ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شماره مجوز مجله:۸۰۴۰۰ زمان پذیرش نهایی:۹۹/۰۸/۲۹

مقاوم سازی ساختمان‌های بلند با استفاده از جداگرهای لرزه‌ای

مهدی رحیمی نژاد[۱]

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران- عمران

چکیده

از دیر باز تا به حال بشر دستخوش حوادث بزرگی چون زلزله بر روی زمین بوده است. زلزله همواره ساختگاه زندگی انسان را دچار تغییر و دگرگونی کرده است. تا به امروز انسان ها سعی در مهار این نیروی عظیم و مخرب داشته اند. با وجود آنکه در این زمینه موفقیت هایی نیز حاصل شده با این حال هنوز تعداد زیادی از ساکنین این کره خاکی هر ساله در زیر آوارهای بوجود آمده توسط زلزله مدفون می شوند و سازه‌های بسیاری تخریب و کارایی خود را پس از زلزله از دست می دهند. این نیروی مهیب در درون زمین و به واسطه حرکت هایی که در پوسته ایجاد می شود باعث آزاد شدن انرژی زیادی خواهد شد که مصنوعات روی زمین را دچار مخاطره می کند. جداسازی لرزه‌ای روشی برای کاهش یا حذف پتانسیل خسارت‌های ناشی از زمین لرزه است که با محدود ساختن اثر تخریبی زلزله و نه با افزایش مقاومت سازه در مقابل زلزله، قادر است به طور موثری جابجایی نسبی و شتاب طبقات سازه را کاهش دهد. در این پژوهش به مقاوم سازی ساختمان های بلند با استفاده از جداگرهای لرزه ای پرداخته می شود.

کلمات کلیدی: مقاوم سازی- ساختمان بلند- جداگر لرزه ای.

۱- مقدمه

از مهمترین مسائلی که همواره مورد توجه مهندسان زیادی قرار داشته، ساخت سازه های ایمن در برابر زلزله است به گونه ای که تا حد امکان جان افراد کمتری در معرض خطر قرار گرفته و خسارت مالی کمتری به افراد و جوامع وارد شود. اگرچه سیستم های مقاوم سازی سنتی دارای نواقصی هستند، همواره شاهد پیشرفت استفاده از سیستم های نوین مقاوم سازی در برابر زلزله و گسترش مطالعات و آیین نامه ها در این زمینه هستیم[۱]. سیستم جداسازی لرزه ای یکی از سیستم های نوین در راستای کاهش خطر تخریب سازه در زمان زلزله است که در سال های اخیر گسترش روزافزونی (خصوصا در مناطق با خطر زلزله قوی و با دوره بازگشت پایین) داشته است. جداسازی لرزه ای در واقع یک سیستم مقاومتی نبوده و اساس عملکرد آن کاهش نیروی منتقل شده به سازه است، از این رو جزء سیستم های غیر فعال مقاوم در برابر زلزله شناخته می شود[۲]. اساس کار سیستم جداگر لرزه‌ای تغییر دوره تناوب سازه است به گونه ای که از دوره تناوب غالب زلزله ی ورودی به اندازه ی کافی دور شود تا جایی که دیگر احتمال تشدید در دوره تناوب های با انرژی بالا در سازه وجود نداشته باشد. همچنین جداساز لرزه ای بر ایجاد انعطاف پذیری ساختمان در پایه بر روی صفحه افقی، مبتنی است و در عین حال از اجزای استهلاک کننده برای محدود کردن دامنه حرکت ناشی از زلزله استفاده می‌کند. در نتیجه مهمترین عامل در نحوه عملکرد جداگر در زمان زلزله، که در انتخاب این سیستم برای مقاوم سازی باید مورد توجه قرار گیرد، دوره تناوب مورد انتظار برای زلزله‌ی ورودی و دوره تناوب سازه‌ی اصلی است[۳]. از مزایای جداساز لرزه ای توانایی در حذف و یا کاهش بسیار شدید آسیب سازه ای و غیر سازه ای است.

