مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

دستورالعمل طراحی لرزه‌ای اجزای سازه‌ای
بیمارستان‌ها بر اساس عملکرد

پیش نویس غیر قابل استناد

اسفند ماه ۹۳

علی اکبر آقاکوچک

مسعود سلطانی محمدی

فهرست مطالب

فصل ۱- کلیات..... ۸

۱-۱- مقدمه ۸

۱-۲- حدود کاربرد ۹

۱-۳- تقسیم بندی مراکز درمانی ۹

۱-۴- تحلیل خطر لرزه ای ۱۱

۱-۴-۱- سطوح خطر زلزله..... ۱۱

۱-۴-۲- طیف طرح ارتجاعی استاندارد..... ۱۲

۱-۴-۳- طیف طرح ارتجاعی ویژه ی ساختگاه..... ۱۲

۱-۴-۴- شتابنگاشت ها..... ۱۲

۱-۵- گروه بندی ساختمان ها و تعیین اهداف عملکردی ۱۳

۱-۵-۱- سطوح عملکردی اجزاء سازه..... ۱۴

۱-۵-۲- اهداف عملکردی ساختمان..... ۱۵

فصل ۲- طراحی سازه های متداول بر اساس عملکرد..... ۱۶

۲-۱- مقدمه.... ..... ۱۶

۲-۲- دامنه کاربرد ۱۶

۲-۳- مطالعات ژئوتکنیکی ۱۷

۲-۴- ضوابط کلی طراحی سازه ۱۷

۲-۴-۱- ساختمان های فولادی..... ۱۷

۲-۴-۲- ساختمان های بتن مسلح..... ۱۸

۲-۴-۳- اعضای غیر سازه ای و میانقاب ها..... ۱۸

۲-۴-۴- رفتار غیرخطی..... ۱۸

۲-۵- برآورد ظرفیت اجزاء سازه ۲۰

۲-۵-۱- رفتار کنترل شونده توسط تغییرشکل..... ۲۰

۲-۵-۲- رفتار کنترل شونده توسط نیرو..... ۲۱

۲-۶- ارزیابی و طرح سازه در سطح خطر ۱..... ۲۱

۲-۶-۱- مدل سازه ای..... ۲۱

۲-۶-۲- روش تحلیل..... ۲۲

۲-۶-۳- ترکیبات بارگذاری..... ۲۲

۲-۶-۴- بار زلزله..... ۲۲

۲-۶-۵- توزیع بار زلزله در ارتفاع..... ۲۳

۲-۶-۶- معیارهای پذیرش..... ۲۳

۲-۶-۷- معیارهای پذیرش پی..... ۲۵

۲-۷- ارزیابی و طرح سازه در سطح خطر ۲..... ۲۶

۲-۷-۱- مدل سازه ای..... ۲۶

۲-۷-۲- روش تحلیل..... ۲۶

۲-۷-۳- ترکیبات بارگذاری..... ۲۸

۲-۷-۴- توزیع بار زلزله در ارتفاع..... ۲۹

۲-۷-۵- منحنی ظرفیت..... ۲۹

۲-۷-۶- زمان تناوب اصلی موثر ساختمان..... ۳۰

۲-۷-۷- تغییرمکان هدف ۳۰
۲-۷-۸- اثرات پیچش ۳۲
۲-۷-۹- معیارهای پذیرش ۳۳
۲-۷-۱۰- پی ۳۵
۲-۷-۱۱- روش تحلیل دینامیکی غیر خطی ۳۵

فصل ۳- استفاده از جداساز لرزه‌ای ۳۸

۳-۱- مقدمه ۳۸

۳-۲- ضوابط عمومی ۳۸

۳-۲-۱- سامانه جداساز ۳۸
۳-۲-۲- سیستم سازه‌ای ۴۱
۳-۲-۳- اجزای متقاطع با تراز جداسازی ۴۱

۳-۳- تحلیل و طراحی سازه در برابر زلزله سطح خطر ۱ ..... ۴۱

۳-۳-۱- کلیات ۴۱
۳-۳-۲- مدلسازی ۴۲
۳-۳-۳- روش تحلیل دینامیکی طیفی ۴۳
۳-۳-۴- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ۴۸

۳-۴- ضوابط عمومی تحلیل سازه در برابر سطح خطر ۲ ..... ۴۹

۳-۴-۱- کلیات ۴۹
۳-۴-۲- مدلسازی ۵۰
۳-۴-۳- حرکت زمین ۵۰

۳-۴-۴- کنترل سامانه جداساز و اجزای سازه واقع در زیر آن..... ۵۱

۳-۴-۵- کنترل اجزای سازه واقع در بالای سامانه جداساز..... ۵۳

۳-۵- مشخصات لازم برای طراحی و آزمایش سامانه جداساز ۵۳

۳-۵-۱- کلیات..... ۵۳

۳-۵-۲- آزمایش‌های نمونه اصلی..... ۵۴

۳-۵-۳- تعیین خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان..... ۵۷

۳-۵-۴- کفایت نمونه های آزمایشی..... ۵۸

۳-۵-۵- مشخصات طراحی سامانه جداساز..... ۵۹

۳-۶- بازبینی طرح ۶۱

۳-۶-۱- کلیات..... ۶۱

۳-۶-۲- سامانه جداساز..... ۶۱

۳-۶-۳- آزمایشهای کنتر ل کیفیت تولید سامانه جداساز..... ۶۲

فصل ۴- استفاده از میراگرهای انرژی..... ۶۳

۴-۱- مقدمه ۶۳

۴-۲- ضوابط عمومی ۶۳

۴-۲-۱- اثر دما..... ۶۳

۴-۲-۲- شرایط محیطی..... ۶۴

۴-۲-۳- نیروی باد..... ۶۴

۴-۲-۴- بازرسی و جایگزینی..... ۶۴

۴-۲-۵- نگهداری..... ۶۴

۴-۳- دسته بندی وسایل اتلاف انرژی ۶۴

۴-۴- تحلیل و طراحی سازه در برابر زلزله سطح خطر ۱ ..... ۶۵

۴-۴-۱- کلیات ۶۵

۴-۴-۲- مدلسازی سازه و میراگرها ۶۶

۴-۴-۳- روش تحلیل دینامیکی طیفی ۶۷

۴-۴-۴- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی ۷۲

۴-۵- تحلیل سازه در برابر زلزله سطح خطر ۲ ..... ۷۳

۴-۵-۱- کلیات ۷۳

۴-۵-۲- مدلسازی ۷۳

۴-۵-۳- حرکت زمین ۷۶

۴-۵-۴- کنترل اجزای سازه ۷۷

۴-۵-۵- کنترل سامانه میراگر ۷۷

۴-۶- آزمایش‌های لازم برای میراگرهای انرژی ۷۸

۴-۶-۱- کلیات ۷۸

۴-۶-۲- آزمایش نمونه‌های اصلی ۷۸

۴-۶-۳- تعیین مشخصات منحنی نیرو- سرعت-تغییر مکان ۸۲

۴-۶-۴- کفایت سامانه ۸۲

۴-۷- بازبینی طرح ۸۴

۴-۷-۱- کلیات ۸۴

۴-۷-۲- طرح سازه مجهز به میراگر ۸۴

۴-۷-۳- آزمایشهای کنتر ل کیفیت تولید میراگرها.....۸۵

پیوست

نتایج بررسی عملکرد چند نمونه سازه بیمارستان.....۸۶

فصل ۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

کشور ایران در زمره کشورهای آسیب‌پذیر در برابر زلزله است. اهمیت خطر زلزله در کشور ما با شدت یافتن روند توسعه کشور، گسترش شهری، تمرکز جمعیت و سرمایه‌های مادی و معنوی و افزایش آسیب‌پذیری این سرمایه‌ها در پهنه لرزه خیز ایران، امروزه بیشتر درک می‌شود. رویداد زلزله‌های شدید در این گستره پهناور پدیده جدیدی نیست و از سده‌ها و هزاره‌های پیش هر از چندی رخ داده‌است. لیکن طی سالهای اخیر وسعت آسیب‌ها که ابعاد اقتصادی و انسانی را شامل می‌شود، توجه مسئولان و مردم را بیش از پیش به خود جلب کرده است.

بیمارستان‌ها از جمله مراکز مهم در مدیریت بحران در هنگام وقوع زلزله می‌باشد، که پس از وقوع زلزله نیز باید قادر به خدمت‌رسانی باشند. برای طراحی سازه بیمارستانها رعایت مباحث مختلف مقررات ملی ساختمان از جمله مبحث ششم الزامی است. بر طبق این مبحث برای طراحی این نوع سازه ها در برابر زلزله، ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ باید رعایت گردد. گرچه رعایت این ضوابط به طور کامل، متضمن تامین رفتار نسبتا مناسب سازه بیمارستانها در برابر زلزله های طرح و بهره برداری استاندارد مذکور است، لیکن این استاندارد به طور کلی بر پایه اصول مهندسی زلزله بر اساس عملکرد تنظیم نشده است. لذا به دنبال طرحی که از طرف وزارت راه وشهرسازی و مرکز تحقیقات راه، مسکن وشهرسازی آغاز شد، دستورالعمل حاضر تهیه شده است تا ضوابطی را در این زمینه ارائه داده و پس از تصویب مراجع ذیصلاح در طراحی سازه بیمارستانهای جدید مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۲- حدود کاربرد

دامنه کاربرد این دستورالعمل به طرح و محاسبه سازه بیمارستانها مطابق تعریف بند ۱-۳ محدود می شود. این نوع سازه ها می توانند از نوع فولادی و یا بتن مسلح باشند. سازه‌های چوبی و یا مصالح بنایی خارج از دامنه کاربرد این دستورالعمل می‌باشد. سازه های مشمول این دستورالعمل می توانند از نوع سازه های متداول یا متکی بر جدا ساز های لرزه ای یا مجهز به میرا گرهای انرژی طراحی شوند. ضوابط مربوط به طراحی در سه حالت مذکور به ترتیب در فصول ۳، ۴ و ۵ این دستورالعمل ارائه شده است.

۱-۳- تقسیم بندی مراکز درمانی

واحدهای درمانی را از جهات مختلف می‌توان دسته‌بندی نمود. یکی از انواع این دسته‌بندی‌ها، ناظر به نوع خدماتی است که این مراکز ارائه می‌دهند. در این تقسیم‌بندی، واحدهای درمانی را می‌توان به بیمارستان‌ها، مراکز جراحی محدود و سرپایی (دی‌کلینیک)، درمانگاه‌ها (کلینیک‌ها)، ساختمان پزشکان و مطب‌ها تقسیم‌بندی نمود. در تقسیم‌بندی دیگری که نظام خدمات درمانی بستری و تخصصی کشور انجام داده است، بیمارستان‌ها به شش سطح زیر تقسیم‌بندی شده‌اند:

سطح ۱: مراکز درمان بستر

این مراکز از یک مرکز بهداشتی درمانی، مرکز تسهیلات زایمان، آزمایشگاه و رادیولوژی، داروخانه و کلینیک تخصصی دوره‌ای تشکیل شده است.

سطح ۲: بیمارستان شهرستان

اولین سطح دسترسی افراد به خدمات بستری می‌باشد و حداقل شامل چهار بخش تخصصی اصلی (داخلی، جراحی، اطفال و زنان-زایمان) می‌باشد.

سطح ۳: بیمارستان ناحیه‌ای

علاوه بر اینکه دارای چهار تخصص اصلی بیمارستان عمومی می‌باشد از مجموع تخت‌های بیمارستان-های شهرستان‌های حوزه آن ناحیه که تعداد تخت هر کدام به تنهایی به محدوده ایجاد بخش مستقل نرسیده است، تشکیل شده است.

سطح ۴: بیمارستان منطقه‌ای

خود دارای کلیه مشخصات یک بیمارستان عمومی و ناحیه‌ای بوده و علاوه بر آن از تخت‌های بخش-هایی که در هیچ یک از نواحی تحت پوشش به نصاب نرسیده تشکیل شده است. معمولاً این بیمارستان-ها در مراکز استان‌ها تاسیس می‌شوند.

سطح ۵: بیمارستان‌های قطبی

بیمارستانهای قطبی، بیمارستان‌های فوق‌تخصصی دانشگاهی در تعدادی از دانشگاه‌های بزرگ کشور بوده که دارای خدمات فوق تخصصی بوده و مسئول ارائه خدمات و پذیرش بیماران ارجاع شده از چند استان مجاور می‌باشند.

سطح ۶: بیمارستان‌های کشوری

مراکز فوق تخصصی و ویژه کشور بوده که ارائه کننده خدمات منحصر به فرد و نادر تخصصی کشور می‌باشد.

۱-۴- تحلیل خطر لرزه ای

برای طراحی سازه یک ساختمان، وجود اطلاعات در مورد حرکات زمین ناشی از زلزله ضروری است. برآورد پارامترهای حرکت قوی زمین برای سطوح خطر مختلف به یکی از دو روش استفاده از «طیف طرح استاندارد» و «طیف طرح ویژه‌ی ساختگاه» صورت می‌پذیرد. با توجه به اینکه ساختمان‌های جدیدالاحداث بیمارستان‌ها، از نوع ساختمان‌های با اهمیت بسیار زیاد محسوب می‌شوند، لازم است که برای آنها «طیف طرح ویژه‌ی ساختگاه» تهیه شود. تنها در مورد ساختمان بیمارستانهایی که از نظر تقسیم‌بندی نظام خدمات درمانی و تخصصی کشور در زمره بیمارستانهای قطبی و کشوری محسوب نمی‌شوند و ضمنا تعداد طبقات آنها از تراز پایه حداکثر ۴ طبقه باشد، استفاده از طیف طرح استاندارد مجاز است.

۱-۴-۱- سطوح خطر زلزله

سطح خطر لرزه‌ای عبارت است از سطحی از حرکات قوی زمین ناشی از زلزله که دارای احتمال معینی از فراگذشت در یک بازه‌ی زمانی موردنظر باشد.

سطح خطر ۱: این سطح خطر به سطحی از حرکات قوی زمین اطلاق می شود که احتمال فراگذشت از آن در ۵۰ سال ۱۰٪ باشد. دوره‌ی بازگشت چنین زلزله ای ۴۷۵ سال است. در استاندارد ۲۸۰۰ ایران، سطح خطر ۱ به‌عنوان «زلزله طرح» (DBE) نامیده می‌شود.

سطح خطر ۲: این سطح خطر به سطحی از حرکات قوی زمین اطلاق می شود که احتمال فراگذشت از آن در ۵۰ سال ۲٪ باشد. دوره ی بازگشت چنین زلزله ای ۲۴۷۵ سال است. این سطح خطر به‌عنوان «بیشینه‌ی زلزله مدنظر» (MCE) نامیده می‌شود.

۱-۴-۲- طیف طرح ارتجاعی استاندارد

طیف طرح ارتجاعی استاندارد از حاصل‌ضرب مقدارهای طیف ضریب بازتاب ساختمان (B) و شتاب مبنای طرح (A) حاصل می‌شود. برای به‌دست‌آوردن شتاب مبنای طرح (A) از نقشه‌های معتبر پهنه‌بندی لرزه‌ای، که در آن میزان بیشینه‌ی شتاب زمین برای دوره‌های بازگشت مختلف ارایه شده است، استفاده می‌شود. میزان شتاب مربوط به زلزله‌ی "سطح خطر ۱" با استفاده از نقشه‌ی پهنه‌بندی شتاب موجود که در آن دوره‌ی بازگشت ۴۷۵ سال (۱۰٪ احتمال وقوع در ۵۰ سال) درج شده باشد، تعیین می‌شود. برای زلزله‌ی "سطح خطر ۲"، لازم است میزان شتاب برمبنای دستورالعمل معتبر به دست آید. طیف ضریب بازتاب برای زلزله‌ی "سطح خطر ۱" در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ارائه شده است.

۱-۴-۳- طیف طرح ارتجاعی ویژه ی ساختگاه

طیف طرح ارتجاعی ویژه‌ی ساختگاه، براساس تحلیل خطر و شرایط ویژه‌ی ساختگاه تهیه می‌شود. به منظور انجام تحلیل خطر ویژه‌ی ساختگاه، پس از شناسائی گسل‌های اطراف ساختگاه، تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی، و انتخاب رابطه‌های کاهندگی مناسب برای محل مورد مطالعه، برآورد خطر انجام می‌شود. گام-های تحلیل خطر ویژه‌ی ساختگاه و تهیه‌ی طیف طرح ارتجاعی ویژه‌ی ساختگاه در دستورالعمل جداگانه-ای تشریح می‌شود.

۱-۴-۴- شتابنگاشت ها

برای انجام تحلیلهای خطی یا غیرخطی دینامیکی سازه‌ها در برابر زلزله، ضروری است از شتاب-نگاشتهای متناسب با سطح خطر مورد نظر استفاده شود. در انتخاب شتابنگاشت‌ها، باید درنظر داشت که ویژگی جنبش شدید زمین هم براساس مشخصات زمین‌ساختی ساختگاه و هم براساس موقعیت و

مشخصات خاک محل ساختگاه می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. بنابراین، شتابنگاشت‌هایی که برای طراحی انتخاب می‌شوند باید از نظر محتوای فرکانسی و پاسخ طیفی و دوام (مدت زمان) جنبش شدید زمین، مشابه جنبش‌های شدیدی از زمین باشند که امکان رویداد آن‌ها در منطقه‌ی موردمطالعه وجود دارد. به عنوان نمونه، تاریخچه‌های زمانی توسعه‌داده‌شده برای ساختگاه‌هایی که در ۱۵ کیلومتری هر سرچشمه‌ی لرزه‌ای (مثلاً گسل) فعال قرار می‌گیرند، باید به سرشت سرچشمه‌های نزدیک شبیه باشد. با توجه به اینکه جنبش حوزه‌ی نزدیک می‌تواند موجب پالس‌های پریود بلند گردد، این جنبش می‌تواند اثرات مهمی بر ساختمان‌های با پریود بلند داشته باشد. همچنین باید توجه داشت که بر روی ساختگاه‌های سنگی، فرکانس جنبش بالاتر خواهد بود (و هرچه ساختگاه سخت‌تر باشد این ویژگی فرکانس بالا بیشتر خواهد شد). جنبش نیز با بزرگا و فاصله از سرچشمه زمین ساختگاه مربوط است.

