

# اثر مقیاس‌بندی جغرافیایی زمین‌لرزه‌های منطقه‌ای بر تحلیل ساختمان‌های بتن آرمه با سیستم قاب خمشی هیلا بهاری

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

علیرضا مرتضایی<sup>۱</sup>

دانشیار، مرکز تحقیقات ژئوتکنیک لرزه‌ای و بتن توانمند، گروه مهندسی عمران، واحد سمنان،

دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵

## 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. در این پایان‌نامه، تأثیر مقیاس‌بندی رکورد‌های حوزه دور و نزدیک همزمان در چهار آیین‌نامه شامل ASCE07-10، IBC2006، UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم مورد بررسی قرار گرفته است. از سه ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه برای تحلیل ساختمان‌ها به عنوان نماینده ساختمان‌های کوتاه- و میان‌مرتبه استفاده شده است. نتایج تحلیل نشان داد که در ساختمان‌های ۴ و ۷ طبقه استاندارد ۲۸۰۰ ایران ضوابط سختگیرانه‌تری نسبت به سایر آیین‌نامه‌ها دارد. اما با افزایش تعداد طبقات (سازه ۱۰ طبقه)، هر ۴ آیین‌نامه یک نوع عملکرد را دارند و بسته به نوع و مشخصات زلزله ( $M_w$  و  $PGA$ ) می‌توانند حداکثر شوند. در واقع می‌توان بیان کرد برای ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه، استاندارد ۲۸۰۰ ایران نیازمند ضوابط مقیاس‌بندی جداگانه‌ای می‌باشد. مقدار گریز در آیین‌نامه ASCE 07 مقدار ۹۴٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ ایران کاهش داشته است. همچنین این نسبت برای آیین‌نامه IBC2006، مقدار ۹۳٪ و برای آیین‌نامه UBC 97، ۸۹٪ کاهش داشته است.

**کلمات کلیدی:** مقیاس‌بندی، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، تغییر مکان نسبی، زلزله دور و نزدیک

## مقدمه

تحت اثر زلزله‌های شدید، خسارت‌های جبران ناپذیری به سازه‌ها وارد می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که سازه‌ها تحت اثر زمین‌لرزه‌های مخرب وارد مرحله غیرارتجاعی می‌شوند. لذا 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 قابل توجهی است، وارد محدوده غیرارتجاعی می‌شوند تا با تغییر شکل‌های خود بتوانند این انرژی را جذب کنند. با وارد شدن اعضای سازه‌ها به محدوده غیرارتجاعی، تغییر شکل‌های ماندگاری در سازه به وجود می‌آید (Bommer & Acevedo, 2004: 7) و (Boore, 2003:5).

شوم<sup>۱</sup> و همکاران براساس پژوهش‌های انجام شده دریافتند که مقیاس‌بندی رکوردهای زمین‌لرزه با در نظر گرفتن شتاب طیفی هدف تا میرایی ۰.۵٪ برای زلزله رخ داده که دارای بزرگا و فاصله یکسانی است برای تعیین پاسخ غیرخطی سازه بسیار مؤثر خواهد بود. بیکر و کرنل<sup>۲</sup> نیز اندازه شدت زلزله (IM) که شامل ۲ پارامتر شتاب طیفی و اپسیلون می‌شود را برای پیش‌بینی پاسخ سازه در پیوند زلزله مشخص شده در نظر گرفتند، زیرا در نظر گرفتن زمین-لرزه براساس اپسیلون نشان‌دهنده خوبی از شکل طیفی خواهد بود. همچنین، بیکر و کرنل طیفی به نام طیف متوسط شرطی را با در نظر گرفتن E، (CMS-E) برای تعیین شتاب طیفی هدف در پیوند پایه سازه T<sub>1</sub> و برای پیوستگی شتاب‌های طیفی در پیوندهای متفاوت برای زوج شرطی M-D مطرح کردند. در نتیجه دریافتند که تحلیل طیفی زمین لرزه‌ها در مقایسه با طیف خطر لرزه‌ای یکنواخت برای محدوده وسیعی از زمان تناوب نتایج محافظه کارانه‌تری را ایجاد می‌کند زیرا: (۱) پیوند کوتاه و بلند طیف مورد نظر توسط عوامل مختلفی بدست می‌آید. (۲) اثر پیوستگی در طیف مورد نظر در پیوندهای متفاوت در روند توسعه UHS (طیف خطر لرزه‌ای یکنواخت) تأثیری ندارد (Baker & Cornell, 2006:8 و Cornell, 2005:6). عبدالله و همکاران (۱۳۹۹: ۹) میزان تاب‌آوری کالبدی در نواحی شهری را با استفاده از روش الکترون مورد ارزیابی قرار دادند. پورشریفی و همکاران (۱۴۰۰: ۵) نیز تاب‌آوری کالبدی شهر قزوین در برابر زلزله را با رویکرد ساختگاه طبیعی شهر مورد بررسی و سنجش قرار دادند.

در این پژوهش عملکرد ۳ ساختمان با تعداد طبقات (۴، ۷ و ۱۰ طبقه) و طول دهانه ۵ متر با سیستم قاب خمشی تحت ۱۴ رکورد زلزله (۷ رکورد نزدیک‌گسل و ۷ رکورد دور از گسل) در آیین‌نامه‌های، ASCE07، IBC2006 و UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا تحلیل استاتیکی معادل و سپس تحلیلی تاریخیچه زمانی غیرخطی انجام شده است. تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده و تغییر مکان نسبی ساختمانها نیز با یکدیگر مقایسه شده است. تحلیل ساختمان‌ها و انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها در نرم‌افزار SAP 2000 انجام و نتایج مربوط به هر یک از ساختمان‌ها ارائه و تفسیر گردیده است. این نرم‌افزار یک برنامه قدرتمند جهت تحلیل و طراحی سازه‌های

<sup>1</sup> Shome

<sup>2</sup> Baker & Cornell

ساختمانی، پل‌ها، منابع ذخیره آب و ... می‌باشد که حاصل تلاش گروه مهندسی سازه و کامپیوتر<sup>۱</sup> (CSI) وابسته به دانشگاه برکلی در ایالت کالیفرنیا آمریکا است. محیط مدل‌سازی گرافیکی سه‌بعدی باعث شده به سادگی بتوان به طرح‌ها تجسم بخشید و سپس انواع تحلیل‌های لازم را روی آن انجام داد. این نرم‌افزار تمامی نیازهای لازم برای طراح را یکجا فراهم آورده و در ساخت سازه‌ها از این نرم‌افزار به طور عملی استفاده می‌شود. هدف از این پژوهش، تأثیر مقیاس بندی زمین لرزه‌های حوزه دور و نزدیک بر عملکرد ساختمان‌های بتن‌آرمه با سیستم قاب خمشی می-باشد. به این منظور، سه ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با سیستم قاب خمشی بتن‌آرمه متوسط در شهر سمنان در نظر گرفته شده و براساس چهار آیین‌نامه<sup>۲</sup> ASCE 07-10،<sup>۳</sup> IBC2006 و استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم با یکدیگر مقایسه شده‌اند (ASCE/SEI 41-06, 2007:114).

### وضعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی گستره مورد مطالعه

استان سمنان از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال و شمال شرقی ایران و در قسمت جنوبی رشته کوه البرز، بین عرضهای جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۴ دقیقه و ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه و ۵۷ درجه و ۳ دقیقه شرقی نسبت به نصف النهار مبداء قرار گرفته است. این استان از ناحیه شرقی با استانهای خراسان شمالی و رضوی، از ناحیه غربی با استان تهران، از ضلع جنوبی با استانهای اصفهان، یزد و قم و از ضلع شمالی با استانهای گلستان و مازندران همجواری دارد (شکل ۱). استان سمنان در دامنه‌های جنوبی بلندی‌های البرز (مرکزی-خاوری) و در حاشیه‌ی شمالی کویر بزرگ قرار دارد (واعظی، ۱۳۹۱:۴۳). لذا از نگاه زمین‌شناسی به دو پهنه ساختار البرز (مرکزی) و ایران مرکزی تعلق دارد. در شمال سمنان (گسل سمنان) به عنوان حد جداکننده‌ی البرز از ایران مرکزی دانسته شده است. در حالی که در ۳۱ کیلومتری خاوری سمنان (گسل عطاری) مرز دو پهنه‌ی ساختاری-رسوبی ایران مرکزی معرفی شده است. گسلهای سمنان و عطاری دو حادثه تکتونیکی عمده هستند که در راستای تقریبی شمال خاوری، جنوب باختری از بخش‌های شمالی استان سمنان عبور می‌کنند.

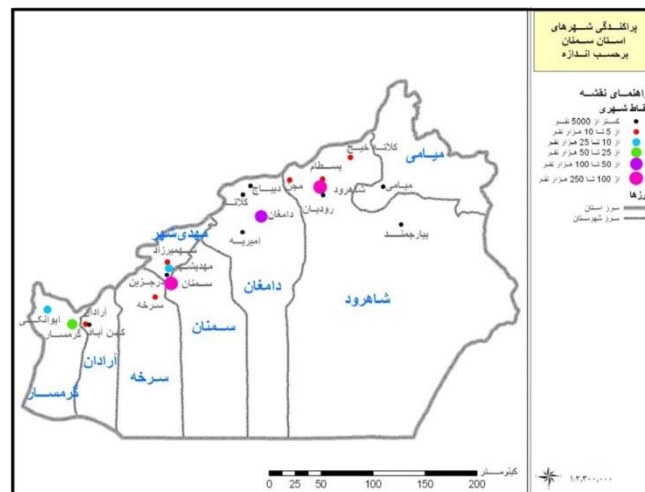


<sup>1</sup> Computers and Structures, Inc

<sup>2</sup> American Society of Civil Engineers

<sup>3</sup> International Building Code 2006

<sup>4</sup> Uniform Building Code 97



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی گستره مورد مطالعه (مطالعات برنامه آمایش استان سمنان، ۱۳۹۵: ۵۶)

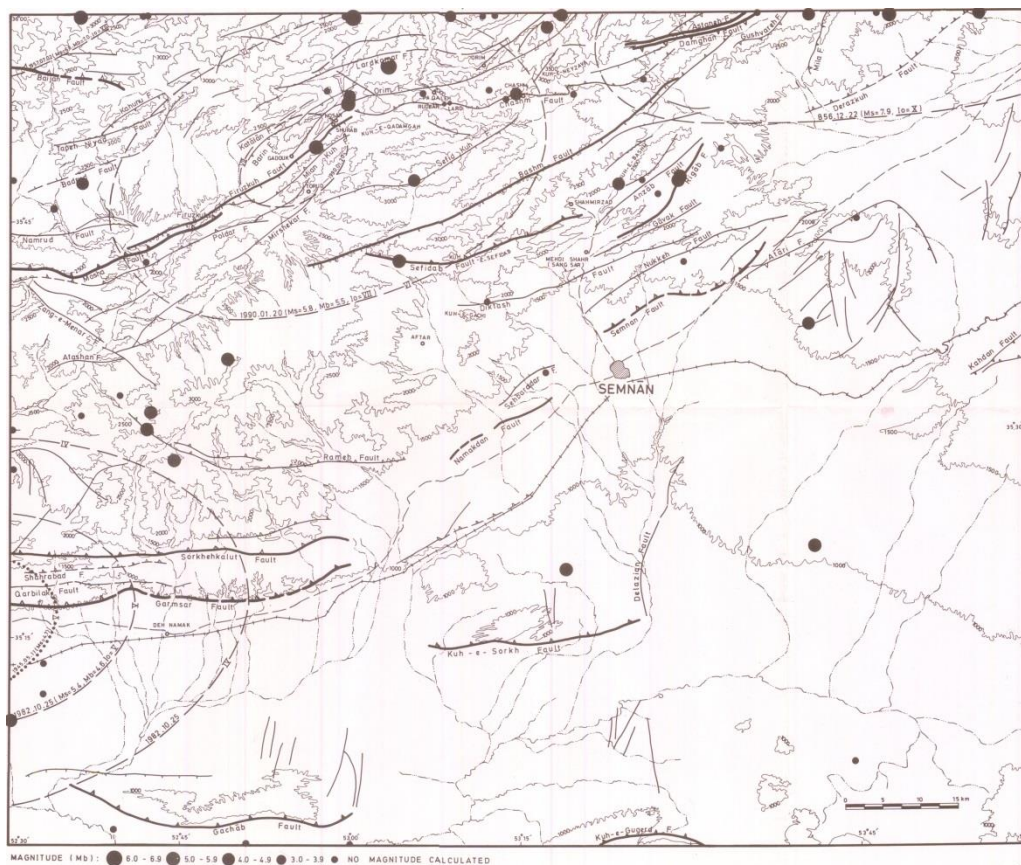
داده‌های منطقه‌ای و به ویژه مقایسه خاصه‌های زمین‌شناسی نواحی واق در شمال (البرز) و جنوب (ایران مرکزی) گسل‌های سمنان و عطاری نشان می‌دهد که تفاوت‌های زمین‌شناسی چندان آشکاری بین بخش شمالی استان سمنان (البرز) و بخش جنوبی آن (ایران مرکزی) وجود ندارد. به بیان دیگر، بخش البرز استان سمنان به واق چین‌های حاشیه ایران مرکزی هستند. با این حال، تکتونیک بلوکی و حوضه‌های رسوبی محدود به زونهای گسلی سبب شده‌اند، در لیتولوژی و ضخامت واحدهای سنگ چینه‌ای هم سن و هم‌زمان تفاوت‌هایی ایجاد شود.

در یک روند تقریبی از شمال به جنوب، پهنه استان سمنان را می‌توان به چند واحد ساختاری-رسوبی جدا و به شرح زیر تقسیم کرد. حاشیه شمالی استان سمنان (شمال راه گرمسار- سمنان- دامغان- شاهرود) بخشی از دامنه جنوبی کوه‌های البرز است که مورفولوژی خشن و بلند دارد و به طور معمول، از آن به عنوان البرز مرکزی-شرقی یاد می‌شود. در این بخش، چین‌ها به صورت تاقدیس‌ها و ناودیس‌های باریک و طولی هستند که عموماً پهلوئی جنوبی آن‌ها در اثر عملکرد گسل‌های راندگی بریده و به سمت جنوب جابه‌جا شده‌اند (همان، ۱۳۹۵: ۳۱).

کهن‌ترین سنگ‌های این بخش (البرز) ترادف شیل و سنگ ماسه‌های سبز رنگ و توفی سازند کهر (کهار) هستند که به مقدار ناچیز در هسته تاقدیس‌ها رخنمون دارند. توالی‌های پرکامبرین-پسین-تریاس میانی، انباشته‌های قاره‌ای-دریاهای کم ژرفا هستند که محیط‌های قاره‌ای را تداعی می‌کنند. سنگ‌های یادشده (پرکامبرین-پسین-تریاس میانی) که بیشتر از نوع سنگ آهک دولومیت، سیلت سنگ، شیل و سنگ ماسه هستند، توالی کاملی از سنگ‌های این زمان نیستند، بلکه در این توالی نبوده‌های چینه‌شناسی متعدد و مهمی مشاهده می‌شود که گاهی از نظر زمانی و مکانی در خور توجه‌اند. ناپوستگی‌های رسوبی موردنظر به طور عموم از نوع دگرشیبی‌های موازی و معرف حرکت‌های زمین‌ساختی زمین‌ها هستند. با این حال، سنگ‌های آتشفشانی این مجموعه که سن اردوسین-دوینین را دارند، حاکی از نخستین شکستگی پلاتفرم پالئوزوئیک‌اند.

