

ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای شهر همدان

سیدعلی رضویان امرئی^{۱*}، فرزام علی دوست ابدی‌خواه^۲، رامین جعفری^۳

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۱/۱۶	
پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵	
واژگان کلیدی: زلزله، همدان، SELENA، خطرپذیری، خسارت.	پیشرفت‌های بشر در خصوص پیش‌بینی زمان و مکان آزاد شدن انرژی و حرکت لایه‌های درونی زمین به نحوی که بتوان از فجایع ناشی از زلزله پیشگیری نمود بسیار اندک می‌باشد. در حال حاضر تنها راه مقابله با این پدیده طبیعی، پیش‌بینی صدمات و نیز تجهیز و آماده‌سازی ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها به منظور کاهش آسیب‌ها و تلفات وارده می‌باشد. به طور کلی هدف از این تحقیق ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های شهر همدان بوده به ترتیبی که با شناخت وضعیت حال حاضر ساختمان‌های موجود در شهر بتوان میزان آسیب‌پذیری آنها را در جهت افزایش ایمنی و بهبود شرایط موجود برآورد نمود. این تحقیق با استفاده از اطلاعات گردآوری شده از سازمان آمار و فناوری اطلاعات شهرداری همدان، نظیر نوع سازه‌ها، تعداد و مترای طبقات، جمعیت نواحی، نوع خاک نواحی مختلف و سایر اطلاعات مورد نیاز و با روش هازيوس و به وسیله نسخه ۶ نرم‌افزار آنالیز خطرپذیری سلنا انجام شده است. در این روش برای محاسبه عملکرد لرزه‌ای سازه، منحنی تقاضای انواع سازه‌ها با میرایی مختلف با منحنی پاسخ بر اساس نوع خاک قطع داده می‌شوند. خروجی‌های این تحقیق شامل زیربنای آسیب دیده به تفکیک نوع سازه، تلفات جانی احتمالی و خسارات مالی وارده تحت اثر زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد. تحلیل نتایج حاکی از آن است که نسبت خسارت متوسط شهر همدان در مناطق ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب به میزان ۱۷/۹، ۱۶/۱، ۱۹/۸ و ۱۴/۴ درصد و نسبت خسارت متوسط کل به مقدار ۱۸ درصد پیش‌بینی می‌شود. از نرم‌افزار جی-آی-اس نیز برای نمایش خروجی‌ها استفاده شده است.

۱- مقدمه

در قرون گذشته، بشر عامل زلزله را نیروهای مهیب فراطبیعی می‌دانست؛ لیکن بشر متمدن امروزی در سایه پیشرفت علم و دانش و کمرنگ شدن خرافات، دیگر هیچ اعتقادی به خدایان زیر زمینی و خشم آنها نداشته و سعی در کسب علم و آگاهی صحیح در ارتباط با مکانیسم وقوع این رویداد نموده است. بررسی مخاطرات زمین‌شناختی به منظور کاهش آسیب‌پذیری جامعه و ائتلاف منابع مالی و روند توسعه کشور و در راستای آن بررسی‌هایی در زمینه زمین‌لرزه، فرونشست، رانش زمین، سنگ افت و سیل به

صورت پراکنده در مناطق مختلف کشور انجام شده است [۱]. بلایای مخرب اخیر مانند زلزله نورث‌ریج ایالات متحده در سال ۱۹۹۴، زلزله هایوگوکن- نانبو ژاپن در سال ۱۹۹۵ و زلزله چی- چی تایوان در سال ۱۹۹۹ نیز باعث افزایش شتاب در استفاده از روش‌ها و فناوری‌های جدید در ساختمان‌ها در جهت کاهش اثرات زلزله شده است. وقوع زلزله‌های شدید مانند زلزله بم، بوئین زهرا و طبس در ایران که باعث بوجود آمدن خسارت‌های مالی و تلفات جانی و صدمات اجتماعی جبران‌ناپذیری شده و احتمال رخ دادن زلزله‌هایی مشابه آنها، باعث استفاده از روش‌های مختلفی

*. پست الکترونیک نویسنده مسئول: razavian@pnu.ac.ir

۱. استادیار دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲. کارشناس ارشد سازه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۳. کارشناس ارشد سازه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

گونه فعالیتی و به منظور کاهش خسارات جانی و مالی در منطقه، بسیار حائز اهمیت می‌باشد [۵ و ۶]. وجود مراکز تاریخی و دیدنی و نیز مراکز دانشگاهی بسیار، باعث افزایش جمعیت شهر همدان شده که در صورت وقوع زلزله، خسارات مالی و جانی را افزایش خواهد داد. لذا باید بتوانیم با ارائه راهکارهای مناسب، صدمات جانی را به حداقل رسانده و خسارات مالی را کاهش دهیم. به این ترتیب شناسایی مناطق آسیب‌پذیر و برآورد خسارات احتمالی زلزله در نواحی مختلف می‌تواند راهی در جهت برطرف کردن ضعف‌های موجود و در نتیجه کاهش خسارت‌ها باشد. ظرفیت ارگان‌های امداد رسانی و آتش‌نشانی نیز باید با توجه به تلفات و صدمات پیش‌بینی شده مورد بازبینی قرار گیرد. حجم آوار و نوع آن را می‌توان از تحلیل‌های خطرپذیری به دست آورد و گودهایی را در مکان مناسب جهت انتقال آوار پیش‌بینی کرد، چون در صورت وقوع زلزله شدید و بروز خرابی‌های گسترده، جمع‌آوری و انتقال آوار باید در سریع‌ترین زمان ممکن انجام شود که باعث آلودگی و شیوع بیماری‌های مختلف نگردد. اگرچه تعیین دقیق زمان وقوع زلزله امکان‌پذیر نیست ولی بزرگا و شدت خسارت وارده با توجه به گسل‌ها و سوابق لرزه‌ای قابل تعیین است. خسارت اقتصادی سازه‌های ناشی از زلزله محتمل نه بر اساس تقریب بلکه بر پایه اطلاعات دقیق و زیربنای آسیب دیده به دست می‌آید. از دیگر مواردی که در این مطالعه بررسی می‌شود تعداد تلفات ناشی از زلزله است. تعیین تعداد نفرات آسیب دیده در مناطق مختلف برای پیش‌بینی‌های امدادی و بیمارستانی، همچنین تمهیدات و مراقبت‌های پس از زمین‌لرزه بسیار حائز اهمیت است.

۲- بررسی تحقیقات انجام شده

امروزه اهمیت لرزه‌خیزی تا حدی است که تقریباً تمامی کشورهای زلزله‌خیز جهان با یک رویکرد واحد در جهت کاهش اثرات ویرانگر زلزله تلاش می‌کنند و با به اشتراک گذاشتن تحقیقات و یافته‌های خود اطلاعاتشان را به روزرسانی می‌نمایند. در این راستا طرح مدل زلزله خاورمیانه (EMME^۲) با همکاری کشورهای مختلف منطقه از جمله ایران در قالب پروژه مدل جهانی زلزله از سال ۱۳۸۸ در حال اجرا است و از اهداف این طرح می‌توان

در جهت مقابله با زلزله در کشور شده است [۱]. براساس آمار موسسه زمین‌شناسی آمریکا (USGS^۱)، سالانه به طور متوسط حدود ۱،۴۴۴،۴۶۹ زلزله با بزرگی بیش از دو در مقیاس امواج درونی زمین در دنیا رخ می‌دهد که بزرگی ۱۴۴،۴۶۹ زمین لرزه بیش از سه ریشتر و بزرگی حدود ۱۴۷۰ زمین لرزه، بیش از پنج ریشتر است. در طول قرن بیستم حدود ۱۱۰۰ زلزلهٔ مرگبار در ۷۵ کشور جهان رخ داده و علاوه بر خسارات مادی عظیم، حداقل ۱/۵ میلیون نفر جان خود را بر اثر این رویداد طبیعی از دست داده‌اند. با توجه به آمار مرکز لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به طور میانگین روزانه ۳۰ زلزله زمین ایران را می‌لرزاند و به طور میانگین سالانه وقوع ده هزار زمین‌لرزه در کشور ثبت می‌شود. در ۲۵ سال گذشته، ۶ درصد از تلفات جانی کشور ناشی از زلزله بوده است [۲ و ۳]. تلفات آماری ذکر شده شامل تلفات ناشی از اتفاقات پس از زلزله نیز مانند آتش‌سوزی، جراحی، بیماری و... می‌باشد. اما عمده این تلفات مربوط به فروریزش ساختمان‌ها است و عمده این فروریزش‌ها در ساختمان‌های با سازه بنایی صورت می‌گیرد. ساختمان‌های با اسکلت فلزی و یا بتنی، احتمال فرو ریزش کمتری نسبت به سازه‌های بنایی دارند ولی اگر فرو ریزند تلفات به مراتب بیشتری خواهند داشت. در مناطقی مانند ژاپن و ایالات متحده که کیفیت سازه‌ها بالاتر است بیشترین تلفات ناشی از اجزای غیرسازه‌ای می‌باشد. همدان قدیمی‌ترین شهر ایران و از کهن‌ترین شهرهای جهان است [۴] و از نظر ساختاری، استان همدان در فصل مشترک چند قلمروی ساختاری زمین‌شناسی متفاوت قرار گرفته به طوری که در یک روند جنوب‌غرب به شمال‌شرق، می‌توان پهنه‌های زاگرس مرتفع، سنجند - سیرجان و ایران مرکزی را در استان همدان مشاهده نمود. به دلیل قرار گرفتن همدان در سه زون پهنه‌بندی ذکر شده خصوصیات لرزه‌خیزی متفاوتی در سطح استان مشاهده می‌شود. نزدیک‌ترین و مهم‌ترین گسل‌های منطقه عبارتند از گسل صحنه، گسل کوشک نصرت، گسل مروارید و گسل نهاوند و بیشتر زمین‌لرزه‌هایی که در استان همدان به وقوع پیوسته است (۲۰۱۴-۱۹۶۳) دارای بزرگای کمتر از ۵ ریشتر هستند اما با توجه به پتانسیل لرزه‌خیزی گسل نهاوند انجام مطالعات پهنه‌بندی لرزه‌ای، قبل از انجام هر

¹ United States Geological Survey

² Earthquake Model of the Middle East

شریان‌های حیاتی، مدلی تحقیقی درباره ارزیابی خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت در شهر کرمانشاه در سال ۱۳۹۴ انجام شد که براساس توابع خسارت مدل هازیوس، نرخ تعمیر و احتمال خرابی محاسبه شده است [۱۲].

۳- روش تحقیق

این تحقیق با استفاده از نسخه ۶ نرم افزار سلنا (SELENA ver.6) انجام شده است. این نرم افزار در سال ۲۰۰۷ با همکاری موسسه نورس (NORSAR) نروژ و دانشگاه آلیکانته (ALICANTE) کشور اسپانیا بر پایه اصول روش هازیوس (HAZUS)^۳ نوشته شده و در سال ۲۰۱۳ نسخه ۶ آن ارائه گردیده است.