برای تحلیل‌های غیرخطی، تاریخچه‌زمانی‌های موردنیاز نسبت به تحلیل‌های خطی دارای اهمیت بیشتری است؛ چرا که پاسخ‌های غیرخطی ساختمان، بیش از پاسخ‌های خطی به ویژگی‌های جنبش زمین و ویژگی‌های محتوای طیفی پاسخ حساس است. بنابراین، پاسخ‌های غیرخطی می‌تواند تحت تأثیر دوام، ویژگی‌های فازی شدن و توالی پالس‌های جنبش شدید زمین قرار گیرد.

شتابنگاشت‌هایی که دارای طیف‌های پاسخ هماهنگ با طیف طرح برای ساختگاه باشند، شتابنگاشت سازگار با طیف طرح نامیده می‌شوند و برای تحلیل تاریخچه‌ی زمانی سازه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۵- گروه بندی ساختمان ها و تعیین اهداف عملکردی

تمام ساختمان‌های موضوع بحث این دستورالعمل از دیدگاه تقسیم‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران در گروه ۱ یعنی "ساختمان‌های با اهمیت بسیار زیاد" قرار می گیرند. لذا در طرح اولیه این سازه ها بر مبنای ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، رعایت ضوابط لرزه ای خاص این گروه الزامی است.

در اعمال ضوابط لرزه‌ای این دستورالعمل، ساختمان‌های بیمارستانی از نظر اهداف عملکردی به دو گروه زیر تقسیم می شوند:

گروه الف: بیمارستان‌های قطبی و کشوری مطابق با تعاریف نظام خدمات درمانی بستری و تخصصی کشور.

گروه ب: سایر بیمارستان‌های مشمول ضوابط این دستورالعمل.

۱-۵-۱- سطوح عملکردی اجزاء سازه

در این دستورالعمل سطوح عملکردی زیر برای اجزاء سازه ای ساختمان‌های مشمول منظور می‌شود:

- *سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه:* به سطح عملکردی اطلاق می شود که پیش‌بینی می‌شود در اثر وقوع زلزله مقاومت و سختی اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا نکند و استفاده بی‌وقفه از آن ممکن باشد.
- *سطح عملکرد خرابی محدود:* به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی می‌شود در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه به میزان محدود ایجاد شود، به گونه‌ای که پس از زلزله با انجام مرمت بخش-های آسیب‌دیده ادامه بهره‌برداری از ساختمان میسر باشد.
- *سطح عملکرد ایمنی جانی:* به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی می‌شود در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی ها به اندازه ای نباشد که منجر به خسارت جانی شود.

۱-۵-۲- اهداف عملکردی ساختمان

بسته به نوع ساختمان‌های مشمول این دستورالعمل، سطوح عملکردی زیر به عنوان اهداف عملکردی ساختمانها تحت اثر زلزله منظور می‌شود و انتظار بر آن است با رعایت ضوابط خاص مندرج در این دستورالعمل، این اهداف تامین گردد.

در سطح خطر ۱، اجزاء سازه ای تمام ساختمانهای مورد بحث در این دستورالعمل در محدوده عملکردی قابلیت استفاده بی وقفه قرار گیرند.

در سطح خطر ۲، برای ساختمانهای گروه الف، مطابق با گروه بندی ذکر شده در بند فوق این دستورالعمل، اجزاء سازه در محدوده عملکردی خرابی محدود و برای ساختمانهای گروه ب، در محدوده عملکردی ایمنی جانی قرار گیرند.

فصل ۲- طراحی سازه های متداول بر اساس عملکرد

۲-۱- مقدمه

هدف این فصل ارائه ضوابط و مقررات اضافی نسبت به ضوابط و مقررات موجود، برای طراحی سازه های متداول ساختمان‌های مورد بحث این دستورالعمل است و انتظار می‌رود با رعایت آن، ضمن افزایش حاشیه اطمینان در فراهم شدن شرایط ایمنی، قابلیت بهره‌برداری و پایایی این نوع سازه‌ها تحت حداقل بارهای وارده مطابق با آیین‌نامه‌ها و مقررات موجود، امکان دستیابی به اهداف عمکردی مورد اشاره در این دستورالعمل میسر گردد.

۲-۲- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این فصل به طرح و محاسبه سازه‌های فولادی و یا بتن مسلح محدود می‌شود. سازه‌های چوبی و یا مصالح بنایی خارج از دامنه کاربرد این دستورالعمل می‌باشد.

ساختمان‌های مورد بحث در این دستورالعمل و کلیه اعضاء آنها، باید به گونه‌ای طرح، محاسبه و اجرا شوند که ضمن رعایت ضوابط خاص ذکر شده در این دستورالعمل، تمام ضوابط عمومی موجود و مقررات ملی لازم الاجرا در طراحی، محاسبه و ارائه جزئیات اجرایی آنها از جمله مباحث مقررات ملی ساختمان (شامل مباحث پنجم، ششم، هفتم، نهم و دهم) و استاندارد ۲۸۰۰ ایران رعایت شده باشد. لذا بررسی، کنترل و رعایت ضوابط اضافی مندرج در این فصل، پس از طراحی اولیه سازه مطابق با ضوابط موجود صورت می‌گیرد.

به منظور حصول حاشیه اطمینان بالاتر برای عملکرد قابل قبول و از پیش تعیین شده سازه بیمارستان‌ها؛ در این دستورالعمل، رویکرد طراحی بر مبنای عملکرد، اساس ضوابط طراحی ارائه شده قرار گرفته است. لذا در اعمال ضوابط این دستورالعمل لازم است ترکیبات بارگذاری، ضرایب ایمنی جزیی و روش تحلیل و طراحی مورد اشاره در این دستورالعمل ملاک عمل قرار گیرد.

۲-۳- مطالعات ژئوتکنیکی

برای تمام ساختمانهای موضوع بحث این دستورالعمل، مطالعات ژئوتکنیکی و بررسی مخاطرات ساختگاهی الزامی است.

۲-۴- ضوابط کلی طراحی سازه

۲-۴-۱- ساختمان های فولادی

- در طرح سازه‌ای ساختمان‌های فولادی، طراحی اولیه سازه باید بر مبنای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان "طرح و اجرای ساختمانهای فولادی" صورت گرفته و برای ضوابط اضافی مندرج در این دستورالعمل مورد کنترل قرار گیرد.
- رعایت ضوابط وجزئیات اجرایی مربوط به شکل‌پذیری ویژه، مطابق با ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، در طرح لرزه ای اعضاء فولادی که در باربری جانبی ساختمانهای مورد بحث در این دستورالعمل نقش دارند الزامی است.
- در ساختمان‌هایی که سیستم باربرجانبی آنها قاب خمشی فولادی است، طراحی باید به نحوی صورت گیرد که ستون‌ها دیرتر از تیرها وارد محدوده غیرخطی شوند.

۲-۴-۲- ساختمان های بتن مسلح

- در طرح سازه ای ساختمان‌های بتن مسلح، طراحی اولیه سازه باید بر مبنای مبحث نهم مقررات ملی ساختمان "طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه" صورت گرفته و برای ضوابط اضافی مندرج در این دستورالعمل مورد کنترل قرار گیرد.
- رعایت ضوابط وجزئیات اجرایی مربوط به شکل‌پذیری ویژه (شکل پذیری زیاد) ، مطابق با ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، در طرح لرزه‌ای اعضاء بتنی که در باربری جانبی ساختمانهای مورد بحث در این دستورالعمل نقش دارند، الزامی است.
- در ساختمان‌هایی که سیستم باربرجانبی آنها قاب خمشی بتن مسلح می‌باشد، طراحی باید به نحوی صورت گیرد که ستون‌ها دیرتر از تیرها وارد محدوده غیرخطی شوند.

۲-۴-۳- اعضای غیر سازه ای و میانقاب ها

اعضای غیرسازه‌ای و میانقاب‌ها باید به گونه‌ای اجرا شوند که تا حد امکان مزاحمتی برای رفتار اعضای سازه‌ای در زمان وقوع زلزله ایجاد نکنند. در غیر این صورت، لازم است اثر موضعی و کلی این اعضا بر عملکرد سازه، به نحو مناسبی در تحلیل سازه در نظر گرفته شود. پایداری اعضاء غیرسازه ای و میانقاب‌ها تحت بار زلزله باید مطابق با ضوابط خاص مندرج در فصول مربوطه دستورالعمل تامین گردد.

۲-۴-۴- رفتار غیرخطی

به طور کلی سازه یک ساختمان موقعی رفتار غیرخطی از پیش تعیین شده و قابل قبولی خواهد داشت که رفتار غیرخطی و شکل‌پذیری اعضاء به وضوح در مرحله طراحی شناخته شده باشد و این رفتارهای غیرخطی صرفاً در اعضائی مجاز دانسته شده باشد که با جزئیات اجرایی مناسب، شکل پذیری لازم را

داشته باشند. محدود نمودن وقوع رفتارهای غیرخطی در نواحی مشخص و از پیش تعیین شده ضامن رفتار مناسب سازه‌ها تحت زلزله های شدید است که باید در مرحله طراحی منظور شود. نواحی دیگر سازه باید به گونه ای طراحی شوند که در حین زلزله وارد محدوده غیرخطی شدید نشوند. در جدول ۲-۱ نواحی مستعد رفتار غیر خطی که می بایست با ضوابط مناسب اجرایی و محاسباتی، شکل پذیری آنها تامین شود ذکر شده است.

جدول۲-۱ : نواحی مستعد رفتار غیر خطی در سیستم های مختلف سازه ای

سیستم سازه ای	نواحی مستعد رفتار غیرخطی و نوع رفتار
قابهای خمشی فولادی یا بتن مسلح ویژه	• تسلیم خمشی در انتهای تیرها • برش در نواحی چشمه اتصال • تسلیم تحت ترکیب خمش و نیروی محوری در پای ستونها
قابهای مهاربندی همگرای ویژه فولادی	• مهاربندها (تسلیم در کشش و کمانش در فشار) • تسلیم تحت ترکیب خمش و نیروی محوری در پای ستونها
قابهای مهاربندی واگرای ویژه فولادی	• تیر پیوند (تسلیم برشی در این ناحیه ارجح است هرچند ترکیب تسلیم خمشی و برشی نیز مجاز می باشد.) • تسلیم تحت ترکیب خمش و نیروی محوری در پای ستونها
دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه	• تسلیم تحت ترکیب نیروی محوری و خمش در پای دیوار یا در محلهای از پیش تعیین شده که جزئیات اجرایی مناسب برای تشکیل و رشد مفاصل پلاستیک با شکل پذیری لازم تامین شده باشد.
پی	• بلندشدگی محدود • نشست محدود

.

۲-۵- برآورد ظرفیت اجزاء سازه

به طور کلی رفتار اعضاء سازه به دو گروه کنترل‌شونده توسط تغییرشکل و کنترل‌شونده توسط نیرو تقسیم می‌شود. رفتارکنترل‌شونده توسط تغییرشکل، خاص اعضایی است که بعد از ورود به ناحیه تسلیم و عبور از تغییرشکلهای متناظر با مقاومت باربری عضو، رفتاری شکل‌پذیر با میران شکل‌پذیری بالای ۲ از خود نشان می‌دهند. برای اعضاء غیرشکل‌پذیر و یا با شکل‌پذیری محدود (میزان شکل‌پذیری کمتر از ۲) رفتار از نوع کنترل‌شونده توسط نیرو فرض می‌شود. طراح با اعمال جزئیات اجرایی مناسب می‌تواند رفتارهای غیرخطی با نیاز شکل‌پذیری بالا را در نواحی خاصی از سازه متمرکز کند در این خصوص جدول ۲-۱ این دستورالعمل می‌تواند ملاک عمل قرار گیرد.

۲-۵-۱- رفتار کنترل شونده توسط تغییرشکل

ظرفیت اعضاء با رفتار کنترل‌شونده توسط تغییرشکل در اعضاء بتنی بر مبنای ظرفیت حد نهایی اعضاء مطابق با مبحث ۹ مقررات ملی و در اعضاء فولادی بر مبنای ظرفیت نهایی اعضاء به روش LRFD مبحث ۱۰ مقررات ملی تعیین می‌شود. در محاسبه این مقاومتها تمام ضرایب کاهش مقاومت ϕ برابر با ۱ در نظر گرفته شده و از مقاومت مورد انتظار مصالح که از ضرب مقاومت مشخصه در اعداد ذکر شده در جدول ۲-۲ بدست می‌آید، استفاده می‌شود. در تعیین ظرفیت اعضاء اندرکنش تلاشهای مختلف اعمالی به اعضاء مانند اندرکنش نیروی محوری و خمش باید در نظر گرفته شود.

جدول ۲-۲: ضرایب تبدیل مقاومت مشخصه به مقاومت مورد انتظار

مشخصات مصالح	ضریب تبدیل
تنش تسلیم ورق و پروفیلهای فولادی	۱,۱
مقاومت فشاری مشخصه بتن	۱,۲۵
تنش کششی و تسلیم میلگرد	۱,۱۵

تنش تسلیم دیگر مصالح فولادی (مثل میل مهارها)	۱,۲۵

۲-۵-۲- رفتار کنترل شونده توسط نیرو

ظرفیت اعضاء با رفتار کنترل‌شونده توسط نیرو در اعضاء بتنی بر مبنای ظرفیت حد نهایی اعضاء مطابق با مبحث ۹ مقررات ملی و در اعضاء فولادی بر مبنای ظرفیت نهایی اعضاء به روش LRFD مبحث ۱۰ مقررات ملی تعیین می‌شود. در محاسبه این مقاومتها که کران پایین مقاومت نامیده می‌شود تمام ضرایب کاهش مقاومت ϕ برابر با ۱ در نظر گرفته شده و از مقاومت مشخصه مصالح مطابق با طرح اولیه سازه استفاده می‌شود.

۲-۶- ارزیابی و طرح سازه در سطح خطر ۱

مطابق با بند ۱-۵-۲، سازه بیمارستانها در سطح خطر ۱ باید به گونه ای عمل کند که عملکردی در محدوده قابلیت استفاده بی‌وقفه داشته باشد. هدف از این ارزیابی اطمینان از امکان بهره‌برداری و استفاده بی‌وقفه از بیمارستانها پس از وقوع زلزله‌ای متناظر با زلزله سطح خطر ۱ می‌باشد.

۲-۶-۱- مدل سازه ای

در تحلیل سازه باید از یک مدل عددی سه بعدی به صورتی که توزیع جرم و سختی در سازه را به نحو مناسبی نمایش دهد، استفاده شود. مشخصات سختی و جرم تمام اعضاء باید با دقت مناسب شبیه‌سازی گردد تا نسبت به برآورد صورت گرفته در خصوص مشخصات دینامیکی و پریودهای نوسانی سازه اطمینان حاصل گردد. در تعیین مقاومت اعضاء شکل‌پذیر (کنترل شونده توسط تغییر شکل) از مقدار مورد انتظار ظرفیت اعضاء استفاده می‌شود و در اعضاء غیرشکل‌پذیر (کنترل شونده توسط نیرو) مقاومت مشخصه اعضاء معیار ارزیابی عضو می باشد.

۲-۶-۲- روش تحلیل

تحلیل سازه تحت بار زلزله، به روش استاتیکی یا دینامیکی خطی (طیفی) صورت می‌گیرد. در تحلیل سازه لازم است اثر P-Delta و پیچش تصادفی و اثر همزمان مولفه های زلزله مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ منظور گردند.

۲-۶-۳- ترکیبات بارگذاری

در طرح و محاسبه سازه ساختمانهای مورد بحث در این دستورالعمل، علاوه بر لزوم طراحی ساختمان تحت ترکیبات بارگذاری‌های مندرج در مباحث مقرارت ملی ساختمان، لازم است ساختمان در سطح خطر ۱ و تحت ترکیبات بارگذاری زیر مورد ارزیابی قرار گیرد.

$$1.1D + 1.1L_{exp} + 1.0E \qquad (۱-۲)$$

$$0.9D + 1.0E \qquad (۲-۲)$$

که در آن D بار مرده و L_{exp} بار موثر زنده مطابق با مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان می‌باشد. E بار زلزله است که بر طبق بند ۲-۶-۴ محاسبه می شود.

۲-۶-۴- بار زلزله

در روش استاتیکی خطی نیروی جانبی ناشی از زلزله (V) به صورت ضریبی از وزن کل ساختمان (W) به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$V=C_m S_a W \qquad (۳-۲)$$

که در آن:

W: وزن لرزه‌ای ساختمان، شامل وزن مرده‌ی ساختمان و درصدی از سربار زنده مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد.

S_a: شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی ساختمان است. زمان تناوب ساختمان برمبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران تعیین می شود.

C_m: ضریبی است برای اعمال اثر مودهای بالاتر و از جدول ۲-۳ قابل تعیین است.

