به دوره

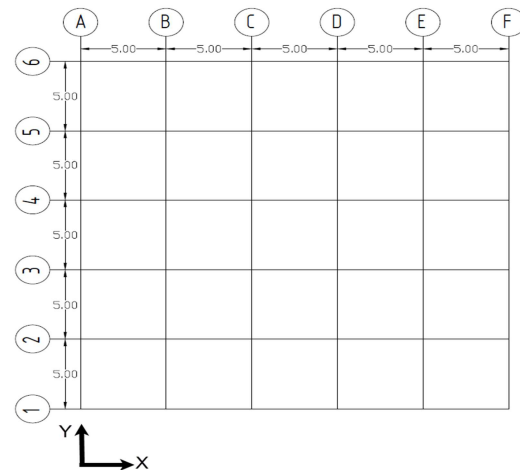
شتاب‌نگاشت برای رکوردهای نزدیک گسل ۸-۵/۰ کیلومتر و برای رکوردهای دور از گسل بیش از ۱۵ کیلومتر می‌باشد.

جدول ۲- مشخصات مکانیکی فولاد

وزن واحد حجم	7850 kg/cm^3
مدول ارتجاعی	$2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
ضریب پواسون	۰/۱۵
تنش تسلیم	4000 kg/cm^2
تنش نهایی	6000 kg/cm^2

۲- بیشترین شتاب زمین (PGA) تمام رکوردها برای حوزه دور بین $0/065g$ تا $0/357g$ و برای حوزه نزدیک بین $0/3g$ تا $0/7g$ می‌باشد.

۳- خاک محل ثبت شتاب‌نگاشت‌ها مشابه با خاک محل احداث سازه‌ها از نوع خاک ۲ است.



شکل ۱- پلان ساختمان مورد مطالعه

۳-۴- مشخصات رکوردهای زلزله انتخابی

۱- تمامی این رکوردها شامل هفت زمین‌لرزه نزدیک‌گسل و هفت زمین‌لرزه دور از گسل با توجه به جدول ۴ می‌باشد. فاصله محل ثبت

جدول ۳- ابعاد تیر و ستون در ساختمان‌های مورد مطالعه

مقطع ستون cm	مقطع تیر cm	طبقات
ساختمان ۴ طبقه		
Box25×25×1	Tw25F15T1	طبقه ۱ و ۲
Box20×20×1	Tw20F10T0.8	طبقه ۳ و ۴
ساختمان ۷ طبقه		
Box30×30×1	Tw30F15T15	طبقه ۱ و ۲
Box25×25×1	Tw30F15T1	طبقه ۳ و ۴
Box20×20×1	Tw25F15T0.8	طبقه ۵ و ۶
Box20×20×0.8	Tw20F10T0.8	طبقه ۷
ساختمان ۱۰ طبقه		
Box35×35×2	Tw40F20T2	طبقه ۱ و ۲
Box30×30×1.5	Tw35F15T1.5	طبقه ۳ و ۴
Box30×30×1.2	Tw30F15T1	طبقه ۵ و ۶
Box25×25×1	Tw25F15T1	طبقه ۷ و ۸
Box20×20×0.8	Tw20F10T1	طبقه ۹ و ۱۰

زلزله‌های حوزه نزدیک به نقاطی از زمین اطلاق می‌شود که فاصله آنها از مرکز سطحی زلزله کمتر از یک حد معین است. بعضی از محققین از جمله اکی این فاصله را ۵۰ کیلومتر می‌داند و برخی دیگر این فاصله را ۱۵

۴- تمامی رکوردهای زلزله انتخابی دارای بزرگای محلی بیشتر از ۶ (بزرگای گشتاوری) می‌باشند.

۵- تمامی رکوردهای زلزله دارای سه مؤلفه (دو مؤلفه افقی و یک مؤلفه قائم) می‌باشند.

شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار حداکثر خود مقیاس می‌شوند، بدین معنی که شتاب حداکثر همه آنها برابر ۱g باشد [۲۲]. سپس طیف پاسخ هر زوج شتاب‌نگاشت (شکل ۲) با استفاده از روش مجذور مربعات با یکدیگر ترکیب شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شود. در این حالت، ضریب مقیاس (که در شتاب‌نگاشت‌های موردنظر ضرب می‌گردد) چنان انتخاب می‌شود که متوسط طیف‌های ترکیبی در محدوده دوره تناوب‌های ۰/۲T-۱/۵T در هیچ حالت بیشتر از ده درصد ۱/۳ برابر مقدار نظیر آن در طیف استاندارد نباشد.

کیلومتر در نظر می‌گیرند و به اعتقاد برخی دیگر از محققین، محدوده نزدیک‌گسل ناحیه‌ای تا حدود ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر حول گسل است. این مطالعه، جنبش‌های ثبت شده بیشتر از ۱۵ کیلومتر از محل گسیختگی و کانون زلزله را به‌عنوان زلزله حوزه دور در نظر گرفته شده است.

۳-۵- طیف میانگین رکوردها طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰

در روش تاریخچه‌زمانی حداقل سه زوج شتاب‌نگاشت متناسب با منطقه لازم است که کلیه این

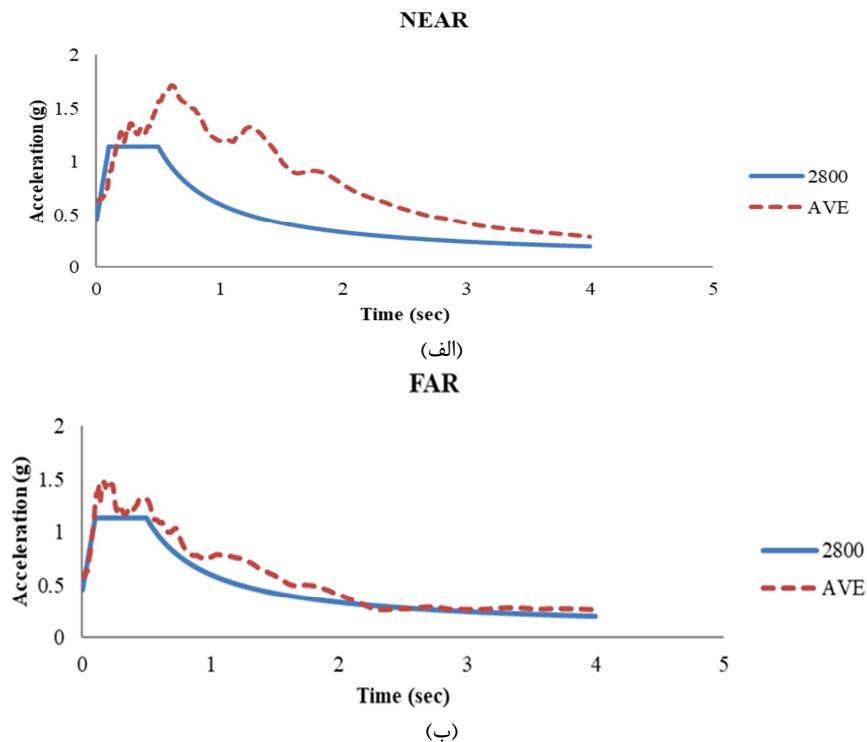
جدول ۴- رکوردهای موردنظر برای تحلیل ساختمان‌ها