معرفی نرم افزار: این نرم افزار با استفاده از برنامه متلب (MATLAB) و در محیط Dos اجرا می شود و به صورت کد باز (Open source) ارائه شده است و نمایش نتایج حاصل از آن توسط نرم افزارهایی مانند ArcGIS امکان پذیر می باشد. روش عملکرد سلنا براساس روش هازیوس (HAZUS) است که برای به دست آوردن نقطه عملکرد سازه از روش طیف ظرفیت (CSM-ATC40)، طیف جابجایی شتاب اصلاح شده (MADRS) و روش ضرایب جابجایی (FEMA 440-DCM) بهره می برد. این نرم افزار با رویکرد درخت منطقی ارائه شده است و این امکان در آن وجود دارد که کاربر بتواند چندین حالت مختلف برای ورود داده ها و روش های تحلیلی مختلفی را با در نظر گرفتن وزن منطقی برای هر کدام از آنها به صورت همزمان انجام دهد. در راستای تحلیل خطرپذیری یک سایت، ابتدا کاربر داده های ورودی مانند اطلاعات سازه ای، جمعیتی، نوع خاک، شتاب حرکت زمین و پارامترهایی از این دست را طبق فرمت های ذکر شده در راهنمای نرم افزار وارد می کند و پس از انجام تحلیل، نتایج خروجی بدست می آیند. نرم افزار برای انجام تحلیل، به ۵۵ فایل ورودی با فرمت txt نیاز دارد. به عنوان مثال فایل ورودی shakefiles.txt شامل تعریف فایل Shakcenter.txt (شامل اطلاعات منطقه مورد مطالعه است) و ضریب درخت منطقی برای آن می باشد و یا مثلاً فایل capacity.txt شامل فایل Cap_CM.txt است که نشان دهنده منحنی ظرفیت

مطالعه کلی تاریخچه لرزه خیزی، وضعیت گسل ها و پهنه بندی خطر زلزله در منطقه، مطالعات کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله و در نتیجه تهیه و به روزرسانی نقشه خطر زمین لرزه در سطح منطقه بیان کرد. در راستای طرح مدل زلزله منطقه خاورمیانه، مدل ریز پهنه بندی خطر زلزله در شهر مشهد طراحی شده است [۷]. در سال ۱۳۹۴ تحقیقی توسط یونس غلامی و همکاران با روش توصیفی-تحلیلی، ۱۰ معیار با استفاده از مدل فازی در جی-آی-اس GIS^۱ مورد تحلیل قرار گرفت که هدف آن پیش بینی فضاهای آسیب پذیر شهر مشهد هنگام وقوع زلزله بود. نظریه فازی اولین بار در سال ۱۹۶۵ از سوی پروفیسور عسگرزاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا مطرح شد و پس از آن به صورت یک نظریه کاربردی برای علوم گوناگون مطرح شد [۸]. در منطق فازی مقادیر بر اساس الگوریتم های مختلف به عددی بین صفر و یک تبدیل می شود که معرف میزان عضویت فازی^۲ است [۸]. در مواقعی که تعداد داده ها محدود است منطق فازی می تواند رفتار آشفته و غیرخطی داده ها را منعکس نماید [۹]. در سال ۲۰۱۱ نیز آژانس همکاری های بین المللی ژاپن با همکاری مرکز مطالعات محیط زیست تهران بزرگ، ارزیابی شرایط موجود شهر تهران جهت تحلیل خطرپذیری را انجام دادند [۱۰]. روشی که در این گزارش در به دست آوردن تابع آسیب استفاده شده روش خسارت بر مبنای شدت زلزله است. این روش در بسیاری از مناطق کاربرد دارد ولی عموماً روشی است که بر مبنای اطلاعات گذشته و از تجربیات در زلزله های قبلی به دست می آید. روش دیگری که برای مطالعه شهر تهران در سال ۱۳۹۱ انجام شده، روش طیف جابجایی بود که بر خلاف روش قبلی بیشتر مبتنی بر مشخصات مهندسی سازه بود تا داده های قبلی [۱۱]. مبنای گزارش آژانس همکاری های بین المللی ژاپن بر اساس تعداد سازه های آسیب دیده بوده نه مساحت آسیب، که ارزیابی خسارت اقتصادی را با مشکل مواجه می کند. اما مبنای روش دوم بر اساس زیربنای آسیب می باشد و آسیب های اقتصادی وارد شده برحسب مترمربع بوده که قابل ارزیابی است. در این مطالعه که بر روی شهر همدان انجام گرفته از روش دوم (روش طیف جابجایی) استفاده شده است. همچنین جهت ارزیابی خسارات ناشی از زلزله در آسیب

³ HAZARD US

¹ Geographic Information System

² Fuzzy Membership

شده است. سازه‌های بتنی نیز به صورت سازه‌های بتنی با قاب خمشی و دارای دیوار برشی طبقه‌بندی شده است. ارتفاع سازه‌ها به سه دسته ۱ تا ۳ طبقه، ۴ تا ۸ طبقه و بیش از ۸ طبقه تقسیم‌بندی شده است. سازه‌های بنایی نیز به دو دسته کوتاه (۱ تا ۲ طبقه) و متوسط (۳ طبقه) تقسیم‌بندی شده است.

انواع کاربری‌ها: تلفات جانی و خسارت های اقتصادی ناشی از زلزله، با توجه به نوع کاربری سازه‌ها متفاوت است. در این مطالعه ۶ نوع کاربری عمده برای سازه‌های شهر همدان در نظر گرفته شده اند، که به شرح زیر است: مسکونی (RES)، تجاری (COM1)، بهداشتی (COM6)، خدماتی (COM3)، اداری (GOV)، آموزشی (EDU).

میرایی الاستیک، جابجایی طیفی متناسب با حد الاستیک سازه می‌باشد. ورودی اطلاعات برای هر منطقه، با توجه به انواع و کاربری‌های مختلف سازه‌ها از داده‌های سازمان آمار و فناوری اطلاعات شهرداری همدان به دست آمده است. فرضیات، ورودی‌ها و آیین‌نامه‌های استفاده شده در این تحقیق از قرار زیر می‌باشند:

معرفی سازه‌ها: در جدول (۱)، ۱۷ نوع سازه از ۳۶ نوع سازه موجود در روش هازبوس برای شهر همدان انتخاب شده است.

این دسته‌بندی با توجه به انواع سازه‌های فولادی، بتنی و بنایی موجود و همچنین ارتفاع و تعداد طبقات آنها انجام شده است. سازه‌های فولادی به صورت سازه‌های فولادی با قاب خمشی، بادبندی شده و دارای دیوار برشی طبقه‌بندی

جدول ۱- انواع سازه‌های شهر همدان در روش هازبوس

ردیف	برچسب	توضیح	ارتفاع		
			محدوده	میانگین	ارتفاع
۱	S1L	سازه فولادی قاب خمشی ۱ تا ۳ طبقه	۳-۱	۲	۷/۲
۲	S1M	سازه فولادی قاب خمشی ۴ تا ۸ طبقه	۴-۸	۵	۱۸
۳	S1H	سازه فولادی قاب خمشی بیش از ۸ طبقه	+۸	۱۳	۴۶/۸
۴	S2L	سازه فولادی بادبندی ۱ تا ۳ طبقه	۳-۱	۲	۷/۲
۵	S2M	سازه فولادی بادبندی ۴ تا ۸ طبقه	۴-۸	۵	۱۸
۶	S2H	سازه فولادی بادبندی بیش از ۸ طبقه	+۸	۱۳	۴۶/۸
۷	S4L	سازه فولادی با دیوار برشی بتنی ۱ تا ۳ طبقه	۳-۱	۲	۷/۲
۸	S4M	سازه فولادی با دیوار برشی بتنی ۴ تا ۸ طبقه	۴-۸	۵	۱۸
۹	S4H	سازه فولادی با دیوار برشی بتنی بیش از ۸ طبقه	+۸	۱۳	۴۶/۸
۱۰	C1L	سازه بتنی قاب خمشی ۱ تا ۳ طبقه	۳-۱	۲	۷/۲
۱۱	C1M	سازه بتنی قاب خمشی ۴ تا ۸ طبقه	۴-۸	۵	۱۸
۱۲	C1H	سازه بتنی قاب خمشی بیش از ۸ طبقه	+۸	۱۳	۴۶/۸
۱۳	C2L	سازه بتنی با دیوار برشی ۱ تا ۳ طبقه	۲-۱	۱	۴/۵
۱۴	C2M	سازه بتنی با دیوار برشی ۴ تا ۸ طبقه	۳	۳	۱۰/۵
۱۵	C2H	سازه بتنی با دیوار برشی بیش از ۸ طبقه	+۸	۱۳	۴۶/۸
۱۶	URML	سازه بنایی کوتاه	۲-۱	۱	۴/۵
۱۷	URMM	سازه بنایی متوسط	۳	۳	۱۰/۵

$Sa_{1.0}$ شتاب طیفی در پریود $1/0$ ثانیه می باشد. پریود T_{AV} محل تقاطع دو منطقه شتاب طیفی ثابت و سرعت طیفی ثابت می باشد و مقدار آن با توجه به شتاب طیفی که این دو ناحیه را تعریف می کند تغییر می کند.

$$T_{AV} = Sa_{1.0} / Sa_{0.3} \quad (5)$$

پریود T_A نشان دهنده گوشه چپ نمودار طیفی می باشد که از رابطه (۶) به دست می آید.

$$T_A = 0.2T_{AV} = 0.2(Sa_{1.0} / Sa_{0.3}) \quad (6)$$

در منطقه جابجایی طیفی ثابت با $T/1$ متناسب است و برای شتاب طیفی TVD که محل تقاطع منطقه جابجایی طیفی ثابت و سرعت طیفی ثابت است، ثابت شده است. پریود TVD با بزرگای لرزه ای متناسب است. این فرکانس توسط رابطه (۷) به عنوان تابعی از بزرگای گشتاوری تعیین می شود.

$$TVD = 10^{(M-5)/2} \quad (7)$$

TVD زمانی که بزرگای گشتاوری مشخص نباشد) در مطالعات احتمالی (، 10 ثانیه در نظر گرفته می شود و در حقیقت $M=7$ فرض می شود. در صورتی که شتاب طیفی در پریود ارتعاشی $0/3$ ثانیه و $1/0$ ثانیه در دسترس نباشد این مقادیر با استفاده از بیشینه شتاب زمین با روابط (۸) و (۹) به دست می آید [۱۴].

$$Sa_{0.3} = Sa_S = 2.5 a^{pga} \quad (8)$$

$$Sa_{1.0} = Sa_1 = a^{pga} \quad (9)$$

تقویت حرکت زمین بر اساس نوع خاک (سرعت موج برشی) توسط ضرایب ذکر شده در آیین نامه IBC-2006 انجام می گیرد.

ب- طبقه بندی خاک بر اساس موج برشی:

طبقه بندی خاک در این آیین نامه مطابق جدول ۲ می باشد. در این روش، شتاب طیفی خاک سنگی (نوع B) توسط ضرایب جدول ۳ و رابطه (۱۰) اصلاح می گردد.

$$a_i^{pga} = a^{pga} F_{Ai} \quad (10)$$

که پارامترهای آن به شرح زیر است:

$i^{pga} a$: شتاب بیشینه زمین برای سایت i (در واحد g)

$pga a$: شتاب بیشینه زمین برای سایت i (در واحد g)

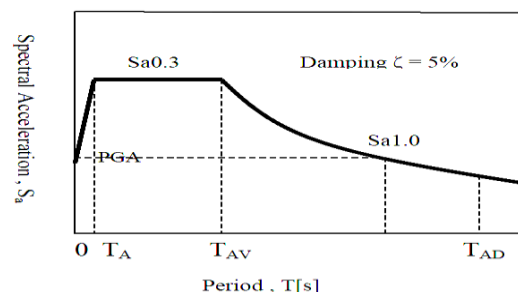
تعیین منحنی تقاضای^۱ سازه:

الف- پارامترهای طیف پاسخ استاندارد طبق

آیین نامه بین المللی ساختمان ۲۰۰۶ - IBC^۲

ضریب بازتاب متناسب و پریود گوشه که اساساً شکل طیف طراحی برای خاک های مختلف را مشخص می کند در آیین نامه های مختلف آمده است. در زمین های آبرفتی حرکت لرزه ای زمین، در سطح زمین هم از لحاظ دامنه و هم از لحاظ محتوای فرکانسی تغییر می یابد.

در این مطالعه از آیین نامه بین المللی ساختمان ۲۰۰۶ استفاده شده است [۱۳]. در این روش حرکت زمین با استفاده از شکل (۱) طیف پاسخ استاندارد شده که در این آیین نامه ارائه شده است به چهار قسمت تقسیم می گردد که عبارتند: از PGA ، منطقه شتاب طیفی ثابت از صفر تا TAV ، منطقه سرعت طیفی ثابت از TAV تا TVD و منطقه جابجایی طیفی ثابت که پریود بیشتر از TVD می باشد.



شکل ۱- طیف پاسخ استاندارد

منطقه شتاب طیفی ثابت توسط شتاب طیفی در پریود ارتعاشی $0/3$ ثانیه تعریف می گردد در منطقه سرعت طیفی ثابت شتاب طیفی متناسب $T/1$ است و بر روی شتاب طیفی در پریود ارتعاشی $1/0$ ثانیه ثابت شده است. در حالت کلی طیف طراحی الاستیک ($Sa(T)$) توسط روابط (۱) تا (۴) تعیین می شود.

$$Sa(T) = Sa_{0.3}(0/4 + T/T_A) \quad T < T_A \quad (1)$$

$$Sa(T) = Sa_{0.3} \quad T_A < T < T_{AV} \quad (2)$$

$$Sa(T) = Sa_{1.0}/T \quad T_{AV} < T < T_{VD} \quad (3)$$

$$Sa(T) = Sa_{1.0} T_{AV}/T^2, \quad T_{VD} < T < 10s \quad (4)$$

که در آن: $Sa_{0.3}$ شتاب طیفی در پریود $0/3$ ثانیه و

² International Building Code

¹ Demand spectra

که در آن:

S_{ASi} : شتاب طیفی پریود کوتاه برای خاک نوع i (درواحد g)

S_{AS} : شتاب طیفی پریود کوتاه برای خاک نوع B (درواحد g)

F_{Ai} : ضریب بازتاب پریود کوتاه برای خاک نوع i و مختص

شتاب طیفی S_{AS}

S_{ALi} : شتاب طیفی پریود ارتعاشی ۱ ثانیه برای خاک نوع

i (در واحد g)

S_{AL} : شتاب طیفی پریود ارتعاشی ۱ ثانیه برای خاک نوع

B (در واحد g)

F_{Vi} : ضریب بازتاب پریود ارتعاشی ۱ ثانیه برای خاک نوع

i و مختص شتاب طیفی S_{AL}

T_{AVi} : پریود ارتعاشی گذار از منطقه شتاب طیفی ثابت و

سرعت طیفی ثابت برای خاک نوع i (در واحد ثانیه)

T_{VP} : که نشان دهنده گذر از منطقه سرعت طیفی ثابت

به جابجایی طیفی ثابت می‌باشد و تابعی از نوع خاک

نیست.