جدول۲-۳-: مقادیر ضریب C_m

تعداد طبقات	قاب خمشی بتنی یا فولادی	قاب فولادی مهاربندی‌شده با محورهای متقارب یا غیرمتقارب	سازه با دیوار برشی	سایر سیستم‌های سازه‌ای
یک یا دو	۱	۱	۱	۱
سه و بیش‌تر	۰/۹	۰/۹	۰/۸	۱

در تحلیل دینامیکی خطی به روش طیفی لازم است تعداد مدهای نوسان به گونه‌ای در نظر گرفته شود که مجموع جرم‌های موثر آنها بیش از ۹۰ درصد جرم کل سازه باشد. در این روش از طیف طرح در سطح خطر ۱ استفاده می‌شود و هیچ ضریب اصلاحی در تعیین مقادیر نیرو و تغییرمکان‌ها لحاظ نمی-شود (ضریب C_m برابر ۱ است).

۲-۶-۵- توزیع بار زلزله در ارتفاع

توزیع بار جانبی زلزله در ارتفاع در روش تحلیل استاتیکی خطی مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران می‌باشد.

۲-۶-۶- معیارهای پذیرش

در این بند معیارهای پذیرش اعضاء در سطح خطر ۱ معرفی شده است، در صورت عدم ارضاء معیارهای پذیرش لازم است به گونه ای نسبت به تغییر مشخصات طرح عمل شود که معیارهای پذیرش ارضاء گردند.

سازه در صورتی معیارهای پذیرش در سطح عملکردی قابلیت استفاده بی وقفه را ارضا می‌کند که نسبت نیرو به ظرفیت نهایی اعضاء از مقادیر زیر تجاوز نکند.

- برای رفتارهای کنترل‌شونده توسط نیرو همانند برش، پیچش و نیروی محوری فشاری از ۱ کمتر باشد.
- برای رفتارهای کنترل‌شونده توسط تغییرشکل همانند خمش و کشش از مقادیر ارائه شده در جدول ۲-۴ کمتر باشد.

اتصالات تیر به ستون در قابهای خمشی و اتصالات مهاربندی کنترل شونده توسط نیرو بوده و باید به گونه ای طراحی شوند که دارای ظرفیتی بیش از ظرفیت مورد انتظار عضو متصل شونده باشند.

جدول ۲-۴ معیارهای پذیرش اعضاء در سطح خطر ۱

مصالح عضو	رفتار عضو	مقادیر مجاز نسبت نیرو به ظرفیت
اعضاء فولادی	خمش در تیرها	۲
	خمش در ستونهای با نسبت نیروی محوری به ظرفیت محوری کمتر از ۰,۲	۲
	خمش در ستونهای با نسبت نیرو محوری به ظرفیت محوری بیشتر از ۰,۲ و کمتر از ۰,۵	۱,۲۵
	برش در چشمه اتصال	۱,۵
	تیرهای پیوند در مهاربندهای برون محور	۱,۷
	مهاربندها	۱,۲۵
	دیوارهای برشی فولادی	۱,۵
	تیر و ستون تحت کشش	۱,۲۵
اعضاء بتن مسلح	خمش در تیرها	۲
	ترکیب خمش و نیروی محوری در ستونهای با نسبت نیروی محوری به	۲

	ظرفیت محوری کمتر از ۰,۱	
	ترکیب خمش و نیروی محوری در ستونهای با نسبت نیروی محوری به ظرفیت محوری کمتر از ۰,۶ و بیشتر از ۰,۱	۱,۲۵
	دیوارهای برشی	۲
	تیرکوپله دیوارهای برشی	۲

۲-۶-۷- معیارهای پذیرش پی

۲-۶-۷-۱- برکنش

نیروهای عکس‌العملی به ازای دو سوم برش پایه (رابطه ۲-۳) به مدل سازه و خاک پی اعمال و به ازای این نیروها، هیچ یک از نقاط سازه پی در نقاط تکیه گاهی سازه (پای ستونها، دیوارهای برشی و غیره) از خاک جدا نشود.

۲-۶-۷-۲- تنش تسلیم خاک و طراحی سازه پی

نیروهای عکس‌العملی به ازای کل برش پایه ذکر شده در این بند به مدل سازه پی و خاک زیر آن اعمال و به ازای این نیروها و با حدف فنرهای کششی، تنش اعمالی به خاک نباید از ظرفیت نهایی خاک (برابر با ۳ برابر تنش تسیم خاک) بیشتر گردد، سازه پی بر اساس نیروهای داخلی اعمالی طرح می شود. ظرفیت کران پایین سازه پی که بر اساس بند۲-۵ محاسبه می‌شود باید از مقدار نیروهای داخلی بیشتر باشد.

۲-۷- ارزیابی و طرح سازه در سطح خطر ۲

مطابق با بند ۱-۵-۲ در سطح خطر ۲ برای سازه ساختمان‌های گروه الف، باید اجزاء سازه در محدوده عملکردی خرابی محدود و برای ساختمان‌های گروه ب، در محدوده عملکردی ایمنی جانی قرار گیرند. هدف از این ارزیابی حصول اطمینان از عملکرد بیمارستانهای موضوع این دستورالعمل پس از وقوع زلزله‌ای متناظر با زلزله سطح خطر ۲ می‌باشد.

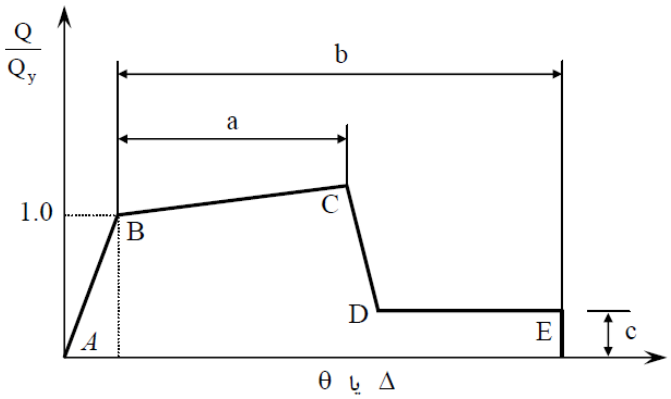
۲-۷-۱- مدل سازه ای

در تحلیل سازه باید از یک مدل عددی سه بعدی به صورتی که توزیع جرم و سختی در سازه را به نحو مناسبی نمایش دهد، استفاده شود. تمام اعضاء باربر جانبی سازه باید در مدل سازه منظور شوند. با توجه به نوع تحلیل در تمام نقاط مدل سازه که پتانسیل رفتار غیرخطی و تشکیل مفصل پلاستیک دارند، باید رفتارها به نحو مناسب شبیه‌سازی گردند.

۲-۷-۲- روش تحلیل

تحلیل سازه تحت بار زلزله، به روش استاتیکی غیرخطی صورت می‌گیرد، لذا رابطه نیرو-تغییرشکل اجزا به صورت روابطی غیرخطی بیان می‌شوند. در حالتی که مشخص باشد که تحت بارهای وارده پاسخ غیرخطی در جزء اتفاق نمی‌افتد در این حالت می توان از روابط خطی استفاده کرد. جهت شبیه‌سازی رفتار غیرخطی می‌توان از منحنی نیرو-تغییرشکل داده شده در شکل ۲-۱ به همراه پارامترهای مدل-سازی ذکر شده در جدول ۲-۵ استفاده نمود. اثرات سخت‌شدگی با درنظرگرفتن شیبی برابر با ۳ درصد شیب قسمت ارتجاعی برای اعضاء فولادی و ۵ درصد شیب قسمت ارتجاعی برای اعضاء بتن مسلح در نظرگرفته می‌شود. در شکل ۲-۱ پارامترهای Q و Q_y به ترتیب عبارتند از نیروی تعمیم یافته و مقاومت نظیر اولین تسلیم در عضو و θ و Δ معرف چرخش و تغییر شکل عضو می‌باشند. برای تعیین مقاومت

اعضاء شکل‌پذیر (کنترل‌شونده توسط تغییرشکل) از مقدار مورد انتظار ظرفیت اعضاء استفاده می‌شود و در اعضاء غیرشکل‌پذیر (کنترل‌شونده توسط نیرو) مقاومت کران پایین اعضاء معیار ارزیابی عضو می‌باشد.



شکل ۲-۱: منحنی ساده شده نیرو-تغییرشکل اعضاء

تحلیل استاتیکی غیرخطی یک سازه با اعمال بارهای ثقلی ثابت و بارهای جانبی رانشی انجام می‌شود. اثرات $P-\Delta$ نیز در انجام این تحلیل باید در نظر گرفته شود.

از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی در سازه‌هایی می‌توان استفاده نمود که در آنها اثرات مودهای بالا عمده نباشد. برای تعیین این موضوع ضروری است سازه ساختمان دو بار با استفاده از روش تحلیل دینامیکی طیفی تحلیل شود. در بار اول تنها مود اول سازه در نظر گرفته شده و در بار دوم باید تمام مودهای نوسانی که مجموع جرم موثر آنها حداقل ۹۰٪ جرم کل سازه است در نظر گرفته شود. در صورتیکه نتایج تحلیل دوم نشان دهد نیروی برشی در طبقه ای بیش از ۳۰٪ از نیروی برشی حاصل از تحلیل اول بزرگتر است، این امر به معنی عمده بودن اثرات مودهای بالای سازه است. در صورتیکه با توجه به ضابطه فوق استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی مجاز نباشد لازم است از روش تحلیل دینامیکی غیرخطی عملکرد سازه در سطح خطر ۲ برطبق ضوابط بند ۲-۷-۱۱ ارزیابی و کنترل شود.

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی تأثیر زلزله باید در هر دو جهت مثبت و منفی در هر امتداد اصلی به ساختمان اعمال گردد و بحرانی ترین مقادیر تلاشها و تغییرشکلهای ایجاد شده ملاک طراحی و کنترل اعضا قرار گیرد.

در مورد ساختمانهای منظم می‌توان تحلیل را در هر امتداد اصلی افقی بطور مستقل انجام داد، مگر آن دسته از ساختمانها که باید ضوابط پاراگراف بعدی در مورد آنها رعایت شود .

در مورد ساختمانهای نامنظم باید از مدلهای سه بعدی در تحلیل استفاده کرد. اثرات دو مولفه افقی زلزله نیز باید ملحوظ گردد. برای در نظر گرفتن این اثرات در مورد این ساختمانها و نیز آن دسته از ساختمانهای منظم که دارای یک یا چند ستون مشترک بین دو یا چند قاب سیستم باربر جانبی در جهات مختلف باشد، در تحلیل استاتیکی غیرخطی باید در هر امتداد ۱۰۰٪ نیروها و تغییرمکان‌ها در جهت مورد بررسی به همراه نیروهای متناظر با ۳۰ ٪ تغییرمکان در امتداد عمود برآن درنظرگرفته شود.

۲-۷-۳- ترکیبات بارگذاری

در طرح و محاسبه سازه ساختمان‌ها در سطح خطر ۲ لازم است ابتدا سازه تحت بار ثقلی مطابق با ترکیبات بارگذاری زیر تحلیل شده و سپس تحلیل غیر خطی سازه روی سازه بارگذاری شده صورت گیرد. پس از بارگذاری جانبی سازه و رسیدن به تغییرمکان هدف لازم است کفایت باربری ثقلی سازه پس از حذف باربرداری جانبی مجددا کنترل گردد.

$$1.1D + 1.1L_{exp} \qquad (۴-۲)$$

$$0.9D + 1.0E \qquad (۵-۲)$$

که در آن D بار مرده و L_{exp} بار موثر زنده مطابق با مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان می باشد.

۲-۷-۴- توزیع بار زلزله در ارتفاع

در تحلیل استاتیکی غیرخطی، الگوی بار جانبی در ارتفاع توزیع متناسب با نیروهای جانبی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی طیفی با لحاظ آن تعداد مودهای ارتعاشی که حداقل ۹۰٪ جرم سازه در تحلیل مشارکت کند، در نظر گرفته می‌شود.

۲-۷-۵- منحنی ظرفیت

منحنی ظرفیت یعنی رابطه بین برش پایه و تغییرمکان نقطه کنترل باید توسط روش تحلیل استاتیکی غیرخطی از مقدار صفر تا تغییرمکانی معادل ۱۵۰٪ تغییرمکان هدف تعیین گردد.

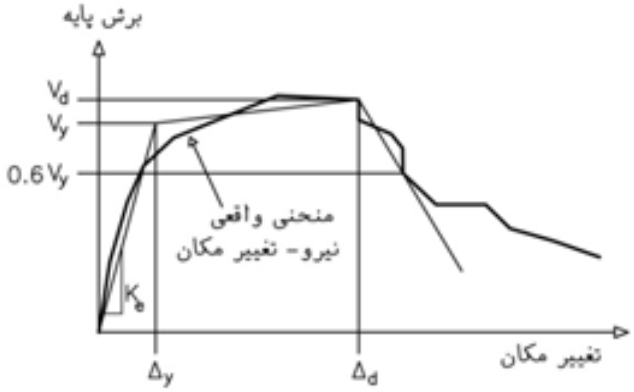
مرکز جرم بام باید به عنوان محل نقطه کنترل اختیار گردد. بام خرپشته را نباید بعنوان نقطهٔ کنترل در نظر گرفت.

منحنی ظرفیت باید تبدیل به منحنی چندخطی گردد تا برش پایه جاری شدن موثر سازه V_y و تغییرمکان نظیر آن Δ_y تعیین و از این مقادیر برای محاسبه زمان تناوب اصلی موثر T_e استفاده شود.

چندخطی کردن منحنی ظرفیت، مطابق شکل ۲-۲ به نحوی صورت می‌پذیرد که خط اول از نقطه شروع با شیبی برابر با سختی جانبی موثر K_e رسم می گردد. سختی جانبی موثر K_e برابر سختی سکانت محاسبه شده در برش پایه نظیر ۶۰٪ برش پایه جاری شدن موثر سازه V_y در منحنی ظرفیت می باشد. برش پایه جاری شدن موثر سازه V_y نباید از حداکثر برش پایه در نقاط مختلف منحنی ظرفیت بیشتر باشد.

خط دوم نماینده شیب مثبت بعد از جاری شدن سازه است که از نقطه‌ای به مختصات (Δ_d و V_d) و نقطه‌ای روی خط اول چنان ترسیم می شود که سطح زیر مدل رفتار دو خطی برابر سطح زیر منحنی رفتار غیرخطی تا نقطه (Δ_d و V_d) باشد. (Δ_d و V_d) نقطه‌ای روی منحنی نیرو-تغییرمکان در تغییرمکان

هدف یا تغییرمکان متناظر با حداکثر نیروی برشی است. خط سوم نماینده شیب منفی بعد از افت مقاومت است که از نقطه انتهای شیب مثبت در منحنی ظرفیت (V_d و Δ_d) و نقطه‌ای که در آن برش پایه به ۶۰٪ پایه جاری شدن موثر سازه نزول می‌کند می‌گذرد.



شکل ۲-۲: چند خطی کردن منحنی ظرفیت

۲-۷-۶- زمان تناوب اصلی موثر ساختمان

زمان تناوب اصلی موثر ساختمان، T_e با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad (۶-۲)$$

که در آن T_i (بر حسب ثانیه) زمان تناوب اصلی ارتجاعی است، که با تحلیل مدل سازه با فرض رفتار خطی به دست می‌آید، K_i سختی جانبی ارتجاعی سازه (شیب خط مماس بر منحنی ظرفیت سازه در مبدا) در جهت موردنظر و K_e سختی جانبی موثر سازه در جهت مورد نظر می‌باشد (شکل ۲-۲).

۲-۷-۷- تغییرمکان هدف

مقدار تغییرمکان هدف در نقطه کنترل باید با استفاده از روشهای معتبر محاسبه شود. این مقدار را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$\delta_t = C_0 C_1 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \qquad (۷-۲)$$

که در آن T_e زمان تناوب اصلی موثر ساختمان برای امتداد موردنظر، g شتاب ثقل و S_a شتاب طیفی در زمان تناوب اصلی موثر می‌باشد.

ضریب C_0 با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_0 = \phi_{1,r} \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \phi_{1,i}}{\sum_{i=1}^{n} w_i \phi_{1,i}^2} \qquad (۸-۲)$$

که در آن w_i و $\phi_{1,i}$ به ترتیب وزن موثر لرزه ای و مولفه بردار شکل مد اول در تراز i می باشند. $\phi_{1,r}$ نیز مولفه بردار شکل مد اول در تراز نقطه کنترل می باشد.

ضریب C_1 از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} T_e \le 0.2 \quad &\rightarrow C_1 = 1 + 25\frac{(R_d - 1)}{a} \\ 0.2 < T_e < 1 \quad &\rightarrow C_1 = 1 + \frac{(R_d - 1)}{a T_e^2} \\ T_e \ge 1 \quad &\rightarrow C_1 = 1 \end{aligned} \qquad (۹-۲)$$

در این رابطه a ضریب نوع زمین است که از جدول ۲-۱ به دست می‌آید و R_d نسبت نیاز مقاومت ارتجاعی به مقاومت تسلیم است که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$R_d = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \qquad (۱۰-۲)$$

در این رابطه S_a شتاب طیفی به ازای زمان تناوب اصلی موثر T_e در زلزله سطح خطر ۲ و W وزن موثر لرزه‌ای است. ضریب C_m از جدول ۲-۵ قابل تعیین است.