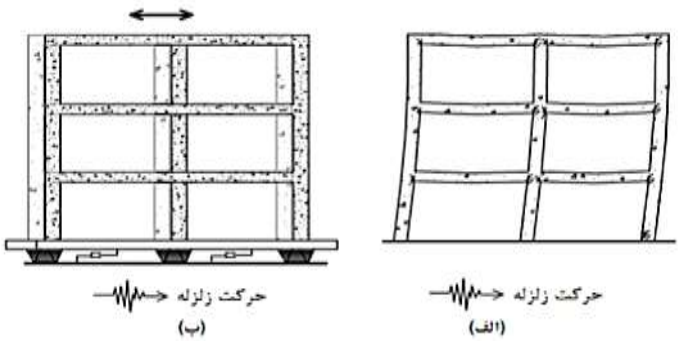
بالا رفتن ایمنی محتویات و اجزای ساختمان و نماهای معماری، کاهش نیروهای لرزه ای، همچنین کاهش چشمگیر هزینه بهسازی از مزایای جداسازهای لرزه ای می باشد. این ویژگی ها در ساختمان های کم ارتفاع و متوسط، نیروگاه‌های برق هسته ای، پل ها و بسیاری از تجهیزات دیگر، بیشترین تاثیر را دارد. توجیه اقتصادی در صورت تولید انبوه ساختمان و ارتقاء فیزیکی و متافیزیکی سلامت ساکنان، از دیگر مزایای جداسازی می باشد[۴]. جداگرهای لرزه ای در حالت کلی به دو دسته الاستومتری و لغزشی تقسیم می شوند، جداگرهای الاستومتری معمولا از لاستیک و ورقه های فولادی تشکیل می شوند اما جداگرهای لغزشی به اصطکاک بین سطوح ویژه یک قطعه مجزا، وابسته هستند. جداساز لاستیکی سربی، توسعه یافته ترین و رایج ترین جداگر لرزه ای در دنیا می باشد که در دهه هفتاد میلادی توسط دکتر بیل رابینسون اختراع شده است. این تکیه گاه امروزه در زمره‌ی مطمئن‌ترین و کارآمدترین تجهیزات محافظت لرزه ای واع سازه ها می‌باشد و از زمان معرفی به بازار، تاکنون در بسیاری از سازه‌های دنیا مورد استفاده قرار گرفته است[۵]. زلزله‌ها باعث وارد آمدن خرابی سازه ها و محتویات آنها می‌گردند. بنابراین باید به دنبال سیستم ایده‌آلی بود که شرایطی بنابراین باید به دنبال سیستم ایده‌آلی بود که شرایطی مناسب به لحاظ اتصال به زمین برای مقابله با بارهای ثقلی تامین نماید و در عین حال به منظور مقابله با نیروهای لرزه‌ای از زمین جدا گردد. جداسازی لرزه‌ای وسیله‌ای برای کاهش تقاضای لرزه‌ای در سازه می‌باشد. زلزله‌ها را نمی‌توان به خودی خود کنترل نمود اما می‌توان تقاضا را به نحوی اصلاح کرد. در این حالت از انتقال حرکات زمین از فونداسیون به روسازه جلوگیری می شود. بنابراین مهمترین دلیل برای استفاده از جداسازی پایه، کاهش اثرات زلزله می‌باشد. توجه تعداد زیادی از متخصصین و مهندسان بر روی جنبه‌های مختلف سیستم جداساز لرزه‌ای چه از لحاظ تکنولوژی و فنی و چه از لحاظ تاثیر آن بر کاهش نیرو در سازه جلب شده است، که نتیجه آن پیشرفت تکنولوژی و گسترش استفاده از این سیستم در سازه در تمامی نقاط دنیا به خصوص مناطق پر خطر لرزه‌ای است. در ایران نیز با توجه به لرزه خیز بودن منطقه این روش سازه ای می تواند جوابگوی نیاز موجود برای احداث سازه‌های مقاوم در برابر زلزله باشد، به همین دلیل تعداد زیادی از محققین به مطالعه در این زمینه و عوامل تاثیر گذار بر آن پرداخته اند. اگرچه تکنولوژی تولید و ساخت این سیستم هنوز در ایران بومی نشده است، مطالعات انجام گرفته توسط این محققین کمک شایانی به گسترش مقبولیت این سیستم بوده است به گونه‌ای که این سیستم به صورت محدود اما رو به رشد در چند پروژه مهم در شهرهای بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است. از این رو بررسی جداگرهای لرزه ای در ساختمان‌های بلند اهمیت دارد. لین و همکاران در سال ۲۰۲۰، در پژوهشی یک سیستم هوشمند ارائه دادند که خاصیت سیستم جداسازی پایه را بر روی سیگنال EEW تغییر می‌دهد. در موارد عادی که خطر زلزله وجود ندارد، سیستم جداسازی پایه توسط کلیدهای برشی قفل می شود. هنگامی که زلزله توسط سیستم EEW سیگنال می‌شود، یک سیستم مکانیکی سیستم جداسازی پایه را آزاد می‌کند. با پایان یافتن زلزله، سیستم مجدداً تنظیم می‌شود و مجدداً ایزولاسیون پایه قفل می‌شود. در صورت عدم موفقیت EEW، امکان شناسایی امواج ورودی برای فعال کردن سیستم اضافه می‌شود [۶]. نادرپور و همکاران در سال ۲۰۱۹، به بررسی پاسخ لرزه ای ساختمانهای بلندمرتبه مجهز به جداگرهای پایه پرداختند. این پژوهش برای سازه هایی در معرض سوابق مختلف زلزله‌های دوربرد و نزدیک میدان انجام شده است. مدلهای چند درجه آزادی ساختمان‌ها و همچنین مدلهای غیرخطی سیستم جداسازی پایه در آنالیز به کار گرفته شدند. نتایج این مطالعه به وضوح تأیید کرد که پاسخ ساختمان‌های بلندمرتبه در هنگام وقوع زلزله با استفاده از دستگاه‌های عایق بندی پایه و TMD های غیر سنتی به طور قابل توجهی کاهش یافته. آنها همچنین نشان دادند که اثر بخشی در سرکوب ارتعاشات ساختاری به نوع سیستم کنترل مورد استفاده بستگی دارد[۷]. داواس و الهان در سال ۲۰۱۹، در مقاله ای قابلیت اطمینان جداسازی نیمه فعال در لرزه‌های نزدیک به گسل را بررسی کردند. این پژوهش روشی را معرفی کرده که از زلزله‌های ترکیبی نزدیک گسل و شبیه سازی های مونت کارلو استفاده کرده. این روش برای تعیین قابلیت اطمینان یک ساختمان ۳ طبقه و یک ساختمان ۹ طبقه مجهز به سیستم جداساز لرزه ای نیمه فعال در زلزله های نزدیک گسل با بزرگی های مختلف و فاصله مختلف از گسل استفاده می‌شود. سیستم‌های جداساز نیمه فعال باعث کاهش جابجایی‌ها درسیستم جداساز بزرگ می‌شوند که این مورد ممکن است در

