

بنام خداوند جان و خرد



موسسه آموزشی ACE

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله

استاندارد ۲۸۰۰

ویرایش پاییز ۱۳۹۹

مدرسین:

مهندس مجید ذکری و مهندس امیرحسین فهیمی



موسسه آموزشی ACE

آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰

عنوان کتاب: آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰

نویسندگان: مجید ذکری و امیرحسین فهیمی

ناشر: عصر قلم

صفحه آرایی و جلد: میم گرافیک

نوبت و سال چاپ: اول ۱۳۹۹

قطع و تیراژ: رحلی - ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۲۵.۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۰۲۰-**-*



www.acefirm.ir

www.agpub.ac



info@acefirm.ir

info@agpub.ac



۰۲۵۳۲۴۰۵۸۷۹

۰۹۱۴۸۶۷۷۳۹۱



نشانی موسسه ACE: قم، بلوار ۳۰ متری قائم، کوچه ۱/۱۱، کوچه ۴، ساختمان نیایش

موسسه آموزشی ACE را
در شبکه های اجتماعی دنبال کنید

@acefirm.ir



فروشگاه اینترنتی عصر قلم

فهرست مطالب

مقدمه و کلیات.....	۵
فصل اول: نامنظمی در سازه‌ها.....	۷
مقدمه‌ای بر مکانیزم رخداد زمین لرزه.....	۸
۱-۱ - علل وقوع زلزله.....	۸
۱-۱-۱ - تعریف زلزله.....	۸
۱-۱-۲ - نحوه رخداد زلزله.....	۸
۲-۱ - گروه‌بندی ساختمان‌ها.....	۹
۳-۱ - انواع سیستم‌های سازه‌ای.....	۱۰
۱-۳-۱ - سیستم دیوار باربر.....	۱۰
۲-۳-۱ - سیستم قاب ساختمانی.....	۱۰
۳-۳-۱ - سیستم قاب خمشی.....	۱۰
۴-۳-۱ - سیستم دوگانه یا ترکیبی.....	۱۱
۵-۳-۱ - سیستم ستون کنسولی.....	۱۱
۶-۳-۱ - سایر سیستم‌های سازه‌ای.....	۱۱
۴-۱ - ضریب اهمیت ساختمان‌ها.....	۱۱
۱-۴-۱ - گروه ۱ - ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد.....	۱۲
۲-۴-۱ - گروه ۲ - ساختمان‌های با اهمیت زیاد.....	۱۲
۳-۴-۱ - گروه ۳ - ساختمان‌های با اهمیت متوسط.....	۱۳
۴-۴-۱ - گروه ۴ - ساختمان‌های با اهمیت کم.....	۱۳
۵-۱ - گروه بندی سازه‌ها برحسب نظم.....	۱۴
انواع نامنظمی‌ها.....	۱۴
۱-۵-۱ - الف) نامنظمی در پلان.....	۱۴
۲-۵-۱ - ب) نامنظمی در ارتفاع.....	۲۲
۶-۱ - ضریب رفتار ساختمان، R_u	۲۶
فصل دوم: نیروهای وارده بر ساختمان‌ها.....	۳۳
۱-۲ - میانقاب.....	۳۴
۲-۲ - تقسیم‌بندی نوع خاک.....	۳۴
۳-۲ - تراز پایه.....	۳۶
۴-۲ - زمان تناوب سازه.....	۳۶
۱-۴-۲ - روابط تجربی زمان تناوب ساختمان‌های متعارف.....	۳۷
۵-۲ - انواع روش‌های تحلیل سازه.....	۳۹
۶-۲ - محاسبه برش پایه.....	۳۹
۷-۲ - ضریب نامعینی ρ	۴۱
۸-۲ - توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان.....	۴۲
۹-۲ - ترکیب سیستم‌ها در ارتفاع.....	۶۱



- ۱۰-۲- لنگر پیچشی ایجاد شده در طبقه i در اثر نیروهای جانبی زلزله ۶۳
- ۱۱-۲- نیروی قائم ناشی از زلزله ۶۴
- ۱۲-۲- دیافراگم‌ها و جمع‌کننده‌ها ۷۰
- ۱-۱۲-۲- دیافراگم صلب ۷۰
- ۲-۱۲-۲- دیافراگم نرم ۷۰
- ۳-۱۲-۲- دیافراگم نیمه صلب ۷۰
- ۴-۱۲-۲- جمع‌کننده‌ها ۷۱
- تحلیل خطی و تحلیل استاتیکی معادل ۷۲
- مطالعات ویژه ساختگاه ۷۲
- روش تحلیل طیفی ۷۳
- توضیحات تکمیلی در مورد ضریب بازتاب و طیف بازتاب ۷۳
- طیف طرح ویژه ساختگاه ۷۳
- ۳-۱۳-۲- ضوابط تحلیل طیفی ۷۴
- ۱۴-۲- کنترل سازه برای بار زلزله سطح بهره برداری ۷۸
- ۱۵-۲- روش ساده شده تحلیل و طراحی ۷۹
- ۱-۱۵-۲- توزیع نیروی جانبی زلزله در ارتفاع ساختمان ۷۹
- فصل سوم: اثرات زلزله در ساختمان‌ها و محدودیت آن‌ها ۸۹**
- ۱-۳- اثر $\Delta - P$ و شاخص پایداری θ_i ۹۰
- ۲-۳- تغییر مکان جانبی سازه‌ها ۹۱
- ۳-۳- درز نقطاع ۹۸
- فصل چهارم: اجزای غیر سازه‌ای ۱۰۷**
- ۱-۴- نیروی جانبی زلزله بر اجزای غیر سازه‌ای ۱۰۸
- ۱-۱-۴- روش تحلیل استاتیکی معادل ۱۰۸
- ۲-۱-۴- روش تحلیل طیفی ۱۰۹
- ۳-۱-۴- مولفه قائم نیروی زلزله ۱۰۹
- ۲-۴- تغییر مکان جانبی اجزای غیر سازه‌ای ۱۰۹
- فصل پنجم: سازه‌های غیر ساختمانی ۱۱۹**
- ۱-۵- ضوابط تحلیل و طراحی سازه‌های غیر ساختمانی مشابه ساختمان‌ها ۱۲۰
- ۲-۵- ضوابط تحلیل و طراحی سازه‌های غیر ساختمانی غیر مشابه ساختمان‌ها و متکی بر زمین ۱۲۲

