فصل ۱۰

سامانه‌های جداساز لرزه‌ای و اتلاف انرژی

۱۰-۱- محدوده‌ی کاربرد

این فصل به بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها با استفاده از سامانه جداساز لرزه‌ای و یا سامانه اتلاف انرژی اختصاص دارد. در این فصل روش‌های تحلیل و ضوابط طراحی سامانه جداساز لرزه‌ای و همچنین ضوابط تحلیل و طراحی سامانه اتلاف انرژی ارائه می‌شود. اجزا و اعضای ساختمان‌های با سامانه جداساز لرزه‌ای و سامانه اتلاف انرژی (به استثنای موارد ذکر شده در این فصل) باید ملزومات فصل‌های ۱ تا ۹ این دستورالعمل را برآورده نمایند.

۱۰-۲- سامانه جداساز لرزه‌ای

۱۰-۲-۱-کلیات

سامانه جداساز لرزه‌ای که به صورت بالشتک‌های الاستومر و لغزشی طبقه‌بندی می‌شوند، باید ضوابط این بخش را برآورده نمایند. تحلیل و طراحی سامانه جداساز لرزه‌ای در بند (۱۰-۲-۳) ارائه شده است. تحلیل به روش خطی و به روش غیرخطی بسته به مورد، آنگونه که در بند (۱۰-۲-۳) ذکر می‌شود، باید به ترتیب مطابق با بندهای (۱۰-۲-۴) و (۱۰-۲-۵) صورت پذیرد. اجزای غیرسازه‌ای در این‌گونه ساختمان‌ها باید مطابق با ضوابط بند (۱۰-۲-۶) بهسازی شوند. ضوابط اضافی در مورد سامانه جداساز لرزه‌ای باید به روشی که در بند (۱۰-۲-۷) بیان شده رعایت شود. کنترل طراحی سامانه جداساز لرزه‌ای و آزمایش‌های مربوط به آن‌ها باید مطابق با ضوابط بندهای (۱۰-۲-۸) و (۱۰-۲-۹) انجام شود.

سامانه جداساز لرزه‌ای در صورت نیاز، می‌تواند شامل اجزای مقاوم در برابر باد و واژگونی سازه و همچنین شامل میراگر برای اتلاف انرژی زلزله نیز باشد.

در مورد سازه‌های جداسازی‌شده ضرایب C_2, C_1, C_0 و J که در فصل ۳ تعریف شده‌اند باید برابر یک اختیار شوند.

۱۰-۲-۲- مشخصات مکانیکی و نحوه‌ی مدل‌سازی سامانه جداساز لرزه‌ای

۱۰-۲-۲-۱- کلیات

سامانه‌های جداساز لرزه‌ای به دو دسته‌ی الاستومری و لغزشی طبقه‌بندی می‌شوند. جداسازهای الاستومری به یکی از صورت‌های زیر می‌باشند.

- بالشتک‌های لاستیکی با میرایی زیاد[1]،
- بالشتک‌های لاستیکی با میرایی کم[2]،
- بالشتک‌های لاستیکی با میرایی کم و هسته‌ی سربی[3].

جداسازهای لغزشی شامل سطح صاف یا سطح منحنی، نظیر سامانه آونگ اصطکاکی[4] (FPS) می‌باشند. سامانه‌های غلتکی نیز نوعی از سامانه‌های جداساز لرزه‌ای هستند که زیر مجموعه‌ی سامانه‌های لغزشی می‌باشند. جداسازهای غلتکی باید با سطح صاف،

[1] HDR:High Damping Rubber
[2] RB:Rubber Bearing
[3] LRB:Low-damping Rubber Bearing

منحنی یا مخروطی باشند. جداسازهایی که نتوان آن‌ها را الاستومری یا لغزشی طبقه‌بندی نمود، مشمول ضوابط این دستورالعمل نمی‌باشند.

۱۰-۲-۲-۲- مشخصات مکانیکی جداسازهای لرزه‌ای

۱۰-۲-۲-۲-۱- جداسازهای الاستومری

منحنی نیرو- تغییرشکل جداسازهای الاستومری باید با درنظرگرفتن اندرکنش نیروی محوری و نیروی برشی، تغییرشکل در دو امتداد اصلی، تاریخچه‌ی بارگذاری شامل آثار حین ساخت جداسازهای الاستومری، حرارت و سایر بارهای محیطی، و آثار سن در طول عمر مفید جداسازها تعیین شود.

در مدل‌سازی تحلیلی جداسازهای الاستومری باید مشخصات جداسازها براساس تحلیل یا نتایج آزمایش مصالح آن تعیین شود. برای طراحی جداسازها، مشخصات نمونه‌هایی از جداسازهایی که برای بهسازی موردنظر می‌باشد باید با انجام آزمایش طبق بند (۱۰-۲-۹) به‌دست آید.

۱۰-۲-۲-۲-۲-جداسازهای لغزشی

منحنی نیرو– تغییرشکل جداسازهای لغزشی باید با درنظرگرفتن فشار تماسی، سرعت بارگذاری، تغییرشکل دوجهته، حرارت، سایر بارهای محیطی و آثار سن در طول عمر مفید جداسازها تعیین شود.

برای مدل‌سازی تحلیلی جداسازهای لغزشی باید مشخصات جداسازها براساس تحلیل یا نتایج آزمایش مصالح آن تعیین شود. برای طراحی جداسازها، مشخصات نمونه‌هایی از جداسازهایی که برای بهسازی مورد نظر می‌باشد باید با انجام آزمایش طبق بند (۱۰-۲-۹) به‌دست آید.

۱۰-۲-۲-۳- مدل‌سازی جداسازها

۱۰-۲-۲-۳-۱- کلیات

اگر مشخصات مکانیکی جداسازهای لرزه‌ای به پارامترهایی نظیر نیروی محوری (ناشی از ثقل، آثار واژگونی زلزله، ارتعاش قائم زلزله)، سرعت بارگذاری، تغییرشکل در دو امتداد اصلی، حرارت و آثار سن بستگی داشته باشد، برای تعیین میزان حساسیت پاسخ به پارامترهای فوق باید کرانه‌ی بالا و کرانه‌ی پایین مقادیر سختی و میرایی در تحلیل‌های جداگانه سازه درنظرگرفته شوند.

۱۰-۲-۲-۳-۲- مدل‌های خطی

نیروی بازگرداننده‌ی جداساز از حاصل ضرب سختی موثر جداساز K_{eff} در پاسخ تغییرمکان D مطابق رابطه (۱۰-۱) به‌دست می‌آید.

$$F = K_{eff} D \qquad (۱۰-۱)$$

[4] FPS: Friction Pendulum System

سختی موثر جداساز، K_{eff}، از نتایج آزمایش طبق رابطه‌ی (۱۰-۱۲) محاسبه می‌شود. برای محاسبه‌ی میرایی موثر β_{eff} از سطح محصورشده توسط چرخه نیرو- تغییرمکان جداساز طبق رابطه‌ی (۱۰-۱۳) استفاده می‌شود. هر دو پارامتر سختی موثر و میرایی موثر تابع دامنه بوده و باید به‌ازای مقادیر مختلف تغییرمکان جداساز تعیین شوند.

۱۰-۲-۲-۳-۳- مدل‌های غیرخطی

در روش‌های تحلیل غیرخطی، باید منحنی نیرو- تغییرشکل جداسازها مورد استفاده قرار گیرد. میرایی مورد استفاده در تحلیل غیرارتجاعی جداسازها باید فقط شامل میرایی چرخه‌ای باشد. استفاده از میرایی لزج در مدل غیرخطی مجاز نیست مگر اینکه با انجام آزمایش جداسازها و درنظرگرفتن سرعت بارگذاری وجود آن تایید شود.

۱۰-۲-۲-۴- مدل‌سازی سامانه جداساز و سازه‌ی فوقانی

۱۰-۲-۲-۴-۱- کلیات

مدل‌سازی تحلیلی ساختمان‌هایی که در آن‌ها از جداساز لرزه‌ای استفاده شده شامل: سامانه جداساز، سامانه لرزه‌بر جانبی، دیگر اجزا و اعضای سازه‌ای و اتصالات بین سامانه جداساز و سازه‌ی فوقانی و زیرین آن باید ضوابط فصل ۳ و همچنین بندهای (۱۰-۲-۲-۴-۲) و (۱۰-۲-۲-۴-۳) را تامین نماید.

۱۰-۲-۲-۴-۲- مدل‌سازی سامانه جداساز

سامانه جداساز باید با استفاده از مشخصه‌های تغییرشکل حاصل از نتایج آزمایش‌های بند (۱۰-۲-۹) و با رعایت نکات زیر مدل‌سازی شود.

الف- درنظرگرفتن نحوه‌ی توزیع جداسازها؛

ب- محاسبه‌ی حرکات جانبی و پیچشی سازه‌ی فوقانی با درنظرگرفتن بدترین وضعیت خروج از محوری جرم؛

پ- برآورد نیروهای واژگونی و برکنش هر یک از جداسازها؛

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

ث- برآورد نیروهای ناشی از آثار $P-\Delta$؛

ج- در نظرگرفتن اجزای غیرخطی. سامانه جداساز با اجزای غیرخطی شامل سامانه‌هایی هستند که ضوابط بند (۱۰-۲-۳-۳-۱) مورد ۲ را تامین نمی‌کنند.

۱۰-۲-۲-۴-۳- مدل‌سازی سازه‌ی فوقانی

حداکثر تغییرمکان طبقات و سامانه جداساز با استفاده از مدلی که منحنی نیرو- تغییرشکل اجزای غیرخطی را منظور می‌نماید باید محاسبه شود.

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

الف- منحنی نیرو- تغییرمکان 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 موردنظر در محدوده‌ی ارتجاعی خطی باقی بماند.

سامانه باربر جانبی در صورتی ارتجاعی خطی درنظرگرفته می‌شود که هر دو ضابطه زیر در مورد آن صادق باشد:

ب-۱- در مورد کلیه‌ی تلاش‌های تغییرشکل‌کنترل رابطه‌ی (۳-۲۸) به ازای $m = 1$ برقرار باشد.

ب-۲- در مورد کلیه‌ی تلاش‌های نیروکنترل رابطه‌ی (۳-۲۹) برقرار باشد.

۱۰-۲-۳- ضوابط کلی برای طراحی سامانه جداساز

۱۰-۲-۳-۱- کلیات

تحلیل و طراحی سامانه جداساز براساس ضوابط این بند انجام می‌گیرد.

۱۰-۲-۳-۱-۱- پایداری سامانه جداساز

پایداری اعضای باربر قائم سامانه جداساز به کمک تحلیل و آزمایش باید ارزیابی شود. این ارزیابی برای تغییرمکان جانبی برابر حداکثر تغییرمکان کل محاسبه‌شده طبق بند (۱۰-۲-۴-۳-۵) یا (۱۰-۲-۵-۱-۲) و یا برای حداکثر تغییرمکان اجازه داده شده توسط وسایل محدودکننده‌ی تغییرمکان (در صورت وجود) انجام می‌شود.

۱۰-۲-۳-۱-۲- طبقه‌بندی ساختمان بر حسب شکل

طبقه‌بندی ساختمان جداسازی‌شده به صورت منظم یا نامنظم براساس طبقه‌بندی سازه‌ی فوقانی بر حسب شکل طبق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران انجام می‌شود.

۱۰-۲-۳-۲- ضابطه‌ی حرکت زمین

ضابطه‌ی حرکت زمین برای زلزله‌ی طرح و زلزله‌ی حداکثر مطابق بند (۱-۷) و اصلاحات این قسمت انجام می‌گیرد. سطح خطر زلزله‌ی طرح توسط طراح تعیین می‌شود ولی می‌توان معادل سطح خطر۱ انتخاب نمود. برای زلزله‌ی حداکثر می‌توان زلزله‌ی سطح خطر ۲ را در نظر گرفت.

۱۰-۲-۳-۲-۱- زلزله‌ی طرح

برای زلزله‌ی طرح ضوابط حرکت زمین به شرح زیر می‌باشد.

الف- مقدار شتاب‌طیفی در زمان‌تناوب کوتاه (S_{xS}) و شتاب‌طیفی در زمان‌تناوب ۱/۰ ثانیه(S_{x1})مطابق بند (۱-۷).

ب- طیف پاسخ زلزله‌ی طرح برای ۵٪ میرایی، هنگامی‌که طیف پاسخ برای تحلیل طیفی مطابق بند (۱۰-۲-۳-۳-۲) یا برای تعریف شتاب‌نگاشت مورد نیاز باشد.

پ- حداقل سه شتاب‌نگاشت سازگار با طیف زلزله‌ی طرح، هنگامی‌که شتاب‌نگاشت‌ها برای تحلیل غیرخطی مطابق بند (۱۰-۲-۳-۳-۳) موردنیاز باشد.

۱۰-۲-۳-۲-۲- زلزله‌ی حداکثر

برای زلزله‌ی حداکثر ضوابط حرکت زمین به شرح زیر می‌باشد.

