

جزوه راهنمای کنترل لرزه‌ای ساختمان برای طراح

بر اساس استاندارد 2800، ویرایش پنجم

1. هدف و دامنه استفاده

این جزوه، روند کلی کنترل لرزه‌ای ساختمان را از نخستین مرحله گردآوری اطلاعات تا انتخاب روش تحلیل، محاسبه ضریب زلزله، کنترل برش پایه، کنترل دررفت و کنترل‌های تکمیلی ارائه می‌کند.

هدف از این متن، فراهم کردن یک مسیر منظم برای مهندس طراح است تا بتواند در گزارش محاسبات یا کنترل دستی، مراحل اصلی طراحی لرزه‌ای را به ترتیب صحیح انجام دهد.

این جزوه جایگزین متن کامل آیین‌نامه نیست و باید همراه با ضوابط کامل استاندارد 2800، مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه‌های طراحی مصالح مورد استفاده قرار گیرد.

بخش اول — اطلاعات اولیه پروژه

2. اطلاعات لازم پیش از شروع کنترل لرزه‌ای

پیش از ورود به محاسبات، طراح باید اطلاعات زیر را برای پروژه تعیین کند:

2-1. اطلاعات ساختگاه

- محل پروژه یا مختصات جغرافیایی؛
- مقادیر شتاب طیفی زلزله پیشینه مورد نظر؛
- S_s برای زمان‌های تناوب کوتاه؛
- S_1 برای زمان تناوب یک ثانیه؛
- نوع زمین ساختگاه: I، II، III، IV، V یا VI؛
- قرارگیری یا عدم قرارگیری در حوزه نزدیک گسل؛
- وجود یا عدم وجود شرایط خاص ژئوتکنیکی مانند روانگرایی، رس حساس، خاک‌های مسئله‌دار یا پروفیل‌های نامتعارف؛
- ضخامت تقریبی لایه خاک تا رسیدن به لایه سخت یا سنگ بستر، در صورت لزوم.

2-2. اطلاعات ساختمان

- کاربری ساختمان؛
- گروه اهمیت ساختمان؛
- ضریب اهمیت ساختمان I_e ؛
- تعداد طبقات؛
- ارتفاع ساختمان از تراز پایه H ؛
- وزن مؤثر لرزه‌ای ساختمان W ؛

- وضعیت منظم یا نامنظم بودن ساختمان در پلان و ارتفاع؛
- وجود یا عدم وجود نامنظمی‌های خاص مانند پیچش شدید، طبقه نرم، طبقه خیلی نرم، طبقه ضعیف یا طبقه خیلی ضعیف.

2-3. اطلاعات سیستم مقاوم لرزه‌ای

برای هر امتداد اصلی ساختمان باید مشخص شود:

- نوع سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی زلزله؛
- ضریب رفتار سیستم R_u ؛
- ضریب اضافه مقاومت Ω_0 ؛
- ضریب بزرگنمایی تغییر مکان جانبی C_d ؛
- حداکثر ارتفاع مجاز سیستم H_m .

اگر سیستم مقاوم لرزه‌ای در دو امتداد اصلی ساختمان متفاوت باشد، کنترل‌ها باید در هر امتداد جداگانه انجام شوند.

بخش دوم — تعیین پارامترهای طیفی و گروه طراحی لرزه‌ای

3. محاسبه پارامترهای طیفی طرح

پس از تعیین S_s ، S_1 و نوع زمین، ضرایب اثر ساختمانی F_s و F_1 از جداول آیین‌نامه تعیین می‌شوند.

سپس:

$$S_s F_s = M S_s$$

$$S_1 F_1 = M S_1$$

و برای زلزله طرح:

$$M S_s \frac{2}{3} = S D S$$

$$M S_1 \frac{2}{3} = S D S$$

همچنین زمان‌های گوشه طیف طرح به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\frac{S_1}{S D S} 0.2 = T_0$$

$$\frac{S_1}{S D S} = T_s$$

این مقادیر در تعیین گروه طراحی لرزه‌ای، انتخاب روش تحلیل، استخراج شتاب طیفی و محاسبه ضریب زلزله استفاده می‌شوند.