مقدمه و کلیات

در این مبحث در مورد چگونگی محاسبه انواع بارهای وارده ناشی از زلزله به سازه‌ها بحث می‌شود و همچنین به بررسی حداقل مقدار بارها و نیروهای وارده پرداخته می‌شود. به طور کلی هدف از آیین نامه‌ها تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها است و همچنین آیین نامه‌های طراحی بر اساس تحقیقات انجام شده به ما کمک می‌کنند تا سازه‌ها را با روش بسیار ساده و ایمن طراحی کنیم.

اهمیت موضوع

حفظ جان انسان‌ها

حفظ ثروت‌های ملی و سرمایه‌گذاری‌ها

در این جزوه و فیلم‌های آموزشی سعی شده شما مهندسين عزيز با مفهوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ به طور ساده‌تر آشنا شوید و با توجه به سوالات آزمون‌های اخیر محاسبات نظام مهندسی شما را با انواع روش‌های تحلیل سازه آشنا کرده، و آیین نامه را با حل مثال‌هایی به زبانی ساده‌تر ارائه دهیم.

مهندس مجید ذکری و مهندس امیرحسین فهیمی



۱

نامنظمی در سازه‌ها



در این فصل به تعریف زلزله، مناطق لرزه خیزی، نوع خاک محل ساختگاه، مرکز جرم و مرکز سختی، گروه‌بندی سازه‌ها، انواع سیستم‌های سازه‌ای و انواع نامنظمی‌ها پرداخته شده است.

نگاه به آیین‌نامه

هدف آیین‌نامه ۲۸۰۰ تعیین حداقل ضوابط و مقررات برای طرح و اجرای ساختمان‌ها در برابر اثرات ناشی از زلزله است.

حدود کاربرد آیین‌نامه ۲۸۰۰

ساختمان‌های بتن آرمه، فولادی، چوبی	}
و ساختمان‌های با مصالح بنایی	

مقدمه‌ای بر مکانیزم رخداد زمین لرزه

۱-۱ - علل وقوع زلزله

- ◀ اندرکنش صفحات زمین ساخت (۹۰٪)
- ◀ فعالیت‌های آتشفشانی (۵٪)
- ◀ تغییر حالت سنگ‌ها در اعماق پوسته (۲٪)
- ◀ فرو ریزش غارهای زیرزمینی (۱-۲٪)
- ◀ علل ناشناخته (۱-۲٪)

۱-۱-۱ - تعریف زلزله

زلزله پدیده انتشار امواج در زمین به علت آزاد شدن مقدار زیادی انرژی از اغتشاش سریع در پوسته زمین و یا قسمت‌های بالایی گوشته در مدت زمان کوتاه می‌باشد. این اغتشاشات در مرز صفحات و یا زیر آن‌ها رخ می‌دهد.

۱-۱-۲ - نحوه رخداد زلزله

در اثر وجود حرکات انرژی تدریجاً در مرز صفحات ذخیره شده و با تمام شدن مقاومت مصالح پوسته، گسیختگی با حرکت سریع و آزاد شدن انرژی رخ می‌دهد. احساس این حرکات روی زمین به زلزله تعبیر می‌شود.

زلزله مبنای طراحی

زلزله طرح: زلزله‌ای که احتمال فراگذشت آن در ۵۰ سال ۱۰ درصد باشد، دوره بازگشت این زلزله ۴۷۵ سال است.
 زلزله بهره‌برداری: زلزله‌ای است که احتمال فراگذشت آن در ۵۰ سال ۹۹/۵ درصد باشد. دوره بازگشت این زلزله حدوداً ۱۰ سال است.

نکته: علت اینکه آیین نامه احتمال فراگذشت زلزله‌ها را در ۵۰ سال بیان می‌کند عمر مفید سازه‌ها در کشورمان می‌باشد و این عمر مفید سازه‌ها در ایران ۵۰ سال در نظر گرفته می‌شود و دوره بازگشت زلزله‌ها و احتمال وقوع آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_t = 1 - e^{\frac{-t}{T_R}}$$

R_t : احتمال وقوع

t : عمر مفید سازه

T_R : دوره بازگشت زلزله

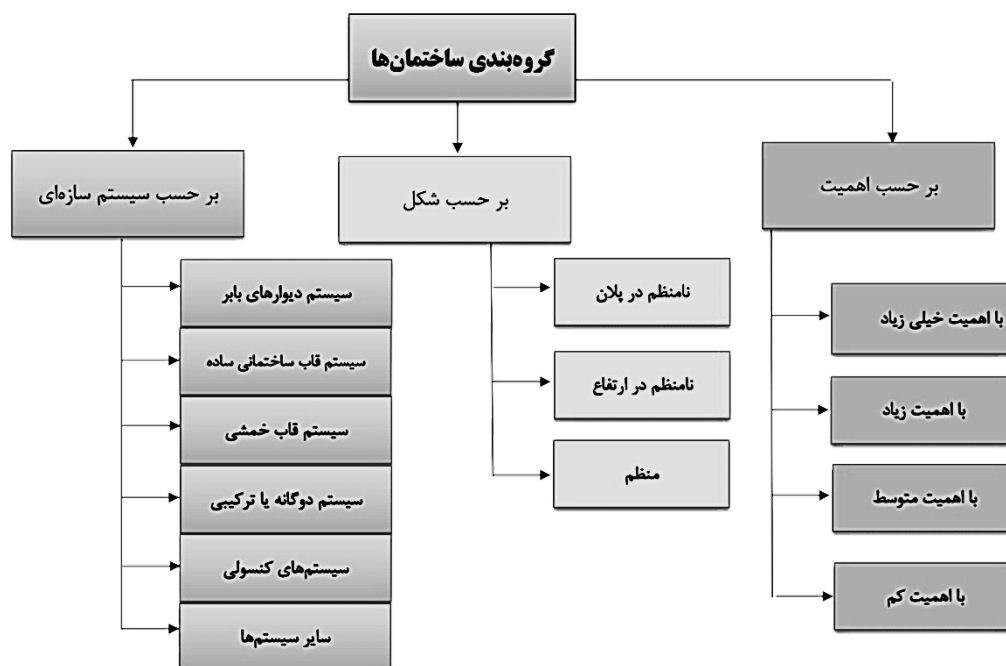
مثال: احتمال وقوع زلزله‌ای با دوره بازگشت ۲۴۷۵ ساله برای یک سازه با عمر مفید ۵۰ سال چقدر است؟