جدول ۲-۵ ضریب نوع زمین

نوع زمین	I	II	III و IV
a	130	90	60

۲-۷-۸- اثرات پیچش

افزایش نیروها و تغییرمکانها ناشی از پیچش واقعی و تصادفی باید در تحلیل غیرخطی منظور شود.در مورد ساختمانهای «انعطاف‌پذیر پیچشی» که پیچش در مود اول یا دوم آنها حاکم باشد، الگوهای متداول تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌توانند موجب تخمین کمتر از واقع تغییرمکانها در سمت سخت (مقاوم) ساختمان گردند. در مورد چنین ساختمانهایی تغییرمکانهای سمت سخت (مقاوم) آنها باید در مقایسه با ساختمانهای متعادل پیچشی افزایش یابد. درصورتیکه از ضریب بزرگنمایی برای تغییرمکانهای سمت سخت (مقاوم) استفاده گردد، شرایط مورد نظر این بند را می‌توان اقناع شده فرض نمود. این ضریب بزرگنمایی می تواند از تحلیل خطی دینامیکی طیفی مدل سه بعدی ساختمان به دست آید.

برون مرکزی تصادفی برای تعیین پیچش تصادفی در هر دو جهت برابر با ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه و در امتداد عمود بر نیروی جانبی اختیار می‌شود. هرگاه اثر لنگر پیچشی اتفاقی کوچکتر از ۲۵٪ اثر لنگر پیچشی واقعی باشد، می‌توان از اثر پیچش اتفاقی صرفنظر نمود.

۲-۷-۹- معیارهای پذیرش

در این بند معیارهای پذیرش اعضاء در سطح خطر ۲ معرفی شده است در صورت عدم ارضاء معیارهای پذیرش لازم است به گونه ای نسبت به تغییر مشخصات طرح عمل شود که معیارهای پذیرش ارضاء گردند.

سازه در صورتی معیارهای پذیرش در سطح عملکردی مورد نظر را ارضا می کند که:

- نیروی وارد شده به اعضاء با رفتارهای کنترل شوند توسط نیرو از ظرفیت کران پایین این اعضاء کمتر باشد.
- مقدار تغییرشکل خمیری تحمیل شده به اعضاء با رفتارهای کنترل شوند توسط تغییرشکل از مقادیر ارائه شده در جدول ۲-۶ کمتر باشد. دراین جدول θ_y چرخش حد تسلیم، Δ_c تغییرمکان حد کمانش و Δ_T تغییرمکان حد تسلیم عضو می باشند.

جدول ۲-۶: پارامترهای مدلسازی و معیارهای پذیرش اعضاء در سطح خطر ۲

مصالح عضو	رفتار عضو	پارامترهای مدلسازی			معیار پذیرش	
		تغییرشکل خمیری		نسبت مقاومت پسماند	تغییرشکل خمیری	
		a	b	c	ساختمانهای گروه الف	ساختمانهای گروه ب
اعضاء فولادی	خمش در تیرها	$9\theta_y$	$11\theta_y$	۰,۶	$5\theta_y$	$9\theta_y$
	خمش در ستونهای با نسبت نیروی محوری به ظرفیت محوری کمتر از ۰,۲	$9\theta_y$	$11\theta_y$	۰,۶	$5\theta_y$	$9\theta_y$
	خمش در ستونهای با نسبت نیرو محوری به ظرفیت محوری بیشتر از ۰,۲ و کمتر از ۰,۵	$11(1-5/3P/Pcl)\ \theta_y$	$17(1-5/3P/Pcl)\ \theta_y$	۰,۲	$8(1-5/3P/Pcl)\ \theta_y$	$14(1-5/3P/Pcl)\ \theta_y$
	برش در چشمه اتصال	$12\theta_y$	$12\theta_y$	۱	$7\theta_y$	$12\theta_y$
	تیرهای پیوند در مهاربندهای برون محور با رفتار خمشی	$9\theta_y$	$11\theta_y$	۰,۶	$5\theta_y$	$9\theta_y$
	تیرهای پیوند در مهاربندهای برون محور با رفتار برشی	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۸	۰,۰۷	۰,۱۴
	مهاربندهای متقارب در فشار	$1\Delta_c$	$8\Delta_c$	۰,۵	$4\Delta_c$	$7\Delta_c$
	مهاربندهای متقارب در کشش	$11\Delta_T$	$14\Delta_T$	۰,۸	$6\Delta_T$	$11\Delta_T$
	دیوارهای برشی فولادی با سخت کننده	$11\theta_y$	$16\theta_y$	۰,۷	$7\theta_y$	$13\theta_y$
	تیر و ستون تحت کشش	$5\Delta_T$	$7\Delta_T$	۱	$1,5\Delta_T$	$3\Delta_T$
اعضاء بتن مسلح	خمش در تیرها	۰,۰۲۵	۰,۰۵	۰,۲	۰,۰۱۵	۰,۰۲
	ترکیب خمش و نیروی محوری در ستونهای با نسبت نیروی محوری به ظرفیت محوری کمتر از ۰,۱	۰,۰۳۵	۰,۰۶	۰,۲	۰,۰۴۵	۰,۰۳

	ترکیب خمش و نیروی محوری در ستونهای با نسبت نیروی محوری به ظرفیت محوری کمتر از ۰٫۶ و بیشتر از ۰٫۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۵
	دیوارهای برشی	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲	۰٫۷۵	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۲
	تیرکوپله دیوارهای برشی	۰٫۰۲۵	۰٫۰۵	۰٫۷۵	۰٫۰۱۵	۰٫۰۲

۲-۷-۱۰- پی

سازه و خاک پی تحت نیروهای عکس العملی اعمالی از سازه در برش پایه متناظر با تغییرمکان هدف باید ضوابط زیر را ارضاء نمایند:

- تنش اعمالی به خاک پی از ظرفیت نهایی خاک (۳ برابر تنش مجاز) بیشتر نشود.
- نیروهای داخلی اعمالی به سازه پی از ظرفیت کران پایین آن بیشتر نباشد.

۲-۷-۱۱- روش تحلیل دینامیکی غیر خطی

در این روش، تحلیل دینامیکی سازه با اثر دادن شتاب زمین به صورت تابعی از زمان در تراز پایه و محاسبه پاسخ مدل ریاضی سازه که در برگیرنده رفتار فرا ارتجاعی آن است، انجام می شود. مدل مذکور باید با توجه به ضوابط بندهای ۲-۷-۱ و۲-۷-۲ تهیه شده باشد. مشخصات غیرخطی اعضای سازه در مدلسازی باید به لحاظ مقاومت، سختی و شکل پذیری با داده های آزمایشگاهی و یا مدل های تحلیلی معتبر سازگار باشد و در اعضایی که در آنها زوال مقاومت انتظار می‌رود، باید این رفتار در رابطه نیرو-تغییرشکل آن اعضا در نظر گرفته شود. در مدل سازه لازم است فرضهای مناسب در خصوص سختی و ظر فیت باربری پی با توجه ویژگیهای خاک و در نظر گرفتن تکیه گاه انعطاف پذیر برای سازه صورت گیرد.

شتاب‌نگاشتهایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا، در هنگام وقوع زلزله، باشند. برای نیل به این هدف لازم است

حداقل سه زوج شتاب نگاشت متعلق به مولفه‌های افقی سه زلزله مختلف ثبت شده که متناسب با سطح خطر ۲ باشند، انتخاب گردند.

در این تحلیل، اثر زلزله در دو امتداد افقی با استفاده از زوج شتاب نگاشتها اعمال می شود. ضمنا لازم است در هنگام اثر زلزله بار های ثقلی نیز مطابق بند ۲-۷-۳ به مدل سازه اعمال شود. اثرات $P-\Delta$ نیز در انجام این تحلیل باید در نظر گرفته شود.

در تحلیل تاریخچه زمانی بازتاب نهایی سازه شامل تلاشهای ایجاد شده در اعضا، تغییرشکل اعضا و تغییرمکان جانبی نسبی طبقات برابر با حداکثر بازتاب‌های به دست آمده از تحلیل با سه زوج شتاب‌نگاشت اعمالی به سازه می‌باشد. در این روش تحلیل، در صورت استفاده از حداقل هفت زوج شتاب‌نگاشت می توان مقدار متوسط بازتاب‌های به دست آمده از آنها را به عنوان بازتاب نهایی تلقی کرد.

۲-۷-۱۱-۱- معیارهای پذیرش

ارزیابی کفایت ظرفیت اعضا و اتصالات در تحمل تغییرشکلها و نیروهای نیاز لرزه ای بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی برای مدلهای مشابه آن اعضا و اتصالات انجام می گردد. در این روش معیار های پذیرش می تواند مشابه معیارهای پذیرش مذکور در بند ۲-۷-۹ اختیار شود.

۲-۷-۱۱-۲- تایید طراحی سازه

سازه طراحی شده بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی باید به تایید شخص حقوقی مستقل با صلاحیت رسانده شود. در این بررسی، موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

الف- شتابنگاشت‌های به کار گرفته شده در تحلیل،

ب- سازگاری مشخصات سازه با داده‌های به کار برده شده در مدل تحلیلی،

پ- سازگاری ظرفیت‌های اعضای سازه با نتایج به دست آمده از تحلیل.

فصل ۳- استفاده از جداساز لرزه‌ای

۳-۱- مقدمه

برای نیل به اهداف عملکردی سازه بیمارستان‌ها مندرج در بند ۱-۵ این دستورالعمل، می‌توان از جداسازهای لرزه‌ای استفاده نمود. ضوابط استفاده از این جداسازها و تحلیل و طراحی سازه‌های جداسازی شده در این فصل ارائه می‌گردد.

۳-۲- ضوابط عمومی

سامانه جداساز و سامانه سازه‌ای باید ضوابط زیر را به طور کامل تأمین کنند.

۳-۲-۱- سامانه جداساز

۳-۲-۱-۱- شرایط محیطی

سامانه جداساز علاوه بر تحمل بارهای قائم و جانبی ناشی از باد و زلزله، باید در برابر شرایط محیطی دیگر مانند آثار گذشت زمان، خزش، خستگی، حرارت، رطوبت و مواد زیان‌آور مقاوم باشد.

۳-۲-۱-۲- نیروهای باد

ساختمان‌های جداسازی شده باید نیروهای طراحی باد را در تمام طبقات بالای سامانه جداساز تحمل کند. ضمناً لازم است در محل سامانه جداساز، سامانه‌ای برای محدود نمودن تغییرمکان جانبی ناشی از باد در سامانه جداساز در حد تغییرمکان بین طبقه‌ای سازه فوقانی مطابق بند ۳-۳-۳-۵-۳ در نظر گرفته شود.

۳-۲-۱-۳- مقاومت در برابر آتش‌سوزی

سامانه جداساز باید در برابر آتش‌سوزی، مشابه سایر اعضای ساختمان که بارهای قائم ثقلی را تحمل می کنند، مقاوم باشد.

۳-۲-۱-۴- نیروی جانبی بازگرداننده

سامانه جداساز باید طوری طراحی شود که بتواند در تغییرمکانی برابر با تغییرمکان کل طرح نیروی بازگرداننده ای حداقل $۰/۰۲۵W$بزرگتر از همین نیرو در ۵۰٪ تغییر مکان کل طرح تأمین نماید. W وزن ساختمان واقع در بالای سامانه جداساز می باشد.

۳-۲-۱-۵- قید تغییرمکان

سامانه جداساز نباید دارای قید تغییرمکانی کوچکتر از تغییرمکان جانبی ناشی از زلزله سطح خطر ۲ (تغییرمکانی کل حداکثر که بر طبق بند ۳-۴ به دست می‌آید) باشد.

۳-۲-۱-۶- پایداری در برابر بارهای قائم

هر جزء از سامانه جداساز باید طوری طراحی شود که زمانی که در معرض تغییرمکان کل حداکثر قرار می‌گیرد تحت اثر بار قائم حداکثر، یعنی $1.2Q_D+Q_L+|Q_E|$ و نیز تحت اثر بار قائم حداقل، یعنی $0.8Q_D-|Q_E|$، پایدار بماند. بار قائم ناشی از زلزله روی هر واحد جداساز در این محاسبه، Q_E، باید براساس حداکثر نیرو ناشی از اثر زلزله‌ی سطح خطر ۲ بر طبق ضوابط بند ۳-۴ محاسبه شود.

۳-۲-۱-۷- واژگونی

ضریب اطمینان در برابر واژگونی کلی سازه حول سطح تماس با سامانه جداساز نباید کم‌تر از یک باشد. کلیه‌ی شرایط محتمل برای بارهای ثقلی و زلزله باید در نظر گرفته شود. نیروهای زلزله در محاسبه‌ی واژگونی باید براساس زلزله‌ی سطح خطر ۲ محاسبه شود و نیروی مقاوم قائم باید با به کارگیری وزن ساختمان، واقع در بالای سامانه جداساز، W، به دست آید. ایجاد نیروی برکنش موضعی در اجزا و اعضا سامانه به شرطی مجاز است که تغییرشکل‌های حاصل، منجر به بروز تنش‌های زیاد یا ناپایداری در واحدهای سامانه جداساز یا سایر اجزای سامانه نشود. استفاده از مهار برای محدود کردن برکنش موضعی در هر یک از اجزا و اعضای سامانه به این شرط مجاز است که ساختمان جداسازی شده طبق معیارهای زیر طراحی شود.

الف- واکنش ساختمان به زلزله‌ی سطح خطر ۲ مطابق با ضوابط بند (۳-۴) محاسبه شده و در آن خصوصیات غیر خطی سامانه جداساز و سازه‌ی فوقانی نیز در نظر گرفته شود.

ب- ظرفیت نهایی مهار باید از نیروها و تغییر شکل‌های ناشی از زلزله‌ی سطح خطر ۲ بیش‌تر باشند.

پ- در طراحی سامانه جداساز که با نتایج آزمایش هم باید مورد تایید قرار گیرد، باید از پایداری سامانه مطابق بند (۳-۵-۲-۳) در مقابل بارهای ناشی از زلزله‌ی سطح خطر ۲ و بار قائم اضافی ناشی از وجود مهار اطمینان حاصل نمود.

۳-۲-۱-۸- بازرسی و جایگزینی

لازم است امکان دسترسی برای بازرسی و جایگزین کردن احتمالی هریک از اجزای سامانه جداساز تامین شود.

۳-۲-۲- سیستم سازه‌ای

۳-۲-۲-۱- توزیع افقی نیرو

پیوستگی سازه در تراز روی سامانه جداساز باید به وسیله دیافراگم افقی یا اجزای سازه‌ای دیگر تامین شود. این دیافراگم یا اجزای سازه‌ای باید دارای مقاومت و شکل‌پذیری کافی برای انتقال نیروها (در اثر حرکت غیر یکنواخت زمین) از یک بخش از ساختمان به بخش دیگر آن بوده و سختی کافی برای رفتار به صورت دیافراگم صلب در این تراز را داشته باشند.

۳-۲-۲-۲- درزهای انقطاع

عرض درزهای انقطاع موجود بین ساختمان جداسازی شده و دیوارهای حائل اطراف آن یا سایر موانع ثابت دیگر نباید کم‌تر از تغییر مکان کل حداکثر باشد.

۳-۲-۳- اجزای متقاطع با تراز جداسازی

اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای که تراز جداسازی را قطع می‌کنند باید به گونه‌ای طراحی شوند که بتوانند تغییرمکان کل حداکثر را تحمل نمایند.

۳-۳- تحلیل و طراحی سازه در برابر زلزله سطح خطر ۱

۳-۳-۱- کلیات

تحلیل سازه جداسازی شده در برابر زلزله سطح خطر ۱ با استفاده از روش های دینامیکی طیفی یا تاریخچه زمانی خطی انجام می‌شود.

استفاده از روش دینامیکی طیفی در صورتی مجاز است که:

الف- ساختمان بر روی زمین نوع I یا II یا III قرار گرفته باشد.

ب- سختی موثر سامانه جداساز در تغییر مکان طرح بزرگتر از $^{1}/_{3}$ سختی موثرآن در ۲۰٪ تغییرمکان طرح باشد.

۳-۳-۲- مدلسازی

مدل‌سازی ساختمان‌هایی که در آن‌ها از جداساز لرزه‌ای استفاده شده شامل سامانه جداساز، لرزه‌بر جانبی، دیگر اجزا و اعضای سازه‌ای و اتصالات بین سامانه جداساز و سازه‌ی فوقانی و زیرین آن باید ضوابط زیر را تامین نماید.

۳-۳-۲-۱- مدل سازی سامانه جداساز

سامانه جداساز باید با استفاده از مشخصه‌ی تغییر شکل حاصل از نتایج آزمایش‌های بند (۳-۵-۲) چنان مدلسازی شود که بتواند:

الف- نحوه‌ی توزیع جداسازها در نظر گرفته شود؛

ب- حرکات جانبی و پیچشی سازه‌ی فوقانی با در نظر گرفتن بدترین وضعیت خروج از محوری جرم محاسبه شود؛

پ- نیروهای واژگونی و برکنش هریک از جداسازها برآورد شود؛

ت- اثرات بار قائم، بار جانبی (در هر دو جهت) و سرعت بارگذاری، در صورتی که منحنی نیرو-تغییرشکل سامانه جداساز به عوامل مزبور بستگی داشته باشد، در نظر گرفته شود؛

ث- نیروهای ناشی از آثار P-Δ برآورد شود؛

۳-۳-۲-۲- مدل سازی سازه‌ی فوقانی

استفاده از مدل‌های خطی برای محاسبه‌ی نیروها و تغییر مکان‌های طراحی اجزای اصلی سامانه باربر جانبی سازه‌ی فوقانی در صورتی مجاز است که هر دو ضابطه‌ی زیر تامین شوند.