زلزله‌های نزدیک گسل اتفاق بیفتد و افزایش قابل توجهی در شتاب طبقات مشاهده نشود. این موضوع زمانی می‌تواند نگران کننده باشد که میراگرهای غیرفعال برای ایجاد میرایی مکمل استفاده شوند [۱۵]. لوکا در سال ۲۰۱۴، در مقاله‌ای تاثیرات اندرکنش خاک و سازه بر جداسازی پایه لرزه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج عددی نشان دادند که پاسخ لرزه‌ای یک سازه متکی بر یک سیستم جداسازی پایه غیراستاتیک در زمانی که اندرکنش خاک و سازه نادیده گرفته شود، ممکن است بزرگ باشد. همچنین در مورد تحت تأثیر قرار گرفتن و در صورت عدم وجود اثرات متقابل خاک و سازه، یک تحریک هارمونیک بحرانی وجود دارد که فراتر از آن، واکنش تشدید کننده حالت پایدار از عایق ها و ساختار بی حد و مرز می شود[۱۶]. حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۴، نشان دادند که تاثیر پالس علی رغم مدت زمان کوتاهش در مقایسه با رکورد کامل حرکت زمین بیشتر است. همچنین پاسخ جابجایی پایه مدل‌های جداسازی شده پایه تحت پالس‌های معادل سازی شده اغلب با پاسخ جابجایی پایه تحت رکوردهای کامل متناظر حرکت های زمین نزدیک گسل انطباق پیدا میکند[۹]. اسلام و همکاران در سال ۲۰۱۲، در پژوهشی نشلان دادند که جداگرهای لرزه‌ای پی به واسطه قیمت و نیز هزینه نصبشان سبب افزایش هزینه‌های ساختمان می‌شوند. الزامات موردنیاز برای تیرهای کف طبقه نسبت به مقاطع مشابهی که بدون جداگر نصب می‌شوند کمی افزایش می‌یابند (۵-۷ درصد). اما کاهش هزینه برای آرماتورها در طبقات فوقانی برای اعضای افقی و عمودی (یعنی تیرها و ستون‌ها) این هزینه را جبران می‌کند. بدین ترتیب، آرماتورها سبب صرفه جویی ۱۹ الی ۲۵ درصدی می‌شوند. درنظرگیری جداگر و آرماتور سبب صرفه جویی ۵ الی ۱۰ درصدی در هزینه‌های خالص می‌شود. مجدد، استفاده از مقاطع عضو جداگر بسته به الزامات معماری قابل کاهش است. میزان صرفه جویی‌های اقتصادی با افزایش تعداد طبقات کمتر خواهد شد[۸]. موسوی راد در سال ۱۳۹۷، در پژوهشی با مقایسه بین الگوهای مختلف توزیع جداگر نشان می دهد که استفاده مختلط از جداگرهای پاندولی اصطکاکی به عنوان جداگر کناری و جداگرهای لاستیکی-سربی با نسبت ۱ به ۱ بهینه ترین رفتار لرزه ای را در یک ساختمان بلند حاصل می کند[۱۲]. حاصلی و پورشاء در سال ۱۳۹۷، در پژوهشی۲قاب خمشی فولادی ۹ و ۱۲ طبقه را که با جداسازهای لاستیکی و با هسته ی سربی از پایه جداسازی شده اند تحت اثر چهار گروه ۷تایی شتاب نگاشت و با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه زلزله های حوزهی نزدیک با اثر پرتابی و بدون پالس مورد تاکید قرار گرفتند. نتایج نشان میدهد که تغییر سیستم جداسازی از نوع سخت به نوع متوسط و نرم (افزایش میرایی و زمان تناوب) باعث کاهش نیازهای لرزه‌ای میشود[۱۳]. واعظ و نادرپور در سال ۱۳۹۵، مقایسه ای بین پاسخ هیسترزیس مدل ها به عنوان معیار اصلی اتلاف انرژی سیستم انجام دادند. نتایج نشان می دهد که مدل استفاده شده با ۲۵ درصد از جداگر آونگ اصطکاکی بهترین پاسخ سازه ای را در برابر نیروهای لرزه ای میدهد[۱۴].در این مقاله به بررسی جداسازهای لرزه‌ای و ساختمان‌های بلند پرداخته می شود.

۲- جداسازی لرزه ای

جداسازی پایه یکی از تمهیدات عملی مهم در طرح مقاوم لرزه ای سازه ها است که در سالیان اخیر به عنوان یک فن آوری کامل و کارا تشخیص داده شده است. در نتیجه از این ایده می‌توان برای توسعه عملکرد لرزه‌ای ساختمان های مهم و حساس از قبیل مدارس، بیمارستان ها، مراکز ارتباط جمعی و مراکز اضطراری، اداره های پلیس و ایستگاه‌های آتش نشانی، در زمانی که به آنها نیاز است یعنی بلافاصله پس از وقوع زلزله، استفاده نمود. انتخاب سیستم جداساز مناسب برای یک کاربرد خاص بستگی به آن دارد که کدامیک از مقادیر پاسخ در طراحی مانند برش پایه، تغییر مکان پایه، هزینه، کنترل برش ها در حرکات زمین لرزه، بحرانی تر است. در سازه های جداسازی شده پایه، با تعبیر یک سطح انعطاف پذیر مابین فونداسیون و سازه از انتقال تمام حرکات زمین لرزه به سازه پیشگیری می گردد. بنابراین سیستم جداسازی ضمن جذب بخشی از انرژی ورودی ناشی از زمین لرزه، پریود ارتعاشی اصلی سازه را به مقدار بزرگ تری تغییر می‌دهد همچنین مقدار نیرویی را که می‌تواند به روسازه منتقل شود محدود کرده و تغییر مکان نسبی میان طبقه و شتاب‌های طبقات را به شدت کاهش می‌دهد. فرکانس

سازه‌های جداسازی شده پایه ای بسیار پایین تر از فرکانس های اصلی زمین لرزه‌ها می‌باشد، لذا عمل جداسازی پایه از نقطه نظر مقاومت در برابر زلزله، یک سیستم سازهای انعطاف پذیرتر و مناسب تر را به وجود می‌آورد. جداساز لرزه ای عبارتست از جداکردن کل یا بخشی از سازه از زمین یا قسمت‌های دیگر سازه به منظور کاهش پاسخ لرزه این آن بخش در زمان رویداد زلزله[۱۷].