برای ارزیابی آسیب سازه‌ای نمودار طیف پاسخ سازه‌ای آن

را بر مبنای شتاب طیفی و جابجایی طیفی رسم می‌کنیم.

برای این تبدیل از رابطه (۱۴) استفاده می‌شود:

$$Sa/\omega = Sv = Sd \times \omega \quad \text{و} \quad \omega = 2\pi/T \quad (14)$$

ω : فرکانس زاویه‌ای طبیعی تواتر می‌باشد. نتیجه نهایی

طیف پاسخ سازه در منطقه مورد نظر با ۵ درصد میرایی

خواهد بود.

منحنی ظرفیت: با اینکه روش تحلیل دینامیکی غیرخطی،

جامع‌ترین روشی است که می‌تواند برای تحلیل سازه به کار

رود و جواب‌های دقیق‌تری نسبت به سایر روش‌های موجود

به دست می‌دهد، ولی به علت حساس بودن پاسخ‌ها به

رکورد ورودی، عدم انطباق شرایط ساختگاهی محل ثبت

رکورد با محل سازه‌های مورد بررسی، و وجود پارامترهای

متنوع در پاسخ سازه نظیر محتوای فرکانسی، مدت زمان

زلزله، رفتارهای کاهنده و... منجر به لزوم تحلیل‌های متعدد

و بهره‌گیری از نتایج آماری می‌شود که نسبتاً پیچیده و

هزینه‌بر می‌باشد [۱۵]. برای طراحی و ارزیابی اغلب سازه‌ها

به جای روش‌های غیرخطی، جهت سهولت به روش

الاستیک خطی انجام می‌شود در نتیجه پاسخ سازه بر مبنای

مشخصات الاستیک خطی سازه و نیروهای لرزه‌ای متناسب

که در طراحی استفاده شده است به دست می‌آید. برای

طراحی سازه در حالت الاستیک، پاسخ‌های با ۵ درصد

میرایی توسط ضریب کاهنده R کاهش داده می‌شوند که

F_{Ai} : ضریب بازتاب پریود کوتاه سایت i دارای شتاب طیفی

S_{AS}

جدول ۲- طبقه‌بندی خاک بر اساس سرعت موج برشی طبق

آیین‌نامه IBC-2006

Site Class	Site Class Description	Shear-wave Velocity
A	Hard rock , eastern U.S. sites only	> 1500
B	Rock	760-1500
C	Very dense soil and soft rock	360-760
D	Very dense soil and soft rock	180-360
E	Stiff soil	180-360
F	Soft soil , profile with > 3m of soft clay defined as soil with plasticity index PI>20 , moisture content w> 40%	<180
F	Soils requiring site-specific evaluations	--

جدول ۳- ضرایب بازتاب خاک برای شتاب طیفی کوتاه و بلند

آیین‌نامه IBC-2006

Site Class B	Site Class				
	A	B	C	D	E
Spectral Acceleration					
Short-Period	Short-Period Amplification Factor, F_A				
, S_{AS}[g]					
$\leq 0/25$	0/8	1	1/2	1/6	2/5
(0/25,0/50]	0/8	1	1/2	1/4	1/7
(0/50,0/75]	0/8	1	1/1	1/2	1/2
(0/75,1/0]	0/8	1	1	1/1	0/9
>1/0	0/8	1	1	1	0/9
1-Second eriod					
, S_{AL}[g]					
<1/0	0/8	1	1/7	2/4	3/5
(0/1,0/2]	0/8	1	1/6	2	3/2
(0/2,0,3]	0/8	1	1/5	1/8	2/8
(0/3,0/4]	0/8	1	1/4	1/6	2/4
>0/4	0/8	1	1/3	1/5	2/4

برای به دست آوردن طیف شتاب تقاضا که شامل اثر

ساختگاه نیز می‌باشد از روابط (۱۱) و (۱۲) استفاده

می‌شود.

برای پریود ارتعاشی کوتاه:

$$S_{ASi} = S_{AS} F_{Ai} \quad (11)$$

برای پریود ارتعاشی بلند:

$$S_{ALi} = S_{AL} F_{Vi} \quad (12)$$

پریود T_{AVi} که نشان دهنده نقطه گذار از محدوده شتاب

طیفی ثابت به سرعت طیفی ثابت می‌باشد، تابعی از نوع

خاک می‌باشد و رابطه آن به صورت رابطه (۱۳) است:

$$T_{AVi} = (S_{AL}/S_{AS}) \times (F_{Vi}/F_{Ai}) \quad (13)$$

(مثلاً سقف آخر) به دست آید [۱۷]. روش تجزیه و تحلیل پوش آور به مانند تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی پیچیده نبوده و در آن می‌توان برای ارزیابی پاسخ لرزه‌ای سازه از طیف پاسخ به عنوان نمودار تقاضا استفاده نمود؛ لذا کاربرد این روش معمولاً در طراحی‌های مبتنی بر عملکرد توصیه می‌شود [۱۸]. به جهت مقایسه راحت‌تر با طیف پاسخ، نیرو به شتاب طیفی و جابجایی به جابجایی طیفی تغییر می‌یابد. چنین نموداری جابجایی حقیقی را برای سازه مورد نظر از طیف های پاسخ گوناگون به راحتی ارائه می‌دهد. نمودار ظرفیت سازه که در این مطالعه از آن استفاده شده است بر اساس تحقیقات و آزمایش‌ها و قضاوت مهندسی به دست آمده است [۱۳]. این نمودار که در شکل (۲) نشان داده شده است، دارای سه نقطه کنترل ظرفیت طراحی، ظرفیت تسلیم و ظرفیت نهایی می‌باشد که با این سه نقطه می‌توان نمودار منحصر به فرد هر سازه را رسم کرد. پارامترهای منحنی ظرفیت برای سطح طراحی آیین‌نامه‌ای متوسط و ضعیف در جداول ۴ و ۵ آمده است.

جدول ۴- پارامترهای منحنی ظرفیت- برای سطح طراحی آیین‌نامه‌ای متوسط (Moderate Code) [۱۳]

نوع سازه	ظرفیت تسلیم		ظرفیت نهایی	
	Dy(in)	Ay(g)	Du(in)	Au(g)
S1L	0/31	0/125	5/5	0/375
S1M	0/89	0/078	10/65	0/234
S1H	2/33	0/049	20/96	0/147
S2L	0/31	0/0	3/7	0/4
S2M	1/21	0/16	0/9	0/333
S2H	3/87	0/127	23/24	0/254
S4L	0/19	0/16	2/59	0/36
S4M	0/55	0/133	4/91	0/3
S4H	1/7	0/102	11/76	0/228
C1L	0/2	0/125	3/52	0/357
C1M	0/2	0/104	6/91	0/312
C2L	0/24	0/2	3/6	0/5
C2M	0/52	0/67	5/19	0/417
URML	-	-	-	-
URMM	-	-	-	-

منحنی ظرفیت سازه بر اساس تعیین پارامترهای مهندسی که بر ظرفیت طراحی، تسلیم و نهایی موثر هستند، به دست می‌آید. این پارامترها عبارتند از:
 C_S : ضریب مقاومت طراحی (نسبتی از وزن سازه)؛

این ضریب با توجه به سازه‌های مختلف متفاوت است. این ضریب کاهندگی با توجه به قضاوت مهندسی، توانایی تغییر شکل غیرالاستیک (شکل‌پذیری) سیستم سازه‌ای، اضافه مقاومت، میرایی بیش از ۵ درصد، تغییر شکل‌های زیاد و پارامترهای دیگری که در ظرفیت سازه مؤثر هستند به دست می‌آید. اگر چه این روش که بر پایه نیرو استوار است از لحاظ تحلیل مهندسی معقول به نظر نمی‌رسد ولی با این وجود سازه‌های طراحی شده به این شکل در سال‌های اخیر در اثر زلزله‌های اتفاق افتاده، پاسخ‌های قابل قبولی از خود نشان داده‌اند. آسیب سازه‌ای به جز در سیستم‌های غیرشکل‌پذیر، ترد و المان‌های حساس به شتاب، اساساً بیشتر بستگی به جابجایی سازه دارد تا به نیروی وارد شده به سازه [۱۳]. خرابی سازه‌ای در سیستم‌های شکل‌پذیر نظیر قاب‌های فولادی، به تغییر شکل‌های غیرالاستیک تجمعی بستگی دارد، اما در سیستم‌های نسبتاً ترد نظیر ساختمان‌های با مصالح بنایی، معمولاً رفتار برشی غالب بوده و خرابی را می‌توان بر حسب تغییر شکل بیشینه بیان نمود. خرابی در سازه‌های بتن مسلح به هر دو عامل تغییر شکل الاستیک و تغییر شکل تجمعی تحت بارگذاری رفت و برگشتی بستگی دارد. در نتیجه به منظور تعیین مقادیر واقعی‌تر برای خرابی باید علاوه بر بیشینه پاسخ غیرالاستیک، تغییر شکل‌های غیرالاستیک تجمع یافته در حرکات رفت و برگشتی در نظر گرفته شود [۱۶]. در محدوده پاسخ غیرالاستیک سازه، افزایش آسیب از افزایش جابجایی ایجاد می‌گردد و این در حالی است که در این محدوده ممکن است نیرو ثابت باشد و یا حتی کاهش یابد. بنابراین ارزیابی صحیح آسیب لرزه‌ای منوط به تعیین دقیق پاسخ سازه (جابجایی) در محدوده غیرالاستیک می‌باشد و این مورد با روش‌های خطی الاستیک به دست نمی‌آید. زیرا سازه برای بزرگ‌گانهایی که خطر سازه برای آنها بررسی می‌شود به صورت غیرخطی عمل می‌کنند و در محدوده غیرالاستیک هستند. منحنی ظرفیت سازه یک ابزار دقیق ساده و منطقی برای پیش‌بینی پاسخ (جابجایی) غیرخطی سازه جهت تعیین آسیب می‌باشد. منحنی ظرفیت سازه (که به منحنی پوش آور^۱ معروف است) یک نمودار از بار جانبی وارده به سازه در مقابل جابجایی جانبی می‌باشد که می‌تواند از منحنی برش پایه در مقابل جابجایی سازه

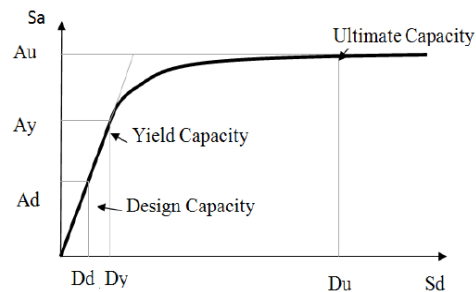
¹ Push Over Curve

شماره ۲۷۳ آژانس مدیریت بحران فدرال FEMA-273^۳ [۲۲] ذکر شده و روش طیف پاسخ شتاب جابجایی اصلاح شده MADRS^۴ که در نشریه شماره ۴۴۰ آژانس مدیریت بحران فدرال FEMA-440 [۲۳] و نشریه شماره ۳۵۶ آژانس مدیریت بحران فدرال FEMA-356 [۲۴] مطرح شده است از جمله این روش‌ها می‌باشند. در این مطالعه از روش طیف پاسخ شتاب-جابجایی اصلاح شده استفاده شده است.

روش طیف پاسخ شتاب-جابجایی اصلاح شده روشی است جهت اصلاح روش طیف ظرفیت که در نشریه شماره ۴۰ شورای فن‌آوری کاربردی ذکر شده است. زمانی که خطی‌سازی معادل به عنوان قسمتی از روش غیرخطی استاتیکی استفاده می‌شود، سازه به عنوان یک نوسانگر یک درجه آزادی مدل می‌شود که هدف از آن یافتن بیشینه جابجایی پاسخ سیستم غیرخطی با معادل‌سازی آن در سیستم خطی و استفاده از پیوند ارتعاشی مؤثر (T_{eff}) و میرایی مؤثر (β_{eff}) است [۲۳].

