



سازمان نظام مهندسی ساختمان
استان قزوین

عنوان دوره:

بررسی تغییرات ویرایش ۵ استاندارد ۲۸۰۰

طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

مدرس:

دکتر محمد جواد شعبانی

تابستان ۱۴۰۵

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بخش اول

کلیات

هدف طراحی

هدف این آیین نامه تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای آن ها، در برابر زلزله است، به طوری که با رعایت آن انتظار می رود:

۱. ساختمان های با اهمیت کم تحت اثر زلزله طرح فرو نریزند.
۲. ساختمان های با اهمیت متوسط تحت اثر زلزله طرح، ایمنی جانی ساکنان را تامین نمایند و تحت اثر زلزله بیشینه مورد نظر، احتمال فروریزش آن ها کم باشد.
۳. ساختمان های با اهمیت زیاد تحت اثر زلزله طرح، علاوه بر تامین ایمنی جانی ساکنان، آسیب عمده سازه ای و غیرسازه ای نبینند و تحت اثر زلزله بیشینه مورد نظر، احتمال فروریزش آن ها بسیار کم باشد.
۴. ساختمان های با اهمیت خیلی زیاد، تحت اثر زلزله طرح، قابلیت بهره برداری خود را حفظ نمایند و تحت اثر زلزله بیشینه مورد نظر، ایمنی جانی ساکنان را تامین نموده و احتمال فروریزش آن ها ناچیز باشد.
۵. ساختمان های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد و نیز کلیه ساختمان های بلندتر از ۵۰ متر و یا بیشتر از ۱۵ طبقه تحت اثر زلزله بهره برداری، قابلیت بهره برداری خود را حفظ نمایند.

زلزله های مبنای طراحی

زلزله های مبنای طراحی در این آیین نامه به شرح زیر می باشند:

الف) زلزله بیشینه مورد نظر (MCE)؛ شدیدترین سطح جنبش مورد استفاده در این آیین نامه است، که احتمال رخداد آن در طول عمر سازه بسیار اندک است. عموماً دوره بازگشت این سطح جنبش حدود ۲۴۷۵ سال است (احتمال فراگذشت ۲ درصد در ۵۰ سال).

ب) زلزله طرح (DE)؛ که مقادیر جنبش زمین در آن دو سوم مقادیر جنبش زمین در زلزله بیشینه مورد نظر است. عموماً دوره بازگشت این سطح جنبش حدود ۴۷۵ سال است (احتمال فراگذشت ۱۰ درصد در ۵۰ سال).

پ) زلزله بهره برداری (SLE)؛ که مقادیر جنبش زمین در آن یک نهم مقادیر جنبش زمین در زلزله بیشینه مورد نظر است. عموماً دوره بازگشت این سطح جنبش حدود ۱۰ سال است (احتمال فراگذشت ۹۹/۵ درصد در ۵۰ سال).

گروه بندی ساختمان ها بر حسب اهمیت

ساختمان ها بر حسب نوع کاربری و میزان آسیب رسانی ناشی از خرابی آن ها به چهار گروه اهمیت تقسیم می شوند:

□ گروه ۱؛ ساختمان ها با اهمیت خیلی زیاد

الف) ساختمان های ضروری:

این گروه شامل ساختمان هایی است که قابل استفاده بودن آنها پس از وقوع زلزله اهمیت خاص دارد و وقفه در بهره برداری از آن ها به طور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می شود؛ مانند بیمارستان ها و درمانگاه ها، مراکز آتشنشانی، مراکز و تأسیسات آبرسانی، ساختمان های نیروگاه ها و تأسیسات برق رسانی که نقش مستقیم در تولید برق داشته یا خرابی آن ها موجب اخلاص یا توقف تولید برق می شود، برج های مراقبت فرودگاه ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تأسیسات نظامی و انتظامی، مراکز کمک رسانی و به طور کلی تمام ساختمان هایی که استفاده از آن ها در نجات و امداد مؤثر می باشد.

ب) ساختمان های خطرزا:

این گروه شامل ساختمان ها و تأسیساتی است که خرابی آن ها موجب انتشار گسترده مواد سمی و مضر در کوتاه مدت و دراز مدت برای محیط زیست می شود، مانند کارخانه های تولید کننده مواد شیمیایی خاص و مراکز گاز رسانی.

□ گروه ۲؛ ساختمان ها با اهمیت زیاد

الف) ساختمان هایی که خرابی آنها موجب تلفات زیاد می شود:

مانند مدارس، مساجد، استادیوم ها، سینما و تئاترها، سالن های اجتماعات، فروشگاه های بزرگ، ترمینال های مسافری، **ساختمان های با ارتفاع بیش از ۵۰ متر یا تعداد طبقات بیش از ۱۵ طبقه از تراز پایه** و یا هر فضای سرپوشیده یکپارچه ای که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر در زیر یک سقف باشد.

ب) ساختمان هایی که خرابی آنها سبب از دست رفتن ثروت ملی می گردد:

مانند موزه ها، کتابخانه ها، و به طور کلی مراکزی که در آن ها اسناد و مدارک ملی و یا آثار پر ارزش دیگری نگهداری می شود.

پ) ساختمان ها و تأسیسات صنعتی که خرابی آن ها موجب آلودگی محیط زیست و یا آتش سوزی وسیع می شود:

مانند پالایشگاه ها و انبارهای سوخت.

□ گروه ۳؛ ساختمان ها با اهمیت متوسط

این گروه ساختمان ها شامل کلیه ساختمان های مشمول این آیین نامه، بجز ساختمان های عنوان شده در سه گروه دیگر می باشند، مانند ساختمان های مسکونی و اداری و تجاری، هتل ها، پارکینگ های چند طبقه، انبارها، کارگاه ها و ساختمان های صنعتی.

□ گروه ۴؛ ساختمان ها با اهمیت کم

الف) ساختمان هایی که خسارت نسبتاً کمی از خرابی آنها حادث می شود و احتمال بروز تلفات جانی انسانی در آن ها بسیار کم است: مانند انبارهای کشاورزی و سالن های نگهداری دام.

ب) ساختمان های موقتی که مدت بهره برداری از آن ها کمتر از ۲ سال است.

ضریب اهمیت

ضریب اهمیت ساختمان با توجه به گروه بندی آن ها از جدول ۱-۱ محاسبه می گردد.

جدول ۱-۱ ضریب اهمیت ساختمان

طبقه بندی ساختمان	ضریب اهمیت
گروه ۱	۱٫۴
گروه ۲	۱٫۲
گروه ۳	۱٫۰
گروه ۴	۰٫۸

ملاحظات معماری

- در ساختمان های با **پنج طبقه و کمتر (حداکثر ۱۸ متر)**، فاصله هر طبقه از مرز زمین مجاور حداقل باید برابر **پنج هزارم ارتفاع آن طبقه** از روی تراز پایه باشد. در ساختمان های با بیشتر از پنج طبقه و یا ساختمان های با اهمیت خیلی زیاد و زیاد با هر تعداد طبقه، عرض درز انقطاع می بایست بر اساس **تغییر مکان غیر ارتجاعی سازه** محاسبه گردد.
- پلان ساختمان تا حد امکان به شکل ساده و متقارن در دو امتداد عمود بر هم و **بدون پیش آمدگی و پس رفتگی زیاد** باشد و از ایجاد **تغییرات نامتقارن پلان در ارتفاع** ساختمان نیز تا حد امکان احتراز شود.
- از احداث **طره های بزرگتر از ۲ متر** تا حد امکان احتراز شود.
- توصیه می شود از ایجاد **بازشوهای بزرگ** و مجاور یکدیگر در دیافراگم های کف ها خودداری شود.

- از قراردادن اجزاء ساختمانی، تأسیساتی و یا کالاهای سنگین بر روی **طره ها و عناصر لاغر و دهانه های بزرگ** حتی المقدور پرهیز گردد.
- با به کارگیری **مصالح غیرسازه ای سبک** برای مواردی از قبیل کف سازی، سقف کاذب، تیغه بندی، نما و غیره وزن ساختمان به حداقل رسانده شود.
- از ایجاد **اختلاف سطح** در کف ها تا حد امکان خودداری شود.
- از کاهش و افزایش مساحت زیربنای طبقات در ارتفاع، به طوری که **تغییرات قابل ملاحظه ای در جرم طبقات** ایجاد شود، حتی المقدور پرهیز گردد.
- توصیه می شود در طرح پلان معماری ساختمان، در هر امتداد اصلی ساختمان **حداقل دو محل برای جانمایی دیوار برشی و یا مهاربند، و یا یک هسته با آرایش متقارن** در پلان منظور شود.