شکل(۱): رفتار سازه الف) بدون سامانه‌ی جداساز لرزه ای، ب) به همراه سامانه‌ی جداساز لرزه ای

۳- عملکرد جداسازی لرزه ای

در جداسازی لرزه ای کل یا بخشی از سازه برای کاهش پاسخ لرزه ای آن بخش در زلزله از زمین یا قسمت های دیگر سازه جدا می شود. این کار با استفاده از جداسازهایی که بر اساس مشخصات دینامیکی سازه، اهداف عملکردی مورد نظر طرح و شرایط خطر لرزه ای ساختگاه، طراحی و ساخته شده اند صورت می‌گیرد. وظیفه ی اصلی این جداسازها ایجاد فاصله بین دوره‌ی تناوب طبیعی سازه و محدوده ی دوره ی تناوب حاکم در ارتعاش زمین لرزه احتمالی در محل سازه ی مورد نظر است. علاوه بر این، انرژی ارتعاشی ناشی از زلزله نیز با کمک سازو کارهای مختلفی جذب شده و از انتقال آن به سازه جلوگیری می‌گردد. جداساز سامانه ای است که سازه روی خود را از بخش زیرین خود جدا می کند. برای اینکه در زمان بروز زلزله هیچ نیرویی به سازه منتقل نشود، لازم است این سامانه، سازه را به حالت شناور در آورد. این امر با توجه به نیاز به کنترل تغییر مکان های نسبی جانبی در زمان تحریک زلزله از نظر اجرایی درست و امکان پذیر نیست. دو گروه اصلی از جداسازهای لرزه ای برای کنترل نیروی منتقل شده به روسازه در ساختمان ها استفاده می شوند[۱۸].

الف - استفاده از جداسازهای لاستیکی برای افزایش دوره تناوب طبیعی سازه

ب- استفاده از جداسازهای اصطکاکی و کنترل حداکثر نیروی منتقل شده به روسازه و استهلاک انرژی در محل جداساز.

جداسازها باید مقاومت لازم برای تحمل وزن سازه روی خود را داشته باشند. در عین حال جداسازهای لاستیکی باید در جهت افقی به اندازه ی کافی نرم باشند. در زمان طراحی توجه به این نکته ضروری است که با نرم تر شدن جداسازها، تغییر مکان نسبی بین زمین و سازه افزایش می یابد. به این ترتیب تغییر مکان نسبی تراز جداسازی و پاسخ شتاب سازه همواره با هم نسبت عکس دارند. در این شرایط با انتخاب سازو کار استهلاک انرژی مناسب در سامانه ی جداسازی لرزه ای می توان هم به کاهش مورد نیاز در شتاب مجموعه دست پیدا کرد و هم میزان تغییر مکان نسبی ذکر شده را در محدوده ی مورد نظر طراحی نگاه داشت. به این ترتیب، از جداسازها، قابلیت تحمل بار، تغییر مکان های زیاد و بازگشت به محل اولیه پس از پایان رفتن زلزله انتظار می‌رود. در جداسازهای اصطکاکی ضریب اصطکاک مناسب عامل کنترل نیروی انتقالی به روسازه و همچنین کنترل تغییر مکان جانبی سازه خواهد بود. از سوی دیگر این نوع جداسازها ممکن است باعث انتقال ارتعاشات با فرکانس های نسبتا زیاد به سازه گردند[۱۷].

۴- انواع جداسازهای لرزه ای

به طور کلی جداسازهای لرزه ای را می توان به دو دسته ی جداسازهای لاستیکی و جداسازهای اصطکاکی تقسیم بندی کرد.

۴-۱- جداساز های لاستیکی

۴-۱-۱- جداسازهای لاستیکی با ورقه های فولادی

جداسازهای لاستیکی با ورقه های فولادی یکی از جداسازهایی هستند که نیاز به انتقال دوره ی تناوب طبیعی سازه و وظیفه‌ی جدا نمودن ارتعاش روسازه از بستر خود را برای مهندسان و طراحان برآورد می‌کنند. جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی از ورقه های نازک لاستیکی و فولادی که به ترتیب بر روی هم چیده شده و تحت فشار و حرارت به شکل مجموعه ای متورق و یکپارچه در می‌آیند تشکیل شده‌اند[۱۹].

۴-۱-۲- جداسازهای لاستیکی با هسته‌ی سربی

این جداساز شامل یک هسته‌ی سربی است که در داخل جداساز لاستیکی محصور شده است. همان طور که ذکر شد. جداسازهای لاستیکی قادر به تامین میرایی زیاد و جذب انرژی مناسب نیستند. هسته‌ی سربی در جداسازهای لاستیکی با تسلیم شدن در زمان ارتعاش، میزان میرایی را از حدود ۳ درصد میرایی بحرانی در جداسازهای لاستیکی به چیزی در حدود بیش از ۱۰ درصد می افزاید. همچنین هسته‌ی سربی با تامین سختی اولیه ی کافی، سازه‌ی جداسازی شده را در برابر بارهای جانبی ضعیف مانند باد یا زلزله های خفیف مقاوم می کند[۲۰].