الف- منحنی نیرو- تغییر مکان خطی معادل برای اجزای غیرخطی سامانه جداساز بر مبنای حداکثر سختی موثر این سامانه تعیین شود.

ب- سامانه باربر جانبی سازه در مقابل زلزله سطح خطر ۱ ضوابط بند ۳-۳-۳-۵ را اقناع نماید.

۳-۳-۳- روش تحلیل دینامیکی طیفی

در این روش پاسخ سازه مدلسازی شده در مودهای مختلف محاسبه شده و سپس با استفاده از روشهای آماری با هم ترکیب می‌شود تا پاسخ نهایی سازه تحت اثر حرکت زمین متناظر با سطح خطر ۱ تعیین شود.

۳-۳-۳-۱- حرکت زمین

در تحلیل دینامیکی طیفی، طیف طرح ارتجاعی زلزله سطح خطر ۱ برای محاسبه تغییرمکان کل طرح در سامانه جداساز، نیروها و تغییر مکان های جانبی سازه فوقانی به کار برده می‌شود.

۳-۳-۳-۲- میرایی مودی

در تحلیل طیفی مقدار میرایی برای مود اول در امتداد مورد نظر باید کمترین دو مقدار میرایی موثر سامانه جداسازی شده یا ۳۰٪ میرایی بحرانی در نظر گرفته شود. میرایی در مودهای بالاتر باید متناسب

با نوع مصالح و ترازتنش سازه فوقانی در نظر گرفته شود. برای محاسبه میرایی موثر، β_{eff}، از سطح محصور شده توسط چرخه نیرو- تغییر مکان طبق رابطه ۳-۱۶ استفاده می شود.

۳-۳-۳-۳- ترکیب مولفه‌های زلزله

در تحلیل طیفی برای محاسبه ی تغییر مکان طراحی کل باید آثار تحریک همزمان مدل به صورت ۱۰۰٪ حرکت زمین در امتداد بحرانی آن به علاوه‌ی حداقل ۳۰٪ در امتداد متعامد در نظر گرفته شود. تغییرمکان حداکثر سامانه جداساز از ترکیب‌برداری دو مولفه‌ی متعامد به دست می آید.

۳-۳-۴-۳- کنترل سامانه جداساز واجزای سازه واقع در زیر آن

نیروها و تغییرشکل‌های ایجاد شده در سامانه جداساز واجزای سازه واقع در زیر آن باید از تحلیل طیفی بدست آمده و با روش زیر مقیاس و کنترل شود.

۳-۳-۳-۴-۱- حداقل تغییر مکانهای جانبی در سامانه جداساز

تغییرمکان کل طرح ایجاد شده در سامانه جداساز که باید شامل اثرات پیچش تصادفی نیز باشد، با استفاده از نتایج تحلیل دینامیکی طیفی و طی مراحل زیر به دست آمده و به روش زیر مقیاس و کنترل شود.

تغییرمکان طرح

حداقل تغییر مکان طرح ، D_{D}، در سامانه جداساز در دو امتداد اصلی سازه طبق رابطه‌ی ۳-۱ تعیین می شود.

(۳-۱)

$$D_D = \left[\frac{g}{4\pi^2}\right]\frac{S_{x1}T_D}{B_1}$$

که در آن S_{xl} مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله‌ی سطح خطر ۱ می‌باشد و B_1 با توجه به جدول (۳-۱) برای میرایی موثر β، برابر β_D در رابطه‌ای (۳-۱۵) تعیین می‌شود.

جدول (۳-۱): ضرایب B_1 برحب درصد میرایی مورد نظر (β)

B_1	β (درصد)
۰/۸	≤ ۲
۱/۰	۵
۱/۲	۱۰
۱/۵	۲۰
۱/۷	۳۰
۱/۹	۴۰
۲/۰	≥۵۰

زمان تناوب موثر در تغییر مکان طرح

زمان تناوب موثر ساختمان جداسازی شده در تغییر مکان طرح، T_D، با استفاده از مشخصات تغییرشکل سامانه جداساز طبق رابطه‌ی (۳-۲) محاسبه می‌شود.

(۳-۲)

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{D\,min}g}}$$

که در آن W وزن موثر لرزه‌ای سازه‌ی واقع در بالای سامانه جداساز، K_{Dmin} سختی موثر حداقل سامانه جداساز در تغییر مکان طراحی و در امتداد جانبی مورد نظر است.

تغییر مکان کل طرح

تغیر مکان کل طرح ، D_{TD}، در اجزای سامانه جداساز باید تغییر مکان اضافی ناشی از پیچش واقعی و اتفاقی را نیز شامل باشد. آثار پیچش با در نظر گرفتن توزیع مکانی سختی موثر سامانه جداساز در تغییرمکان و بحرانی‌ترین حالت خروج از محوری جرم محاسبه می‌شود.

حد اقل تغییرمکان کل طرح، D_{TD}، اجزای یک سامانه جداساز با توزیع یکنواخت مکانی از رابطه ۳-۳ به دست می آید.

(۳-۳)

$$D_{TD} = D_D\left[1 + y\frac{12e}{b^2 + d^2}\right]$$

که در رابطه فوق d و b ابعاد پلان ساختمان، e بیانگر خروج از محوری واقعی یا اتفاقی مرکز جرم‌سازه‌ی فوقانی نسبت به مرکز سختی سامانه جداساز و y فاصله‌ی مرکز جزء مورد نظر تا مرکز سختی سامانه جداساز، اندازه‌گیری شده در جهت عمود بر امتداد بارگذاری جانبی مورد نظر می‌باشد.

۳-۳-۴-۲- مقیاس کردن نتایج حاصل از تحلیل

سیستم جداساز، پی و تمام اجزای سازه زیر تراز جداسازی باید برای تغییر مکان ها و نیروهای حاصل از تحلیل مشابه یک سازه جداسازی نشده کنترل شوند. ولی نیروهای جانبی نباید از ۹۰٪ مقدار V_b که با استفاده از رابطه ۳-۵ به دست می‌آید کمتر باشد. همچنین تغییرمکان کل طرح در سامانه جداساز که با استفاده از نتایج تحلیل به دست می‌آید نباید از ۹۰٪ مقدار D_{TD}، که از رابطه ۳-۳ به دست می‌آید،

کمتر در نظر گرفته شود. البته برای کنترل این ضابطه می‌توان در رابطه ۳-۳ به جای D_D از D'_D ، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود، استفاده نمود.

(۴-۳)

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1 + (T/T_D)^2}}$$

در این رابطه T زمان تناوب اصلی سازه واقع در بالای سامانه جداساز است که با فرض پایه‌گیردار به دست آمده باشد.

۳-۳-۵-۳- کنترل اجزای سازه واقع در بالای سامانه جداساز

نیروها و تغییر شکل‌های طراحی در اجرای سازه واقع در بالای سامانه جداساز باید از تحلیل طیفی بدست آمده و با روش زیر مقیاس و کنترل شود. پس از مقیاس کردن نتایج حاصل از تحلیل بر طبق بند ۳-۳-۵-۳ نسبت نیاز به ظرفیت در تمام اجزای روسازه باید کلیه ضوابط بند ۲-۶-۶ را اقناع نماید تا عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه از سازه در سطح خطر ۱ تامین شود.

۳-۳-۵-۳-۱ حداقل نیروی جانبی برای سامانه جداساز و اجزای سازه

حداقل نیروی جانبی لرزه‌ای (V_b) در سامانه جداساز و تمام اجزای واقع در زیر سامانه، از جمله پی، باید طبق رابطه‌ی (۳-۵) محاسبه شود.

(۵-۳)

$$V_b = K_{Dmax} D_D$$

که در آن K_{Dmax} سختی موثر حداکثر سامانه جداساز در تغییر مکان طراحی و در جهت جانبی مورد نظر می‌باشد.

حداقل نیروی جانبی لرزه‌ای V_S برای اجزای واقع در بالای سامانه جداساز برابر با $0.8V_b$ در نظر گرفته می‌شود. ضمنا مقدار V_s نباید کم‌تر از مقادیر زیر در نظر گرفته شود.

الف- برش پایه‌ی مساوی با نیروی طراحی باد؛

ب- ۱/۵ برابر نیروی جانبی لازم برای فعال نمودن کامل سامانه جداساز

۳-۳-۳-۵-۲ مقیاس کردن نتایج حاصل از تحلیل

چنانچه سازه واقع در بالای سامانه جداساز بر طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران منظم باشد در صورتیکه نیروی برش حاصل از تحلیل دینامیکی در سازه بالای سامانه جداساز کمتر $۰/۸V_s$ باشد، کلیه مقادیر پاسخ باید تا این مقدار مقیاس شود. ولی چنانچه این سازه نامنظم باشد و نیروی برش حاصل از تحلیل دینامیکی در سازه بالای سامانه جداساز کمتر از V_s باشد ، مقادیر پاسخ باید به V_s مقیاس شود.

۳-۳-۳-۵-۳ محدودیت تغییر مکان نسبی طبقات

مقادیر تغییرمکان نسبی ایجاد شده در طبقات سازه بالاتر از تراز جداسازی پس از مقیاس کردن نتایج نباید از ۰،۰۱ ارتفاع طبقه بیشتر باشد.

۳-۳-۴- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

۳-۳-۴-۱- حرکت زمین

در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در سطح خطر ۱، حرکت زمین با استفاده از حداقل سه زوج شتاب-نگاشت سازگار با طیف الاستیک طرح در این سطح خطر شبیه‌سازی می‌شود. هر زوج شتاب‌نگاشت

همزمان به مدل سازه اعمال می‌شود. در این حالت بیشینه پاسخ برای هریک از پارامترهای مورد نظر حاصل از این تحلیلها مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار می‌گیرد. چنانچه از ۷ زوج شتاب‌نگاشت یا بیشتر برای انجام تحلیلها استفاده شود، بیشینه پاسخ تحت اثر هر زوج شتاب‌نگاشت از تحلیلها به دست آمده و پاسخ نهایی می‌تواند با متوسط‌گیری از این مقادیر محاسبه شده و مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار گیرد.

۳-۳-۴-۲- میرایی

در این تحلیل میرایی در سیستم مشابه ضوابط بند ۳-۳-۳-۲ در نظر گرفته می‌شود.

۳-۳-۴-۳- کنترل سامانه جداساز و اجزای سازه زیر آن

تغییرمکانهای ایجاد شده در سامانه جداساز، نیروهای ایجاد شده در اجزای سازه واقع در زیر سامانه جداساز آن باید بر طبق ضوابط بندهای ۳-۳-۳-۴-۲ مقیاس شده و سپس کنترل شود.

۳-۳-۴-۴- کنترل سازه بالای سامانه جداساز

نسبت نیاز به ظرفیت اجزای سازه بالای سامانه جداساز پس از مقیاس شدن نتایج باید ضوابط بند ۳-۳-۵-۳ این دستورالعمل را اقناع کند تا عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه آن تضمین شود.

۳-٤- ضوابط عمومی تحلیل سازه در برابر سطح خطر ۲

۳-۴-۱- کلیات

تحلیل سازه جداسازی شده در برابر زلزله سطح خطر ۲ با استفاده از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی انجام می‌شود.

۳-۴-۲- مدلسازی

ارزیابی سازه‌های جداسازی شده با استفاده از روش تحلیل غیرخطی باید براساس مدل‌های سه بعدی انجام گیرد به طوری که مشخصات غیرخطی سامانه جداساز و سازه‌ی واقع در بالای آن، هر دو در نظر گرفته شوند. در این روش باید منحنی نیرو- تغییر شکل جداسازها مورد استفاده قرار گیرد. میرایی مورد استفاده در تحلیل غیر ارتجاعی جداسازها باید فقط شامل میرایی چرخه‌ای باشد. استفاده از میرایی لزج در مدل غیرخطی مجاز نیست مگر اینکه با انجام آزمایش جداسازها و در نظرگرفتن سرعت بارگذاری وجود آن تایید شود. در مدلسازی سازه در بخش بالای جداساز نیز اجرای سازه باید با توجه به رفتار آنها بر طبق ضوابط بخش ۲-۷-۱۱ این دستورالعمل مدل‌سازی شوند.

۳-۴-۳- حرکت زمین

حرکت زمین در این تحلیل با استفاده از حداقل سه زوج شتاب‌نگاشت سازگار با طیف طرح در زلزله سطح خطر ۲ شبیه‌سازی می‌شود. هر زوج شتاب نگاشت باید به صورت همزمان به مدل سازه اعمال شده و پاسخ سازه با انجام تحلیل محاسبه شود. در این حالت بیشینه پاسخ برای هریک از پارامترهای مورد نظر حاصل از این تحلیلها مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار می‌گیرد. چنانچه از ۷ زوج شتاب نگاشت برای انجام این تحلیلها استفاده شود بیشینه پاسخ سازه تحت اثر هر زوج شتاب نگاشت از تحلیلها به دست آمده و پاسخ نهایی سازه می‌تواند با متوسط‌گیری از این مقادیر محاسبه شده و مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار گیرد.

۳-۴-۴- کنترل سامانه جداساز و اجزای سازه واقع در زیر آن

تغییرمکانهای ایجاد شده در سامانه جداساز و نیروهای ایجاد شده در اجزای سازه واقع در زیر آن باید کنترل شود. تغییرمکان کل حداکثر ایجاد شده در سامانه جداساز که باید شامل اثرات پیچش تصادفی نیز باشد باید از تحلیل به دست آمده و به روش زیر مقیاس و کنترل شود.

تغییرمکان حداکثر

تغییرمکان حداکثر سامانه جداساز، D_M، در بحرانی‌ترین امتداد پاسخ جانبی از رابطه‌ی (۳-۶) محاسبه می‌شود.

(۳-۶)

$$D_M = \left[\frac{g}{4\pi^2}\right]\frac{S'_{x1}T_M}{B_1}$$

که در آن S'_{x1} مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله سطح خطر ۲ می‌باشد و B_1 با توجه به جدول (۳-۱) و برای β برابر β_M طبق رابطه (۳-۱۶) محاسبه می‌شود.

زمان تناوب موثر در تغییر مکان حداکثر

زمان تناوب موثر ساختمان جداسازی شده در تغییر مکان حداکثر، T_M، از مشخصات تغییرشکل سامانه جداساز طبق رابطه ی (۳-۷) محاسبه می‌شود.

(۳-۷)

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{M\,min}g}}$$

که در آن K_{Mmin} سختی موثر حداقل سامانه جداساز در تغییرمکان حداکثر و در امتداد جانبی مورد نظر می‌باشد.

تغییرمکان کل حداکثر

تغییرمکان کل حداکثر، D_{TM}، اجزای سامانه جداساز مقدار حاصل از رابطه ۳-۸ در نظر گرفته می شود.

(۳-۸)

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y\frac{12e}{b^2 + d^2}\right]$$

که در رابطه فوق d و b ابعاد پلان ساختمان، e بیانگر خروج از محوری واقعی یا اتفاقی مرکز جرم‌سازه‌ی فوقانی نسبت به مرکز سختی سامانه جداساز و y فاصله‌ی مرکز جزء مورد نظر تا مرکز سختی سامانه جداساز، اندازه‌گیری شده در جهت عمود بر امتداد بارگذاری جانبی مورد نظر می‌باشد.

تغییر مکان کل حداکثر در سامانه جداساز که با استفاده از نتایج تحلیل در سطح خطر ۲ به دست می‌آید نباید از ۹۰٪ مقدار D_{TM}، که از رابطه ۵-۸ به دست می‌آید، کمتر در نظر گرفته شود. البته برای کنترل این ضابطه می‌توان در رابطه ۵-۸ به جای D_M از D'_M ، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود، استفاده نمود.

(۹-۳)

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + (T/T_M)^2}}$$

در این رابطه T زمان تناوب اصلی سازه واقع در بالای سامانه جداساز است که با فرض پایه‌گیردار به دست آمده باشد.

۳-۴-۵- کنترل اجزای سازه واقع در بالای سامانه جداساز

نیروها و تغییرشکل‌های طراحی در اجرای سازه واقع در بالای سامانه جداساز باید از تحلیل بدست آمده وکنترل شود. نیروهای ایجاد شده در اجزای کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشکلهای ایجاد شده در اجزای کنترل‌شونده توسط تغییرشکل باید کلیه ضوابط بند ۲-۷-۹ را اقناع نماید تا عملکرد سازه در سطح خطر۲ تامین شود.

۳-۵- مشخصات لازم برای طراحی و آزمایش سامانه جداساز

۳-۵-۱- کلیات

خصوصیات تغییرشکل و مقادیر میرایی سامانه جداساز که در تحلیل و طراحی سازه‌های جداسازی شده به کار می‌رود باید براساس انجام آزمایش‌های زیر روی نمونه‌های منتخبی از اجزا، باشد.

اجزایی از سامانه جداساز که تحت آزمایش قرار می‌گیرند باید شامل سامانه محدود کننده تغییرمکان ناشی از باد و وسایل اتلاف انرژی تکمیلی (نظیر میراگرها) اگر در طرح موجود باشند، نیز باشد.

با انجام آزمایش‌های مشخص شده در این بند تنها مشخصات سامانه جداساز برای طراحی تعیین می‌شود و نباید آن‌ها را جایگزین آزمایش‌های کنترل کیفیت تولید تصریح شده در بند (۳-۶-۳) دانست.