4. تعیین گروه طراحی لرزه‌ای ساختمان

گروه طراحی لرزه‌ای یا SDC بر اساس سه مقدار زیر تعیین می‌شود:

$$S_e I_{SD}$$

$$S_e I_{1D}$$

$$S_e I_1$$

جدول تعیین گروه طراحی لرزه‌ای به صورت زیر است:

شرایط	اهمیت متوسط و کم	اهمیت زیاد	اهمیت خیلی زیاد
اگر $S_e I_1 \geq 0.6$ و همزمان $0.40 \geq S_e I_{1D}$ و $0.75 \geq S_e I_{SD}$	SDC-1	SDC-2	SDC-3
اگر $S_e I_1 \geq 0.6$ و یکی از دو شرط $0.40 < S_e I_{1D}$ یا $0.75 < S_e I_{SD}$	SDC-2	SDC-2	SDC-3
اگر $S_e I_1 < 0.6$	SDC-3	SDC-3	SDC-3

4-1. نکات مهم در تعیین SDC

1. ساختمان با اهمیت خیلی زیاد در هر حالت در SDC-3 قرار می‌گیرد.
2. اگر $S_e I_1 < 0.6$ باشد، ساختمان بدون توجه به گروه اهمیت، در SDC-3 قرار می‌گیرد.
3. ساختمان‌های با اهمیت زیاد حداقل در SDC-2 قرار می‌گیرند.
4. ساختمان‌های با اهمیت متوسط و کم ممکن است در SDC-2، SDC-1 یا SDC-3 قرار گیرند.

بخش سوم — کنترل مجاز بودن سیستم و پیکربندی ساختمان

5. کنترل سیستم مقاوم لرزه‌ای

پس از تعیین SDC، باید کنترل شود که سیستم انتخاب‌شده در آن گروه طراحی لرزه‌ای مجاز است یا خیر.

برای این منظور باید از جدول سیستم‌های مقاوم لرزه‌ای آیین‌نامه، مقادیر زیر برداشت شود:

- R_u •
- Ω_0 •
- C_d •
- H_m •

سیس شرط زیر کنترل شود:

$$H_m \geq H$$

اگر ارتفاع ساختمان از H_m بیشتر باشد، آن سیستم برای ساختمان مورد نظر مجاز نیست.

6. محدودیت‌های مهم چند سیستم رایج

جدول زیر برای کنترل سریع سه گروه سیستم مورد بحث مفید است.

سیستم	SDC-1	SDC-2	SDC-3	نتیجه طراحی
قاب خمشی بتن‌آرمه متوسط	مجاز تا 21 m	مجاز تا 18 m	غیرمجاز	برای SDC-3 مناسب نیست.
قاب خمشی فولادی متوسط	مجاز تا 28 m	مجاز تا 21 m	غیرمجاز، با استثنای محدود	در SDC-3 فقط در حالت خاص سازه یک طبقه سبک تا 15 m قابل طرح است.
قاب خمشی بتن‌آرمه ویژه	مجاز تا 100 m	مجاز تا 70 m	مجاز تا 50 m	در SDC-3 قابل استفاده است، ولی با ارتفاع محدودتر.
قاب خمشی فولادی ویژه	مجاز تا 120 m	مجاز تا 100 m	مجاز تا 80 m	گزینه مناسب‌تر برای قاب خمشی در SDC-3.
قاب خمشی مختلط ویژه	مجاز تا 120 m	مجاز تا 100 m	مجاز تا 70 m	در SDC-3 مجاز است.
دوگانه: قاب خمشی متوسط + دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه	مجاز تا 50 m	مجاز تا 35 m	مجاز تا 21 m	در SDC-3 مجاز است، اما فقط برای ساختمان نسبتاً کوتاه.
دوگانه: قاب خمشی فولادی متوسط + مهاربند همگرای فولادی ویژه	مجاز تا 50 m	مجاز تا 35 m	مجاز تا 21 m	محدودیت مشابه حالت دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه دارد.

7. کنترل نامنظمی‌های ممنوع

پیش از انتخاب روش تحلیل، باید بررسی شود که پیکربندی ساختمان از نظر آیین‌نامه مجاز است یا خیر.

