

ویژه نامه نشریه مهندسی سازه و ساخت (علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

ارزیابی رفتار دینامیکی غیرخطی و تعیین سطح عملکرد ساختمان‌های بتنی با اهمیت خیلی زیاد (طراحی شده بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰)

بیت اله بدرلو^{*}، محمد تقی صفدری^۲

۱- استادیار سازه، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران سازه، موسسه غیرانتفاعی شهاب دانش، قم، ایران

چکیده

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر تأثیرات ناشی از زلزله حداقل ضوابط و مقرراتی را در نظر گرفته است که با رعایت آن ضوابط انتظار می‌رود اهداف مدنظر این آیین‌نامه تامین گردد. از آنجایی که مفاهیم و ضوابط ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ مبتنی بر طراحی بر اساس مقاومت می‌باشد، لذا در خصوص تامین اهداف عملکردی مدنظر این استاندارد و برآورد کمی از سطوح عملکرد و میزان خسارتی که ساختمان‌ها در حین وقوع زلزله‌های مختلف ممکن است از خود بروز دهند ابهاماتی وجود دارد که این ابهامات علی‌الاصول در خصوص ساختمان‌های با اهمیت بالاتر جدی‌تر خواهد بود. مطابق اهداف استاندارد ۲۸۰۰ در خصوص رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد انتظار می‌رود که این دسته از ساختمان‌ها در اثر زلزله طرح، تغییر مقاومت و سختی در اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای نداشته باشند، به طوری که بهره برداری از آنها امکان پذیر باشد. بدین منظور در این تحقیق ساختمان‌های بتنی ۳، ۶ و ۱۰ طبقه با درجه اهمیت خیلی زیاد (کاربری بیمارستانی) که بر اساس ضوابط و مقررات استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) و آیین‌نامه ACI در نرم افزار SAP2000 تحلیل و طراحی شده‌اند، مورد مطالعه می‌باشند. در این تحقیق با استفاده از تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی تاریخچه زمانی مدل‌های مورد مطالعه تحت دو دسته رکوردهای دور و نزدیک گسل و تعیین سطح عملکرد آن‌ها در خصوص تامین اهداف مدنظر استاندارد ۲۸۰۰ در خصوص ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد اظهار نظر شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی برای ساختمان ۱۰ طبقه مورد مطالعه و در روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی برای کلیه ساختمان‌های مورد مطالعه سطح عملکرد مورد انتظار استاندارد ۲۸۰۰ (استفاده بی وقفه) تامین نمی‌شود.

کلمات کلیدی: سطح عملکرد، استاندارد ۲۸۰۰، تحلیل غیرخطی، ساختمان بتنی، با اهمیت خیلی زیاد.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/jsce.2017.92785.1266	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.92785.1266	۱۳۹۷/۰۸/۳۰	۱۳۹۶/۰۸/۰۴	۱۳۹۶/۰۸/۰۴	۱۳۹۶/۰۸/۰۲	۱۳۹۶/۰۴/۲۷
بیت‌اله بدرلو badarloo@qut.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

Evaluation of nonlinear dynamic behaviour and determine performance level of concrete buildings with very high importance (designed based on Iranian Standard NO.2800 – 4th Edition)

Baitollah Badarloo ^{1*}, Mohammad Taghi Safdari ²

1- Assistant professor in structural Eng., Faculty of Engineering and Technology, Qom University of Technology, Qom, Iran

2- MSc in Structures Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Shahab Danesh University, Qom, Iran

ABSTRACT

The Iranian seismic code (standard NO.2800) provide minimum provisions and regulations for the design and construction of buildings to resist the earthquake effects that by these provisions, it is expected the purpose of this code satisfying. Since the terms and provisions provided in the standard 2800, is based on resistance design, so consider this standard to meet performance targets, quantify performance levels and damage to buildings during earthquakes there may be confusion exhibit that the uncertainty principle would be more serious in buildings with higher importance. The seismic behaviour of very high importance buildings according to Iranian Standard NO.2800 (IS2800) is that; these building not affected the strength and stiffness of structural and non-structural components in design level earthquake, so that serviceability is possible. Therefore, in this research 3, 6 and 10 storey reinforced concrete buildings with very high importance (hospital use) that according to the provisions and regulations of IS2800 (4th Edition) and ACI code are analysis and designed in SAP2000 software, to be studied. In this paper by using nonlinear static and time history dynamic analysis of the building models under far and near fault records, the performance level of buildings is determined and then about to meet the purpose of Iranian Standard NO.2800 for the very high importance buildings is concluded. The obtained results show that in the nonlinear static analysis method for the 10 story building and in the nonlinear dynamic time-history analysis method for all buildings, the expected performance level of IS2800 (immediate occupancy) is not satisfy.

ARTICLE INFO

Received: 08/07/2017

Revised: 24/10/2017

Accepted: 26/10/2017

Keywords:

Performance level

Standard 2800

Nonlinear Analysis

Concrete buildings

Very high importance

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.92785.1266

*Corresponding author: Baitollah Badarloo.

Email address: badarloo@qut.ac.ir

۱- مقدمه

در آیین‌نامه‌های موجود ابزارهای مفیدی فراهم شده است که انتظار می‌رود حداقل معیار لازم جهت حفظ امنیت جانی در هنگام وقوع زلزله با اعمال این ابزارها تامین شود، حال آنکه این آیین‌نامه‌ها فاقد مکانیزم لازم جهت کنترل ساختمان‌ها در سطوح عملکرد مختلف می‌باشد. اما شرایط پدیده‌های طبیعی سرزمین ایران و نحوه احداث بناهای کشور ایجاب می‌کند مسئله مصون‌سازی ساختمان‌ها بخصوص سازه‌ها با درجه اهمیت زیاد و خیلی زیاد در برابر زلزله به طور جدی در دستور کار قرار گیرد. سازه‌هایی که با آیین‌نامه‌های متداول طراحی شده‌اند به لحاظ ایمنی جانی و تامین امنیت عملکرد خوبی از خود نشان داده‌اند در حالی که آسیب‌ها و خسارت‌های وارد به سازه‌ها به خصوص برای سازه‌هایی که از لحاظ اقتصادی و نوع کارایی آن‌ها در دسته سازه‌های با اهمیت بالا قرار می‌گیرند، غیر قابل چشم‌پوشی بوده است. از طرفی این رویکرد برای ساختمان‌های با اهمیت بالا با وجود تامین ایمنی جانی، توجیه اقتصادی نداشته و ضرر و زیان و هزینه‌های بالای ناشی از صدمات وارده، به اقتصاد کشورها لطمه می‌زند. از اثرات زلزله قابل توجه (از اوایل سال ۱۹۸۰) می‌توان نتیجه گرفت که خطرات لرزه‌ای در مناطق شهری در حال افزایش هستند و دور از سطح قابل قبول اجتماعی و اقتصادی، نیاز فوری برای معکوس کردن این وضعیت وجود دارد [۱]. آیین‌نامه‌های زلزله از روابط تجربی که بر پایه تعاریف عمومی از سیستم سازه‌ای و هندسه سازه استوار است، استفاده می‌کنند. این مقادیر جهت یک طراحی محافظه کارانه، عمدتاً کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده ارائه شده‌اند [۲]. یکی از اهداف آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای از جمله استاندارد ۲۸۰۰، تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر اثرات ناشی از زلزله است، به طوری که با رعایت آن انتظار می‌رود ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد (مثل بیمارستان‌ها و مراکز امدادی) در زمان وقوع زلزله‌های شدید، بدون آسیب عمده سازه‌ای، قابلیت بهره‌برداری بدون وقفه خود را حفظ کنند [۳]. زلزله شدید که «زلزله طرح» نامیده می‌شود زلزله‌ای است که احتمال وقوع آن و یا زلزله‌های بزرگتر از آن، در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، کمتر از ۱۰ درصد باشد. این دسته از ساختمان‌ها، در ویرایش دوم آیین‌نامه ۲۸۰۰، تحت عنوان بناهای ضروری، نامگذاری شده بودند و شامل ساختمان‌هایی بودند که قابلیت استفاده از آنها پس از وقوع زلزله، اهمیت خاص داشت و وقفه در بهره‌برداری از آن‌ها بطور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارت می‌گردید [۴]. بر اساس پیوست الف نشریه ۳۶۰ (راهنمای تعیین هدف بهسازی لرزه‌ای)، برای بناهای ضروری از قبیل بیمارستان و مراکز امدادی، باید هدف بهسازی از نوع ویژه انتخاب گردد و برای زلزله سطح خطر یک عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه (B-1) و برای زلزله سطح خطر دو، عملکرد ایمنی جانی (C-2) داشته باشد [۵]. بر اساس مطالعات صورت گرفته، در روش طراحی لرزه ای مبتنی بر عملکرد، روش تجزیه و تحلیل غیرخطی در شناسایی الگوها و سطح آسیب برای ارزیابی رفتار غیرخطی یک سازه و برای درک حالات شکست از سازه در حوادث شدید لرزه‌ای مهم می‌شوند [۶]. در ساختمان‌های بتنی، اثرات زلزله توسط عناصر قاب عمودی یا عناصر دیوار که به عناصر افقی در سطح سقف و کف متصل هستند، تحمل می‌شوند. مطالعات نشان داده است که شناسایی مکانیسم شکست برای این عناصر در تعریف خواص غیرخطی، از اهمیت خاصی برخوردار است [۷]. گانزرلی و همکاران [۸]، عملکرد مبتنی بر طراحی با استفاده از بهینه‌سازی سازه را مورد مطالعه قرار داده‌اند. این مطالعه نشان داده است که معیار مبتنی بر عملکرد می‌تواند نه تنها برای مقاوم سازی ساختمان‌های موجود، بلکه برای طراحی ساختمان‌های جدید نیز اجرا گردد. به کار بردن معیار مبتنی بر عملکرد در فرآیند طراحی به طراح اجازه می‌دهد تا سازه خود را به سمت یک سطح ایمنی خاصی هدایت کند. با اتخاذ این معیارها طراح کنترل ویژه‌ای از طرح داشته و می‌تواند درباره رفتار سازه‌ای مورد انتظار هنگام زلزله، که ممکن است در طول عمر یک سازه رخ دهد، تصمیم‌گیری کند. برای این منظور یک قاب بتنی مسلح دو بعدی برای دستیابی به حداقل هزینه بهسازی شده است. لذا محدودیت‌های مبتنی بر عملکرد در شرایط چرخش پلاستیکی از تیرها و ستون‌های قاب اجرا شده است. با در نظر گرفتن محدوده رفتار خطی و غیرخطی سازه، طراح می‌تواند ظرفیت سازه را برآورد کند. چراکه داشتن درک درست از ظرفیت سازه برای بدست آوردن سطح عملکرد، از اهمیت بالایی برخوردار است. سود و کوآترا [۷]، به بررسی طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد ساختمان‌های متقارن و نامتقارن با استفاده از تحلیل پوش‌آور پرداخته‌اند. نتایج به گونه‌ای است که افزایش عملکرد سازه که در نتیجه افزایش تقویت ستون‌ها است، به دلیل کاهش قابل ملاحظه حداکثر جابجایی بام در ساختمان‌های متقارن و نامتقارن می‌باشد. همچنین با کاهش ابعاد مقاطع تیرها و ستون‌ها، با فرض ثابت نگه داشتن آرمان‌تور بندی، سطح عملکرد ساختمان‌ها نیز در هر دو حالت متقارن و نامتقارن کاهش می‌یابد. حمیدرضا حسنی ججینی و همکاران [۹]، آسیب‌پذیری ساختمان‌های با اهمیت بسیار زیاد نظیر بیمارستان‌ها و مراکز امداد و نجات که پس از وقوع زلزله بطور