سنگ‌های تریاس بالاژوراسیک میانی، از نوع شیل و ماسه‌سنگ‌های ذغال‌دار هستند (سازند شمشک) که به ویژه در نواحی دامغان و شاهرود رخنمون دارند. این رسوب‌های ذغال‌دار، معرف حوضه‌های رسوبی کم ژرفایی هستند که به صورت باتلاق و مرداب در پیش بوم ارتفاعات انباشته شده‌اند.

ایجاد راندگی‌های این منطقه، حاصل از کشیده شدن بخشی از کمربند البرز در اثر کارکرد یک سامانه گسلی شمال خاوری جنوب باختری با ساز و کار چیره راستالغز چپ‌بر است. این سامانه گسلی که با درازای بیش از ۹۴۴ کیلومتر، از جنوب سمنان تا شمال گنبدکاووس ادامه یافته است، نسبت به کمربند کوهستانی البرز به طور مایل قرار دارد و سبب نازک‌شدگی پهنای کمربند و رخنمون یافتن سنگهای مربوط به پالئوزوئیک در شمال بسطام شده است. گسلهای متعددی همچون گسلهای سمنان، عطاری، شاهرود، شاهوار و شاهکوه را می‌توان از اجزاء این سامانه گسلی به حساب آورد (شکل ۲).

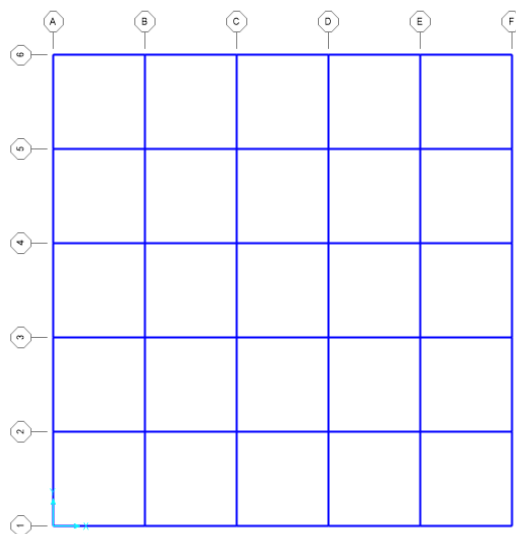


شکل ۲- نقشه گسلهای فعال سمنان (Berberian, 1996:78)

### روش تحقیق

در این تحقیق ۳ ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با ۵ دهانه به طول ۵ متر واقع در شهر سمنان در نظر گرفته شده است (شکل ۳). ارتفاع سازه‌های طبقات ۳/۲ متر و سیستم مقاوم سازه‌ای در برابر زلزله، قاب خمشی با شکل پذیری متوسط می‌باشد. بار مرده وارد بر قاب‌ها  $500 \text{ kg/m}^2$  و بار زنده وارد بر قاب‌ها  $200 \text{ kg/m}^2$  است. مقاومت مشخصه فشاری بتن برابر  $250 \text{ kg/cm}^2$  بوده و همچنین ضریب ارتجاعی بتن بر اساس مبحث نهم (۱۳۹۲: ۳۴) مقررات ملی

ساختمان محاسبه و به سازه‌ها اعمال گردیده است. ضریب ترک‌خوردگی طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (۱۳۹۵: ۳۴) برای تیرها ۰/۳۵ و برای ستون‌ها ۰/۷ در قاب خمشی در نظر گرفته شده است. ضریب اهمیت ساختمان برابر ۱ و ساختمان‌ها در منطقه با خطر لرزه‌خیزی زیاد قرار دارند. اثر مولفه قائم برای تمامی ساختمان‌ها منظور شده و برای طراحی اسکلت بتن‌آرمه از آیین‌نامه ACI 318-14 (2014:145) استفاده شده است. طراحی به گونه‌ای صورت گرفته است که نسبت تنش‌ها در مقاطع بین ۰/۷ و ۱ بوده (Mortezaei, 2014:5 و Mortezaei & Motaghi, 2016:7) و نسبت تغییرمکان نسبی بین طبقات براساس ضوابط آیین‌نامه کنترل می‌گردد.



شکل ۳- پلان سازه مورد بررسی (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

در تحلیل دینامیکی غیرخطی، تغییرشکل و نیروهای داخلی و به طور کلی پاسخ سازه با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی مصالح و رفتار غیرخطی هندسی سازه تحت شتاب‌نگاشتی مشخص، محاسبه می‌شود. 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 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 کمک مدل‌سازی نرم‌افزاری به سازه وارد می‌کنیم. به طوری 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 است. مشکل تحلیل این است که انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی معمولاً روندی طولانی و وقت‌گیر دارند و به همین علت غالباً از آنها برای طراحی سازه‌های خاص و بسیار پراهمیت استفاده می‌کنند. برای انجام این تحلیل باید مراحل زیر طبق آیین‌نامه‌های مربوطه انجام شود. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم جهت انجام تحلیل تاریخیچه زمانی باید حداقل سه زوج شتاب-نگاشت متعلق به مؤلفه‌های افقی سه زلزله مختلف ثبت شده که دارای ویژگی‌های مذکور در بند ۲-۵-۳-۱ استاندارد ۲۸۰۰ باشند انتخاب گردند. در مواردی که تعداد مورد نیاز از زوج شتاب‌نگاشت‌های مناسب ثبت شده در دسترس نباشد، می‌توان از زوج شتاب‌نگاشت‌های شبیه‌سازی شده مناسب برای تکمیل تعداد آنها استفاده کرد. زوج

شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده باید به روش مذکور در بند ۲-۳-۵-۲ این استاندارد به مقیاس درآورده شوند. تحلیل تاریخیچه‌زمانی در نرم افزارهای محاسباتی به دو روش مودال و انتگرال گیری مستقیم صورت می پذیرد ( Avik (Samanta & Yin-Nan Huang, 2017:12).

همچنین، سطح عملکرد ساختمان بر مبنای عملکرد اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای به اختصار با یک رقم برای عملکرد اجزای سازه‌ای و یک حرف برای عملکرد اجزای غیرسازه‌ای نشان داده می‌شود. سطوح عملکرد ساختمان در تعیین هدف بهسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سطح عملکرد ساختمان میزان آسیب‌پذیری اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای را نشان می‌دهد (دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره ۳۶۰، ۱۵۶:۱۳۹۲).

### سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای

سطوح عملکرد اجزای سازه‌ای شامل چهار سطح عملکرد اصلی و دو سطح عملکرد میانی است.