۳-۵-۲- آزمایش‌های نمونه اصلی

آزمایش‌های نمونه اصلی باید به طور جداگانه روی دو نمونه با مقیاس واقعی برای هر نوع و اندازه از جداساز، که در سامانه موجود باشد، انجام گیرد. نمونه‌های اصلی آزمایش شده را نباید در ساختمان مورد نظر به کار برد.

۳-۵-۲-۱- ثبت نتایج

در هر چرخه‌ای بارگذاری، منحنی نیرو- تغییرشکل و رفتار چرخه‌ای نمونه‌ی مورد آزمایش باید ثبت شود.

۳-۵-۲-۲- ترتیب مراحل و چرخه‌های بارگذاری

مراحل زیر باید به ترتیب در آزمایش جداسازها انجام شود و در هر مرحله ضمن اعمال بار قائمی برابر میانگین $Q_D+0.5Q_L$، تعداد مشخص شده از چرخه‌های بارگذاری جانبی باید به جداساز وارد شود.

الف- بیست چرخه‌ی کامل رفت و برگشتی تحت بار جانبی مساوی با نیروی طراحی باد.

ب- سه چرخه‌ی کامل رفت و برگشتی بارگذاری برای هریک از تغییر مکان‌های: $0.25D_D$، $0.5D_D$، D_D و D_M

پ- سه چرخه کامل رفت و برگشتی بارگذاری برای هریک از تغییر مکان حداکثر، D_{TM}.

ت- تعداد $\frac{30s_{x1}}{S_{xs}B_1}$ چرخه کامل رفت و برگشتی بارگذاری تا تغییر مکان طراحی D_D ، که البته نباید کم‌تر از ۱۰ چرخه نباشد. مقادیر S_{XI},S_{xs} باید مربوط به زلزله‌ی طرح باشند.

۳-۵-۲-۳- جداسازهای تحمل کننده‌ی بار قائم

اگر یک جداساز لرزه‌ای وظیفه تحمل بارهای قائم ناشی از زلزله را نیز به عهده داشته باشد، آنگاه مورد ب مراحل بارگذاری چرخه‌ای ذکر شده در بند (۳-۵-۲-۲) باید برای دو حالت اضافی دیگر از ترکیبات بار قائم نیز انجام شود که عبارت‌اند از:

ب-۱- $1.2Q_D + 0.5Q_L + |Q_E|$

ب-۲- $0.8Q_D - |Q_E|$

در این حالت بار قائم وارد بر جداساز، Q_E ، باید شامل بار قائم ناشی از بار واژگونی تحت بار زلزله سطح خطر ۲ باشد. مقدار این بار باید برابر یا بزرگتر از حداکثر نیروی زلزله قائم متناظر با تغییرمکان آزمایش باشد.

در این آزمایش‌ها، بار قائم حاصل از ترکیبات این بار باید برابر با میانگین نیروی رو به پایین وارد بر جداسازهای از یک نوع و اندازه باشد.

۳-۵-۲-۴- جداسازهای با خصوصیات وابسته به نرخ بارگذاری

اگر خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان جداسازها وابسته به نرخ بارگذاری باشند، آنگاه هر سری از آزمایش‌های مشخص شده در بندهای (۳-۵-۲-۲) و (۳-۵-۲-۳) باید به طور دینامیکی در فرکانسی برابر معکوس زمان تناوب موثر T_D سازه‌ی جداسازی شده انجام گیرد.

اگر از نمونه هایی با مقیاس کاهش یافته یعنی کوچک‌تر از نمونه واقعی برای اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به نرخ‌بارگذاری جداسازها استفاده شود، این نمونه‌های با مقیاس کاهش یافته باید از همان مصالح

نمونه های واقعی و تحت روند و کیفیتی مشابه ساخته شده و باید در فرکانسی آزمایش شوند که نشان دهنده‌ی نرخ‌بارگذاری نمونه‌ی واقعی باشد.

خصوصیات منحنی نیرو- تغییر مکان یک جداساز زمانی وابسته به نرخ بارگذاری در نظر گرفته می شود. که در دو حالت زیر ا بیش از ۱۰٪± اختلاف در سختی موثر یا میرای موثر یک جداساز (در تغییر مکان طراحی) وجود داشته باشد،

الف- وقتی جداساز در فرکانسی برابر معکوس زمان تناوب سازه‌ی جداسازی شده آزمایش شود؛

ب- وقتی جداساز در فرکانسی بین ۰/۱ تا ۲ برابر معکوس زمان تناوب موثر سازه‌ی جداسازی آزمایش شود.

۳-۵-۲-۵- جداسازهای با خصوصیات وابسته به بارگذاری در دو امتداد

اگر خصوصیات منحنی نیرو- تغییر مکان جداسازها وابسته به بارگذاری در دو امتداد باشد، آنگاه هرمقدار آزمایش‌های ذکر شده در بندهای (۳-۵-۲-۲) و (۳-۵-۲-۳) باید به نحو زیر انجام شود.

دریک امتداد، بارگذاری متناظر با کل تغییر مکان طراحی همان امتداد و از امتداد دیگر بارهایی متناظر با ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ برابر کل تغییرمکان طراحی امتداد دیگر باید به ترتیب اعمال شود.

اگر از نمونه‌هایی با مقیاس کاهش یافته برای اندازه‌گیری خصوصیات وابسته به بارگذاری در دو امتداد استفاده شود، آنگاه این نمونه‌های مقیاس شده باید از همان مصالح و تحت روند و کیفیتی مشابه با نمونه‌های واقعی ساخته شده باشند.

خصوصیات منحنی نیرو- تغییر مکان جداساز زمانی باید وابسته به بارگذاری در دو امتداد منظور شود که در بررسی منحنی نیرو- تغییرمکان در دو امتداد و در یک امتداد، بیش از ۰/۱۵± اختلاف در سختی مؤثر نظیر تغییرمکان طراحی مشاهده شود.

۳-۵-۲-۶- سامانه‌های محدود کننده تغییرمکان در برابر باد

اگر یک سامانه محدود کننده تغییرمکان در برابر باد در سامانه جداساز موجود باشد، ظرفیت نهایی باید با انجام آزمایش طبق ضوابط این بند تعیین شود.

۳-۵-۲-۷- آزمایش روی واحدهای مشابه

آزمایش بر روی نمونه‌ی جداساز در حالتی که نمونه ای مشابه با نمونه‌ی مورد نظر قبلا آزمایش شده و در آن شرایط زیر نیز برقرار باشد لازم نیست.

الف- دارای ابعاد مشابهی باشد؛

ب- از همان نوع و مصالح باشد؛

پ- به همان روش ساخته شده و کنترل کیفیت شده باشد.

در این حالت از اطلاعات حاصل از آزمایشهای قبلی می توان در طراحی استفاده نمود.

۳-۵-۳- تعیین خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان

خصوصیات منحنی نیرو-تغییرمکان سامانه جداساز باید براساس آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌های جداساز مشخص شده در بند (۳-۵-۲-۲) صورت گیرد.

سختی موثر هر واحد جداساز، K_{eff}، در هر چرخه‌ی تغییرشکلی باید توسط معادله‌ی (۳-۱۰) محاسبه شود.

(۳-۱۰)

$$K_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|}$$

در رابطه‌ی فوق F^+ و F^- نیرو در سامانه جداساز در تغییر مکان‌های نظیر Δ^+, Δ^- می‌باشد.

میرایی موثر هر واحد جداساز، β_{eff} باید برای هر چرخه تغییر شکلی از معادله (۳-۱۱) محاسبه شود.

(۳-۱۱)

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{E_{loop}}{K_{eff}[|\Delta^+| + |\Delta^-|]^2}\right]$$

در رابطه فوق E_{loop} عبارت است از انرژی تلف شده در هر چرخه و K_{eff} سختی موثر می‌باشد. این مقادیر برای تغییر مکان‌های اعمال شده در آزمایش برابر Δ^+, Δ^- محاسبه می‌شوند.

۳-۵-۴- کفایت نمونه های آزمایشی

عملکرد نمونه‌های آزمایشی در صورت برآورده شدن شرایط زیر کافی تلقی می‌گردد.

الف- منحنی نیرو- تغییرمکان در تمامی آزمایش‌های مشخص شده در بند (۳-۵-۲-۲) نشان دهنده نمو غیر منفی در ظرفیت باربری باشد.

ب- در هر نمو تغییرمکان در آزمایش مشخص شده در بند (۳-۵-۲-۲)، ردیف ب و به ازای هر حالت ترکیب بار قائم ذکر شده در بند (۳-۵-۲-۳) ، معیارهای زیر برآورده شود.

ب-۱- اختلافی بیش از ۱۵٪± بین سختی‌های موثر در هریک از سه چرخه آزمایش در مقدار متوسط سختی موثر هر نمونه آزمایشی موجود نباشد.

ب-۲- اختلافی بیش از ۱۵٪± در میانگین سختی موثر در دو نمونه آزمایشی یک واحد جداساز از یک نوع و اندازه در سه چرخه لازم آزمایش موجود نباشد.

پ- سختی موثر اولیه هر نمونه آزمایشی در تعداد چرخه های ردیف ت از بند (۳-۵-۲-۲) بیش از ۲۰٪± تغییر ننماید.

ت- میرایی موثر اولیه نمونه در تعداد چرخه‌های ردیف ت از بند (۳-۵-۲-۲) بیشتر از ۲۰٪ کاهش نیابد.

ث- کلیه نمونه‌های مربوط به اجزای باربر قائم سامانه جداساز به ازای کل تغییرمکان حداکثر تحت بار استاتیکی ذکر شده در بند (۳-۵-۲-۳) پایدار بمانند.

۳-۵-۵- مشخصات طراحی سامانه جداساز

۳-۵-۵-۱- حداکثر و حداقل سختی موثر

حداکثر و حداقل سختی موثر سامانه جداساز به ازای تغییر مکان طرح، K_{Dmax}, K_{Dmin} باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای مذکور در ردیف ب بند (۳-۵-۲-۲)و طبق روابط (۳-۱۲) و (۳-۱۳) محاسبه شود.

(۳-۱۲)

$$K_{Dmax} = \frac{\sum|F_D^+|_{max} + \sum|F_D^-|_{max}}{2D_D}$$

(۳-۱۳)

$$K_{Dmin} = \frac{\sum|F_D^+|_{min} + \sum|F_D^-|_{min}}{2D_D}$$

در تراز تغییر مکان حداکثر، بیش‌ترین و کم‌ترین سختی موثر سامانه جداساز باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای ردیف ب بند (۳-۵-۲-۲) و روابط (۳-۱۴) و (۳-۱۵) محاسبه شود.

(۱۴-۳)

$$K_{Mmax} = \frac{\sum|F_M^+|_{max} + \sum|F_M^-|_{max}}{2D_M}$$

(۱۵-۳)

$$K_{Mmin} = \frac{\sum|F_M^+|_{min} + \sum|F_M^-|_{min}}{2D_M}$$

۳-۵-۵-۲- میرایی موثر

میرایی موثر سامانه جداساز در تراز تغییر مکان طرح، β_D باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای ردیف ب بند (۳-۵-۲-۲) و با استفاده از رابطه (۳-۱۶) محاسبه شود.

(۱۶-۳)

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{\sum E_D}{K_{Dmax}D_D^2}\right]$$

در رابطه (۳-۱۶) کل انرژی تلف شده در سامانه جداساز در هر چرخه‌ی تغییر مکانی، ΣE_D ، باید برابر مجموع انرژی تلف شده در تمامی جداسازها در هر چرخه از آزمایشی که در Δ^+, Δ^- برابر با تغییرمکان طرح D_D گرفته شده است به دست آید.

میرایی موثر سامانه جداساز در تغییرمکانی برابر تغییرمکان حداثر، β_M باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای ردیف ب بند (۳-۵-۲-۲) و طبق رابطه (۳-۱۷) محاسبه شود.

(۱۷-۳)

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{\sum E_M}{K_{Mmax} D_M^2}\right]$$

در رابطه (۳-۱۷) کل انرژی تلف شده در سامانه جداساز در هر چرخه تغییر مکانی، ΣE_M ، باید برابر با مجموع انرژی تلف شده در کلیه‌ی جداسازها در هر چرخه از آزمایشی که در آن Δ^+ و Δ^- , برابر با تغییر مکان حداکثر D_M گرفته شده است، به دست آید.

۳-۶- بازبینی طرح

۳-۶-۱- کلیات

لازم است بازبینی طرح سامانه جداساز و برنامه‌ی آزمایش‌های مربوط توسط یک تیم مهندسی مستقل با صلاحیت صورت پذیرد. این تیم باید شامل افراد صاحب تجربه در روش‌ها و مبانی تئوری و تحلیل لرزه‌ای و کاربرد جداسازی لرزه‌ای باشد.

۳-۶-۲- سامانه جداساز

بازبینی طرح سامانه جداساز باید شامل مرور موارد زیر باشد:

الف- معیارهای لرزه‌ای ساختگاهی، شامل طیف و تاریخچه‌ی زمانی زلزله‌ی ویژه ساختگاه و کلیه‌ی معیارهای طراحی دیگری که به طور خاص برای پروژه‌ی مورد نظر ملحوظ شده است؛

ب- طراحی اولیه، شامل تعیین تغییرمکان کل طراحی و تغییرمکان کل حداکثر سامانه جداساز و تراز نیروی جانبی؛

پ- آزمایش نمونه‌هایی از سامانه جداساز طبق بند (۳-۵-۲-۲) ؛

ت- طرح نهایی ساختمان جداسازی شده و مدارک تحلیلی مربوط؛

ث- آزمایش‌های کنترل کیفیت تولید سامانه جداساز طبق بند (۳-۶-۳).

۳-۶-۳- آزمایشهای کنتر ل کیفیت تولید سامانه جداساز

آزمایشهای کنتر ل کیفیت تولید سامانه جداساز باید توسط مهندس طراح ارائه شده و حداقل شامل موارد زیر باشد:

الف- آزمایشهای مربوط به مصالح مورد استفاده در واحدهای جداساز

ب- آزمایشهای چرخه ای مربوط به هرنوع واحد جداساز که در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آزمایشهای کنترل کیفیت تولید سامانه جداساز باید در هنگام تولید واحدهای مورد نظر برای استفاده در ساختمان مورد نظر و قبل از انجام عملیات ساختمانی انجام شده و توسط یک بازرس مستقل گواهی شود.

فصل ۴- استفاده از میراگرهای انرژی

۴-۱- مقدمه

برای نیل به اهداف عملکردی سازه بیمارستانی مندرج در بند ۱-۵ این دستورالعمل، می‌توان از میراگرهای انرژی استفاده نمود. ضوابط استفاده از این میراگرها و تحلیل و طراحی سازه‌های مجهز به این میراگرها در این فصل ارائه می‌گردد.

۴-۲- ضوابط عمومی

سامانه‌های اتلاف انرژی که به صورت وابسته به تغییر مکان، وابسته به سرعت یا صورت‌های دیگر طبق بند (۴-۳) دسته‌بندی می‌شوند، باید با ضوابط این بخش سازگار باشند.

۴-۲-۱- اثر دما

در تحلیل یک ساختمان مجهز به میراگر باید تغییرات منحنی نیرو- تغییر مکان وسایل اتلاف انرژی ناشی از تغییر دمای محیط و افزایش دمای حاصل از ارتعاشات چرخه‌ای در زلزله در نظر گرفته شود. تحلیل باید چند بار انجام شود تا حدود بالا و پایین مقادیر پاسخ ساختمان در طی زلزله‌ی سطوح مختلف خطر مشخص شده و نیز حدود پاسخ قابل قبول وسایل و نمونه‌های آزمایشی آن‌ها تعریف شود.

۴-۲-۲- شرایط محیطی

میراگرهای انرژی علاوه بر تحمل بارهای قائم و جانبی ناشی از باد و زلزله، باید در برابر شرایط محیطی دیگر مانند آثار گذشت زمان، خزش، خستگی، حرارت، رطوبت و مواد زیان‌آور مقاوم باشند.

۴-۲-۳- نیروی باد

عمر خستگی میراگرهای انرژی و اجزای آن‌ها شامل آب‌بندها در یک وسیله‌ی لزج مایع، باید بررسی شده و نشان داده شود که حداقل به میزان عمر مفید طراحی وسایل می‌باشد. وسایلی که در معرض خرابی در اثر خستگی دامنه‌ی کم هستند باید نیروهای باد را با رفتار ارتجاعی خطی تحمل نمایند.

۴-۲-۴- بازرسی و جایگزینی

لازم است امکان دسترسی برای بازرسی و جایگزین کردن احتمالی هریک از اجزای میراگرهای انرژی تامین شود.

۴-۲-۵- نگهداری

طراح باید برنامه‌ی زمان‌بندی بازرسی و آزمایش وسایل اتلاف انرژی را برای تضمین قابلیت اعتماد کارکرد آنها در طول دوره‌ی عمر مفید خود تهیه نماید.

۴-۳- دسته بندی وسایل اتلاف انرژی

میراگرهای وابسته به تغییرمکان مشتمل بر وسایلی هستند که رفتار چرخه‌ای صلب- خمیری (وسایل

اصطکاکی)، دو خطی (وسایل فلزی جاری شونده)، یا سه خطی از خود نشان دهند. پاسخ میراگرهای وابسته به تغییر مکان عمدتا تابعی از تغییر مکان نسبی بین دو انتهای میراگر و مستقل از سرعت نسبی آنها و فرکانس ارتعاش است. میراگرهای وابسته به سرعت مشتمل بر وسایل لزج- ارتجاعی جامد، لزج- ارتجاعی مایع و وسایل لزج مایع می‌شوند. پاسخ میراگرهای وابسته به سرعت عمدتا تابعی از سرعت نسبی بین دو انتهای میراگر است. وسایلی که نه در رده‌ی وسایل وابسته به تغییر مکان و نه در رده‌ی وسایل وابسته به سرعت قرار می‌گیرند، در رده‌ی «سایر وسایل» خواهند بود.