غیر مستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌گردد را مورد بررسی قرار داده‌اند. لذا مطابق با اهداف آیین نامه ۲۸۰۰ (ویرایش سوم، ۱۳۸۴) لازم بوده، سطح عملکرد خدمت‌رسانی و قابلیت بهره‌برداری بدون وقفه خود را پس از زلزله حفظ نمایند. در این مقاله با توجه به روند طراحی بناهای ضروری رفتار ساختمان‌های با سیستم قاب خمشی بتن مسلح ویژه، در سطح خطر ۱ مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، مدل سازه‌ها با تعداد طبقات ۵ و ۷ طبقه با سطح شکل پذیری ویژه در منطقه با خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد به صورت تحلیل استاتیکی خطی طراحی شده، سپس با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای (نشریه شماره ۳۶۰، ۱۳۸۵) ارزیابی و معیارهای پذیرش اعضا با روش تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی کنترل شده است. در این مقاله نظر به اینکه پیش از رسیدن ظرفیت سازه به تغییر مکان هدف، مفاصل پلاستیک در زلزله سطح خطر ۱ پیش از سطح عملکرد IO تشکیل می‌گردند، لذا اهداف عملکردی سازه بر مبنای دیدگاه آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای بناهای ضروری تأمین نمی‌گردند. موسی محمودی صاحبی و عباس قبادی [۱۰]، به بررسی اهداف آیین نامه ۲۸۰۰، برای طراحی بناهای ضروری و ارزیابی میزان موفقیت آن‌ها در نیل به اهداف ارائه شده می‌پردازد. برای این منظور چندین ساختمان با تعداد طبقات و کاربری‌های مختلف (از جمله بیمارستان به عنوان بنای ضروری) بر اساس ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ طراحی گردیده است. همه این ساختمان‌ها، تحت آنالیز پوش‌آور (استاتیکی غیرخطی) قرار گرفتند تا با استفاده از ضوابط دستورالعمل‌های خاص، عملکرد آن‌ها و اعضای تشکیل دهنده آنها مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. نتایج نشان می‌دهد، الزام استفاده از قاب‌های ویژه (با ضرایب رفتار بزرگ) در تضاد با اهداف ارائه شده در آیین‌نامه بوده و استفاده از آن‌ها را بعد از وقوع زلزله‌های شدید را زیر سوال می‌برد. مجید بدر ولی زاد و طالب مرادی شقاقی [۱۱]، به بررسی سطح عملکرد ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد، که بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش سوم) طراحی شده‌اند پرداخته و ضوابط طراحی استاندارد ۲۸۰۰ برای طراحی این نوع ساختمان‌ها در مناطق با خطر نسبی بسیار زیاد، برای رسیدن به عملکرد استفاده بی‌وقفه را مورد ارزیابی و اصلاح قرار داده است. به همین منظور سه ساختمان بتنی با قاب خمشی ویژه، با تعداد طبقات ۶ و ۷ و ۸ طبقه، با کاربری بیمارستان، و بر اساس آیین نامه ACI در نرم افزار ETABS مورد تحلیل و طراحی قرار گرفته و سپس بر اساس نشریه ۳۶۰ (سال ۱۳۸۵) و با استفاده از تحلیل PUSHOVER سازه‌ها مورد ارزیابی عملکرد قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهد که ساختمان‌های مورد نظر که بر اساس اهداف استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند، قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه را در برابر زلزله‌های شدید تأمین نمی‌کنند. برای طراحی بناهای ضروری بتنی می‌توان از همان ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان استفاده کرد، با این شرط که تغییراتی در جدول ضریب رفتار و جدول ضریب اهمیت داده شود، بدین ترتیب که به منظور دستیابی به هدف استاندارد ۲۸۰۰ در دستیابی به استفاده بی‌وقفه، برای بناهای با اهمیت خیلی زیاد، باید ضریب رفتار کاهش پیدا کند.

در طراحی ساختمان‌ها بر اساس عملکرد، چهار سطح عملکرد تعریف شده‌اند [۱۵-۱۲] که سطوح خدمت‌رسانی بی‌وقفه (OP)^۱، قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO)^۲، ایمنی جانی (LS)^۳ و آستانه فروریزش (CP)^۴ نامیده می‌شوند و هرکدام تعاریف خاص خود را دارند. به طور خلاصه سطح خدمت‌رسانی بی‌وقفه، سطح عملکردی است که در آن ساختمان هیچ صدمه ای نمی‌بیند. در سطح قابلیت استفاده بی‌وقفه، خسارت جزئی به اعضای سازه‌ای وارد می‌شود. در سطح ایمنی جانی، ساختمان ممکن است خسارت زیادی را در اجزای سازه ای تجربه کند و سطح آستانه فروریزش هنگامی رخ می‌دهد که ساختمان به حالت ناپایداری کلی یا موضعی رسیده باشد. در این تحقیق نیز سه ساختمان با کاربری بیمارستان که از نوع سازه با درجه اهمیت خیلی زیاد می‌باشد، با تعداد طبقات ۳، ۶ و ۱۰ طبقه که به ترتیب نماینده‌ای از ساختمان کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه هستند، تحت ارزیابی قرار می‌گیرند. ابتدا مدل‌ها توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی و سپس توسط تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌زمانی تحلیل شده و نتایج آن استخراج می‌گردد. لازم به ذکر است که در تعیین شتاب‌نگاشت‌های تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌زمانی، اقدام به تهیه شتاب‌نگاشت‌هایی در فواصل دور و نزدیک گسل شده و نتایج به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