نزدیک‌گسل								
T _D (sec)	PGD(cm)	PGV(cm/s)	PGA(g)	R _{rup} (km)	M _w	Data	Station	Record
۸۹/۹۸	۵۰/۱۹۹	۹۲/۱۲۸	۰/۵۷۵	۰/۵۷	۷/۶۲	۱۹۹۹	TCU065	CHI CHI
۲۱/۲۸	۳۰/۹۹۳	۱۰۷/۱۴	۰/۳۸	۴/۳۸	۶/۶۹	۱۹۹۲	Erzincan	ERZINCAN
۲۲/۳۲	۴۶/۱۷	۱۳۴/۲۸	۰/۴۳	۰/۹۵	۶/۵۴	۱۹۸۷	Parachute Test Site	HILLS
۳۹/۹۶	۱۶/۹۹	۳۸/۴۳	۰/۲۱۲	۷/۳۱	۶/۵۳	۱۹۷۹	EC County Center FF	IMPERIAL
۴۰/۹۲	۳۹/۹۴	۱۲۰/۶۷	۰/۶۱	۱/۴۷	۶/۹	۱۹۹۵	Takatori	KOBE
۳۴/۹۸	۶۲/۳۲	۶۹/۷۱	۰/۲۲	۴/۸۳	۷/۵۱	۱۹۹۹	Yarimca	KOCAELI
۳۹/۹۶	۱۲/۷۷	۴۷/۵۷	۰/۴۸	۳/۸۵	۶/۹۳	۱۹۸۹	Corralitos	LOMA
دور از گسل								
۳۹/۹۶	۱۷/۴۷	۲۵/۰۴۲	۰/۱۳۵	۳۴/۸۶	۷/۲۸	۱۹۹۲	Barstow	LANDERS 90
۳۹/۹۶	۲/۸۷	۷/۲۸۱	۰/۰۶۵	۳۴/۸۶	۷/۲۸	۲۰۱۰	Barstow	LANDERS UP
۴۳/۹۶	۲۳/۱۴۷	۲۹/۰۹۰	۰/۱۵۲	۲۳/۶۲	۷/۲۸	۱۹۹۲	Yermo Fire Station	LANDERS 360
۸۹/۹۸	۲۲/۰۷	۲۴/۲۶۶	۰/۱۰۵	۳۵/۶۸	۷/۶۲	۱۹۹۹	TCU034	CHI CHI N
۲۸/۶	۸/۶۸	۱۷/۰۹۵	۰/۱۲۲	۱۸/۳۱	۷/۰۱	۱۹۹۲	Mendocino	CAPE UP
۵۳/۵۸	۲۱/۲۷	۳۰/۲۹۲	۰/۳۵۷	۲۵/۶۷	۷	۲۰۱۰	Lpcc	DARFIELD S10E
۵۳/۶	۳/۸۱	۱۷/۷۰۱	۰/۲۳۹	۲۵/۶۷	۷	۲۰۱۰	Lpcc	DARFIELD N80E

آمده از تحلیل با سه زوج شتاب‌نگاشت مورد نظر خواهد بود. همچنین براساس آیین‌نامه اگر به‌جای سه شتاب‌نگاشت از هفت شتاب‌نگاشت جهت تحلیل استفاده شود، می‌توان متوسط مقادیر بازتاب را به‌عنوان بازتاب نهایی سازه در نظر گرفت. در روش فوق، اثر پیش و

بعد از مقیاس شتاب‌نگاشت‌ها، هر زوج شتاب‌نگاشت به‌طور هم‌زمان در دو جهت عمود بر یکدیگر در امتدادهای اصلی سازه، به آن اثر داده می‌شود و بازتاب‌های سازه به‌صورت تابعی از زمان تعیین می‌شوند. بازتاب نهایی سازه در هر لحظه زمانی برابر با حداکثر بازتاب‌های به‌دست

پیش تصادفی با در نظر گرفتن برون مرکزی نیروی جانبی واقعی طبقه و همچنین برون مرکزی اتفاقی طبقه به دست می‌آید.



شکل ۲- نمودار میانگین رکوردهای نزدیک و دور از گسل - میرایی ۵ درصد - آیین‌نامه ۲۸۰۰

براساس آیین‌نامه ASCE، تحلیل تاریخچه زمانی سازه‌ها بر پایه ضوابط زیر صورت می‌گیرد: در تحلیل دویبعدی دینامیکی تاریخچه زمانی سازه‌ها، حداقل سه رکورد افقی لازم است که بر مبنای تاریخچه زلزله در منطقه و یا به‌طور مصنوعی تولید می‌شوند [۲۴]. در تحلیل سه‌بعدی حداقل باید سه زوج رکورد زلزله افقی واقعی یا مصنوعی منطبق بر طیف به نحوی مقیاس گردند که میانگین مجذور مربعات طیف پاسخ مؤلفه‌های آنها (بیشتر از ۱۰ درصد) کمتر از $1/3$ برابر طیف پاسخ طراحی در محدوده ۲۰ درصد و ۱۵۰ درصد دوره تناوب اصلی سازه نشود. در شکل ۳، طیف برآیند به دست آمده براساس آیین‌نامه ASCE07 برای زلزله‌های نزدیک‌گسل رسم شده است. همان‌طور که در شکل، مشاهده می‌شود، طیف پاسخ ترکیبی مجذور مربعات براساس آیین‌نامه، به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از طیف طرح ارائه شده توسط ASCE07 است [۲۳]. طیف میانگین رکوردهای

برون مرکزی اتفاقی به‌منظور به حساب آوردن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی از یک سو و نیروی ناشی از مؤلفه پیشی زلزله از سوی دیگر در نظر گرفته می‌شود که در هر دو جهت برابر ۵٪ بعد ساختمان در آن جهت است. هر زوج شتاب‌نگاشت به مقدار خود مقیاس شوند. بدین معنی که حداکثر شتاب در مؤلفه‌ای که دارای بیشینه بزرگتری است، برابر با شتاب ثقل g گردد. همچنین این آیین‌نامه با در نظر گرفتن ضریب $1/3$ برابر طیف آیین‌نامه، حاشیه ایمنی بیشتری در ارتباط با تحلیل چندجهته ایجاد می‌کند. در آیین‌نامه‌های دیگر این ضریب تا حدی کاهش داده شده است [۲۳].