بخش دوم

حرکت زمین

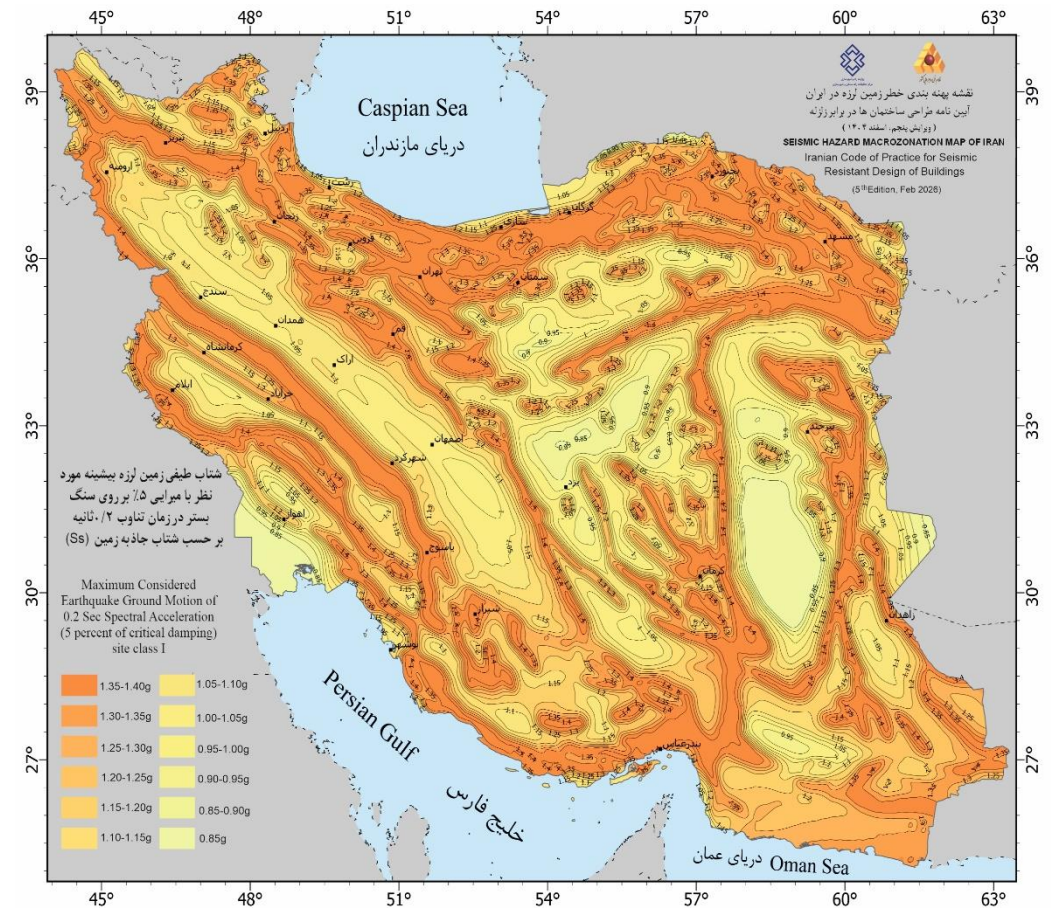
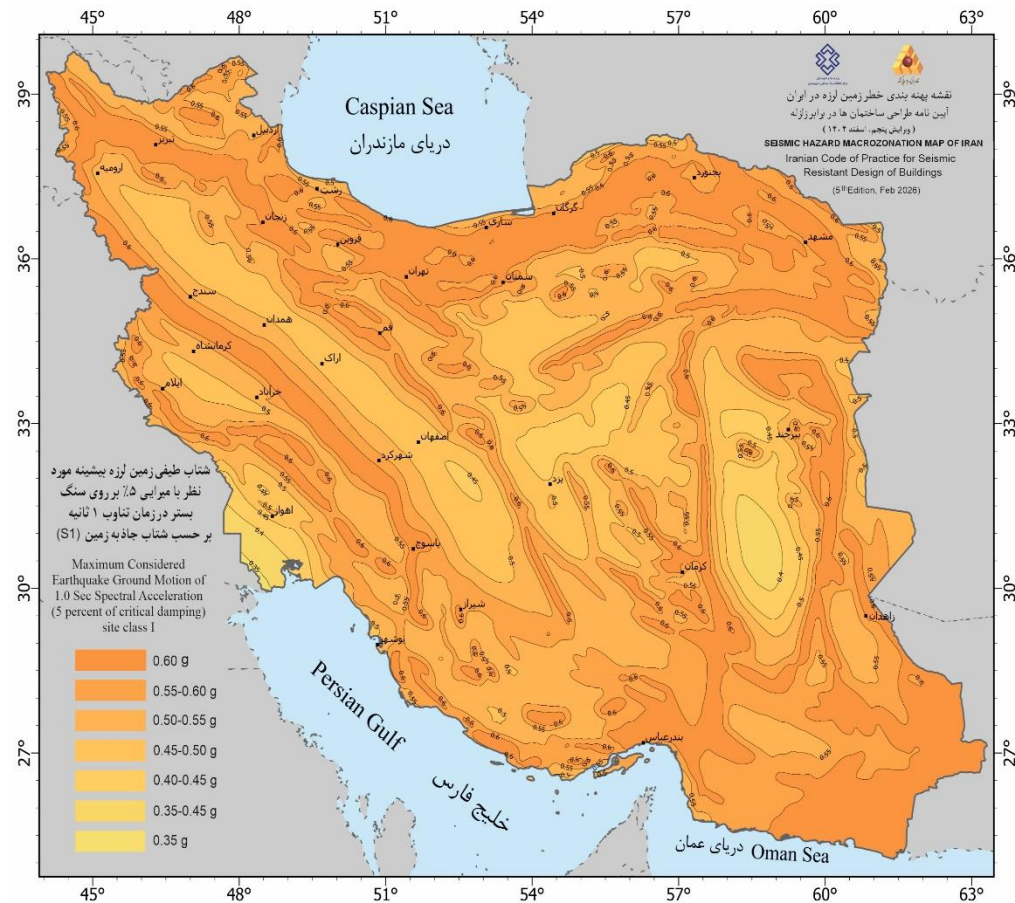
تعریف

حرکت زمین که در تحلیل سازه ها مورد استفاده قرار می گیرد، باید حداقل دارای شرایط **زلزله طرح** باشد. آثار حرکت زمین به یکی از صورت های **طیف بازتاب شتاب** یا **تاریخچه زمانی شتاب** مشخص می شود. برای **طیف بازتاب شتاب** می توان از **طیف طرح** استاندارد یا **طیف طرح ویژه** ساختگاه استفاده نمود.

مقادیر شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر بر روی سنگ بستر S_1 و S_S

مقادیر شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر با **میرایی ۵٪ بر روی سنگ بستر**، در زمان تناوب 0.2 و 1 ثانیه (S_1 و S_S) از نقشه های شتاب طیفی تعیین می شود. نقشه مقادیر شتاب های طیفی بر حسب شتاب ثقل، در شکل های پیوست ۱ این آیین نامه نشان داده شده است. همچنین **مقادیر شتاب های طیفی لرزه ای** مناطق مختلف، در پایگاه اختصاصی استاندارد ۲۸۰۰ در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی به نشانی <http://www.std2800.ir> قابل دریافت می باشد.

نقشه شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر بر روی سنگ بستر S_1 و S_s



مقادیر شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر در سطح زمین S_{MS} و S_{M1}

مقادیر شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر با میرایی ۵٪ روی زمین ساختگاه، در زمان تناوب ۰/۲ و ۱ ثانیه (S_{MS} و S_{M1}) با استفاده از مقادیر شتاب طیفی که روی بستر سنگی برآورد شده، بر اساس روابط زیر محاسبه می گردد:

$$S_{MS} = F_S \times S_s$$

$$S_{M1} = F_1 \times S_1$$

S_s : شتاب طیفی (بر حسب شتاب ثقل) زلزله بیشینه مورد نظر با میرایی ۵٪ بر روی سنگ بستر در زمان تناوب کوتاه ۰/۲ ثانیه

S_1 : شتاب طیفی (بر حسب شتاب ثقل) زلزله بیشینه مورد نظر با میرایی ۵٪ بر روی سنگ بستر برای زمان تناوب ۱ ثانیه

F_S : ضریب تاثیر نوع زمین ساختگاه در بازه شتاب ثابت یا بازه زمان تناوب کوتاه طیف

F_1 : ضریب تاثیر نوع زمین ساختگاه در بازه سرعت ثابت یا بازه زمان تناوب ۱ ثانیه

ضرایب تاثیر نوع ساختگاه در بازه زمانی کوتاه و یک ثانیه

جدول ۱-۲ ضریب تاثیر نوع ساختگاه در بازه زمان تناوب کوتاه (F_s)

نوع زمین	مقادیر شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر برای زمان تناوب های کوتاه*				
	$S_s \geq 1.5$	$S_s = 1.25$	$S_s = 1.0$	$S_s = 0.75$	$S_s = 0.5$
I**	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰
II	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۱	۱٫۲	۱٫۲
III	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۱	۱٫۲	۱٫۳
IV	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۳	۱٫۳	۱٫۶
V	۱٫۲	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۶
VI	طیف ویژه	طیف ویژه	طیف ویژه	طیف ویژه	طیف ویژه

* برای مقادیر میانی S_s از درون یابی خطی استفاده شود.

** برای زمین نوع یک، در صورتی که سرعت موج برشی با استفاده از آزمایش های ژئوفیزیکی درون چاهی مطمئن (حداقل ۳ اندازه گیری) تعیین شده است، می توان ضرایب ۰٫۹ را جایگزین کرد.

جدول ۲-۲ ضریب تاثیر نوع ساختگاه در زمان تناوب یک ثانیه (F_1)

نوع زمین	مقادیر شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر برای زمان تناوب ۱ ثانیه*				
	$S_1 \geq 0.6$	$S_1 = 0.5$	$S_1 = 0.4$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.2$
I**	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰	۱٫۰
II	۱٫۳	۱٫۳	۱٫۳	۱٫۳	۱٫۵
III	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۲
IV	۲٫۸	۲٫۸	۳٫۲	۳٫۳	۳٫۳
V	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۱	۲٫۲
VI	طیف ویژه	طیف ویژه	طیف ویژه	طیف ویژه	طیف ویژه

* برای مقادیر میانی S_1 از درون یابی خطی استفاده شود.

** برای زمین نوع یک، در صورتی که سرعت موج برشی با استفاده از آزمایش های ژئوفیزیکی درون چاهی مطمئن (حداقل ۳ اندازه گیری) تعیین شده است، می توان ضریب ۰٫۹ را جایگزین کرد.

مقادیر شتاب طیفی زلزله طرح، S_{DS} و S_{D1}

مقادیر شتاب طیفی زلزله طرح، در زمان تناوب 0.2 و 1 ثانیه (S_{DS} و S_{D1}) بر اساس روابط زیر محاسبه می گردد:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

طیف طرح استاندارد، S_a

طیف طرح استاندارد آیین نامه، بیانگر نحوه پاسخ سازه به حرکت زمین با توجه به نوع زمین ساختگاه آن است. این طیف با استفاده از روابط زیر تعیین می شود:

$$S_a = S_{DS} (0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0}) \quad 0 \leq T < T_0$$

$$S_a = S_{DS} \quad T_0 \leq T \leq T_S$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_L \geq T > T_S$$

$$S_a = S_{D1} (\frac{T_L}{T^2}) \quad T > T_L$$

T : زمان تناوب اصلی نوسان

T_0 : برابر است با $0.2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

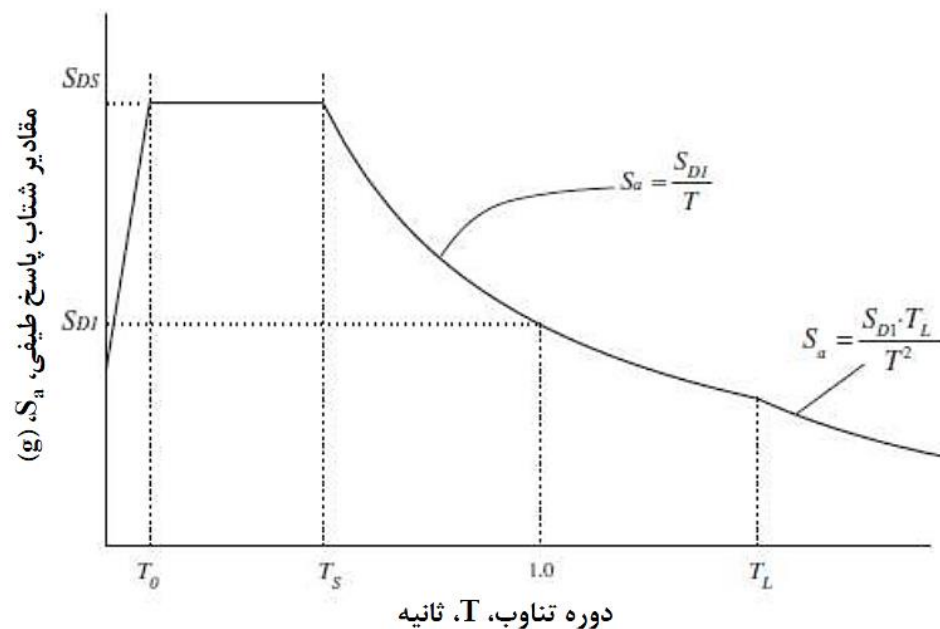
T_S : برابر است با $\frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

T_L : برابر است با زمان تناوب گوشه طیف در تناوب های بلند؛ ۶ ثانیه

S_{DS} : شتاب طیفی (بر حسب شتاب ثقل) زلزله پیشینه مورد نظر با میرایی ۵٪ روی زمین ساختگاه در زمان تناوب کوتاه ۰/۲ ثانیه

S_{D1} : شتاب طیفی (بر حسب شتاب ثقل) زلزله پیشینه مورد نظر با میرایی ۵٪ روی زمین ساختگاه در زمان تناوب ۱ ثانیه

شکل طیف طرح استاندارد



شکل ۱-۲ طیف طرح استاندارد

طیف زلزله بیشینه مورد نظر، S_{aM}

در صورت لزوم طیف زلزله بیشینه مورد نظر، $1/5$ برابر طیف طرح استاندارد این آیین نامه انتخاب شود.