¹ OP = Operational Performance

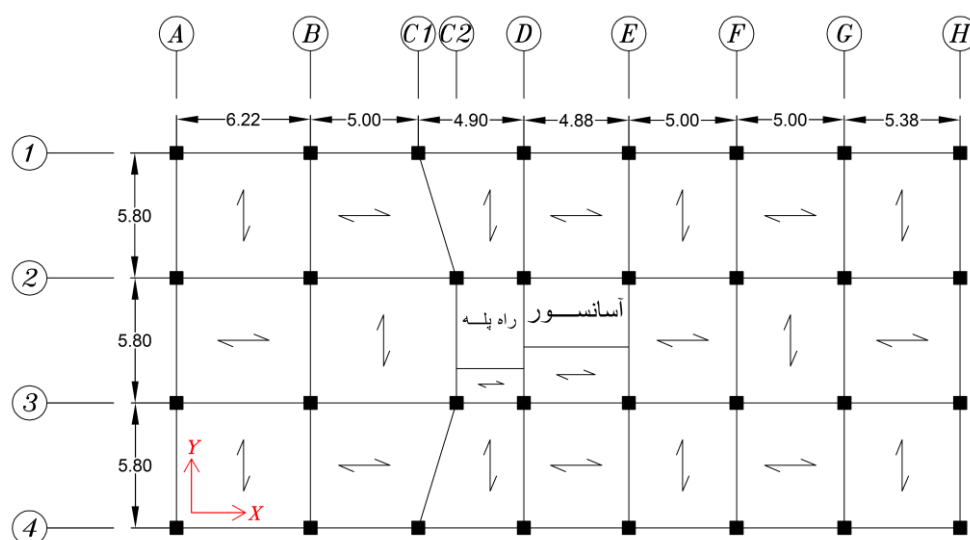
² IO = Immediate Occupancy Performance

³ LS = Life Safety Performance

⁴ CP = Collapse Prevention Performance

۲- مدل‌های مورد مطالعه

مدل‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل سه مدل ساختمان بتنی با کاربری بیمارستانی و تعداد طبقات ۳، ۶ و ۱۰ می‌باشد. ساختمان‌های مورد مطالعه با پلان آکس بندی نشان داده شده در شکل ۱؛ در شهر قم و خاک نوع ۲ واقع شده و سیستم باربر جانبی آن‌ها در هر دو جهت قاب خمشی متوسط در نظر گرفته شده است. کلیه مدل‌های مورد مطالعه بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران (ویرایش سال ۱۳۹۲) و استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) بارگذاری و بر مبنای آیین نامه ACI طراحی شده‌اند. مشخصات مصالح و پارامترهای لرزه‌ای مدل‌های مورد مطالعه به ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. در این تحقیق با مدل‌سازی سه بعدی ساختمان‌های مورد مطالعه و تحلیل پوش‌آور و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی با استفاده از ۷ رکورد دور و ۷ رکورد نزدیک گسل، بر اساس نتایج حاصل و بر مبنای ضوابط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه‌ی شماره ۳۶۰) اقدام به تعیین سطح عملکرد مدل‌های ساختمانی مورد نظر گردیده است.



شکل ۱: پلان ساختمان‌های مورد بررسی

جدول ۱: مشخصات فولاد و بتن مصرفی

مشخصات فولاد مصرفی (آرماتورها)					
تنش تسلیم مورد انتظار Kg/cm ²	تنش تسلیم مورد انتظار Kg/cm ²	تنش گسیختگی Kg/cm ²	تنش تسلیم Kg/cm ²	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته Kg/cm ²
۴۵۰۰	۲۷۰۰	۴۰۰۰	۲۴۰۰	۰/۳	۲/۱ × ۱۰ ^۶
مشخصات بتن مصرفی					
مقاومت فشاری Kg/cm ²			ضریب پواسون		
۲۵۰			۰/۲		

۳- تحلیل استاتیکی غیرخطی^۵

روش تحلیل استاتیکی غیرخطی توسط دو سازمان FEMA [۱۶] و ATC [۱۷]، تحت برنامه بهسازی لرزه‌ای پیشنهاد شده است. در این روش، بار جانبی ناشی از زلزله، استاتیکی و به تدریج به صورت فزاینده به سازه اعمال می‌شود تا آنجا که تغییر مکان در یک نقطه خاص

⁵ Nonlinear Static Analysis

(نقطه کنترل) تحت اثر بار جانبی، به مقدار مشخصی (تغییر مکان هدف) برسد و یا سازه فرو ریزد. سپس تغییر شکل‌ها و نیروهای داخلی حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی آن‌ها با توجه به ضوابط مربوط به طراحی بر اساس عملکرد [۱۸] در سطوح عملکردی مختلف مقایسه و سطح عملکرد سازه و اجزای سازه‌ای تعیین می‌شود. در واقع تغییر مکان هدف نشان دهنده تقاضای تغییر مکانی زلزله مورد انتظار می‌باشد. در تحلیل استاتیکی غیرخطی، مرکز جرم بام به عنوان نقطه کنترل تغییر مکان سازه انتخاب می‌شود (مرکز جرم سقف خرپشته به عنوان نقطه کنترل انتخاب نمی‌شود، مگر آنکه وزن آن بیشتر از ۲۵ درصد وزن بام باشد). مطابق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰)، در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پایین اثرات بار ثقلی (Q_G)، با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود.

جدول ۲: پارامترهای تعیین کننده برای محاسبه ضریب زلزله

پارامترهای لرزه‌ای	ساختمان ۳ طبقه	ساختمان ۶ طبقه	ساختمان ۱۰ طبقه
H (ارتفاع ساختمان)	۱۱/۷۹	۲۲/۹۱	۳۵
T (زمان تناوب اصلی)	۰/۴۶۰	۰/۸۳۷	۱/۲۲
T	۰/۵۷۵	۱/۰۴	۱/۵۳
N (ضریب اصلاح طیف)	۱/۰۱	۱/۱۱	۱/۲۰
B1 (ضریب شکل طیف)	۲/۱۷	۱/۱۹	۰/۸۱۵
B (ضریب بازتاب ساختمان)	۲/۲۰	۱/۳۲	۰/۹۸۴
A (نسبت شتاب مبنای طرح)	۰/۳	۰/۳	۰/۳
I (ضریب اهمیت ساختمان)	۱/۴	۱/۴	۱/۴
Ru (ضریب بازتاب ساختمان)	۵	۵	۵
C (ضریب زلزله)	۰/۱۸۵	۰/۱۱۱	۰/۰۸۲

$$Q_G = 1.1 (Q_D + Q_L) \quad (۱)$$

$$Q_G = 0.9 Q_D \quad (۲)$$

در روابط بالا Q_D بار مرده و Q_L معادل ۲۵ درصد بار زنده طراحی کاهش نیافته است که نباید از بار زنده واقعی موجود در هنگام ارزیابی کمتر باشد.

بعد از اعمال اثرات بار ثقلی، الگوهای بار جانبی یکنواخت برای هر دو جهت تعریف شده و برای برداشت نتایج، حالت بحرانی آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین الگوهای بار جانبی PUSHXUG1 و PUSHXUG2 به ترتیب در ادامه ترکیبات بارگذاری ثقلی رابطه (۱) و (۲) در جهت X، و الگوهای بار جانبی PUSHYUG1 و PUSHYUG2 به ترتیب در ادامه ترکیبات بارگذاری ثقلی رابطه (۱) و (۲) در جهت Y اعمال می‌شوند. تغییر مکان هدف با توجه به ضوابط مندرج در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) بسته به اینکه ساختمان با چه نوع دیافراگمی است، طبق رابطه (۳) تعیین می‌شود:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، T_e معرف زمان تناوب اصلی موثر ساختمان برای امتداد مورد نظر است. C_0 ضریب اصلاح برای ارتباط تغییر مکان طیفی سیستم یک درجه آزادی به تغییر مکان بام سیستم چند درجه آزادی است. C_1 ضریب تصحیح برای اعمال تغییر مکان غیرارتجاعی سیستم می‌باشد. C_2 ضریب تصحیح برای اثرات کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای بر تغییر مکان‌ها، ناشی از زوال چرخه‌ای است. اعمال اثرات P- Δ توسط ضریب C_3 انجام می‌گیرد. S_a شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر T_e است. g نیز مقدار شتاب ثقل زمین می‌باشد [۵].

با توجه به توضیحات فوق و بر اساس رابطه (۳)، تغییر مکان هدف محاسبه شده برای ساختمان‌های مورد مطالعه برای حالت بحرانی مطابق با جدول ۳ تعیین می‌گردد.