در پیوند مؤثر، پارامترهای میرایی سیستم خطی معادل با توجه به طیف ظرفیت نشان داده شده است. در این روش فرض بر این است که بیشینه جابجایی در محل تقاطع منحنی ظرفیت با منحنی تقاضا برای میرایی مؤثر در روش طیف پاسخ شتاب-جابجایی اتفاق می‌افتد. در بسیاری از مطالعات نشان داده شده است که نقطه عملکردی که با روش طیف پاسخ شتاب-جابجایی به دست می‌آید چندان قابل اعتماد نیست لذا تغییرات و اصلاحاتی در روش طیف پاسخ شتاب-جابجایی در نشریه شماره ۴۴۰ آژانس مدیریت بحران فدرال اعمال شده است. روش طیف پاسخ شتاب جابجایی اصلاح شده اساساً بر پایه به دست آوردن میرایی مؤثر (β_{eff}) و پیوند ارتعاشی مؤثر (T_{eff}) می‌باشد که با آنها می‌توان جابجایی بیشینه را به دست آورد. از تقاطع پیوند مؤثر با منحنی تقاضای طیف پاسخ شتاب-جابجایی برای میرایی مؤثر، جابجایی طیفی به دست می‌آید. پیوند ارتعاشی مؤثر از پیوند ارتعاشی تقاطع (T_{sec}) که از رسم خط از مرکز و نقطه متناظر (d_{max}) روی منحنی ظرفیت است کمتر می‌باشد. شتاب مؤثر (a_{eff}) مفهوم خاصی ندارد چون شتاب بیشینه حقیقی باید روی منحنی ظرفیت و در راستای جابجایی بیشینه قرار داشته باشد. شتاب مؤثر

T_e : پیوند مد غالب الاستیک سازه (ثانیه)؛
 α_1 : نسبتی از وزن سازه که در مد پوش آور مؤثر است؛
 α_2 : نسبتی از ارتفاع سازه در موقیت جابجایی پوش آور؛
 γ : ضریب اضافه مقاومت که برابر نسبت مقاومت نهایی به مقاومت تسلیم است؛
 μ : ضریب شکل پذیری.



شکل ۲- منحنی ظرفیت سازه [۱۳]

جدول ۵- پارامترهای منحنی ظرفیت- برای سطح طراحی آیین‌نامه‌ای ضعیف (Low Code) [۱۳]

نوع سازه	ظرفیت تسلیم		ظرفیت نهایی	
	Dy(in)	Ay(g)	Du(in)	Au(g)
S1L	0/15	0/62	2/29	0/187
S1M	0/44	0/039	4/44	0/117
S1H	1/16	0/024	8/73	0/73
S2L	0/61	0/1	1/57	0/2
S2M	0/61	0/083	4/04	0/167
S2H	1/94	0/063	9/68	0/127
S4L	0/1	0/08	1/08	0/18
S4M	0/27	0/067	2/05	0/15
S4H	0/87	0/051	4/9	0/114
C1L	0/1	0/062	1/47	0/187
C1M	0/29	0/052	2/88	0/156
C2L	0/12	0/1	1/5	0/25
C2M	0/26	0/083	2/16	0/208
URML	0/24	0/2	2/4	0/4
URMM	0/27	0/111	1/81	0/222

عملکرد سازه تحت بارهای لرزه‌ای: یکی از مسایل مهم در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها تخمین قابل اطمینان از مقدار بیشینه تغییر شکل‌های سازه در هنگام وقوع زلزله می‌باشد [۱۹]. برای به دست آوردن عملکرد لرزه‌ای سازه، باید جابجایی طیفی سازه در راستای منحنی ظرفیت آن بررسی شود که برای این منظور منحنی ظرفیت سازه با منحنی تقاضای لرزه‌ای مقایسه می‌شود [۲۰]. در حال حاضر روش‌های مختلفی برای به دست آوردن نقطه عملکرد سازه روی منحنی ظرفیت آن وجود دارد. روش طیف ظرفیت^۱ CSM که در شورای فن‌آوری کاربردی ATC-40^۲ [۲۱] و نشریه

^۳ Federal Emergency Management Agency

^۴ Modified Acceleration Displacement Response Spectrum

^۱ Capacity Spectrum Method

^۲ Applied Technology Council

$$\beta_{eff} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad \mu < 4 \quad (22)$$

$$\beta_{eff} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad 4 \leq \mu \leq 6.5 \quad (23)$$

$$\beta_{eff} = E \left[\frac{F(\mu-1)-1}{F(\mu-1)^2} \times \frac{T_{eff}}{T_0} \right] \quad \mu > 6.5 \quad (24)$$

پریود ارتعاشی موثر (T_{eff}) از روابط (۲۵) تا (۲۷) بدست می آید: (ضرایب G تا L از جدول ۷ به دست می آید)

$$T_{eff} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0, \mu < 4 \quad (25)$$

$$T_{eff} = [I + (\mu - 1) + 1]T_0, \quad 4 \leq \mu \leq 6.5 \quad (26)$$

$$T_{eff} = \left\{ K \left[\sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+L(\mu-1)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0, \mu > 6.5 \quad (27)$$

جدول ۶- روابط میرایی موثر طبق نشریه شماره ۴۴۰ آژانس

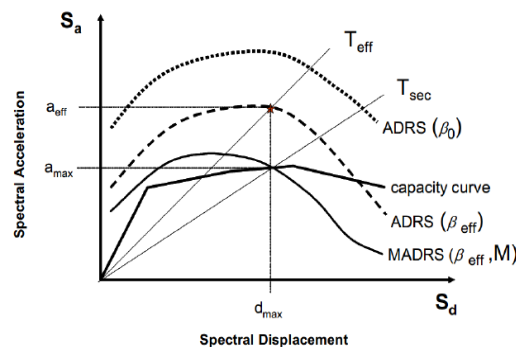
مدیریت بحران فدرال (FEMA-440)

[α %]	A	B	C	D	E	F
0	5/1	-1/1	12	1/4	20	0/62
2	5/3	-1/2	11	1/6	20	0/51
5	5/6	-1/3	10	1/8	20	0/38
10	5/3	-1/2	9/2	1/9	21	0/37
20	5/6	-1	9/6	1/3	23	0/34

جدول ۷- روابط میرایی موثر طبق نشریه شماره ۴۴۰ آژانس

مدیریت بحران فدرال (FEMA-440)

[α %]	G	H	I	J	K	L
0	0/17	-0/032	0/10	0/19	0/85	0/00
2	0/18	-0/034	0/22	0/16	0/88	0/02
5	0/18	-0/037	0/15	0/16	0/92	0/05
10	0/17	-0/034	0/26	0/12	0/97	0/10
20	0/13	-0/027	0/11	0/11	1/00	0/20



شکل ۳- طیف پاسخ شتاب - جابجایی (ADRS)^۱ [۲۳]

برابراست با حاصلضرب (a_{eff}) در یک ضریب اصلاح که طبق رابطه (۱۵) است.

$$M = a_{max} / a_{eff} \quad (15)$$

با توجه به اینکه مقادیر شتاب با پریودهای ارتعاشی متناظر در ارتباط هستند ضریب اصلاح از رابطه (۱۶) و (۱۷) به دست می آید:

$$M = \frac{(T_{eff} / T_{sec})^2 = (T_{eff} / T_0)^2 \times (T_0 / T_{sec})^2 \quad (16)$$

$$\left(\frac{T_0}{T_{sec}} \right)^2 = \sqrt{\frac{1 - \alpha(\mu - 1)}{\mu}} \quad (17)$$

سختی بعد از الاستیک α و تقاضای شکل پذیری μ از روابط (۱۸) و (۱۹) به دست می آید.

$$\alpha = \frac{api - ay}{\frac{dpy - dy}{dy}} \quad (18)$$

$$\frac{dy}{\alpha} = dpi \quad (19)$$

عملیات خطی سازی معادل در عمل به دست آوردن ضریبی است که این ضریب به طیف پاسخ با میرایی ۵ درصد اعمال شود و آن را به طیف پاسخ جدید در سطوح میرایی مؤثر تبدیل کند که به صورت رابطه (۲۰) و (۲۱) است: (β_{eff}) بر حسب درصد می باشد)

$$(Sa)\beta = (Sa)_{5\%} / B(\beta_{eff}) \quad (20)$$

$$B(\beta_{eff}) = 4 / [5.6 - \ln(\beta_{eff})] \quad (21)$$

با توجه به اینکه پریود ارتعاشی مؤثر و میرایی مؤثر هر دو تابعی از ضریب تقاضای شکل پذیری می باشند، جابجایی بیشینه در روش خطی سازی معادل به صورت مستقیم به دست نمی آید و نیازمند روش های تکراری می باشد. میرایی مؤثر و پریود ارتعاشی مؤثر وابستگی زیادی به رفتار غیرالاستیک سازه دارد. در نشریه شماره ۴۴۰ آژانس مدیریت بحران فدرال سه سیستم هیستریزیس غیرالاستیک که شامل هیستریک دو خطی، افت سختی و رفتار افت مقاومت برای به دست آوردن عملکرد ذکر شده است.

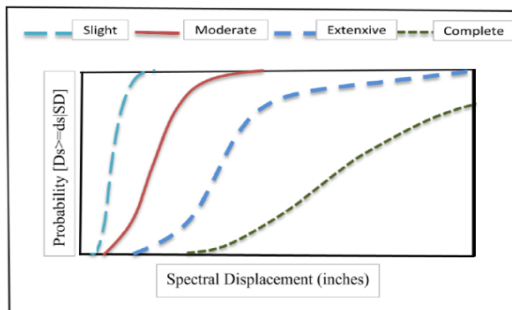
میرایی ویسکوز مؤثر (β_{eff}) نیز با توجه به ضریب تقاضای شکل پذیری از روابط (۲۲) تا (۲۴) بدست می آید. (ضرایب A تا F از جدول ۶ به دست می آید).

¹ Acceleration Displacement Response Spectrum

هر یک از منحنی‌های شکست توسط میانگین پارامترهای تقاضا (جابجایی طیفی) به دست آمده‌اند و نشان دهنده آستانه آسیب‌پذیری در آن سطح می‌باشند. در اغلب موارد در مورد منحنی شکست، انحراف معیار استاندارد β به عنوان یک پارامتر مشخص‌کننده تصادفی بودن داده‌ها تعریف می‌گردد [۱۳]. احتمال فراگذشت از سطح آسیب مورد نظر با توجه به جابجایی طیفی (d_s) از رابطه (۲۸) به دست می‌آید [۲۵].

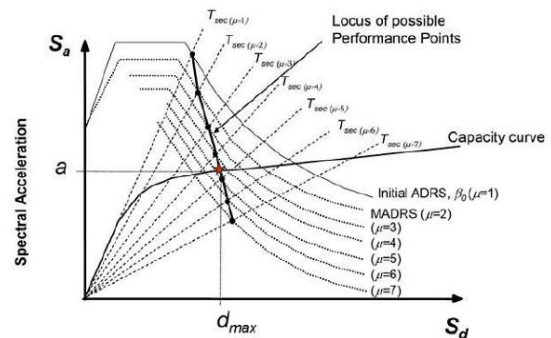
$$P\{d_s | s_d\} = \varphi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{s_d}{s_{d,ds}} \right) \right] \quad (28)$$

که در آن: $S_{d,ds}$: جابجایی طیفی میانگین می‌باشد که در آن جابجایی سازه به آستانه آسیب می‌رسد.
 β_{ds} : انحراف استاندارد لگاریتم طبیعی طیف جابجایی برای سطح خطر.
 φ : تابع توزیع نرمال است.



شکل ۵- منحنی شکنندگی [۱۲]

برای به دست آوردن نقطه عملکرد، نشریه شماره ۴۴۰ آژانس مدیریت بحران فدرال سه پیشنهاد دارد که هر سه آنها بر مبنای کاهش مقادیر طیف پاسخ شتاب-جابجایی با میرایی ویسکوز مؤثر (β_{eff}) می‌باشند. یکی از روش‌ها، تعیین محل احتمالی نقطه عملکرد می‌باشد. این کار با ایجاد چندین نمودار طیف تقاضا طیف پاسخ شتاب-جابجایی اصلاح شده برای مقادیر مختلف μ به دست می‌آید. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است نقطه عملکرد توسط قطع دادن طیف ظرفیت با خط احتمالی نقطه عملکرد از تقاطع نقاط عملکرد منحنی‌های تقاضاهای مختلف به دست آمده است، به دست می‌آید.



شکل ۴- تعیین نقطه عملکرد سازه باروش تعیین محتمل آن [۲۱]
تابع آسیب: تابع آسیب به صورت منحنی شکنندگی نیمه لگاریتمی است و ارتباط سطح آسیب و پاسخ سازه (جابجایی در نقطه عملکرد) را نشان می‌دهد. نمونه‌ای از منحنی آسیب در شکل (۵) نشان داده شده است.