7-1. ممنوعیت در تمام گروه‌های طراحی لرزه‌ای

وجود طبقه خیلی ضعیف در هیچ‌یک از گروه‌های طراحی لرزه‌ای مجاز نیست.

7-2. ممنوعیت‌های ویژه در SDC-3

در SDC-3، وجود موارد زیر مجاز نیست:

- طبقه خیلی نرم؛
- طبقه ضعیف؛
- نامنظمی پیچشی شدید.

بنابراین در SDC-3 اگر هر یک از این موارد وجود داشته باشد، طراح باید سیستم، سختی، مقاومت، جانمایی عناصر مقاوم جانبی یا پیکربندی معماری و سازه‌ای را اصلاح کند.

7-3. نامنظمی‌های مجاز با کنترل اضافی

برخی نامنظمی‌ها الزاماً باعث ممنوعیت احداث نمی‌شوند، اما روش تحلیل و کنترل‌های طراحی را سخت‌تر می‌کنند. از جمله:

- نامنظمی هندسی در پلان؛
- نامنظمی دیافراگم؛
- جابه‌جایی خارج از صفحه عناصر مقاوم لرزه‌ای؛
- سیستم‌های غیرموازی؛
- نامنظمی جرمی؛
- نامنظمی سختی جانبی؛
- نامنظمی هندسی در ارتفاع.

در این موارد ممکن است تحلیل استاتیکی معادل مجاز نباشد و تحلیل دینامیکی لازم شود.

بخش چهارم — طیف ویژه ساختگاه

8. موارد الزام طیف ویژه ساختگاه

استفاده از طیف ویژه ساختگاه برای همه ساختمان‌ها مجاز است، اما در برخی موارد الزامی می‌شود.

مؤلفه افقی طیف ویژه ساختگاه در موارد زیر الزامی است:

ردیف	وضعیت	نتیجه
1	ساختمان با اهمیت خیلی زیاد در حوزه نزدیک گسل	طیف ویژه الزامی است.
2	ساختگاه مشمول مطالعات ویژه ژئوتکنیکی باشد	طیف ویژه یا بررسی ویژه لازم می‌شود.
3	ساختمان مشمول تحلیل دینامیکی باشد و ارتفاع آن بیش از 150 m باشد	طیف ویژه الزامی است.
4	ساختمان مشمول تحلیل دینامیکی باشد و زمان تناوب اصلی آن بیش از 3.5 s باشد	طیف ویژه الزامی است.
5	ساختمان با اهمیت زیاد یا خیلی زیاد، مشمول تحلیل دینامیکی، روی زمین غیر از I تا III	طیف ویژه الزامی است.
6	ساختمان بلندتر از 50 m، مشمول تحلیل دینامیکی، روی زمین غیر از I تا III	طیف ویژه الزامی است.
7	ساختمان بلندتر از 50 m، مشمول تحلیل دینامیکی، روی زمین II یا III با ضخامت لایه خاک بیش از 60 m	طیف ویژه الزامی است.

8-1. مفهوم ضخامت لایه خاک بیش از 60 متر

منظور این است که نهشته خاکی ساختگاه تا عمقی بیش از 60 متر ادامه داشته باشد و هنوز به لایه سخت مؤثر یا سنگ بستر نرسیده باشد. این موضوع با طبقه‌بندی 30 متر بالایی خاک تفاوت دارد. ممکن است زمین از نظر Vs30 نوع II یا III باشد، اما چون عمق نهشته خاکی زیاد است، برای ساختمان بلند نیاز به طیف ویژه پیدا کند.

بخش پنجم — انتخاب روش تحلیل

9. روش‌های اصلی تحلیل

روش‌های اصلی تحلیل خطی ساختمان در برابر زلزله عبارت‌اند از:

1. تحلیل استاتیکی معادل؛
2. تحلیل دینامیکی طیفی؛
3. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی.

در ساختمان‌های متعارف، معمولاً انتخاب اصلی بین استاتیکی معادل و دینامیکی طیفی انجام می‌شود. تحلیل تاریخچه زمانی برای ساختمان‌های خاص، بلند، حساس یا پروژه‌های ویژه به کار می‌رود.

