DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.28212606.1400.4.11.4.1

فصلنامه علمی آماد و فناوری دفاعی، سال چهارم، شماره یازدهم، پاییز ۱۴۰۰

طرح ایمنی ساختمان مراکز داده در برابر خطرات لرزه‌ای

ایوب شکوری[۱]، علی محمدی[۲]، آرزو درستیان[۳]

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۹/۳۰ **تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۳/۲۴**

چکیده

در این پژوهش به ارائه‌ی یک طرح برای ایمنی ساختمان مراکز داده در برابر خطرات لرزه‌ای پرداخته‌شده است. برای رسیدن به این هدف ابتدا ۸ مدل ساختمانِ مرکز داده سه‌طبقه، با توجه به خطر نسبی لرزه‌ای مناطق مختلف ایران و اهمیت ساختمان‌ها بر اساس حداقل‌های آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰)، طراحی گردید. سپس برای بررسی رفتار و پاسخ‌های لرزه‌ای مدل‌ها برای بیست جفت شتاب‌نگاشت زلزله تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفتند. با توجه به اینکه در برخی مناطق لرزه‌ای، ساختمان‌های معمولی عملکرد مناسبی از خود نشان ندادند، ساختمان جداسازی شده با جداساز لرزه‌ای آونگی اصطکاکی دو قوسی بر اساس آیین‌نامه ASCE/SEI 2016 طراحی و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که برای مراکز داده با رده‌های یک و دو در اکثر مناطق الزامات استاندارد ۲۸۰۰ کفایت می‌کند، اما برای رده‌های سه و چهار که مرکز داده‌هایی با اهمیت بالاتری هستند نیاز به تمهیدات و الزاماتی علاوه بر الزامات استاندارد ۲۸۰۰ است که در این مقاله آورده شده است. برای مراکز داده با رده‌های ۳ و ٤ در مناطق با خطر لرزه‌ای بسیارزیاد استفاده از جداسازهای لرزه‌ای برای جلوگیری از آسیب به دستگاه‌ها و سرورهای حساس به شتاب ناگهانی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: استاندارد ۲۸۰۰، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، جدا ساز لرزه‌ای، ساختمان مر کز داده، مخاطرات لرزه‌ای

[۱] ایوب شکوری، دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، نویسنده مسئول، ۰۹۱۲۵۸۷۵۹۶۲ و m_shakoori@civileng.iust.ac.ir

[۲] علی محمدی، استادیار، دانشگاه عالی دفاع ملی، ۰۹۱۲۱۳۸۹۵۴۴، mohammadi1@aut.ac.ir

[۳] آرزو درستیان، استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۰۹۳۹۳۰۴۳۴۸۳، Dorostian382@yahoo.com

مقدمه

مراکز داده به‌طورکلی محلی برای نگهداری از داده‌ها است، و ازآنجاکه این داده‌ها در تجهیزاتی مثل سرورها قرار دارند به‌صورت خودکار مرکز داده محلی برای نگهداری سرورها و تجهیزات لازم برای ایجاد دسترسی به داده‌ها است. درنتیجه اطلاعات و دستگاه‌های مهمی در مراکز داده وجود دارد که باید در برابر مخاطرات مختلفِ طبیعی و غیرطبیعی محافظت شود. در حال حاضر برای ساخت و بهره‌برداری از مرکز داده دو استاندارد TIA942 و BICSI002 موردتوجه قرار می‌گیرد. در این استانداردها طراحی ساختمان‌هایی که مراکز داده در داخل آن‌ها اجرا می‌شوند، در برابر زلزله را به آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای ارجاع داده‌اند و تنها در پیوست F استاندارد TIA942 توصیه‌هایی برای مقابله با خطرات لرزه‌ای شده است که الزامی به در نظر گرفتن آن‌ها نیست (بابایی ۱۳۹۷: ۳). رده‌بندی یک مرکز داده عبارت است از چهار رده که در استاندارد TIA-942 بر اساس تجهیزات، نوع همبندی تجهیزات، میزان افزونگی تجهیزات و ارتباطات زیرساخت تعیین می‌گردد. هرچه رده یا tier یک مرکز داده بالاتر می‌رود قابلیت اطمینان آن بالا رفته و درنتیجه در دسترس بودن سرویس‌های آن بیشتر است.

کشور ما در بخشی از کره زمین قرارگرفته است که خطر لرزه‌ای بالایی دارد. زلزله‌های شدید از قبیل طبس، بم، بوئین‌زهرا و سرپل ذهاب تأییدی بر این مدعاست. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله در کشور ما استاندارد ۲۸۰۰ است. این استاندارد الزاماتی را برای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله در نظر گرفته است. اما در صورت وقوع زلزله‌های شدید ممکن است شتاب طبقات ساختمان‌های طراحی‌شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ از حد آسیب به دستگاه‌های مراکز داده بالاتر رفته و عملکرد آن‌ها را تحت‌الشعاع قرار دهد. در این پژوهش ساختمان‌های طراحی‌شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ برای نواحی مختلف کشورمان، تحت

زلزله‌های شدید ثبت‌شده در دنیا قرارگرفته و مقدار فراگذشت پاسخ‌های ساختمان‌ها از حد آسیب به دستگاه‌های مراکز داده محاسبه شد. سپس طرحی برای جلوگیری از آسیب به مراکز داده با در نظر گرفتن الزاماتی ویژه و اضافی، علاوه بر الزامات استاندارد ۲۸۰۰ پیشنهاد می‌گردد. درصورتی‌که الزامات اضافی در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد مانند شهر تهران پاسخگو نباشد از سیستم‌های جداسازی لرزه‌ای برای کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های مراکز داده استفاده شده است.