۴-۲- جداسازهای اصطکاکی

در این نوع از جداسازی، روسازه اجازه می‌یابد تا در زمان رخداد زلزله های نسبتا بزرگ بر روی جداساز بلغزد. سازه به محض تجاوز نیروی برشی در طبقه ی جداسازی شده از میزان نیروی اصطکاکی در نظر گرفته شده برای جداسازها بر روی آن ها شروع به لغزش می‌کند و به این ترتیب از ارسال نیروهای لرزه ای بزرگ به سازه جلوگیری می‌شود. در این حال نیروی اصطکاکی به وجود آمده در جداسازها در مقابل نیروی محرک زلزله عمل کرده و انرژی جنبشی را مستهلک می‌کند. در مواردی که از این نوع جداسازها به تنهایی استفاده می شوند، سامانه‌ی جداسازی به محتوای فرکانسی موجود در ارتعاش تحریک حساس نبوده و موجب تشدید مولفه‌ی خاصی از آن نیز نمی گردد. در این حالت شتاب اعمال شده به سازه در طی ارتعاش را کاهش داد. برای کاهش میزان اصطکاک موادی مانند تفلون و فولاد استیل کارایی قابل توجهی در این گونه جداسازها از خود نشان داده‌اند. هرچند کاهش ضریب اصطکاک به هر میزان دلخواه به معنای افزایش تغییر مکان به وجود آمده در تراز جداسازی است.

۴-۳- جداسازهای الاستیک اصطکاکی

این جداسازها شامل چندین لایه‌ی اصطکاکی پوشیده شده با تفلون است که با هم و با یک هسته ی لاستیکی در تماس هستند. هسته ی مرکزی لاستیکی نیروی بازگرداننده را در مجموعه به وجود می آورد و اصطکاک بین صفحات باعث از بین رفتن انرژی ارتعاشی می گردد.

۴-۴- جداسازهای اصطکاکی پاندولی

نیروی بازگرداننده در این جداسازها توسط جاذبه ی زمین و وزن سازه تامین می‌شود. بخش داخلی این جداساز از یک سطح مقعر فولاد استیل تشکیل شده است که یک قطعه‌ی فولادی با مقاومت زیاد و اصطکاک کم بر روی آن حرکت می‌کند[۱۷].

۵- شرایط امکان پذیری جداسازی لرزه ای

اگر شرایط زیر وجود داشته باشد آنگاه معمولا سازه ها برای جداسازی لرزه ای مناسب اند:

- خاک زیرین باعث حاکم شدن حرکت زمین با زمان تناوب طولانی نشود.
- سازه دو طبقه یا بیشتر باشد (یا به طور غیر معمول سنگین باشد)
- منطقه اجازه ۶ اینچ جابجایی افقی در قسمت کف را بدهد.
- ساختمان نسبتا کوتاه و حجیم باشد. و بارهای جانبی باد
- دیگر بارهای غیر لرزهای تقریبا کمتر از ۱۰ درصد وزن سازه باشند[۲۱].

۶- اجزای اصلی سیستم های جداگر لرزه ای

سه جز اساسی را می توان در هر سیستم عملی برای جداسازی ضد زلزله مشاهده کرد که به شرح زیر می باشد:

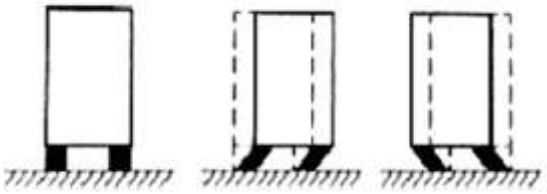
- یک تکیه گاه انعطاف پذیر، به نحوی که زمان تناوب ارتعاش کل سیستم را به مقدار کافی طولانی کند تا باعث کاهش نیروی پاسخ شود.
- یک میرا کننده یا تلف کننده انرژی، به نحوی که بتوان تغییر شکل های نسبی بین ساختمان و زمین را در یک حد طراحی عملی کنترل کرد.
- ابزاری برای تامین صلابت تحت اثر بارهای کم (خدمت)، نظیر باد و زلزله های کوچک[۲۲].

۷- خصوصیات فنی جداگرهای لرزه ای

۷-۱- انعطاف پذیری

با افزایش ضخامت تکیه گاه می توان به انعطاف پذیری و زمان تناوب بیشتر دست یافت. در حالی که انعطاف پذیری جانبی زیاد ممکن است مطلوب باشد، انعطاف پذیری قائم اضافی خوشایند نیست. صلابت قائم را می توان با ساختن تکیه گاه لاستیکی (شکل ۲) به صورت لایه لایه و قرار دادن ورقهای فولادی در بین لایه ها حفظ کرد. ورق های فولادی که به لایه های لاستیکی متصل می‌شوند جلوی تغییر شکل جانبی آنها را در اثر بار قائم می‌گیرند. در نتیجه سفتی قائم تکیه گاه چند صد برابر سفتی جانبی آن بوده و از نظر مرتبه مشابه سفتی ستون های ساختمان های مرسوم است (شکل ۳) [۲۳].

شکل(۲): روش های فولادی در تکیه گاه های الاستومری



شکل(۳): سختی جانبی کم نسبت به سختی قائم

در صورت افزایش زیاد زمان تناوب ارتعاش سازه، امکان کاهش بسیار زیاد برش پایه وجود دارد. به علاوه انعطاف پذیری اضافی که برای طولانی تر کردن زمان تناوب سازه ضروری است باعث افزایش تغییر مکان‌های نسبی در تکیه گاه های انعطاف پذیر خواهد شد.