جدول ۸- پارامترهای منحنی شکنندگی برای سطح طراحی آیین‌نامه‌ای متوسط [۱۳]

نوع سازه	خفیف		متوسط		گسترده		کامل	
	متوسط	بتا (Beta)	متوسط	بتا (Beta)	متوسط	بتا (Beta)	متوسط	بتا (Beta)
S1L	1/300	0/80	2/240	0/75	5/080	0/74	12/960	0/88
S1M	2/160	0/65	3/740	0/68	8/460	0/69	21/600	0/87
S1H	3/370	0/64	5/830	0/64	13/210	0/71	33/700	0/83
S2L	1/080	0/93	1/870	0/92	5/040	0/93	12/960	0/93
S2M	1/800	0/70	3/120	0/69	8/400	0/69	21/600	0/89
S2H	2/810	0/66	4/870	0/64	13/100	0/69	33/700	0/80
S4L	0/860	0/96	1/500	1/00	4/040	1/03	11/340	0/92
S4M	1/440	0/75	2/500	0/72	6/730	0/72	18/900	0/94
S4H	2/250	0/66	3/900	0/67	10/500	0/70	29/480	0/90
C1L	0/900	0/89	1/560	0/90	4/200	0/90	10/800	0/89
C1M	1/500	0/70	2/600	0/70	7/000	0/700	18/000	0/89
C2L	0/720	0/91	1/520	0/97	4/170	1/03	10/800	0/87
C2M	1/200	0/81	2/530	0/77	6/950	0/73	18/000	0/91
URML	-	-	-	-	-	-	-	-
URMM	-	-	-	-	-	-	-	-

جدول ۹- پارامترهای منحنی شکنندگی برای سطح طراحی آیین‌نامه‌ای ضعیف [۱۳]

نوع سازه	جابجایی طیفی (اینچ)							
	خفیف		متوسط		گسترده		کامل	
	متوسط	بتا (Beta)	متوسط	بتا (Beta)	متوسط	بتا (Beta)	متوسط	بتا (Beta)
S1L	1/300	0/77	2/070	0/78	4/380	0/78	10/800	0/96
S1M	2/160	0/68	3/440	0/78	7/30	0/85	18/000	0/98
S1H	3/370	0/66	5/370	0/70	11/380	0/76	28/080	0/92
S2L	1/080	0/96	1/730	0/89	4/320	0/86	10/800	0/98
S2M	1/800	0/70	2/880	0/73	7/200	0/85	18/000	0/98
S2H	2/810	0/66	4/490	0/67	11/230	0/74	28/080	0/92
S4L	0/860	1/05	1/380	0/98	3/470	0/89	9/450	0/98
S4M	1/440	0/76	2/310	0/78	5/780	0/90	15/750	0/99
S4H	2/250	0/70	3/600	0/75	9/010	0/90	24/570	0/98
C1L	0/900	0/95	1/440	0/91	3/600	0/85	9/000	0/97
C1M	1/500	0/70	2/400	0/74	6/000	0/86	15/000	0/98
C2L	0/720	1/04	1/370	1/02	3/550	0/99	9/000	0/95
C2M	1/200	0/82	2/290	0/81	5/920	0/81	15/000	0/99
URML	0/410	0/99	0/810	1/05	2/030	1/10	4/730	1/08
URMM	0/630	0/91	1/260	0/92	3/150	0/87	7/350	0/91

می‌شود. این منحنی‌ها، جابجایی پوش آور هر یک از انواع سازه‌ها را برای سطوح مختلف بارگذاری لرزه‌ای نشان می‌دهند.

سطوح آسیب سازه‌ای: سطح آسیب‌های سازه‌ای در چهار دسته خفیف^۱، متوسط^۲، گسترده^۳، کامل^۴ طبقه‌بندی شده‌اند [۲۵]. در اینجا یک نمونه منحنی شکنندگی بر اساس جداول هازبوس برای سازه بتنی قاب خمشی ۴ تا ۸ طبقه (C1M) که در سطح طراحی آیین‌نامه‌ای قوی^۵ قرار دارد محاسبه می‌گردد. میانگین جابجایی طیفی برای آستانه آسیب گسترده ۹ اینچ است و انحراف معیار استاندارد آن ۰/۶۸ می‌باشد. مقادیر طبق روابط به صورت زیر به دست می‌آیند.

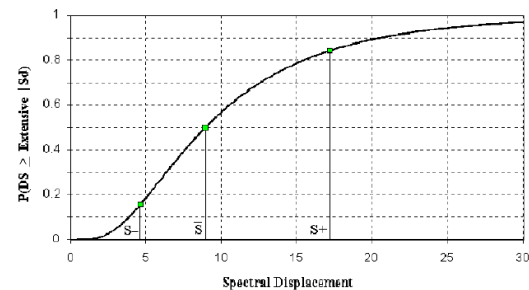
$$S_+ = \bar{S} \times \exp(\beta) = 9 \times e^{0.68} = 17/76 \text{ inch}$$

$$S_+ = \bar{S} \div \exp(\beta) = 9 \div e^{0.68} = 4/55 \text{ inch}$$

$$P[\text{Extensive/damage} | S_d = S_- = 4/55] = 16$$

$$P[\text{Extensive/damage} | S_d = \bar{S} = 9] = 0/5$$

$$P[\text{Extensive/damage} | S_d = S_+ = 17/8] = 0/84$$



شکل ۶- منحنی شکست سازه قاب خمشی بتنی متوسط برای آسیب گسترده [۱۳]

در بررسی آسیب سازه در اثر حرکت زمین از پاسخ طیفی بیشینه (جابجایی یا شتاب) برای به دست آوردن منحنی شکست استفاده می‌شود. پاسخ طیفی بیشینه سازه با توجه به مشخصات سازه متفاوت است. بنابراین به دست آوردن پاسخ بیشینه سازه با توجه به مشخصات سازه متفاوت است. همچنین با فرض اینکه آسیب‌دیدگی سازه سبب اغتشاش در پاسخ آن می‌گردد که ممکن است در این آشفتگی در بررسی پاسخ سازه قابل تشخیص نباشد [۲۶]. لذا به دست آوردن پاسخ بیشینه سازه نیازمند فهم صحیح رفتار سازه می‌باشد. پاسخ سازه‌ها براساس منحنی ظرفیت آنها تعیین

⁴ Complete

⁵ High Code

¹ Slight

² Moderate

³ Extensive

جدول ۱۰- توزیع جمعیت در محل مورد مطالعه در زمان‌های مختلف طبق هازبوس [۱۳]

Distribution of People in Census Tract			
Occupancy	2 : 00 a.m.	10:00 a.m.	5:00 p.m.
Indoors			
Residential	(0/999)0/99(NRES)	(0/7)0/75(DRES)	(0/7)0/5(NRES)
Commercial	(0/999)0/02(COMW)	(0/999)0/98(COMW)+ (0/80)0/20(DRES)+ 0/8(Hotel)+ 0/8(Visit)	0/98[0/50(COMW)+ 0/1(NRES)+ 0/70(HOTEL)]
Educational		(0/90)0/80(GRAD)+ 0/8(COLLEGE)	(0/8)0/5(COLEGE)
Industrial	(0/999)0/1(INDW)	(0/90)0/80(INDW)	(0/90)0/50(INDW)
Hotels	0/999(HOTEL)	0/19(HOTEL)	0/299(HOTEL)
Outdoors			
Residential	(0/001)0/99(NRES)	(0/30)0/75(DRES)	(0/30)0/50(NRES)
Commercial	(0/001)0/02(COMW)	(0/01)0/98(COMW)+ (0/20)0/20(DRES)+ (0/20)(VISIT) + 0/50(1-PRFIL)0/05(pop)	0/02[0/50(COMW)+ 0/1(NRES)+ 0/70(HOTEL)+ 0/5(1-PRFIL) [0/05(POP)-1/0(COMM)]
Educational		(0/10)0/80(GRADE)+ 0/20(COLLEGE)	(0/20)0/50(COLLEGE)
Industrial	(0/001)0/10(INDW)	(0/1)0/80(INDW)	(0/1)0/50(INDW)
Hotels	0/001(Hotel)	0/01(HOTEL)	0/001(HOTEL)

جدول ۱۱- زیربنای سازه‌ها در مناطق چهارگانه همدان (مترمربع) [۳۰]

جمع زیربنای بنایی		جمع زیربنای فولادی			جمع زیربنای بتنی			شماره منطقه
+۱ طبقه	۱ طبقه	+۸ طبقه	۴-۸ طبقه	۱-۳ طبقه	+۸ طبقه	۴-۸ طبقه	۱-۳ طبقه	
۱۹۰۴۷۰	۲۷۹۸۱۷۷	۱۲۸۴۶۷	۲۵۱۰۹۶۷	۴۴۹۶۲۴۸	۲۳۷۰۴	۴۱۰۶۳۲	۸۰۰۰۸۷	۱
۱۷۸۸	۱۶۲۷۳۴	۱۴۸۵۳۹	۱۹۰۷۵۴۴	۵۹۸۰۲۶۱	۰	۱۲۱۶۱۶	۳۱۷۶۶	۲
۱۳۹۴۹۹	۳۲۳۹۲۰۰	۰	۵۵۴۳۶۳	۵۶۳۳۸۸	۰	۷۶۴۳۳	۲۰۲۶۰	۳
۱۱۰۰۸	۲۵۰۹۵۸	۰	۶۲۳۱۰۸	۳۶۹۸۹۶۴	۱۴۲۷	۸۳۷۴۲	۵۱۹۴۷	۴

خسارت اقتصادی یک مطالعه بسیار تخصصی و پیچیده می‌باشد که نیازمند همکاری تخصصی چندجانبه است. خسارت‌های مستقیم، ناشی از آسیب سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌باشد که به دلیل عدم وجود داده‌های کافی برای سیستم‌های غیرسازه‌ای، در این مطالعه فقط به آسیب‌های سازه‌ای پرداخته شده است. خسارت اقتصادی برای بازسازی ساختمان و یا جایگزین نمودن آن (در شرایطی که خسارت به صورت کامل اتفاق افتاده باشد) از رابطه (۲۹) به دست می‌آید [۲۷].

برآورد خسارات اقتصادی: زلزله علاوه بر تلفات جانی خسارت اقتصادی بسیاری نیز دارد که این خسارات از آسیب‌های مستقیم و مشخص شروع شده و ممکن است تا چندین سال ادامه داشته باشند. خسارت می‌تواند شامل آسیب به سازه، آسیب به اجزای غیرسازه‌ای، آسیب دیدن لوازم درون ساختمان‌ها (که در این مورد بیمارستان‌ها و مراکز صنعتی بسیار حائز اهمیت است)، آسیب دیدن راه‌ها، بندرگاه‌ها و فرودگاه‌ها که نتیجه آن از بین رفتن رونق اقتصادی برای چندین سال می‌گردد. لذا مطالعه در مورد

توزیع جمعیت در محل مورد مطالعه در زمان‌های مختلف طبق روش هازبوس در جدول ۱۰ آمده است.

در این جدول:

Pop: کل جمعیت منطقه مورد مطالعه؛ DRES: جمعیت ساکن در روز؛ NRES: جمعیت ساکن در شب؛ COMM: جمعیتی که بین دو سازه (محل کار و منزل) در حال تردد هستند؛ COMW: جمعیت شاغل در مکان‌های تجاری؛ INDW: جمعیت شاغل در مکان‌های صنعتی؛ GRADE: تعداد دانش آموزان در منطقه؛ COLLEGE: تعداد دانشجویان در هر منطقه؛ HOTEL: تعداد افرادی که در هتل سکونت دارند.

محاسبه نسبت خسارت متوسط^۱ (MDR): تحلیل خطرپذیری لرزه‌ای دارای خروجی‌ها و نتایج متنوعی می‌باشد، تنوع بسیار زیاد نتایج و همچنین وجود سازه‌های مختلف با کاربری‌های متنوع اغلب باعث می‌شود که مقایسه منطقه آسیب دیده با مشکل روبرو گردد. لذا در نشریه آژانس مدیریت بحران فدرال نسبتی تعریف شده است که نسبت خسارت متوسط نامیده شده است [۲۹]. به وسیله این نسبت، خسارت وارده به نوع سازه در مناطق مختلف شهرهای مختلف قابل مقایسه می‌باشند. این نسبت ها به صورت روابط (۳۰) تا (۳۳) می‌باشد.

نسبت خسارت متوسط (MDR) برای هر یک از مناطق از رابطه (۳۰) به دست می‌آید:

$$MDR_i^k = \frac{DR_s^k N_{si}^k + DR_M^k N_{Mi}^k + DR_E^k N_{Ei}^k + DR_C^k N_{Ci}^k}{N_{Ti}^k} \quad (30)$$

که در آن:

DR_i^k : نسبت آسیب نوع سازه (k نوع سازه، j سطح آسیب)
 N_{ji}^k : زیربنای آسیب سازه متناسب با سطح آسی j برای سازه نوع k در منطقه i
 N_{Ti}^k : کل زیربنای ساخت سازه نوع k در منطقه i می‌باشد.
 این نسبت برای مقایسه آسیب وارده به نوع خاص سازه و مقایسه آن با مناطق دیگر مناسب می‌باشد.