طبقه بندی نوع خاک

زمین ساختگاه از نظر مشخصات لایه های زمین به شرح جدول مقابل طبقه بندی می شوند :

در این جدول:

$\bar{v}_s$: میانگین سرعت موج برشی در لایه های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری از تراز پایه
 $\bar{N}_{1(60)}$: میانگین N_{60} در لایه های مختلف خاک تا عمق ۳۰ متری
 $N_{1(60)}$: تعداد ضربات نفوذ استاندارد (اصلاح شده برای نسبت انرژی دستگاه)
 $\bar{C}_u$: میانگین C_u در لایه های مختلف خاک های چسبنده اشباع تا عمق ۳۰ متری
 C_u : مقاومت برشی زهکشی نشده در خاک های چسبنده اشباع

جدول ۲-۵ طبقه بندی نوع زمین

نوع زمین	توصیف لایه بندی زمین	پارامترها		
		$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}_{1(60)}$	$\bar{C}_u$ (kPa)
I	سنگ و شبه سنگ، با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف تر تا تراز پایه	>750	-	-
II	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت	$375-750$	>50	>250
III	خاک متراکم یا نسبتاً متراکم، شامل شن و ماسه متراکم تا نسبتاً متراکم یا رس سخت	$175-375$	$15-50$	$70-250$
IV	خاک متوسط تا نرم، شامل خاک غیرچسبنده با تراکم متوسط تا سست، یا خاک چسبنده سفت تا نرم	$100-175^*$	<15	$20-70$
V	پروفیل خاک متشکل از لایه های آبرفتی با سرعت موج برشی $\bar{v}_s$ در محدوده خاک های گروه III و IV و ضخامت بین ۵ متر تا ۲۰ متر، بر روی لایه سخت با سرعت موج برشی بزرگتر از ۷۵۰ متر بر ثانیه با حداقل ۳ برابر میانگین سرعت موج برشی لایه فوقانی	---	---	---
VI	نهشته های متشکل از حداقل ۱۰ متر خاک های رسی همراه با لای نرم و دارای اندیس خمیری بیش از ۴۰ و رطوبت زیاد	$<100^*$	-	$10-20^*$

* اعداد فوق برای راهنمایی کلی است و در عمل ممکن است مرز دو طبقه IV و VI کمی متفاوت باشد.

گروه طراحی لرزه ای

گروه طراحی لرزه ای ساختمان های مشمول این آیین نامه برحسب اهمیت ساختمان و لرزه خیزی منطقه طبقه جدول زیر تعیین می شود. نماد ها نشان دهنده گروه های طراحی لرزه ای ۱ تا ۳ می باشند.

جدول ۲-۶ گروه بندی طراحی لرزه ای ساختمان ها

شرایط	اهمیت خیلی زیاد	اهمیت زیاد	اهمیت متوسط و کم
$I_e \cdot S_{D1} \leq 0.40$ و $I_e \cdot S_{DS} \leq 0.75$	SDC-3	SDC-2	SDC-1
$I_e \cdot S_{D1} > 0.40$ یا $I_e \cdot S_{DS} > 0.75$ و $I_e \cdot S_1 \leq 0.6$	SDC-3	SDC-2	SDC-2
$I_e \cdot S_1 > 0.6$	SDC-3	SDC-3	SDC-3

بخش سوم

ضوابط طراحی لرزه ای سازه های ساختمانی

نظم کالبدی سازه

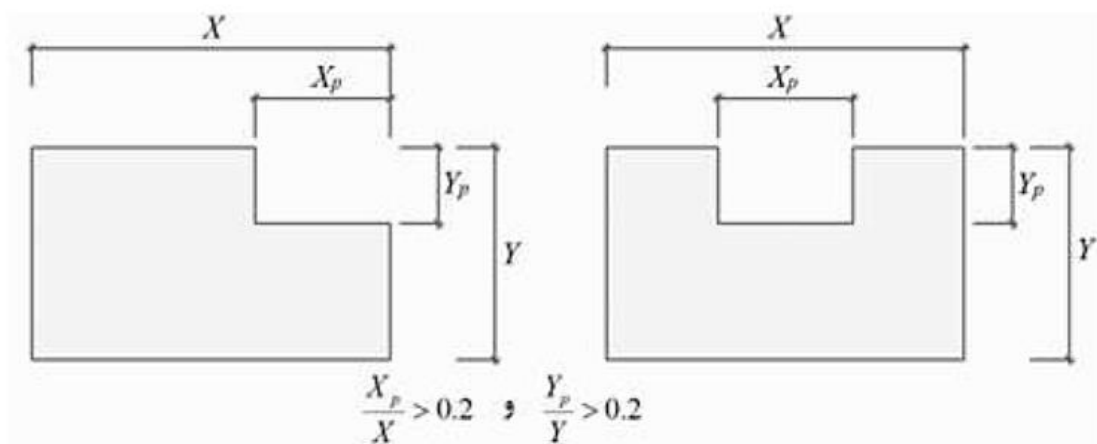
ساختمان‌ها به لحاظ خصوصیات کالبدی، مطابق ضوابط این آیین‌نامه به عنوان ساختمان **منظم** یا **نامنظم** دسته‌بندی می‌شوند. در صورتیکه هر کدام از انواع نامنظمی‌ها وجود داشته باشد، **کل ساختمان** در هر دو امتداد به عنوان ساختمان نامنظم محسوب می‌شود.

نامنظمی در پلان

الف) نامنظمی هندسی

میزان پس‌رفتگی همزمان در دو امتداد، بیش از ۲۰ درصد

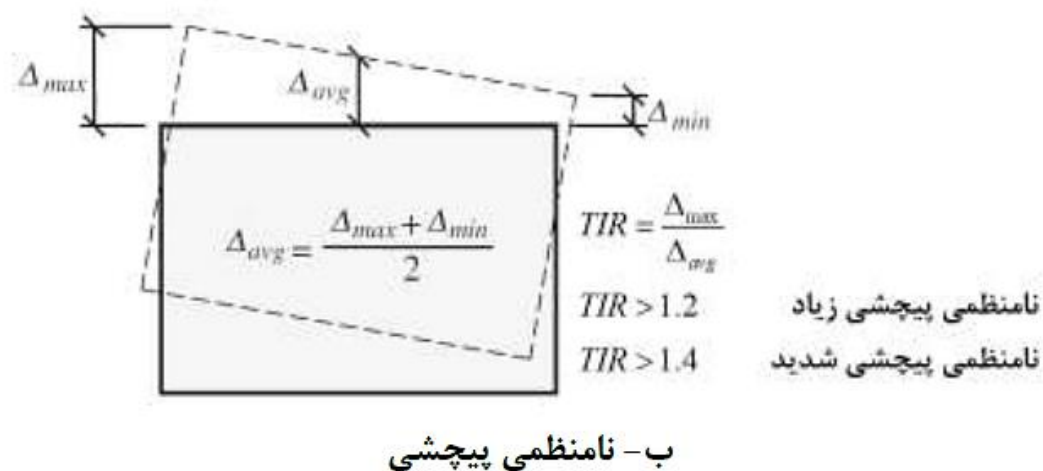
طول پلان در آن امتداد باشد.



الف - نامنظمی هندسی

ب) نامنظمی پیچشی

در مواردی که در طبقه ای از ساختمان، تغییر شکل پیچشی نسبت به تغییر شکل جانبی، قابل ملاحظه باشد، این موضوع با استفاده از نسبت نامنظمی پیچشی، TIR، بررسی می شود. در هر امتداد، TIR، نسبت حداکثر تغییر مکان نسبی در یک محور پیرامونی ساختمان در یک طبقه به متوسط تغییر مکان نسبی دو محور پیرامونی ساختمان در همان طبقه است که بر مبنای روش تحلیل استاتیکی معادل، با احتساب پیچش تصادفی و منظور نمودن $A_j = 1.0$ محاسبه می شود. چنانچه نسبت TIR بیش از ۱/۲ باشد، نامنظمی پیچشی زیاد، و در مواردی که نسبت TIR بیش از ۱/۴ باشد، نامنظمی پیچشی شدید محسوب می شود. بررسی نامنظمی های پیچشی صرفاً در مواردی که دیافراگم ها صلب یا نیمه صلب هستند موضوعیت دارد.



پ) نامنظمی در دیافراگم

تغییر ناگهانی در سختی دیافراگم به میزان بیش از ۵۰ درصد در یک دهانه نسبت به دهانه مجاور اتفاق افتاده باشد، یا در مواردی که بازشویی با مساحت بیش از ۲۵ درصد مساحت دیافراگم وجود داشته باشد.



پ-۲- نامنظمی در دیافراگم (مساحت)



پ-۱- نامنظمی در دیافراگم (سختی)

ت) نامنظمی جا به جایی خارج صفحه

انقطاعی در مسیر انتقال نیروهای جانبی به دلیل تغییر صفحه حداقل یکی از عناصر قائم مقاوم لرزه ای ایجاد شده باشد.

ث) نامنظمی سیستم های غیرموازی

بعضی از عناصر قائم مقاوم لرزه ای به موازات محورهای متعامد اصلی سیستم مقاوم لرزه ای نباشند.