$$R_t = 1 - e^{\left(\frac{-50}{2475}\right)} = 0.01999 \approx 2\%$$

حل:

این زلزله به عنوان زلزله نادر نیز شناخته می‌شود.

۲-۱ - گروه‌بندی ساختمان‌ها



نگاه به آیین‌نامه (بند ۱-۱)

با رعایت ضوابط و مقررات این آیین‌نامه برای زلزله طرح:

ساختمان‌های با اهمیت متوسط در اثر زلزله طرح، آسیب عمده سازه‌ای و غیر سازه‌ای نبینند و تلفات جانی در آن‌ها حداقل باشد. (این بدان معنا نیست که سازه دچار خرابی نمی‌شود، سازه ممکن است دچار خرابی شدید شود و حتی قسمت‌هایی از سقف فرو بریزند ولی سازه فرو نریزد و پایداری خود را حفظ نماید)

ساختمان‌های با اهمیت زیاد در اثر زلزله طرح آسیب عمده نبینند به طوری که در زمان کوتاهی قابل مرمت باشند. ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد در اثر زلزله طرح، تغییر مقاومت و سختی در اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای نداشته باشند، به طوری که بهره‌برداری از آن‌ها امکان پذیر باشد. (در این حالت اعضای سازه‌ای مثل ستون ترک می‌خورند ولی قابل ترمیم هستند).

کلیه ساختمان‌های بلندتر از ۵۰ متر یا بیشتر از ۱۵ طبقه و نیز کلیه ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد در اثر زلزله بهره‌برداری آسیمی نبینند و قابلیت بهره‌برداری خود را حفظ نمایند.

تعریف

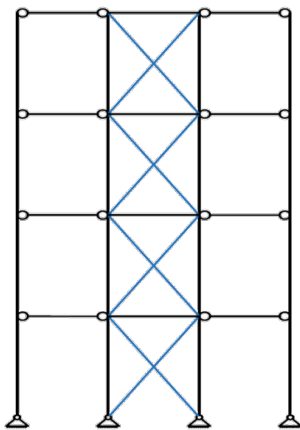
سیستم باربر جانبی: عضو سازه‌ای که در مقابل بارهای جانبی مثل زلزله مقاومت می‌کند. این سیستم‌ها می‌توانند قاب خمشی یا دیوار برشی و ... باشند.

۱-۳- انواع سیستم‌های سازه‌ای

۱-۳-۱- سیستم دیوار باربر

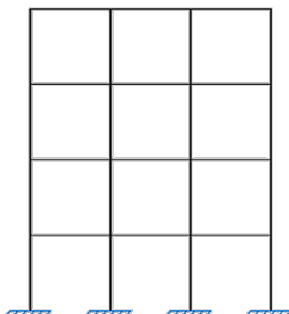
در این نوع از سیستم‌های سازه‌ای بارهای قائم عمدتاً توسط دیوارهای باربر تحمل می‌شوند و مقاومت در برابر بارهای جانبی توسط دیوارهای باربر که به صورت دیوارهای برشی عمل می‌کنند، تامین می‌گردد. دیوارهای متشکل از قاب‌های سبک فولادی سرد نورد که با تسمه‌های فولادی و یا صفحات پوششی فولادی مهار شده‌اند جزء این سیستم‌ها محسوب می‌شوند.

۱-۳-۲- سیستم قاب ساختمانی



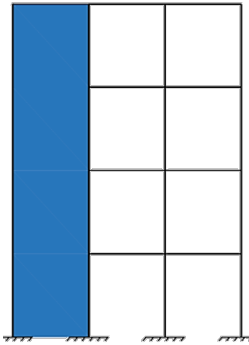
در این نوع از سیستم‌های سازه‌ای بارهای قائم عمدتاً توسط قاب‌های فضایی تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی توسط دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده تامین می‌شود. قاب‌های ساختمانی در این سیستم‌ها می‌توانند دارای اتصالات ساده (اکثراً در سازه‌های فولادی) و یا گیردار (در سازه‌های بتنی) باشند، ولی در تحمل بارهای جانبی مشارکت نخواهند داشت. قاب‌های گیردار باید قادر به تحمل اثرناشی از اثر $P-\Delta$ باشند. این نوع قاب‌ها به تنهایی تحمل بارهای جانبی را ندارند و به هنگام اعمال بار جانبی به دلیل اتصال تیر به ستون به صورت مفصلی ناپایدار می‌شوند. در مورد $P-\Delta$ در فصل‌های بعدی بحث خواهیم کرد.

۱-۳-۳- سیستم قاب خمشی



در این نوع از سیستم‌های سازه‌ای بارهای قائم توسط قاب‌های فضایی تحمل شده و مقاومت در برابر نیروهای جانبی نیز توسط قاب‌های خمشی تامین می‌گردد. سازه‌های با قاب‌های خمشی کامل، و سازه‌های با قاب خمشی در پیرامون و یا در قسمتی از پلان و قاب‌های با اتصالات ساده در سایر قسمت‌های پلان نیز در این گروه جای دارند. اتصالات تیر به ستون در این نوع سیستم‌ها به صورت گیردار (صلب) می‌باشد.