نسبت خسارت متوسط برای هر یک از مناطق از رابطه (۳۱) به دست می‌آید:

$$MDR_i = \frac{\sum_{k=1}^{mbt} DR_s^k N_{si}^k + DR_M^k N_{Mi}^k + DR_E^k N_{Ei}^k + DR_C^k N_{Ci}^k}{N_{Ti}} \quad (31)$$

$$L_{eco} = Cr \sum_{i=1}^{N_{ot}} \sum_{j=1}^{N_{BT}} \sum_{k=1}^{N_{ds}} A_{i,j} P_{j,k} C_{i,j,k} \quad (29)$$

که در آن: N_{ot} تعداد کاربری‌ها، N_{BT} تعداد نوع سازه‌ها و N_{ds} تعداد سطوح آسیب می‌باشند. ضرایب دیگر به شرح زیر است:

Cr : ضریب هزینه محلی، ضریبی است که اختلاف قیمت دو سازه مشابه در دو منطقه متفاوت را تعیین می‌کند. که در این مطالعه، یک در نظر گرفته شده است.

$A_{i,j}$: زیربنای ساخته شده سازه نوع j با کاربری i (برحسب متر مربع)

$P_{j,k}$: احتمال سطح آسیب نوع k برای سازه نوع j

$C_{i,j,k}$: هزینه بهسازی و ترمیم سازه نوع j با کاربری i و سطح آسیب k برای هر مترمربع در واحد پول رایج کشور.

ارزیابی تلفات: در این قسمت تلفات براساس خسارت وارده به سازه محاسبه می‌گردد. در زلزله‌های با شدت کمتر تلفات غیرسازه‌ای تعیین کننده هستند و در زلزله‌های با شدت بیشتر تلفات سازه‌ای سهم عمده‌ای از تلفات را موجب می‌شود. معماری ساختمان‌ها ابزار منحصر به فردی را برای بررسی تأثیر متقابل محیط با انسان ارائه می‌نماید. شکل سازه‌ها و روش و مصالح مورد استفاده در آنها نشان‌دهنده ارزیابی افراد از میزان و درجه خطرپذیری لرزه‌ای آن ناحیه می‌باشد [۲۸]. در این مطالعه فقط تلفات ناشی از آسیب‌های سازه‌ای مورد توجه قرار گرفته و عوامل مؤثر در تلفات مانند نوع کاربری، خطر فرو ریزش سازه‌ها، زمان اتفاق افتادن زلزله و سطح آسیب به وجود آمده بررسی شده است.

پارامترهای مربوط به زمان وقوع زلزله: میزان تلفات در زمان وقوع زلزله برای سه زمان از شبانه روز محاسبه می‌شوند که به شرح زیر است:

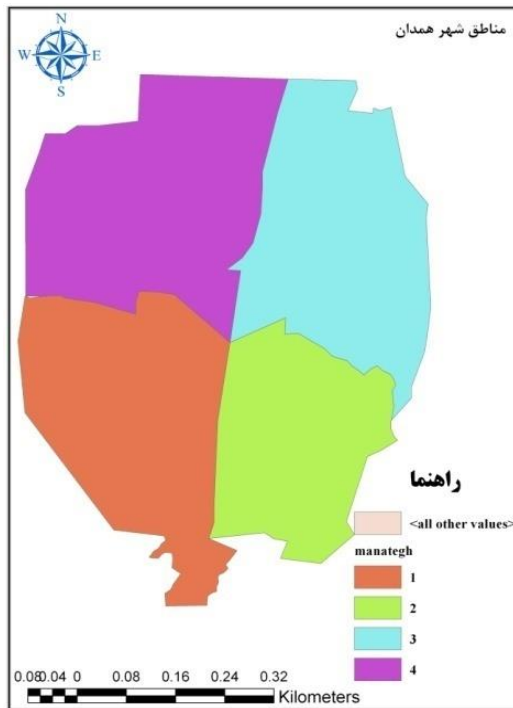
- رخداد زلزله مصادف با ساعت ۲ شب (پیش‌بینی می‌شود اکثر مردم در این زمان در منزل می‌باشند).

- رخداد زلزله مصادف با ساعت ۱۰ صبح (پیش‌بینی می‌شود در این زمان اکثر مردم سر کار یا دانشگاه یا مدرسه باشند).

- رخداد زلزله مصادف با ساعت ۵ بعداز ظهر (پیش‌بینی می‌شود در این زمان اکثر مردم محل کار را ترک کرده و در مسیر یا محل سکونت باشند).

¹ Mean Damage Ratio Computation

نقشه GIS شهر) از سازمان آمار و فناوری اطلاعات شهرداری همدان دریافت و تفکیک شدند [۳۰]. داده‌ها در حوزه‌های مختلف به صورت جداگانه استخراج و فایل‌های ورودی به نرم‌افزار تنظیم و آماده گردید. در شکل ۷ مناطق شهری شهر همدان نشان داده شده است.



شکل ۷- مناطق شهرداری شهر همدان [۳۰]

زیربنای ساخت: به طور کلی سه نوع سازه (بتنی، فولادی و بنایی) را می‌توان در شهر همدان در نظر گرفت که ساختمان‌های قدیمی نیز در گروه سازه‌های بنایی قرار داده شده‌اند. زیربنای سازه‌ها در هر حوزه طبق جدول ۱۱ می‌باشد.

نوع خاک و پارامترهای لرزه‌ای: طبق ویرایش چهارم آیین‌نامه زلزله استاندارد ۲۸۰۰ همدان در پهنه با خطر نسبی زیاد قرار گرفته و بیشینه شتاب آن برابر $g/3$ می‌باشد [۳۱]. طبق آیین‌نامه IBC-2006 سه پارامتر $Sa_{1/0}$ ، $Sa_{0.3}$ ، pga برای به دست آوردن طیف پاسخ مورد نیاز می‌باشد. شتاب طیفی از رابطه (۳۴) بدست می‌آید.

$$Sa = A \times B \quad (34)$$

که در آن، A بیشینه شتاب طیفی زمین و B ضریب بازتاب ساختمان است. نوع خاک از نقشه توزیع سرعت متوسط در عمق ۳۰ متر از استاندارد ۲۸۰۰ به دست می‌آید. پارامترهای لرزه‌ای با توجه به نوع خاک در جدول ۱۲ آمده است.

که در آن:

DR_j^k : نسبت آسیب نوع سازه (k نوع سازه، j سطح آسیب)

N_{ji}^k : زیربنای آسیب سازه متناسب با سطح آسیب j برای

سازه نوع k در منطقه i

N_T^k : کل زیربنای ساخت سازه در منطقه i می‌باشد.

در این رابطه همه سازه‌ها محاسبه می‌شوند ($k=1 : mbt$).

نسبت خسارت متوسط برای هر یک از سازه‌ها در همه

مناطق از رابطه (۳۲) به دست می‌آید:

$$MDR^k = \frac{\sum_{i=1}^{geounit} DR_s^k N_{si}^k + DR_M^k N_{Mi}^k + DR_E^k N_{Ei}^k + DR_C^k N_{Ci}^k}{N_T^k} \quad (32)$$

که در آن:

DR_j^k : نسبت آسیب نوع سازه (k نوع سازه، j سطح آسیب)

N_{ji}^k : زیربنای آسیب سازه متناسب با سطح آسیب j برای

سازه نوع k در منطقه i

N_T^k : کل زیربنای ساخت سازه نوع k در کل منطقه می‌باشد.

در این رابطه همه مناطق محاسبه می‌شوند

($i=1 : geounit$)

این رابطه برای مقایسه آسیب دو نوع سازه مختلف در کل

منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد.

نسبت خسارت متوسط برای همه سازه‌ها در همه مناطق

از رابطه (۳۳) به دست می‌آید:

$$MDR = \frac{\sum_{k=1}^{mbt} \sum_{i=1}^{geounit} DR_s^k N_{si}^k + DR_M^k N_{Mi}^k + DR_E^k N_{Ei}^k + DR_C^k N_{Ci}^k}{N_T} \quad (33)$$

که در آن:

DR_j^k : نسبت آسیب نوع سازه (k نوع سازه، j سطح آسیب)

N_{ji}^k : زیربنای آسیب سازه متناسب با سطح آسیب j برای

سازه نوع k در منطقه i

N_T : کل زیربنای ساخت سازه کل منطقه مورد مطالعه.

در این رابطه همه مناطق و همه سازه‌ها محاسبه می‌شوند

($i=1 : geounit$), ($k=1 : mbt$)

این رابطه برای مقایسه آسیب کل سازه‌ها بین دو شهر

مختلف مناسب می‌باشد.

محدوده تحقیق و جامعه آماری: شهر همدان به ۴

منطقه شهرداری تقسیم شده است که تحلیل و ارزیابی این

تحقیق نیز به تفکیک ۴ منطقه صورت گرفته است.

آمارهای مورد نیاز اعم از نوع سازه، تعداد طبقات، نوع

کاربری و مترای طبقات به صورت فایل اکسل (دیتا بیس

سازه‌های فلزی دارای قاب خمشی و بر اساس تعداد طبقات در مناطق مختلف شهری به طور نمونه در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. همچنین مساحت بدون آسیب این نوع سازه در مناطق مختلف نیز نشان داده شده است.

که در آن N مساحت بدون آسیب، S مساحت آسیب خفیف، M مساحت آسیب متوسط، E مساحت آسیب گسترده و C مساحت آسیب کامل می‌باشد.

تحلیل نتایج

منطقه سه شهر همدان بافت قدیمی‌ترین شهر محسوب می‌شود که در خروجی‌های نرم‌افزار سلنا بیشترین نسبت تلفات و خسارات به این منطقه تعلق دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این منطقه از شهر همدان بیشترین مساحت زیربنای سازه‌های بنایی قرار دارد که آسیب‌پذیرترین نوع سازه در مقابل زلزله می‌باشد و می‌تواند اختلاف در میزان خسارات را نسبت به مناطق دیگر توجیه نماید.

نقطه مقابل این منطقه، منطقه چهار شهرداری همدان است که با توجه به اینکه این ناحیه دارای بافت جدیدتری است و اکثر سازه‌های آن دارای استانداردهای به روزتری می‌باشند، در این بررسی متوجه خسارت کمتری شده است. تراکم جمعیت می‌تواند یکی دیگر از دلایل افزایش تلفات باشد. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود منطقه سه دارای نسبت تلفات بالایی است. همچنین این منطقه دارای تراکم بالای جمعیتی است. نوع خاک هم یکی از عوامل تأثیرگذار در میزان خسارت است. با توجه به اینکه در اکثر مناطق همدان شاهد خاک نوع سه هستیم لذا با لحاظ نمودن اثرات ناشی از آن می‌توان خسارات را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

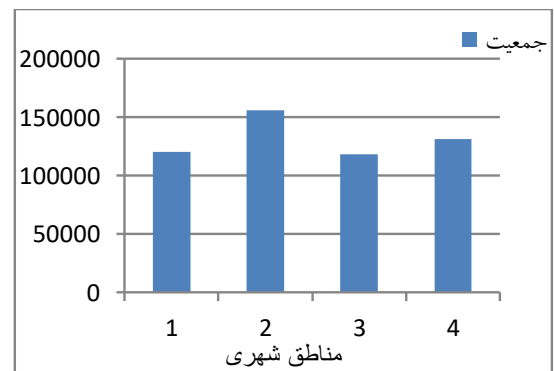
نسبت خسارت متوسط کل سازه‌های موجود شهر همدان به تفکیک هر منطقه در شکل (۱۳) نشان داده شده است که به ترتیب مناطق ۳، ۱، ۲ و ۴ دارای بیشترین خسارات می‌باشند.

خروجی دیگری که نرم‌افزار سلنا ارائه می‌نماید مساحت آسیب‌دیده در هر یک از مناطق شهری بر اساس انواع سازه‌های بتنی، فولادی و بنایی و بر حسب تعداد طبقات و نوع مقاومت جانبی سازه (قاب خمشی، دیواربرشی، مهاربندی و...) است که نمونه‌ای از آن در شکل (۱۵) نشان داده شده‌اند.

جمعیت: شهر همدان یکی از مراکز استان پر جمعیت می‌باشد. شکل (۸) نشان دهنده جمعیت و تراکم در مناطق مورد مطالعه است [۳۲].