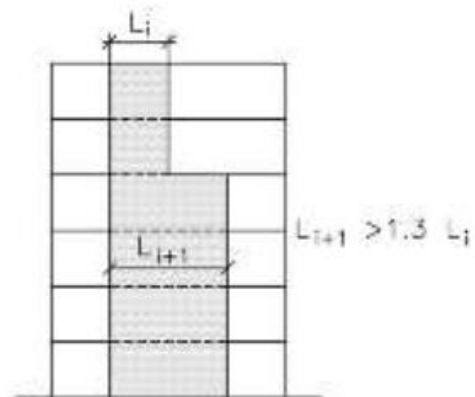
ث - نامنظمی سیستم های غیر موازی



ت - نامنظمی جابجایی خارج از صفحه

نامنظمی در ارتفاع

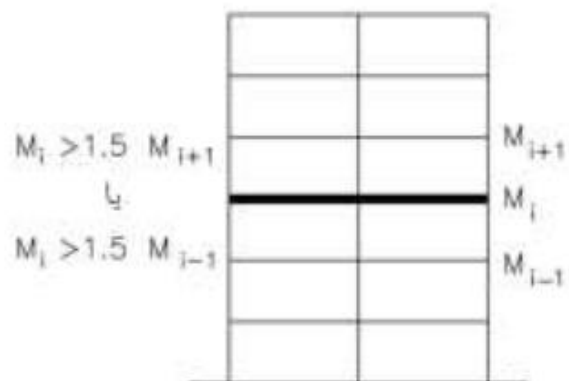
الف) نامنظمی هندسی



الف - نامنظمی هندسی

بعد افقی سیستم مقاوم لرزه ای در طبقه ای بیش از **۱۳۰ درصد** آن در طبقات مجاور باشد.

ب) نامنظمی جرمی



ب - نامنظمی جرمی

جرم طبقه ای بیش از **۱/۵ برابر** جرم طبقات مجاور باشد.

ت) نامنظمی قطع داخل صفحه عناصر قائم مقاوم لرزه ای

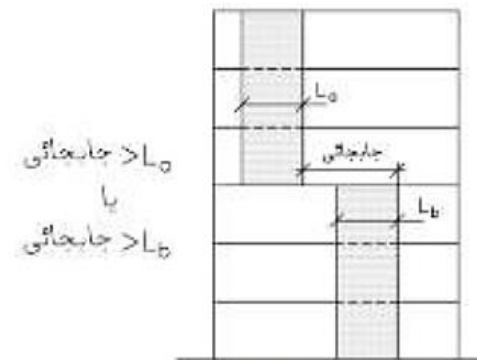
عناصر مقاوم لرزه ای در صفحه خود به میزانی بیش از حدود ارائه شده در شکل جا به جا شده باشند.

ث) نامنظمی مقاومت جانبی

در مواردی که طبقه ای از ساختمان، ضعیف یا خیلی ضعیف باشد. چنانچه مقاومت جانبی طبقه از ۸۵ درصد مقاومت جانبی طبقه روی خود کمتر باشد طبقه ضعیف و اگر از ۶۵ درصد مقاومت جانبی طبقه روی خود کمتر باشد طبقه خیلی ضعیف نامیده می شود.



ت - نامنظمی مقاومت جانبی عناصر قائم مقاوم لرزه‌ای

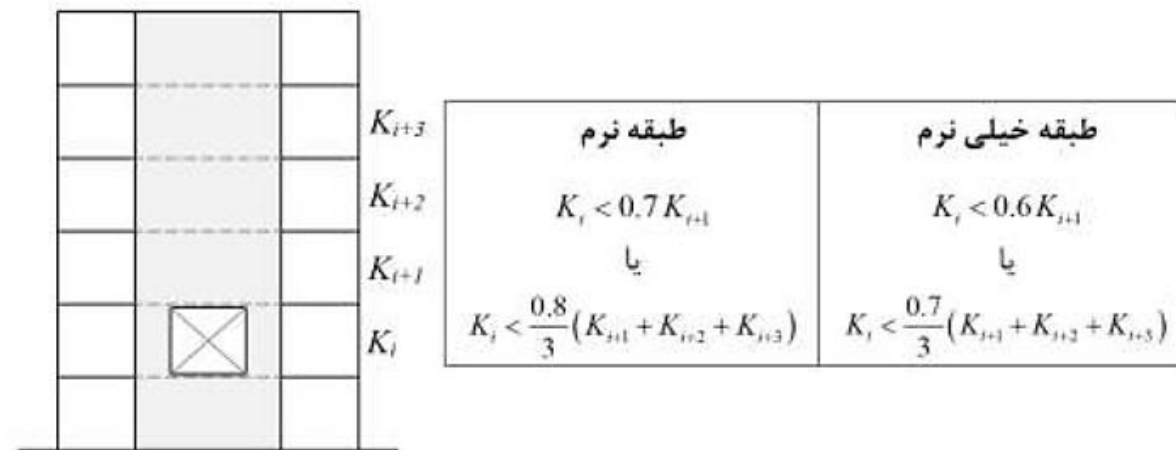


پ - نامنظمی قطع داخل صفحه

✓ به منظور بررسی **نامنظمی مقاومت جانبی**، می توان مقاومت جانبی طبقه را با انجام یک **تحلیل غیرخطی** و با اعمال یک نیروی جانبی به سقف طبقه مورد نظر، در شرایطی که کف طبقه، بدون حرکت انتقالی جانبی در نظر گرفته شده است محاسبه نمود.

ت) نامنظمی سختی جانبی

در مواردی که طبقه ای از ساختمان، نرم یا خیلی نرم باشد. چنانچه سختی جانبی طبقه، کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی جانبی سه طبقه روی خود باشد **طبقه نرم** و اگر مقادیر فوق به ترتیب به ۶۰ درصد و ۷۰ درصد کاهش یابند **طبقه خیلی نرم** نامیده می شود.



ث - نامنظمی سختی جانبی

✓ به منظور بررسی **نامنظمی سختی جانبی**، لازم است یک نیروی جانبی با مقدار دلخواه به سقف طبقه موردنظر اعمال گردد و **تغییر مکان جانبی ارتجاعی** آن طبقه، در شرایطی که صرفاً کف همان طبقه، بدون حرکت انتقالی جانبی در نظر گرفته شده است بر اساس روش **تحلیل خطی** محاسبه شود. از تقسیم نیروی مذکور به تغییر مکان جانبی ارتجاعی محاسبه شده، **سختی جانبی** آن طبقه تعیین می گردد.

تبصره : در صورتی که تحت اثر نیروی زلزله طرح، نسبت **تغییر مکان جانبی نسبی** در هیچکدام از طبقات از $\frac{1}{3}$ برابر این مقدار در **طبقه فوقانی** اش بیشتر نباشد، می توان **نامنظمی های ارتفاعی** از نوع جرمی و سختی جانبی را در آن سازه **نادیده** گرفت. برای انجام این بررسی، در محاسبه تغییر مکان جانبی نسبی طبقات می توان از **آثار پیش صرف نظر** نمود.

همچنین در ساختمان های **بیش از دو طبقه**، بررسی نسبت **تغییر مکان جانبی نسبی طبقه زیرین** بام به **تغییر مکان جانبی نسبی** بام ضرورت ندارد.

محدودیت در احداث ساختمان های نامنظم

الف) احداث ساختمان های دارای نامنظمی از نوع مقاومت جانبی با طبقه خیلی ضعیف در هیچ یک از گروه های طراحی لرزه ای مجاز نیست.

ب) احداث ساختمان های دارای نامنظمی از نوع سختی جانبی با طبقه خیلی نرم، مقاومت جانبی با طبقه ضعیف یا نامنظمی پیچشی شدید در گروه طراحی لرزه ای ۳، مجاز نیست.

طبقه بندی ساختمان بر اساس نوع سیستم سازه ای

الف) سیستم دیوار باربر

نوعی سیستم سازه ای است که در آن بارهای قائم کف ها عمدتاً توسط دیوارهای باربر ثقلی تحمل می شوند و مقاومت در برابر نیروهای جانبی زلزله از طریق مقاومت درون صفحه دیوارهای برشی تأمین می گردد. دیوارهای متشکل از قاب های سبک فولادی سرد نورد که با تسمه های فولادی یا صفحات پوششی فولادی مهار شده اند، جزء این سیستم محسوب می شوند.

ب) سیستم قاب ساختمانی

نوعی سیستم سازه ای است که در آن بارهای قائم کف ها عمدتاً توسط قاب های فضایی تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی از طریق دیوارهای برشی یا قاب های مهاربندی شده تأمین می شود.

تبصره: سیستم های سازه ای متشکل از قاب های فضایی و دیوارهای برشی بتن آرمه که در آن ها **بخش کمتری** از بارهای قائم توسط دیوارهای برشی تحمل می شود، جزء این دسته محسوب می گردند.

تبصره: سازه های متشکل از **دال بتنی تخت** (با یا بدون کتیبه) همراه با ستون که فاقد **تیر** بوده یا دارای **تیر** با ارتفاع مقطع برابر یا کمتر از ضخامت دال هستند و نیز سازه های متشکل از **سقف های تیرچه و بلوک** با تیرهایی که ارتفاع مقطع آن ها برابر یا کمتر از ضخامت سقف است به عنوان سیستم **قاب ساختمانی** محسوب گشته و در آن ها کل نیروی جانبی زلزله باید از طریق دیوارهای برشی یا قاب مهاربندی شده تحمل شود.

تبصره: در سازه های متشکل از سقف های **تیرچه و بلوک** با تیرهایی که ارتفاع مقطع آنها برابر ضخامت سقف است، چنانچه ارتفاع **تیر** بیشتر از ۳۰۰ میلیمتر باشد، سیستم می تواند **قاب خمشی** محسوب شود.

تبصره: ساختمان های فولادی دارای **اتصالات خورجینی ساده** (مطابق ضوابط نشریه شماره ۳۲۴ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی) جزء سیستم **قاب ساختمانی** محسوب می شوند و در آن ها مقاومت در برابر نیروهای جانبی باید از طریق دیوارهای برشی یا قاب های مهاربندی شده تأمین شود.

پ) سیستم قاب خمشی

نوعی سیستم سازه ای که در آن بارهای قائم کف ها توسط **قاب فضایی** تحمل می شوند و مقاومت در برابر نیروهای جانبی زلزله از طریق قاب های خمشی تأمین می گردد.

تبصره: قاب های فولادی دارای **اتصالات خورجینی گیردار** (مطابق ضوابط نشریه شماره ۳۲۴ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی) جزء **قاب های خمشی فولادی معمولی** محسوب می شوند.

پ) سیستم دوگانه

نوعی سیستم سازه ای که در آن بارهای قائم کف ها توسط **قاب فضایی** تحمل می شوند و مقاومت در برابر نیروهای جانبی زلزله از طریق دیوارهای برشی یا **قاب های مهاربندی شده، همراه با قابهای خمشی** تأمین می گردد. در این سیستم در صورت وجود دیوارهای بتن آرمه ممکن است بخشی از بار قائم کف ها توسط این دیوارها تحمل شود.

✓ در سیستم دوگانه ، قاب های خمشی باید قادر به تحمل حداقل **۲۵ درصد** نیروهای جانبی زلزله باشند.

تبصره: در کنترل قاب های خمشی برای شرط ۲۵ درصد، لزومی به کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات، در نظر گرفتن آثار مرتبه دوم (اثر پی دلتا) و در نظر گرفتن آثار پیچش اتفاقی نیست. در صورتیکه سیستم دوگانه، مشمول اعمال ضریب نامعینی باشد، آثار آن نیز باید در این محاسبات لحاظ شود.