۱-۳-۴- سیستم دوگانه یا ترکیبی



در این نوع از سیستم‌ها بارهای قائم عمدتاً توسط قاب‌های ساختمانی تحمل می‌شوند. و همین‌طور مقاومت در برابر بارهای جانبی توسط مجموعه‌ای از دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده همراه با مجموعه‌ای از قاب‌های خمشی تامین می‌شود. اتصال تیر به ستون در این سیستم‌ها به صورت گیردار می‌باشد. همچنین قاب خمشی باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۲۵ درصد نیروهای جانبی در تراز پایه و دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده باید مستقلاً قادر به تحمل حداقل ۵۰ درصد نیروهای جانبی در تراز پایه باشد. و

در صورتی که قاب‌های خمشی نتوانند این نیروی برش پایه ۲۵ درصد را تحمل کنند سیستم جزء سیستم قاب‌های ساختمانی محسوب می‌شوند و همین‌طور در صورتی که دیوارهای برشی یا قاب‌های مهاربندی شده نتوانند ۵۰ درصد نیروی برش پایه را تحمل کنند ضریب رفتار R در آن باید برابر ضریب رفتار در سیستم قاب خمشی با شکل‌پذیری متناظر در نظر گرفته شود.

۱-۳-۵- سیستم ستون کنسولی

در این نوع سیستم‌ها نیروهای جانبی توسط ستون‌ها به صورت کنسولی تحمل می‌شوند مانند شکل زیر:



شکل (۱-۱) سیستم کنسولی

۱-۳-۶- سایر سیستم‌های سازه‌ای

در آیین نامه ۲۸۰۰ استفاده از سیستم‌های سازه‌ای، غیر از آنچه در قسمت بالا عنوان شده، به شرطی مجاز است که ویژگی‌های آن‌ها در ارتباط با بارهای قائم و زلزله توسط یکی از آیین‌نامه‌های معتبر جهانی، به تایید کمیته اجرایی این آیین‌نامه رسیده باشد.

۱-۴- ضریب اهمیت ساختمان‌ها

برای محاسبه بارهایی که بر اساس احتمالات محاسبه می‌شوند باید از احتمال وزن دار استفاده کرد. یعنی این بارها بسته به نوع کاربری ساختمان متفاوت هستند.

در جدول زیر ساختمان‌ها را بر اساس نوع کاربری و گروه خطرپذیری تقسیم‌بندی نموده و ضریب اهمیت هر کدام از این گروه‌ها را بر اساس نوع کاربری و خطرپذیری مشخص می‌نماییم.



جدول (۱-۱) ضریب اهمیت ساختمان‌ها

طبقه بندی ساختمان‌ها	ضریب اهمیت
گروه ۱	۱/۴
گروه ۲	۱/۲
گروه ۳	۱/۰
گروه ۴	۰/۸

نکته: دقت داشته باشید اگر قرار باشد سازه‌ای بسازیم که مدت بهره‌برداری از آن کمتر از دو سال باشد می‌توانیم این سازه را با ضریب اهمیت ۰/۸ طراحی کنیم. علت این امر را می‌توان چنین تفسیر نمود که احتمال وقوع زلزله بزرگ در این مدت زمان بسیار کم خواهد بود برای مثال اگر فرض کنیم قرار باشد زلزله‌ای با دوره بازگشت ۴۷۵ سال اتفاق بیفتد (۴۷۵ سال ملاک طراحی آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد) احتمال وقوع زلزله‌های با دوره بازگشت بزرگتر از آن در دو سال به صورت زیر خواهد بود:

$$R_t = 1 - e^{\left(\frac{-2}{475}\right)} = 0.42\%$$

گروه‌بندی سازه‌ها بر حسب اهمیت (I)

ساختمان‌ها بر حسب نوع کاربری و میزان آسیبی که در اثر تخریب می‌توانند داشته باشند به ۴ گروه از نظر اهمیت تقسیم می‌شوند:

۱-۴-۱ - گروه ۱- ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد

این ساختمان‌ها به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) ساختمان‌های ضروری: شامل ساختمان‌هایی است که قابل استفاده بودن آن‌ها پس وقوع زلزله اهمیت خاص دارد و وقفه در بهره‌برداری آن‌ها به طور غیرمستقیم موجب افزایش تلفات و خسارات می‌شود، از این گروه ساختمان‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

بیمارستان‌ها و درمانگاه‌ها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز و تاسیسات آبرسانی، ساختمان‌های نیروگاه‌ها، و تاسیسات برق‌رسانی، برج‌های مراقبت فرودگاه‌ها، مراکز مخابرات، رادیو و تلویزیون، تاسیسات نظامی و انتظامی، مراکز کمک‌رسانی

ب) ساختمان‌های خطرزا: شامل ساختمان‌ها و تاسیساتی است که خرابی آن‌ها موجب انتشار گسترده مواد سمی و مضر در کوتاه مدت و دراز مدت برای محیط زیست می‌شوند، مانند کارخانه‌های تولید کننده مواد شیمیایی خاص.

۱-۴-۲ - گروه ۲- ساختمان‌های با اهمیت زیاد

این ساختمان‌ها به سه دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها موجب تلفات زیاد می‌شود، مانند مدارس، مساجد، استادیوم‌ها، سینما و تئاترها، سالن‌های اجتماعات، فروشگاه‌های بزرگ، ترمینال‌های مسافری و یا هر فضای سرپوشیده دیگری که محل تجمع بیش از ۳۰۰ نفر در زیر یک سقف باشد.



ب) ساختمان‌هایی که خرابی آن‌ها سبب از دست رفتن ثروت ملی می‌گردد، مانند موزه‌ها، کتابخانه‌ها، به طور کلی مراکزی که در آن‌ها اسناد و مدارک ملی و یا آثار پر ارزش دیگری نگهداری می‌شود.