جدول ۱۲- پارامترهای لرزه‌ای با توجه به نوع خاک [۱۳ و ۳۱]

پارامترها	بیشینه شتاب زمین	ضریب بازتاب	ضریب بازتاب	شتاب طیفی	شتاب طیفی
	۰/۳	۱/۰	۱/۰	پریود ارتعاشی ۱/۰ ثانیه	پریود ارتعاشی ۰/۳ ثانیه
نوع خاک	PGA	B	B	$Sa_{1.0}$	$Sa_{0.3}$
اول	۰/۳	۲/۵	۱/۳۵۷۲	۰/۴۷۵۰۲	۰/۸۷۵
دوم	۰/۳	۲/۵	۱/۵۷۴۹	۰/۵۵۱۲۱۵	۰/۸۷۵
سوم	۰/۳	۲/۷۵	۲/۰۹۱۹	۰/۷۳۲۱۶۵	۰/۹۶۲۵
چهارم	۰/۳	۲/۷۵	۲/۷۵	۰/۹۶۲۵	۰/۹۶۲۵



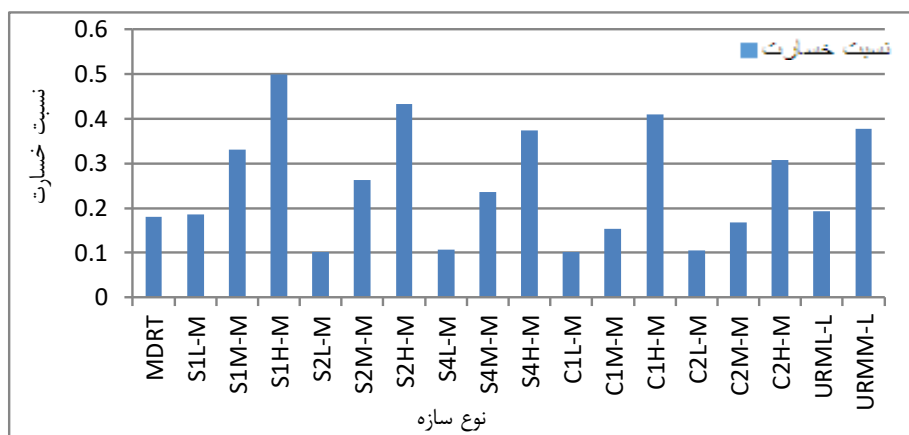
شکل ۸- جمعیت چهار منطقه شهر همدان (نفر)

۳- آنالیز و تحلیل نتایج

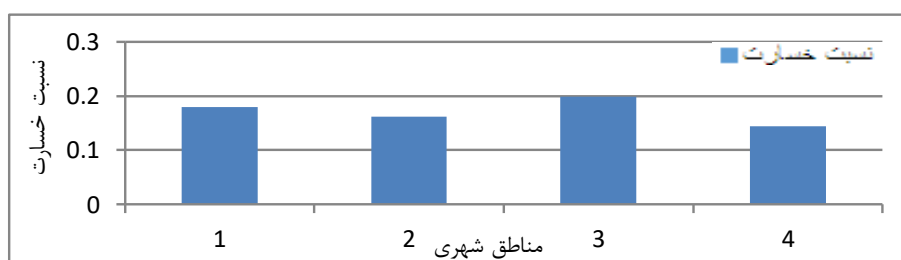
نتایج ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای شهر همدان با استفاده از نرم‌افزار سلنا مطابق جدول، شکل‌ها و نمودارهای زیر به دست آمده است.

نسبت خسارت متوسط: نسبت خسارت متوسط هر یک از انواع سازه‌ها با توجه به نوع سازه و تعداد طبقات، در شکل (۹) و همچنین نسبت خسارت متوسط در هر یک از مناطق شهر همدان در شکل (۱۰) نشان داده شده است. **تلفات:** تلفات ناشی از زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران در ساعت‌های ۲، ۱۰ و ۱۷ مطابق شکل (۱۱) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین تلفات، در ساعت ۲ بامداد و در منطقه ۳ رخ داده است.

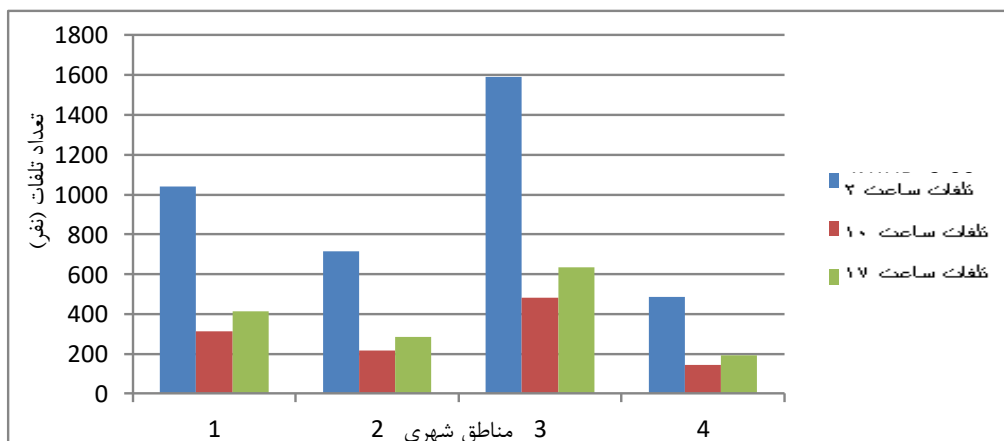
مساحت آسیب دیده: مساحت آسیب دیده برای



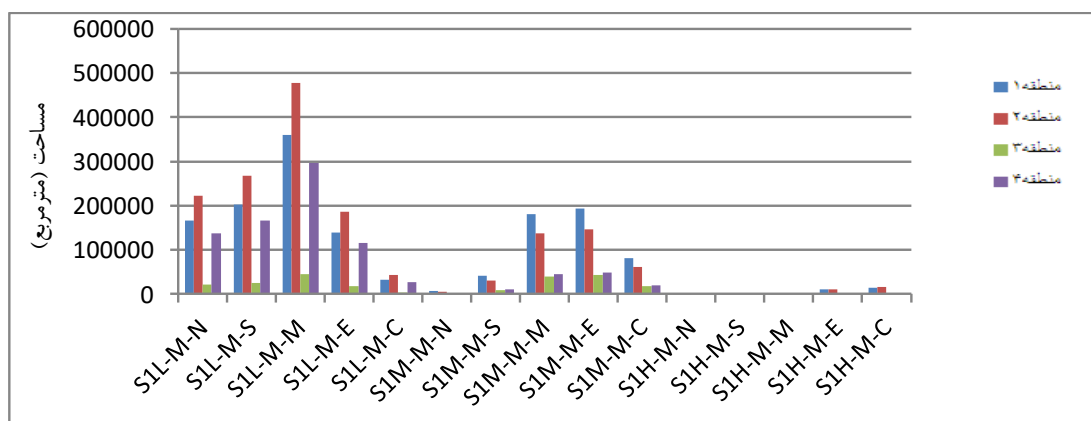
شکل ۹- نسبت خسارت سازه‌ای به تفکیک نوع سازه



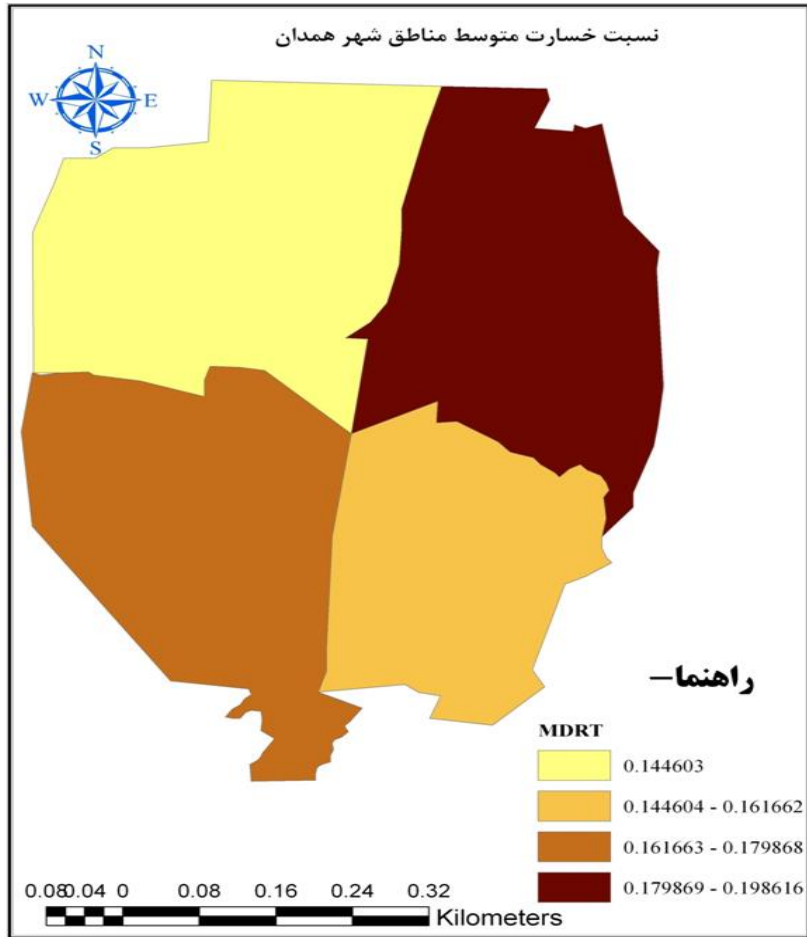
شکل ۱۰- نسبت خسارت متوسط به تفکیک مناطق شهری



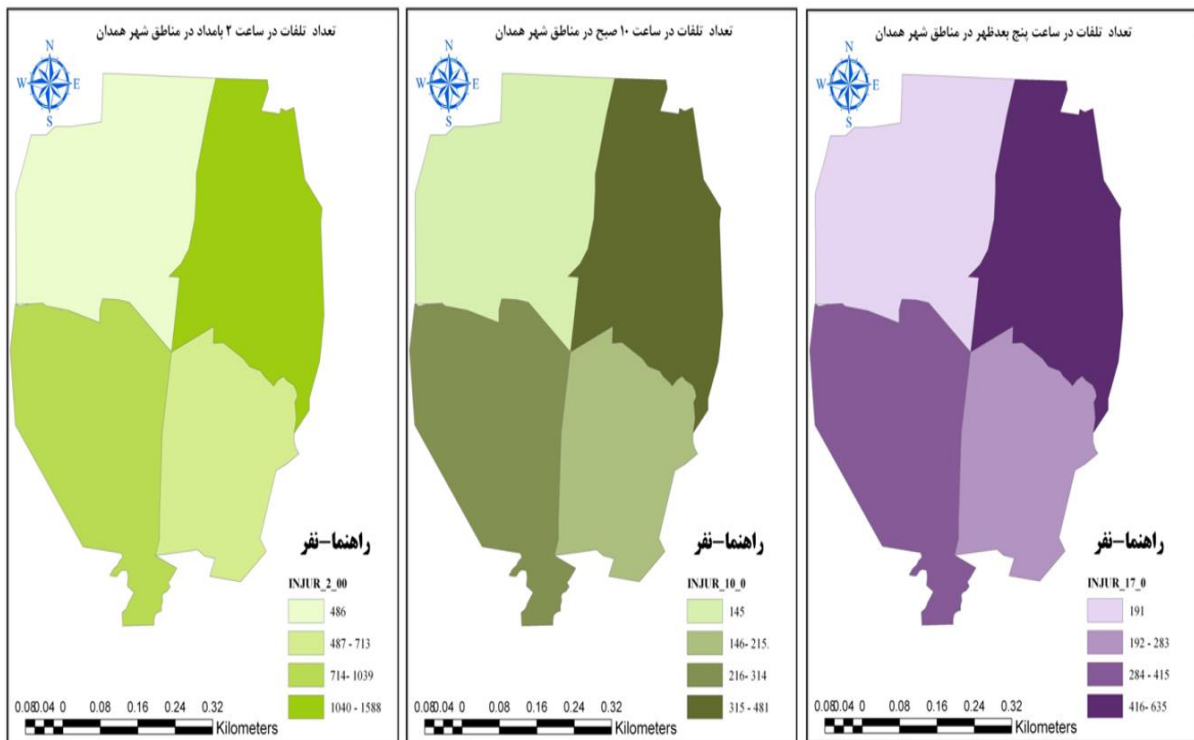
شکل ۱۱- تلفات ناشی از زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران در مناطق شهر همدان در ساعت‌های مختلف