ث) سیستم کنسولی

نوعی سیستم سازه ای است که در آن نیروهای جانبی زلزله توسط ستون هایی با رفتار طره ای تحمل می شوند. در این نوع سیستم سازه ای، الزامات زیر باید رعایت شوند:

- ۱) در ترکیب های بارگذاری که شامل نیروی زلزله طرح است، مقاومت محوری مورد نیاز ستون ها نباید از $0/15$ مقاومت محوری موجود آن ها بیشتر باشد.
- ۲) تکیه گاه ستون های کنسولی، شالوده و سایر اعضا و اجزاء مقاوم لرزه ای باید قادر به تأمین مقاومت های مورد نیاز حاصل از ترکیب های بارگذاری شامل نیروی زلزله تشدید یافته باشند.

ضریب رفتار؛ R_u

ضریب رفتار یک ساختمان در برگیرنده خصوصیاتى مانند **شکل پذیری** و **اضافه مقاومت** موجود در سازه آن است. مقدار این ضریب به نوع سیستم مقاوم لرزه ای ساختمان و الزاماتی که در آیین نامه های طراحی برای **تأمین شکل پذیری** آن پیش بینی شده است بستگی دارد.

ضریب اضافه مقاومت؛ Ω_0

ضریب اضافه مقاومت، به **اضافه مقاومت موجود اعضا و اجزاء سیستم مقاوم لرزه ای** نسبت به مقادیر مورد نیاز طراحی آن ها بستگی دارد. آیین نامه های طراحی، باید برای طراحی برخی از اعضا یا اتصالات در ترکیب های بارگذاری شامل نیروی **زلزله تشدید یافته**، به کار برده شود.

ضریب بزرگنمایی تغییر مکان جانبی؛ C_d

ضریب بزرگنمایی تغییر مکان جانبی، برای **تخمین تغییر مکان جانبی غیر ارتجاعی طبقه** بر مبنای تغییر مکان جانبی ارتجاعی طبقه ناشی از زلزله طرح به کار برده می شود.

جدول ۱-۳ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای (C_d و Ω_o , R_u) سیستم‌های مختلف مقاوم در برابر نیروی زلزله و حداکثر ارتفاع مجاز آن‌ها (H_m)

H_m (برحسب متر)			C_d	Ω_o	R_u	سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی زلزله	سیستم سازه
SDC-3	SDC-2	SDC-1					
۵۰	۵۰	۵۰	۶/۵	۲/۵	۶/۵	۱- دیوار برشی بتن‌آرمه همبند شکل‌پذیر [۱]	الف - سیستم دیوارهای باربر
۵۰	۵۰	۵۰	۵	۲/۵	۵	۲- دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه	
غیرمجاز	۱۰/۵	۱۵	۴	۲/۵	۴	۳- دیوار برشی بتن‌آرمه معمولی [۲]	
۱۰/۵	۱۰/۵	۱۵	۳	۲/۵	۴	۴- دیوار برشی بنایی مسلح	
۱۰/۵	۱۵	۲۰	۳/۵	۲	۴	۵- دیوار متشکل از قاب سبک فولادی سردنورد و مهارهای تسمه‌ای فولادی	
۱۰/۵	۱۵	۲۰	۴	۳	۵/۵	۶- دیوار متشکل از قاب سبک فولادی سردنورد و صفحات پوشش فولادی یا چوبی سازه‌ای	
غیرمجاز	۱۰/۵	۱۵	۳	۲	۳	۷- دیوار بتن پاششی سه‌بعدی	
۵۰	۵۰	۵۰	۶/۵	۲/۵	۶/۵	۱- دیوار برشی بتن‌آرمه همبند شکل‌پذیر [۱] و [۳]	ب - سیستم قاب ساختمانی
۵۰	۵۰	۵۰	۵	۲/۵	۶	۲- دیوار برشی بتن‌آرمه ویژه [۳]	
غیرمجاز	۱۰/۵	۱۵	۴	۲/۵	۴/۵	۳- دیوار برشی بتن‌آرمه معمولی [۲]	
۱۰/۵	۱۰/۵	۱۵	۳	۲/۵	۴	۴- دیوار برشی بنایی مسلح	
۵۰	۵۰	۵۰	۵	۲	۶	۵- قاب مهاربندی‌شده همگرای فولادی ویژه [۳]	
غیرمجاز	۱۰/۵	۱۵	۳/۵	۲	۳/۵	۶- قاب مهاربندی‌شده همگرای فولادی معمولی	
۵۰	۵۰	۵۰	۴	۲	۶/۵	۷- قاب مهاربندی‌شده واگرای فولادی با تیر پیوند برشی [۳]	
۴۰	۵۰	۵۰	۴	۲	۶	۸- قاب مهاربندی‌شده واگرای فولادی با تیر پیوند خمشی یا خمشی-برشی	

جدول ۳-۱ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای (C_d و Ω_o , R_u) سیستم‌های مختلف مقاوم در برابر نیروی زلزله و حداکثر ارتفاع مجاز آن‌ها (H_m)

H_m (بر حسب متر)			C_d	Ω_o	R_u	سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی زلزله	سیستم سازه
SDC-3	SDC-2	SDC-1					
۵۰	۵۰	۵۰	۵	۲٫۵	۶٫۵	۹- قاب مهاربندی شده کمانش تاب [۳]	ادامه سیستم قاب ساختمانی
۵۰	۵۰	۵۰	۵٫۵	۲	۶	۱۰- دیوار برشی فولادی ویژه	
۵۰	۵۰	۵۰	۴٫۵	۲	۵	۱۱- قاب مهاربندی شده همگرای مختلط ویژه	
۵۰	۵۰	۵۰	۴	۲٫۵	۶٫۵	۱۲- قاب مهاربندی شده واگرای مختلط	
۵۰	۵۰	۵۰	۵	۲٫۵	۵٫۵	۱۳- دیوار برشی مختلط ویژه	
۵۰	۷۰	۱۰۰	۵٫۵	۳	۶٫۵	۱- قاب خمشی بتن آرمه ویژه	پ- سیستم قاب خمشی
غیرمجاز	۱۸	۲۱	۴٫۵	۳	۴٫۵	۲- قاب خمشی بتن آرمه متوسط [۴] و [۵]	
غیرمجاز	غیرمجاز	۱۰٫۵	۲٫۵	۳	۳	۳- قاب خمشی بتن آرمه معمولی [۵]	
۸۰	۱۰۰	۱۲۰	۵٫۵	۳	۶٫۵	۴- قاب خمشی فولادی ویژه	
غیرمجاز	۲۱	۲۸	۴٫۵	۳	۴٫۵	۵- قاب خمشی فولادی متوسط [۶]	
غیرمجاز	غیرمجاز	۱۰٫۵	۳	۳	۳٫۵	۶- قاب خمشی فولادی معمولی [۷]	
۳۵	۳۵	۵۰	۵	۳	۶	۷- قاب خمشی خرابایی فولادی ویژه	
۷۰	۱۰۰	۱۲۰	۵٫۵	۳	۶٫۵	۸- قاب خمشی مختلط ویژه	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۷٫۵	۳	۷٫۵	۱- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل پذیر [۱]	ت- سیستم دوگانه
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵٫۵	۲٫۵	۷	۲- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن آرمه ویژه	

جدول ۳-۱ مقادیر پارامترهای لرزه‌ای (C_d و Ω_o , R_u) سیستم‌های مختلف مقاوم در برابر نیروی زلزله و حداکثر ارتفاع مجاز آن‌ها (H_m)

H_m (بر حسب متر)			C_d	Ω_o	R_u	سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی زلزله	سیستم سازه
SDC-3	SDC-2	SDC-1					
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵/۵	۲/۵	۷	۳- قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده همگرای فولادی ویژه	ادامه سیستم دوگانه
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۴	۲/۵	۷/۵	۴- قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده واگرای فولادی با تیر پیوند برشی	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۴	۲/۵	۷	۵- قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده واگرای فولادی با تیر پیوند خمشی یا خمشی-برشی	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵	۲/۵	۷	۶- قاب خمشی فولادی ویژه + قاب مهاربندی شده کماتش تاب	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۶	۲/۵	۷	۷- قاب خمشی فولادی ویژه + دیوار برشی فولادی ویژه	
۲۱	۳۵	۵۰	۵	۲/۵	۶	۸- قاب خمشی متوسط (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی بتن آرمه ویژه	
۲۱	۳۵	۵۰	۵	۲/۵	۶	۹- قاب خمشی فولادی متوسط + قاب مهاربندی شده همگرای فولادی ویژه	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۵	۲/۵	۶	۱۰- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + قاب مهاربندی شده همگرای مختلط ویژه	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۴	۲/۵	۷	۱۱- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + قاب مهاربندی شده واگرای مختلط	
۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۶	۲/۵	۷	۱۲- قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) + دیوار برشی مختلط ویژه	
۱۵	۲۸	۳۵	۴/۵	۲/۵	۵	۱۳- قاب خمشی متوسط (فولادی یا بتنی) + قاب مهاربندی شده همگرای مختلط ویژه	
۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰/۵	۲	۱/۵	۲	سازه فولادی یا بتن آرمه ویژه	ث- سیستم ستون کنسولی

[۱] در صورتیکه سیستم مقاوم لرزه ای از نوع **دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل پذیر** یا قاب خمشی ویژه (فولادی یا بتنی) توأم با دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل پذیر بوده و ارتفاع ساختمان از روی تراز پایه **کمتر از ۱۸ متر** باشد، پارامترهای لرزه ای دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل پذیر باید مشابه پارامترهای لرزه ای **دیوار برشی بتن آرمه ویژه** در نظر گرفته شود.

[۲] برای استفاده از **دیوار برشی بتن آرمه معمولی** در گروه طراحی لرزه ای ۲، دیوار باید فاقد بازشو بوده، طول آن از ارتفاع طبقه کمتر نبوده و مقدار تنش قائم موجود در آن در اثر بارهای ثقلی قابل انتظار بیشتر از ۱۵٪ مقاومت مشخصه فشاری بتن نباشد.

[۳] در سیستم **قاب ساختمانی** با دیوار برشی بتن آرمه همبند شکل پذیر، دیوار برشی بتن آرمه ویژه، قاب مهاربندی شده همگرای ویژه، قاب مهاربندی شده واگرا با تیرهای پیوند دارای رفتار برشی و قاب مهاربندی شده کمانش تاب، حداکثر ارتفاع مجاز می تواند **از ۵۰ متر به ۷۰ متر افزایش** یابد، مشروط بر آنکه هر سه شرط زیر برقرار باشد:

(الف) ساختمان در گروه طراحی لرزه ای ۳ قرار نداشته باشد؛

(ب) ساختمان دارای نامنظمی در پلان از نوع پیچشی شدید نباشد؛

(پ) در هر امتداد اصلی و در هر طبقه، سهم برش سیستم مقاوم لرزه ای هر صفحه قابی، بدون توجه به پیچش اتفاقی، بیش از ۶۰ درصد برش کل آن طبقه نباشد.