۷-۲- تاثیر آن بر شتاب و جابجایی

انرژی ورودی از یک زمین لرزه با توان دوم سرعت رابطه مستقیم دارد. اجرا و پیاده سازی جداسازهای لرزه ای در آیین نامه‌ها بر این فرض استوار است که برای فرکانسهای میانی (برای دوره تناوب بین ۰٫۵ و ۴ ثانیه) انرژی ورودی ثابت میباشد و بنا براین سرعت نیز ثابت است و آیین نامه های طراحی نظیر آیین نامه UBC و ۴۲۰۳NZS با این فرض عمل میکنند. برای یک مقدار سرعت ثابت ، جابجایی متناسب با پریود سازه میباشد ولی شتاب رابطه معکوس با پریود دارد. به این معنی که اگر پریود ۲ برابر شود، جابجایی سازه نیز ۲ برابر میشود، ولی شتاب نصف خواهد شد[۲۳].

۷-۳- ساختمان های بلند

به دلیل نسبی بودن مفاهیم بلندی و اندازه و متغیر بودن این مفاهیم در طول زمان و در زمان‌های مختلف، نمی‌توان تعریف دقیقی از ساختمان های بلند ارائه داد. همچنین تعریف دقیق انواع ساختمان بلند ، ساختمان بلند مرتبه و آسمان خراش ، به دلیل نسبی بودن معیارها، امکان پذیر نمی‌باشد. با وجود عدم اتفاق نظر در تعریف این سه نوع از ساختمان های بلند، آنچه که مشخص است ارتفاع زیاد هر سه مورد می باشد که در میان این سه نیز آسمان خراش ها بلندتر از دو گروه دیگر می‌باشند. ساختمان‌ها، از نظر تعداد طبقات و نحوه قرارگیری بر زمین، به صورت زیر دسته بندی می‌شوند:

۸- دسته بندی کلی

آ- ساختمان های یک و دو طبقه، ب- ساختمان های سه و چهار طبقه و پ- ساختمان های بیش از چهار طبقه تا ارتفاع ۲۳ متر و ت- ساختمان های با ارتفاع بیش از ۲۳ متر.

۸-۱- گروه بندی جزئی

آ- ساختمان های یک و دو طبقه :

گروه ۱: ساختمان های ردیفی و متصل؛

گروه ۲: ساختمان های مجزا و منفصل؛

گروه ۳ : ساختمان های ترکیبی با الگوی حیاط مرکزی[۲۴].

ب- ساختمان های سه و چهار طبقه :

گروه ۴: ساختمان های ردیفی و منفصل؛

گروه ۵: ساختمان های مجزا و منفصل.

پ- ساختمان های بیش از چهار طبقه تا ۲۳ متر ارتفاع :

گروه ۶: ساختمان های ردیفی و متصل

گروه ۷: ساختمان های مجزا و منفصل

ت- ساختمان های بلند

گروه ۸ : ساختمان های بیش از ۲۳ متر ارتفاع

از نظر مهندسی سازه ساختمان های بلند، طراحی و پیاده سازی ساختمان در جهت تحمل نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله است که تأثیر این نیروها در ارتفاع بالا (حدود ۲۳ متر) بر سازه بیشتر است؛ اما از نظر معماری نسبت ارتفاع به عرض حداقل ۱۴.۳ است.

از بعد منظر شهری، مشکل اساسی ساختمان های بلندمرتبه در ایران، عدم انعطاف تعریف و توجه خاص به ارتفاع آنها است. براساس مصوبه سال ۱۳۷۷ شورای عالی معماری و شهرسازی ایران، ساختمان بلندمرتبه به ساختمان‌های بالای ۶ طبقه و در طرح جامع تهران، مصوب سال ۱۳۸۶، به بناهای بالای ۱۲ طبقه اطلاق شده است. این در حالی است که برج علاوه بر ارتفاع، دارای معانی نسبی دیگری است که باید در برنامه ریزی ها به آن توجه شود. به همین دلیل، تعریف ساختمان‌های بلند می‌تواند ترکیبی از متغیرهای کمی و کیفی باشد. به طور مثال تعریف ساختمان های بلند در برخی مناطق انگلستان براساس ارتفاع، تأثیرگذاری بر محیط اطراف یا تأثیر بر خط آسمان است. اگر بنایی یکی از این شرایط را داشته باشد؛ ساختمان، بلندمرتبه محسوب میشود. با این تعریف، یک ساختمان با ارتفاع متوسط هم به شرط تأثیرگذاری بر خط آسمان یا محیط اطراف، میتواند تابع ضوابط بلندمرتبه سازی باشد. انجمن ساختمان های بلند و زیستگاه شهری آمریکا(CTBUH) بیان میکند: هیچ تعریف قطعی و دقیقی برای ساختمان بلند وجود ندارد. یک ساختمان بلند ساختمانی است که برخی از عناصر و خصوصیات بلند بودن را ارائه دهد و از یک یا چند نمونه از خصوصیاتی که بیان میشود، پیروی کند.

- نسبت ارتفاع به مساحت
- تناسب و قرینه
- فن آوری ساختمان های بلند[۲۵].