۴-۴- تحلیل و طراحی سازه در برابر زلزله سطح خطر ۱

۴-۴-۱- کلیات

تحلیل سازه مجهز به میراگر انرژی در برابر زلزله در سطح خطر ۱ با استفاده از روشهای دینامیکی طیفی یا تاریخچه زمانی انجام می‌شود.

استفاده از روش دینامیکی طیفی در صورتی مجاز است که

الف- ساختمان بر روی زمین نوع II,I یا III بر طبق طبقه‌بندی استاندارد ۲۸۰۰ ایران قرار گرفته باشد.

ب- میرایی موثر در مود اصلی سازه در هر امتداد اصلی از ۳۰٪ مقدار بحرانی تجاوز نکند.

پ- در هر راستای سازه حداقل دو میراگر در هر طبقه در طرفین مرکز سختی سازه برای مقابله با پیچش موجود باشد.

۴-۴-۲- مدلسازی سازه و میراگرها

در مدل سازه های مجهز به میراگر باید سختی اجزای سازه ای که بخشی از مسیر انتقال بار بین میراگر انرژی و زمین هستند و انعطاف‌پذیری آن‌ها بر عملکرد سامانه اتلاف انرژی تاثیر می‌گذارد، شامل اجزای پی، مهاربندهایی که با میراگرها به صورت سری کار می‌کنند و اتصالات بین آنها، در نظر گرفته شود.

۴-۴-۲-۱- وسایل وابسته به تغییر مکان

برای مدلسازی واکنش یک میراگر وابسته به تغییر مکان براساس اطلاعات آزمایشگاهی، نیروی موجود در آن باید از رابطه‌ی (۶-۱) محاسبه شود.

$$F = K_{eff} D \qquad (۶-۱)$$

که در آن D مقدار تغییر مکان ایجاد شده در میراگر در زلزله سطح خطر ۱ و K_{eff} سختی موثر وسیله است که از رابطه‌ی (۶-۲) به دست می‌آید.

$$K_{eff} = \frac{|F^+|+|F^-|}{|D^+|+|D^-|} \qquad (۶-۲)$$

نیروهای موجود در این رابطه که F^-,F^+ می‌باشند، باید به ترتیب به ازای تغییر مکان‌های D^-,D^+ در آزمایشات به دست آمده باشند.

۴-۴-۲-۲- وسایل وابسته به سرعت

در مدلسازی یک میراگر وابسته به سرعت که دارای سختی وابسته به تغییر مکان نیز می باشد سختی موثر وسیله براساس اطلاعات آزمایشگاهی باید در نظر گرفته شود.

۴-۴-۳- روش تحلیل دینامیکی طیفی

۴-۴-۳-۱- حرکت زمین

در تحلیل دینامیکی طیفی، طیف طرح ارتجاعی زلزله سطح خطر ۱ به کار برده می‌شود. در این روش تحلیل ، اصلاح طیف طرح زلزله سطح خطر ۱ که با فرض ۵٪ میرایی بحرانی تهیه شده است ،برای احتساب میرایی تامین شده توسط میراگر انرژی مجاز می‌باشد. مقادیر طیف شتاب با ۵٪ میرایی باید توسط ضریب اصلاح برای میرایی مودی B مساوی B_S یا B_1 برای زمان تناوب‌های واقع در محدوده‌ی مود مورد بررسی کاهش داده شود که مقدار B در هر مود ارتعاشی متفاوت خواهد بود. ضریب اصلاح برای میرایی در هر مود مهم باید استفاده از جدول (۴-۱) و میرایی موثر محاسبه شده در آن مود تعیین شود. در این مورد هرگاه زمان تناوب مود مورد نظر کمتر از T_s باشد، مقدار B برابر B_s منظور می‌گردد و اگر زمان تناوب مورد نظر از T_s بزرگتر باشد. ، مقدار آن برابر B_1 خواهد بود. T_s زمان تناوبی است که در آن طیف شتاب طرح از مقداری ثابت شروع به کاهش می نماید. هرگاه زمان تناوب مود مورد نظر کمتر از T_s باشد، مقدار B_s با درون یابی خطی بین مقدار ۱ به ازای زمان تناوب صفر و مقدار B_1 به ازای زمان تناوب T_s به دست می آید. میرایی موثر در هر مود باید با استفاده از روش مذکور در بند ۴-۳-۲ محاسبه شود.

جدول (۴-۱): ضرایب B_1 برحب درصد میرایی مورد نظر (β)

β (درصد)	B_1
≤ ۲	۰/۸
۵	۱/۰
۱۰	۱/۲
۲۰	۱/۵
۳۰	۱/۷
۴۰	۱/۹
≥۵۰	۲/۰

۴-۴-۳-۲- میرایی موثر

میرایی موثر در مود m- اُم ارتعاش ($\beta_{\text{eff-m}}$) برای سازه مجهز به میراگر باید طبق رابطه (۴-۳) تعیین شود.

$$\beta_{eff-m} = \beta_m + \frac{\sum_j W_{mj}}{4\pi W_{mk}} \qquad (۳-۴)$$

که در آن β_{m} عبارت است از میرایی ذاتی مود m-اُم در سازه ، W_{mj} کار انجام شده توسط میراگر j در یک چرخه‌ی کامل تحت تغییر مکان‌های مودال طبقات $W_{\text{mk}}, \delta_{\text{mi}}$ حداکثر انرژی کرنشی سازه در مود m-اُم است که توسط رابطه‌ی (۴-۴) تعیین می‌شود.

$$W_{mk} = \frac{1}{2}\sum_i F_{mi}\,\delta_{mi} \qquad (۴-۴)$$

که در آن F_{mi} ، δ_{mi} به ترتیب نیروی اینرسی افقی و تغییر مکان افقی مورد m- اُم در تراز کف i-اُم می‌باشد.

۴-۴-۳-۲-۱ وسایل وابسته به تغییر مکان

در سازه های مجهز به میراگرهای وابسته به تغییر مکان ، W_{mj} کار انجام شده توسط میراگر j در یک چرخه‌ی کامل تحت تغییر مکان‌های مودال طبقات δ_{mi}، با استفاده از نتایج آزمایشها روی نمونه اصلی به دست می آید.

۴-۴-۳-۲-۲- وسایل وابسته به سرعت

در سازه های مجهز به میراگرهای وابسته به سرعت ، W_{mj} کار انجام شده توسط میراگر لزج خطی j در یک چرخه‌ی کامل بارگذاری در مورد m- اُم را می‌توان از رابطه‌ی (۴-۵) محاسبه نمود.

$$W_{mj} = \frac{2\pi^2}{T_m} C_j \delta_{mrj}^2 \qquad (۴-۵)$$

که در آن T_m زمان تناوب مورد m-اُم ساختمان است که در محاسبه‌ی آن سختی وسایل وابسته به سرعت نیز منظور گردیده است. C_j ثابت میرایی وسیله‌ی j-اُم و δ_{mrj} تغییر مکان نسبی مود m -اُم بین دو انتهای وسیله‌ی j در امتداد محور وسیله‌ی j- اُم می‌باشد.

۴-۴-۳-۳- کنترل اجزای سازه

نیروها و تغییر شکل‌های طراحی در اجرای سازه باید از تحلیل طیفی بدست آمده و با روش زیر مقیاس و کنترل شود. پس از مقیاس کردن نتایج حاصل از تحلیل بر طبق بند۴-۴-۳-۳-۱ نسبت نیاز به ظرفیت

در تمام اجزای سازه باید کلیه ضوابط بند ۴-۶-۶ را اقناع نماید تا عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه از سازه در سطح خطر ۱ تامین شود.

۴-۴-۳-۳-۱ حداقل نیروی جانبی

حداقل نیروی جانبی لرزه‌ای ($V_{\min}$) در سازه باید بزگترین مقدار حاصل از روابط (۴-۶) و (۴-۷) در نظر گرفته شود.

(۴-۶)

$$V_{min} = \frac{V}{B_{V+1}}$$

(۴-۷)

$$V_{min} = 0.75V$$

در این روابط (V) نیروی جانبی ناشی از زلزله در روش استاتیکی خطی است که با استفاده از رابطه ۲-۳ تعیین می‌شود. ضمنا B_{V+1} ضریب اصلاح برای میرایی موثر در مود اول است که با محاسبه میرایی موثر براساس بند ۴-۴-۳-۲ و با استفاده از جدول ۴-۱ به دست می آید.

چنانچه سازه بر طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران منظم باشد و نیروی برش پایه‌ی محاسبه شده توسط تحلیل دینامیکی کم‌تر از ۸۰٪ حداقل نیروی جانبی V_{min} باشد، نیروهای داخلی و تغییر شکل‌های اعضا باید همگی به یک نسبت افزایش داده شوند به طوری که برش پایه‌ی حاصل به ۸۰٪ این مقدار برسد. ولی چنانچه این سازه نامنظم باشد و نیروی برش حاصل از تحلیل دینامیکی طیفی در سازه کمتر از حداقل نیروی جانبی V_{min} باشد، نیروهای داخلی و تغییر شکل‌های اعضا باید همگی به یک نسبت افزایش داده شوند به طوری که برش پایه‌ی حاصل به این مقدار برسد.

۴-۴-۳-۴- نیروهای سامانه میراگر

نیروهای داخلی برای طراحی سیستم میراگر و اجزای سازه متصل به آن باید بر اساس نوع وسیله اتلاف انرژی، به ترتیب زیر محاسبه می شوند.

الف- برای وسایل وابسته به تغییر مکان در مرحله‌ی حداکثر تغییر مکان نسبی

ب- برای وسایل وابسته به سرعت در مرحله‌ی سرعت حداکثر و تغییر مکان نسبی صفر: مؤلفه‌ی لزجی نیرو در هر وسیله‌ی اتلاف انرژی باید با استفاده از روابط (۴-۸) یا (۴-۹) محاسبه شود

نیروی یک وسیله‌ی لزج- ارتجاعی باید از رابطه‌ی (۴-۸) محاسبه شود.

$$F = K_{eff}D + C\dot{D} \qquad (۴-۸)$$

که در آن C ضریب میرایی وسیله‌ی لزج- ارتجاعی، D تغییر مکان نسبی بین دو انتهای وسیله، $\dot{D}$ سرعت نسبی بین دو انتهای وسیله و K_{eff} سختی موثر وسیله است. سرعت نسبی $\dot{D}$ را می توان برابر $2\pi f_1 D$ در مرحله حداکثر تغییر مکان نسبی در نظر گرفت. f_1 فرکانس مود اول سازه مجهز به دمیراگر است.

نیروی یک میراگر خطی لزج مایع را باید از رابطه ی (۴-۹) به دست آورد.

$$F = C_0\left|\dot{D}\right|^{\alpha} sgn\left[\dot{D}\right] \qquad (۴-۹)$$

که در آن C_0 ضریب میرایی وسیله، α توان عددی سرعت وسیله، $\dot{D}$ سرعت نسبی بین دو انتهای وسیله، و sgn تابع علامت است که در اینجا علامت جمله‌ی سرعت نسبی را نشان می‌دهد. مقدار سرعت نسبی $\dot{D}$ را می توان برابر $2\pi f_1 D$ در مرحله حداکثر تغییر مکان نسبی در نظر گرفت.

پ- در مرحله‌ی ایجاد حداکثر شتاب در کف

۴-۴-۴- روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

۴-۴-۴-۱- حرکت زمین

در تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی در سطح خطر ۱، حرکت زمین با استفاده از حداقل سه زوج شتاب-نگاشت سازگار با طیف الاستیک طرح در این سطح خطر ،قبل از هر گونه اصلاح به واسطه وجود میراگرها، شبیه‌سازی می‌شود. هر زوج شتاب‌نگاشت همزمان به مدل سازه اعمال می‌شود. در این حالت بیشینه پاسخ برای هریک از پارامترهای مورد نظر حاصل از این تحلیلها مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار می‌گیرد. چنانچه از ۷ زوج شتاب‌نگاشت یا بیشتر برای انجام تحلیلها استفاده شود، بیشینه پاسخ تحت اثر هر زوج شتاب‌نگاشت از تحلیلها به دست آمده و پاسخ نهایی می‌تواند با متوسط‌گیری از این مقادیر محاسبه شده و مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار گیرد.

۴-۴-۴-۲- میرایی

در تحلیل سازه های مجهز به میراگرهای وابسته به تغییر مکان، میرایی در سیستم مشابه ضوابط بند ۴-۴-۲-۲-۱ در نظر گرفته می‌شود. در تحلیل سازه های مجهز به میراگرهای وابسته به سرعت، رفتار میرگر باید صریحا مدلسازی شده و اثر میرایی وابسته به سرعت در تحلیلها در نظر گرفته شود.

۴-۴-۴-۳- کنترل اجزای سازه و سامانه میراگر

نیروها و تغییر شکل‌های طراحی در اجرای سازه باید از تحلیل بدست آمده و با روش مذکور در بند۴-۴-۳-۳-۱ مقیاس شود. پس از مقیاس کردن نتایج حاصل از تحلیل، نسبت نیاز به ظرفیت در تمام اجزای سازه باید کلیه ضوابط بند ۲-۶-۶ را اقناع نماید تا عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه از سازه در سطح خطر۱ تامین شود. ضمنا نیروهای داخلی در سامانه میراگر نیز باید بر اساس ضوابط بند ۴-۴-۳-۴ تعیین شده و عملکرد این سامانه کنترل شود. در مورد میراگرهای وابسته به سرعت مقادیر سرعت حداکثر حاصل از تحلیل باید مبنای محاسبات مربوط به نیروهای ایجاد شده در میراگر باشد.

۴-۵- تحلیل سازه در برابر زلزله سطح خطر ۲

۴-۵-۱- کلیات

تحلیل سازه مجهز به میراگر در برابر زلزله سطح خطر ۲ با استفاده از روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی انجام می‌شود.

۴-۵-۲- مدلسازی

ارزیابی سازه مجهز به میراگر با استفاده از روش تحلیل غیرخطی باید براساس مدل‌های سه بعدی انجام گیرد به طوری که مشخصات غیرخطی سازه و میراگرهای انرژی، هر دو در نظر گرفته شوند. در این روش باید منحنی نیرو- تغییر شکل میراگرها مورد استفاده قرار گیرد. میرایی مورد استفاده در تحلیل

غیر ارتجاعی باید فقط شامل میرایی چرخه‌ای باشد. استفاده از میرایی لزج در مدل غیرخطی مجاز نیست مگر اینکه با انجام آزمایش وجود آن تایید شود. در مدلسازی سازه ، اجزای سازه باید با توجه به رفتار آنها بر طبق ضوابط بخش ۲-۷-۱۱ این دستورالعمل مدل‌سازی شوند.

در مدل تحلیلی باید توزیع وسایل اتلاف انرژی هم در پلان و هم در ارتفاع ساختمان بهسازی شده در نظر گرفته شود. اگر مشخصات وسایل اتلاف انرژی به فرکانس ارتعاش، دمای کاری (شامل افزایش حرارت ناشی از ارتعاش)، تغییر شکل (یا کرنش)، سرعت، بارهای وارده و در دو امتداد بودن بارها بستگی داشته باشد، این وابستگی باید با فرض مقادیر حدی بالادست و پایین دست مشخصات مربوط برای یافتن حدود نتایج در تحلیل در نظر گرفته شود.

در مدلسازی باید سختی اجزای سازه ای که بخشی از مسیر انتقال بار بین میراگر انرژی و زمین هستند و انعطاف‌پذیری آن‌ها بر عملکرد سامانه اتلاف انرژی تاثیر می‌گذارد، شامل اجزای پی، مهاربندهایی که با میراگرها به صورت سری کار می‌کنند و اتصالات بین آنها، در نظر گرفته شود.

نیروهای لزجی در وسایل اتلاف انرژی وابسته به سرعت باید در محاسبه‌ی نیروهای داخلی و تغییر شکل‌های طراحی باید در نظر گرفته شود. جایگزینی آثار لزجی در وسایل اتلاف انرژی با میرایی کلی سازه در تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیر خطی مجاز نمی‌باشد.

۴-۵-۲-۱- وسایل وابسته به تغییر مکان

وسایل وابسته به تغییر مکان باید با جزییات کافی مدل‌سازی شوند به طوری که منحنی نیرو- تغییر مکان آن‌ها به طور کامل در نظر گرفته شود و نیز در صورت لزوم اندرکنش نیروی محوری با برش و خمش یا وجود تغییر شکل دو طرفه به حساب آید.

۴-۵-۲-۲- وسایل وابسته به سرعت

وسایل لزج- ارتجاعی جامد

وسایل لزج – ارتجاعی جامد باید با استفاده از یک فنر و میراگر موازی (مدل کلوین) مدل‌سازی شوند. وابستگی ثابت‌های فنر و میرایی وسیله به فرکانس و دما باید با در نظر گرفتن فرکانس اصلی ساختمان (f_1) و حدود دمای کاری وسیله، محاسبه شود. اگر واکنش چرخه‌ای یک وسیله‌ی لزج- ارتجاعی جامد را نتوان با تخمین منحصر به فردی از ثابت‌های فنر و میراگر به دست آورد، پاسخ ساختمان را باید با چندبار تحلیل قاب ساختمان با استفاده از مقادیر حدی بالا دست و پایین دست ثابت‌های فنر و میراگر تخمین زد.