سطوح عملکرد اصلی عبارتند از:

الف) سطح عملکرد ۱: قابلیت استفاده بی‌وقفه IO

ب) سطح عملکرد ۳: ایمنی جانی LS

پ) سطوح عملکرد ۵: آستانه فروریزش CP

ت) سطح عملکرد ۶: لحاظ نشده N

سطوح عملکرد میانی عبارتند از:

ث) سطح عملکرد ۲: خرابی محدود

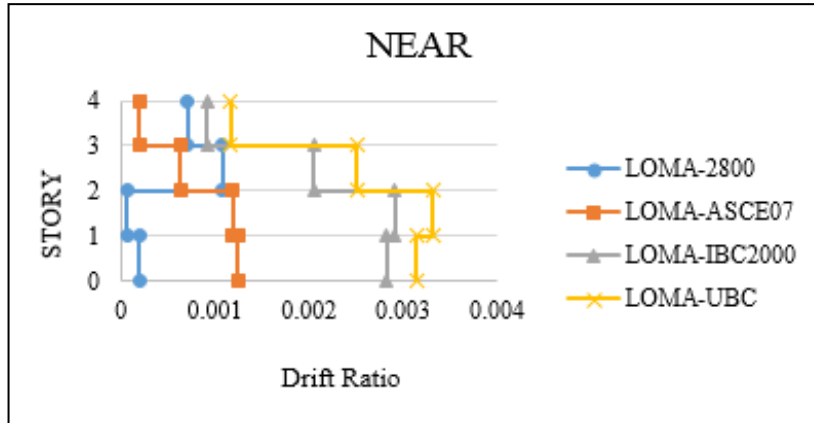
ج- سطح عملکرد ۴: ایمنی جانی محدود

رفتار شکل‌پذیر المان‌های سازه‌ای به جهت حفظ مقاومت سازه در برابر اثرات مخرب زلزله از اهمیت زیادی برخوردار است. اجزای سازه‌ای وقتی تحت بارهای جانبی بزرگتر از مقاومتشان قرار می‌گیرند در نواحی که ظرفیت خمشی مقطع کمتر از طلب تلاش وارده باشد، ناحیه‌ای خمیری شکل می‌گیرد که به آن مفصل پلاستیک اطلاق می‌شود. در یک سازه خوش رفتار فرض بر آن است که جذب انرژی زلزله در این نواحی خرابی اتفاق افتاده به طوریکه هر چقدر طول این ناحیه خرابی در عضو بیشتر باشد سازه شکل‌پذیرتر عمل می‌کند ( Haselton et al., 2011:7).

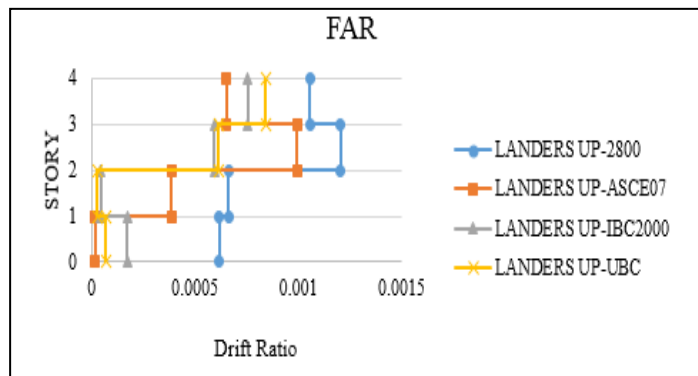
### بحث و بررسی نتایج

به منظور مقایسه نیازهای لرزه‌ای، ساختمان‌های توصیف شده در بخش قبل با استفاده از روندهای استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌گردد حداکثر نسبت دررفت در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در طبقه سوم، در آیین‌نامه ASCE 07، در طبقه اول، در آیین‌نامه IBC در طبقه دوم و در آیین‌نامه UBC، در طبقه دوم رخ داده است به طوریکه نسبت دررفت در آیین‌نامه ASCE07 نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ۱۲٪ افزایش، در آیین‌نامه IBC نسبت به ۲۸۰۰، ۶۲٪ افزایش و در آیین‌نامه UBC،

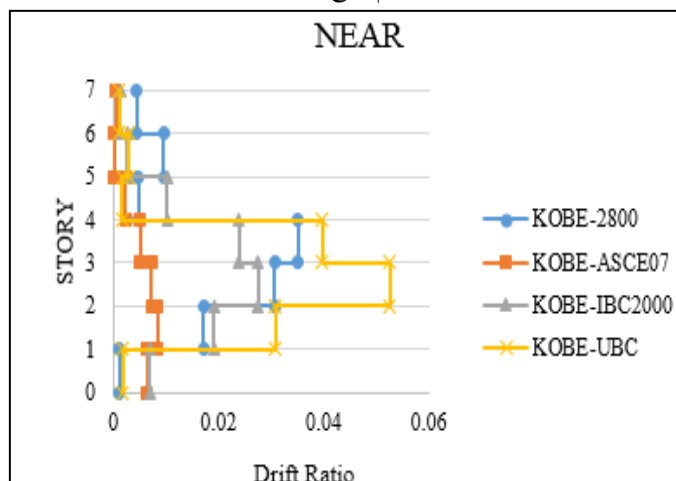
۶۷٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ افزایش داشته است.



شکل ۴- مقایسه طیف‌های پاسخ رکورد نزدیک‌گسل Loma در ساختمان ۴ طبقه براساس آیین‌نامه‌های ASCE07، IBC2006 و UBC 97 و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)



شکل ۵- مقایسه طیف‌های پاسخ رکورد دور ازگسل Landers UP در ساختمان ۴ طبقه براساس آیین‌نامه‌های ASCE07، IBC2006، UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

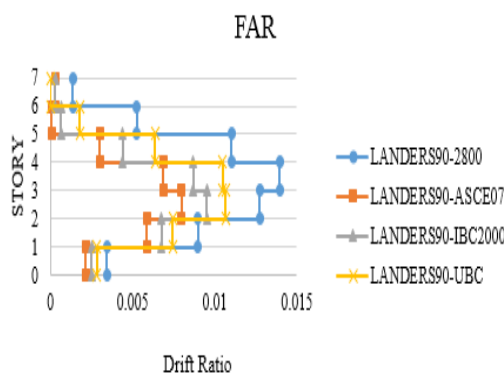


شکل ۶- مقایسه طیف‌های پاسخ رکورد نزدیک‌گسل Kobe در ساختمان ۷ طبقه براساس آیین‌نامه‌های ASCE07، IBC2006، UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)



با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌گردد حداکثر نسبت دررفت در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در طبقه سوم، در آیین‌نامه ASCE 07، در طبقه سوم، در آیین‌نامه IBC در طبقه چهارم و در آیین‌نامه UBC، در طبقه چهارم رخ داده است به طوریکه نسبت دررفت در آیین‌نامه ASCE07 نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ۱۷/۵٪ کاهش، در آیین‌نامه IBC، ۳۷/۵٪ کاهش و در آیین‌نامه UBC، ۳۰٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ کاهش داشته است.

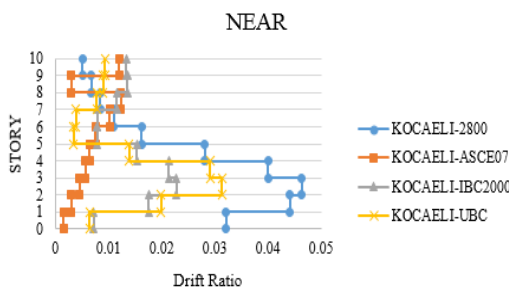
با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌گردد حداکثر نسبت دررفت در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در طبقه چهارم، در آیین‌نامه ASCE 07، در طبقه دوم، در آیین‌نامه IBC در طبقه سوم و در آیین‌نامه UBC، در طبقه سوم رخ داده است به طوریکه نسبت دررفت در آیین‌نامه ASCE07 نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ۷۶٪ کاهش، در آیین‌نامه IBC ۲۳٪ کاهش و در آیین‌نامه UBC، ۳۳٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ افزایش داشته است.