پیرامون طراحی و ساخت مراکز داده پژوهش‌های بسیاری انجام‌شده که در ادامه به اختصار به جدیدترین آن‌ها اشاره می‌گردد. دیلمی به بررسی استانداردهای مرکز داده پرداخته است و استانداردها، تجربیات و راهکارهای مناسب که در طراحی و ایجاد مراکز داده بایستی موردتوجه قرار گیرد را ارائه نمود (دیلمی، ۱۳۹٤: ۷-۱). مسعودی و صادریون به بررسی و ارزیابی نکات حائز اهمیت در طراحی ساختمان‌های مراکز داده پرداختند. نظر به اهمیت مراکز داده و با توجه به اینکه اغلب در هنگام طراحی محل موردنظر، بسیاری از موارد مهم نادیده گرفته می‌شود و یا اینکه با فرضیاتی یکسان با ساختمان‌های مسکونی با آن برخورد می‌شود در این مقاله سعی شده است تا موارد حائز اهمیت برای طراحی این مراکز، ازجمله انتخاب محل مناسب، طراحی و بارگذاری، سیستم‌های الکتریکال و مکانیکال، اعلام و اطفا حریق، تجهیزات نظارتی امنیتی، پوشش‌های مقاوم حریق برای اجزا، نظارت‌های حین ساخت و الزامات عمومی موردمطالعه قرار بگیرد (مسعودی و همکاران، ۱۳۹٦: ۹-۱). ارکس و همکاران ساختمان‌های دارای مرکز داده با رده‌های سه و چهار را برای مقاومت در برابر زلزله مورد ارزیابی قرار دادند. در این مقاله اشاره شد که استانداردهای حوزه IT به جزئیات طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های دارای مرکز داده با رده‌های سه و چهار نپرداختند. همچنین اطلاعات موجود در این استانداردها نیز نقاط مبهمی دارند. برای تسهیل طراحی ساختمان‌های مراکز داده سه و چهار

الزامات اضافی برای طراحی لرزه‌ای آن‌ها بر اساس دو پروژه اجرایی ارائه‌شده است. ضوابط مختلف مانند حدمجاز برای جلوگیری از آسیب به دستگاه‌های کامپیوتری حساس در این پژوهش ارائه گردید (ارکس و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۲-۱). ارکس و همکاران در مقاله‌ای دیگر دو ساختمان مرکز داده در کشور ترکیه را بر اساس مفاهیم پژوهش اول خود طراحی نمودند. این ساختمان‌ها به کمک جداسازهای لرزه‌ای طراحی شدند و حدود شتاب مطلق طبقات برای آن‌ها کنترل شد که کمتر از حد مجاز در نظر گرفته شده در مقاله‌ی قبل شد. محدودیت شتاب مطلق طبقات برای دستگاه‌های کامپیوتری حساس بر اساس استعلام از متخصصین IT و فیدبک از آن‌ها برابر 0.2g و 0.3g در نظر گرفته شد (ارکس و همکاران، ۲۰۱۸: ١٤-١).

در ایران پژوهشی پیرامون مقابله ساختمان‌های مراکز داده با مخاطرات لرزه‌ای نشده است. این ساختمان‌ها همانند سایر ساختمان‌ها بر اساس الزامات استاندارد ۲۸۰۰ طراحی‌شده و ضوابط ویژه‌ای برای آن در نظر گرفته نشده است. در این پژوهش به دو سؤال اصلی پاسخ داده‌شده است. سؤال اول اینکه آیا ساختمان‌های مراکز داده ساخته‌شده عملکرد مناسبی در هنگام زلزله‌های شدید دارند؟ راهکار پیشنهادی برای ساخت مراکز داده جدید یا بهسازی مراکز داده ساخته‌شده چیست؟ برای رسیدن به پاسخ این سؤالات ۸ مدل ساختمانِ مرکز داده سه طبقه، با توجه به خطر نسبی لرزه‌ای مناطق مختلف ایران و اهمیت ساختمان‌ها (ضریب اهمیت ۱ و ١/٤) بر اساس حداقل‌های آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰)، طراحی گردید. سپس برای بررسی رفتار و پاسخ‌های لرزه‌ای مدل‌ها تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفتند. بیست جفت شتاب‌نگاشت زلزله از پایگاه اطلاعات معتبرPEER انتخاب و مطابق با بندهای استاندارد ۲۸۰۰ برای طیف زلزله مقیاس گردید. با توجه به اینکه در استاندارد ۲۸۰۰ مناطق مختلف کشورمان به چهار دسته خطر نسبی لرزه‌ای شامل خطر نسبی کم، متوسط، زیاد و بسیارزیاد تقسیم می‌شود (استاندارد ۲۸۰۰،

ویرایش چهارم:۱۱). چهار دسته مقیاس برای شتاب‌نگاشت‌ها محاسبه و به شتاب‌نگاشتها در مدل‌های مربوطه اعمال گردید و شتاب مطلق هر یک از طبقات مدل‌ها محاسبه شد. در نهایت بر اساس منابع معتبر علمی، حد مجاز مناسب برای مقدار شتاب مطلق طبقات ساختمان‌های مراکز داده برای جلوگیری از آسیب به ابزارها و دستگاه‌های آن‌ها، بر اساس رده‌ی مراکز داده انتخاب و با پاسخ‌های ساختمان‌ها مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که برای مراکز داده با رده‌های یک و دو در اکثر مناطق الزامات استاندارد ۲۸۰۰ کفایت می‌کند، اما برای رده‌های سه و چهار که مرکز داده‌هایی با اهمیت بالاتری هستند نیاز به تمهیدات و الزاماتی علاوه بر الزامات استاندارد ۲۸۰۰ است که در این مقاله آورده شده است.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نظر روش مدل‌سازی و عددی و از نظر هدف، کاربردی است. اطلاعات مورد نیاز جهت مدل‌سازی ساختمان‌ها و انجام تحلیل و طراحی‌های موردنیاز از طریق جستجوی کتابخانه‌ای و بانک‌های اطلاعاتی داخلی و خارجی و اینترنتی، جمع‌آوری شده است. در این تحقیق بخش روش‌شناسی به سه قسمت شامل فرضیات طراحی و مدل‌سازی ساختمان‌ها، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی آن‌ها و درنهایت طراحی سیستم جداسازی تقسیم شده است.