الف- مقدار شتاب‌طیفی در زمان‌تناوب کوتاه (S_{xS}) و شتاب‌طیفی در زمان‌تناوب ۱/۰ ثانیه(S_{x1})مطابق بند (۱-۷).

ب- طیف پاسخ زلزله‌ی حداکثر برای ۵٪ میرایی، هنگامی‌که طیف پاسخ برای تحلیل طیفی مطابق بند (۱۰-۲-۳-۳-۲) یا برای تعریف شتاب‌نگاشت موردنیاز باشد؛

پ – حداقل سه شتاب‌نگاشت سازگار با طیف زلزله‌ی حداکثر، هنگامی‌که شتاب‌نگاشت‌ها برای تحلیل غیرخطی مطابق بند (۱۰-۲-۳-۳-۳) مورد نیاز باشد.

۱۰-۲-۳-۳- انتخاب روش تحلیل

۱۰-۲-۳-۳-۱- روش‌های خطی

روش‌های خطی می‌تواند برای طراحی ساختمان‌های جداسازی شده به‌کار برده شود به شرطی که معیارهای زیر تامین شوند.

الف- ساختمان روی زمین نوع I یا II طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران قرار گرفته باشد؛

ب- سامانه جداساز دارای ضوابط زیر باشد:

ب-۱- سختی موثر سامانه جداساز در تغییرمکان طرح، بزرگ‌تر از $\frac{۱}{۳}$ سختی موثر آن در تغییرمکانی برابر با ۲۰٪ تغییرمکان طرح باشد؛

ب-۲- سامانه جداساز قابلیت ایجاد نیروی بازگرداننده مطابق بند (۱۰-۲-۷-۲-۴) را دارا باشد؛

ب-۳- منحنی نیرو- تغییرشکل سامانه جداساز مستقل از نرخ یا سرعت بارگذاری باشد؛

ب-۴- منحنی نیرو- تغییرشکل سامانه جداساز مستقل از بار قائم یا جهت بار جانبی در پلان باشد؛

ب-۵- سامانه جداساز، تغییرمکان در سطح خطر ۲ را به کم‌تر از حاصل‌ضرب تغییرمکان طراحی کل در نسبت شتاب طیفی ماکزیمم در زمان یک ثانیه، به شتاب طیفی طرح در همان زمان محدود نکند.

پ – سازه‌ی فوقانی سامانه جداساز تحت حرکات زلزله‌ی موردنظر ارتجاعی باقی بماند.

۱۰-۲-۳-۳-۲- تحلیل طیفی

تحلیل طیفی برای طراحی ساختمان‌های جداسازی‌شده برای هریک از شرایط زیر الزامی است.

الف – ارتفاع ساختمان بیش از ۲۰ متر باشد؛

ب – زمان تناوب موثر سازه در تغییرمکان حداکثر، T_M ، مطابق بند (۱۰-۲-۴-۳-۴) بزرگ‌تر از ۳ ثانیه باشد؛

پ – زمان تناوب موثر سازه در تغییرمکان طرح، T_D، مطابق بند (۱۰-۲-۴-۳-۲) کم‌تر یا مساوی سه برابر زمان تناوب سازه‌ی فوقانی با فرض پایه‌ی گیردار باشد؛

ت – سازه‌ی فوقانی سامانه جداساز، نامنظم باشد.

۱۰-۲-۳-۳-۳- روش‌های غیرخطی

استفاده از روش‌های غیرخطی برای طراحی ساختمان‌های جداسازی شده برای هریک از شرایط زیر الزامی‌است.

الف – سازه‌ی فوقانی برای زلزله‌ی موردنظر غیرخطی باشد؛

ب – سامانه جداساز تمام ضوابط مورد ب بند (۱۰-۲-۳-۳-۱) را برآورده نکند.

تحلیل دینامیکی غیرخطی برای طراحی ساختمان‌های جداسازی‌شده لرزه‌ای که شرایط الف و ب این بند را دارا هستند، الزامی است.

۱۰-۲-۴- روش‌های تحلیل خطی

۱۰-۲-۴-۱- کلیات

در صورت انتخاب روش تحلیل خطی مطابق بند (۱۰-۲-۳-۳)، ساختمان‌های جداسازی شده باید برای حداقل تغییرمکان‌ها و نیروهای لرزه‌ای معین‌شده در این قسمت طراحی شوند.

۱۰-۲-۴-۲- مشخصات تغییرشکل سامانه جداساز

مشخصات تغییرشکل سامانه جداساز براساس نتایج آزمایش نمونه مطابق بند (۱۰-۲-۹) تعیین می‌شود.

هر گاه در سامانه جداساز از اجزای مقاوم در برابر باد، واژگونی و وسایل اتلاف انرژی برای تامین ضوابط این دستورالعمل استفاده شود، منحنی نیرو- تغییرمکان سامانه جداساز باید آثار وجود این اجزا و وسایل را دربرداشته باشد.

۱۰-۲-۴-۳- حداقل تغییرمکان جانبی

۱۰-۲-۴-۳-۱- تغییرمکان طرح

سامانه جداساز برای تحمل حداقل تغییرمکان جانبی زلزله در دو امتداد اصلی سازه طبق رابطه‌ی (۱۰-۲) طراحی و ساخته می‌شود.

$$D_D = \left[\frac{g}{4\pi^2}\right]\frac{S_{x1}T_D}{B_1} \qquad (۱۰-۲)$$

که در آن S_{x1} مقدار شتاب طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله‌ی طرح می‌باشد و B_1 با توجه به جدول (۱۰-۱) برای β برابر β_D در رابطه‌ی (۱۰-۱۸) تعیین می‌شود.

جدول (۱۰-۱): ضرایب B_1 و B_S برحسب درصد میرایی موردنظر (β)

β (درصد)	B_S	B_1
≤۲	۰/۸	۰/۸
۵	۱/۰	۱/۰
۱۰	۱/۳	۱/۲
۲۰	۱/۸	۱/۵
۳۰	۲/۳	۱/۷
۴۰	۲/۷	۱/۹
≥۵۰	۳/۰	۲/۰

۱۰-۲-۴-۳-۲- زمان تناوب موثر در تغییرمکان طرح

زمان تناوب موثر ساختمان جداسازی شده در تغییرمکان طرح، T_D، با استفاده از مشخصات تغییرشکل سامانه جداساز طبق رابطه‌ی (۱۰-۳) محاسبه می‌شود.

$$T_D = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{D\min} g}} \qquad (۳-۱۰)$$

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

۱۰-۲-۴-۳-۳- تغییر مکان حداکثر

تغییرمکان حداکثر سامانه جداساز، D_M، در بحرانی‌ترین امتداد پاسخ جانبی از رابطه‌ی (۱۰-۴) محاسبه می‌شود.

$$D_M = \left[\frac{g}{4\pi^2}\right]\frac{S_{x1} T_M}{B_1} \qquad (۴-۱۰)$$

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 (۱۰-۱) و برای β برابر β_M طبق رابطه (۱۰-۱۹) محاسبه می‌شود.

۱۰-۲-۴-۳-۴- زمان تناوب موثر در تغییرمکان حداکثر

زمان تناوب موثر ساختمان جداسازی شده در تغییرمکان حداکثر، T_M، از مشخصات تغییرشکل سامانه جداساز طبق رابطه‌ی (۱۰-۵) محاسبه می‌شود.

$$T_M = 2\pi\sqrt{\frac{W}{K_{M\min} g}} \qquad (۵-۱۰)$$

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

۱۰-۲-۴-۳-۵- تغییرمکان کل

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

کل تغییرمکان طراحی، D_{TD}، و کل تغییرمکان حداکثر، D_{TM}، اجزای یک سامانه جداساز با توزیع یکنواخت مکانی سختی موثر در تغییرمکان طرح نباید کم‌تر از مقادیر به‌دست آمده از روابط (۱۰-۶) و (۱۰-۷) باشد.

$$D_{TD} = D_D\left[1 + y\frac{12e}{b^2 + d^2}\right] \qquad (۱۰-۶)$$

$$D_{TM} = D_M\left[1 + y\frac{12e}{b^2 + d^2}\right] \qquad (۱۰-۷)$$

که در روابط فوق b و d ابعاد پلان ساختمان، e بیان‌گر خروج از محوری واقعی یا اتفاقی مرکز جرم سازه‌ی فوقانی نسبت به مرکز سختی سامانه جداساز و y فاصله‌ی مرکز جرم جزء مورد نظر تا مرکز سختی سامانه جداساز، اندازه‌گیری شده در جهت عمود بر امتداد بارگذاری جانبی مورد نظر می‌باشد. کل تغییرمکان حداکثر، D_{TM}، می‌تواند کم‌تر از رابطه‌ی (۱۰-۷) باشد، اما نباید کم‌تر از ۱/۱ برابر D_M باشد، به شرطی که محاسبات نشان دهد سامانه جداساز پیچش مربوط را تحمل می‌کند.

۱۰-۲-۴-۴- حداقل نیروی جانبی

۱۰-۲-۴-۴-۱- سامانه جداساز و اجزای واقع در زیر آن

سامانه جداساز، و تمام اجزای سازه‌ای واقع در زیر سامانه جداساز، از جمله پی، باید برای تحمل حداقل نیروی جانبی لرزه‌ای(V_b) طبق رابطه‌ی (۱۰-۸) طراحی و اجرا شود.

$$V_b = K_{Dmax} D_D \qquad (۱۰-۸)$$

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

۱۰-۲-۴-۴-۲- اجزای سازه‌ای واقع در بالای سامانه جداساز

اجزای واقع در بالای سامانه جداساز باید برای تحمل حداقل نیروی جانبی لرزه‌ای V_s برابر با V_b حاصل از رابطه‌ی (۱۰-۸) طراحی و اجرا شوند.

۱۰-۲-۴-۴-۳- محدویت‌های حداقل نیروی جانبی لرزه‌ای، V_S

مقدار V_s نباید کم‌تر از مقادیر زیر درنظرگرفته شود.

الف- برش پایه‌ی مساوی با نیروی طراحی باد؛

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

۱۰-۲-۴-۴-۴- توزیع نیرو در ارتفاع ساختمان

تمام نیروی V_s در ارتفاع سازه‌ی واقع در بالای سامانه جداساز طبق رابطه‌ی (۱۰-۹) توزیع می‌شود.

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^{n} W_i h_i} V_s \qquad (۹-۱۰)$$

در هر طبقه‌ای نظیر i، نیروی F_i باید متناسب با وزن آن طبقه، W_i، در امتداد افق توزیع شود.

۱۰-۲-۴-۵- تحلیل طیفی

۱۰-۲-۴-۵-۱- زلزله‌ی مورد استفاده

طیف زلزله‌ی طرح باید مطابق بند (۱۰-۲-۳-۲-۱) برای محاسبه‌ی تغییرمکان طراحی کل سامانه جداساز، نیروها و تغییرمکان‌های جانبی سازه فوقانی به‌کار برده شود. طیف زلزله‌ی حداکثر سطح خطر ۲ نیز باید برای محاسبه‌ی تغییرمکان حداکثر کل سامانه جداساز به‌کار رود.

۱۰-۲-۴-۵-۲- میرایی مودی

تحلیل طیفی باید به ازای مقادیر میرایی مودهای ارتعاشی معادل با کم‌ترین دو مقدار: میرایی موثر سامانه جداسازی‌شده یا ۳۰٪ میرایی بحرانی انجام گیرد. میرایی درنظرگرفته شده برای مودهای بالاتر باید متناسب با نوع مصالح و تراز تنش سازه‌ی فوقانی باشد.

۱۰-۲-۴-۵-۳- ترکیب مولفه‌های زلزله

در تحلیل طیفی برای محاسبه‌ی تغییرمکان طراحی کل و تغییرمکان حداکثر کل باید آثار تحریک همزمان مدل به صورت ۱۰۰٪ حرکت زمین در امتداد بحرانی آن به علاوه‌ی حداقل ۳۰٪ در امتداد متعامد درنظرگرفته شود. تغییرمکان حداکثر سامانه جداساز از ترکیب برداری دو مولفه‌ی متعامد به‌دست می‌آید.

۱۰-۲-۴-۵-۴- مقیاس‌کردن نتایج

اگر تغییرمکان طراحی کل که از تحلیل طیفی به‌دست می‌آید، کم‌تر از D_{TD} مطابق رابطه (۱۰-۶) باشد و یا اگر تغییرمکان حداکثر کل که از تحلیل طیفی به‌دست می‌آید کم‌تر از D_{TM} مطابق رابطه (۱۰-۷) باشد، لازم است در فرآیند طراحی نیروهای داخلی و تغییرشکل‌ها نیز به همان نسبت افزایش یابند.

۱۰-۲-۴-۶- نیروها و تغییرشکل‌های طراحی

اجزای ساختمان باید برای نیروها و تغییرشکل‌هایی طراحی شوند که از روش‌های خطی و معیارهای پذیرش بند (۳-۶-۱-۲) حاصل شده‌اند، به استثنای اینکه برای طراحی اعضای تغییرشکل‌کنترل، ضریب m نباید بزرگ‌تر از ۱٫۵ درنظر گرفته شود.