در طیف میانگین رکوردهای نزدیک‌گسل آیین‌نامه ۲۸۰۰، ضرب مقیاس‌بندی برابر $0/64$ و در طیف میانگین رکوردهای دور از گسل آیین‌نامه ۲۸۰۰، ضرب مقیاس‌بندی برابر $0/6$ به دست آمده است.

۳-۶- طیف میانگین رکوردها طبق آیین‌نامه ASCE07

و در طیف میانگین رکوردهای دور از گسل آیین‌نامه ضریب مقیاس‌بندی برابر $0/4$ در نظر گرفته شده است [۲۵]. این مقادیر در شکل ۴ نشان داده شده است.

۳-۸- طیف میانگین رکوردها طبق آیین‌نامه UBC

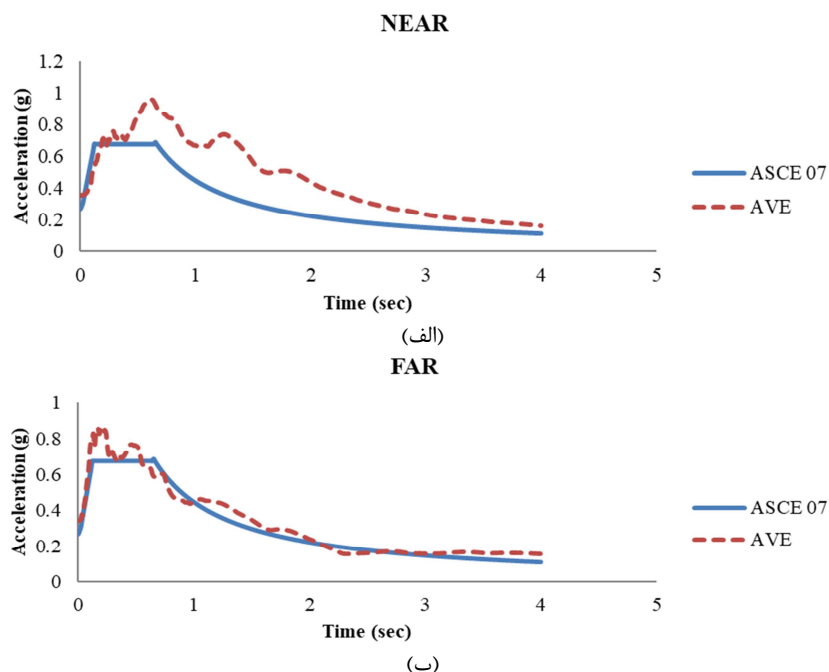
برای تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی، شتاب‌نگاشت‌های افقی باید منطبق بر طیف آیین‌نامه و یا طیف منطقه باشد و به‌طور کلی مؤلفه قائم از ضرب مؤلفه افقی زلزله در $2/3$ به‌دست می‌آید، مگر اینکه مطالعات منطقه (پارامتر نزدیکی گسل $N_a > 1$ باشد) عدد دیگری را نشان دهد [۲۶].

نزدیک‌گسل آیین‌نامه ASCE07، ضرب مقیاس‌بندی برابر $0/36$ و برای رکوردهای دور از گسل $0/35$ به‌دست آمده است.

۳-۷- طیف میانگین رکوردها طبق آیین‌نامه IBC ۲۰۱۵

به‌طور کلی، ترکیب مؤلفه‌های زلزله در تحلیل‌های مختلف در این آیین‌نامه از آیین‌نامه ASCE07 تبعیت می‌کند و این آیین‌نامه ضوابط جداگانه‌ای را در این مورد معرفی نمی‌کند [۲۳].

در این پژوهش، طیف میانگین رکوردهای نزدیک‌گسل آیین‌نامه IBC، ضرب مقیاس‌بندی برابر $0/44$



شکل ۳- نمودار میانگین رکوردهای نزدیک و دور از گسل در آیین‌نامه ASCE07

در طیف میانگین رکوردهای نزدیک‌گسل آیین‌نامه UBC ضرب مقیاس‌بندی برابر $0/48$ و در رکوردهای دور از گسل ضریب مقیاس‌بندی برابر $0/47$ شده است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

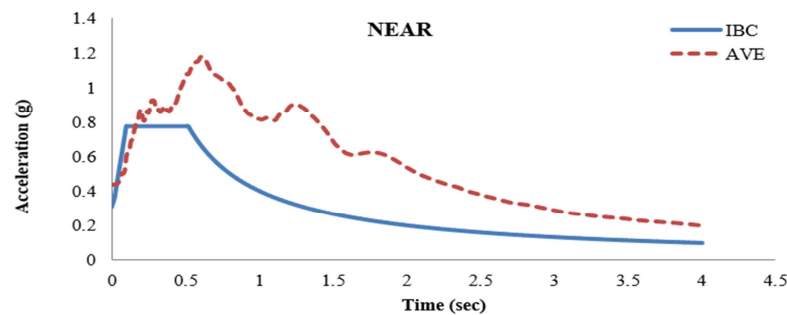
شکل ۶، نمونه‌ای از شتاب‌نگاشت زلزله نزدیک گسل و دور از گسل که به $1g$ مقیاس شده‌اند را نشان می‌دهد.

۴- نتایج تحلیل

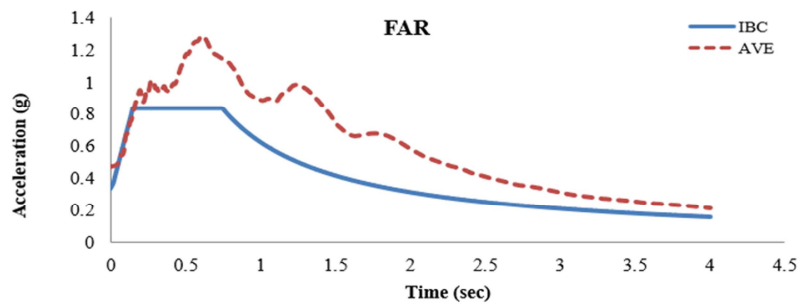
در تحلیل سه‌بعدی حداقل باید سه زوج رکورد زلزله افقی واقعی یا مصنوعی منطبق بر طیف به نحوی مقیاس شوند که میانگین مجذور مربعات طیف پاسخ مؤلفه‌های آنها (مجذور مربعات) بیشتر از ۱۰ درصد کمتر از $1/4$ برابر طیف پاسخ طراحی در محدوده ۲۰ درصد و ۱۵۰ درصد دوره تناوب اصلی سازه نشود. در این حالت دو مؤلفه افقی همزمان با در نظر گرفتن اثرات پیچش به سازه اعمال می‌شود [۲۳].

رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه تحت شتاب‌نگاشتی مشخص، محاسبه می‌شود.

در تحلیل دینامیکی غیرخطی، تغییر شکل و نیروهای داخلی و به طور کلی پاسخ سازه با در نظر گرفتن

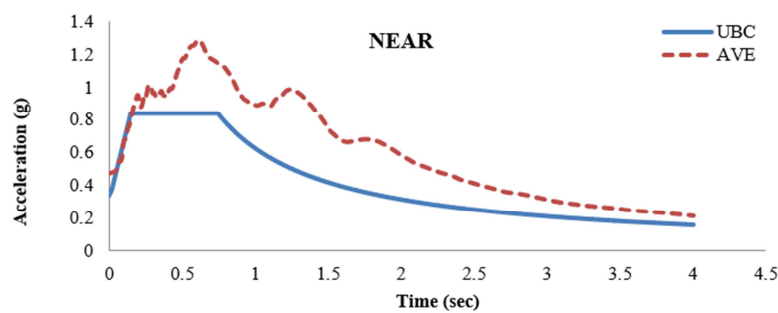


(الف)

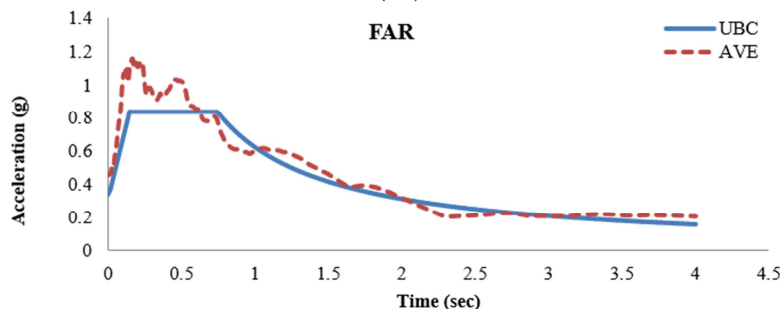


(ب)

شکل ۴- نمودار میانگین رکوردهای نزدیک و دور از گسل در آیین‌نامه IBC



(الف)



(ب)

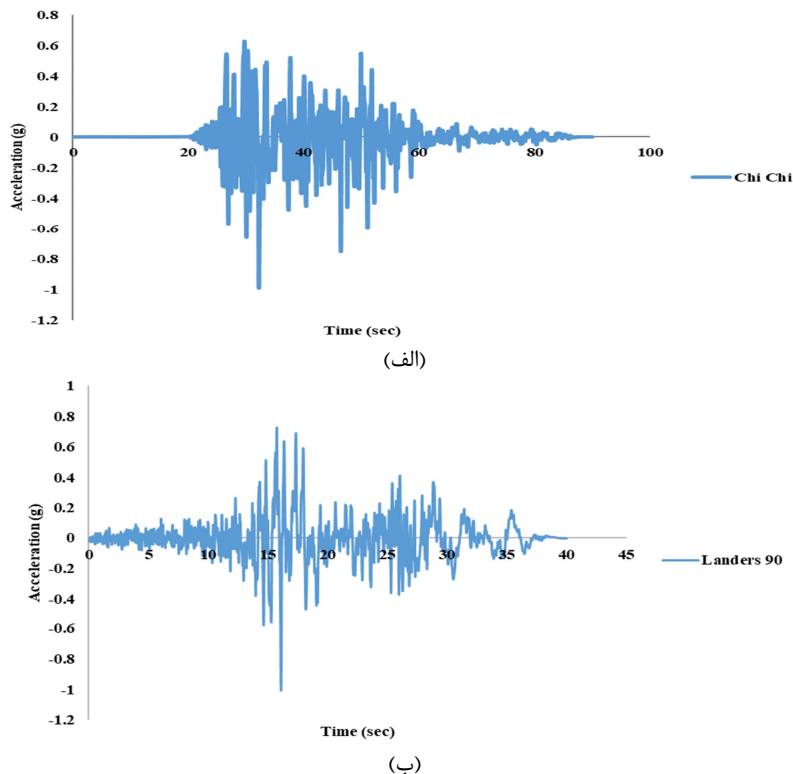
شکل ۵- نمودار میانگین رکوردهای نزدیک و دور از گسل در آیین‌نامه UBC

زلزله به روش‌های عددی و برای هر گام زمانی محاسبه می‌شود. استفاده از این روش در کلیه ساختمان‌ها مجاز است. در این روش، شتاب‌نگاشت یک یا چند زلزله را با

در این روش فرض بر آن است که ماتریس سختی و میرایی از یک گام به گام بعدی می‌تواند تغییر کند، اما فواصل هر گام زمانی، ثابت است و پاسخ مدل تحت شتاب

است. مشکل تحلیل این است که انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی معمولاً روندی طولانی و وقت‌گیر دارند و به همین علت، غالباً از آنها برای طراحی سازه‌های خاص و بسیار پراهمیت استفاده می‌کنند [۲۷].

کمک مدل‌سازی نرم‌افزاری به سازه وارد می‌کنیم. به‌طوری که خروجی حاصل شده از نرم‌افزار، نحوه تغییر پارامترهای مختلفی از جمله جابه‌جایی، شتاب، نیرو و برش پایه ساختمان در طول زمان زلزله قابل استفاده