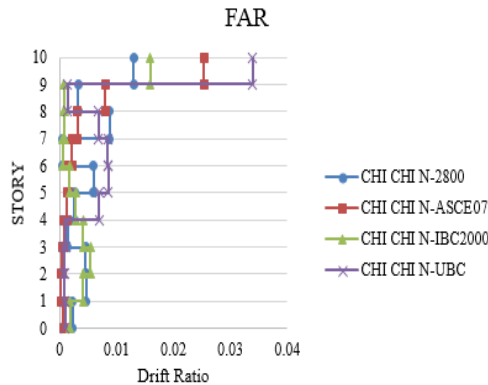
شکل ۷- مقایسه طیف‌های پاسخ رکورد دور از گسل Landers 90 در ساختمان ۷ طبقه براساس آیین‌نامه‌های ASCE07، IBC2006، UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌گردد حداکثر نسبت دررفت در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در طبقه چهارم، در آیین‌نامه ASCE 07، در طبقه سوم، در آیین‌نامه IBC در طبقه سوم و در آیین‌نامه UBC، در طبقه سوم رخ داده است به طوریکه نسبت دررفت در آیین‌نامه ASCE07 نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ۴۳٪ کاهش، در آیین‌نامه IBC ۳۱٪ کاهش و در آیین‌نامه UBC، ۲۳٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ کاهش داشته است.

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌گردد حداکثر نسبت دررفت در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در طبقه سوم، در آیین‌نامه ASCE 07، در طبقه هشتم، در آیین‌نامه IBC در طبقه سوم و در آیین‌نامه UBC، در طبقه سوم رخ داده است به طوریکه نسبت دررفت در آیین‌نامه ASCE07 نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ۷۳٪ کاهش، در آیین‌نامه IBC ۵۲٪ کاهش و در آیین‌نامه UBC، ۳۳٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ کاهش داشته است.



شکل ۸- مقایسه طیف‌های پاسخ رکورد نزدیک گسل Kocaeli در ساختمان ۱۰ طبقه براساس آیین‌نامه‌های ASCE07، IBC2006، UBC97 و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

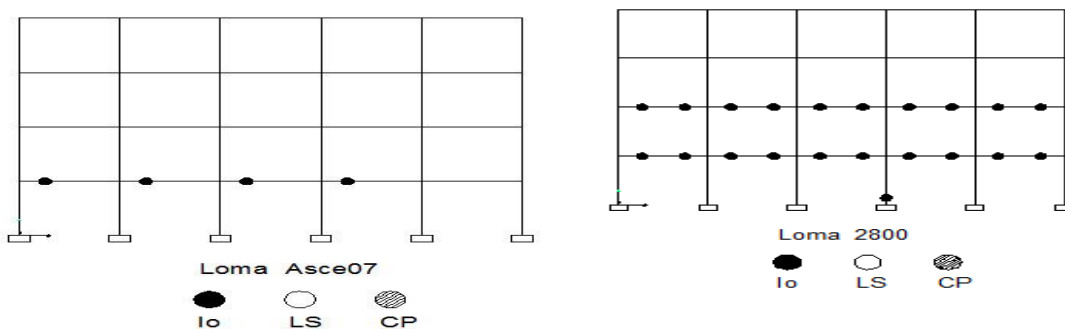


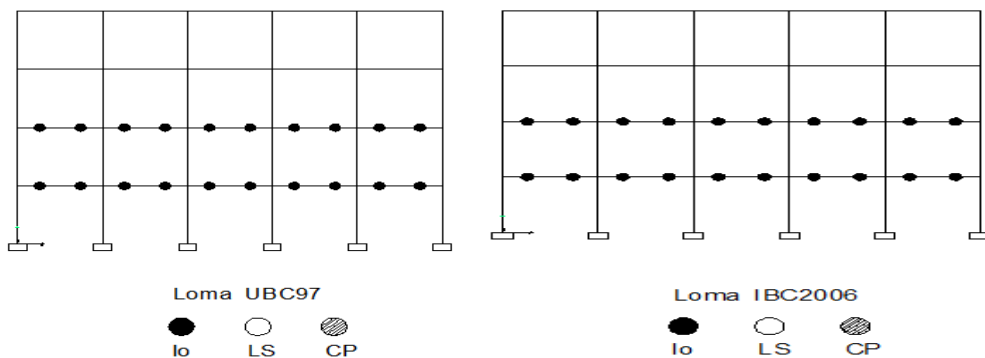
شکل ۹- مقایسه طیف‌های پاسخ رکورد دور ازگسل Chi Chi N در ساختمان ۱۰ طبقه براساس آیین‌نامه‌های UBC97, IBC2006, ASCE07 و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌گردد حداکثر نسبت دریفت در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در طبقه دهم، در آیین‌نامه ASCE 07، در طبقه دهم، در آیین‌نامه IBC در طبقه دهم و در آیین‌نامه UBC، در طبقه دهم رخ داده است به طوریکه نسبت دریفت در آیین‌نامه ASCE07 نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ مقدار ۴۸٪ افزایش، در آیین‌نامه IBC ۱۸٪ افزایش و در آیین‌نامه UBC، ۶۱٪ نسبت به استاندارد ۲۸۰۰ افزایش داشته است.

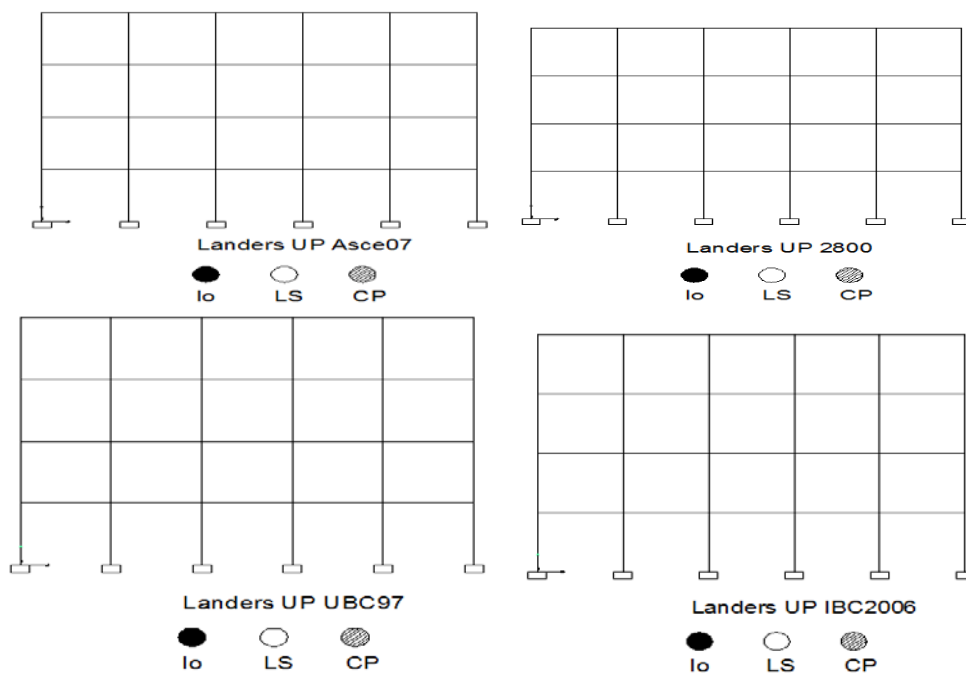
#### نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک

تشکیل مفاصل پلاستیک و نحوه توزیع آنها و مکانیزم شکست نقش بسیار مهمی را در طراحی لرزه ای سازه می‌تواند ایفا نماید. نوع مکانیزم بر حساسیت قاب نسبت به اثرات ثانویه و مقدار شکل پذیری کلی و موضعی و میزان جذب انرژی و پایداری سازه تا قبل از خسارت و ناپایداری کلی و انهدام اثر می‌گذارد. مکانیزم شکست قابهای خمشی تحت اثر زلزله را می‌توان در سه نوع عمده (اول و دوم و سوم) در نظر گرفت. مکانیزم نوع اول مکانیزم حاصل از ایجاد مفاصل در تیرها و ستونهای چند طبقه اول به بالا و مکانیزم نوع دوم مکانیزم حاصل از ایجاد مفاصل در تیرها و ستونهای چند طبقه فوقانی و مکانیزم نوع سوم مکانیزم یک طبقه میانی را شامل می‌شود. مکانیزم شکست نوع سراسری یا کلی یک حالت خاص مکانیزم نوع دوم می‌باشد که در آن مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیرها و در ستونهای طبقه اول در نزدیکی اتصال به شالوده می‌باشد. این نوع مکانیزم بر اساس تحقیقات انجام شده بیشترین میزان جذب انرژی را در برابر زلزله از خود نشان می‌دهد. در اشکال الی نحوه و ترتیب وقوع مفاصل پلاستیک نشان داده شده است.