پ) ساختمان‌ها و تاسیسات صنعتی که خرابی آن‌ها موجب آلودگی محیط زیست و یا آتش‌سوزی وسیع می‌شود مانند پالایشگاه‌ها، انبارهای سوخت و مراکز گاز رسانی.

نکته: مهندسین عزیز توجه داشته باشید که برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد و خیلی زیاد ضوابط ویژه و متفاوتی نسبت به سایر سازه‌ها برای طراحی در آیین‌نامه ۲۸۰۰ در نظر گرفته شده است.

۱-۴-۳- گروه ۳- ساختمان‌های با اهمیت متوسط

این گروه ساختمان‌ها شامل کلیه ساختمان‌های مشمول این آیین‌نامه، به جز ساختمان‌های عنوان شده در سه گروه دیگر می‌باشند، از این گروه ساختمان‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

ساختمان‌های مسکونی و اداری و تجاری، هتل‌ها، پارکینگ‌های چند طبقه، انبارها، کارگاه‌ها، ساختمان‌های صنعتی

۱-۴-۴- گروه ۴- ساختمان‌های با اهمیت کم

ساختمان‌هایی که خسارت نسبتاً کمی از خرابی آن‌ها حادث می‌شود و احتمال بروز تلفات جانی انسانی در آنها بسیار کم است، مانند انبارهای کشاورزی و سالن‌های نگهداری دام.

تعاریف

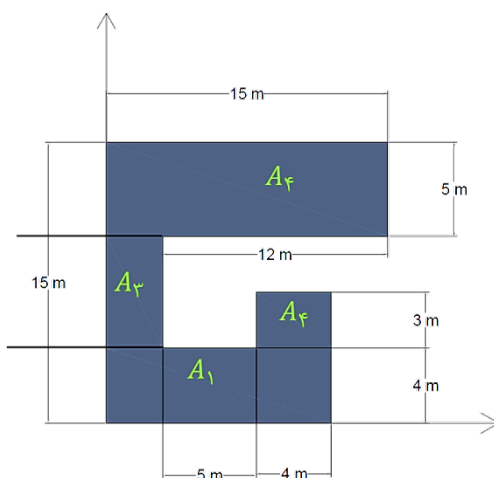
مرکز جرم: مرکز جرم یک سیستم از ذرات میانگین وزن دار مکان‌های آن ذرات است. به صورت کلی می‌توان بیان کرد که مرکز جرم، مکانی است که در آن، مجموع گشتاورها در جهت عقربه‌های ساعت حول مرکز جرم با مجموع گشتاورها در خلاف جهت عقربه‌های ساعت حول همان نقطه، برابر است. نیروهای وارده به یک سازه از مرکز جرم سازه عبور می‌کنند.

مرکز سختی: مرکز سختی طبقه، نقطه‌ای است که چنانچه برآیند نیروی برشی طبقه در آن نقطه وارد شود، طبقه تنها تغییر شکل جانبی انتقالی داشته و هیچ‌گونه پیچش در آن مشاهده نشود.

دیافراگم: کف‌ها، بام‌ها و یا سیستم‌های مهاربندی افقی یا تقریباً افقی هستند که بار جانبی زلزله را با عملکرد میان صفحه‌ای به سیستم‌های قائم باربر جانبی (دیواربرشی یا ستون‌ها) منتقل می‌کنند.

نکته: اگر مرکز جرم و مرکز سختی سازه بر روی هم منطبق نباشند به هنگام اعمال بار جانبی (زلزله) سازه دچار پیچش می‌شود که پیچش عامل خرابی شدید در سازه‌ها می‌باشد. در طراحی سازه به دلیل اینکه ممکن است مرکز جرم و مرکز سختی به دلایلی جابه‌جا شود، برون مرکزی اتفاقی (e_{aj}) به مقدار ۵ درصد بعد ساختمان در هر جهت در نظر می‌گیرند.

مثال: مرکز جرم پلان زیر را محاسبه نمایید:



$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^4 A_i x_i}{\sum A_i} = \frac{(4+5+3) \times 4 \times \left(\frac{12}{2}\right) + 3 \times 4 \times \left(3+5+\frac{4}{2}\right) + 6 \times 3 \times \left(\frac{3}{2}\right) + 15 \times 5 \times \left(\frac{15}{2}\right)}{12 \times 4 + 3 \times 4 + 6 \times 3 + 15 \times 5} =$$

$$\frac{288 + 120 + 27 + 562.5}{123} = 8.11 \text{ m}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^4 A_i y_i}{\sum A_i} = \frac{(4+5+3) \times 4 \times \left(\frac{4}{2}\right) + 3 \times 4 \times \left(4+\frac{3}{2}\right) + 6 \times 3 \times \left(4+\frac{6}{2}\right) + 15 \times 5 \times \left(4+\frac{5}{2}\right)}{123} =$$

$$\frac{96 + 66 + 126 + 937.5}{123} = 9.96 \text{ m}$$

۱-۵- گروه بندی سازه‌ها بر حسب نظم

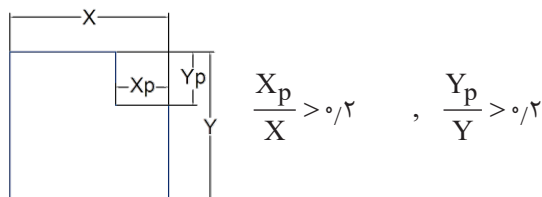
ساختمان‌هایی که دارای یکی از شرایط نامنظمی‌های زیر باشند نامنظم و در غیر این صورت منظم محسوب می‌شوند:

انواع نامنظمی‌ها

۱-۵-۱ الف) نامنظمی در پلان

۱-۵-۱-۱ نامنظمی هندسی: در مواردی که پس رفتگی هم زمان در دو جهت در یکی از گوشه‌های ساختمان

بیشتر از ۲۰ درصد طول پلان در آن جهت باشد.