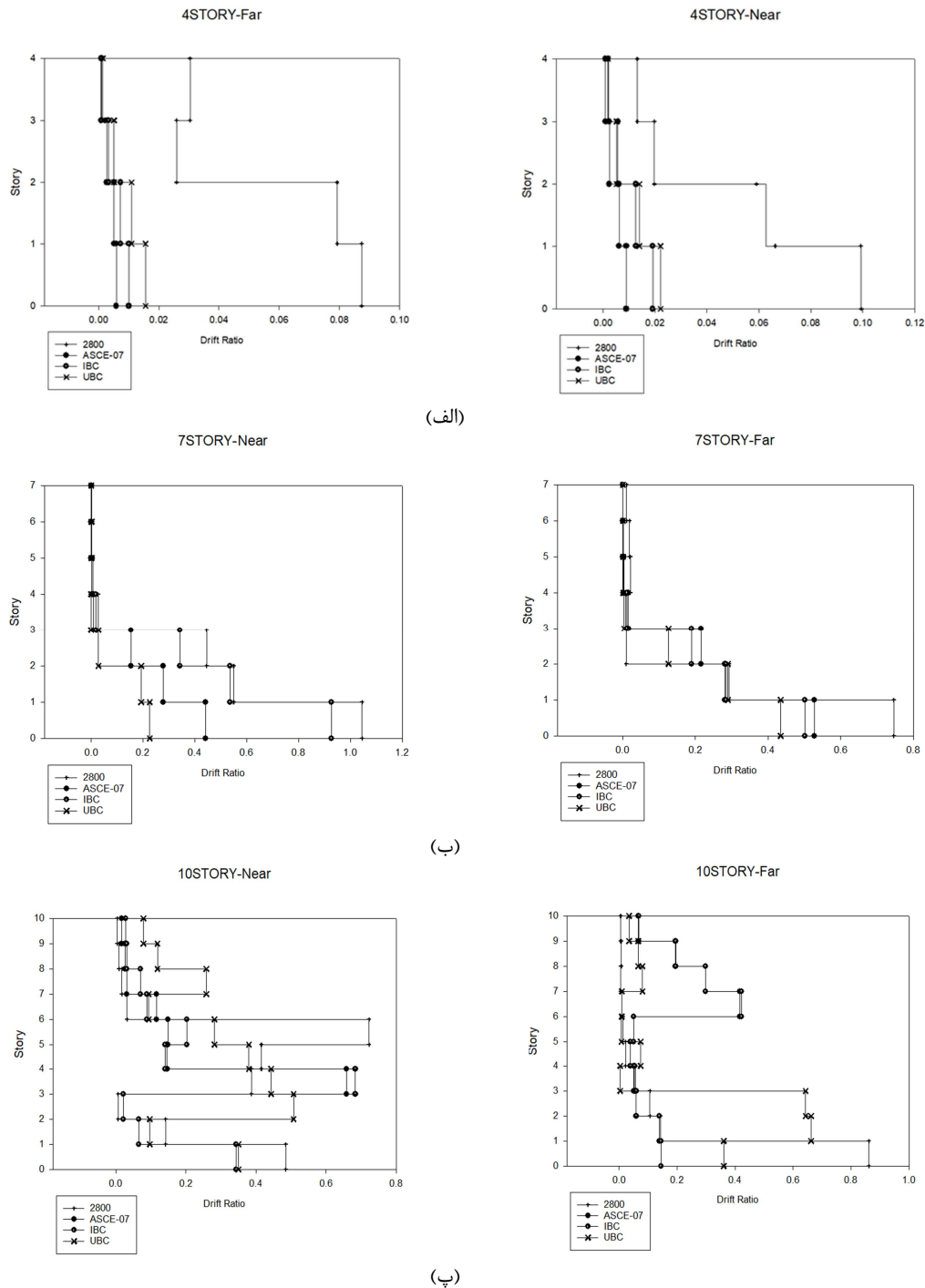


شکل ۶- شتاب‌نگاشت به $1g$ مقیاس شده مربوط به رکورد (الف) نزدیک‌گسل Chi Chi و (ب) دور از گسل Landers 90

است با تغییرمکان نسبی طبقه به ارتفاع طبقه. مزیت استفاده از نسبت دریافت آن است که حالت تغییرشکل ساختمان را با هر نوع تغییرات نامنظمی در ارتفاع بهتر بیان می‌کند. به دو دلیل دریافت در سازه‌ها کنترل می‌شوند: ۱- جلوگیری از آسیب به اعضای غیرسازه‌ای تحت نیروهای جانبی و ۲- جلوگیری از به وجود آمدن حس نامطلوب در ساکنین ساختمان در هنگام وارد آمدن نیروهای جانبی. توجه گردد برای زلزله‌های دور و نزدیک طبق آیین‌نامه‌ها میانگین ۷ رکورد با هم مقایسه شده است. شکل ۷، نسبت تغییرمکان نسبی طبقات را نشان می‌دهد که محور افقی برحسب درصد می‌باشد.

۴-۱- نسبت تغییرمکان نسبی طبقات

مطابق آیین‌نامه‌ها، به اختلاف جابه‌جایی مراکز جرم بالایی و پایینی کف‌های یک طبقه دریافت می‌شود. تغییرمکان‌های جانبی سازه در اثر بارهای جانبی از حیث پایداری سازه، خسارات وارده به اجزای غیرسازه‌ای و آسایش ساکنین حائز اهمیت می‌باشند. اختلاف تغییرمکان دو طبقه یا تغییرمکان نسبی از اهمیت بیشتری نسبت به تغییرمکان مطلق هر طبقه برخوردار است. کنترل تغییرمکان‌ها در سازه‌های بلند معمولاً حاکم بر طراحی می‌باشد. تغییرمکان نسبی طبقه (دریافت طبقه) برابر است با تغییرمکان جانبی یک کف نسبت به کف پایین آن. نسبت تغییرمکان طبقه (نسبت دریافت) برابر



شکل ۷- نسبت تغییر مکان نسبی طبقات برای ساختمان (الف) ۴، (ب) ۷ و (پ) ۱۰ طبقه تحت رکوردهای نزدیک و دور- محور افقی برحسب درصد

به طور مخفف به S_p-n نمایش می‌دهند. سطوح عملکرد سازه‌ای که عبارتند از قابلیت استفاده بی‌وقفه، ایمنی جانی و آستانه فروریزش وضعیت‌های خرابی مجزایی هستند که می‌توانند مستقیماً در ارزیابی و بهسازی برای معرفی معیارهای فنی به کار روند.

۴-۲- کنترل سطح عملکرد براساس معیار دریفت

در جدول ۸، مقدار دریفت مجاز برای سطوح عملکرد مختلف آورده شده است. سطوح و محدوده‌های عملکرد سازه‌ای با یک عنوان و یک عدد معرفی می‌شوند [۲۸]. عدد مذکور را عدد عملکرد سازه‌ای می‌نامند و

جدول ۸- رکوردهای سطح بازگشت زمین‌لرزه، دوره بازگشت، احتمال تجاوز و رابطه مقدار دریفت مجاز [۲۹]

Allowable drift	Probability of exceedence	Earthquake return period	Performance Level
$0.05 \times H$	٪۲ in ۵۰ Year	۲۴۷۵-Year	CP
$0.025 \times H$	٪۱۰ in ۵۰ Year	۴۷۵-Year	LS
$0.007 \times H$	٪۵۰ in ۵۰ Year	۷۲-Year	IO

(ج) سطح عملکرد ۶: لحاظ نشده^{۱۳}، برای حالتی که سطح عملکرد خاصی در نظر گرفته نشود.