10. شرایط مجاز بودن تحلیل استاتیکی معادل

روش استاتیکی معادل فقط در موارد زیر مجاز است:

10-1. ساختمان کوتاه

ساختمان حداکثر:

- 3 طبقه؛
- 10.5 متر ارتفاع از تراز پایه؛

به شرط آنکه دارای نامنظمی ارتفاعی از نوع طبقه خیلی نرم نباشد.

10-2. ساختمان منظم با ارتفاع کمتر از 50 متر

اگر ساختمان منظم باشد و ارتفاع آن از تراز پایه کمتر از 50 متر باشد، تحلیل استاتیکی معادل مجاز است.

10-3. ساختمان نامنظم با ارتفاع کمتر از 50 متر

اگر ساختمان نامنظم باشد، استفاده از تحلیل استاتیکی معادل فقط در صورتی مجاز است که:

- ارتفاع ساختمان کمتر از 50 متر باشد؛
- نامنظمی پیچشی زیاد یا شدید نداشته باشد؛
- نامنظمی ارتفاعی از نوع سختی جانبی نداشته باشد؛

- نامنظمی ارتفاعی از نوع جرمی نداشته باشد؛
- نامنظمی ارتفاعی از نوع هندسی نداشته باشد.

10-4. ساختمان منظم بلندتر از 50 متر

برای ساختمان منظم با ارتفاع بیش از 50 متر، استفاده از تحلیل استاتیکی معادل فقط در صورتی مجاز است که:

$$T_{3.5} > T$$

11. انتخاب تحلیل دینامیکی

اگر ساختمان مشمول هیچیک از حالات مجاز روش استاتیکی معادل نباشد، باید از تحلیل دینامیکی استفاده شود.

در اغلب پروژه‌های ساختمانی، تحلیل دینامیکی طیفی روش اصلی جایگزین است.

در تحلیل دینامیکی طیفی باید کنترل شود:

- تعداد مودهای نوسان کافی باشد؛
- ترکیب مودها به روش مناسب انجام شود؛
- اثر پیچش در موارد لازم لحاظ گردد؛
- برش پایه تحلیل دینامیکی با برش پایه مرجع آیین‌نامه کنترل و در صورت نیاز مقیاس شود.

بخش ششم — زمان تناوب و طیف طرح

12. تعیین زمان تناوب مورد استفاده

برای هر امتداد اصلی ساختمان باید زمان تناوب اصلی تعیین شود.

12-1. زمان تناوب تجربی

برای قاب خمشی فولادی یا مختلط، بدون اثر میانقاب:

$$T = 0.072 H^{0.8}$$

برای قاب خمشی بتن‌آرمه، بدون اثر میانقاب:

$$T = 0.047 H^{0.9}$$

برای سایر سیستم‌ها باید رابطه متناظر آیین‌نامه استفاده شود.

12-2. زمان تناوب تحلیلی

اگر مدل تحلیلی وجود داشته باشد، زمان تناوب تحلیلی T_{model} از مدل استخراج می‌شود.

12-3. زمان تناوب مورد استفاده در محاسبه نیروی زلزله

در کنترل دستی، مقدار زمان تناوب مورد استفاده معمولاً به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$({}_aT_{1.4, ledom}T)_{\min} = T$$

اگر مدل تحلیلی وجود نداشته باشد، می‌توان از زمان تناوب تجربی استفاده کرد.

13. تعیین شتاب طیفی طرح

اگر طیف ویژه ساختگاه لازم نباشد، مقدار S_a از طیف طرح استاندارد تعیین می‌شود.

13-1. روابط طیف استاندارد

برای:

$${}_0T > T \geq 0$$

داریم:

$$\left(\frac{T}{{}_0T} 0.6 + 0.4 \right) {}_{SD}S = {}_aS$$

برای:

$${}_sT \geq T \geq {}_0T$$

داریم:

$${}_{SD}S = {}_aS$$

برای:

$${}_LT \geq T > {}_sT$$

داریم:

$$\frac{{}_{1D}S}{T} = {}_aS$$

برای:

$${}_LT < T$$

داریم:

$$\frac{{}_LT {}_{1D}S}{2T} = {}_aS$$

اگر طیف ویژه ساختگاه استفاده شود، S_a باید از همان طیف در زمان تناوب مورد نظر خوانده شود.