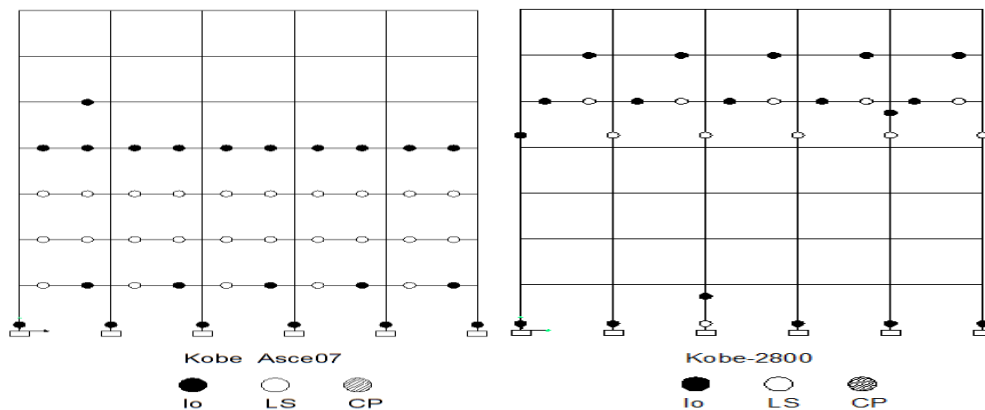


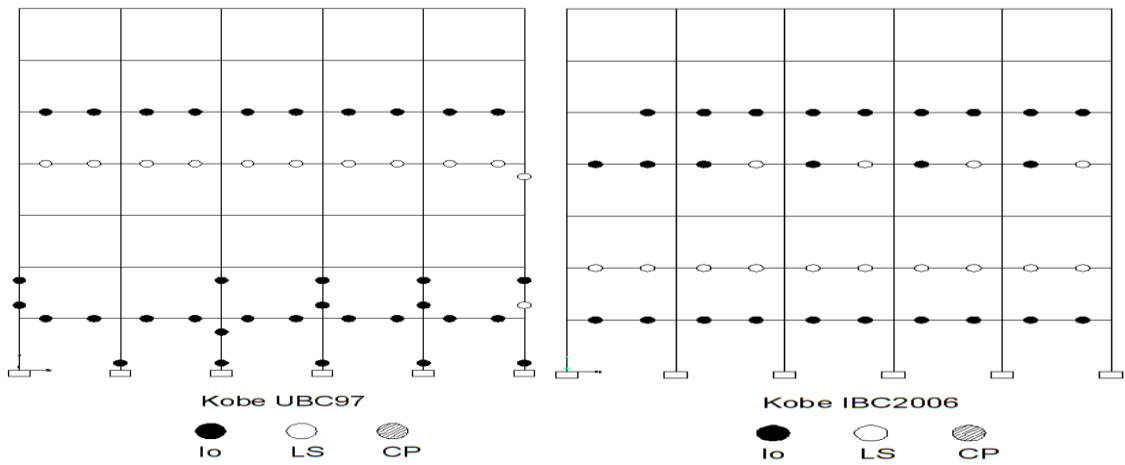


شکل ۱۰- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان ۴ طبقه با سیستم قاب خمشی تحت رکوردهای نزدیک گسل Loma Asce07, Loma 2800, Loma UBC97 و IBC2006 (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

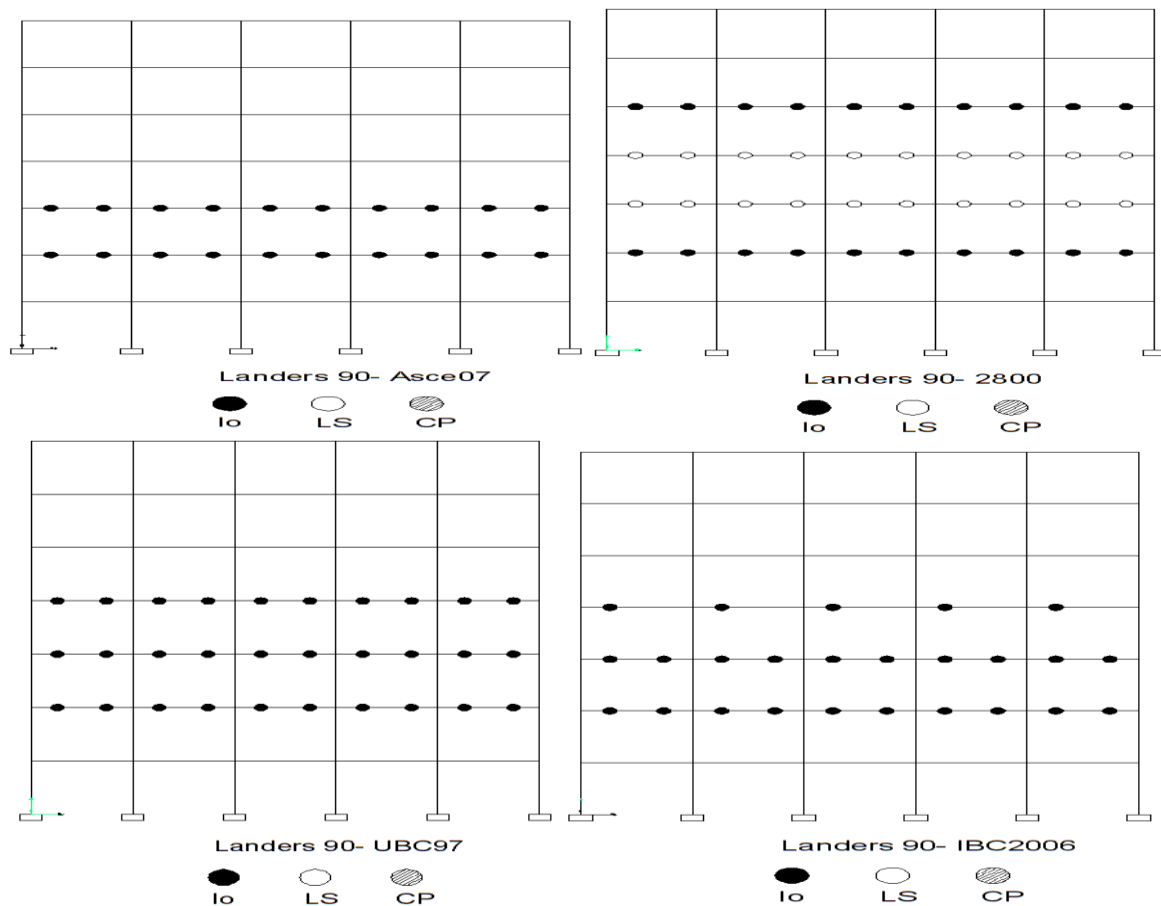


شکل ۱۱- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان ۴ طبقه با سیستم قاب خمشی تحت رکوردهای دور از گسل Landers Asce07-10, UP2800, Landers IBC2006 و Landers (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