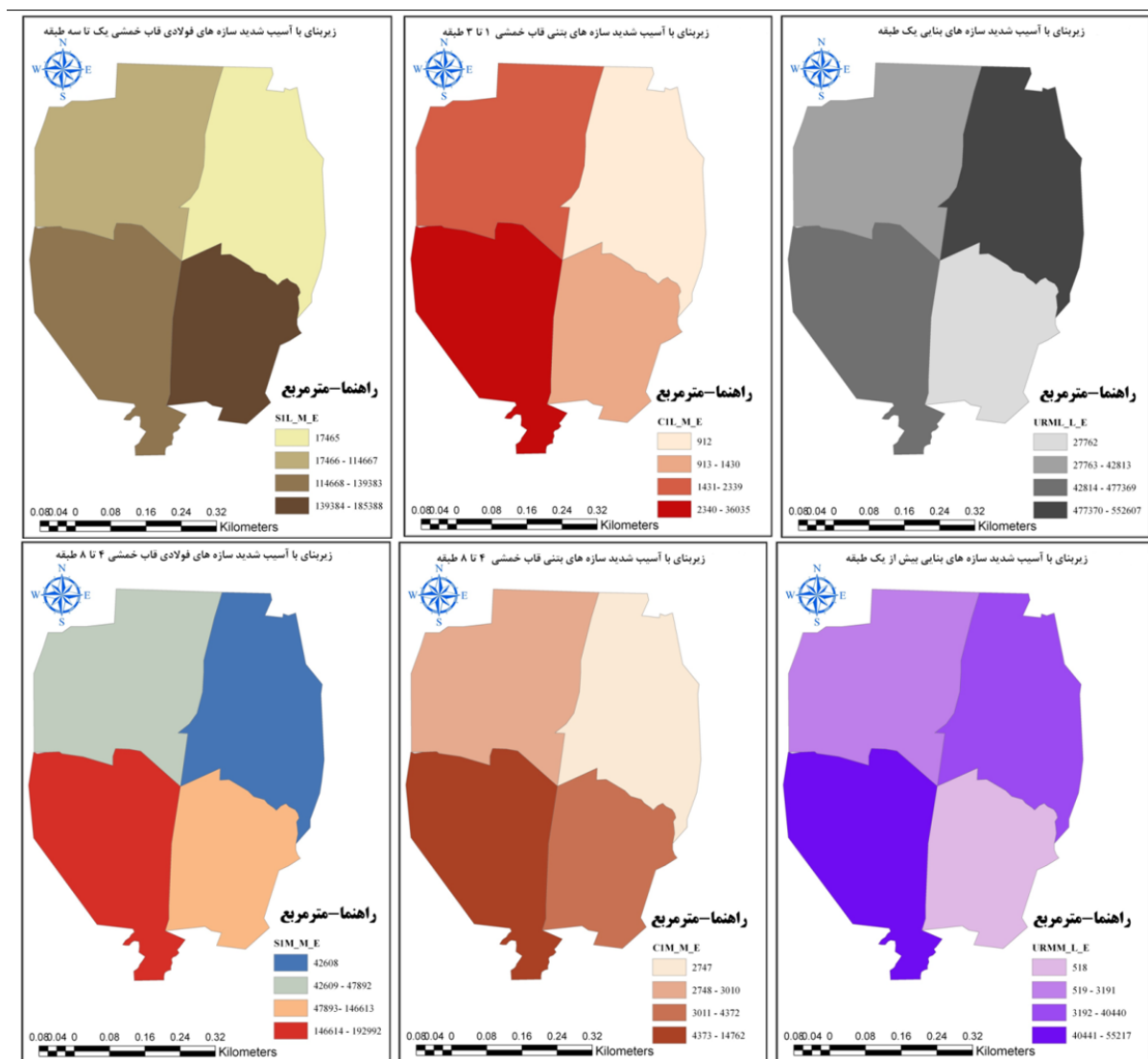
شکل ۱۲- مساحت آسیب دیده و بدون آسیب سازه‌های فلزی دارای قاب خمشی در مناطق چهارگانه همدان (مترمربع)



شکل ۱۳- نسبت خسارت متوسط به تفکیک مناطق شهری



شکل ۱۴- تلفات ناشی از زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ایران در مناطق شهر همدان در ساعت های مختلف



شکل ۱۵- زیربنای با آسیب شدید سازه‌های فولادی، بتنی و بنایی در مناطق چهارگانه همدان

شده است و با توجه به اینکه بیشترین خسارات و تلفات کلی، در منطقه سه روی داده است؛ به نظر می‌رسد عمده تلفات و خسارات، مربوط به سازه‌های بنایی یک طبقه خواهد بود.

تعداد تلفات ساعت‌های ۲، ۱۰، ۱۷ برای مناطق شهر همدان در شکل‌های (۱۱) و (۱۴) نمایش داده شده است که بیشترین تلفات مربوط به ساعت ۲ بامداد در مناطق سه و یک می‌باشد؛ یعنی زمانی که اکثر مردم در منزل می‌باشند. بررسی و ارزیابی متناوب سازه‌ها و زیرساخت‌های شهر و نیز شناسایی، مقاوم‌سازی و ایمن‌سازی سازه‌های آسیب‌پذیر موجود می‌تواند نقش عمده‌ای در کاهش تلفات و خسارات ناشی از زلزله‌های آتی داشته باشد. در همین راستا بررسی شبکه گازرسانی، راه‌ها، اماکن عمومی و مراکز حیاتی شهر

همان‌طور که در این شکل و شکل (۱۲) مشاهده می‌شود منطقه یک شهر همدان که دارای بافت جدیدتر و بلند مرتبه‌تری است و دارای نسبت خسارات و تلفات کمتری نسبت به منطقه سه می‌باشد ولی بیشترین آسیب شدید در سازه‌های قاب خمشی بتنی یک تا هشت طبقه و قاب خمشی فولادی چهار تا هشت طبقه را دارا است که نیازمند تأمل بیشتر جهت طراحی سازه‌های با قاب خمشی در ساختمان‌های بلندتر است. بیشترین آسیب شدید در سازه‌های قاب خمشی فولادی یک تا سه طبقه در منطقه دو پیش‌بینی می‌شود. همچنین طبق نتایج به دست آمده، بیشترین خسارات شدید سازه‌های بنایی یک طبقه در منطقه سه بوده در حالی که بیشترین آسیب شدید در سازه‌های بنایی بیش از دو طبقه در منطقه یک پیش‌بینی

نظیر بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی‌ها، مدارس، ارگان‌های دولتی و... دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای بوده که تلفات پس از وقوع زلزله را به صورت چشم‌گیری کاهش می‌دهد.

۶- مراجع

- [۱] پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، "اطلاعات زمین لرزه‌های ایران"، آدرس اینترنتی پایگاه: www.ngdir.ir، آدرس پست الکترونیکی: Info@ngdir.ir، ۱۳۹۵.
- [۲] ب. خاکپور، س. حیاتی، م. کاظمی بی‌نیاز، غ. ربانی ابوالفضلی، "مقایسه تطبیقی تحلیلی میزان آسیب‌پذیری بافتهای شهری در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های تحلیلی سلسله مراتبی و فازی (نمونه موردی: شهر لامرد)"، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۶، شماره ۲۲، ۱۳۹۲، صفحه ۲۱ - ۳۸.
- [۳] م. کریمی ده‌چشمه، "ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای شهر قزوین"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان، ۱۳۹۴.
- [۴] ع. سعیدیان، سرزمین و مردم ایران، نشر علم و زندگی، تهران، ۱۳۸۸.
- [۵] ح. نگارش، "زلزله، شهرها و گسل‌ها"، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۷، شماره ۵۲، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴، صفحه ۹۳ - ۱۱۰.
- [۶] ن.ن. امبرز، چ.پ. ملویل، تاریخ زمین لرزه‌های ایران، ترجمه ابوالحسن رده، انتشارات آگاه، تهران، ۱۳۷۰.
- [۷] بنانیوز، ممتاز، خبرهای صنعت ساختمان کشور، عمران-معماری-شهرسازی، بازنشر، پرتال خبری ممتاز نیوز، www.momtaznews.com، ۱۳۹۴.
- [8] W. Kainz, Fuzzy Logic and GIS, Vienna, Austria, Department of Geography and Regional Research University of Vienna, 2006.
- [9] S.F.G. Aboonaser, A. Zamani, F. Razavipour, and R. Boostani, "Earthquake hazard assessment in the Zagros Orogenic Belt of Iran using a fuzzy rule-based model", Acta Geophysica, Vol. 65, No. 4, 2017, pp.589-605.
- [10] Japan International Cooperation Agency (JICA), Centre for Earthquake and Environmental Studies of Tehran (CEST), Tehran Municipality, "The Study on Seismic Microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran", Pacific Consultants International OYO Corporation, 2000.
- [۱۱] ن. خوشنویس، "ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای تهران بزرگ"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه علم و صنعت تهران، ۱۳۹۱.
- [۱۲] م. اسکندری، ب. امیدوار، "ارائه مدلی به منظور ارزیابی خسارت لرزه‌ای خطوط لوله مدفون سوخت"، مجله مدلسازی در مهندسی، دانشگاه سمنان، دوره ۱۳، شماره ۴۱، ۱۳۹۴، صفحه ۲۷ - ۴۶.
- [13] Technical report, "International Building Code (IBC-2006)", International Code Council, United States, January 2006.
- [14] S. Molina, D.H. Lang, C.D. Lindholm, F. Lingvall, "User Manual for the Earthquake Loss Estimation Tool: SELENA", NORSAR and Universidad de Alicante, 2010.
- [۱۵] غ.ر. قدرتی‌امیری، س.ع. رضویان‌امرئی، و. شیخی، "بررسی رفتار کاهنده چرخه هیستریزس در تحلیل‌های غیرخطی (پوش‌آور) برای قاب‌های بتنی خمشی ویژه بادبوار برشی"، مجله مدلسازی در مهندسی، دانشگاه سمنان، دوره ۱۰، شماره ۳۰، ۱۳۹۱، صفحه ۳۳ - ۴۱.
- [۱۶] م.ر. تابش‌پور، ع. بخشی، "تحلیل مود شکست و شاخص خرابی سازه‌های بتنی در زلزله"، مجله مدلسازی در مهندسی، دانشگاه سمنان، دوره ۶، شماره ۱۵، ۱۳۸۷.
- [17] A.K. Chopra, R.K.A.I. Goel, "A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for unsymmetric-plan buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume 33, Issue 8, 2004, pp. 903-927.

- [18] S. Etedali, M.A. Irandegani, "A proposed lateral load pattern for pushover analysis of structures subjected to earthquake excitations", *Journal of Vibroengineering*, Volume 17, Issue 3, 2015, pp. 1363–1371.
- [۱۹] م. تابش‌پور، ح. ابداهیمیان، "مقایسه نتایج تحلیل‌های دینامیکی با روش تقریبی استاندارد ۲۸۰۰ در تعیین بیشینه جابجایی نسبی"، *مجله مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان*، سال ۸، شماره ۲۳، ۱۳۸۹.
- [20] S. Etedali, M.A. Irandegani, "A new proposal of lateral load pattern for nonlinear static analysis of structures", *International Journal of Advanced Engineering Sciences and Technologies*, Volume 5, Issue 2, 2011, pp. 201–208.
- [21] Report ATC-40, "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings", Technical report, Applied Technology Council (ATC), Redwood City, California, 1996.
- [22] FEMA- 273, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings", Technical report, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington DC, 1997.
- [23] FEMA-440, "Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures", Technical report, Applied Technology Council (ATC), California, USA, 2005.
- [24] FEMA-356, "Pre standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings", Technical report, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington DC, 2000.
- [25] Technical manual, "Multi-hazard Loss Estimation Methodology", Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA, 2003.
- [۲۶] ا. عزالدین، ح. نادرپور، ع. خیرالدین، غ.ر. قدرتی امیری، "تشخیص محل و میزان ترک در تیرها با استفاده از تبدیل موجک". *مجله مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان*، دوره ۱۲، شماره ۳۹، ۱۳۹۳، صفحه ۱ – ۱۱.
- [27] S. Molina, D.H. Lang, C.D. Lindholm, "SELENA – An open-source tool for seismic risk and loss assessment using a logic tree computation procedure", *Computers & Geosciences*, Volume 36, Issue 3, 2010, pp. 257–269.
- [28] B. Ahmad, A. Alam, M.S. Bhat, S. Ahmad, M. Shafi, and R. Rasool, "Seismic risk reduction through indigenous architecture in Kashmir Valley", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 21, 2017, pp.110–117.
- [29] H. Crowley, M. Colombi, J. Crempien, E. Erduran, M. Lopez, H. Liu, M. Mayfield, M. Milanesi, GEM1 Seismic Risk Report, GEM Technical Report 2010-5, GEM Foundation, Pavia, Italy, 2010.
- [۳۰] دیتا بیس نقشه‌های GIS شهر همدان، سازمان آمار و فناوری اطلاعات شهرداری همدان، شهر همدان، ۱۳۹۴.
- [۳۱] استاندارد ۲۸۰۰، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات و ساختمان و مسکن، تهران، ۱۳۹۴.
- [۳۲] نقشه‌های GIS توزیع جمعیت شهرداری همدان، سازمان آمار و فناوری اطلاعات شهرداری همدان، شهر همدان، ۱۳۹۴.