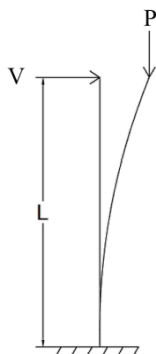


۳

اثرات زلزله در ساختمان‌ها و محدودیت آن‌ها



۳-۱- اثر $P - \Delta$ و شاخص پایداری



به هنگامی که یک بار جانبی به سازه اعمال می‌شود سازه دچار تغییر مکان‌های جانبی می‌شود، بارهای ثقلی (بار مرده و زنده و...) در اثر این جابه‌جایی لنگری در پای ستون ایجاد می‌کنند که مقدار این لنگر برابر است با مقدار نیرو ضرب در فاصله آن، که به این لنگر ایجاد شده توسط بارهای ثقلی اثر $P - \Delta$ می‌گوییم. شکل زیر اثر $P - \Delta$ را نشان می‌دهد.

$$L = h_i$$

$$M_i = V_i h_i$$

$$\Delta M_i = P_i \Delta_{wi}$$

$$M = M_i + \Delta M_i$$

لنگر اولیه در پای ستون که در اثر برش طبقه می‌باشد برابر است با:

لنگر ثانویه در پای ستون در اثر $P - \Delta$ برابر است با:

مقدار لنگر برابر خواهد بود با:

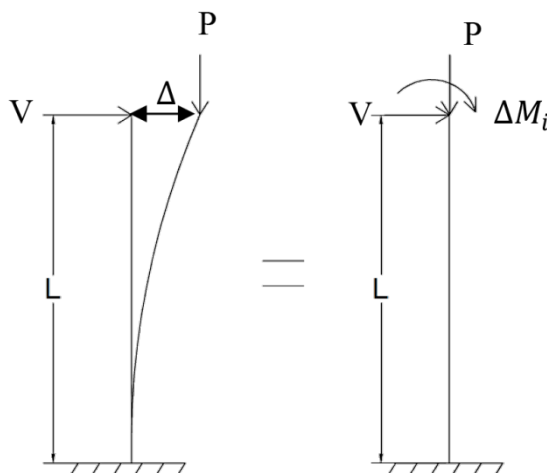
شاخص پایداری

نسبت لنگر ثانویه (در حالت رفتار ارتجاعی) به لنگری که در اثر برش ایجاد می‌شود شاخص پایداری نامیده می‌شود و با علامت θ_i نشان داده می‌شود در حالتی که این مقدار کمتر از ده درصد باشد یعنی لنگر ثانویه در مقابل لنگرهای که در اثر برش ایجاد می‌شود قابل اهمیت نیست ولی اگر مقدار آن از θ_{max} بیشتر باشد سازه در طبقه مورد نظر ناپایدار محسوب خواهد شد و باید سازه را سخت‌تر کنیم. مقدار θ_{max} به صورت زیر تعریف شده است:

$$\theta_{max} = \frac{0.65}{C_d} \leq 0.25$$

در صورتی که شاخص پایداری بین دو مقدار ده درصد و θ_{max} باشد باید نیروها و تلاش‌های ثانویه محاسبه و طراحی اعضا از نظر پایداری باید کنترل گردد.

حال اثر این $P - \Delta$ را با لنگری معادل می‌کنیم که در شکل زیر نشان داده شده است:



$$M = M_i + \Delta M_i = M_i + (P\Delta)_i = M_i + M_i \theta_i = M_i (1 + \theta_i)$$

خود این لنگر معادل نیز باعث تغییر مکان اضافی دیگر شده که این خود باعث اثر $P - \Delta$ دیگری شده که به مراتب کوچکتر از $P - \Delta$ قبلی است. در نهایت لنگر طبقه برابر خواهد بود با:

$$M_{ip\Delta} = M_i (1 + \theta_i + \theta_i^2 + \theta_i^3 + \dots)$$

از ریاضیات حد سری داخل پارانتز برابر خواهد بود با:

$$\frac{1}{1 - \theta_i}$$

و نهایتاً خواهیم داشت:

$$M_{ip\Delta} = M_i \left(\frac{1}{1 - \theta_i} \right)$$

مقدار لنگری است که در طبقه مورد نظر ایجاد می‌شود و شاخص پایداری در آن در نظر گرفته شده است و با روابط گفته شده می‌توان مقدار شاخص پایداری را محاسبه نمود و در صورتی که مقدار آن از ده درصد کمتر باشد می‌توان از اثر $P - \Delta$ صرف نظر کرد.

نکته: روابطی که ارائه شد برای حالت ارتجاعی می‌باشد.

۳-۲- تغییر مکان جانبی سازه‌ها

ساختمان‌ها بعد از طراحی باید برای مواردی کنترل شوند که از مهمترین آن‌ها کنترل تغییر مکان جانبی است. آیین‌نامه ۲۸۰۰ محدودیت‌هایی برای تغییر مکان جانبی نسبی طبقات بر اساس تعداد طبقات و اهمیت سازه ارائه کرده است. در روش تحلیل استاتیکی خطی معادل بعد از محاسبه برش پایه و نیروی طبقه می‌توان جابه‌جایی‌ها و جابه‌جایی‌های نسبی طبقات را محاسبه نمود ولی چون تحلیل ما خطی است و رفتار غیرخطی مصالح در نظر گرفته نشده است جابه‌جایی‌هایی که براساس نیرویی که با این روش محاسبه شده‌اند واقعی نیستند و مقدار کمتری نسبت به جابه‌جایی واقعی هستند که این جابه‌جایی‌ها را می‌توان با ضریب C_d بر حسب نوع سیستم سازه‌ای به مقدار واقعی (نزدیک به واقعی) تبدیل کرد. بعد از بدست آوردن جابه‌جایی‌های واقعی محدودیت آن‌ها باید کنترل شوند.