۱۰-۲-۵- روش‌های تحلیل غیرخطی

ارزیابی سازه‌های جداسازی‌شده با استفاده از روش‌های تحلیل غیرخطی باید براساس مدل‌های سه بعدی انجام گیرد به طوری‌که مشخصات غیرخطی سامانه جداساز و سازه‌ی واقع در بالای آن، هر دو درنظر گرفته شوند.

۱۰-۲-۵-۱- روش استاتیکی غیرخطی

۱۰-۲-۵-۱-۱- کلیات

روش استاتیکی غیرخطی برای ساختمان‌های جداسازی‌شده باید براساس ضوابط بند (۳-۴-۳) انجام گیرد به استثنای اینکه تغییرمکان هدف و توزیع بار جانبی باید براساس ضوابط زیر به‌دست آید.

۱۰-۲-۵-۱-۲- تغییرمکان هدف

مدل‌سازی تحلیلی ساختمان باید به‌گونه‌ای انجام شود که در هر امتداد اصلی آن، اندازه‌ی معادل تغییرمکان هدف D'_D حاصل از طیف زلزله‌ی طرح و تغییرمکان هدف D'_M حاصل از طیف زلزله‌ی حداکثر سطح خطر ۲، که از روابط زیر محاسبه می‌شوند، در آن منظور شده باشد.

$$D'_D = \frac{D_D}{\sqrt{1+\left[\frac{T_e}{T_D}\right]^2}} \qquad (۱۰-۱۰)$$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1+\left[\frac{T_e}{T_M}\right]^2}} \qquad (۱۰-۱۱)$$

که در آن T_e زمان تناوب اصلی موثر سازه‌ی فوقانی با فرض پای گیردار می‌باشد که از رابطه (۳-۱۶) به‌دست می‌آید. تغییرمکان‌های هدف D'_D و D'_M باید در مرکز جرم اولین کف واقع در روی سامانه جداساز تعیین شوند.

۱۰-۲-۵-۱-۳- الگوی بار جانبی

الگوی بار جانبی اعمال‌شده متناسب با توزیع جرم ساختمان و شکل مود جداسازی شده‌ی ساختمان (مود اول) در تغییرمکان هدف می‌باشد.

۱۰-۲-۵-۲- روش دینامیکی غیرخطی

۱۰-۲-۵-۲-۱- کلیات

روش دینامیکی غیرخطی در ساختمان‌های جداسازی شده باید براساس ضوابط بند (۳-۴-۴) صورت گیرد به استثنای اینکه در فرآیند طراحی لازم است نتایج مربوط براساس بند (۱۰-۲-۵-۲-۲) مقیاس شوند.

۱۰-۲-۵-۲-۲- مقیاس‌کردن نتایج

اگر تغییرمکان به‌دست آمده از مدل تحلیلی کم‌تر از D'_D مطابق رابطه‌ی (۱۰-۱۰) باشد، یا اگر تغییرمکان حداکثر حاصل از مدل تحلیلی کم‌تر از D'_M مطابق رابطه‌ی (۱۰-۱۱) باشد، لازم است در فرآیند طراحی نیروهای داخلی و تغییرشکل‌ها نیز به همان نسبت افزایش یابند تا مقادیر D'_D و D'_M تامین شوند.

۱۰-۲-۵-۳- نیروها و تغییرشکل‌های طراحی

اجزای ساختمان باید برای نیروها و تغییرشکل‌هایی طراحی شوند که از تحلیل غیرخطی و مطابق معیارهای پذیرش بند (۳-۶-۲-۱) و (۳-۶-۲-۲) حاصل شده‌اند.

۱۰-۲-۶- اجزای غیرسازه‌ای

۱۰-۲-۶-۱- کلیات

اجزای غیرسازه‌ای دائمی و ملحقات آن‌ها باید برای تحمل نیروها و تغییرمکان‌های لرزه‌ای داده شده در این قسمت و ملزومات مربوط در فصل ۹ طراحی شوند.

۱۰-۲-۶-۲- نیروها و تغییرمکان‌ها

۱۰-۲-۶-۲-۱- اجزای غیرسازه‌ای واقع در بالای سامانه جداساز

اجزای غیرسازه‌ای که در بالای سامانه جداساز قرار دارند باید برای تحمل نیروی جانبی زلزله برابر با حداکثر پاسخ دینامیکی عضو مورد نظر طراحی شوند.

طرح اجزای غیرسازه‌ای برای تحمل بار جانبی زلزله برابر با پاسخ ساختمان‌های معمولی با فرض پای گیردار نیز طبق ضوابط فصل ۹ مجاز می‌باشد.

۱۰-۲-۶-۲-۲- اجزای غیرسازه‌ای که از سامانه جداساز عبور می‌کنند

اجزای غیرسازه‌ای که از سامانه جداساز عبور می‌کنند را باید برای تحمل حداکثر تغییرمکان افقی و حداکثر تغییرمکان قائم سامانه جداساز طراحی نمود. این اعضا نباید قیدی برای تغییرمکان ساختمان جداسازی‌شده به‌وجود آورند یا محدودیتی در تامین هدف بهسازی ایجاد نمایند.

۱۰-۲-۶-۲-۳- اجزای غیرسازه‌ای واقع در زیر سامانه جداساز

اجزای غیرسازه‌ای ساختمان‌های جداسازی‌شده لرزه‌ای که در زیر سامانه جداساز قرار دارند، مطابق ضوابط فصل ۹ طراحی و اجرا می‌شوند.

۱۰-۲-۷- جزییات مورد نیاز سامانه

۱۰-۲-۷-۱- کلیات

سامانه جداساز و سامانه سازه‌ای لازم است ضوابط ارائه شده در بند (۱۰-۲-۷-۲) را به طور کامل تامین کنند.

۱۰-۲-۷-۲- سامانه جداساز

۱۰-۲-۷-۲-۱- شرایط محیطی

علاوه بر ضوابط بار قائم و بار جانبی ناشی از باد یا زلزله، سامانه جداساز باید برای شرایط محیطی دیگر مانند آثار گذشت زمان، خزش، خستگی، حرارت، رطوبت و مواد زیان‌آور طراحی شود.

۱۰-۲-۷-۲-۲- نیروهای باد

ساختمان‌های جداسازی شده باید نیروهای طراحی باد (طبق آیین‌نامه‌های مربوط) را در تمام طبقات بالای سامانه جداساز تحمل کنند. لازم است در محل سامانه جداساز یک سامانه مقاوم در مقابل باد برای محدود نمودن تغییرمکان جانبی سامانه جداساز در حد تغییرمکان بین طبقه‌ای در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۷-۲-۳- مقاومت در برابر آتش‌سوزی

مقاومت در برابر آتش‌سوزی برای سامانه جداساز مشابه سایر اعضای ساختمان که بارهای قائم و جانبی را تحمل می‌کنند باید درنظر گرفته شود.

۱۰-۲-۷-۲-۴- نیروی جانبی بازگرداننده

سامانه جداساز باید طوری طراحی شود که نیروی بازگرداننده مطابق موارد زیر در آن ایجاد شود.

الف- نیرویی برابر با کل نیروی جانبی ساختمان در کل تغییرمکان جانبی طراحی آن، که کل نیروی جانبی ساختمان در این‌حالت حداقل ۰/۰۲۵W از نیروی جانبی ساختمان در۵۰٪ کل تغییرمکان جانبی طراحی بیشتر باشد.

ب - نیرویی حداقل برابر ۰/۰۵W، هنگامی‌که کل تغییرمکان جانبی سامانه جداساز بیشتر از ۵۰٪ کل تغییرمکان جانبی طراحی می‌باشد.

در مواردی‌که سامانه جداساز در برابر کل بار قائم پایدار مانده و تغییرمکان حداکثری را برابر با بزرگ‌ترین دو مقدار: سه برابر تغییرمکان طراحی، یا ۹۰ S_{x1} (بر حسب سانتی‌متر) تامین نماید (S_{x1} برای زلزله سطح خطر ۲ محاسبه می‌شود)، رعایت ضوابط طراحی فوق برای سامانه جداساز ضروری نمی‌باشد.

۱۰-۲-۷-۲-۵- قید تغییر مکانی

پیکربندی سامانه جداساز که شامل یک قید تغییر مکانی برای محدود کردن تغییرمکان جانبی ناشی از زلزله سطح خطر ۲ به تغییر مکانی که از طریق ضرب کردن در کم‌تر از نسبت پارامتر شتاب پاسخ طیفی در زمان تناوب یک ثانیه برای زلزله‌ی سطح

خطر۲ به مقدار همان پارامتر برای زلزله‌ی طرح در کل تغییرمکان طراحی به‌دست می‌آید، به‌کار می‌رود تا ساختمان جداسازی شده مطابق با معیارهای زیر مشروط بر آنکه این معیارها محدودکننده‌تر از ضوابط بند (۱۰-۲-۳) باشند، طراحی شود.

الف – پاسخ ساختمان ناشی از زلزله‌ی سطح خطر ۲ مطابق با ضوابط روش تحلیل دینامیکی بند (۱۰-۲-۵) محاسبه شود و خصوصیات غیرخطی سامانه جداساز و سازه‌ی واقع در بالای آن نیز درنظر گرفته شود.

ب– ظرفیت نهایی سامانه جداساز و اجزای سازه‌ای واقع در زیر سامانه جداساز باید از نیروها و تغییرمکان‌های ناشی از زلزله سطح خطر ۲ بیشتر باشند.

پ– پایداری و شکل پذیری سازه‌ی واقع در بالای سامانه جداساز تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ کنترل شود.

ت— قید تغییرمکانی در تغییرمکان‌های کوچک‌تر از ۰/۷۵ کل تغییرمکان طراحی فعال نشود مگر اینکه با تحلیل نشان داده شود که فعال شدن زود هنگام منجر به عملکرد نامطلوب نمی‌شود.

۱۰-۲-۷-۲-۶- پایداری در برابر بارهای قائم

هر جزء از سامانه جداساز باید طوری طراحی شود که در برابر کل بار قائم حداکثر، $1.2Q_D + Q_L + |Q_E|$ و بار قائم حداقل، $0.8Q_D - |Q_E|$، به‌ازای تغییرمکان جانبی برابر با کل تغییر مکان حداکثر پایدار بماند. بار قائم ناشی از زلزله روی هر واحد جداساز در این محاسبه، Q_E، باید براساس حداکثر واکنش ساختمان ناشی از زلزله‌ی سطح خطر ۲ محاسبه شود.

۱۰-۲-۷-۲-۷- 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 درنظر گرفته شود. نیروهای زلزله در محاسبه‌ی واژگونی باید براساس زلزله‌ی سطح خطر ۲ محاسبه شود و نیروی مقاوم قائم باید با به‌کارگیری وزن ساختمان، واقع در بالای سامانه جداساز، W، به‌دست آید.

ایجاد نیروی برکنش موضعی در اجزا و اعضای 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 محدودکردن برکنش موضعی در هر یک از اجزا و اعضای سامانه مجاز است به این شرط که ساختمان جداسازی شده طبق معیارهای زیر وقتی این معیارها محدودکننده‌تر از ضوابط بند (۱۰-۲-۳) باشند طراحی شود.

الف– واکنش ساختمان به زلزله‌ی سطح خطر۲ مطابق با ضوابط روش تحلیل دینامیکی بند (۱۰-۲-۵) محاسبه‌شده و در آن خصوصیات غیرخطی سامانه جداساز و سازه‌ی فوقانی نیز درنظرگرفته شود.

ب– ظرفیت نهایی مهار باید از نیروها و تغییرشکل‌های 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 (۱۰-۲-۹-۲-۴) در مقابل بارهای ناشی از زلزله‌ی سطح خطر ۲ و بار قائم اضافی ناشی از وجود مهار اطمینان حاصل نمود.

۱۰-۲-۷-۲-۸- بازرسی و جایگزینی

لازم است امکان دسترسی برای بازرسی و جایگزین‌کردن احتمالی هر یک از اجزای سامانه جداساز تامین شود.

۱۰-۲-۷-۲-۹- کنترل کیفیت تولید

لازم است برنامه‌ای برای آزمایش‌های مربوط به کنترل کیفیت تولید واحدهای سامانه جداساز توسط طراح ارائه شود.

۱۰-۲-۷-۳- سیستم سازه‌ای

۱۰-۲-۷-۳-۱- 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 دیگر باید دارای مقاومت و شکل‌پذیری کافی برای انتقال نیروها (در اثر حرکت غیریکنواخت زمین) از یک بخش از ساختمان به بخش دیگر آن بوده و سختی کافی برای ایجاد رفتار لرزه‌ای به صورت دیافراگم صلب در تراز روی سامانه جداساز نیز داشته باشند.