(چ) سطوح عملکرد غیرسازه‌ای: سطوح عملکرد غیرسازه‌ای به‌طور مخفف به‌شکل Np-n نمایش داده می‌شود. سطوح عملکرد غیرسازه‌ای که عبارتند از خدمت‌رسانی بی‌وقفه، قابلیت استفاده بی‌وقفه، ایمنی جانی و ایمنی جانی محدود وضعیت‌های خرابی مستقلی هستند که می‌توانند مستقیماً در امر ارزیابی و بهسازی به‌منظور تعیین معیارهای فنی به‌کار برده شوند.

(ح) سطح عملکرد A: خدمت‌رسانی بی‌وقفه^{۱۴}، بدون وقفه در بهره‌برداری از ساختمان و تنها ایجاد خرابی‌های جزئی اما با حفظ قابلیت بهره‌برداری.

(خ) سطح عملکرد B: قابلیت استفاده بی‌وقفه، ایجاد خرابی جزئی اما با حفظ قابلیت بهره‌برداری.

(د) سطح عملکرد C: ایمنی جانی، حذف خسارت‌های جانی در کنار خرابی‌های قابل توجه.

(ذ) سطح عملکرد D: ایمنی جانی محدود، حداقل خسارت‌های جانی بر اثر خرابی اجزا.

(ر) سطح عملکرد E: لحاظ نشده، برای حالتی که سطح عملکرد خاصی در نظر گرفته نشود.

در شکل ۹، سطوح عملکرد ساختمان‌های ۴، ۷ و ۱۰ طبقه آورده شده است.

سایر عملکردهای سازه‌ای تعیین شده که عبارتند از خرابی محدود و ایمنی جانی و غیرقابل قبول، در حقیقت موقعیت‌هایی در سیستم طبقه‌بندی و شماره‌گذاری هستند که به صاحب ساختمان اجازه می‌دهد که بتواند به دلخواه عملکرد ساختمان را در این محدوده انتخاب کند. دامنه تغییر سختی و مقاومت اجزای سازه‌ای طی یک زلزله می‌تواند شامل عدم ایجاد هرگونه کاهش سختی و مقاومت تا ایجاد خرابی و غیرقابل استفاده گشتن آنها باشد. به این ترتیب، سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای به شکل زیر دسته‌بندی شده است:

(الف) سطح عملکرد ۱: قابلیت استفاده بی‌وقفه^۸ بدون آسیب سازه‌ای بر اثر وقوع زلزله با قابلیت ادامه سرویس دهی.

(ب) سطح عملکرد ۲: خرابی محدود^۹، انجام مرمت‌های جزئی پس از وقوع زلزله لازم بوده اما قابلیت سرویس‌دهی حفظ شده است.

(پ) سطح عملکرد ۳: ایمنی جانی^{۱۰}، خسارت‌های جانی وجود نداشته، اما اعضای سازه‌ای آسیب می‌بینند.

(ت) سطح عملکرد ۴: ایمنی جانی محدود^{۱۱}، حداقل خسارت‌های جانی بر اثر آسیب‌های وارده به سازه.

(ث) سطح عملکرد ۵: آستانه فروریزش^{۱۲}، خرابی گسترده ساختمان ولی بدون فرو ریختن کلی، خسارات جانی ممکن است وجود داشته باشد.

¹²- Collapse Prevention

¹³- Not Considered

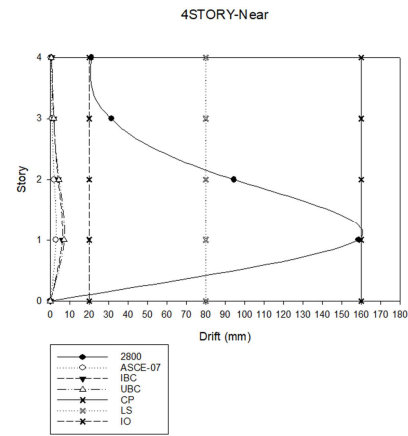
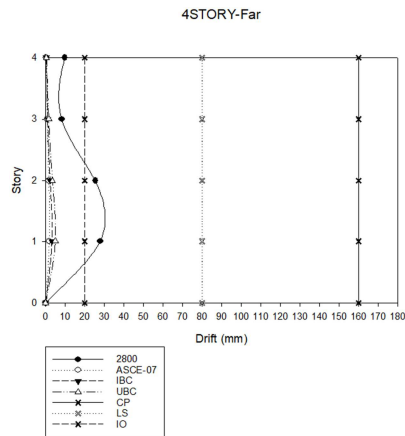
¹⁴- Operational

⁸- Immediate Occupancy

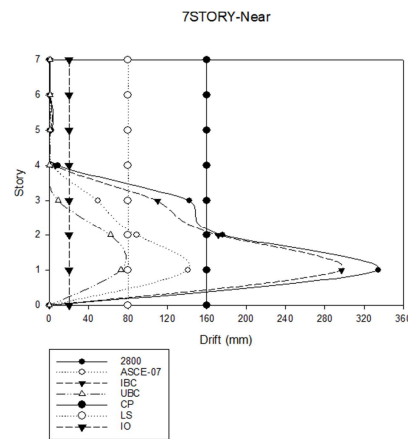
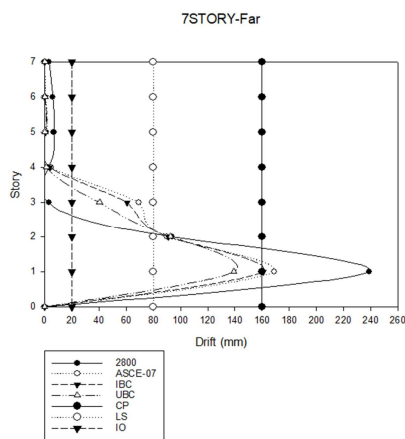
⁹- Damage Control