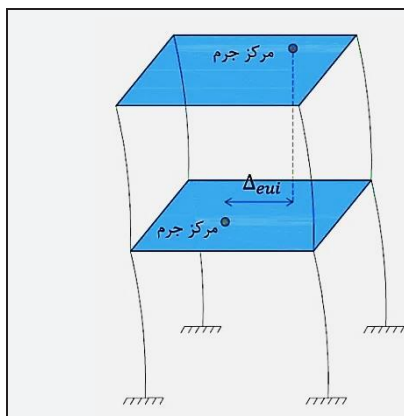
$$\Delta_M = C_d \Delta_{eui}$$

پس جابه‌جایی نسبی واقعی برابر خواهد بود با:

: تغییر مکان غیرخطی یا همان واقعی سازه

: تغییر مکان نسبی بدست آمده از نتایج تحلیل خطی یا همان تغییر مکان‌های غیرواقعی

: ضریبی برای تبدیل تغییر مکان‌های غیرواقعی به واقعی



نکته: توجه داشته باشید که تغییر مکان‌های بدست آمده در دیافراگم‌های صلب یا نیمه صلب و سازه‌های منظم از نظر پیچشی تغییر مکان‌های جانبی در مراکز جرم طبقه می‌باشد و تغییر مکان‌های نسبی جانبی اختلاف تغییر مکان‌های مراکز جرم کف‌های بالا و پایین یک طبقه است.

تغییر مکان جانبی نسبی خطی (غیر واقعی) با در نظر گرفتن اثر $P - \Delta$ به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{\Delta}_{eui} = \frac{\Delta_{eui}}{1 - \theta_i}$$

تغییر مکان جانبی نسبی غیرخطی (واقعی) با در نظر گرفتن اثر $P - \Delta$ به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{\Delta}_{Mi} = C_d \bar{\Delta}_{eui}$$

همچنین در محاسبه برش معادل طبقه با در نظر گرفتن اثرهای $P - \Delta$ یعنی $V_{ip\Delta}$ می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$V_{ip\Delta} = V_i \left(\frac{1}{1 - \theta_i} \right)$$

این مقادیر جابه‌جایی نسبی غیرخطی (واقعی) بدست آمده نباید از مقدار مجاز Δ_a تجاوز نماید:

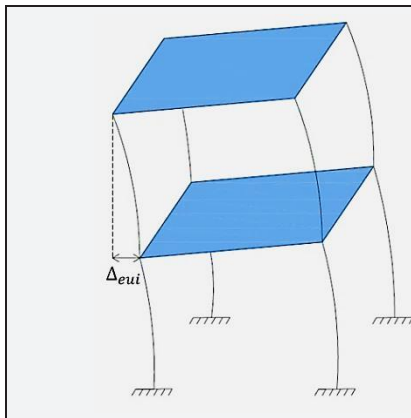
$$\bar{\Delta}_{Mi} = C_d \bar{\Delta}_{eui} \leq 0.25h$$

برای ساختمان‌های تا ۵ طبقه:

$$\bar{\Delta}_{Mi} = C_d \bar{\Delta}_{eui} \leq 0.20h$$

در سایر ساختمان‌ها:

در این رابطه h ارتفاع طبقه مورد نظر برای کنترل جابه‌جایی‌های جانبی نسبی است.



نکته: در ساختمان‌های نامنظم پیچشی و یا نامنظم شدید پیچشی، برای محاسبه تغییر مکان نسبی هر طبقه Δ_{eui} به جای تفاوت بین تغییر مکان‌های جانبی مراکز جرم کف‌ها، باید تفاوت بین تغییر مکان‌های جانبی کف‌های بالا و پایین آن طبقه در امتداد محورهای کناری ساختمان مد نظر قرار گیرد.

نکته: در محاسبه تغییر مکان نسبی هر طبقه Δ_{eui} می‌توان زمان تناوب اصلی را بزرگترین مقدار زمان تناوب تجربی و تحلیلی در نظر گرفت (در جهت کاهش برش پایه) ولی در ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد محدودیت آن باید رعایت شود. همچنین در هر حالت رعایت مقدار حداقل برش پایه ضروری است.

$$T_I = 0.8 \& 1.0 \& 1.2 = T_{\text{تحلیلی}}$$

$$= \min (0.25 T_{\text{تجربی}} \& T_{\text{تحلیلی}})$$

ساختمان دارای اهمیت خیلی زیاد

$$V_u \geq V_{u_{\min}} = 0.12 AIW$$

نکته: در سازه‌های بتن‌آرمه در تعیین تغییر مکان جانبی نسبی طرح، ممان اینرسی مقطع ترک خورده المان‌ها را می‌توان، مطابق توصیه آیین‌نامه بتن ایران << آبا >> برای تیرها $I_g / 35$ ، برای ستون‌ها $I_g / 7$ ، و برای دیوارها $I_g / 35$ یا $I_g / 7$ نسبت به میزان ترک خوردگی آن‌ها منظور کرد. برای زلزله بهره‌برداری مقادیر این ممان اینرسی‌ها را می‌توان تا $1/5$ برابر افزایش داد و از اثر $P - \Delta$ نیز صرف نظر کرد. (یعنی زمان تناوب را طبق رابطه بالا محاسبه می‌کنیم و برش پایه را بدست می‌آوریم و آن را به سازه‌ای که ممان اینرسی آن طبق ضرایب داده شده کاهش یافته اعمال می‌کنیم و جابه‌جایی‌ها را بدست می‌آوریم).