۱۰-۲-۷-۳-۲- درزهای انقطاع

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

۱۰-۲-۸- بازبینی طرح

۱۰-۲-۸-۱-کلیات

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

۱۰-۲-۸-۲ – 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 به‌طور خاص برای پروژه‌ی موردنظر ملحوظ شده است؛

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

پ – آزمایش نمونه‌هایی از سامانه جداساز طبق بند (۱۰-۲-۹)؛

ت – طرح نهایی ساختمان جداسازی‌شده و مدارک تحلیلی مربوط؛

ث – آزمایش‌های کنترل کیفیت سامانه جداساز طبق بند (۱۰-۲-۷-۲-۹).

۱۰-۲-۹- مشخصات لازم برای طراحی و آزمایش سامانه جداساز

۱۰-۲-۹-۱- کلیات

خصوصیات تغییرشکلی و مقادیر میرایی سامانه جداساز که در تحلیل و طراحی سازه‌های جداسازی شده به‌کار می‌رود باید براساس انجام آزمایش‌های زیر روی نمونه‌های منتخبی از اجزا، پیش از عملیات ساختمانی باشد.

اجزایی از سامانه جداساز که تحت آزمایش قرار می‌گیرند باید جداسازها، اجزای سامانه مقاوم در برابر باد و وسایل اتلاف انرژی تکمیلی (نظیر میراگرها) اگر در طرح موجود باشند را شامل شود.

با انجام آزمایش‌های مشخص‌شده در این بند تنها مشخصات سامانه جداساز برای طراحی تعیین می‌شود و نباید آن‌ها را جایگزین آزمایش‌های کنترل کیفیت تولید تصریح‌شده در بند (۱۰-۲-۷-۲-۹) دانست.

۱۰-۲-۹-۲- آزمایش‌های نمونه اصلی[5]

۱۰-۲-۹-۲-۱- کلیات

آزمایش‌های نمونه اصلی باید به طور جداگانه روی دو نمونه با مقیاس واقعی برای هر نوع و اندازه از جداساز در سامانه انجام گیرد. در صورتی‌که از وسایل سامانه مقاوم در برابر باد استفاده شده باشد، این وسایل نیز علاوه بر جداسازها در نمونه‌های آزمایشی باید منظور شوند. وسایل اتلاف انرژی تکمیلی (میراگرها) باید طبق بند (۱۰-۳-۸) آزمایش شوند. نمونه‌های اصلی آزمایش‌شده را نباید در ساختمان موردنظر به‌کار برد مگر اینکه کاربرد آن‌ها توسط طراح اجازه داده شود.

۱۰-۲-۹-۲-۲- ثبت نتایج

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

۱۰-۲-۹-۲-۳- ترتیب مراحل و چرخه‌های بارگذاری

مراحل زیر باید به ترتیب در آزمایش جداسازها انجام شود و در هر مرحله تعداد مشخص شده از چرخه‌های بارگذاری جانبی تحت بار قائمی برابر با میانگین $Q_D + 0.5Q_L$ وارد بر جداسازهایی از یک نوع و اندازه صورت پذیرد.

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 تغییرمکان‌های: D_D، $0.5D_D$، $0.25D_D$ و D_M.

پ- سه چرخه کامل رفت و برگشتی تا کل تغییرمکان حداکثر، D_{TM}.

ت- تعداد $\frac{30S_{x1}}{S_{xs}B_1}$ چرخه ولی نه کم‌تر از ۱۰ چرخه‌ی کامل رفت و برگشتی بارگذاری تا تغییرمکان طراحی D_D. مقادیر S_{x1} و S_{xs} باید مربوط به زلزله‌ی طرح باشند.

[5] Prototype

۱۰-۲-۹-۲-۴- جداسازهای تحمل‌کننده‌ی بار قائم

اگر یک جداساز لرزه‌ای وظیفه تحمل بارهای قائم را نیز به عهده داشته باشد، آنگاه مورد ب مراحل بارگذاری چرخه‌ای ذکرشده در بند (۱۰-۲-۹-۲-۳) 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- $0.8Q_D - |Q_E|$

بار قائم وارد بر جداساز باید شامل اضافه بار قائم ناشی از بار واژگونی تحت بار زلزله Q_E 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 بار باید برابر با میانگین نیروی رو به پایین وارد بر جداسازهای از یک نوع و اندازه باشد.

۱۰-۲-۹-۲-۵- 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 (۱۰-۲-۹-۲-۳) و (۱۰-۲-۹-۲-۴) باید به طور دینامیکی در فرکانسی برابر معکوس زمان تناوب موثر T_D سازه‌ی جداسازی‌شده انجام گیرد.

اگر از نمونه‌هایی با مقیاس کاهش یافته یعنی کوچک‌تر از نمونه واقعی برای اندازه گیری خصوصیات وابسته به نرخ بارگذاری جداسازها استفاده شود، این نمونه‌های با مقیاس کاهش یافته باید از نوع، مصالح و ساخته‌شده تحت روند و کیفیتی مشابه با نمونه‌های واقعی بوده و باید در فرکانسی آزمایش شوند که نشان‌دهنده‌ی نرخ بارگذاری نمونه‌ی واقعی باشد.

در صورتی‌که در دو حالت زیر اگر بیش از ۱۰٪ ± در سختی موثر یک جداساز (در تغییرمکان طراحی) اختلاف باشد، خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان یک جداساز باید وابسته به نرخ بارگذاری در نظرگرفته شود.

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

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

۱۰-۲-۹-۲-۶- جداسازهای با خصوصیات وابسته به بارگذاری در دو امتداد

اگر خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان جداسازها وابسته به بارگذاری در دو امتداد باشد، آنگاه مقدار آزمایش‌های ذکرشده در بندهای (۱۰-۲-۹-۲-۳) و (۱۰-۲-۹-۲-۵) باید به نحو زیر افزایش داده شود. از یک امتداد بارگذاری متناظر با کل تغییرمکان طراحی همان امتداد و از امتداد دیگر بارهایی متناظر با ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ برابر کل تغییرمکان طراحی امتداد دیگر در چهار حالت مختلف 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 نوع، مصالح و ساخته شده تحت روند و کیفیتی مشابه با نمونه‌های واقعی باشند.

هرگاه با بررسی منحنی نیرو- تغییرمکان در دو امتداد و در یک امتداد، بیش از ۰/۱۵± اختلاف در سختی موثر نظیر تغییرمکان طراحی بین این دو حالت مشاهده شود، خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان جداساز باید وابسته به بارگذاری در دو امتداد منظور شود.

۱۰-۲-۹-۲-۷- حداکثر و حداقل بار قائم

جداسازهایی که بار قائم را تحمل می‌کنند باید به طور استاتیکی تحت حداکثر و حداقل بار قائم در تراز کل تغییرمکان حداکثر آزمایش شوند. در این آزمایش‌ها، ترکیب بار قائم $1.2Q_D + Q_L + |Q_E|$ باید به عنوان حداکثر بار قائم و ترکیب بار قائم $0.8Q_D - |Q_E|$ باید به عنوان حداقل بار قائم روی هر جداساز از یک نوع و اندازه در نظرگرفته شود. بار قائم زلزله روی یک جداساز مشخص، Q_E، باید براساس حداکثر واکنش ساختمان ناشی از زلزله سطح خطر ۲ محاسبه شود.

۱۰-۲-۹-۲-۸- سامانه‌های فیوزی در برابر باد

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

۱۰-۲-۹-۲-۹- آزمایش روی واحدهای مشابه

آزمایش یک نمونه‌ی جداساز در حالتی که این نمونه در مقایسه با نمونه‌ی آزمایش شده‌ی دیگری شرایط زیر را دارا 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.

معافیت از آزمایش باید توسط تیم بازبینی‌کننده طبق بند (۱۰-۲-۸) تایید شود.

۱۰-۲-۹-۳- تعیین خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان

خصوصیات منحنی نیرو- تغییرمکان سامانه جداساز باید براساس آزمایش‌های بارگذاری چرخه‌ای نمونه‌های جداساز مشخص شده در بند (۱۰-۲-۹-۲-۳) صورت گیرد.

سختی موثر هر واحد جداساز، K_{eff}، در هر چرخه‌ی تغییرشکلی باید توسط معادله‌ی (۱۰-۱۲) محاسبه شود.

$$K_{eff} = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \qquad (۱۰-۱۲)$$

در رابطه‌ی فوق F^+ و F^-، نیرو در سامانه جداساز در تغییرمکان‌های نظیر Δ^+ و Δ^- می‌باشد.

میرایی موثر هر واحد جداساز، β_{eff} باید برای هر چرخه تغییرشکلی از معادله (۱۰-۱۳) محاسبه شود.

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi}\left[\frac{E_{loop}}{K_{eff}\left[|\Delta^+| + |\Delta^-|\right]^2}\right] \qquad (۱۰-۱۳)$$

در رابطه فوق E_{loop} عبارت است از انرژی تلف شده در هر چرخه و K_{eff} منحنی موثر می‌باشد. این مقادیر هنگامی که تغییرمکان‌ها در آزمایش برابر Δ^+ و Δ^- هستند محاسبه می‌شوند.

۱۰-۲-۹-۴- کفایت سامانه

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

الف- منحنی نیرو- تغییرمکان در تمامی آزمایش‌های مشخص شده در بند (۱۰-۲-۹-۲) نشان دهنده نمو غیر منفی در ظرفیت باربری باشد.

ب- در هر نمو تغییرمکان در آزمایش مشخص شده در بند (۱۰-۲-۹-۲-۳)، ردیف ب و به‌ازای هر حالت ترکیب بار قائم ذکر شده در بند (۱۰-۲-۹-۲-۳)، معیارهای زیر برآورده شود.

ب-۱- اختلافی بیش از ۱۵٪ ± بین سختی‌های موثر در هر یک 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- در سختی موثر اولیه هر نمونه آزمایشی در تعداد چرخه‌ای برابر با $\frac{30S_{x1}}{S_{xs}B_1}$ (حداقل ۱۰ چرخه) در آزمایش مشخص شده در ردیف پ از بند (۱۰-۲-۹-۲-۳) بیش از ۲۰٪ ± تغییر نباشد. S_{x1} و S_{xs} باید مربوط به زلزله طرح باشند.

ت- در میرایی موثر اولیه نمونه در تعداد چرخه‌ای برابر با $\frac{30S_{x1}}{S_{xs}B_1}$ (حداقل ۱۰ چرخه) در آزمایش مشخص شده در ردیف ت از بند (۱۰-۲-۹-۲-۳) بیش‌تر از ۲۰٪ کاهش نباشد. S_{x1} و S_{xs} باید مربوط به زلزله‌ی طرح باشند.

ث- کلیه نمونه‌های مربوط به اجزای باربر قائم سامانه جداساز به ازای کل تغییرمکان حداکثر تحت بار استاتیکی ذکرشده در بند (۱۰-۲-۹-۲-۶) پایدار بمانند.

ج- سختی موثر و میرایی موثر نمونه‌های آزمایشی، در محدوده‌ی مشخص شده توسط طراح، قرار گیرند.

۱۰-۲-۹-۵- مشخصات طراحی سامانه جداساز

۱۰-۲-۹-۵-۱- حداکثر و حداقل سختی موثر

حداکثر و حداقل سختی موثر سامانه جداساز به‌ازای تغییرمکان طرح، K_{Dmax} و K_{Dmin} باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای مذکور در بند (۱۰-۲-۹-۲) و طبق روابط (۱۰-۱۴) و (۱۰-۱۵) محاسبه شود.

$$K_{Dmax}=\frac{\sum\left|F_D^+\right|_{max}+\sum\left|F_D^-\right|_{max}}{2D_D} \qquad (۱۰-۱۴)$$

$$K_{Dmin}=\frac{\sum\left|F_D^+\right|_{min}+\sum\left|F_D^-\right|_{min}}{2D_D} \qquad (۱۰-۱۵)$$

در تراز تغییرمکان حداکثر، بیش‌ترین و کم‌ترین سختی موثر سامانه جداساز باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای بند (۱۰-۲-۹-۲) و روابط (۱۰-۱۶) و (۱۰-۱۷) محاسبه شود.

$$K_{M\max} = \frac{\sum\left|F_M^{+}\right|_{\max} + \sum\left|F_M^{-}\right|_{\max}}{2D_M} \qquad (۱۶-۱۰)$$

$$K_{M\min} = \frac{\sum\left|F_M^{+}\right|_{\min} + \sum\left|F_M^{-}\right|_{\min}}{2D_M} \qquad (۱۷-۱۰)$$

۱۰-۲-۹-۵-۲- میرایی موثر

میرایی موثر سامانه جداساز در تراز تغییرمکان طرح، β_D باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای بند (۱۰-۲-۹-۲) و با استفاده از رابطه (۱۰-۱۸) محاسبه شود.

$$\beta_D = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{\sum E_D}{K_{D\max} D_D^2}\right] \qquad (۱۸-۱۰)$$

در رابطه (۱۰-۱۸) کل انرژی تلف شده در سامانه جداساز در هر چرخه‌ی تغییر مکانی، $\sum E_D$، باید برابر مجموع انرژی تلف شده در تمامی جداسازها در هر چرخه از آزمایشی که در آن Δ^+ و Δ^- برابر با تغییرمکان طرح D_D گرفته شده‌است به‌دست آید.