۹- زلزله

تنش یا امواج لرزه‌ای در اثر آزاد شدن ناگهانی انرژی به علت گسیختگی ایجاد می‌شوند. گسیختگی‌های تنشی در عمق چندین کیلومتر از سطح زمین رخ می‌دهند و در این اعماق به علت بارهای فشاری ناشی از مصالح رویی آن، تنش های ایجاد شده معمولاً به صورت تنش های برشی متجلی می‌شود خواص امواج زلزله با عبور از لایه‌های مختلف خاک دچار تحولاتی می‌گردد که تأثیر این لایه‌ها بر روی امواج زلزله ممکن است به صورت کاهشی یا افزایش باشد. به عبارت دیگر لایه‌های خاک سطحی زمین می‌تواند با کاهش دامنه لرزش، تأثیر زلزله بر محیط را کمتر نموده و یا با ایجاد پدیده تشدید باعث افزایش دامنهٔ لرزش شده و خسارات فراوانی به وجود آورد[۲۶]. زلزله یکی از نیروهایی است که رفتار شناخته شده ای ندارد، طبق تعریف لرزش زمین که در اثر عبور امواج لرزه‌ای ایجاد می‌شود، زلزله نامیده می‌شود، به طوری که می‌توان گفت زلزله حالت خاصی از تغییر شکل توده‌های سنگی است که در آن پدیده های گسیختگی در مقیاس متفاوت رخ می‌دهد، عامل ایجاد امواج لرزه‌ای پاسخ زمین به انرژی‌های اندوخته می‌باشد اجسام در برابر نیرو تا حد الاستیک مقاومت کرده و انرژی را در خود ذخیره می‌کنند اما با افزایش تنش در بیش از حد الاستیک، سنگ می‌شکند و امواج لرزه ای را آزاد می‌کند و بعد به شکل اولیه خود برمی‌گردند، اگر این نیرو در اعماق به سنگ وارد شود سنگ خاصیت شکل پذیر از خود نشان می دهد. شریان‌های حیاتی درواقع خطوط ارتباطی جوامع مختلف بشری هستند، مواردی چون جاده‌ها، اتوبان‌های بین شهری، مترو، کانال‌ها، لوله‌های آب، فاضلاب، نفت و گاز، مجاری کابل‌های مخابراتی و برق و غیره را می توان تحت این نام قرار داد که همه آن‌ها برای دوام سطح مطلوب زندگی

امروزی که جمعیت شهری است، اساسی می‌باشند و نقش حیاتی این شریان‌ها در اقتصاد امروزی ما در هزاران کیلومتر خطوط لوله کار گذاشته شده و همچنین هزاران کیلومتر جاده‌ها و اتوبان‌ها در مناطق مختلف کشور بازتاب می‌یابد، این سیستم‌ها با خاک (زمین) در ارتباط مستقیم بوده و اکثراً به صورت مدفون در زیرزمین هستند و زلزله به عنوان عامل ویرانگر سازه‌ها بر روی آن‌ها اثر مستقیم دارد [۲۷].

۱۰- انواع زمین لرزه

زلزله‌ها از دید جهت آزادشدن انرژی به دوگونه افقی و عمودی تقسیم‌بندی می‌شوند. خرابی‌های عمده و وسیع معمولاً بر اثر زلزله‌هایی از نوع افقی صورت میپذیرند. چرا که اغلب بناها در برابر بارهای عمودی مقاومت کافی دارند. علاوه بر این، عوامل مختلف دیگری نیز باعث ایجاد لرزش در زمین میگردند که عبارتند از:

۱۰-۱- زمین لرزه های فروریختی

بر اثر فروریختن غارها و کانالهای زیرزمینی، لرزه هایی ایجاد می شود که به نام زمین لرزه های فروریختی موسومند. این تکانها همواره بسیار کوچکند و تنها اهمیت محلی دارند.

۱۰-۲- زلزله های آتشفشانی

این زلزله ها فقط در نواحی فعال آتشفشانی اتفاق می‌افتد و به انفجارهای آتشفشانی نیز معروف است.

۱۰-۳- زمین لرزه های القایی

بر اثر آبگیری یا تغییرات ناگهانی سطح آب دریاچه‌های پشت سدها، تزریق آب یا سیالهای دیگر به داخل زمین و یا استخراج آنها، مخصوصا درجاهایی که گسلهای فعال وجود دارد، زمین لرزه هایی ایجاد می‌شود. در واقع دلیل اصلی این لرزه‌ها را می‌توان بارگذاری سریع برروی زمین و یا برداشتن ناگهانی بار زیادی از روی آن ذکر کرد. این لرزه‌ها به نام القایی موسومند. لرزه های ناشی از معادن نیز در این دسته قرار می‌گیرند.

۱۰-۴- زمین لرزه های ناشی از انفجارها

انفجارهای نظامی و صنعتی، همچنین آمد و شد و یا فعالیت های ساختمانی، نیز لرزه هایی را ایجاد می نمایند که شدت، زمان وقوع و محل آنها قابل پیش بینی است[۲۷].

۱۱- نتیجه گیری

جداسازی در ابتدا برای سازه‌های کوتاه مرتبه با رفتار روسازه نسبتاً صلب توسعه یافت، با این وجود، کاربرد آن در سازه‌های متوسط و بلند رو به افزایش است. در کشور ژاپن از زمان زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه تاکنون، استفاده از جداسازی لرزه ای در سازه‌های بلند مرتبه محبوبیت فزاینده‌ای داشته است. تا به امروز، در حدود ۲۰۰ سازه بلند مرتبه جداسازی شده با ارتفاعی بین ۹۰ تا ۱۸۰ متر، در ژاپن ساخته شده است که بیشتر آنها ساختمان های مسکونی بتنی هستند. با این وجود، این استراتژی هنوز در بیشتر نقاط جهان غیر معمول است. در حالی که سازه های بلند، خود دارای پریود بلند و در نتیجه شتاب ورودی اندکی است، افزودن جداساز به آنها می‌تواند دریفت بین طبقه‌ای و شتاب کف را به مقدار چشمگیری کاهش داده و از محتویات ساختمان به خوبی حفاظت کند. به این ترتیب، ساختمان های بلندمرتبه می‌توانند حین زلزله به صورت کامل قابلیت استفاده خود را حفظ نموده و بلافاصله پس از زلزله قابل اسکان باشند.

منابع

[1]. Perotti, F., Domaneschi, M., & De Grandis, S. (2013). The numerical computation of seismic fragility of base-isolated Nuclear Power Plants buildings. Nuclear Engineering and Design, 262, 189-200.

[2]. Falborski, T., & Jankowski, R. (2013). Polymeric bearings–a new base isolation system to reduce structural damage during earthquakes. In Key Engineering Materials (Vol. 569, pp. 143-150). Trans Tech Publications Ltd.