بخش هفتم — محاسبه ضریب زلزله و برش پایه

14. محاسبه ضریب زلزله خام

ضریب زلزله خام در هر امتداد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{a_s}{eI/uR} = C$$

یا:

$$\frac{eI_a s}{uR} = C$$

در این رابطه:

- S_a شتاب طیفی طرح است؛
- I_e ضریب اهمیت ساختمان است؛
- R_u ضریب رفتار سیستم مقاوم لرزه‌ای در امتداد مورد نظر است.

اگر سیستم مقاوم لرزه‌ای در دو امتداد متفاوت باشد، C برای هر امتداد جداگانه محاسبه می‌شود.

15. کنترل حداقل ضریب زلزله

ضریب زلزله خام نباید از حداقل مقدار آیین‌نامه‌ای کمتر باشد.

حداقل اول:

$$eI_{SD} S_{0.044} = {}_{1,min}C$$

ولی در هر حال:

$$0.01 \leq {}_{1,min}C$$

بنابراین:

$$(0.01, eI_{SD} S_{0.044})_{\max} = {}_{1,min}C$$

اگر:

$$0.6 \leq {}_1S$$

کنترل دوم نیز لازم است:

$$\frac{I_{1S0.5}}{uR} = {}_{2,min}C$$

پس:

$$0.6 > {}_1S$$

$${}_{1,min}C = {}_{min}C$$

$$0.6 \leq {}_1S$$

$$({}_{2,min}C, {}_{1,min}C)_{\max} = {}_{min}C$$

ضریب قابل استفاده پیش از اعمال نامعینی:

$$({}_{min}C, C)_{\max} = {}_{seu}C$$

16. اعمال ضریب نامعینی

اگر سیستم مقاوم لرزه‌ای در امتداد مورد نظر نامعینی کافی نداشته باشد، ضریب نامعینی ρ اعمال می‌شود.

گروه طراحی لرزه‌ای	مقدار ρ در صورت نامعینی ناکافی
SDC-1	1.2
SDC-2	1.2
SDC-3	1.3

اگر نامعینی کافی تأمین شود:

$$1.0 = \rho$$

برای اعضا و کنترل‌هایی که مشمول ضریب نامعینی هستند:

$$({}_{min}C, \rho C)_{\max} = {}_{ngiesd}C$$

در مواردی که اعمال ضریب نامعینی لازم نیست:

$${}_{seu}C = {}_{ngiesd}C$$

17. محاسبه برش پایه

برش پایه طرح در هر امتداد برابر است با:

$$W_{ngiesd}C = {}_uV$$

که در آن:

- V_u برش پایه طرح است؛
- C_{design} ضریب زلزله نهایی است؛
- W وزن مؤثر لرزه‌ای ساختمان است.

18. توزیع نیروی جانبی در ارتفاع

پس از محاسبه برش پایه، نیروی جانبی هر تراز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{k_i h_i W}{\sum_j k_j h_j W} V = F_i$$

که در آن:

- F_i نیروی جانبی تراز i است؛
- W_i وزن مؤثر لرزه‌ای تراز i است؛
- h_i ارتفاع تراز i از تراز پایه است؛
- k توان توزیع نیرو در ارتفاع است.

مقدار k به صورت زیر تعیین می‌شود:

اگر:

$$s_{0.5} \geq T$$

آنگاه:

$$1 = k$$

اگر:

$$s_{2.5} > T > s_{0.5}$$

آنگاه:

$$0.75 + T/0.5 = k$$

اگر:

$$s_{2.5} \leq T$$

آنگاه:

$$2 = k$$

بخش هشتم — کنترل دررفت و تغییرمکان جانبی

19. کنترل تغییرمکان جانبی نسبی تحت زلزله طرح

پس از انجام تحلیل، تغییرمکان جانبی نسبی ارتجاعی هر طبقه Δ_{eu} از مدل استخراج می‌شود.