میرایی موثر سامانه جداساز در تغییر مکانی برابر تغییرمکان حداکثر، β_M باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای بند (۱۰-۲-۹-۲) و طبق رابطه (۱۰-۱۹) محاسبه شود.

$$\beta_M = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{\sum E_M}{K_{M\max} D_M^2}\right] \qquad (۱۹-۱۰)$$

در رابطه (۱۰-۱۹) کل انرژی تلف شده در سامانه جداساز در هر چرخه تغییر مکانی، $\sum E_M$، باید برابر با مجموع انرژی تلف شده در کلیه‌ی جداسازها در هر چرخه از آزمایشی که در آن Δ^+ و Δ^- برابر با تغییرمکان حداکثر D_M گرفته شده است، به‌دست آید.

۱۰-۳- سامانه‌های اتلاف انرژی

۱۰-۳-۱- ضوابط کلی

سامانه های اتلاف انرژی که به صورت وابسته به تغییر مکان، وابسته به سرعت یا صورت‌های دیگر طبق بند (۱۰-۳-۳) دسته‌بندی می‌شوند، باید با ضوابط این بخش سازگار باشند. تحلیل به روش خطی و غیرخطی هرجا لازم باشد باید به‌ترتیب طبق بند (۱۰-۳-۴) و (۱۰-۳-۵) انجام شود. ضوابط تکمیلی مربوط به سامانه‌های اتلاف انرژی که در بند (۱۰-۳-۶) تعریف‌شده نیز باید برآورده شود. سامانه‌های اتلاف انرژی باید طبق بندهای (۱۰-۳-۷) و (۱۰-۳-۸) به ترتیب بازبینی و آزمایش شوند.

وسایل اتلاف انرژی باید با درنظرگرفتن شرایط محیطی شامل باد، آثار گذشت زمان (سن)، خزش، خستگی، دمای محیط، دمای حین بهره‌برداری و مجاورت با رطوبت یا مواد مضر طراحی شوند.

در مدل ریاضی ساختمان بهسازی‌شده باید توزیع وسایل اتلاف انرژی در پلان و در ارتفاع ساختمان در نظر گرفته شود. در تحلیل باید وابستگی این وسایل به فرکانس ارتعاش، دمای محیطی و بهره برداری، سرعت، بارهای وارده و در دو امتداد بودن بارها به حساب آورده شود. با انجام چندین تحلیل روی ساختمان باید حدود آثار تغییر هریک از مشخصات مکانیکی این وسایل تعیین شود.

وسایل اتلاف انرژی باید قادر به تحمل تغییرمکان‌های بزرگ‌تر (برای وسایل وابسته به تغییر مکان) و سرعت‌های بزرگ‌تر (برای وسایل وابسته به سرعت) از حداکثر نظیر، محاسبه‌شده تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ طبق معیارهای زیر باشند.

الف- اگر تعداد وسایل اتلاف انرژی در یک طبقه‌ی مفروض و در یک جهت اصلی ساختمان چهار یا بیش‌تر بوده و حداقل دو وسیله در هر سمت مرکز صلبیت طبقه در جهت موردنظر قرار داشته باشد، کلیه‌ی وسایل اتلاف انرژی باید قادر به تحمل تغییرمکان‌هایی برابر با ۱۳۰٪ حداکثر تغییرمکان محاسبه‌شده برای آن وسیله تحت زلزله سطح خطر ۲ باشند. هر وسیله‌ی وابسته به سرعت که در بند (۱۰-۳-۳) تعریف شده نیز باید قادر به تحمل نیروی متناظر با سرعتی برابر با ۱۳۰٪ حداکثر سرعت محاسبه‌شده برای این وسیله تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ باشد.

ب- اگر کم‌تر از چهار عدد وسیله‌ی اتلاف انرژی در یک طبقه‌ی مفروض و در یک جهت اصلی ساختمان موجود بوده، یا کم‌تر از دو وسیله در هر سمت مرکز صلبیت طبقه در امتداد مورد بررسی واقع باشد، کلیه‌ی وسایل اتلاف انرژی باید قادر به تحمل تغییرمکان‌هایی برابر با ۲۰۰٪ حداکثر تغییرمکان محاسبه‌شده در آن وسیله تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ باشند. اگر وسیله وابسته به سرعت باشد نیز باید قادر به تحمل نیروی متناظر با سرعتی برابر با ۲۰۰٪ حداکثر سرعت محاسبه شده برای این وسیله تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ باشد.

اجزا و اتصالاتی که نیروها را بین وسایل اتلاف انرژی انتقال می‌دهند باید طوری طراحی شوند که به ازای نیروهای توصیف شده در ردیف‌های الف و ب بالا در محدوده ارتجاعی خطی باقی بمانند.

۱۰-۳-۲- به‌کارگیری وسایل اتلاف انرژی

وسایل اتلاف انرژی باید طبق ضوابط فصل‌های ۱ تا ۳ با در نظر گرفتن اصلاحات ذکرشده در بخش‌های بعدی این فصل به‌کار گرفته شوند.

۱۰-۳-۳- مدل‌سازی وسایل اتلاف انرژی

وسایل وابسته به تغییرمکان مشتمل بر وسایلی هستند که رفتار چرخه‌ای صلب- خمیری (وسایل اصطکاکی)، دوخطی (وسایل فلزی جاری شونده)، یا سه‌خطی از خود نشان دهند. پاسخ وسایل وابسته به تغییرمکان باید مستقل از سرعت و فرکانس ارتعاش باشد. وسایل وابسته به سرعت مشتمل بر وسایل لزج-ارتجاعی جامد، لزج-ارتجاعی مایع و وسایل لزج مایع می‌شوند. وسایلی که نه در رده‌ی وسایل وابسته به تغییرمکان و نه در رده‌ی وسایل وابسته به سرعت قرار می‌گیرند، در رده‌ی «سایر وسایل» خواهند بود.

در مدل‌های سامانه اتلاف انرژی باید سختی اجزای سازه‌ای که بخشی از مسیر انتقال بار بین وسایل اتلاف انرژی و زمین هستند و انعطاف‌پذیری آن‌ها بر عملکرد سامانه اتلاف انرژی تاثیر می‌گذارد، شامل اجزای پی، مهاربندهایی که با وسایل اتلاف انرژی به صورت سری کار می‌کنند و اتصالات بین مهاربندها و وسایل اتلاف انرژی، درنظرگرفته شود.

وسایل اتلاف انرژی باید به صورتی‌که در بندهای بعدی ذکر می‌شود مدل شوند، مگـر اینکـه از روش‌هـای تاییدشـده‌ی دیگـری استفاده شود.

۱۰-۳-۳-۱- وسایل وابسته به تغییر مکان

یک وسیله‌ی وابسته به تغییرمکان باید رابطه‌ی نیرو- تغییرمکانی از خود نشان بدهد که تابعی از تغییرمکان نسبی بین دو انتهـای وسیله باشد. پاسخ یک وسیله‌ی وابسته به تغییرمکان باید مستقل از سرعت نسبی بین دو انتهای وسیله و فرکانس ارتعاش باشد.

وسایل وابسته به تغییرمکان باید با جزییات کافی مدل‌سازی شوند به طوری‌که منحنی نیـرو- تغییرمکـان آن‌هـا بـه طـور کامـل درنظرگرفته شود و نیز در صورت وجود اندرکنش نیروی محوری با برش و خمش یا وجود تغییرشکل دوطرفه این موارد نیز به حساب آید.

برای ارزیابی واکنش یک وسیله‌ی وابسته به تغییرمکان براساس اطلاعات آزمایشـگاهی، نیـروی موجـود در آن بایـد از رابطـه‌ی (۱۰-۲۰) محاسبه شود.

$$F = K_{eff} D \qquad (۱۰-۲۰)$$

که در آن سختی موثر وسیله، K_{eff}، توسط رابطه‌ی (۱۰-۲۱) به‌دست می‌آید.

$$K_{eff} = \frac{\left|F^{+}\right| + \left|F^{-}\right|}{\left|D^{+}\right| + \left|D^{-}\right|} \qquad (۱۰-۲۱)$$

نیروهای موجود در وسیله که F^{+} و F^{-} می‌باشند، باید به‌ترتیب به‌ازای تغییرمکان‌های D^{+} و D^{-} محاسبه شده باشند.

۱۰-۳-۳-۲- وسایل وابسته به سرعت

۱۰-۳-۳-۲-۱- وسایل لزج- ارتجاعی جامد

وسایل لزج- ارتجاعی جامد باید با استفاده از یک فنر و میراگر موازی (مدل کلوین) مدل‌سازی شوند. وابستگی ثابـت‌هـای فنـر و میرایی وسیله به فرکانس و دما باید با درنظرگرفتن فرکانس اصلی ساختمان بهسازی‌شده (f_1) و حدود دمای کاری وسـیله، محاسـبه شود. اگر واکنش چرخه‌ای یک وسیله‌ی لزج- ارتجاعی جامد را نتوان با تخمین منحصر به فردی از ثابت‌های فنر و میراگر بـه‌دسـت آورد، پاسخ ساختمان بهسازی‌شده را باید با چند بار تحلیل قاب ساختمان با استفاده از مقادیر حدی بالا دست و پایین‌دست ثابت‌هـای فنر و میراگر تخمین زد.

نیروی یک وسیله‌ی لزج- ارتجاعی باید از رابطه‌ی (۱۰-۲۲) محاسبه شود.

$$F = K_{eff} D + C\dot{D} \qquad (۱۰-۲۲)$$

که در آن C ضریب میرایی وسیله‌ی لزج- ارتجاعی، D تغییر مکان نسبی بـین دو انتهـای وسـیله، $\dot{D}$ سـرعت نسـبی بـین دو انتهای وسیله و K_{eff} سختی موثر وسیله است که از رابطه‌ی (۱۰-۲۳) به‌دست می‌آید.

$$K_{eff} = \frac{\left|F^{+}\right| + \left|F^{-}\right|}{\left|D^{+}\right| + \left|D^{-}\right|} = K' \qquad (۱۰-۲۳)$$

که در آن K' سختی ذخیره شده نامیده می‌شود.

ضرایب میرایی وسیله باید از رابطه‌ی (۱۰-۲۴) به‌دست آید.

$$C = \frac{W_D}{\pi \omega_1 D_{ave}^2} = \frac{K''}{\omega_1} \qquad (۱۰-۲۴)$$

که در آن K'' سختی تلف شده، ω_1 فرکانس زاویه‌ای برابر با $2\pi f_1$، D_{ave} میانگین مقادیر مطلق تغییرمکان‌های D^+ و D^-، W_D سطح محصورشده توسط یک چرخه‌ی کامل منحنی نیرو- تغییرمکان وسیله می‌باشد.

۱۰-۳-۳-۲-۲- وسایل لزج – ارتجاعی مایع

وسایل لزج- ارتجاعی مایع باید با استفاده از یک فنر و میراگر سری (مدل ماکسول) مدل‌سازی شوند. وابستگی ثابت‌های فنر و میرایی وسیله به فرکانس و دما باید با در نظر گرفتن فرکانس اصلی ساختمان بهسازی شده (f_1) وحدود دمای کاری وسیله، محاسبه شود. اگر واکنش چرخه‌ای یک وسیله‌ی لزج- ارتجاعی مایع را نتوان با تخمین منحصر به فردی از ثابت های فنر و میراگر به‌دست آورد، پاسخ ساختمان بهسازی‌شده را باید با چند بار تحلیل قاب ساختمان با استفاده از مقادیر حدی بالادست و پایین‌دست ثابت فنر و میراگر تخمین زد.

۱۰-۳-۳-۲-۳- وسایل لزج مایع

میراگرهای خطی لزج مایع که در محدوده‌ی فرکانسی $0.5f_1$ تا $2f_1$ سختی از خود نشان می‌دهند، باید وسیله‌ی لزج 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 رابطه‌ی (۱۰-۲۵) به دست آورد.

$$F = C_0 \left|\dot{D}\right|^{\alpha} \operatorname{sgn}\left[\dot{D}\right] \qquad (۱۰-۲۵)$$

که در آن C_0 ضریب میرایی وسیله، α توان عددی سرعت وسیله، $\dot{D}$ سرعت نسبی بین دو انتهای وسیله، وsgn تابع علامت است که در اینجا علامت جمله‌ی سرعت نسبی را نشان می‌دهد.

۱۰-۳-۳-۳- سایر انواع وسایل

وسایل اتلاف انرژی که نه در رده‌ی وسایل وابسته به تغییرمکان 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- تغییرمکان وسیله در اثر تمامی عوامل بارگذاری شامل آثار ثقلی، لرزه‌ای و حرارتی به دقت تعریف شود.

۱۰-۳-۴- روش‌های خطی

استفاده از روش‌های خطی تنها در صورت برآورده شدن معیارهای زیر مجاز است.

الف- کل سامانه قاب‌بندی ساختمان به جز وسایل اتلاف انرژی تحت سطح خطر انتخابی زلزله با به حساب‌آوردن آثار میرایی اضافه‌شده، به صورت ارتجاعی خطی باقی بماند.