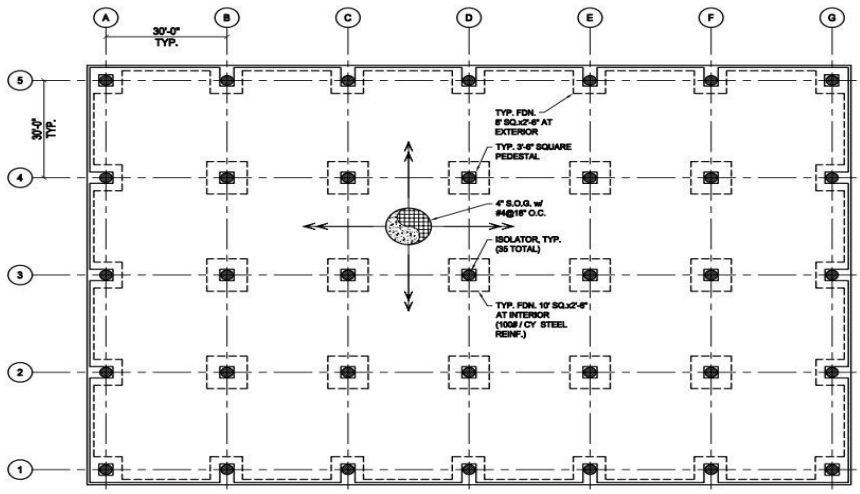
فرضیات طراحی و مدل‌سازی ساختمان‌ها

مشخصات پیکربندی ساختمان‌های مورداستفاده در این پژوهش که به‌صورت سه طبقه با سیستم باربر جانبی قاب خمشی فولادی ویژه است از پروژه‌ای تحت عنوان NEES-TIPS که در سال ۲۰۰۸ راه‌اندازی شده و مبنای بسیاری از مقالات علمی است، (سایانی و همکاران، ۲۰۱۱ : ۳ ، اردوران و همکاران ۲۰۱۰ : ۳) گرفته شده است. مشخصات پلان آن در شکل

شماره ۱ ارائه‌گردیده است. در طراحی ساختمان‌های سه طبقه موقعیت پروژه در چهار منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای کم، متوسط، زیاد و بسیارزیاد در نظر گرفته شد. مقدار ضرایب اهمیت برابر ۱ و ۱/٤ برای محاسبه نیروی زلزله مورداستفاده قرار گرفتند و نوع خاک تیپ دو فرض گردید.

بارگذاری مدل‌ها شامل بار مرده و زنده سقف به ترتیب برابر ۳٤۱ و ۹۸ کیلوگرم بر مترمربع و بار مرده و زنده کف به ترتیب ۳۳۳ و ۳۱۸ کیلوگرم بر مترمربع و همچنین بار دیوار پیرامونی طبقات و بام به ترتیب ٤۱۸ و۷۸ کیلوگرم بر متر است. ارتفاع طبقات ٤.۵۷۲ متر، و پلان در جهت y پنج دهانه و در جهت x شش دهانه به اندازه ۹.۱٤٤ متر است. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ حداکثر تغییرمکان نسبی مطابق با مدل‌های این تحقیق(ساختمان سه‌طبقه) ۰.۰۲۵ ارتفاع طبقه در نظر گرفته شد.

درنهایت از استاندارد۲۸۰۰ برای محاسبه نیروی زلزله و AISC341-10 برای طراحی ساختمان‌ها در نرم‌افزار ETABS2016 استفاده شد. مقادیر ضریب نیروی زلزله (C) و ضریب توزیع نیروی زلزله در ارتفاع ساختمان (k) در جدول شماره ۱ ارائه‌شده است.

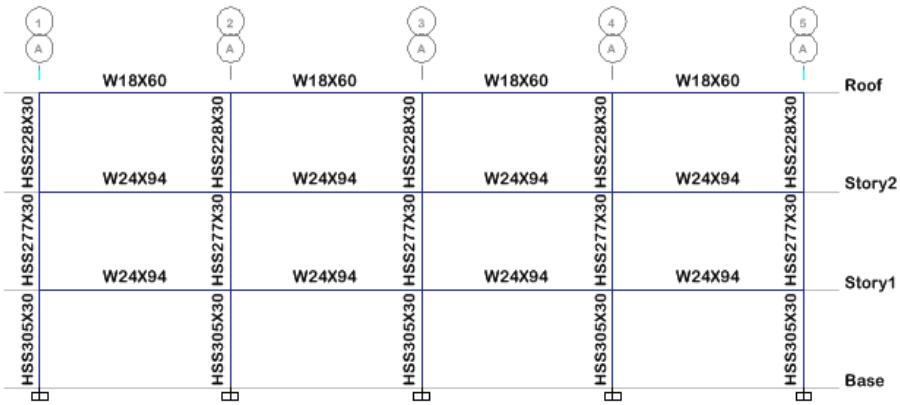


شکل شماره ۱- مشخصات پلان ساختمان‌های مدل‌سازی شده (پروژه NEES-TIPS)

شکل شماره ۲ مقاطع طراحی‌شده قاب A از ساختمان در منطقه با خطر بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱/٤ را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

جدول شماره ۱- ضرایب مورداستفاده برای محاسبه نیروی زلزله مطابق با استاندارد ۲۸۰۰

ساختمان	ضرایب نیروی زلزله	
	C	k
خطر کم، ضریب ۱	۰/۰۸۸	۱/۰۳۵
خطر کم، ضریب ۱/٤	۰/۱۲٤	۱/۰۳۵
خطر متوسط، ضریب ۱	۰/۱۱۱	۱/۰۳۵
خطر متوسط، ضریب ۱/٤	۰/۱۵۵	۱/۰۳۵
خطر زیاد، ضریب ۱	۰/۱۳۳	۱/۰۳۵
خطر زیاد، ضریب ۱/٤	۰/۱۸۷	۱/۰۳۵
خطر بسیارزیاد، ضریب ۱	۰/۱۵٦	۱/۰۳۵
خطر بسیارزیاد، ضریب ۱/٤	۰/۲۱۸	۱/۰۳۵



شکل شماره ۲- قاب A از ساختمان در منطقه خطر بسیار زیاد و ضریب اهمیت ۱/۴

همان‌طور که در شکل شماره ۲ مشخص است، برای ستون‌ها از مقطع قوطی و تیرها از مقطع I شکل استفاده‌شده است.

تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ساختمان‌ها

امروزه با پیشرفت نرم‌افزارهای محاسباتی و با انجام تحلیل‌های غیرخطی می‌توان رفتار سازه را در محدوده غیرخطی با دقت خوبی موردبررسی قرار داد و از صحت عملکرد سازه اطمینان حاصل کرد. یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های تحلیل در حوزه مهندسی زلزله، روش تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی است (خسروی امیری و همکاران، ۱۳۹۳ : ۲-٤). در این پژوهش از این روش برای تحلیل مدل‌ها و به دست آوردن پاسخ‌های ساختمان استفاده می‌شود. لازمه انجام تحلیل به روش تاریخچه زمانی، انتخاب شتاب‌نگاشت‌های مناسب است، چراکه اساس این روش، تحلیل لحظه به لحظه‌ی سازه‌ی موردنظر در گام‌های زمانی یک شتاب‌نگاشت می‌باشد.

زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل با مشخصه‌هایی همچون وجود پالس‌های واضح در شتاب‌نگاشت، حداکثر سرعت بالا و جابه‌جایی‌های بزرگ شناخته می‌شوند. خصوصیات این نوع از زمین‌لرزه‌ها کاملاً متفاوت از نوع دور از گسل آن می‌باشد. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که پاسخ سازه‌های جداسازی‌شده به زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل به‌صورت کیفی متفاوت از پاسخ به زلزله‌های دور از گسل است. زلزله‌های نزدیک‌گسل، خصوصاً آن‌هایی که دارای پالس هستند، می‌توانند باعث افزایش نیاز به جابه‌جایی‌های بزرگ، برای سازه‌های جداسازی شده شوند. بنابراین در این موارد جانمایی و انتخاب جداگرها مستلزم توجهی ویژه است. زمین‌لرزه‌های به‌کاررفته در این پژوهش که ترکیبی از زلزله‌های دور و نزدیک گسل هستند، پیش از این در پروژه NEES-TIPS مورد استفاده قرارگرفته‌اند. ویژگی‌های اصلی این شتاب‌نگاشت‌ها که از سایت اطلاعات پیر گرفته‌شده‌اند، در جدول شماره ۲ ارائه‌شده است.

برای مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها از روش اشاره‌شده در استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شد. مراحل مقیاس‌سازی مطابق با این استاندارد به ترتیب زیر است:

الف-کلیه شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار حداکثر خود مقیاس شد. بدین معنی که حداکثر شتاب همه آن‌ها برابر با شتاب ثقل g گردد.

ب- طیف پاسخ هریک از زوج شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده با منظور کردن نسبت میرایی ۵ درصد تعیین شود. این مهم به کمک نرم‌افزار seismosignal انجام شد.

پ- طیف‌های پاسخ هر زوج شتابنگاشت با استفاده از روش جذر مجموع مربعات (SRSS) با یکدیگر ترکیب‌شده و یک طیف ترکیبی واحد برای هر زوج ساخته شد.

ت- هر زوج شتاب‌نگاشت چنان مقیاس شد که برای هر پریود در محدوده‌ی 0.2T الی 1.5T مقدار متوسط طیف جذر مجموع مربعات مربوط به تمام زوج مؤلفه‌ها، بیش از ده درصد از۱/۳

برابر مقدار متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود. در این جمله،T زمان تناوب اصلی ساختمان است.

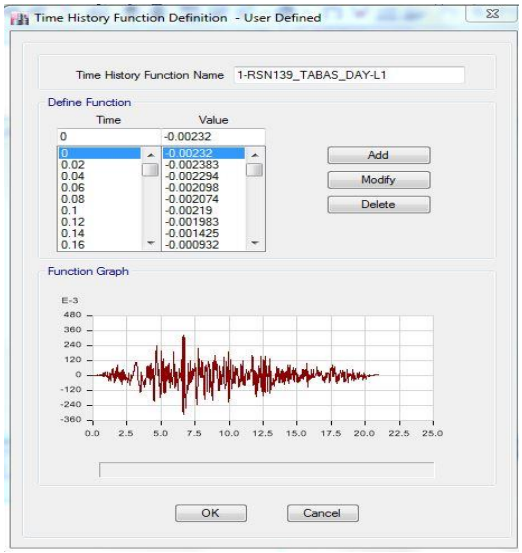
ث- ضریب مقیاس تعیین‌شده باید در شتاب‌نگاشت‌های مقیاس شده در بند (الف) ضرب شود و در تحلیل دینامیکی مورداستفاده قرار گیرد.

جدول شماره ۲- رکوردهای زلزله مورداستفاده جهت انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

num	Record Seq. #	Event	Mag.	Num	Record Seq. #	Event	Mag.
1	139	Tabas, Iran	7.35	11	982	Northridge-01	6.69
2	164	Imperial Valley-06	6.53	12	1083	Northridge-01	6.69
3	568	San Salvador	5.8	13	1085	Northridge-01	6.69
4	569	San Salvador	5.8	14	1111	Kobe, Japan	6.9
5	735	Loma Prieta	6.93	15	1611	Duzce, Turkey	7.14
6	741	Loma Prieta	6.93	16	1612	Duzce, Turkey	7.14
7	779	Loma Prieta	6.93	17	1614	Duzce, Turkey	7.14
8	802	Loma Prieta	6.93	18	4101	Parkfield-02, CA	6
9	811	Loma Prieta	6.93	19	4123	Parkfield-02, CA	6
10	952	Northridge-01	6.69	20	4124	Parkfield-02, CA	6