[۴] برای استفاده از قاب خمشی بتن آرمه متوسط در گروه طراحی لرزه ای ۲ علاوه بر ضوابط مندرج در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، مجموع ظرفیت خمشی اسمی ستون ها در بالا و پایین هر اتصال باید بزرگتر یا برابر مجموع ظرفیت خمشی اسمی تیرها در دو سمت اتصال باشد.

[۵] در قاب خمشی بتن آرمه متوسط یا معمولی حداقل بعد ستون باید ۳۰۰ میلیمتر باشد. ضمناً حداکثر فاصله تنگ ها در نواحی بحرانی باید کمتر از ۶ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی و ۱۵۰ میلیمتر باشد، ولی لازم نیست این فاصله کمتر از ۱۲۵ میلیمتر باشد.

[۶] در گروه طراحی لرزه ای ۳، قاب خمشی فولادی متوسط را می توان تا حداکثر ارتفاع ۱۵ متر از تراز پایه استفاده کرد به شرطی که سیستم سازه ای دارای یک طبقه بوده و مقدار بار مرده بام، کمتر از یک کیلونیوتن بر مترمربع و وزن واحد سطح دیوارهای پیرامونی با ارتفاع بیش از ۱۰/۵ متر از تراز پایه، کمتر از یک کیلونیوتن بر مترمربع باشد.

[۷] در گروه های طراحی لرزه ای ۱ و ۲، قاب خمشی فولادی معمولی را می توان تا ارتفاع حداکثر ۲۰ متر از تراز پایه استفاده کرد به شرطی که سیستم سازه ای دارای یک طبقه بوده و مقدار بار مرده بام، کمتر از یک کیلونیوتن بر مترمربع و وزن واحد سطح دیوارهای پیرامونی با ارتفاع بیش از ۱۰/۵ متر از تراز پایه، کمتر از یک کیلونیوتن بر مترمربع باشد.

ضریب نامعینی سازه؛ ρ

ساختمان هایی که سیستم مقاوم لرزه ای آن ها دارای **نامعینی کافی** نیست باید برای نیروی جانبی بیشتری طراحی شوند. برای این منظور، **نیروی زلزله** هر یک از دو امتداد متعامد ساختمان که فاقد نامعینی کافی است باید در **ضریب نامعینی ضرب** شود.

جدول ۲-۳ مقدار ضریب ρ برای گروه های مختلف طراحی لرزه ای

گروه های طراحی لرزه ای ۱ و ۲	گروه طراحی لرزه ای ۳
۱/۲	۱/۳

✓ در موارد زیر می توان مقدار **ضریب نامعینی** را برابر ۱ در نظر گرفت:

الف) در کلیه ساختمان ها، مشروط بر آنکه در آن امتداد در تمامی طبقاتی که میزان برش در آن ها از ۳۵ درصد برش پایه بیشتر است اولاً **حداقل دو دهانه مقاوم جانبی در هر طرف مرکز جرم** در آن امتداد وجود داشته باشد؛ ثانیاً **حذف عضوی** از سیستم مقاوم لرزه ای یا **اتصالات** آن مطابق جدول ارائه شده موجب :

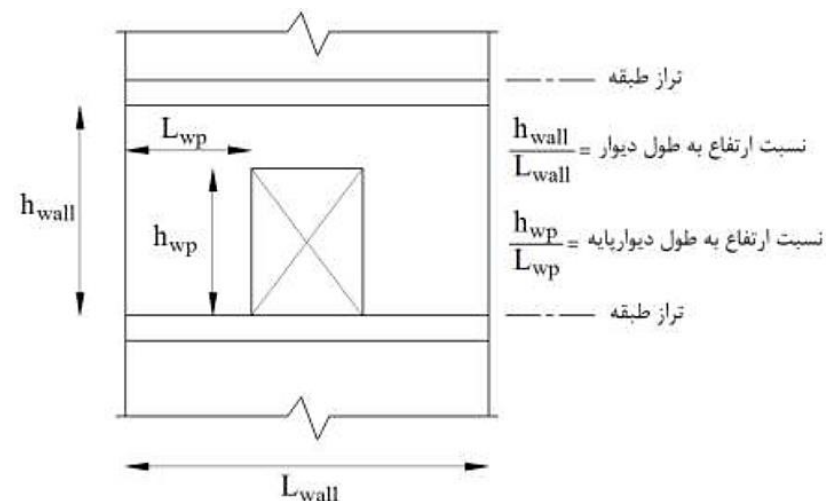
(۱) کاهش مقاومت جانبی طبقه به میزان بیش از ۳۵ درصد نشود؛

(۲) بر اساس روش تحلیل استاتیکی معادل و با در نظر گرفتن اثر پیچش اتفاقی، نامنظمی پیچشی شدید در طبقه ایجاد نگردد.

(ب) در ساختمان های منظم در پلان، چنانچه در طبقاتی که میزان برش در آن ها از ۳۵ درصد برش پایه بیشتر است حداقل دو دهانه مقاوم جانبی در قاب های پیرامونی در هر دو امتداد متعامد سازه وجود داشته باشد.

جدول ۳-۳ محدودیت های مربوط به $\rho=1/0$

الزامات	نوع عضو مقاوم لرزه ای	
حذف یک عضو مهاربندی یا اتصالات آن	قاب مهاربندی شده یا دیوار متشکل از قاب سبک فولادی سردنورد و مهارهای تسمه ای فولادی	۱
حذف مقاومت خمشی اتصالات دو انتهای یک تیر	قاب خمشی	۲
حذف مقاومت خمشی یک خرپای فولادی	قاب خمشی خرپایی فولادی	۳
حذف یک دیوار برشی یا یک دیوارپایه، با نسبت ارتفاع به طول بیشتر از ۱/۰ یا حذف اتصالات جمع کننده آن ها (مطابق شکل ۳-۳)	دیوار برشی یا دیوارپایه (شامل دیوار برشی بتن آرمه، دیوار برشی فولادی، دیوار برشی مختلط، دیوار برشی بنایی مسلح و دیوار بتن پاششی سه بعدی)	۴
حذف مقاومت خمشی یک ستون در اتصال پایه آن	ستون کنسولی	۵



شکل ۳-۳ نسبت ارتفاع به طول دیوار برشی و دیوار پایه، مربوط به ردیف ۴ جدول ۳-۳

✓ موارد زیر مشمول اعمال ضریب نامعینی نبوده و در آن ضریب نامعینی می تواند برابر ۱ در نظر گرفته شود:

(الف) محاسبه تغییر مکان های جانبی ساختمان

(ب) محاسبه آثار مرتبه دوم ($P - \Delta$ و $P - \delta$)

(پ) تعیین نیروی جانبی زلزله برای طراحی دیافراگم

(ت) طراحی جمع کننده ها، وصله ها و اتصالات آن ها، هنگامی که نیروی زلزله آن ها با استفاده از ضریب اضافه مقاومت تشدید می شود

(ث) طراحی اعضا و اتصالات، زمانی که نیروی زلزله آن ها با استفاده از ضریب اضافه مقاومت تشدید می شود

(ج) طراحی دیوارهای سازه ای تحت نیروی عمود بر صفحه و نیز اجزاء مهار کننده آن ها

(چ) نیروی قائم ناشی از زلزله

امتداد اثر نیروهای زلزله

ساختمان باید در دو امتداد عمود بر هم، تحت اثر نیروهای زلزله ناشی از مؤلفه های افقی شتاب حرکت زمین محاسبه شود. این محاسبه می تواند در هر یک از این دو امتداد، به طور مجزا و بدون در نظر گرفتن نیروی زلزله در امتداد دیگر انجام شود؛ لیکن در موارد زیر لازم است امتداد اعمال نیروی زلزله با زاویه مناسبی که حتی المقدور بیشترین اثر را ایجاد می کند انتخاب شود، یا از جمع آثار ۱۰۰ درصد نیروی زلزله هر امتداد با ۳۰ درصد نیروی زلزله در امتداد عمود بر آن استفاده گردد:

(الف) سازه و شالوده ساختمان های دارای نامنظمی در پلان از نوع نامنظمی پیچشی زیاد، پیچشی شدید و سیستم های غیر موازی.

(ب) تمامی ستون هایی که در محل تقاطع دو یا چند سیستم مقاوم لرزه ای قرار دارند و نیز شالوده این اعضا.

(پ) تمامی دیوارهای متشکل از قاب سبک فولادی سرد نورد و مهارهای تسمه ای فولادی، دیوارهای برشی بتن آرمه و بنایی که از تلاقی چند دیوار متقاطع تشکیل شده اند و نیز شالوده این اعضا.

(ت) سیستم ستون کنسولی و نیز شالوده آن.

میانقاب ها

دیوارهای داخلی و خارجی ساختمان باید به نحوی اجرا شوند که مانعی برای حرکت اعضای سازه در هنگام زلزله ایجاد نکنند (مطابق پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰).

✓ در صورتیکه دیوار به طور کامل دهانه ای از یک قاب فولادی یا بتنی را پوشانده و توسط تیرها و ستون ها یا دیوارهای سازه ای احاطه شده و با آن ها در تماس باشد، میانقاب نامیده می شود. چنین دیواری باعث تغییر در سختی، مقاومت و شکل پذیری قاب می شود.

✓ در ساختمان های چهار طبقه و کوتاه تر که دارای اهمیت خیلی زیاد نباشند، به جای جداسازی لرزه ای می توان اثرات میانقاب ها را مطابق ضوابط پیوست ۵ این آیین نامه در مدلسازی، تحلیل و طراحی سازه ساختمان لحاظ نمود.

پله ها و شیب راه ها

پله ها و شیب راه ها (رمپ ها) باید به گونه ای طراحی و جزئیات بندی شوند که در هنگام زلزله، عملکرد مناسبی داشته و **اختلالی در باربری و شکل پذیری** مورد انتظار سیستم مقاوم لرزه ای ساختمان ایجاد ننمایند. برای این منظور لازم است بر مبنای یکی از روش های زیر عمل شود:

الف) **جداسازی** پله ها و شیب راه ها از سیستم مقاوم لرزه ای ساختمان؛ به طوری که این اعضا **عضو غیرسازه ای** محسوب شوند و عملکرد سیستم مقاوم لرزه ای ساختمان، مستقل از سختی آن ها باشد. در این حالت باید پله ها و شیب راه ها قادر به تحمل **بارهای ثقلی**، علاوه بر **ضوابط فصل ۴ و پیوست ۶** استاندارد ۲۸۰۰ باشد.