ب- میرایی موثر تامین‌شده توسط عمل اتلاف انرژی در مود اصلی از ۳۰٪ مقدار بحرانی تجاوز ننماید.

پ– سختی هر وسیله‌ی اتلاف انرژی در مدل تحلیلی ساختمان بهسازی‌شده، برابر سختی سکانت در تغییرمکان حداکثر وسیله منظور شود.

ت– در هنگام ارزیابی وضعیت ساختمان از نظر منظم‌بودن، وسایل اتلاف انرژی نیز در مدل تحلیلی در نظر گرفته شده باشند.

ث– مودهای بالاتر تاثیر قابل توجهی بر رفتار سازه نداشته باشند.

۱۰-۳-۴-۱- روش استاتیکی خطی

۱۰-۳-۴-۱-۱- وسایل وابسته به تغییر مکان

استفاده از روش استاتیکی خطی برای تحلیل وسایل اتلاف انرژی وابسته به تغییرمکان به شرطی مجاز است که علاوه بر ضوابط بند (۱۰-۳-۴)، ضوابط زیر نیز برآورده شوند.

الف– نسبت حداکثر مقاومت در هر طبقه و در جهت مورد بررسی، به برش طبقه‌ای که بر مبنای رابطه‌ی (۳-۱۱) قابل محاسبه می‌باشد، باید بین ۸۰٪ و ۱۲۰٪ مقدار میانگین همین نسبت برای تمامی طبقات باشد. در محاسبه‌ی حداکثر مقاومت طبقه باید مشارکت کلیه‌ی اجزا از جمله وسایل اتلاف انرژی درنظرگرفته شود.

ب– حداکثر مقاومت تمامی وسایل اتلاف انرژی در یک طبقه و در جهت مورد بررسی، نباید از ۵۰٪ مقاومت بقیه‌ی قاب (بدون این وسایل) در طبقه بیش‌تر باشد. این مقاومت باید به ازای تغییرمکان‌های مورد انتظار تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ محاسبه شود. آثار سن و محیط باید در محاسبه‌ی حداکثر مقاومت وسایل اتلاف انرژی محسوب شود.

بار جانبی استاتیکی معادل حاصل از رابطه (۳-۵) باید توسط ضرایب اصلاح برای میرایی موجود در جدول (۱۰-۱) کاهش داده شود تا اتلاف انرژی (میرایی) تامین‌شده توسط وسایل اتلاف انرژی به حساب آید. اثر میرایی باید توسط رابطه‌ی (۱۰-۲۶) محاسبه شود.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_K} \qquad (۱۰-۲۶)$$

که در آن β عبارت است از میرایی سیستم قاب‌بندی ساختمان که باید مساوی ۵٪ فرض شود مگر اینکه میرایی دیگری مورد نظر باشد، W_j عبارت است از کار انجام شده توسط وسیله‌ی j –اُم در یک چرخه کامل تحت تغییرمکان‌های δ_i کف‌های طبقات، عمل جمع‌زدن روی کلیه‌ی وسایل j انجام می‌گیرد، و W_K حداکثر انرژی کرنشی قاب است که از رابطه‌ی (۱۰-۲۷) به‌دست می‌آید.

$$W_K = \frac{1}{2}\sum_i F_i \delta_i \qquad (۱۰-۲۷)$$

که در آن F_i نیروی اینرسی در کف طبقه‌ی i اُم بوده و عمل جمع روی کلیه‌ی کف‌های i انجام می‌گیرد.

۱۰-۳-۴-۱-۲- وسایل وابسته به سرعت

استفاده از روش استاتیکی خطی برای تحلیل وسایل اتلاف انرژی وابسته به سرعت مجاز است به شرط اینکه علاوه بر ضوابط بند (۱۰-۳-۴)، ضوابط زیر نیز برآورد شوند.

الف- حداکثر مقاومت تمامی وسایل اتلاف انرژی در یک طبقه و در جهت مورد بررسی نباید از ۵۰٪ مقاومت بقیه‌ی قاب بیشتر باشد. این مقاومت باید به‌ازای تغییر مکان‌های مورد انتظار تحت زلزله‌ی سطح خطر ۲ محاسبه شود. آثار سن و محیط باید در محاسبه‌ی حداکثر مقاومت وسایل اتلاف انرژی درنظرگرفته شود.

ب- بار جانبی استاتیکی معادل حاصل از رابطه‌ی (۳-۵) باید توسط ضرایب اصلاح برای میرایی حاصل از جدول (۱۰-۱) کاهش داده شود تا اتلاف انرژی (میرایی) تامین‌شده توسط وسایل اتلاف انرژی به حساب آید. اثر میرایی باید از رابطه‌ی (۱۰-۲۸) محاسبه شود.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_K} \qquad (۱۰-۲۸)$$

که در آن β عبارت است از میرایی قاب سازه‌ای که باید مساوی ۵٪ فرض شود مگر آنکه میرایی دیگری موردنظر باشد، W_j کار انجام‌شده توسط وسیله j -اُم در یک چرخه‌ی کامل به‌ازای تغییرمکان‌های δ_i کف‌های ساختمان است، عمل جمع روی تمامی وسایل انجام می‌گیرد و W_K حداکثر انرژی کرنشی قاب می‌باشد که از رابطه‌ی (۱۰-۲۷) به‌دست می‌آید.

کار انجام شده توسط وسیله‌ی خطی لزج j -اُم در یک چرخه‌ی کامل بارگذاری را باید توسط معادله (۱۰-۲۹) محاسبه کرد.

$$W_j = \frac{2\pi^2}{T} C_j \delta_{rj}^2 \qquad (۱۰-۲۹)$$

که در آن T زمان تناوب اصلی ساختمان بهسازی شده است که در محاسبه‌ی آن سختی وسایل وابسته به سرعت نیز محسوب شده است، C_j ثابت میرایی وسیله‌ی j اُم و δ_{rj} تغییرمکان نسبی بین دو انتهای وسیله‌ی j اُم در امتداد محور این وسیله می‌باشد.

محاسبه میرایی موثر با استفاده از رابطه (۱۰-۳۰) به جای رابطه (۱۰-۲۸) برای وسایل خطی لزج مجاز می‌باشد.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{T\sum_j C_j \cos^2\theta_j \phi_{rj}^2}{4\pi \sum_i \left[\frac{W_i}{g}\right]\phi_i^2} \qquad (۱۰-۳۰)$$

که در آن θ_j زاویه‌ی شیب وسیله‌ی j اُم با افق، ϕ_{rj} تغییرمکان نسبی بین دو انتهای وسیله‌ی j اُم در مود اول درجهت افقی، W_i وزن (موجود) طبقه‌ی i اُم، ϕ_i تغییرمکان طبقه‌ی i اُم در مود اول بوده و سایر نمادها قبلاً تعریف شده‌اند.

۱۰-۳-۴-۱-۳- نیروهای داخلی طرح

نیروهای داخلی برای طراحی ساختمان بهسازی‌شده باید در سه مرحله‌ی مجزای تغییرشکلی، به ترتیب زیر محاسبه شوند. از بین این مقادیر، حداکثر را باید برای طراحی به‌کار برد.

الف- در مرحله‌ی حداکثر تغییرمکان نسبی (رانش): نیروهای جانبی در هر تراز از ساختمان باید با استفاده از رابطه‌ی (۳-۱۱) محاسبه شوند که درآن V برش پایه اصلاح‌شده‌ی معادل می‌باشد.

ب- در مرحله‌ی سرعت حداکثر و تغییرمکان نسبی صفر: مؤلفه‌ی لزجی نیرو در هر وسیله‌ی اتلاف انرژی باید با استفاده از روابط (۱۰-۲۲) یا (۱۰-۲۵) محاسبه شود که در آن سرعت نسبی $\dot{D}$ برابر $2\pi f_1 D$ و D تغییرمکان نسبی بین دو انتهای وسیله می‌باشد که در هر مرحله حداکثر تغییرمکان نسبی محاسبه شده است. نیروهای لزجی محاسبه شده باید به مدل تحلیلی ساختمان در نقاط

اتصال وسایل و در جهات سازگار با فرم تغییرشکل یافته‌ی ساختمان در هنگام حداکثر تغییرمکان نسبی اعمال شود. نیروهای افقی اینرسی در تراز هر کف ساختمان باید هم‌زمان با نیروهای لزجی اعمال شوند به طوری‌که تغییرمکان افقی هر یک از کف‌ها برابر صفر شود.

پ- در مرحله‌ی ایجاد حداکثر شتاب در کف طبقه: نیروهای داخلی طراحی اجزای ساختمان بهسازی‌شده باید با جمع‌زدن نیروهای داخلی محاسبه شده در مرحله‌ی حداکثر تغییرمکان نسبی ضرب‌در CF_1 رابطه (۱۰-۳۱) و نیروهای داخلی محاسبه شده در مرحله‌ی حداکثر سرعت ضرب‌در CF_2 رابطه (۱۰-۳۲) به‌دست آیند.

$$CF_1 = \cos\left[\tan^{-1}(2\beta_{eff})\right] \qquad (۱۰-۳۱)$$

$$CF_2 = \sin\left[\tan^{-1}(2\beta_{eff})\right] \qquad (۱۰-۳۲)$$

که در آن β_{eff} توسط رابطه (۱۰-۲۸) یا (۱۰-۳۰) تعریف می‌شود.

۱۰-۳-۴-۲- روش دینامیکی خطی

اگر روش دینامیکی خطی براساس ضوابط بند (۱۰-۲-۳-۳) و بخش (۳-۲-۱) انتخاب شود، از روش دینامیکی خطی ذکرشده در بند (۳-۳-۴) به جز موارد اصلاح‌شده دراین بخش باید استفاده شود.

استفاده از روش طیف پاسخ هنگامی‌که میرایی موثر در مود اصلی ساختمان بهسازی شده در هر جهت اصلی از ۳۰٪ مقدار بحرانی تجاوز نمی‌کند، مجاز می‌باشد.

۱۰-۳-۴-۲-۱- وسایل وابسته به تغییرمکان

اعمال روش دینامیکی خطی برای تحلیل ساختمان‌های بهسازی‌شده دارای وسایل وابسته به تغییرمکان باید با محدودیت‌های ذکرشده در بند (۱۰-۳-۴-۱-۱) سازگار باشد.

برای تحلیل به روش طیف پاسخ، اصلاح طیف پاسخ با ۵٪ میرایی برای احتساب میرایی تامین‌شده توسط وسایل اتلاف انرژی وابسته به تغییرمکان 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 با استفاده از جدول (۱۰-۱) و میرایی موثر محاسبه شده در آن مود تعیین شود. میرایی موثر باید با استفاده از روشی مشابه با آنچه که در بند (۱۰-۳-۴-۱-۱) ذکر شده محاسبه شود.

اگر حداکثر نیروی برش پایه محاسبه شده توسط تحلیل دینامیکی کم‌تر از ۸۰٪ برش پایه اصلاح شده معادل ذکر شده در بند (۱۰-۳-۴-۱) باشد، نیروهای داخلی و تغییرشکل‌های اعضا باید همگی به یک نسبت افزایش داده شود تا برش پایه‌ی حاصل برابر ۸۰٪ برش پایه اصلاح شده‌ی معادل شود.

۱۰-۳-۴-۲-۲- وسایل وابسته به سرعت

برای تحلیل به روش طیف پاسخ، اصلاح طیف پاسخ با ۵٪ میرایی به منظور احتساب میرایی تامین‌شده توسط وسایل اتلاف انرژی وابسته به سرعت مجاز می‌باشد. مقادیر طیف شتاب با ۵٪ میرایی باید توسط ضریب اصلاح برای میرایی مودی B برابر با B_s

یا B_1 برای زمان تناوب‌های محدوده‌ی مود مورد بررسی کاهش داده شود که مقدار B برای هر مود ارتعاشی متفاوت خواهد بود. در این مورد مقدار B برابر B_s منظور می‌گردد هرگاه زمان‌تناوب مود مورد نظر کمتر از T_s باشد و برابر B_1 خواهد بود اگر زمان‌تناوب مورد نظر از T_s بزرگتر باشد. مقدار T_s از بخش (۱-۷) محاسبه می‌شود و مقادیر B_s و B_1 برای میرایی در هر مود مهم باید با استفاده‌از جدول (۱۰-۱) و بر اساس میرایی موثر محاسبه شده در آن مود تعیین شود. میرایی موثر در مود m -اُم ارتعاش (β_{eff-m}) باید طبق رابطه (۱۰-۳۳) تعیین شود.

$$\beta_{eff-m} = \beta_m + \frac{\sum_j W_{mj}}{4\pi W_{mk}} \qquad (۱۰-۳۳)$$

که در آن β_m عبارت است از میرایی مود m -اُم در قاب ساختمان، W_{mj} کار انجام شده توسط وسیله‌ی j در یک چرخه‌ی کامل تحت تغییرمکان‌های مودال طبقات δ_{mi}، W_{mk} حداکثر انرژی کرنشی قاب در مود m -اُم است که توسط رابطه‌ی (۱۰-۳۴) تعیین می‌شود.

$$W_{mk} = \frac{1}{2}\sum_i F_{mi}\delta_{mi} \qquad (۱۰-۳۴)$$

که در آن F_{mi} و δ_{mi} به ترتیب نیروی اینرسی افقی و تغییرمکان افقی مود m -اُم در تراز کف i -اُم می‌باشد. کار انجام‌شده توسط وسیله‌ی لزج خطی j در یک چرخه‌ی کامل بارگذاری در مود m -اُم را می‌توان از رابطه‌ی (۱۰-۳۵) محاسبه نمود.

$$W_{mj} = \frac{2\pi^2}{T_m} C_j \delta_{mrj}^{\ 2} \qquad (۱۰-۳۵)$$

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

علاوه بر اعمال مستقیم روش طیف پاسخ مطابق با این بخش برای دستیابی به نیروهای داخلی اعضا در حداکثر تغییرمکان نسبی، نیروهای داخلی اعضا در حداکثر سرعت و حداکثر شتاب در هر مود مهم باید با استفاده از روش ذکرشده در بند (۱۰-۳-۴-۱-۲) تعیین شود. ضرایب ترکیب CF_1 و CF_2 باید براساس روابط (۱۰-۳۱) و (۱۰-۳۲) با استفاده از β_{eff-m} برای مود m -اُم محاسبه شود.