در نرم‌افزار ETABS2016 دو نوع تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی با نام‌های انتگرال‌گیری مستقیم (Direct) و تحلیل غیرخطی سریع (FNA) وجود دارد. در روش انتگرال‌گیری مستقیم هم غیرخطی اعضا و هم غیرخطی لینک‌های تعریف‌شده در نظر گرفته می‌شود و مدت زمان تحلیل نسبتاً طولانی دارد. نوع دوم تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مودال است که در آن تنها اثر غیرخطی ناشی از لینک‌ها دیده می‌شود. در این حالت نرم‌افزار مفاصل پلاستیک معرفی‌شده توسط کاربر برای اعضا را تحلیل می‌نماید. به همین خاطر دارای سرعت بالاتری

بوده و آن را FNA می‌نمایند. در این پژوهش برای در نظر گرفتن اثرات روسازه و اعضای آن از روش انتگرال‌گیری مستقیم استفاده‌شده است. شتاب‌نگاشت‌های زلزله انتخاب‌شده به همراه مقیاس‌های منحصربه‌فردشان در نرم‌افزار ETABS2016 برای هر یک از ۸ مدلِ ساختمان‌ها، تعریف گردید. درنهایت با انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در این نرم‌افزار مقدار حداکثر شتاب مطلق طبقات، برای هر یک از زلزله‌ها و مدل‌ها به دست آورده شد و میانگین آن‌ها در بخش نتایج ارائه و تفسیر شده است. برای انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی ابتدا شتابنگاشت‌ها از منوی define و بخش function تعریف گردیدند. به‌عنوان مثال یک مؤلفه‌ی زلزله طبس در شکل شماره ۳ نشان داده‌شده است.

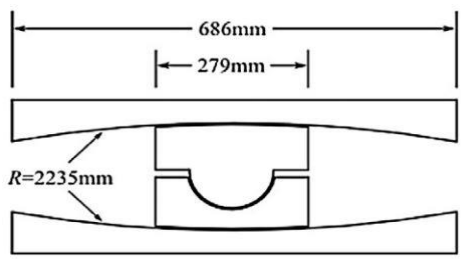


شکل شماره ۳- شتاب‌نگاشت زلزله طبس در نرم افزار ETABS

سپس در قسمت load cases تعریف بارگذاری ثقلی و نوع تحلیل تاریخچه زمانی تعیین گردید. پس از تعریف تمام شتاب‌نگاشتها و انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، در قسمتshow tables مقادیر شتاب طبقات بدست آمد.

طراحی سیستم جداساز لرزه‌ای

ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ برای برخی از ساختمان‌ها تحت زلزله‌های شدید کفایت ننموده است در نتیجه از سیستم جداسازی لرزه‌ای استفاده شده است. جداسازهای لرزه‌ای دستگاه‌هایی هستند که در زیر ستون‌های ساختمان نصب‌شده و از ورود بخش زیادی از شتاب زلزله به درون ساختمان جلوگیری می‌کنند. این دستگاه‌ها به دو دسته‌ی کلی اصطکاکی و الاستومری تقسیم می‌شوند. در این پژوهش طراحی ساختمان‌ها با جداساز لرزه‌ای بر اساس فصل ۱۷ از آیین‌نامه ASCE/SEI7-2016 انجام‌شده است. سیستم جداسازی لغزشی شامل تعداد ۳۵ عدد جداساز آونگی‌اصطکاکی دو قوسی هم‌اندازه، از دسته‌ی جداسازهای اصطکاکی است. جداسازهای دو قوسی نسبت به تک قوسی مزایای زیادی دارد، به‌عنوان‌مثال ابعاد کوچک‌تر، ظرفیت جابجایی بیشتر، سرعت لغزش کمتری (تقریباً نصف) دارند و در نتیجه گرمای ناشی از اصطکاک و مسائل مربوط به سایش کمتری دارند. جداسازهای دوقوسی بر اساس ASCE/SEI7-2016 طراحی‌شده و پیکربندی و ضریب اصطکاک سطوح آن مطابق با شکل شماره ٤ و جدول شماره ۳ ارائه گردیده است.



شکل شماره ۴- ابعاد جداساز آونگی‌اصطکاکی دوقوسی

سطوح قوسی نشان داده شده در شکل شماره ٤ دارای ضرایب ا صطکاکی ه ستند که در جدول شماره ۳ ارائه‌شده است. همان‌طور که در جدول م شخص ا ست، سه د سته جدا ساز وجود دارد که هر کدام برای ستون‌های داخلی، کناری و گو شه‌ی ساختمان جدا سازی شده می‌باشند. آیین‌نامه ASCE/SEI7-2016 برای هر جداساز دو حد بالا و پایین در ن ظر گرف ته است که محاسبات آن در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول شماره ۳- ضرایب اصطکاک سطوح جداسازهای لرزه‌ای

موقعیت جداساز	حد	ضریب اصطکاک
داخلی	بالا	۰/۱
	پایین	۰/۰۵
کناری	بالا	۰/۱۲
	پایین	۰/۰٦
گوشه	بالا	۰/۱۳
	پایین	۰/۰۷

مقیاس‌سازی زلزله‌ها برای ساختمان جداسازی شده با ساختمان‌های مع مولی ت فاوت دارد. برای ساختمان جداسازی شده هر جفت مؤلفه باید به ن حوی مق یاس شوند که در م حدوده پریودهای از0.75Tm به‌دست‌آمده از حد بالای سیستم جداسازی، تا 1.25Tm که با ا ستفاده از مشخصات حد پایین سیستم جداسازی محاسبه‌شده، م یانگین SRSS ت مام زوج مؤل فه‌های افقی کمتر از طیف پاسخ نظیر مورداستفاده در طراحی نباشند. به‌این‌ترتیب مقادیر مقیاس برای هر یک از ساختمان‌ها به د ست آ مد و در نرم‌ا فزار ETABS2016 تعر یف شد (Tm دوره تناوب سیستم جداسازی است).