تغییرمکان جانبی نسبی غیرارتجاعی طبقه تحت زلزله طرح برابر است با:

$$\frac{ue\Delta_d C}{I} = M\Delta$$

که در آن:

- ΔM تغییرمکان جانبی نسبی غیرارتجاعی طبقه است؛
- C_d ضریب بزرگنمایی تغییرمکان جانبی سیستم است؛
- Δ_{eu} تغییرمکان جانبی نسبی ارتجاعی حاصل از تحلیل خطی است؛
- I_e ضریب اهمیت ساختمان است.

20. حدود مجاز دررفت طبقه

مقدار ΔM نباید از حد مجاز Δa بیشتر شود.

حدود عمومی مجاز دررفت طبقه به صورت زیر است:

گروه اهمیت	حد مجاز تغییرمکان جانبی نسبی
اهمیت خیلی زیاد	$h0.010$
اهمیت زیاد	$h0.015$
اهمیت متوسط	$h0.020$
اهمیت کم	$h0.025$

در این جدول، h ارتفاع همان طبقه است.

شرط کنترل دررفت:

$$a\Delta \geq M\Delta$$

21. دریافت در سیستم‌های دارای قاب خمشی متوسط یا معمولی

اگر در سیستم قاب ساختمانی، سیستم قاب خمشی یا سیستم دوگانه، قاب خمشی متوسط یا معمولی وجود داشته باشد، حدود مجاز دریافت سکنگیرانه‌تر می‌شود:

گروه اهمیت	حد مجاز اصلاح‌شده
اهمیت خیلی زیاد	$h0.010$
اهمیت زیاد	$h0.0125$
اهمیت متوسط	$h0.015$
اهمیت کم	$h0.015$

این کنترل برای ساختمان‌هایی با قاب خمشی متوسط یا سیستم دوگانه با قاب خمشی متوسط اهمیت ویژه دارد.

22. اثر ضریب نامعینی بر حد مجاز دریافت

اگر در یک امتداد:

- سیستم مقاوم لرزه‌ای صرفاً از قاب خمشی تشکیل شده باشد؛
- و همان امتداد مشمول ضریب نامعینی ρ باشد؛

حد مجاز دریافت باید به صورت زیر کاهش یابد:

$$\frac{a\Delta}{\rho} =_{defidom,a}\Delta$$

در این حالت کنترل دریافت به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{a\Delta}{\rho} \geq M\Delta$$

23. کنترل دریافت در ساختمان‌های پیچشی

در ساختمان‌هایی که دارای نامنظمی پیچشی زیاد یا شدید هستند، کنترل دریافت نباید فقط در مرکز جرم انجام شود. در این حالت باید بیشترین اختلاف تغییرمکان جانبی در محورهای کناری ساختمان ملاک کنترل قرار گیرد.

در مواردی که ترکیب اثر دو امتداد زلزله لازم باشد، دریافت باید با ترکیب 100 درصد اثر یک امتداد و 30 درصد اثر امتداد متعامد کنترل شود.

24. کنترل تغییرمکان برای درز انقطاع

کنترل دریافت طبقه با کنترل درز انقطاع متفاوت است.

برای تعیین درز انقطاع، باید تغییر مکان جانبی کلی غیر ارتجاعی ساختمان محاسبه شود:

$$\frac{ue\delta}{I} = M\delta$$

که در آن δ_{eu} تغییر مکان جانبی کلی ارتجاعی است.

در ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد، و نیز ساختمان‌های بیش از پنج طبقه یا بلندتر از 18 متر، درز انقطاع باید بر اساس تغییر مکان جانبی کلی محاسباتی کنترل شود.

اگر مشخصات ساختمان مجاور معلوم باشد، فاصله لازم بین دو ساختمان با ترکیب تغییر مکان دو ساختمان تعیین می‌شود. اگر مشخصات ساختمان مجاور در دسترس نباشد، فاصله از مرز مشترک بر اساس درصدی از تغییر مکان جانبی کلی ساختمان خود پروژه تعیین می‌شود.

25. کنترل تغییر مکان در زلزله سطح بهره‌برداری

ساختمان‌های زیر باید تحت زلزله سطح بهره‌برداری نیز کنترل شوند:

- ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد؛
- ساختمان‌های با اهمیت زیاد؛
- ساختمان‌های بلندتر از 50 متر؛
- ساختمان‌های بیش از 15 طبقه.