اگر حداکثر نیروی برش پایه‌ی محاسبه‌شده توسط تحلیل دینامیکی کم‌تر از ۸۰٪ برش پایه‌ی اصلاح شده‌ی معادل طبق بند (۱۰-۳-۴-۱) باشد، نیروهای داخلی و تغییرشکل‌های اعضا باید همگی به یک نسبت افزایش داده شوند به طوری که برش پایه‌ی حاصل به ۸۰٪ برش پایه‌ی اصلاح شده‌ی معادل برسد.

۱۰-۳-۵- روش‌های غیرخطی

۱۰-۳-۵-۱- روش استاتیکی غیرخطی

اگر روش استاتیکی غیرخطی طبق ضوابط بند (۱۰-۲-۳- ۳) و بخش (۳-۲-۱) انتخاب شود، روش استاتیکی غیرخطی بند (۳-۴-۳) به‌جز موارد اصلاح شده در این بند باید دنبال شود. مدل تحلیلی غیرخطی ساختمان بهسازی شده باید به طور صریح

دربرگیرنده‌ی مشخصات منحنی‌های غیرخطی نیرو- سرعت- تغییرمکان وسایل اتلاف انرژی و مشخصات مکانیکی اجزای تکیه‌گاهی این وسایل باشد. مشخصات سختی مربوط باید سازگار با تغییرشکل‌های موجود در تغییرمکان هدف و فرکانسی برابر با معکوس زمان تناوب T_e که در بند (۳-۴-۳-۱) تعریف شده باشد.

مدل تحلیلی غیرخطی ساختمان بهسازی شده باید دربرگیرنده‌ی مشخصات منحنی‌های غیرخطی نیرو- سرعت- تغییرمکان وسایل اتلاف انرژی و مشخصات مکانیکی اجزای تکیه‌گاهی این وسایل باشد. وسایل اتلاف انرژی با سختی و میرایی وابسته به فرکانس ارتعاش و درجه حرارت باید با مشخصاتی مدل شود که آن مشخصات با شرایط زیر سازگار باشد.

الف- تغییرشکل‌های مورد انتظار در تغییرمکان هدف؛

ب- فرکانس برابر با عکس زمان تناوب موثر.

برای محاسبه‌ی تغییرمکان هدف باید از رابطه‌ی (۳-۱۷) استفاده شود.

۱۰-۳-۵-۱-۱- وسایل وابسته به تغییرمکان

مشخصات سختی وسایل اتلاف انرژی باید در مدل تحلیلی درنظرگرفته شود.

۱۰-۳-۵-۱-۲- وسایل وابسته به سرعت

تغییرمکان هدف و شتاب طیفی در رابطه‌ی (۳-۱۷) باید به منظور احتساب میرایی اضافه‌شده توسط وسایل اتلاف انرژی وابسته به سرعت کاهش داده شود. میرایی موثر باید طبق رابطه‌ی (۱۰-۳۶) محاسبه شود.

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{\sum_j W_j}{4\pi W_K} \qquad (۱۰-۳۶)$$

که در آن β میرایی قاب ساختمان است که باید مساوی ۵٪ فرض شود. مگر آنکه میرایی دیگری موردنظر باشد، W_j کار انجام شده توسط وسیله‌ی j -اُم در یک چرخه کامل به‌ازای تغییرمکان‌های δ_i طبقات ساختمان است، عمل جمع روی کل وسایل j صورت می‌گیرد، W_k حداکثر انرژی کرنشی قاب است که طبق معادله‌ی (۱۰-۲۷) محاسبه می‌شود.

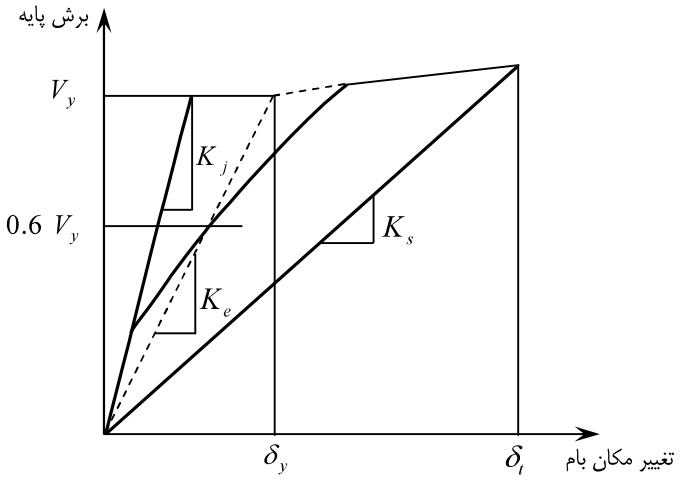
کار انجام‌شده توسط وسیله‌ی j -اُم در یک چرخه‌ی کامل بارگذاری باید براساس رابطه‌ی (۱۰-۳۷) محاسبه شود.

$$W_j = \frac{2\pi^2}{T_s} C_j \delta_{rj}^2 \qquad (۱۰-۳۷)$$

که در آن T_s، زمان تناوب اصلی سکانت ساختمان بهسازی شده است که در محاسبه‌ی آن سختی وسایل وابسته به سرعت (اگر موجود باشند) باید منظور شود. این زمان تناوب با استفاده از رابطه‌ی (۳-۱۶) محاسبه می‌شود که در آن سختی موثر، K_e، با سختی سکانت، K_s، در تغییرمکان هدف جایگزین می‌شود. مقادیر اخیر در شکل (۱۰-۱) نشان داده شده است. C_j، ثابت میرایی وسیله‌ی j -اُم بوده و δ_{rj}، تغییرمکان نسبی بین دو انتهای وسیله‌ی j -اُم در امتداد محور وسیله‌ی j -اُم به‌ازای تغییرمکان بام در تغییرمکان هدف می‌باشد.

معیارهای پذیرش بند (۳-۶-۲) در مورد ساختمان‌هایی که دارای وسایل اتلاف انرژی هستند نیز صادق است. در کنترل نیروهای داخلی که به‌ازای آن‌ها رفتار عضو تغییرمکان‌کنترل است باید از تغییرشکل‌های ایجادشده به ازای تغییرمکان هدف استفاده کرد. در

کنترل نیروهای داخلی که به ازای آن‌ها رفتار عضو نیروکنترل است باید نیروهای داخلی به‌دست آمده در سه حالت حدی زیر را مورد استفاده قرار داد: حداکثر تغییرمکان نسبی، حداکثر سرعت و حداکثر شتاب. حداکثر نیروهای به‌دست آمده را باید در طراحی مورد استفاده قرار داد. آثار مودهای بالاتر باید به‌دقت ارزیابی شود.



شکل (۱۰-۱) : محاسبه‌ی سختی سکانت، K_s

۱۰-۳-۵-۲-روش دینامیکی غیرخطی

اگر روش دینامیکی غیرخطی طبق ضوابط بند (۱۰-۲-۳-۳) و بخش (۳-۲-۱) انتخاب شود، باید از تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی آن‌گونه که در بند (۳-۴-۴) بیان شده است، استفاده کرد به جز مواردی که در این بند اصلاح می‌شود.

الف- 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)، تغییرشکل (یا کرنش)، سرعت، بارهای وارده و در دو امتداد بودن بارها بستگی داشته باشد، این وابستگی باید با فرض مقادیر حدی بالادست و پایین‌دست مشخصات مربوط برای یافتن حدود نتایج در تحلیل در نظرگرفته شود.

ب- نیروهای لزجی در وسایل اتلاف انرژی وابسته به سرعت باید در محاسبه‌ی نیروهای داخلی و تغییرشکل‌های طراحی درنظر گرفته شود. جایگزینی آثار لزجی در وسایل اتلاف انرژی با میرایی کلی سازه در تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی مجاز نمی‌باشد.

۱۰-۳-۶- ضوابط تفصیلی سامانه‌ها

۱۰-۳-۶-۱- کلیات

سامانه اتلاف انرژی و بقیه‌ی سامانه باربر جانبی باید با ضوابط تکمیلی داده‌شده در این بند سازگار باشند.

۱۰-۳-۶-۲- دمای کاری

در تحلیل یک ساختمان بهسازی شده باید تغییرات منحنی نیرو- تغییرمکان وسایل اتلاف انرژی ناشی از تغییر دمای محیط و افزایش دمای حاصل از ارتعاشات چرخه‌ای در زلزله درنظرگرفته شود. عمل تحلیل باید چند بار انجام شود تا حدود بالا و پایین مقادیر پاسخ ساختمان در طی زلزله‌ی طرح مشخص شده و نیز حدود پاسخ قابل قبول وسایل و نمونه‌های آزمایشی آن‌ها تعریف شود.

۱۰-۳-۶-۳- شرایط محیطی

علاوه بر درنظرگرفتن ضوابط مربوط به بارهای قائم و جانبی ناشی از باد و زلزله در طراحی وسایل اتلاف انرژی، باید سایر شرایط محیطی شامل اثرات سن، خزش، خستگی، دمای محیطی و قرارگرفتن در معرض رطوبت و مواد زیان آور را نیز در نظر داشت.

۱۰-۳-۶-۴- نیروی باد

عمر خستگی وسایل اتلاف انرژی و اجزای آن‌ها شامل آب‌بندها در یک وسیله‌ی لزج مایع، باید بررسی‌شده 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.

۱۰-۳-۶-۵- بازرسی و جایگزینی

لازم است امکان دسترسی برای بازرسی و جایگزینی وسایل اتلاف انرژی فراهم شود.

۱۰-۳-۶-۶-کنترل کیفیت ساخت

برنامه‌ای برای کنترل کیفیت تولید وسایل اتلاف انرژی باید توسط طراح تهیه شود. این برنامه باید شامل توصیف روند ساخت وسایل، روش بازرسی و آزمایش‌های لازم برای تضمین کیفیت وسایل تولیدی باشد.

۱۰-۳-۶-۷- نگهداری

طراح باید برنامه‌ی زمان‌بندی بازبینی و آزمایش وسایل اتلاف انرژی را برای تضمین قابلیت اعتماد واکنش وسایل در طول دوره‌ی عمر مفید طراحی آن‌ها تهیه نماید. میزان بازبینی و آزمایش‌های مربوط باید متناسب با مدت زمان طی شده از شروع به‌کارگیری وسایل باشد.

۱۰-۳-۷- بازبینی طرح

۱۰-۳-۷-۱- کلیات

بازبینی طراحی کلیه‌ی ساختمان‌های بهسازی شده‌ای که دارای وسایل اتلاف انرژی هستند باید مطابق با ضوابط بخش‌های (۳-۲) و (۳-۷) صورت پذیرد، به‌جز مواردی که توسط ضوابط این بند اصلاح شده است. بازبینی طراحی سامانه اتلاف انرژی و برنامه‌های آزمایش‌های مربوط باید توسط یک گروه مهندسی مستقل صورت گیرد. این گروه باید متشکل از افراد دارای تجربه در زمینه‌ی تحلیل لرزه‌ای و نظریه و کاربرد روش‌های اتلاف انرژی باشد. موارد زیر باید در بازبینی طرح کنترل شود.

الف- طرح اولیه شامل تعیین ابعاد وسایل؛

ب- آزمایش نمونه‌ها که طبق بند (۱۰-۳-۸-۲) انجام شده است؛

پ- طرح نهایی ساختمان بهسازی‌شده و تحلیل‌های مربوط؛

ت- برنامه‌ی کنترل کیفیت تولید وسایل اتلاف انرژی.