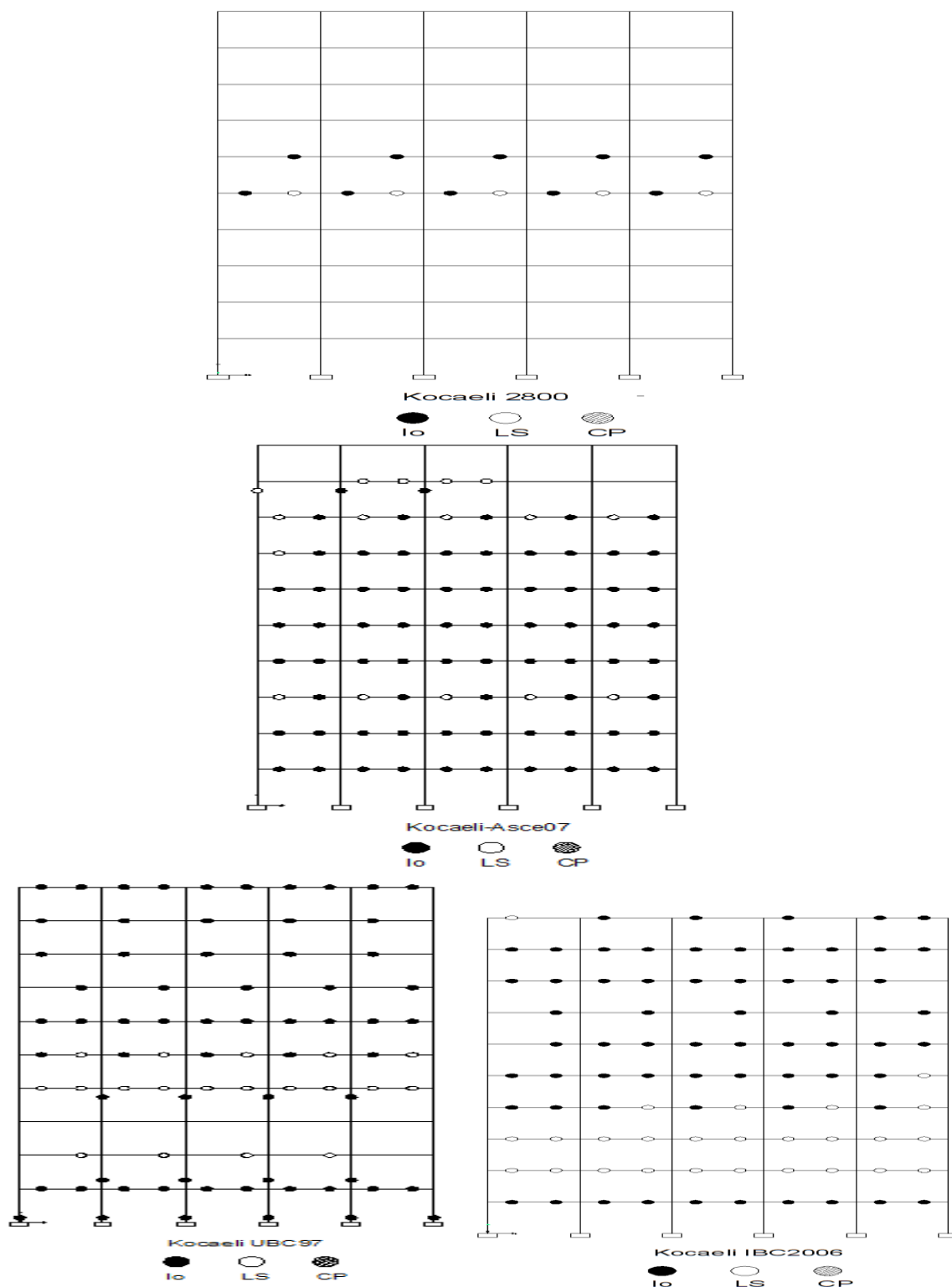




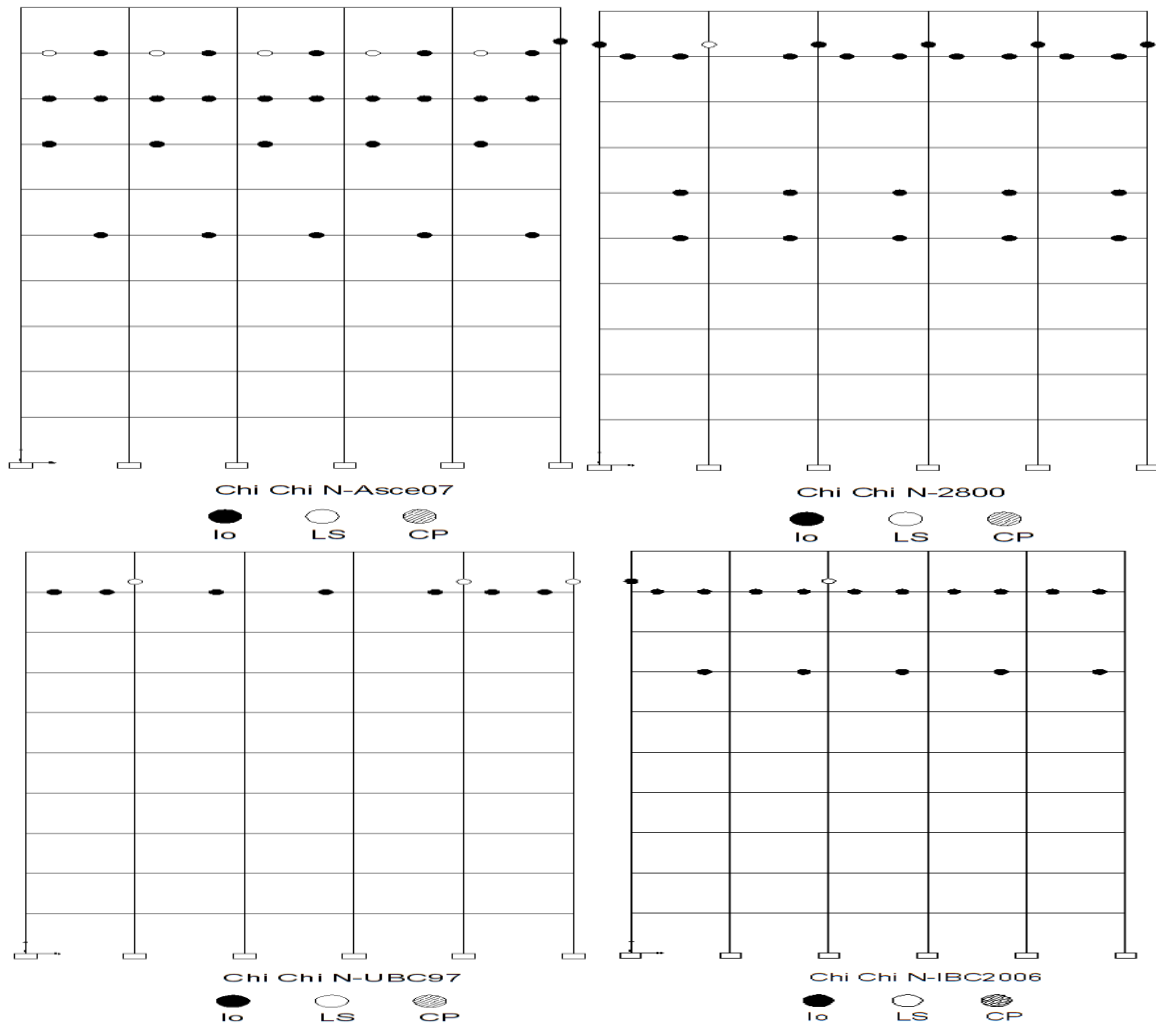
شکل ۱۲- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان ۷ طبقه با سیستم قاب خمشی تحت رکوردهای نزدیک‌گسل Kobe 2800، UBC97- Landers UP. (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)



شکل ۱۳- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان ۷ طبقه با سیستم قاب خمشی تحت رکوردهای دور از گسل Kobe IBC2006- Landers 90. (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)