در این سطح، تغییر مکان جانبی نسبی طبقه نباید از مقدار زیر بیشتر شود:

$$h0.005$$

اگر اجزای غیرسازه‌ای و اتصالات آن‌ها توانایی تحمل تغییر مکان بیشتر را داشته باشند، این حد می‌تواند تا مقدار زیر افزایش یابد:

$$h0.008$$

در زلزله سطح بهره‌برداری، ضریب رفتار برابر 1 در نظر گرفته می‌شود و مقادیر طیفی متناظر با این سطح زلزله استفاده می‌شوند.

بخش نهم — کنترل‌های تکمیلی تحلیل دینامیکی

26. تحلیل دینامیکی طیفی

در تحلیل دینامیکی طیفی، موارد زیر باید کنترل شوند:

1. تعداد مودهای لحاظ شده باید برای مشارکت جرمی کافی باشد.
2. ترکیب اثر مودها باید با روش مناسب انجام شود.
3. اثر پیچش ذاتی و پیچش اتفاقی، در موارد لازم، باید منظور شود.
4. اگر برش پایه حاصل از تحلیل طیفی کمتر از مقدار مرجع آیین‌نامه‌ای باشد، نتایج تحلیل باید مقیاس شوند.

27. تحلیل تاریخچه زمانی

در تحلیل تاریخچه زمانی باید موارد زیر رعایت شود:

1. شتاب‌نگاشت‌ها باید متناسب با خطر لرزه‌ای، فاصله از گسل، بزرگا، سازوکار چشمه و نوع زمین انتخاب شوند.
2. شتاب‌نگاشت‌ها باید مطابق ضوابط آیین‌نامه مقیاس شوند.
3. اثر همزمان دو مؤلفه افقی و در صورت لزوم مؤلفه قائم باید در نظر گرفته شود.
4. نتایج باید با حداقل‌های آیین‌نامه‌ای کنترل شوند.

بخش دهم — ترتیب نهایی کنترل طراحی

28. ترتیب پیشنهادی انجام کنترل‌ها

برای انجام کنترل کامل و منظم، طراح باید مراحل زیر را به ترتیب انجام دهد:

1. تعیین کاربری ساختمان و گروه اهمیت؛
2. تعیین ضریب اهمیت I_e ؛
3. تعیین S_s و S_1 از نقشه یا داده معتبر؛
4. تعیین نوع زمین ساختگاه؛
5. برداشت F_s و F_1 از جداول آیین‌نامه؛
6. محاسبه SMS و $SM1$ ؛
7. محاسبه SDS و $SD1$ ؛
8. محاسبه T_0 و T_s ؛
9. تعیین گروه طراحی لرزه‌ای SDC ؛
10. انتخاب اولیه سیستم مقاوم لرزه‌ای در هر امتداد؛
11. برداشت R_u ، Ω_0 ، C_d و H_m از جدول سیستم‌ها؛
12. کنترل مجاز بودن سیستم از نظر SDC و ارتفاع؛
13. کنترل نامنظمی‌های ممنوع؛
14. بررسی لزوم طیف ویژه ساختگاه؛
15. انتخاب روش تحلیل؛
16. تعیین زمان تناوب مورد استفاده؛
17. استخراج S_a از طیف استاندارد یا طیف ویژه؛
18. محاسبه ضریب زلزله خام؛
19. کنترل حداقل ضریب زلزله؛
20. کنترل ضریب نامعینی؛
21. محاسبه برش پایه طرح؛
22. توزیع نیروی جانبی در ارتفاع؛
23. انجام تحلیل سازه؛
24. کنترل دریفت تحت زلزله طرح؛
25. کنترل درز انقطاع؛
26. کنترل زلزله سطح بهره‌برداری در ساختمان‌های مشمول؛
27. کنترل تحلیل دینامیکی و مقیاس نتایج در صورت استفاده از روش دینامیکی؛
28. کنترل نهایی اعضا، اتصالات، دیافراگم‌ها، پی و اجزای غیرسازه‌ای.