نتایج تحلیل

در این بخش نتایج حاصل از روش تحلیل تاریخچه زمانی برای مدل‌های توصیف شده در بخش‌های قبل، ارائه‌شده و در حالات مختلف با مقادیر مجاز مقایسه گردیده است. مراکز داده بر اساس اهمیت و قدرت سرویس‌دهی به چهار رده یک، دو، سه و چهار تقسیم می‌شوند. هر چه رده مرکز داده بالاتر باشد اهمیت و سرویس‌دهی آن بالاتر است. با توجه به مطالعات پیشین، برای هر یک از رده‌ها، حدی مناسب برای شتاب مطلق در نظر گرفته شد. این حد برای رده‌های ۱ تا ٤ به ترتیب برابر 0.55g ، 0.45g ، 0.3g و 0.2g در نظر گرفته شده است (g شتاب ثقل برابر $9/81\ m/sec^2$). در جداول این بخش مقادیر میانگین حداکثر شتاب‌های مطلق طبقات هر یک از مدل‌ها ارائه و با مقادیر مجاز مقایسه شده و توضیحاتی پیرامون هر یک از نتایج داده‌شده است.

با توجه به مقادیر جدول شماره ٤ و مقادیر مجاز در نظر گرفته شده برای شتاب مطلق طبقات، برای ساختمان‌های ساخته‌شده در مناطق با خطر کم و ضریب اهمیت ۱، می‌توان مراکز داده با رده‌های ۱ و ۲ و ۳ را در طبقه اول و ۱ و ۲ را در طبقه‌ی دوم اجرا نمود. در طبقه سوم ساخت هیچ یک از رده‌ها توصیه نمی‌گردد. در جدول شماره ۵ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان در منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای کم و ضریب اهمیت ۱.٤ آورده شده است. همانند ساختمان با ضریب اهمیت ۱، اجرای مراکز داده با رده های ۱ و ۲ و ۳ در طبقه اول، مراکز داده با رده‌های ۱ و ۲ در طبقه‌ی دوم بلامانع است.

جدول شماره ۴- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر کم و ضریب اهمیت ۱

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۶.۶۹
۲	۴.۱۴
۱	۲.۸۹

جدول شماره ۵- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر کم و ضریب اهمیت ۱/۴

	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۷.۰۲
۲	۴.۱۹
۱	۲.۸۴

همان‌طور که در دو جدول شماره ٤ و ٥ مشاهده می‌گردد، اجرای مرکز داده با رده‌ی ٤ باعث ایجاد آسیب به دستگاه‌های حساس آن می‌شود و ساخت آن با این شرایط توصیه نمی‌گردد.

با توجه به مقادیر جدول شماره ٦ ، برای ساختمان‌های ساخته‌شده در مناطق با خطر متو سط و ضریب اهمیت ۱، باید مراکز داده با رده‌های ۱ و ۲ را در طبقه اول اجرا نمود. برای طب قه‌ی دوم تنها مرکز داده با رده‌ی ۱ بهتر است اجرا شود. همچنین در طبقه سوم ساخت هیچ یک از رده‌ها مجاز نیست.

در جدول شماره ۷ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان در منطقه با خ طر نسبی لرزه‌ای متوسط و ضریب اهمیت ۱.٤ آورده شده است.

جدول شماره ۶- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر متوسط و ضریب اهمیت ۱

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۸.۷۳
۲	۵.۲۸
۱	۳.۶۱

جدول شماره ۷- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر متوسط و ضریب اهمیت ۱/۴

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۵.۴۳
۲	۳.۴۴
۱	۳.۷۸

شتاب مطلق طبقات در این حالات برای طبقات ۲ و ۳ نسبت به حالت قبل کمتر شده است اما برای طبقه اول تغییر محسوسی نکرده است. با مشاهده و بررسی نتایج مشخص است تفاوت نسبت به حالت قبل این است که در طبقه دوم نیز می‌توان مرکز داده با رده‌ی ۲ اجرا نمود.

در نتیجه برای هر دو ضریب اهمیت ۱ و ۱.٤ در منطقه با خطر نسبی متوسط نمی‌توان رده‌های ۳ و ٤ را ساخت و باید ساختمان‌های قوی‌تری (برای مناطق با خطر نسبی بالاتر) طراحی شوند.

در جدول شماره ۸ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان در منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای زیاد و ضریب اهمیت ۱ آورده شده است .با توجه به مقادیر این جدول و مقادیر

مجاز در نظر گرفته‌شده ، برای ساختمان‌های ساخته‌شده در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای ز یاد و ضریب اهمیت ۱، تنها مراکز داده با رده‌های ۱ و ۲ در طبقه‌ی اول مجاز است.

جدول شماره ۸- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر زیاد و ضریب اهمیت ۱

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۱۰.۸۸
۲	۶.۵۱
۱	۴.۳۷

جدول شماره ۹- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر زیاد و ضریب اهمیت ۱/۴

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۵.۹۷
۲	۴.۴۰
۱	۴.۱۹

در جدول شماره ۹ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان در منطقه با خ طر نسبی لرزه‌ای زیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ ارائه‌شده است. با توجه به نتایج مشخص است در این حالت با توجه به این که ساختمان نسبت به حالت قبل، برای ضریب اهمیت بالاتری طراحی‌شده است، می‌توان در طبقه دوم آن‌هم مراکز داده با رده‌های ۱ و ۲ را اجرا نمود.

در هر دو حالت برای منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد در هیچ‌یک از طبقات نمی توان مراکز داده‌ی با رده‌های ۳ و ٤ را ساخت.

در جدول شماره ۱۰ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان در منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار زیاد و ضریب اهمیت ۱ ارائه‌شده است.

با توجه به مقادیر این و مقادیر مجاز در نظر گرفته شده برای شتاب مطلق طبقات، برای ساختمان‌های طراحی‌شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار زیاد و ضریب اهمیت ۱، تنها می‌توان مرکز داده رده‌ی یک را در طبقات ۱ و ۲ اجرا نمود.

در جدول شماره ۱۱ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان طراحی شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ آورده شده است.