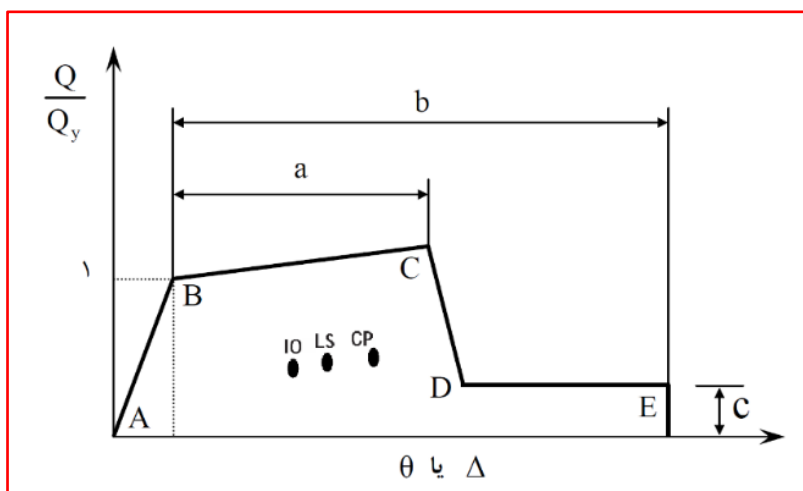
جدول ۳: تغییرمکان هدف محاسبه شده برای ساختمان‌ها

مدل‌ها	ساختمان ۳ طبقه	ساختمان ۶ طبقه	ساختمان ۱۰ طبقه
تغییرمکان هدف (cm)	۷/۵	۱۵/۵	۲۴

مراحل انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی به گونه‌ای است که ابتدا مفاصل پلاستیک برای اعضای که در تحمل بار زلزله نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند، تعریف شده و سپس به المان‌های مربوطه اختصاص داده می‌شوند. ترکیبات بار ثقلی و الگوهای بار جانبی نیز مطابق آیین‌نامه به کمک تحلیل پوش‌آور به سازه‌ها اعمال می‌گردند. در پایان معیارهای پذیرش مفاصل تشکیل شده در المان‌های سازه بررسی می‌شوند. با استفاده از خروجی‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی، می‌توان وضعیت کلی سازه و همچنین اعضای آن را در مراحل مختلف، تشخیص داد. بر اساس آیین‌نامه‌های ارزیابی آسیب‌پذیری، ساختمان‌هایی آسیب‌پذیر تلقی می‌شوند که تا قبل از رسیدن تغییرمکان مرکز جرم بام ساختمان (نقطه کنترل) به تغییرمکان هدف، مشکلی برای اعضای سازه وجود آید [۱۱].

۳-۱ منحنی ظرفیت سازه‌ها

مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، منحنی ظرفیت، یعنی رابطه بین برش پایه و تغییرمکان نقطه کنترل باید توسط روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، از مقدار صفر تا تغییرمکانی معادل ۱۵۰ درصد تغییرمکان هدف تعیین گردد. این بدین معنی است که در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی در تمامی الگوهای توزیع بار، تغییرمکان هدف باید در عدد ۱/۵ ضرب گردد. در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه شماره ۳۶۰)، حالت‌های مختلف عملکردی که ممکن است در اعضا وجود آید به کمک شکل ۲ بیان می‌گردد.

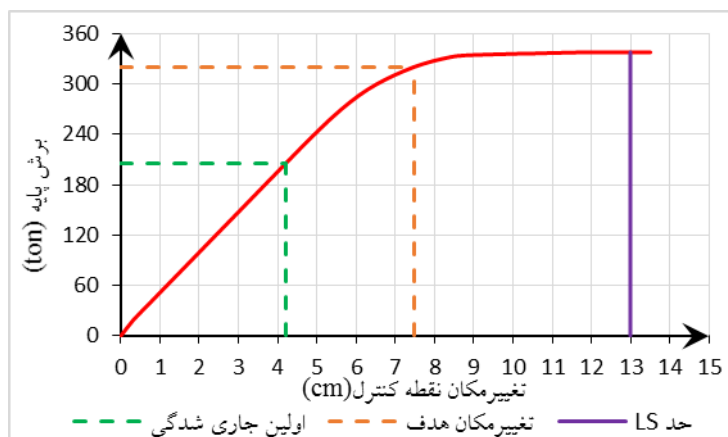


شکل ۲: منحنی بار - تغییرشکل اعضا و معیارهای پذیرش [۵]

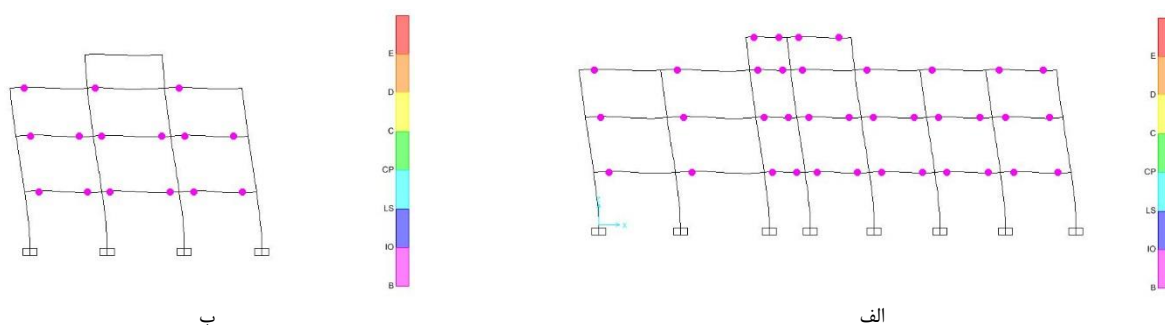
مطابق شکل ۲ در بررسی تشکیل مفاصل پلاستیک، اگر رفتار عضو در محدوده بین B و IO قرار گیرد، به منزله آن است که عضو در محدوده قابلیت استفاده بی‌وقفه قرار دارد. وارد شدن رفتار عضو به محدوده IO تا LS به این معنی است که عضو، قابلیت بهره‌برداری خود را از دست داده ولی هنوز به مرحله ایمنی جانی نرسیده است. مرحله LS تا CP به معنی عبور از مرحله ایمنی جانی است. منحنی ظرفیت و الگوی مفاصل پلاستیک تشکیل شده نظیر تغییرمکان هدف ساختمان سه طبقه مورد مطالعه به ترتیب در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص است که اولین جاری شدگی در المان‌های سازه‌ای در تغییرمکان ۴/۲۰ سانتی‌متر؛ متناظر با برش پایه ۲۰۵/۱۹ تن رخ داده است. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد که در جابجایی نظیر تغییرمکان هدف (۷/۴۷ سانتی‌متر) که دارای برش پایه متناظر ۳۲۰/۰۱ تن می‌باشد هیچ یک از مفاصل پلاستیک تشکیل شده از حد سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه (IO) عبور نکرده است

که بدین ترتیب تامین سطح عملکرد مورد انتظار استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم) یعنی سطح عملکرد IO در ساختمان سه طبقه مورد مطالعه، اثبات و تایید می گردد.

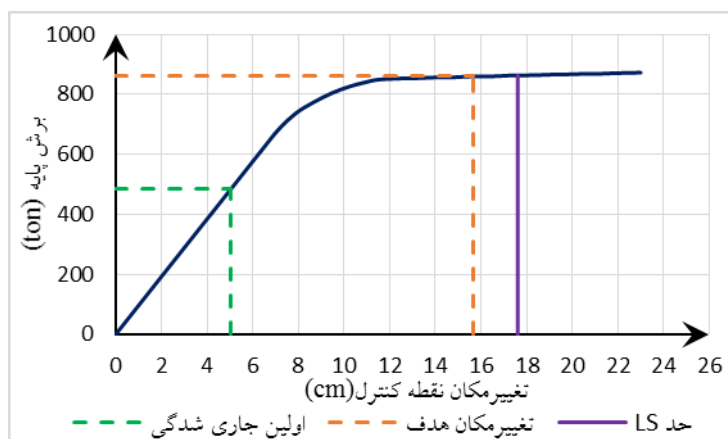


شکل ۳: منحنی ظرفیت ساختمان ۳ طبقه



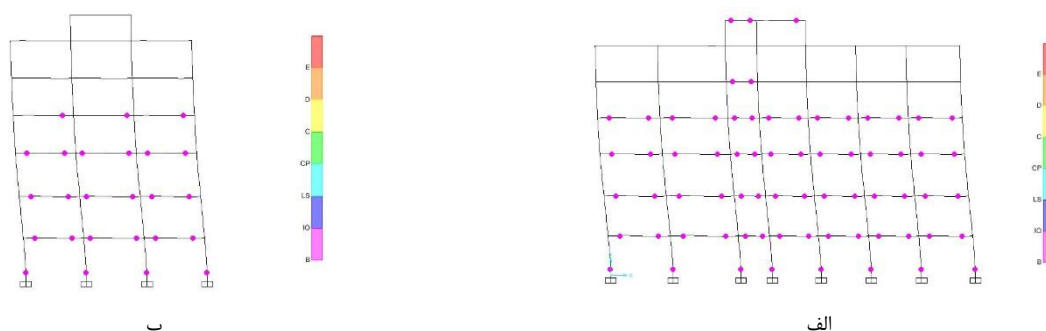
شکل ۴: مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان ۳ طبقه، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی. (الف قاب 3 ب) قاب D

منحنی ظرفیت و الگوی مفاصل پلاستیک تشکیل شده نظیر تغییر مکان هدف ساختمان شش طبقه مورد مطالعه به ترتیب در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده است.