شکل ۱۴- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان ۱۰ طبقه با سیستم قاب خمشی تحت رکوردهای نزدیک گسل Kocaeli 2800, Kocaeli Asce07, Kocaeli UBC97 و Kocaeli IBC2006 (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)



شکل ۱۵- نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک ساختمان ۱۰ طبقه با سیستم قاب خمشی تحت رکوردهای دور از گسل Chi Chi N-2800، Chi Chi N-، Chi Chi N-UBC97 و Chi Chi N-IBC2006، Asce07 (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۳۹۹)

### نتیجه‌گیری و دستاورد علمی و پژوهشی

زیرساخت‌های یک کشور نقش اثرگذاری در رشد پایدار اقتصادی و توسعه اجتماعی آن کشور بازی می‌کنند. ساختمانها از جمله مهم‌ترین بناها و زیرساخت‌های توسعه شهری و منطقه‌ای می‌باشند که نقش بسیار مهمی در سیستم‌های زیرساختی سکونت‌گاهی در سراسر دنیا دارند. یک ساختمان می‌بایست چه در حین زلزله و چه بعد از زلزله بسته به نوع کاربری قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ نماید. چراکه هرگونه شکست در آن بعضاً سبب اختلال در کمک‌رسانی، امداد و نجات می‌شود. زلزله‌های مخرب اخیر در ایران و دیگر نقاط جهان نشان دادند که برخی ساختمانها به شدت تحت اثر تحریکات لرزه‌ای آسیب‌پذیر بوده و این آسیب‌ها به طور گسترده‌ای در طبقات متمرکز می‌شود. لذا در این تحقیق ۳ ساختمان ۴، ۷ و ۱۰ طبقه با ۵ دهانه به طول ۵ متر واقع در شهر سمنان در نظر گرفته شد. در ساختمان ۴ طبقه تحت رکوردهای نزدیک گسل استاندارد ۲۸۰۰ با آیین نامه های UBC97 IBC2006 در

تشکیل مفاصل پلاستیک عملکردی مشابه داشتند، اما در رکوردهای دور از گسل هر ۴ آیین نامه عملکردی یکسان ارائه دادند.

در ساختمان ۷ طبقه تحت رکوردهای نزدیک گسل مشاهده شد که آیین نامه‌ها عملکردی مشابه دارند و به سطح عملکرد ایمنی جانی رسیده‌اند. این در حالی است تحت رکوردهای دور از گسل فقط استاندارد ۲۸۰۰ وارد سطح عملکرد ایمنی جانی گردید. در ساختمان ۱۰ طبقه نتایج نشان داد تحت رکوردهای نزدیک گسل و دور از گسل همه آیین نامه وارد محدوده ایمنی جانی شدند اما تحت آیین نامه ASCE07-10 تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده در محدوده ایمنی جانی بیشتر از سایر آیین نامه‌ها بود. به طور کلی، میزان شکل گیری مفاصل پلاستیک و ظرفیت اتلاف انرژی تجمعی در زمین لرزه‌های حوزه نزدیک افزایش یافت و این افزایش با افزایش تعداد طبقات بیشتر بود.

### منابع

- عبداله، ب.، ذبیحی، ح.، سعیده زرابادی، ز.س. (۱۳۹۹). ارزیابی میزان تاب‌آوری کالبدی در نواحی شهری با بهره‌گیری از روش الکترون (نمونه موردی: منطقه ۵، شهر تهران)، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱۰، شماره ۲-۲، شماره پیاپی ۳۸، ۱۱۲۵-۱۱۳۹.
- پورشریفی، ج.، طیبیان، م.، مسعود، م.، طغیانی، ش. (۱۴۰۰). سنجش تاب‌آوری کالبدی شهر قزوین در برابر زلزله با رویکرد ساختگاه طبیعی شهر، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۱۲، شماره ۱، شماره پیاپی ۱، ۹۱-۱۱۴.
- دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه شماره ۳۶۰، تجدید نظر اول، معاونت نظام راهبردی، امور نظام فنی، سال ۱۳۹۲.
- طرح بررسی و سنجش شاخص‌های فرهنگ عمومی کشور (شاخص‌های غیرثبتي) {گزارش}: سمنان/به سفارش شورای فرهنگ عمومی کشور؛ مدیر طرح و مسئول سیاست گذاری: منصور واعظی؛ اجرا: شرکت پژوهشگران خبره پارس - شابک: ۲-۵۰-۶۶۲۷-۶۰۰-۹۷۸، وضعیت نشر: تهران- موسسه انتشارات کتاب نشر ۱۳۹۱، ۲۹۶ص.
- مطالعات برنامه آمایش استان سمنان (۱۳۹۵)، سازمان برنامه و بودجه استان سمنان، سازمان برنامه و بودجه کشور، ریاست جمهوری.
- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه ویرایش ۴، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲.
- آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش ۴، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۵
- Bommer, J. J., and Acevedo, A. B. (2004). "The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis." *Journal of Earthquake Engineering*, 8, 43-91.
- Boore, D. M. (2003). "Simulation of ground motion using the stochastic method." *Pure and Applied Geophysics*, 160(3-4), 635-676.
- Baker, J., and Cornell, A. (2006). "Spectral shape, epsilon and record selection." *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35, 1077-1095.
- Cornell, C. (2005). "On Earthquake Record Selection For Nonlinear Dynamic Analysis." *The Esteva Symposium*, August 2005, Mexico.
- American Society of Civil Engineers. (2007). *ASCE/SEI 41-06. Seismic rehabilitation of existing buildings*, American Society of Civil Engineers, Reston, Va.
- Berberian, B. (1996). Seismicity and Active Fault Map of the Semnan Quadrangle Area, In book: Seismotectonic and Earthquake-Fault Hazard Investigations in the Semnan Quadrangle Area (Contribution to the Seismotectonics of Iran, Part VII) (pp. One Map), Geol. Surv. Iran, 63, 266 p.
- Dhokal, R., Singh, S., and Mander, J. (2007). "Effectiveness of earthquake selection and scaling procedure method in New Zealand." *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40(3), 160-171.
- Iervolino, I., and Cornell, A. (2005). "Record selection for nonlinear seismic analysis of structures." *Earthquake Spectra*, 21(3), 685-713.

- Oyarzo Vera, C., McVerry, G., and Ingham, J. (2008). "Ground motion records for time-history analysis of URM buildings in New Zealand – The North Island." New Zealand Society of Earthquake Engineering Conference, April 2008, New Zealand.
- Vanmarcke, E. H., Cornell, C. A., Gasparini, D. A., and Hou, S.-n. (1990). "SIMQKE-I: Simulation of Earthquake Ground Motions ", Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology., Cambridge, MA.
- Beyer, K. and Bommer, J. (2006). Relationships between median values and aleatory variabilities for different definitions of the horizontal component of motion. *Bulletin of the Seismological Society of America* 94:4A, 1512-1522. Erratum: 2007, 97:5, 1769.
- Avik Samanta, Yin-Nan Huang (2017). Ground-motion Scaling for seismic Performance Assessment of high-rise moment-resisting frame building, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 94: Pages 125-135
- C.B. Haselton, J.W. Baker, A.B. Liel, G.G. Deierlein Accounting for ground motion spectral shape characteristics in structural collapse assessment through an adjustment for Epsilon J *Struct Eng ASCE*, 137 (3) (2011), pp. 332-344
- ACI-318-2014, *Building Code Reinforcement for Structural Concrete*, American Concrete Institute, 2014.
- 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.
- Mortezaei, A. and Motaghi, A. (2016). Seismic assessment of the world's tallest pure-brick tower including soil-structure interaction. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(5), October 2016, 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000861, 04016020.