جدول شماره ۱۰- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۷.۵۶
۲	۴.۷۹
۱	۵.۲۶

جدول شماره ۱۱- میانگین شتاب مطلق طبقات برای خطر بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱/۴

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۹.۰۸
۲	۴.۴۱
۱	۴.۶۴

نسبت به حالت قبل در این حالت با کمی اغماض می‌توان هر دو مرکز داده به رده ۱و ۲ را در طبقات ۱ و ۲ ساختمان اجرا نمود، اما در هیچ یک از دو حالتِ مناطق با خطر بسیارزیاد، نمی‌توان رده‌های ۳ و ٤ را ایجاد کرد.

همانطور که در نتایج تا اینجا مشخص است، اجرای مراکز داده با رده های ۳ و ٤ در ساختمان‌های طراحی‌شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در بسیاری از مناطق مناسب نیست و مقدار شتاب ایجادشده از مقادیر شتاب مجاز آن‌ها بیشتر می‌گردد. در نتیجه باید ساختمان‌ها برای مناطق لرزه‌ای بالاتری نسبت به منطقه‌ای که قرار است در آن ساخته شود، طراحی گردد. در ادامه مقادیر میانگین شتاب مطلق طبقات برای ساختمان های طراحی شده برای مناطق با خطر بالاتر تحت زلزله‌های مقیاس شده به طیف مناطق با خطر نسبی پایین‌تر ارائه می‌گردد.

در جدول شماره ۱۲ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان طراحی شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای زیاد و ضریب اهمیت ۱.٤، که تحت زلزله‌های مقیاس شده به طیف منطقه با خطر نسبی متوسط مورد تحلیل قرارگرفته، آورده شده است.

همانطور که از نتایج جدول شماره ۱۲ مشخص است، در این حالت اجرای مرکز داده رده‌ی ۳ در طبقات اول و دوم این حالت مناسب است. در نتیجه در نواحی با خطر نسبی متوسط درصورتی‌که نیاز به مرکز داده با رده ۳ باشد، باید ساختمان بر اساس الزامات مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای زیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی گردد.

جدول شماره ۱۲- میانگین شتاب مطلق طبقات برای ساختمان در منطقه با خطر زیاد تحت زلزله با خطر متوسط

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۴.۱۹
۲	۳.۰۸
۱	۳.۰۲

جدول شماره ۱۳-میانگین شتاب مطلق طبقات برای ساختمان در منطقه با خطر بسیار زیاد تحت زلزله با خطر زیاد

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۵.۱۱
۲	۲.۶۱
۱	۲.۶۵

با توجه به نتایج جدول شماره ۱۳ در نواحی با خطر نسبی زیاد در صورتی‌که نیاز به مرکز داده با رده ۳ باشد، باید ساختمان بر اساس الزامات منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار زیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی گردد.

در جدول شماره ١٤ حداکثر شتاب طبقات برای هر یک از طبقات ساختمان طراحی شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤، که تحت زلزله‌های مقیاس شده به طیف منطقه با خطر نسبی کم مورد تحلیل قرارگرفته، آورده شده است. در این حالت اجرای مرکز داده رده ٤ در طبقات اول و دوم این حالت مناسب است. در نتیجه در نواحی با خطر کم متوسط درصورتی‌که نیاز به مرکز داده با رده ٤ باشد، باید ساختمان بر اساس الزامات مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤

طراحی گردد. همچنین با توجه به نتایج جدول شماره ۱۵ در نواحی با خطر نسبی متوسط درصورتی‌که نیاز به مرکز داده با رده ٤ باشد، باید ساختمان بر اساس الزامات مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ (با حدود ده درصد اغماض) طراحی گردد.

جدول شماره ۱۴- میانگین شتاب طبقات برای ساختمان در منطقه با خطر بسیارزیاد تحت زلزله با خطر کم

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۵.۲۹
۲	۲.۰۲
۱	۲.۰۶

جدول شماره ۱۵- میانگین شتاب طبقات برای ساختمان در منطقه با خطر بسیار زیاد تحت زلزله با خطر متوسط

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۶.۷۴
۲	۲.۱۰
۱	۲.۱۴

نتایج جداول بخش قبل نشان می‌دهد که برای مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای زیاد، مرکز داده رده ٤ و برای خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد مرکز داده‌های رده‌های ۳ و ٤ را در هیچ حالتی از حالات طراحی بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، نمی‌توان اجرا نمود. در نتیجه با ید راه کار دیگری اندیشیده می‌شد. یکی از جدیدترین و بهترین راهکارها استفاده از جدا سازهای لرزه‌ای برای جدا نمودن سازه از زمین است که در این پژوهش موردتوجه قرار گرفت و مطابق با بخش

طراحی سیستم جداسازی، تحلیل و طراحی شد. نتایج ساختمان جدا سازی شده با جدا ساز آونگی‌اصطکاکی دو قوسی در این بخش ارائه‌شده است.

جدول شماره ۱۶- میانگین شتاب مطلق طبقات ساختمان جداسازی شده

طبقه	میانگین ۲۰ زلزله برای حداکثر شتاب طبقات
	m/sec^2
۳	۳.۱۹
۲	۲.۳
۱	۱.۷۱
همکف	۱.۲۶

در ساختمان‌های جداسازی شده علاوه بر سه‌طبقه، یک کف اضافی نیز در بالای سیستم جداسازی وجود دارد. مقدار شتاب مطلق طبقات ۱ تا ۳ و طبقه‌ی همکف در جدول شماره ۱٦ ارائه‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده تحت زلزله‌های مقیاس شده با خطر نسبی بسیارزیاد است.

نتایج نشان می‌دهد که مقدار شتاب طبقات به میزانی است که می‌توان در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای زیاد و بسیارزیاد مراکز داده با رده‌های ۳ و ٤ را در ساختمان‌های جداسازی شده ساخت. لازم به ذکر است که مرکز داده رده ٤ در طبقات همکف و اول و رده ۳ در طبقات همکف، اول و دوم قابل‌اجرا هستند.