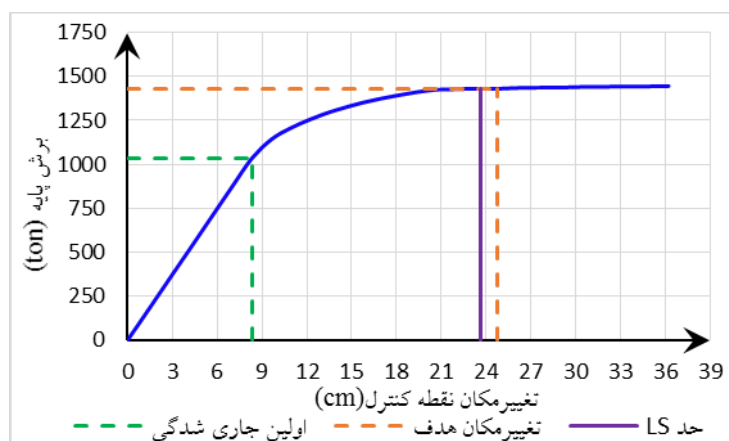
شکل ۵: منحنی ظرفیت ساختمان ۶ طبقه

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص است که اولین جاری شدگی در المان‌های سازه‌ای در تغییرمکان $5/03$ سانتی‌متر؛ متناظر با برش پایه $483/17$ تن رخ داده است. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد که در جابجایی نظیر تغییرمکان هدف ($15/66$ سانتی‌متر) که دارای برش پایه متناظر $859/622$ تن می‌باشد هیچ یک از مفاصل پلاستیک تشکیل شده از حد سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه (IO) عبور نکرده است که بدین ترتیب تامین سطح عملکرد مورد انتظار استاندارد 2800 (ویرایش چهارم) یعنی سطح عملکرد IO در ساختمان شش طبقه مورد مطالعه نیز، اثبات و تایید می‌گردد.



شکل ۶: مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان ۶ طبقه، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی. (الف) قاب ۳ (ب) قاب D

منحنی ظرفیت و الگوی مفاصل پلاستیک تشکیل شده نظیر تغییرمکان هدف ساختمان ده طبقه مورد مطالعه به ترتیب در اشکال ۷ و ۸ نشان داده شده است.

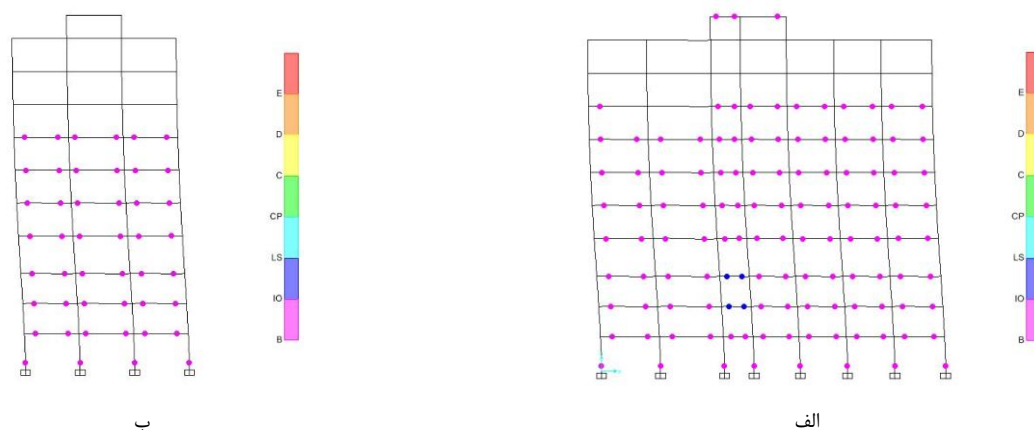


شکل ۷: منحنی ظرفیت ساختمان ۱۰ طبقه

بر اساس نتایج بدست آمده مشخص است که اولین جاری شدگی در المان‌های سازه‌ای در تغییرمکان $8/32$ سانتی‌متر؛ متناظر با برش پایه $1033/93$ تن رخ داده است. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد که در جابجایی نظیر تغییرمکان هدف ($24/75$ سانتی‌متر) که دارای برش پایه متناظر $1430/31$ تن می‌باشد تعداد ۸ مفصل پلاستیک تشکیل شده از حد سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه (IO) عبور کرده است که بدین ترتیب تامین سطح عملکرد مورد انتظار استاندارد 2800 (ویرایش چهارم) یعنی سطح عملکرد IO در ساختمان ده طبقه مورد مطالعه، تایید نمی‌گردد.

در ساختمان ۳ طبقه و ۶ طبقه به دلیل آن که تا قبل از رسیدن سازه به تغییرمکان هدف، هیچ مفصلی وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی نشده است، بنابراین این ساختمان‌ها انتظارات تامین سطح عملکرد برای ساختمان با اهمیت بالا را فراهم نموده‌اند. اما در ساختمان

۱۰ طبقه تا قبل از رسیدن سازه به تغییر مکان هدف، تعداد ۸ مفصل وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی شده است که این موضوع به منزله عدم تامین سطح عملکرد مورد انتظار استاندارد ۲۸۰۰ (استفاده بی وقفه) در ساختمان های بلند مرتبه می باشد. تعداد مفاصل پلاستیک هر یک از مدل ها متناظر با تغییر مکان هدف و در نواحی مختلف عملکردی در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۸: مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان ۱۰ طبقه، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی. الف) قاب ۳ (ب) قاب ۶

جدول ۴: تعداد مفاصل پلاستیک متناظر با تغییر مکان هدف

مدل ها	تعداد مفاصل پلاستیک نظیر نواحی مختلف عملکردی					
	کل مفاصل	CP to C	LS to CP	IO to LS	B to IO	A to B
۳ طبقه	۵۳۰	۰	۰	۰	۱۱۲	۴۱۸
۶ طبقه	۱۰۳۴	۰	۰	۰	۲۶۶	۷۶۸
۱۰ طبقه	۱۷۰۶	۰	۰	۸	۴۷۰	۱۲۲۸

لازم به ذکر است اکثر المان‌هایی که در آنها مفاصل پلاستیک تشکیل شده و وارد ناحیه غیرخطی شده‌اند، تیرها هستند. بنابراین تیرها بیشتر مستعد آسیب‌پذیری در طبقات می‌باشند. در تحلیل استاتیکی غیرخطی ساختمان‌ها، اعضای سازه (تیرها و ستون‌ها) در طبقات زیرین نسبت به طبقات بالاتر بیشتر وارد ناحیه غیرخطی شده و به عبارتی تمرکز مفاصل پلاستیک تشکیل شده در طبقات پایین‌تر بیشتر می‌باشد. با توجه به اینکه در ساختمان ۱۰ طبقه تا قبل از رسیدن سازه به تغییر مکان هدف، تعداد ۸ مفصل وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی شده است، لذا با افزایش تعداد طبقات اعضای بیشتری از سازه وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی شده و این مسئله در ساختمان‌های با ارتفاع خیلی زیاد حائز اهمیت می‌باشد.

۴- تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی^۶

در کشورهای توسعه یافته با سابقه طولانی در مهندسی زلزله، پیشرفت‌های چشم‌گیری در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای در قاب‌های ساختمانی صورت گرفته است [۲۱-۱۹]. این پیشرفت‌ها را می‌توان در فروپاشی ساختمان‌ها و در عملکرد لرزه‌ای پس لرزه‌های به وقوع آمده در زلزله‌های بزرگ مشاهده کرد. با این حال، زمین‌لرزه سبب تخریب زیربنای اقتصادی به سبب نزول کسب و کار در زیرساخت‌های اساسی در شهرها می‌شود [۲۳ و ۲۲].

⁶ Nonlinear Time History Dynamic Analysis

در این روش، پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه محاسبه می‌شود. طبیعی‌ترین روش تحلیل سازگار با رفتار فیزیکی سازه‌ها حین زمین‌لرزه، تحلیل غیرخطی تاریخچه‌زمانی می‌باشد. تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی وابسته به زمان بوده و نسبت به تحلیل و طراحی بر مبنای طیف که مستقل از زمان است، تحلیل دقیق‌تر و البته پیچیده و زمان‌بر است. آنچه مسلم است، طیف طراحی نمی‌تواند تمامی خصوصیات شتاب‌نگاشت (نظیر محتوای فرکانسی، فاز، مدت زلزله و ...) را نشان دهد [۲۴]. معمولاً برای تحلیل سازه به روش تاریخچه‌زمانی، از شتاب‌نگاشت‌های طبیعی استفاده می‌شود. شتاب‌نگاشت طبیعی به شتاب‌نگاشتی گفته می‌شود که قبلاً در محلی اتفاق افتاده باشد و اطلاعات آن از طریق دستگاه‌های مرتبط ضبط شده باشد [۲۵]. طبق توصیه آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، شتاب‌نگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند، باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا در هنگام زلزله باشند. در تحقیق حاضر برای انجام تحلیل تاریخچه‌زمانی غیرخطی مدل‌های مورد مطالعه از روش نیومارک که در دسته بندی روش‌های انتگرال‌گیری مستقیم قرار دارد؛ استفاده شده است. پارامترهای تحلیلی γ و β در تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی انجام شده به ترتیب برابر با $0/5$ و $0/25$ در نظر گرفته شده است.

۴-۱- شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل دینامیکی غیرخطی

با توجه به توصیه آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم درباره نحوه انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها، اقدام به تهیه زوج شتاب‌نگاشت‌هایی در فواصل دور و نزدیک گسل گردیده است. در جداول ۵ و ۶ مشخصات کامل هفت زوج شتاب‌نگاشت انتخاب شده مطابق با توصیه آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ در فواصل دور از گسل و نزدیک گسل نشان داده شده است.