ب) **عدم جداسازی** سازه پله ها و شیب راه ها از سازه ساختمان؛ در این حالت، رفتار لرزه ای سازه، متأثر از سختی این اعضا بوده و لازم است تأثیر سختی آنها بر پاسخ های سیستم مقاوم لرزه ای ساختمان نیز مد نظر قرار گیرد. بدین منظور لازم است اولاً تحلیل سازه ساختمان و همچنین بررسی نامنظمی های آن با استفاده از دو مدل، **یک بار با در نظر گرفتن سختی** این اعضا و **یک بار هم بدون منظور نمودن سختی** آن ها انجام گردد؛ ثانیاً پله ها و شیب راه ها به گونه ای طراحی شوند که مقاومت لازم تحت ترکیب های بارگذاری شامل **نیروی زلزله تشدید یافته (با ضریب اضافه مقاومت بالاتر از ۲/۵)** را داشته باشند.

وزن مؤثر لرزه ای

برای انجام تحلیل های استاتیکی یا دینامیکی، **وزن مؤثر لرزه ای** شامل مجموع بارهای مرده، وزن تأسیسات ثابت، وزن دیوارها، تیغه ها و جدا کننده ها، همراه با **درصدی از بار زنده طبقات** و درصدی از بار برف بام، مطابق جدول زیر می باشد:

جدول ۳-۴ درصد میزان مشارکت بار زنده و بار برف در محاسبه نیروی جانبی زلزله

نوع بار زنده یا بار برف	درصد مشارکت بار زنده یا بار برف
بام ساختمان‌ها در مناطق با برف زیاد، سنگین و فوق سنگین	۲۰
بام ساختمان‌ها در سایر مناطق	-
ساختمان‌های مسکونی، اداری، هتل‌ها، مدارس، پارکینگ‌ها، بیمارستان‌ها، فروشگاه‌ها و ساختمان‌های محل اجتماع یا ازدحام	۲۰
کتابخانه‌ها و انبارها (با توجه به نوع کاربری)	حداقل ۴۰
مخازن آب یا سایر مایعات	۱۰۰

روش تحلیل خطی

روش های تحلیل خطی را می توان در تمامی ساختمان ها با هر تعداد طبقه به کار برد؛ لیکن استفاده از روش استاتیکی معادل، صرفاً در ساختمان های زیر مجاز است:

(الف) ساختمان های حداکثر تا سه طبقه و ۱۰/۵ متر از روی تراز پایه، که دارای نامنظمی در ارتفاع از نوع سختی جانبی با طبقه خیلی نرم نیستند.

(ب) ساختمان های منظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از روی تراز پایه.

(پ) ساختمان های نامنظم با ارتفاع کمتر از ۵۰ متر از روی تراز پایه که دارای نامنظمی در پلان از نوع پیچشی زیاد و شدید نیستند و همچنین دارای نامنظمی در ارتفاع از نوع سختی جانبی اعم از طبقه نرم یا خیلی نرم، جرمی و هندسی نیستند.

(ت) ساختمان های منظم با ارتفاع بیشتر از ۵۰ متر از روی تراز پایه که در آن ها $T < 3.5 T_s$ باشد.

روش تحلیل غیر خطی

برای اطمینان از عملکرد مورد نظر سازه ساختمان های زیر، تحت اثر زلزله، این سازه ها باید علاوه بر تحلیل بر مبنای یکی از روش های تحلیل خطی و اقناع کلیه ضوابط آن، مطابق یکی از روش های تحلیل غیرخطی نیز کنترل شوند:

الف) بیمارستان ها و آن دسته از ساختمان های ضروری که مرکز اصلی عملیات امداد و نجات در هنگام وقوع زلزله محسوب می شوند.

ب) ساختمان های با بیش از ۳۰ طبقه یا با ارتفاع بیش از ۱۲۰ متر از تراز پایه.

پ) ساختمان های با بیش از ۱۵ طبقه یا با ارتفاع بیش از ۵۰ متر از تراز پایه، که دارای نامنظمی در پلان از نوع پیچشی شدید یا نامنظمی در ارتفاع از نوع سختی جانبی با طبقه خیلی نرم هستند.

روش تحلیل استاتیکی معادل

برش پایه؛ V_u

در هر یک از امتدادهای ساختمان، مقدار برش پایه با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V_u = C W$$

$$C = \frac{S_a}{\left(\frac{R_u}{I_e}\right)}$$

V_u : برش پایه ساختمان در امتداد مورد نظر

C : ضریب زلزله در امتداد مورد نظر

W : وزن موثر لرزه ای ساختمان در بالای تراز پایه

S_a : شتاب طیفی که بر مبنای طیف طرح استاندارد و زمان تناوب اصلی نوسان جانبی تعیین می شود

R_u : ضریب رفتار سیستم مقاوم لرزه ای در امتداد مورد نظر

I_e : ضریب اهمیت ساختمان

برش پایه حداقل؛ $V_{u \min}$

در هر یک از امتدادهای ساختمان، مقدار برش پایه حداقل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$V_{u \min} = C_{\min} W$$

$$C_{\min} = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01$$

همچنین در صورتی که $S_1 \geq 0.6$ که باشد، مقدار $C_{\min}$ نباید از رابطه زیر کمتر در نظر گرفته شود:

$$C_{\min} = 0.5 S_1 / (R_u / I_e)$$

$V_{u \min}$: برش پایه حداقل ساختمان در امتداد مورد نظر

$C_{\min}$: ضریب زلزله حداقل در امتداد مورد نظر

W : وزن موثر لرزه ای ساختمان در بالای تراز پایه

S_{DS}, S_1 : پارامترهای شتاب طیفی زلزله

R_u : ضریب رفتار سیستم مقاوم لرزه ای در امتداد مورد نظر

I_e : ضریب اهمیت ساختمان

تراز پایه

در طراحی ساختمان ها، تراز پایه باید به صورت زیر در نظر گرفته شود:

الف) برای ساختمان های بدون زیرزمین یا ساختمان های دارای زیرزمین که دیوارهای حائل آن ها به سازه ساختمان متصل نباشند باید تراز پایه در سطح فوقانی شالوده در نظر گرفته شود.

ب) برای ساختمان های دارای زیرزمین، در صورتی که دیوارهای حائل زیر زمین در کل محیط ساختمان اجرا و به سازه متصل باشند و همچنین خاک مجاور دیوارهای زیرزمین، به حد کافی متراکم باشد تراز پایه را می توان در محل نزدیک ترین سقف به زمین مجاور دیوارهای زیرزمین که از پایین ترین تراز زمین مذکور بالاتر نباشد، در نظر گرفت، مشروط بر آنکه تمامی شرایط زیر برقرار باشد:

– دیوار های حائل زیر زمین، بتن آرمه باشند؛

– کف طبقه ای که به عنوان تراز پایه در نظر گرفته می شود و نیز کلیه کف های زیر آن از نوع دال بتن آرمه یا عرشه فولادی با بتن رویه باشند و به دیوارهای زیر زمین متصل و مهار گردند؛

- فضای بین دیوارهای حائل زیرزمین و جداره های گود در کلیه وجوه ساختمان، با خاک مناسب متراکم شده (ترجیحاً خاک های دانه ای) یا با بتن پر شده باشد، به طوری که اتصال کامل و منسجم بین دیوارهای حائل با خاک متراکم طبیعی یا متراکم شده یا تحکیم شده برقرار باشد؛

- سختی جانبی سازه در بخش زیر تراز پایه، حداقل ۱۰ برابر سختی جانبی سازه در بخش بالای تراز پایه باشد.

- وجود بازشوهای محدود در دیوارهای زیرزمین بلامانع است، مشروط بر آنکه تأثیر زیادی بر سختی دیوارهای زیرزمین و سختی طبقات زیر تراز پایه نداشته باشند.

- در صورتیکه در مجاورت یک یا چند وجه ساختمان، زیرزمین وجود داشته باشد باید تراز پایه در سطح فوقانی شالوده در نظر گرفته شود. در این خصوص مقتضی است احتمال ایجاد زیرزمین در آینده نیز بررسی شود.

✓ متذکر می گردد در صورت عدم وجود دیوارهای زیرزمین در تمامی محیط ساختمان، باید به اثرات نامطلوب عدم تقارن سازه ای ناشی از آن و اثرات نیروهای رانشی غیر متقارن خاک توجه ویژه شود.

زمان تناوب اصلی نوسان جانبی سازه؛ T

در هر امتداد، زمان تناوب اصلی نوسان جانبی سازه باید بر مبنای مشخصات و ویژگی های ارتعاشی سازه و با استفاده از تحلیل مدل سازه تعیین شود؛ لیکن مقدار آن نباید از $\frac{1}{4}$ برابر مقدار محاسبه شده برای آن امتداد بر مبنای روابط تجربی، بیشتر در نظر گرفته شود.

تبصره: در محاسبه زمان تناوب اصلی نوسان جانبی سازه، ضرایب اصلاح سختی اعضای بتن آرمه باید همان مقادیری در نظر گرفته شود که هنگام طراحی آنها تحت نیروها و تلاش های ایجاد شده در نظر گرفته شده است.

روابط تجربی تعیین زمان تناوب نوسان جانبی در ساختمان های متعارف

زمان تناوب اصلی نوسان جانبی سازه در هر امتداد را می توان از طریق روابط تجربی به شرح زیر تعیین نمود:

الف) سیستم قاب خمشی

۱) در مواردی که میانقاب ها مانعی در برابر حرکت جانبی قاب ها ایجاد ننمایند:

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

قاب خمشی فولادی و مختلط

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

قاب خمشی بتن آرمه

(۲) در مواردی که میانقاب ها مانعی در برابر حرکت جانبی قاب ها ایجاد نمایند:

$$T = 0.049 H^{0.75}$$

(ب) قاب های مهاربندی شده با مهار بندهای واگرا یا مهار بندهای کمانش تاب، در سیستم قاب ساختمانی و سیستم دوگانه

(۱) در مواردی که میانقاب ها مانعی در برابر حرکت جانبی قاب ها ایجاد ننمایند:

$$T = 0.073 H^{0.75}$$

(۲) در مواردی که میانقاب ها مانعی در برابر حرکت جانبی قاب ها ایجاد نمایند:

$$T = 0.049 H^{0.75}$$

(پ) سایر سیستم های مندرج در جدول، با یا بدون وجود میانقاب ها

$$T = 0.049 H^{0.75}$$

توزیع نیروی جانبی ناشی از زلزله در ارتفاع ساختمان

برش پایه ساختمان باید مطابق رابطه زیر در ارتفاع توزیع گردد:

$$F_{ui} = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j h_j^k} \times V_u$$

$$k = 0.5T + 0.75 \quad 0.5 \leq T \leq 2.5 \text{ Sec}$$

$$T < 0.5 \rightarrow k = 1 ; T > 2.5 \rightarrow k = 2$$

F_{ui} : نیروی جانبی ناشی از زلزله در تراز طبقه i

W_i : بخشی از وزن موثر لرزه ای، متعلق به طبقه i

h_i : ارتفاع طبقه i از روی تراز پایه

n : تعداد طبقه ساختمان در بالای تراز پایه

k : ضریب که با توجه به زمان تناوب اصلی نوسان جانبی سازه محاسبه می شود

تبصره: در توزیع برش پایه در ارتفاع ساختمان، لازم است **خریشته** نیز همواره به عنوان **یک طبقه مستقل** در نظر گرفته شود.