نتیجه‌گیری

مراکز داده در آیین‌نامه‌های معتبر دنیا بر اساس اهمیت و قدرت خدمت‌رسانی به چهار رده ۱ تا ٤ تقسیم می‌شوند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ساختمان‌های مرکز داده در ایران در

هنگام زلزله‌های بزرگ قابلیت خدمت‌رسانی خود را از د ست می‌دهـ ند. برای خدمت‌ر سانی مراکز داده و جلوگیری از آسیب به دستگاه‌های هر یک از رده‌های آن ها در هنـ گام زلزـ له‌های شدید، ساختمان‌هایی که این مراکز داده در آن ساخته می‌شوند باید علاوه بر طراحی بر ا ساس آیین‌نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) تمهیدات و الزامات اضافی را در هنگام طرا حی سازه‌ی آن‌ها رعایت نمایـ ند. با تو جه به نـ تایج ارائه شده برای پا سخ‌های مختـ لف ساختمان‌های طراحی‌شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و ساختمان جداسازی‌شده با جدا ساز آونگی‌ا صطکاکی دو قوسی در این پژوهش می‌توان نتایج زیر را برای هر یک از رده های مرا کز داده ا ستنباط نمود.

- **رده ۱**

نتایج شتاب مطلق طبقات برای ساختمان‌های طراحی‌شده بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ نشان می‌دهد که برای مراکز داده با رده ۱ نیازی به در نظر گرفتن الزامات ویژه و اضافی برای طراحی ساختمان‌ها نیست. ضریب اهمیت واحد در طراحی ساختمان‌های دارای مرکز داده رده ۱ کافی است.

- **رده ۲**

در طراحی ساختمان‌های دارای مراکز داده با رده ۲، همانند رده ۱، الزامات ویژه‌ای لازم نیست. اما برای طراحی ساختمان‌های دارای مرکز داده رده ۲ که در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار زیاد واقع‌شده‌اند (مانند شهر تهران) باید ضریب اهمیتی برابر ۱.٤ در نظر گرفته شود.

- **رده ۳**

در صورتی‌که ساختمان‌های دارای مرکز داده رده ۳ در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار کم (مانند شهر خرمشهر) ساخته شود، الزامات استاندارد ۲۸۰۰ کفایت می‌کند. (اما توصیه می‌گردد ساختمان بر اساس ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی شود).

در نواحی با خطر نسبی متوسط ساختمان دارای مرکز داده رده ۳ باید بر اساس شتاب مبنای طرحِ منطقه با خطر زیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی شود.

برای مناطق با خطر نسبی زیاد، ساختمان باید بر اساس شتاب مبنای طرح منطقه با خطر بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی گردد.

در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارزیاد هیچ یک از حالات موجود در استاندارد ۲۸۰۰ کفایت نمی‌کند و با توجه به نتایج ساختمان جداسازی‌شده با جداساز آونگی‌اصطکاکی دو قوسی، استفاده از سیستم جداسازی برای این مناطق برای مراکز داده رده ۳ پیشنهاد می‌گردد.

- **رده ۴**

درصورتی‌که ساختمان‌های دارای مرکز داده رده ٤ در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای بسیارکم ساخته شود، باید بر اساس الزاماتِ مناطقِ با خطر نسبی بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی شود.

در مناطق با خطر نسبی متوسط هم همانند مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای کم ساختمان دارای مرکز داده رده ٤ باید بر اساس شتاب مبنای طرحِ منطقه با خطر بسیارزیاد و ضریب اهمیت ۱.٤ طراحی شود. (با حدود ده درصد فراگذشت از حدِ در نظر گرفته‌شده برای مراکز داده با رده ٤).

خطر نسبی لرزه‌ای زیاد و بسیارزیاد هیچ یک از حالات موجود در استاندارد ۲۸۰۰ مناسب نیست و با توجه به نتایج ساختمان جداسازی شده با جداساز آونگی‌اصطکاکی دو قوسی، استفاده از سیستم جداسازی برای این مناطق برای مراکز داده رده ٤ لازم است.

منابع

Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers, TIA Standard, TIA-942-A, (August 2012).

Data Center Design and Implementation Best Practices, ANSI/BICSI 002, (2019).

بابائی، محمدجواد (۱۳۹۷)، نکات کلیدی طراحی مرکز داده ، شرکت ثامن ارتباط عصر.

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۹۲)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات مسکن.

دیلمی، وحید (بهار۱۳۹۴)، استانداردهای مرکز داده، سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات.

مسعودی، افشین، صادریون، آرش (۱۳۹۶)، ارزیابی نکات حائز اهمیت در طراحی ساختمان‌های مرکز داده، اولین همایش ملی مرکز داده زیرساخت و سرویس‌ها.

Erkus B., Polat S. S., Darama H., (Jun 2018) “Seismic Design of Data Centers for Tier III and Tier IV Resilience: Basis of Design”, Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering.

Erkus B., Polat S. S., Darama H., (Jun 2018) “Seismic Design of Data Centers for Tier III and Tier IV Resilience: Project Examples”, Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering.

Network for Earthquake Engineering Simulation (NEES). (2009). “Tools for isolation and protective systems (TIPS).” ⟨http://www.neng.usu.edu/cee/faculty/kryan/NEESTIPS/PBEE_study.html⟩ (Jul. 13,2009)

Sayani P. J., Erduran E., Ryan K. L, (2011), "Comparative Response Assessment of Minimally Compliant Low Rise Base Isolated and Conventional Steel Moment-Resisting Frame Buildings, American Society of Civil Engineers.

Erduran E., Dao N. D. E., Ryan K. L, (2010), "Comparative Response Assessment of Minimally Compliant Low Rise Base Isolated and Conventional Steel Frames, Earthquke engineering and structural dynamics, 40:1123–1141.

Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, ASCE STANDARD 7-2016.

خسروی، علی، امیری، امیرپرویز، حاجی‌قاسمعلی، سعید، حسینی، سعید (پاییز ۱۳۹۳)، کاربرد شتاب‌نگاشت‌ها در تحلیل تاریخچه زمانی، دومین کنفرانس بین‌المللی سازه، معماری و شهرسازی، تبریز، ایران.