¹⁰- Life Safety

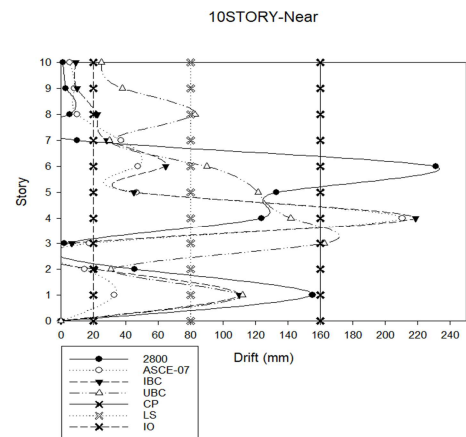
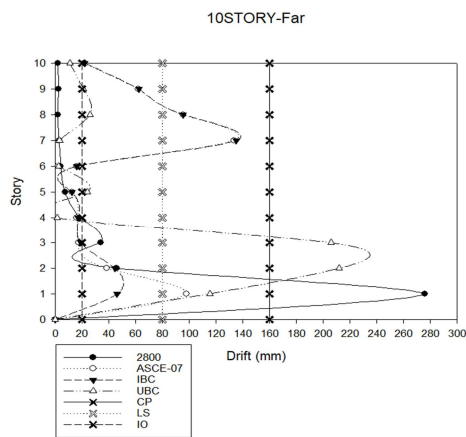
¹¹- Limite Safety



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۹- کنترل سطوح عملکرد ساختمان (الف) ۴، (ب) ۷ و (پ) ۱۰ طبقه برای رکوردهای نزدیک و دور از گسل

۵- بحث و نتایج

استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد که مقدار آن برابر با ۰/۰۹۹ شده است. این مقدار در آیین‌نامه ASCE-07 ۹۱٪، آیین‌نامه IBC ۸۰٪ و آیین‌نامه UBC ۷۷٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش داشته است. در زلزله دور از گسل آیین‌نامه ASCE-07 ۹۳٪، آیین‌نامه IBC ۸۸٪ و

در این پژوهش، ۳ ساختمان، ۴، ۷ و ۱۰ طبقه تحت اثر ۷ رکورد نزدیک و ۷ رکورد دور از گسل مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج تحلیل نشان داد: ۱- در ساختمان ۴ طبقه تحت اثر زلزله نزدیک گسل بیشترین نسبت تغییرمکان نسبی مربوط به

که برای سایر آیین‌نامه‌ها مفاصل پلاستیک حتی به سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه هم نرسیده است. در همین ساختمان تحت اثر زلزله دور از گسل برای آیین‌نامه ۲۸۰۰ مفصل پلاستیک از سطح استفاده بی‌وقفه عبور کرده است ولی به سطح عملکرد ایمنی جانی نرسیده است.

۶- در ساختمان ۷ طبقه تحت اثر زلزله نزدیک گسل در طبقه اول و دوم برای آیین‌نامه ۲۸۰۰ و IBC سطح عملکرد براساس معیار دریافت تشکیل شده از سطح عملکرد آستانه فروریزش عبور کرده است. در حالی که برای آیین‌نامه ASCE-07 مفصل پلاستیک از سطح ایمنی جانی عبور کرده است، اما به سطح عملکرد آستانه فروریزش نرسیده است. برای آیین‌نامه UBC مفصل پلاستیک از سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه عبور کرده است، اما همچنان به سطح عملکرد ایمنی جانی نرسیده است. در همین ساختمان تحت اثر زلزله دور از گسل برای آیین‌نامه ۲۸۰۰ و ASCE-07 در طبقه اول مفصل پلاستیک از سطح استفاده بی‌وقفه عبور کرده است، ولی به سطح عملکرد ایمنی جانی نرسیده است.

۷- در ساختمان ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله نزدیک گسل برای آیین‌نامه ۲۸۰۰، IBC، ASCE-07 و UBC سطح عملکرد براساس معیار دریافت تشکیل شده از سطح عملکرد آستانه فروریزش عبور کرده است. در همین ساختمان، تحت اثر زلزله دور از گسل برای آیین‌نامه ۲۸۰۰ و UBC مفصل پلاستیک از سطح استفاده آستانه فروریزش عبور کرده است. همچنین آیین‌نامه ASCE-07 از سطح ایمنی جانی عبور کرده است ولی به سطح آستانه فروریزش نرسیده است.

۸- با توجه به نتایج حاصل از مفاصل تشکیل شده می‌توان بیان کرد که در ساختمان ۴ طبقه استاندارد ۲۸۰۰ ایران فاصله زیادی با سایر

آیین‌نامه UBC ۸۲٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش مشاهده شده است.

۲- در ساختمان ۷ طبقه تحت اثر زلزله نزدیک گسل بیشترین نسبت تغییرمکان نسبی مربوط به استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد که مقدار آن برابر با ۱/۰۴۵ شده است. این مقدار در آیین‌نامه ۰۷-Asce ۵۸٪، آیین‌نامه IBC ۱۱٪ و آیین‌نامه UBC ۷۸٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش داشته است. در زلزله دور از گسل آیین‌نامه ۰۷-Asce ۲۹٪، آیین‌نامه IBC ۳۲٪ و آیین‌نامه UBC ۴۱٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش مشاهده شده است.

۳- در ساختمان ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله نزدیک گسل بیشترین نسبت تغییرمکان نسبی مربوط به استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد که مقدار آن برابر با ۰/۷۲۳ شده است. این مقدار در آیین‌نامه ۰۷-Asce ۸٪، آیین‌نامه IBC ۹٪ و آیین‌نامه UBC ۲۹٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش داشته است. در زلزله دور از گسل، آیین‌نامه ۰۷-Asce ۵۱٪، آیین‌نامه IBC ۵۱٪ و آیین‌نامه UBC ۲۳٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش مشاهده شده است.

۴- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی نشان داد در کلیه ساختمان‌ها تحت اثر زلزله دور و نزدیک نسبت تغییرمکان نسبی طبقات برای استاندارد ۲۸۰۰ ایران بیشترین مقدار به دست آمده است، اما با افزایش تعداد طبقات ساختمان مقادیر نسبت تغییرمکان برای آیین‌نامه‌های IBC، ASCE-07 و UBC به استاندارد ۲۸۰۰ ایران نزدیک‌تر شده است.

۵- در ساختمان ۴ طبقه تحت اثر زلزله نزدیک گسل در طبقه اول برای آیین‌نامه ۲۸۰۰ سطح عملکرد براساس معیار دریافت تشکیل شده به سطح عملکرد آستانه فروریزش رسیده است. در حالی

هریک از آیین‌نامه‌های طراحی در برابر بارهای جانبی بلامانع است چراکه نتایج به‌دست آمده از آیین‌نامه‌ها بسیار نزدیک می‌باشد. همچنین پیشنهاد می‌گردد برای ساختمان‌های بتنی و فولادی نامظم تأثیر ضریب مقیاس برای آیین‌نامه‌ها و استانداردهای موجود طراحی، بررسی و مقایسه شود.