تراز پایه توزیع برش طبقه ناشی از زلزله در پلان ساختمان و آثار پیچش

در تحلیل و طراحی ساختمان ها باید پیچش ذاتی که ناشی از برون مرکزی نیروهای جانبی زلزله به دلیل فاصله بین مرکز سختی طبقه مورد نظر و مراکز جرم آن طبقه و طبقات بالاتر است در نظر گرفته شود.

پیچش اتفاقی به منظور لحاظ نمودن احتمال تغییرات اتفاقی توزیع جرم و سختی و نیز آثار ناشی از مؤلفه پیچشی حرکت زمین در نظر گرفته می شود. مقدار این پیچش در هر طبقه را می توان از حاصل ضرب نیروی جانبی زلزله آن طبقه، در ۵ درصد بعد ساختمان در آن طبقه تعیین نمود.

در مواردی که سازه تحت اثر همزمان نیروهای زلزله دو امتداد افقی عمود بر هم محاسبه می شود، لازم نیست اثر پیچش اتفاقی دو امتداد افقی متعامد ساختمان، به طور همزمان در نظر گرفته شوند.

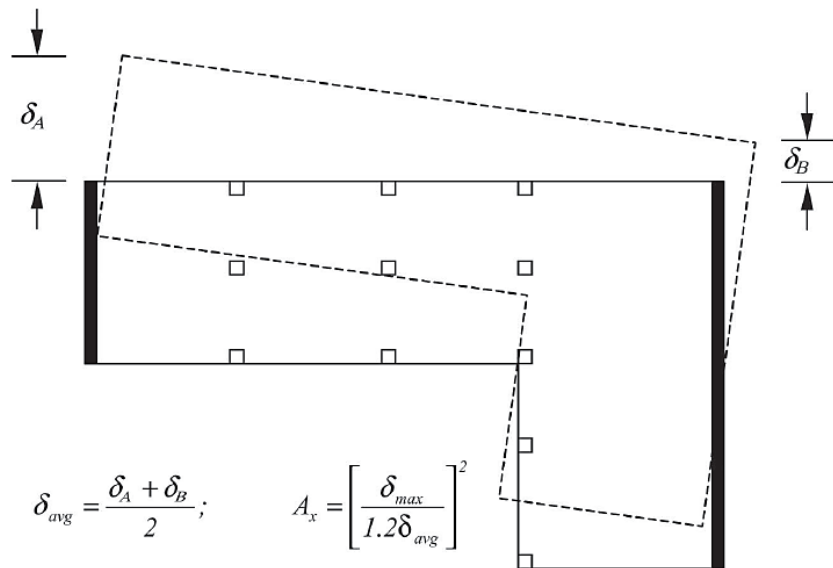
تبصره ۱: اثر پیچش اتفاقی باید در طراحی تمامی ساختمان های گروه طراحی لرزه ای ۳ در نظر گرفته شود؛ لیکن در گروه های طراحی لرزه ای ۱ و ۲، لحاظ نمودن اثر پیچش اتفاقی، صرفاً در ساختمان های دارای نامنظمی پیچشی زیاد و شدید ضرورت داشته و در سایر ساختمان ها می توان از اثر آن صرف نظر نمود.

در مواردی که ساختمان مشمول نامنظمی پیچشی می شود، اثر پیچش اتفاقی طبقه باید از طریق ضریب تشدید A_j مطابق رابطه زیر افزایش داده شود:

$$A_j = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2 \delta_{avg}} \right)^2$$

δ_{max} : حداکثر تغییر مکان جانبی کلی طبقه با فرض $A_j = 1.0$

δ_{avg} : متوسط تغییر مکان جانبی کلی دو انتهای ساختمان در طبقه با فرض $A_j = 1.0$



✓ مقادیر δ_{avg} و δ_{max} بر مبنای روش تحلیل استاتیکی معادل تعیین می شوند.

✓ همچنین در این محاسبه می توان دیافراگم ها را صلب در نظر گرفت.

نیروی قائم ناشی از زلزله

نیروی قائم ناشی از اثر مؤلفه قائم شتاب زلزله در ساختمان باید در تحلیل کل سازه ساختمان در نظر گرفته شود. مقدار این نیرو مطابق رابطه زیر تعیین می شود؛ این نیروی قائم باید در هر دو جهت رو به بالا و رو به پایین، به طور جداگانه به سازه اعمال گردد :

$$F_{vut} = 0.2 \times S_{DS} \times W_D$$

F_{vut} : نیروی قائم ناشی از زلزله وارد بر کل سازه ساختمان

S_{DS} : پارامتر شتاب طیفی زلزله در زمان تناوب های کوتاه

W_D : مجموع بارهای مرده، وزن تأسیسات ثابت، وزن دیوارها، تیغه ها و جداکننده ها

در مناطقی که در آن ها $S_s > 1.15$ یا $S_1 > 0.5$ باشد، به منظور تحلیل و طراحی اعضای زیر، علاوه بر رعایت بند فوق، باید یکبار هم جداگانه نیروی قائم زلزله از طریق رابطه زیر محاسبه و در ترکیب با بارهای ثقلی (با ضرایب باری که در ترکیب با بارهای زلزله مقرر شده است) مبنای طراحی قرار گیرد:

$$F_{vuc} = 0.65 \times S_{DS} \times W_D$$

F_{vuc} : نیروی قائم ناشی از زلزله وارد بر اعضای فوق الذکر

الف) تیرهای با طول دهانه بیش از ۱۵ متر

ب) تیرهایی که به عنوان تکیه گاه ستون عمل می کنند

پ) طره های با طول بیش از ۲ متر

ت) دال های بتنی تخت با طول دهانه بیش از ۱۰ متر

✓ کلیه تیرهای طره ای باید یکبار هم به طور جداگانه برای نیروی زلزله قائم رو به بالا، برابر با $0.2W_D$ بدون حضور بارهای مرده، زنده و برف، طراحی شوند.

روش تحلیل طیفی

در این روش، ابتدا تحلیل مقادیر ویژه بر روی مدل سازه که بر اساس رفتار خطی تهیه می شود انجام شده و مشخصات مودهای طبیعی نوسان آن تعیین می گردد. سپس با توجه به زمان تناوب هر مود، بازتاب سازه در آن مود از طیف طرح تعیین گشته و با ترکیب آماری آن ها، بازتاب کلی سازه محاسبه می شود.

اصلاح مقادیر بازتاب در روش تحلیل طیفی

در مواردی که در هر یک از امتدادهای افقی ساختمان، برش پایه حاصل از روش تحلیل طیفی کمتر از برش پایه استاتیکی معادل باشد، مقدار برش پایه تحلیل طیفی باید به نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه حاصل از تحلیل طیفی افزایش داده شده و تلاش های ایجاد شده در اعضا متناسب با آن اصلاح شوند.

در مواردی که در هر یک از امتدادهای افقی ساختمان، برش پایه حاصل از روش تحلیل طیفی کمتر از برش پایه استاتیکی معادل باشد، تغییر مکان های کلی و نسبی تحلیل طیفی باید در نسبت برش پایه استاتیکی معادل به برش پایه حاصل از تحلیل طیفی افزایش ضرب شوند.

تغییر مکان جانبی تحت اثر زلزله طرح

تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی هر طبقه، Δ_{eu} ، بر مبنای اختلاف بین تغییر مکان های جانبی کلی مراکز جرم کف های بالا و پایین آن طبقه و بر اساس یکی از روش های تحلیل خطی محاسبه می شود؛ لیکن در ساختمان های دارای نامنظمی پیچشی زیاد و شدید، محاسبه تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی هر طبقه باید بر مبنای بیشترین اختلاف بین تغییر مکان های جانبی گره های قرار گرفته در یک امتداد قائم در کف های بالا و پایین آن طبقه، که در محل محورهای کناری ساختمان قرار دارند انجام شود.

محاسبه Δ_{eu} طبقات باید در حضور بارهای ثقلی قابل انتظار و با در نظر گرفتن آثار $P - \Delta$ انجام شود. بر این اساس بارهای ثقلی قابل انتظار نباید کمتر از $1D + 0.5L$ در نظر گرفته شود.

✓ اگر بار زنده کمتر از ۵ کیلونیوتن بر متر مربع؛ $L = 0.4 L_0$

✓ اگر بار زنده بزرگتر مساوی ۵ کیلونیوتن بر متر مربع؛ $L = 0.8 L_0$

L_0 : حداقل بار زنده گسترده یکنواخت مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

در هر یک از امتداد های ساختمان، تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی هر طبقه تحت اثر زلزله طرح، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta_M = \frac{C_d \cdot \Delta_{eu}}{I_e}$$

Δ_M : تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی طبقه در امتداد موردنظر، تحت اثر زلزله طرح

C_d : ضریب بزرگنمایی تغییر مکان جانبی

Δ_{eu} : تغییر مکان جانبی نسبی ارتجاعی طبقه در امتداد موردنظر، تحت اثر زلزله طرح

I_e : ضریب اهمیت ساختمان

مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی طرح طبقه در هر امتداد ساختمان نباید از تغییر مکان جانبی نسبی مجاز طبقه، Δ_a ، مطابق جدول زیر بیشتر شود:

جدول ۳-۵ مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی مجاز طبقه، Δ_a

گروه اهمیت ساختمان			
گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴
۰٫۰۱ h	۰٫۰۱۵ h	۰٫۰۲ h	۰٫۰۲۵ h

✓ در ساختمان های دارای نامنظمی در پلان از نوع نامنظمی پیچشی زیاد، پیچشی شدید و سیستم های غیر موازی؛ تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی هر طبقه تحت اثر زلزله طرح باید به صورت ترکیبی و به شرح زیر محاسبه شود:

(الف) تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی امتداد X طبقه، ناشی از زلزله امتداد X و ۳۰ درصد تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی امتداد X طبقه، ناشی از زلزله امتداد Y.

(ب) تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی امتداد Y طبقه، ناشی از زلزله امتداد Y و ۳۰ درصد تغییر مکان جانبی نسبی غیر ارتجاعی امتداد Y طبقه، ناشی از زلزله امتداد X.

✓ چنانچه قاب های خمشی از نوع متوسط یا معمولی در هر یک از سیستم های قاب ساختمانی، قاب خمشی یا دوگانه وجود داشته باشد، مقادیر تغییر مکان جانبی نسبی مجاز طبقه برای گروه اهمیت ۲ باید به 0.0125 h و برای گروه های اهمیت ۳ و ۴ باید به 0.0150 h محدود گردد.

مراجع

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویراست ۵، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۴۰۵.

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویراست ۴، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳.



@Dr_MJShabani