جدول ۵: جزئیات شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده در فاصله دور از گسل

ردیف	نام زلزله (Event Name)	بزرگا (Magnitude)	فاصله از کانون (R-JB km)	متوسط سرعت موج برشی (Vs30 m/s)
۱	Loma Prieta 1989	۶/۹۲	۴۱/۶۸	۴۱۵/۲۷
۲	Tabas 1978	۷/۳۵	۱۱۹/۷۷	۳۷۷/۵۶
۳	Northridge 1994	۶/۶۹	۴۶/۶۵	۵۷۲/۵۷
۴	Landers 1992	۷/۲۸	۴۱/۴۳	۶۳۵/۰۱
۵	Darfield New Zealand 2010	۷/۰	۵۲/۱۳	۵۵۱/۳
۶	Kobe 1995	۶/۹	۴۹/۹۱	۶۰۹/۰
۷	Bam 2003	۶/۶	۴۶/۲	۵۷۴/۸۸

جدول ۶: جزئیات شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده در فاصله نزدیک گسل

ردیف	نام زلزله (Event Name)	بزرگا (Magnitude)	فاصله از کانون (R-JB km)	متوسط سرعت موج برشی (Vs30 m/s)
۱	Loma Prieta 1989	۶/۹۲	۷/۵۸	۳۸۰/۸۹
۲	Manjil 1990	۷/۳۷	۱۲/۵۵	۷۲۳/۹۵
۳	Tabas 1978	۷/۳۵	۰	۴۷۱/۵۳
۴	Northridge 1994	۶/۶۹	۰	۵۲۵/۷۹
۵	Landers 1992	۷/۲۸	۱۱/۰۳	۳۷۹/۳۲
۶	New Zealand 1987	۶/۶۰	۱۶/۰۹	۵۵۱/۳۰
۷	Parkfield 2004	۶/۰	۲/۳۵	۵۵۸/۳۳

۲-۴- همپایه نمودن شتاب‌نگاشت‌ها

بنابر توصیه آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ بند ۲-۵-۳، زوج شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده برای تحلیل سه بعدی سازه‌ها می‌بایست مطابق با ضرایب ارائه شده در جداول ۷ و ۸ به مقیاس درآورده شوند. هر زوج شتاب‌نگاشت چنان مقیاس شده است که برای هر پریود مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مولفه‌ها، در محدوده زمان تناوبی $0.2T$ تا $1.5T$ ، بیش از ده درصد از $1/3$ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد، کمتر نشود. لازم به ذکر است طیف طرح استاندارد منعکس کننده اثر حرکت زمین برای زلزله طرح بوده و از حاصل ضرب مقادیر ضریب بازتاب ساختمان (B) در پارامترهای نسبت شتاب مبنا (A) و ضریب اهمیت ساختمان (I)، بدست می‌آید.

جدول ۷: ضرایب مقیاس متناسب با شتاب g برای شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل

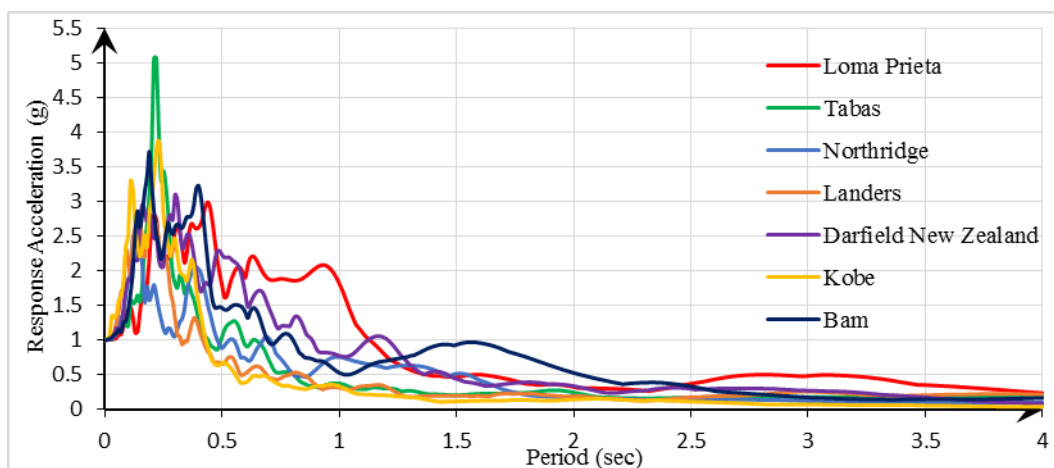
ردیف	نام زلزله (Event Name)	حداکثر شتاب در راستای X	حداکثر شتاب در راستای Y	ضریب مقیاس
۱	Loma Prieta 1989	۰/۱۵۷۰	۰/۰۸۸۰	۶/۳۶۹
۲	Tabas 1978	۰/۰۹۰۷	۰/۰۶۶۹	۱۱/۰۲۱
۳	Northridge 1994	۰/۰۴۶۰	۰/۰۶۸۴	۱۴/۶۲۰
۴	Landers 1992	۰/۰۸۰۲	۰/۰۶۰۳	۱۲/۴۶۲
۵	Darfield New Zealand 2010	۰/۱۲۱۷	۰/۱۱۶۹	۸/۲۱۷
۶	Kobe 1995	۰/۰۹۲۱	۰/۱۰۹۹	۹/۰۹۵
۷	Bam 2003	۰/۱۲۳۴	۰/۰۷۱۷	۸/۱

جدول ۸: ضرایب مقیاس متناسب با شتاب g برای شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل

ردیف	نام زلزله (Event Name)	حداکثر شتاب در راستای X	حداکثر شتاب در راستای Y	ضریب مقیاس
۱	Loma Prieta 1989	۰/۵۱۴۴	۰/۳۲۶۲	۱/۹۴۴
۲	Manjil 1990	۰/۵۱۴۵	۰/۴۹۶۸	۱/۹۴۳
۳	Tabas 1978	۰/۳۲۳۹	۰/۴۰۹۴	۲/۴۴۳
۴	Northridge 1994	۰/۵۷۱۲	۰/۹۹۴۹	۱/۰۰۵
۵	Landers 1992	۰/۲۷۳۶	۰/۲۸۳۹	۳/۵۲۲
۶	New Zealand 1987	۰/۲۸۳۹	۰/۲۴۰۸	۳/۵۲۲
۷	Parkfield 2004	۰/۱۷۰۶	۰/۱۳۹۴	۵/۸۶

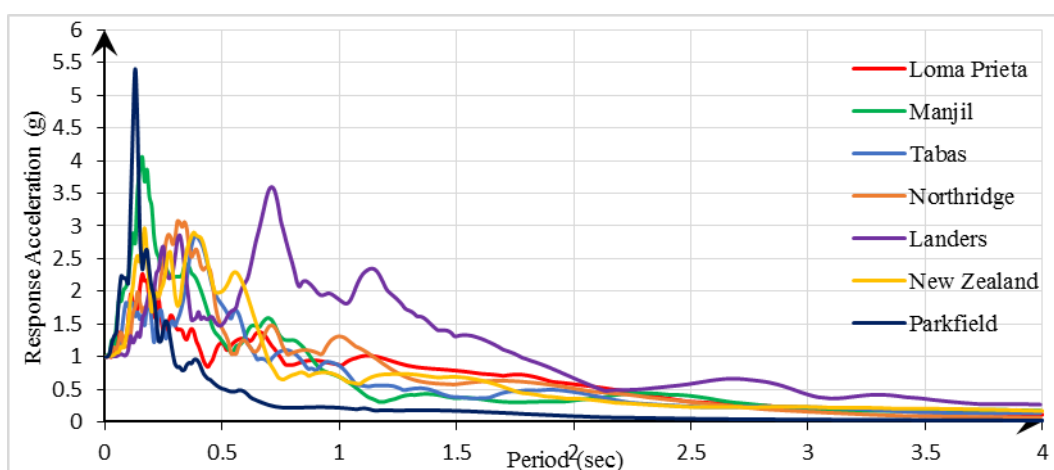
طیف پاسخ شتاب^۷ هر یک از زوج شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد مطابق با شکل ۹ برای شتاب‌نگاشت دور از گسل و شکل ۱۰ برای شتاب‌نگاشت نزدیک گسل تعیین می‌گردد.