[3]. De Domenico, D., & Ricciardi, G. (2018). Earthquake-resilient design of base isolated buildings with TMD at basement: application to a case study. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 113, 503-521.

[4]. Nanda, R. P., Shrikhande, M., & Agarwal, P. (2016). Low-cost base-isolation system for seismic protection of rural buildings. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 21(1), 04015001.

[5]. Cancellara, D., & De Angelis, F. (2017). Assessment and dynamic nonlinear analysis of different base isolation systems for a multi-storey RC building irregular in plan. Computers & Structures, 180, 74-88.

[6]. Lin, Y. S., Chan, R. W., & Tagawa, H. (2020). Earthquake early warning-enabled smart base isolation system. Automation in Construction, 115, 103203.

[7]. Naderpour, H., Naji, N., Burkacki, D., & Jankowski, R. (2019). Seismic response of high-rise buildings equipped with base isolation and non-traditional tuned mass dampers. Applied Sciences, 9(6), 1201.

[8]. Islam, A. S., Ahmad, S. I., Jameel, M., & Zamin, M. J. (2012). Seismic base isolation for buildings in regions of low to moderate seismicity: practical alternative design. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 17(1), 13-20.

[9]. Hoseini Vaez, S. R., Naderpour, H., & Barros, R. C. (2014, June). Influence of equivalent pulses of near fault ground motions on base-isolated RC structures. In 9th International Conference on Structural Dynamics (EURODYN 2014), Jun (pp. 2101-2106.(

[10]. Cameron, K., & Harcourt, M. (2009). City making in paradise: Nine decisions that saved Vancouver. D & M Publishers

[۱۱]. دائمی، فربد، کارگر، حمیدرضا، ۱۳۹۸، تحلیل لرزه ای قاب خمشی فولادی ویژه با جداگر لرزه ای لاستیکی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه، چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهشهای نوین در عمران، معماری، مدیریت شهری و محیط زیست، کرج، دانشگاه جامع علمی کاربردی –سازمان همیاری شهرداری ها و مرکز توسعه خلاقیت و نوآوری علوم نوی

[۱۲]. موسوی راد، فرشته، ۱۳۹۷، نحوه توزیع انواع جداگرهای لرزه ای در ساختمانهای بلند، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، دانشگاه صنعتی مراغه با همکاری دانشگاه تبریز - دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

[۱۳]. حاصلی، سپیده، پورشاء، مهدی، ۱۳۹۷، بررسی پاسخ‌های لرزه ای ساختمان های جداسازی شده پایه تحت اثر زلزله های حوزه ی نزدیک گسل، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۰، شماره ۳، سال ۱۳۹۷، صفحات ۵۹۷-۵۹۶.

[۱۴]. واعظ، روح الله، نادرپور، حسین، ۱۳۹۵، بررسی نحوه آرایش جداگرهای لرزه ای در ساختمان های کوتاه مرتبه، مجله مدلسازی در مهندسی، سال چهاردهم، شماره ۴۴، بهار ۱۳۹۵.

[15]. Luco, J. E. (2014). Effects of soil–structure interaction on seismic base isolation. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66, 167-177.

[16]. Öncü-Davas, S., & Alhan, C. (2019). Reliability of semi-active seismic isolation under near-earthquakes. Mechanical Systems and Signal Processing, 114, 146-164.

[17]. Li, J., Li, Y., Li, W., & Samali, B. (2013, April). Development of adaptive seismic isolators for ultimate seismic protection of civil structures. In Sensors and Smart Structures Technologies for

Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2013 (Vol. 8692, p. 86920H). International Society for Optics and Photonics.

[18]. Quaranta, G., Marano, G. C., Greco, R., & Monti, G. (2014). Parametric identification of seismic isolators using differential evolution and particle swarm optimization. Applied Soft Computing, 22, 458-464.

[19]. McVitty, W. J., & Constantinou, M. C. (2015). Property modification factors for seismic isolators: Design Guidance for Buildings. MCEER report, 15-0005.

[20]. Hedayati Dezfuli, F., & Alam, M. S. (2017). Effect of different steel-reinforced elastomeric isolators on the seismic fragility of a highway bridge. Structural Control and Health Monitoring, 24(2), e1866.

[21]. Di Sarno, L., Cosenza, E., & Pecce, M. R. (2007, May). Application of base isolation to a large hospital in Naples, Italy. In Proceedings, 10th World Conference on Seismic Isolation, Energy Dissipation and Active Vibrations Control of Structures (p. 12.(

[22]. Ozdemir, G., & Constantinou, M. C. (2010). Evaluation of equivalent lateral force procedure in estimating seismic isolator displacements. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30(10), 1036-1042.

[23]. Tan, P., Xu, K., Wang, B., Chang, C., Liu, H., & Zhou, F. (2014). Development and performance evaluation of an innovative low-cost seismic isolator. Science China Technological Sciences, 57(10), 2050-2061.

[24]. Cameron, K., & Harcourt, M. (2009). City making in paradise: Nine decisions that saved Vancouver. D & M Publishers

[25]. Taranath, B. S. (2016). Structural analysis and design of tall buildings: Steel and composite construction. CRC press.

[۲۶]. ساقی، حسن، زاهدی، سیف الله، ۱۳۹۵، بررسی تونل های متروی شهری تحت اثر زلزله با رویکرد تونل خط ۲ قطارشهری مشهد، سومین کنفرانس جامع مدیریت بحران و HSE دانشگاه تهران.

[27]. Crooks, A., Croitoru, A., Stefanidis, A., & Radzikowski, J. (2013). # Earthquake: Twitter as a distributed sensor system. Transactions in GIS, 17(1), 124-147.