مثال: برای کنترل محدودیت تغییر مکان جانبی نسبی، کدام یک از عبارتهای زیر در خصوص تعیین تغییر مکان جانبی نسبی طبقات یک ساختمان در برابر نیروی زلزله صحیح است؟

۱. اگر ساختمان منظم شدید پیچشی باشد، تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه را باید برابر اختلاف بین تغییر مکان‌های جانبی کف‌های بالا و پایین آن طبقه در امتداد محورهای کناری ساختمان در نظر گرفت.
 ۲. تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه همواره برابر اختلاف بین تغییر مکان‌های جانبی حداکثر کف‌های بالا و پایین آن طبقه است.
 ۳. اگر ساختمان نامنظم شدید پیچشی نباشد، تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه را همواره می‌توان برابر اختلاف بین تغییر مکان‌های جانبی واقعی مراکز جرم کف‌های بالا و پایین آن طبقه در نظر گرفت.
 ۴. تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه را میتوان برابر اختلاف بین تغییر مکان‌های جانبی واقعی مراکز جرم کف‌های بالا و پایین آن طبقه در نظر گرفت.
- در سازه‌های نامنظم برای کنترل دریافت طبقات باید اختلاف بین تغییر مکان‌های جانبی کف‌های بالا و پایین آن طبقه در امتداد محورهای کناری ساختمان در نظر گرفته شود.

مثال: محاسبات ۹۲

یک ساختمان سه طبقه با سیستم سازه‌ای از نوع قاب خمشی متوسط و زمان تناوب اصلی ۰/۶ ثانیه و با ارتفاع طبقات به ترتیب از پایین به بالا برابر ۴ متر، ۳/۵ متر و ۳ متر مفروض می‌باشد. در صورتی که بر اساس تحلیل استاتیکی معادل و با در نظر گرفتن اثرات $P - \Delta$ ، تغییر مکان جانبی ناشی از زلزله طرح نسبت به تراز پایه در طبقات اول تا سوم به ترتیب برابر ۲۰ میلی‌متر، ۴۲/۵ میلی‌متر و ۶۰ میلی‌متر باشد، تغییر مکان جانبی نسبی واقعی در کدام طبقه یا طبقات از مقدار مجاز بیشتر است؟

- (۱) طبقه ۱ و ۲ (۲) طبقه ۱ (۳) طبقه ۲ و ۳ (۴) طبقه ۳

سازه زیر ۵ طبقه می‌باشد و محدودیت آن ۰/۰۲۵ ارتفاع طبقه است. و ضریب C_d برای این سیستم برابر ۴/۵ است.

➤ برای طبقه اول

$$C_d \Delta = 4.5 \times \frac{20}{400} = 0.225 \leq 0.25$$

➤ برای طبقه دوم

$$C_d \Delta = 4.5 \times \frac{42.5 - 20}{3500} = 0.289 \leq 0.25 \quad \text{برقرار نیست}$$

➤ برای طبقه سوم

$$C_d \Delta = 4.5 \times \frac{60 - 42.5}{3000} = 0.262 \leq 0.25 \quad \text{برقرار نیست}$$

پس گزینه ۳ پاسخ صحیح است.



مثال: محاسبات ۹۳

- در تحلیل کامپیوتری یک سازه برای زلزله، تغییرمکان جانبی نسبی اولیه یکی از طبقات (بدون لحاظ اثر برابر 50° میلی‌متر و در تحلیل دیگری با لحاظ اثر $P - \Delta$ مقدار تغییرمکان افزایش یافته جانبی نسبی همان طبقه 70° میلی‌متر حاصل شده است. برای این ساختمان خاص از نظر پایداری چه می‌توان گفت؟
- (۱) احتمال ناپایداری سازه موجود است و باید در طراحی تجدید نظر شود.
 - (۲) اعلام نظر برای پایداری این سازه نیازمند دانستن ضریب رفتار آن می‌باشد.
 - (۳) برای بررسی پایداری لازم است برش طبقه و بار کل مرده و زنده آن طبقه تا طبقه آخر محاسبه شود.
 - (۴) دانستن ارتفاع طبقه و زمان تناوب اصلی سازه برای بررسی پایداری لازم می‌باشند.

باید شاخص پایداری را کنترل کنیم:

$$\bar{\Delta}_{eu} = \frac{\Delta_{eu}}{1 - \theta_i} = 70 = \frac{50}{1 - \theta_i} \Rightarrow \theta_i = 0.286 \leq \frac{0.65}{C_d} \not\leq 0.25$$

پس احتمال ناپایداری سازه وجود دارد.

مثال: محاسبات ۹۴

- جابه‌جایی نسبی واقعی طرح طبقه‌ای از یک ساختمان بدون لحاظ اثر برابر 40° میلی‌متر و در تحلیل با لحاظ اثر $P - \Delta$ برابر 50° میلی‌متر بدست آمده است. شاخص پایداری برای آن طبقه حدوداً چقدر می‌باشد؟
- (۱) 0.05 (۲) 0.1 (۳) 0.25 (۴) 0.2

$$\bar{\Delta}_{eu} = \frac{\Delta_{eu}}{1 - \theta_i} = 50 = \frac{40}{1 - \theta_i} \Rightarrow \theta_i = 0.2$$

مثال: محاسبات ۹۵

- در یک ساختمان مسکونی منظم با سیستم قاب خمشی بتنی ویژه به ارتفاع 24 متر از تراز پایه، مقادیر زمان تناوب اصلی سازه بر اساس دو نوع تحلیل با سختی‌های کاهش یافته اعضاء به شرح جدول زیر بدست آمده است. حداکثر زمان تناوب برای محاسبه تغییرمکان جانبی نسبی طرح در تحلیل استاتیکی معادل به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (اثر جداگرهای میان قابی ناچیز فرض شود)

(۱) $T = 1.612 \text{ sec}$ (۲) $T = 1.425 \text{ sec}$ (۳) $T = 1.092 \text{ sec}$ (۴) $T = 0.837 \text{ sec}$

زمان تناوب (ثانیه)	سختی ستون	سختی تیر	تحلیل
۱/۶۱۲	۰.۷	۰.۳۵	۱
۱/۴۲۵		۰.۵	۲

طبق نکته‌های گفته شده زمان تناوب سازه برابر بزرگترین مقدار دو رابطه زیر خواهد بود (سازه با اهمیت خیلی زیاد نیست) و در محاسبه زمان تناوب تحلیلی در سازه‌های بتنی می‌توان ممان اینرسی تیرها را I_g و ستون‌ها را برابر