⁷ Response Spectrum Acceleration

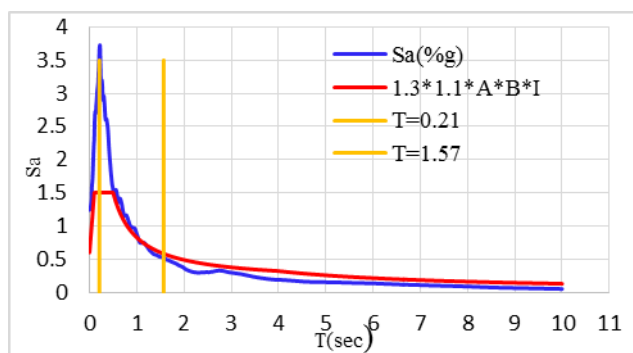


شکل ۹: طیف پاسخ شتاب شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل

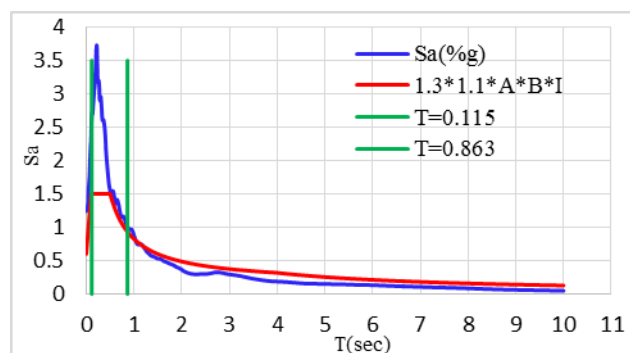
مقایسه بین مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مولفه‌ها و $1/3$ برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد، در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ برای تمامی مدل‌های ساختمانی در فواصل دور از گسل و نزدیک گسل نمایش داده شده است.



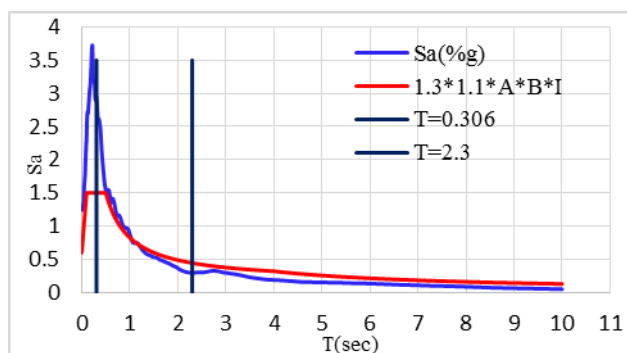
شکل ۱۰: طیف پاسخ شتاب شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل



ب



الف

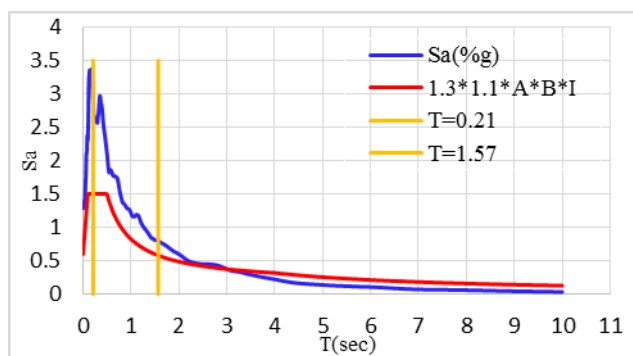


ج

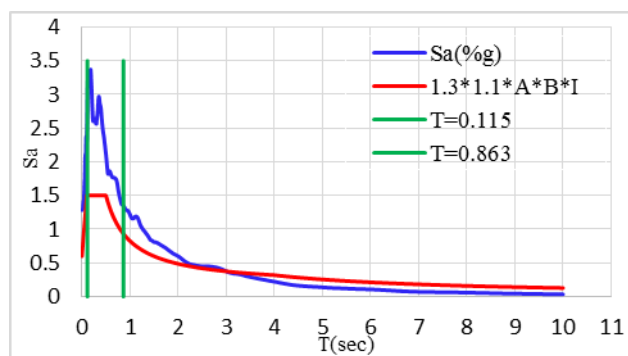
شکل ۱۱: مقایسه متوسط شتاب‌نگاشت‌های دور از گسل با ۱/۳ برابر طیف طرح استاندارد. الف) ساختمان ۳ طبقه ب) ساختمان ۶ طبقه ج) ساختمان ۱۰ طبقه

۳-۴- نتایج مفاصل پلاستیک

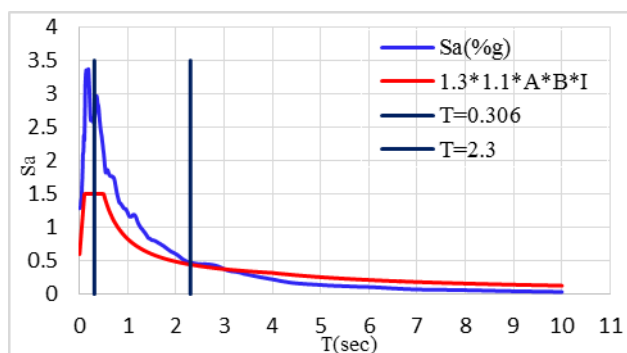
مراحل مختلف معرفی و تخصیص مفاصل پلاستیک با در نظر گرفتن میرایی ۵ درصد در تحلیل دینامیکی غیرخطی، انجام گردیده و مقادیر تغییر مکان نسبی جانبی طبقات، حداکثر جابجایی در نقطه کنترل (مرکز جرم بام) و مراحل تشکیل مفاصل پلاستیک را برای هر یک از مدل‌ها تحت رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل استخراج شده است. با توجه به کنترل نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، نمونه‌هایی از تشکیل مفاصل پلاستیک تحت یک شتاب‌نگاشت از رکوردها در فواصل دور از گسل و نزدیک گسل مطابق با شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ آورده شده است.



ب

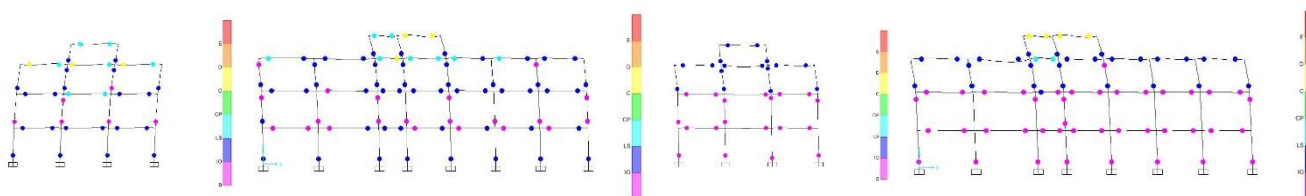


الف



ج

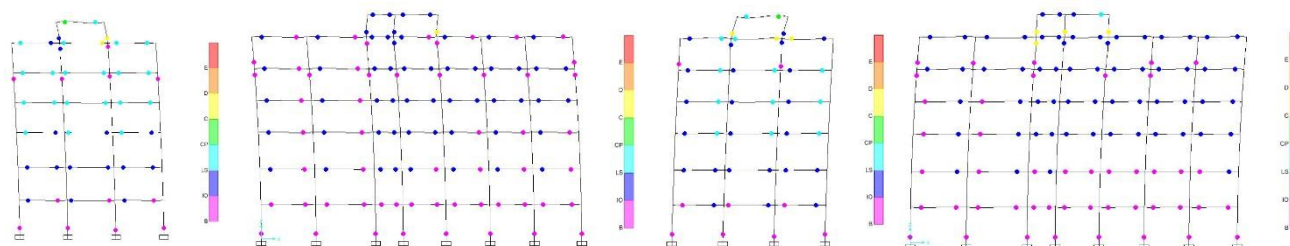
شکل ۱۲: مقایسه متوسط شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل با ۱/۳ برابر طیف طرح استاندارد. الف) ساختمان ۳ طبقه ب) ساختمان ۶ طبقه ج) ساختمان ۱۰ طبقه



ب

الف

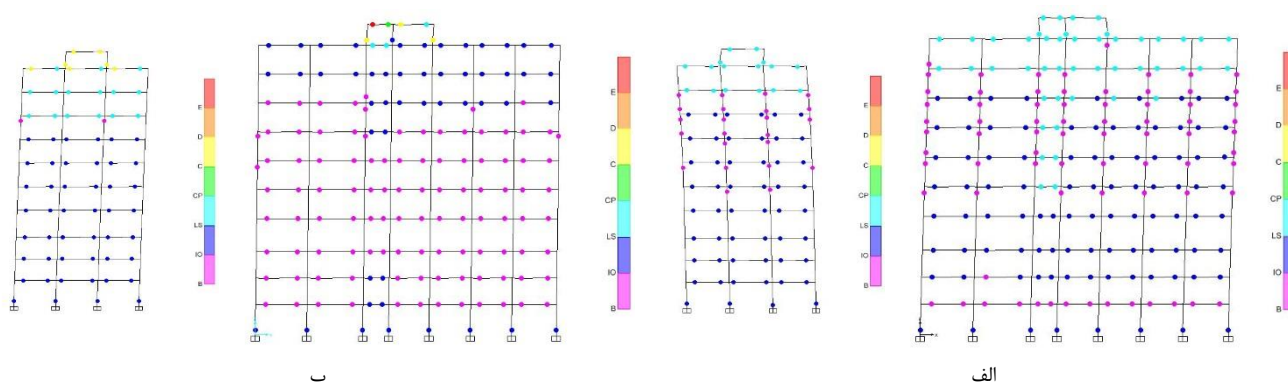
شکل ۱۳: مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان ۳ طبقه. الف) تحت شتاب‌نگاشت دور از گسل Kobe ب) تحت شتاب‌نگاشت نزدیک گسل LomaPrieta