وسایل لزج- ارتجاعی مایع

وسایل لزج- ارتجاعی مایع باید استفاده از یک فنر و میراگر سری (مدل ماکسول) مدل‌سازی شوند. وابستگی‌های ثابت‌های فنر و میرایی وسیله به فرکانس و دما باید در نظر گرفتن فرکانس اصلی ساختمان

بهسازی شده (f_1) و حدود دمای کاری وسیله، محاسبه شود. اگر واکنش چرخه‌ای یک وسیله‌ی لزج- ارتجاعی مایع را نتوان با تخمین منحصر به فردی از ثابت‌های فنر و میراگر به دست آورد، پاسخ ساختمان بهسازی شده را باید با چند بار تحلیل قاب ساختمان با استفاده از مقادیر حدی بالا دست و پایین دست ثابت فنر و میراگر تخمین زد.

وسایل لزج مایع

میراگرهای خطی لزج مایع که در محدوده‌ی فرکانسی $0.5f_1$ تا $2f_1$ سختی از خود نشان می‌دهند، باید وسیله ی لزج –ارتجاعی مایع به حساب آیند. اگر این وسایل در محدوده‌ی فرکانسی $0.5f_1$ تا $2f_1$ فاقد سختی باشند به صورت لزج مایع رفتار کرده و نیروی آن‌ها را باید از رابطه ی (۴-۹) به دست آورد.

سایر انواع وسایل

وسایل اتلاف انرژی که نه در رده‌ی وسایل وابسته به تغییر مکان و نه در رده‌ی وسایل وابسته به سرعت قرار گیرند را باید با استفاده از روش‌های مورد تایید مدل‌سازی نمود. در چنین مدل‌هایی باید منحنی‌های نیرو- سرعت- تغییر مکان در اثر تمامی عوامل بارگذاری شامل آثار ثقلی، لرزه‌ای و حرارتی به دقت تعریف شود.

۴-۵-۳- حرکت زمین

حرکت زمین در این تحلیل با استفاده از حداقل سه زوج شتاب‌نگاشت سازگار با طیف طرح در زلزله سطح خطر ۲ ،قبل از هر گونه اصلاح به واسطه وجود میراگرها، شبیه‌سازی می‌شود. هر زوج شتاب

نگاشت باید به صورت همزمان به مدل سازه اعمال شده و پاسخ سازه با انجام تحلیل محاسبه شود. در این حالت بیشینه پاسخ برای هریک از پارامترهای مورد نظر حاصل از این تحلیلها مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار می‌گیرد. چنانچه از ۷ زوج شتاب نگاشت برای انجام این تحلیلها استفاده شود بیشینه پاسخ سازه تحت اثر هر زوج شتاب نگاشت از تحلیلها به دست آمده و پاسخ نهایی سازه می‌تواند با متوسط‌گیری از این مقادیر محاسبه شده و مبنای ارزیابی و کنترل سازه قرار گیرد.

۴-۵-۴- کنترل اجزای سازه

نیروها و تغییرشکل‌های طراحی در اجرای سازه باید از تحلیل بدست آمده وکنترل شود. نیروهای ایجاد شده در اجزای کنترل شونده توسط نیرو و تغییرشکلهای ایجاد شده در اجزای کنترل‌شونده توسط تغییرشکل باید کلیه ضوابط بند ۲-۷-۹ را اقناع نماید تا عملکرد سازه در سطح خطر۲ تامین شود.

۴-۵-۵- کنترل سامانه میراگر

رفتار سیستم میراگر باید بر اساس نوع وسیله اتلاف انرژی، به ترتیب زیر کنترل شود.

الف- برای وسایل وابسته به تغییر مکان در مرحله‌ی حداکثر تغییر مکان نسبی

ب- برای وسایل وابسته به سرعت در مرحله‌ی سرعت حداکثر

۴-۶- آزمایش‌های لازم برای میراگرهای انرژی

۴-۶-۱- کلیات

روابط نیرو- تغییر مکان و مقادیر میرایی که در تحلیل و طراحی سازه‌های مجهز به میراگرهای انرژی به کار می‌رود باید براساس انجام آزمایش‌های زیر روی نمونه‌های منتخبی از اجزا، باشد.

آزمایش‌های مشخص شده در این بند باید به این منظور انجام شود که:

الف- منحنی نیرو- تغییر مکان و یا نیرو- سرعت فرض شده برای وسایل اتلاف انرژی در طراحی را تعیین نماید؛

ب- توانایی هریک از وسایل را در تحمل ارتعاشات شدید ناشی از زلزله نشان دهد.

با انجام آزمایش‌های مشخص شده در این بند تنها مشخصات سامانه های اتلاف انرژی برای طراحی تعیین می‌شود و نباید آنها را جایگزین برنامه کنترل کیفیت تولید این وسایل طبق بند (۴-۷-۳) نمود.

روش‌های ساخت و کنترل کیفیت به کار گرفته شده برای کلیه نمونه‌های اصلی و تولیدی باید یکسان باشد. این روش‌ها باید توسط طراح پیش از ساخت نمونه‌های اصلی تصویب شود.

۴-۶-۲- آزمایش نمونه‌های اصلی

آزمایش‌های زیر روی باید به طور جداگانه روی دو نمونه در ابعاد واقعی از هر میراگر با هر نوع و اندازه‌ای که در طرح به کار رفته انجام گیرد.

به شرط تایید طراح، برگزیدن نمونه‌هایی با ابعاد و اندازه‌های مقیاس شده برای انجام آزمایش روی

نمونه‌ها مجاز می‌باشد. اگر نمونه‌های با مقیاس کاهش یافته برای تعیین کمیت خواص وسایل اتلاف انرژی به کار گرفته شوند، این نمونه‌ها باید از همان نوع و مصالح و تولید شده با همان روند تولید و روش کنترل کیفیتی باشند که در مورد نمونه‌های با مقیاس واقعی به کار می رود و تحت تغییر مکان‌های مقیاس شده‌ای آزمایش شوند که نماینده تغییر مکان های در مقیاس واقعی باشند.

نمونه‌های آزمایش شده را نباید در سازه اصلی به کار برد.

۴-۶-۲-۱- ثبت داده‌ها

رابطه‌ی نیرو – تغییر مکان در هر چرخه از هر آزمایش باید ثبت شود.

۴-۶-۲-۲- ترتیب و دوره‌های آزمایش

آزمایش‌های ذکر شده در زیر حداقل تعداد لازم بوده و در طی انجام آنها هر میراگر انرژی باید تحت بارهای ثقلی وارد بر وسیله، مشابه آنچه که هنگامی که در ساختمان نصب شده است، و نیز درجه حرارت محیطی مورد انتظار بوده و سپس به صورت چرخه ای بارگذاری شود.

الف- هریک از میراگرها باید به تعداد چرخه‌ای بارگذاری شود که در هنگام وقوع بار ناشی از توفان طرح (حداکثر باد محتمل در محل) مورد انتظار است. اما این تعداد نباید کم‌تر از ۲۰۰۰ چرخه کامل بار تحت دامنه مورد انتظار در توفان طرح بوده و باید با فرکانسی برابر با عکس زمان تناوب اصلی ساختمان به نمونه اعمال شود.

چنانچه میراگرها در معرض نیروها یا تغییر مکان‌های ناشی از باد نباشند، ویا تحلیلها نشان دهند آنها

تحت اثر طوفان طرح دچار تغییر شکلهای ارتجاعی نمی شوند نیازی به انجام آزمایش‌های ذکر شده در این بند نمی‌باشد.

ب- هر میراگر باید تحت ۲۰ چرخه کامل رفت وبرگشتی تحت تغییر مکانی برابر با تغییر مکان وسیله اتلاف انرژی در زلزله سطح خطر ۱ و با فرکانسی برابر با عکس زمان تناوب اصلی ساختمان مجهز به میرگر قرار داده شود.

پ- هر میراگر باید تحت ۵ چرخه کامل رفت وبرگشتی تحت تغییر مکانی برابر با تغییر مکان وسیله اتلاف انرژی در زلزله سطح خطر ۲ و با فرکانسی برابر با عکس زمان تناوب اصلی ساختمان مجهز به میراگر قرار داده شود.

اگر مشخصات میراگر وابسته به درجه حرارت باشد، این آزمایش باید حداقل در ۳ درجه حرارت مختلف که شامل حداقل، حداکثر و مقدار عادی محیطی باشد انجام شود.

ت- اگر مشخصات میراگر در هر تراز تغییر مکان مذکور در بندهای ب و پ ، تحت فرکانسهای بین ؟؟؟ و؟؟؟ بیش از ۱۵٪ تغییر نماید، این آزمایشها باید حداقل در دو فرکانس برابر ؟؟؟ و ؟؟؟؟ انجام شود.

انجام آزمایش روی وسایل اتلاف انرژی به روش‌هایی به جز آنچه در بالا ذکر شده با حفظ شرایط زیر مجاز می‌باشد.

- معادل بودن روش پیشنهادی با روش آزمایش چرخه‌ای نشان داده شود؛
- روش پیشنهادی وابستگی وسیله اتلاف انرژی به دمای محیط، فرکانس بارگذاری و افزایش

درجه حرارت در حین آزمایش را دربرگیرد؛

- روش پیشنهادی توسط طراح تایید شود.

۴-۶-۲-۳- وسایل وابسته به تغییر مکان در دو امتداد

اگر وسایل اتلاف انرژی تحت تغییر شکل در دو امتداد قرار داشته باشد، آزمایش‌های متوالی باید هم در تغییر مکان دو امتداد صفر و هم در تغییر مکان جانبی حداکثری تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ انجام گیرد.

۴-۶-۲-۴- آزمایش وسایل مشابه

وسایل اتلاف انرژی که با اندازه و مصالح مشابه و تحت روند تولید و روش کنترل کیفیت یکسانی ساخته شده و قبلا توسط آزمای شگاه مستقلی تحت سلسله مراتب ذکر شده در بالا آزمایش شده باشند، در صورت وجود شرایط زیر نیازی به آزمایش مجدد ندارند:

۱- تمامی اطلاعات آزمایش‌های مربوط در دسترس طراح قرار داده شده و توسط طراح تایید شوند؛

۲- سازنده بتواند مشابهت وسایل آزمایش شده قبلی را با وسایل مورد نظر فعلی برای طراح اثبات نماید؛

در این حالت استفاده از اطلاعات مربوط به آزمایش‌های قبلی در طراحی مجاز است.

۴-۶-۳- تعیین مشخصات منحنی نیرو- سرعت-تغییر مکان

مشخصات منحنی نیرو- سرعت - تغییر مکان یک وسیله‌ی اتلاف انرژی باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای بار و تغییر مکان وسایل نمونه‌ای اصلی ذکر شده در بند (۴-۶-۲-۲) تعیین شود.

سختی موثر (K_{eff}) یک میراگر انرژی دارای سختی، در هر چرخه از تغییر شکل طبق رابطه‌ی (۴-۱۰) محاسبه می شود.

$$K_{eff} = \frac{|F^+|+|F^-|}{|\Delta^+|+|\Delta^-|} \qquad (۴-۱۰)$$

که در آن نیروهای F^+, F^- باید به ترتیب در تغییر مکان‌های Δ^+ و Δ^- محاسبه شوند.

میرایی لزج معادل برای هر میراگر انرژی (β_{eff}) دارای سختی، برای هر چرخه از تغییر شکل طبق رابطه (۴-۱۱) محاسبه می شود.

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi}\frac{W_D}{K_{eff}\Delta_{ave}^2} \qquad (۴-۱۱)$$

که در آن K_{eff} باید طبق رابطه‌ی (۴-۱۰) تعیین شده و W_D سطح محصور شده توسط یک چرخه‌ی کامل منحنی نیرو- تغییر مکان در میراگر به ازای تغییر مکان نمونه اصلی در آزمایش به میزان Δ_{ave} برابر با میانگین مقادیر مطلق تغییر مکان‌های Δ^+ و Δ^- می‌باشد.

۴-۶-۴- کفایت سامانه

اگر تمامی شرایط زیر برآورد شوند، عملکرد یک نمونه اصلی را می‌توان مناسب دانست.

الف- منحنی‌های نیرو- تغییر مکان در آزمایش‌های بند الف (۴-۶-۲-۲) دارای نمو غیر منفی در ظرفیت باربری باشند.

ضمنا در میراگرهای انرژی که رفتاری وابسته به تغییر مکان را به نمایش می‌گذارند، نباید هیچ نشانه ای از تسلیم مشاهده شود در میراگرهای انرژی که رفتاری وابسته به سرعت را به نمایش می‌گذارند کنترل ضابطه‌ی بالا لازم نیست ولی در آنها نباید هیچ نشانه ای از آسیب یا نشت مشاهده شود.

ب- در هر آزمایش از آزمایش‌های بند های ب و پ (۴-۶-۲-۲) ، سختی موثر، K_{eff}، نمونه اصلی در هر چرخه به میزانی بیش از ۱۵٪ ± نسبت به سختی موثر میانگین محاسبه شده از کلیه‌ی چرخه‌های آن آزمایش تفاوت ننماید.

کنترل این ضابطه در میراگرهای انرژی لزج مایع و سایر وسایلی که دارای سختی موثری نیستند، لازم نیست.

پ- در هریک از آزمایش‌های بندهای ب و پ (۴-۶-۲-۲) ، حداکثر نیرو و حداقل نیرو در تغییر مکان صفر در یک نمونه اصلی در هر چرخه به میزانی بیش از ۱۵٪ ± نسبت به نیروهای میانگین حداکثر و حداقلی که از کلیه‌ی چرخه‌های آن آزمایش محاسبه شده تفاوت ننماید.

ت- در هریک از آزمایش‌های بندهای ب و پ (۴-۶-۲-۲) ، مساحت چرخه (W_D) یک وسیله‌ی اتلاف انرژی وابسته به سرعت در هر چرخه به میزانی بیش از ۱۵٪ ± نسبت به میانگین مساحت زیر منحنی چرخه‌ی محاسبه شده از کلیه‌ی چرخه‌های آن آزمایش تفاوت ننماید.

ث- در مورد وسایل وابسته به تغییر مکان، سختی موثر میانگین، میانگین حداکثر و حداقل نیرو در

تغییر مکان صفر، میانگین سطح چرخه (W_D) که برای هریک از سلسله آزمایش‌های توصیف شده در بندهای ب و پ (۴-۶-۲-۲) محاسبه شده، باید بین حدود تعیین شده توسط طراح در مشخصات فنی طرح قرار گیرد. سطح چرخه در انتهای آزمایش چرخه‌ای نباید به میزانی بیش از ۱۵٪ ± نسبت به سطح میانگین ۲۰ چرخه آزمایش تفاوت داشته باشد.

ج- در مورد وسایل وابسته به سرعت، نیروی میانگین حداکثر و حداقل در تغییر مکان صفر، سختی موثر (فقط در مورد وسایل لزج – ارتجاعی) و میانگین چرخه (W_D) که برای هریک از سلسله آزمایش‌های ذکر شده در بندهای ب و پ (۴-۶-۲-۲) محاسبه شده باید بین حدود تعیین شده توسط طراح در مشخصات فنی طرح قرار گیرد.

۴-۷- بازبینی طرح

۴-۷-۱- کلیات

لازم است بازبینی طراحی سازه مجهز به سامانه اتلاف انرژی و برنامه‌های آزمایش‌های مربوط توسط یک تیم مهندسی مستقل صورت گیرد. این گروه باید متشکل از افراد دارای تجربه در زمینه‌ی تحلیل لرزه‌ای و کاربرد روش‌های اتلاف انرژی باشد.

۴-۷-۲- طرح سازه مجهز به میراگر

موارد زیر باید در بازبینی طرح سازه کنترل شود.

الف- طرح اولیه شامل تعیین ابعاد وسایل؛

ب- آزمایش نمونه‌ها که طبق بند (۴-۶-۲-۲) انجام شده است؛

پ- طرح نهایی ساختمان و تحلیل‌های مربوط؛

ت- برنامه‌ی کنترل کیفیت تولید وسایل اتلاف انرژی طبق بند ۴-۷-۳.

۴-۷-۳- آزمایشهای کنتر ل کیفیت تولید میراگرها

آزمایشهای کنتر ل کیفیت تولید میراگرها باید توسط مهندس طراح ارائه شده و حداقل شامل موارد زیر باشد.

الف- آزمایشهای مربوط به مصالح مورد استفاده در میراگرها

ب- آزمایشهای چرخه ای مربوط به هرنوع میراگر که در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد

آزمایشهای کنترل کیفیت تولید میراگر باید در هنگام تولید واحدهای مورد نظر برای استفاده در ساختمان مورد نظر و قبل از انجام عملیات ساختمانی انجام شده و توسط یک بازرس مستقل گواهی شود.

طراح باید معیارهای پذیرش مشخصی را برای مقادیر سختی و میرایی موثر حاصل از آزمایش نمونه‌های تولید تهیه نماید. این معیارها باید منعکس‌کننده‌ی مقادیر مفروض در طراحی بوده و تغییرات احتمالی در خواص مصالح را ملحوظ نماید و مقادیر حدی واکنش را که در ورای آن‌ها وسایل مربوط مردود اعلام می‌شوند مشخص کنند. نتایج آزمایش نمونه‌های اصلی باید مبنای معیارهای پذیرش مربوط به آزمایش نمونه‌های تولیدی قرار گیرد.