آیین‌نامه‌های طراحی دارد، اما با افزایش تعداد طبقات ساختمان آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها به یکدیگر از نظر تحلیل بسیار نزدیک شده است.
۹- با توجه به نتایج تحلیل شامل نسبت تغییرمکان نسبی طبقات و مفصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان و سطوح عملکرد می‌توان بیان کرد برای ساختمان‌های بالای ۷ طبقه استفاده از

References

- [1] Rahimi, H. (2013). Investigation of Behavior and Vulnerability of Metal Buildings by Convergent Chevron Inhibition with Friction Damping of Energy Purification, *MSc Thesis*, Faculty of Engineering, University of Chamran martyr. [In Persian]
- [2] Ghorbanpour, B., Khalil Pasha, M. H., & Jahani, Z. (2011). Study of Types of Frames and Structural Systems in Steel Buildings, *The First Regional Conference on Civil Engineering, Joibar, Islamic Azad University, Joibar Branch*. [In Persian]
- [3] Rezaeian, S., Al Atik, L., Kuehn, N. M., Abrahamson, N., Bozorgnia, Y., Mazzoni, S., ... & Campbell, K. (2021). Spectral damping scaling factors for horizontal components of ground motions from subduction earthquakes using NGA-Subduction data. *Earthquake Spectra*, 37(4), 2453-2492. doi: **10.1177/87552930211027903**
- [4] Davarnia, D., & Farahmand Azar, B. (2020). A new method for scaling of earthquake records using input energy of structures. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 29(9), e1736. doi: **10.1002/tal.1736**
- [5] Dávalos, H., & Miranda, E. (2019). Evaluation of the scaling factor bias influence on the probability of collapse using $S_a(T_1)$ as the intensity measure. *Earthquake Spectra*, 35(2), 679-702. doi: **10.1193/011018EQS007M**
- [6] Watson-Lamprey, J., & Abrahamson, N. (2006). Selection of ground motion time series and limits on scaling. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(5), 477-482. doi: **10.1016/j.soildyn.2005.07.001**
- [7] Cavdar, E., Ozdemir, G., & Bayhan, B. (2019). Significance of ground motion scaling parameters on amplitude of scale factors and seismic response of short-and long-period structures. *Earthquake Spectra*, 35(4), 1663-1688. doi: **10.1193/081718eqs204m**
- [8] Huff, T. (2020). Importance of target spectrum basis in earthquake ground motion scaling. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(1), 04019034. doi: **10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000461**
- [9] Bahari, H., & Mortezaei, A. (2021). Influence of Geographic Scaling of Regional Ground Motions on the Moment Resisting RC buildings. *Geography (Regional Planning)*, 11(44), 605-620. doi: **10.22034/jgeoq.2021.137388**
- [10] Shome, N., Cornell, C. A., Bazzurro, P., & Carballo, J. E. (1998). Earthquakes, records, and nonlinear responses. *Earthquake spectra*, 14(3), 469-500. doi: **10.1193/1.1586011**
- [11] Reyes, J. C., & Chopra, A. K. (2012). Modal pushover-based scaling of two components of ground motion records for nonlinear RHA of structures. *Earthquake Spectra*, 28(3), 1243-1267. doi: **10.1193/1.4000069**
- [12] Reyes, J. C., & Kalkan, E. (2012). How many records should be used in an ASCE/SEI-7 ground motion scaling procedure?. *Earthquake Spectra*, 28(3), 1223-1242. doi: **10.1193/1.4000066**
- [13] Reyes, J. C., & Quintero, O. A. (2014). Modal pushover-based scaling of earthquake records for nonlinear analysis of single-story unsymmetric-plan buildings. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 43(7), 1005-1021. doi: **10.1002/eqe.2384**
- [14] Ergun, M., & Ates, S. (2014). Comparing of the effects of scaled and real earthquake records on structural response. *Earthquakes and Structures*, 6(4), 375-392. doi: **10.12989/eas.2014.6.4.375**
- [15] Wang, J. H. (2018). A review on scaling of earthquake faults. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, 29(6), 589-610. doi: **10.3319/TAO.2018.08.19.01**
- [16] Melgar, D., Crowell, B. W., Geng, J., Allen, R. M., Bock, Y., Riquelme, S., ... & Ganas, A. (2015). Earthquake magnitude calculation without saturation from the scaling of peak ground displacement. *Geophysical Research Letters*, 42(13), 5197-5205. doi: **10.1002/2015GL064278**

- [17] Trugman, D. T., & Shearer, P. M. (2017). Application of an improved spectral decomposition method to examine earthquake source scaling in Southern California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(4), 2890-2910. doi: **10.1002/2017JB013971**
- [18] Mortezaei, A., & Ronagh, H. R. (2013). Effectiveness of modified pushover analysis procedure for the estimation of seismic demands of buildings subjected to near-fault ground motions having fling step. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(6), 1579-1593. doi: **10.5194/nhess-13-1579-2013**
- [19] Valamanesh, V., & Estkanchi, H. (2003). Study of Criteria for Multidirectional Seismic Analysis of Structures, *Journal of Civil Engineering*, Islamic Azad University. [In Persian]
- [20] National Building Regulations of Iran. (2021). *Design and Execution of Steel Buildings*, Edition 4, Office of National Building Regulations. [In Persian]
- [21] Taghinezhad, R. (2015). *Seismic Design and Rehabilitation of Structures Based on Performance Level With SAP2000 and ETABS Pushover Analysis*. [In Persian]
- [22] Iranian Code of Practice For Seismic Resistant Design of Buildings, Standadr No.2800,(4th Edition).
- [23] Abolhassani, J., & Fallahi F. (2013). Comparison between IBC, UBC and 2800 regulations in analyzing the modal spectral response performed on standard residential buildings, *7th National Congress of Civil Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Zahedan*. [In Persian]
- [24] ASCE Standard ASCE/SEI 7. (2010). American Society of Civil Engineers—"Minimum design loads for buildings and other structures.
- [25] Code, U. B. (2015). *International building code*. International Code Council, USA.
- [26] UBC-97. (1997). *In Structural engineering design provisions*. International conference of building officials, Whittier, California.
- [27] Jooqan, S., Badri, H., & Daneshjoo, F. (2009). Comparison of increasing nonlinear static analysis methods and productive nonlinear dynamics in steel bending frames, *8th International Congress of Civil Engineering*, Shiraz University. [In Persian]
- [28] Mortezaei, A. (2014). Plastic hinge length of RC columns under the combined effect of near-fault vertical and horizontal ground motions. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 58(3), 243-253. doi: **10.3311/PPci.7329**
- [29] ASCE 41-16. (2016). *Minimum Design Loads for Building and Other Structures*, American Society of Civil Engineers (ASCE).