ب

الف

شکل ۱۴: مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان ۶ طبقه. الف) تحت شتاب‌نگاشت دور از گسل Tabas ب) تحت شتاب‌نگاشت نزدیک گسل Landers



شکل ۱۵: مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ساختمان ۱۰ طبقه. الف) تحت شتاب‌نگاشت دور از گسل Darfield ب) تحت شتاب‌نگاشت نزدیک گسل New Zealand

در روش تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، هر کدام از مدل‌ها تحت ۷ زوج شتاب‌نگاشت دور از گسل و ۷ زوج شتاب‌نگاشت نزدیک گسل تحلیل شده است که در تمامی حالات، هیچ یک از مدل‌ها انتظارات آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) را برآورده نکرده‌اند و عملکرد اکثر اعضای ساختمان‌ها، وارد ناحیه عملکرد ایمنی جانی و حتی عملکردهای پایین‌تر شده است. در صورتی که با توجه به اهمیت بالای کاربری ساختمان و بر اساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ سطح عملکرد استفاده‌بی‌وقفه مورد انتظار بوده است. در کلیه رکوردهای دور و نزدیک گسل، هرچه به طبقات بالاتر ساختمان‌ها پیش می‌رویم، مفاصل پلاستیک تشکیل شده به لحاظ سطح عملکردی وضعیت بدتری نسبت به طبقات پایین‌تر خواهند داشت. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده، تحت یک رکورد ثابت (به طور مثال تحت رکوردهای نزدیک گسل)، ساختمان با تعداد طبقات بیشتر، دارای تغییرمکان نسبی بیشتر و حداکثر جابجایی مرکز جرم بام بیشتر می‌باشد. در بررسی مفاصل تشکیل شده در تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، تحت تمامی رکوردهای دور از گسل و نزدیک گسل، تیرها به مراتب بیشتر از ستون‌ها وارد ناحیه غیرخطی شده و در محدوده سطح عملکرد ایمنی جانی و حتی سطوح عملکرد پایین‌تر قرار گرفته‌اند.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از تحلیل‌های غیرخطی، به بررسی سطح عملکرد ساختمان‌های ۳ طبقه، ۶ طبقه و ۱۰ طبقه با کاربری بیمارستان، پرداخته شده است. برای این منظور، ساختمان‌ها به کمک نرم افزار SAP2000 مدل‌سازی شده‌اند. به گونه‌ای که ابتدا تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی و تا رسیدن به تغییرمکان هدف پوش داده شده‌اند. سپس به کمک تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی که متأثر از رفتار شتاب‌نگاشت‌ها می‌باشد، بررسی‌های مورد نظر روی مدل‌ها انجام گرفته است. با توجه به مطالعات به عمل آمده و بررسی جداول و اشکال، برای تعیین سطح عملکرد بناهای با اهمیت بالا که در این تحقیق ساختمان یک بیمارستان مورد ارزیابی قرار گرفته، نتایج ذیل حاصل شده است:

- در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، در ساختمان ۳ طبقه و ۶ طبقه به دلیل آنکه تا قبل از رسیدن سازه به تغییرمکان هدف، هیچ مفصلی وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی نشده است، بنابراین این ساختمان‌ها انتظارات تامین سطح عملکرد برای ساختمان با اهمیت بالا را فراهم نموده‌اند. اما در ساختمان ۱۰ طبقه تا قبل از رسیدن سازه به تغییرمکان هدف، تعداد ۸ مفصل وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی شده است.
- در تحلیل استاتیکی غیرخطی ساختمان‌ها، اعضای سازه (تیرها و ستون‌ها) در طبقات زیرین نسبت به طبقات بالاتر بیشتر وارد ناحیه غیرخطی شده و به عبارتی تمرکز مفاصل پلاستیک تشکیل شده در طبقات پایین‌تر بیشتر می‌باشد. لذا با افزایش تعداد طبقات اعضای بیشتری از سازه وارد ناحیه سطح عملکرد ایمنی جانی شده و این مسئله در ساختمان‌های با ارتفاع خیلی زیاد حائز اهمیت است.

- در تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، هیچ یک از مدل‌های ساختمانی انتظارات آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) را برآورده نکرده‌اند و عملکرد اکثر اعضای ساختمان‌ها با عبور از سطح عملکرد استفاده بی وقفه وارد ناحیه عملکرد ایمنی جانی و حتی عملکردهای پایین‌تر شده است. در صورتی که با توجه به اهمیت بالای کاربری ساختمان، سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه مد نظر بوده است.
- در روش تحلیل دینامیکی تاریخچه‌زمانی غیرخطی، نظر به اینکه از دو گروه شتاب‌نگاشت (در فواصل دور از گسل و نزدیک گسل) استفاده شده است، مشاهده می‌شود که مدل‌های ساختمانی مورد مطالعه تحت تاثیر شتاب‌نگاشت‌های نزدیک گسل وضعیت به مراتب آسیب پذیرتری از خود نشان می‌دهند.

مراجع

- [1] Sonwane, D. P., & Ladhane, K. B. (2015, June). Seismic Performance based Design of Reinforced Concrete Buildings using Nonlinear Pushover Analysis. In *International Journal of Engineering Research and Technology* (Vol. 4, No. 06, June-2015). IJERT.
- [2] Medhekar, M. S. (2000). Kennedy DJ L. Displacement-based Seismic Design Of Buildings-theory and Application. *Engineering Structures*, 22, 201-222.
- [۳] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم". ۱۳۹۳.
- [4] Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of structures* (Vol. 3, p. 339). New Jersey: Prentice Hall.
- [۵] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور "دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰، تجدید نظر اول". ۱۳۹۲.
- [6] Zou, X. K., & Chan, C. M. (2005). Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis. *Engineering Structures*, 27(8), 1289-1302.
- [7] Sood, Sudhanshu. (2010). *Performance Based Seismic Design of Buildings*. Diss. THAPAR UNIVERSITY PATIALA.
- [8] Ganzerli, S., Pantelides, C. P., & Reaveley, L. D. (2000). Performance-based design using structural optimization. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 29(11), 1677-1690.
- [۹] حسنی ججینی، حمیدرضا؛ مرادی شقاقی، طالب؛ واثقی امیری، جواد. "ارزیابی سطح عملکرد ساختمان‌های ضروری بتن‌آرمه پنج و هفت طبقه در نواحی با خطر لرزه‌خیزی سطح خطر ۱ با روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌زمانی روش انتگرال‌گیری مستقیم". اولین همایش سالانه (ملی) ساختمان آینده، ایران، مازندران، ساری، کانون مهندسی ساری، اردیبهشت ۱۳۹۲.
- [۱۰] محمودی صاحبی، موسی؛ قبادی، عباس. "ارزیابی اهداف طراحی لرزه‌ای بناهای ضروری در آئین‌نامه ۲۸۰۰". چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷.
- [۱۱] بدر ولی زاد، مجید؛ مرادی شقاقی، طالب. "بررسی ضوابط طراحی بناهای ضروری بتنی بر اساس عملکرد استفاده بی‌وقفه". پنجمین کنفرانس ملی سالانه بتن ایران، تهران، مهر ۱۳۹۲.
- [12] Applied Technology Council, ATC-40. (1997). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, California Seismic Safety Commission.
- [13] Council, B. S. S. (1997). *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings*, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [14] Council, B. S. S. (1997). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [15] Ghobarah, A. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: state of development. *Engineering structures*, 23(8), 878-884.
- [16] American Society of Civil Engineers (ASCE). (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*. FEMA-356, Washington, D.
- [17] ATC. (1996). *40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Applied Technology Council, report ATC-40. Redwood City.
- [18] Priestley, M. J. N. (2000). Performance based seismic design. *Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering*, 33(3), 325-346.
- [19] AIJ. (2007). *Structural steelwork specification for building construction*, JASS 6. Architecture Institute of Japan: Tokyo, Japan.

- [20] CSA. (2009). *Design of steel structures*, CAN/CSA S16-09. Canadian Standards Association: Mississauga, ON, Canada.
- [21] AISC. (2010). *Seismic provisions for structural steel buildings*, ANSI/AISC 341-10. American Institute of Steel Construction: Chicago, IL.
- [22] Westenek, B., de la Llera, J. C., Besa, J. J., Jünemann, R., Moehle, J., Lüders, C., ... & Hwang, S. J. (2012). Response of reinforced concrete buildings in Concepción during the Maule earthquake. *Earthquake Spectra*, 28(S1), S257-S280.
- [23] Okazaki, T., Lignos, D. G., Midorikawa, M., Ricles, J. M., & Love, J. (2013). Damage to steel buildings observed after the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Earthquake spectra*, 29(S1), S219-S243.
- [۲۴] پاک نیت، شایان؛ پاک نیت، احسان. "تحلیل‌های مورد نیاز در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها". چاپ سوم، تهران، متفکران: لویه ۱۳۹۰.
- [۲۵] میرزایی، امین. "کاربرد روش زمان دوام در طراحی بر اساس عملکرد قاب‌های فولادی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، شهریور ۱۳۸۶.