۱۰-۳-۸- آزمایش‌های لازم برای وسایل اتلاف انرژی

۱۰-۳-۸-۱- کلیات

روابط نیرو- تغییرمکان و مقادیر میرایی فرض شده در طراحی سامانه اتلاف انرژی باید توسط آزمایش‌های تشریح شده در این بند قبل از تولید وسایل به منظور نصب در ساختمان تایید شود. اگر آزمایش‌های تجویز شده در این بند قبل از مرحله طراحی پروژه انجام گیرند، باید نتایج آن را در طراحی به‌کار برد.

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

الف- منحنی نیرو- تغییرمکان فرض شده برای وسایل اتلاف انرژی در طراحی را تایید نماید؛

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

این آزمایش‌ها را نباید جایگزین برنامه کنترل کیفیت تولید وسایل طبق بند (۱۰-۳-۶-۶) نمود.

طراح باید معیارهای پذیرش مشخصی را برای مقادیر سختی و میرایی موثر نتیجه شده از آزمایش نمونه‌های اصلی 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.

طراح باید معیارهای پذیرش مشخصی را برای مقادیر سختی و میرایی موثر نتیجه‌شده از آزمایش نمونه‌های تولید طبق بند (۱۰-۳-۶-۶) تهیه نماید. نتایج آزمایش نمونه‌های اصلی باید مبنای معیارهای پذیرش مربوط به آزمایش نمونه‌های تولیدی قرار گیرد مگر اینکه مبنای جایگزینی توسط طراح در مشخصات فنی طرح قید شود. در این معیارهای پذیرش باید تاثیر تاریخچه‌ی بارگذاری روی واکنش هریک از وسایل با مقررداشتن انجام آزمایش روی وسایل تولید قبل از آزمایش نمونه‌های اصلی در نظر گرفته شود.

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

۱۰-۳-۸-۲- آزمایش نمونه‌های اصلی

۱۰-۳-۸-۲-۱- کلیات

آزمایش‌های زیر روی نمونه‌ها باید به طور جداگانه روی دو وسیله در ابعاد واقعی از هر نوع و اندازه‌ای که در طرح به‌کار رفته انجام گیرد. به شرط تایید طراح، برگزیدن نمونه‌هایی با ابعاد و اندازه‌هایی که نماینده ابعاد و اندازه هر نوع از وسایل است برای انجام آزمایش روی نمونه‌ها مجاز می‌باشد. این کار می‌تواند جایگزین انجام آزمایش روی وسایلی از هر نوع و اندازه شود به این شرط که روش‌های ساخت و کنترل کیفیت برای وسایلی از هر نوع و اندازه که در ساختمان بهسازی‌شده به‌کار رفته یکسان باشد.

نمونه‌های آزمایش‌شده را نباید در ساختمان به‌کار برد مگر اینکه توسط طراح به طور کتبی تایید شود.

۱۰-۳-۸-۲-۲- ثبت داده‌ها

رابطه‌ی نیرو- تغییرمکان در هر چرخه از هر آزمایش باید به صورت الکترونیکی ثبت شود.

۱۰-۳-۸-۲-۳- ترتیب و دوره‌های آزمایش

آزمایش‌های ذکرشده در زیر حداقل تعداد لازم بوده که در آن‌ها هر وسیله‌ی اتلاف انرژی باید به منظور شبیه سازی بارهای ثقلی وارد بر وسیله هنگامی که در ساختمان نصب شده است و حداکثر درجه حرارت محیطی مورد انتظار بارگذاری شود.

الف- هر یک از وسایل باید به تعداد چرخه‌ای بارگذاری شود که در هنگام وقوع بار ناشی از توفان طرح مورد انتظار است، اما نه کم‌تر از ۲۰۰۰ چرخه معکوس کامل بار (در مورد وسایل وابسته به تغییرمکان و لزج- ارتجاعی) یا تغییرمکان (در مورد وسایل لزج) تحت دامنه مورد انتظار در توفان طرح و با فرکانسی برابر با عکس زمان تناوب اصلی ساختمان بهسازی شده.

چنانچه وسایل در معرض نیروها یا تغییرمکان‌های ناشی از باد نباشند، نیازی به انجام آزمایش‌های ذکر شده نمی‌باشد.

ب- هر وسیله باید تحت ۲۰ چرخه معکوس کامل تغییر مکانی برابر با تغییرمکان وسیله اتلاف انرژی در زلزله سطح خطر۲ و فرکانسی برابر با عکس زمان تناوب اصلی ساختمان بهسازی شده قرار داده شود.

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

الف- معادل بودن روش پیشنهادی با روش آزمایش چرخه‌ای نشان داده شود؛

ب- روش پیشنهادی وابستگی واکنش وسیله اتلاف انرژی به دمای محیط، فرکانس بارگذاری و افزایش درجه حرارت در حین آزمایش را دربرگیرد؛

پ- روش پیشنهادی توسط طراح تایید شود.

۱۰-۳-۸-۲-۴- وسایل وابسته به سرعت و یا فرکانس ارتعاش

اگر مشخصات نیرو- تغییرشکل وسایل اتلاف انرژی در هر تغییر مکانی کوچک‌تر یا مساوی تغییرمکان کل طرح با تغییر در فرکانس آزمایش از $۰/۵\,f_1$ تا $۲\,f_1$ بیش از ۱۵٪ تغییر نماید، آزمایش‌های متوالی باید به‌ازای فرکانس هایی برابر با $۰/۵\,f_1$، f_1 و $۲\,f_1$ صورت پذیرد.

اگر نمونه‌هایی از مقیاس کاهش یافته برای تعیین کمیت خواص وابسته به نرخ بارگذاری وسایل اتلاف انرژی استفاده شود، نمونه‌های با مقیاس کاهش یافته باید از همان نوع و مصالح و تولیدشده با همان روند تولید و روش کنترل کیفیتی باشند که در مورد نمونه‌های با مقیاس واقعی به‌کاررفته و باید تحت فرکانس مقیاس‌شده‌ای آزمایش شوند که نماینده نرخ بارگذاری نمونه با اندازه واقعی باشد.

۱۰-۳-۸-۲-۵- وسایل وابسته به تغییرمکان در دو امتداد

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

اگر نمونه‌های با مقیاس کاهش‌یافته برای تعیین کمیت خواص وسایل اتلاف انرژی در تغییرمکان دو امتداد 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 به‌کار رفته و تحت تغییرمکان‌های مقیاس‌شده‌ای آزمایش شوند که نماینده تغییرمکان‌های در مقیاس واقعی باشند.

۱۰-۳-۸-۲-۶- آزمایش وسایل مشابه

وسایل اتلاف انرژی که اولاً با اندازه‌ی مشابه و از مصالح، ساختار داخلی و فشارهای داخلی استاتیکی و دینامیکی (در صورت وجود) یکسان بوده و دوماً تحت روند تولید و روش کنترل کیفیت یکسانی ساخته شده و قبلا توسط آزمایشگاه مستقلی تحت سلسله مراتب ذکر شده در بالا آزمایش شده باشند، نیازی به آزمایش ندارند به‌شرطی که:

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

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

۳- استفاده از اطلاعات مربوط به آزمایش‌های قبلی به صورت کتبی توسط طراح تایید شود.

۱۰-۳-۸-۳- تعیین مشخصات منحنی نیرو- تغییرمکان

مشخصات منحنی نیرو- تغییرمکان یک وسیله‌ی اتلاف انرژی باید براساس آزمایش‌های چرخه‌ای بار و تغییرمکان وسایل نمونه‌ی اصلی ذکرشده در بند (۱۰-۳-۸-۲) باشد.

هر جا لازم باشد، سختی موثر (K_{eff}) یک وسیله‌ی اتلاف انرژی دارای سختی، باید در هر چرخه از تغییرشکل طبق رابطه‌ی (۱۰-۳۸) محاسبه شود.

$$K_{eff} = \frac{|F^-| + |F^+|}{|\Delta^-| + |\Delta^+|} \qquad (۱۰-۳۸)$$

که در آن نیروهای F^+ و F^- باید به ترتیب در تغییرمکان‌های Δ^+ و Δ^- محاسبه شوند. سختی موثر یک وسیله اتلاف انرژی باید به ازای تغییرمکان‌هایی در آزمایش تعیین شود که در بند (۱۰-۳-۸-۲-۳) داده شده است .

میرایی لزج معادل برای یک وسیله اتلاف انرژی (β_{eff}) دارای سختی، باید برای هر چرخه از تغییرشکل طبق رابطه (۱۰-۳۹) محاسبه شود.

$$\beta_{eff} = \frac{1}{2\pi}\frac{W_D}{K_{eff}\Delta_{ave}^2} \qquad (۱۰-۳۹)$$

که در آن K_{eff} باید طبق رابطه‌ی (۱۰-۳۸) تعیین‌شده و W_D سطح محصورشده توسط یک چرخه‌ی کامل منحنی نیرو- تغییرمکان در یک وسیله‌ی اتلاف انرژی به‌ازای تغییرمکان نمونه اصلی در آزمایش به میزان Δ_{ave} برابر با میانگین مقادیر مطلق تغییرمکان‌های Δ^+ و Δ^- می‌باشد.

۱۰-۳-۸-۴- کفایت سامانه

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

الف- منحنی‌های نیرو- تغییرمکان در آزمایش‌های بند (۱۰-۳-۸-۲-۳) دارای ظرفیت حمل بار، با نمو غیر منفی باشند.

وسایل اتلاف انرژی که رفتاری وابسته به سرعت را به نمایش می‌گذارند لازم نیست از ضابطه‌ی بالا پیروی نمایند.

ب– در هر آزمایش از آزمایش‌های بند (۱۰–۳–۸–۲–۳)، سختی موثر، K_{eff}، یک وسیله‌ی اتلاف انرژی نمونه اصلی در هر چرخه به میزانی بیش از ۱۵٪ $\pm$ نسبت به سختی موثر میانگین محاسبه‌شده از کلیه‌ی چرخه‌های آن آزمایش تفاوت ننماید.

ب–۱– حد ۱۵٪ توسط طراح در مشخصات فنی طرح قابل افزایش است، به این شرط که در تحلیل نشان داده شود که این حد افزایش یافته اثر نامطلوب روی واکنش ساختمان بهسازی‌شده ندارد.

ب–۲– وسایل اتلاف انرژی لزج مایع و سایر وسایلی که دارای سختی موثری نیستند، لازم نیست که از این ضابطه پیروی نمایند.

پ– در هر یک از آزمایش‌های بند (۱۰–۳–۸–۲–۳)، حداکثر نیرو و حداقل نیرو در تغییرمکان صفر در یک نمونه اصلی در هر چرخه به میزانی بیش از ۱۵٪ $\pm$ نسبت به نیروهای میانگین حداکثر و حداقلی که از کلیه‌ی چرخه‌های آن آزمایش محاسبه شده تفاوت ننماید.

حد ۱۵٪ توسط طراح در مشخصات فنی طرح قابل افزایش است، به این شرط که توسط تحلیل نشان داده شود که این حد افزایش‌یافته اثر نامطلوب روی واکنش ساختمان بهسازی شده ندارد.

ت– در هر یک از آزمایش‌های بند (۱۰–۳–۸–۲–۳)، سطح چرخه (W_D) یک وسیله‌ی اتلاف انرژی نمونه در هر چرخه به میزانی بیش از ۱۵٪ $\pm$ نسبت به میانگین مساحت زیر منحنی چرخه‌ی محاسبه‌شده از کلیه‌ی چرخه‌های آن آزمایش تفاوت ننماید.

حد ۱۵٪ توسط طراح در مشخصات فنی طرح قابل افزایش است، به این شرط که توسط تحلیل نشان داده شود که این حد افزایش یافته اثر نامطلوب روی واکنش ساختمان بهسازی شده ندارد.

ث– در مورد وسایل وابسته به تغییرمکان، سختی موثر میانگین، میانگین حداکثر و حداقل نیرو در تغییرمکان صفر، میانگین سطح چرخه (W_D) که برای هریک از سلسله آزمایش‌های توصیف‌شده در بند (۱۰–۳–۸–۲–۳) محاسبه شده، باید بین حدود تعیین‌شده توسط طراح در مشخصات فنی طرح قرار گیرد. سطح چرخه در انتهای آزمایش چرخه‌ای نباید به میزانی بیش از ۱۵٪ $\pm$ نسبت به سطح میانگین ۲۰ چرخه آزمایش تفاوت داشته باشد.

ج– در مورد وسایل وابسته به سرعت، نیروی میانگین حداکثر و حداقل در تغییرمکان صفر، سختی موثر (فقط در مورد وسایل لزج – ارتجاعی) و میانگین چرخه (W_D) که برای هریک از سلسله آزمایش‌های ذکرشده در بند (۱۰–۳–۸–۲–۳) محاسبه شده باید بین حدود تعیین شده توسط طراح در مشخصات فنی طرح قرار گیرد.

۱۰–۴– سایر سامانه های کنترل پاسخ

تحلیل و طراحی سایر سامانه‌های کنترل پاسخ باید توسط یک گروه مهندسی مستقل طبق ضوابط بند (۱۰–۳–۷) مورد بازبینی قرار گیرد. این گروه بازبین باید توسط کارفرما پیش از انجام طرح اولیه انتخاب شود.