بخش یازدهم — فرم خلاصه کنترل دستی

29. فرم اطلاعات پایه

مورد	مقدار
محل پروژه	
نوع کاربری	
گروه اهمیت	
ضریب اهمیت	Ie
نوع زمین	
	Ss
	S1
	Fs
	F1
	SDS
	SD1
	T0
	Ts
گروه طراحی لرزه‌ای	SDC
نیاز به طیف ویژه ساختگاه	بله / خیر

30. فرم کنترل سیستم در هر امتداد

پارامتر	امتداد X	امتداد Y
نوع سیستم مقاوم لرزه‌ای		
	Ru	
	$\Omega 0$	
	Cd	
	Hm	

پارامتر	امتداد X	امتداد Y
ارتفاع ساختمان H		
مجاز بودن سیستم از نظر ارتفاع	بله / خیر	بله / خیر
مجاز بودن سیستم از نظر SDC	بله / خیر	بله / خیر

31. فرم انتخاب روش تحلیل

کنترل	نتیجه
ساختمان حداکثر 3 طبقه و 10.5 متر است؟	بله / خیر
ساختمان منظم و کمتر از 50 متر است؟	بله / خیر
ساختمان نامنظم کمتر از 50 متر و فاقد نامنظمی‌های محدودکننده است؟	بله / خیر
ساختمان منظم بلندتر از 50 متر و دارای $T > T_{3.5}$ است؟	بله / خیر
تحلیل استاتیکی معادل مجاز است؟	بله / خیر
روش تحلیل انتخابی	استاتیکی معادل / طیفی / تاریخچه زمانی

32. فرم محاسبه ضریب زلزله و برش پایه

پارامتر	امتداد X	امتداد Y
Ta		
Tmodel		
T مورد استفاده		
Sa		
Ru		
Ie		
C		
Cmin		
p		
Cdesign		
W		

پارامتر	امتداد X	امتداد Y
Vu		

33. فرم کنترل دریافت

پارامتر	امتداد X	امتداد Y
Cd		
Ie		
بیشترین Δeu		
$\Delta M = Cd \Delta eu / Ie$		
حد مجاز Δa		
نیاز به اصلاح حد دریافت به دلیل قاب متوسط یا معمولی	بله / خیر	بله / خیر
نیاز به تقسیم حد مجاز بر ρ	بله / خیر	بله / خیر
نتیجه کنترل دریافت	قابل قبول / غیر قابل قبول	قابل قبول / غیر قابل قبول

34. جمع بندی نهایی برای طراح

در طراحی لرزهای ساختمان، ترتیب کنترل‌ها اهمیت زیادی دارد. ابتدا باید پارامترهای خطر لرزهای و ساختگاه تعیین شوند، سپس گروه طراحی لرزهای مشخص شود. پس از آن باید مجاز بودن سیستم سازه‌ای و پیکربندی ساختمان کنترل شود. تنها پس از عبور از این مراحل، انتخاب روش تحلیل و محاسبه ضریب زلزله معنی‌دار خواهد بود.

برای ساختمان‌های متعارف، مسیر معمول طراحی چنین است:

1. تعیین S_s ، S_1 ، نوع زمین و گروه اهمیت؛
2. محاسبه SDS و $SD1$ ؛
3. تعیین SDC ؛
4. کنترل سیستم سازه‌ای و محدودیت ارتفاع؛
5. کنترل نامنظمی‌های ممنوع؛
6. تشخیص نیاز به طیف ویژه ساختگاه؛
7. انتخاب روش تحلیل؛
8. محاسبه S_a و ضریب زلزله؛
9. کنترل حداقل ضریب زلزله و برش پایه؛
10. تحلیل سازه؛
11. کنترل دریافت، درز انقطاع و زلزله سطح بهره‌برداری؛
12. تکمیل کنترل‌های طراحی اعضا، اتصالات، دیافراگم، پی و اجزای غیرسازه‌ای.

در نهایت، هیچ‌یک از کنترل‌های نیرویی، تغییر مکانی، پیکربندی و جزئیات اجرایی نباید به تنهایی کافی تلقی شوند. طراحی لرزه‌ای قابل قبول زمانی حاصل می‌شود که همه این کنترل‌ها به صورت هماهنگ و مرحله به مرحله اکتفا شده باشند.