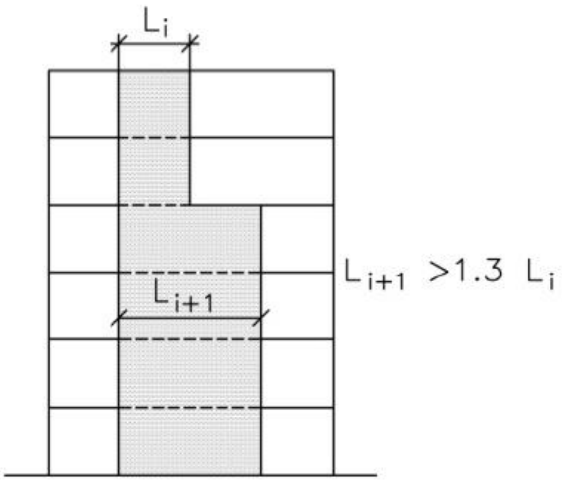
تفاوت‌های نامنظمی‌های در ارتفاع بین ویرایش چهارم با پیش‌نویس ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰

یکی از عوامل مهم در رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها، نحوه‌ی توزیع سختی، مقاومت و جرم در ارتفاع سازه است. اگر این ویژگی‌ها در طبقات مختلف به‌صورت یکنواخت و پیوسته نباشند، ساختمان دچار «نامنظمی در ارتفاع» می‌شود. این نوع نامنظمی می‌تواند باعث تمرکز تغییرشکل‌ها در طبقات خاص، افزایش اثرات ثانویه**(P-Δ)** ، و ایجاد مکانیزم‌های موضعی شود که عملکرد لرزه‌ای سازه را تضعیف می‌کند.استاندارد ۲۸۰۰ ایران در هر دو ویرایش چهارم و پیش‌نویس ویرایش پنجم، این نامنظمی‌ها را به‌صورت دقیق تعریف کرده است. در ادامه، بند به بند این موارد با یکدیگر مقایسه و تحلیل می‌شوند.

الف) نامنظمی هندسی

ویرایش چهارم:

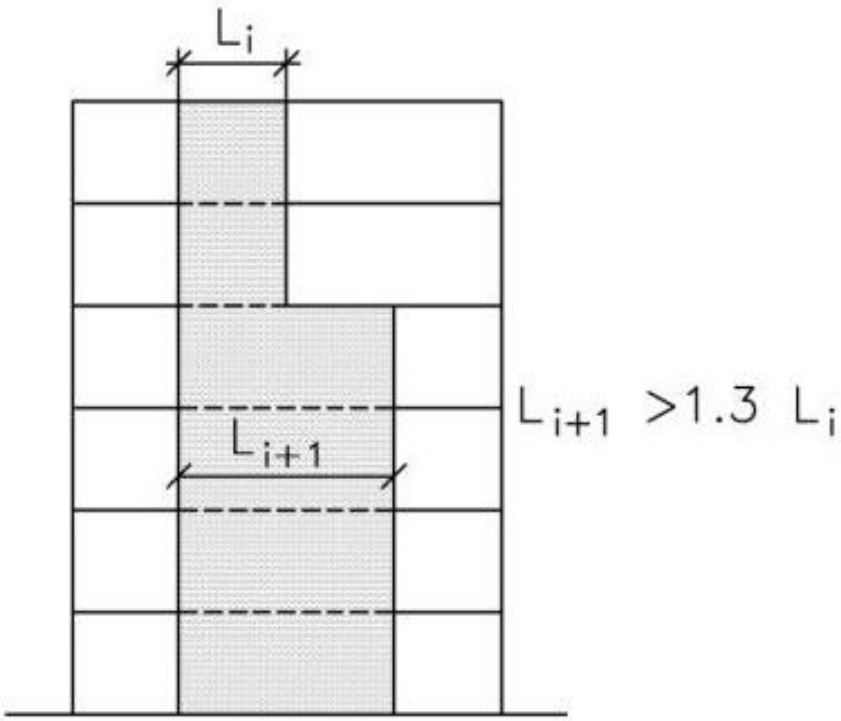
در مواردی که ابعاد افقی سیستم باربر جانبی در هر طبقه بیش از ۱۳۰ درصد از طبقات مجاور باشد، ساختمان دارای نامنظمی هندسی در ارتفاع است.



الف – نامنظمی هندسی

پیش‌نویس ویرایش پنجم:

بعد افقی سیستم مقاوم لرزه‌ای در طبقه‌ای، بیش از ۱۳۰ درصد آن در طبقات مجاور باشد.



الف – نامنظمی هندسی

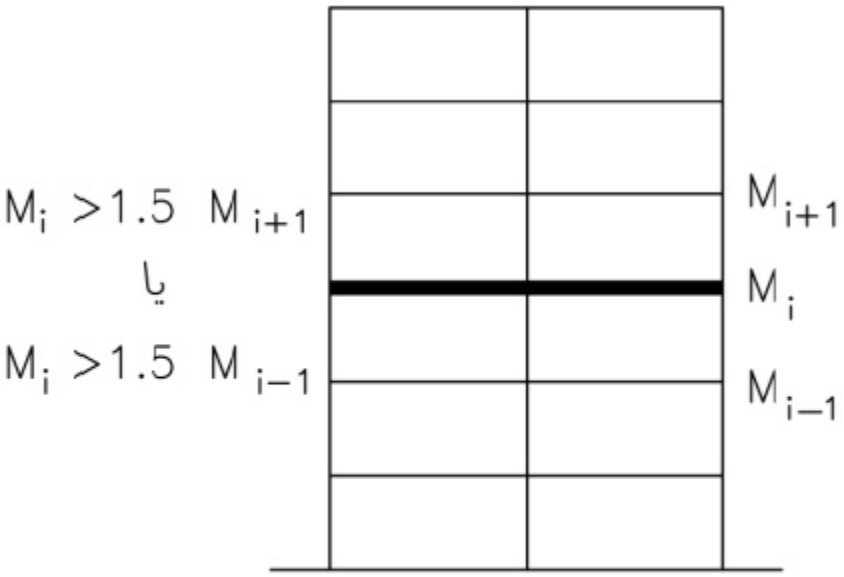
تحلیل:

ملاک در هر دو نسخه ثابت است و همان افزایش بیش از ۳۰ درصدی ابعاد افقی سیستم باربر جانبی نسبت به طبقات مجاور به عنوان شاخص نامنظمی در نظر گرفته شده است. تنها تفاوت، جایگزینی واژه‌ی «سیستم مقاوم لرزه‌ای» به جای «سیستم باربر جانبی» است که نوعی به‌روزرسانی در ادبیات مهندسی محسوب می‌شود و به هماهنگی اصطلاحات در سایر بندهای استاندارد کمک می‌کند.

ب) نامنظمی جرمی

ویرایش چهارم:

در مواردی که جرم هر طبقه بیش از ۱۵۰ درصد جرم طبقات مجاور باشد، ساختمان نامنظم جرمی محسوب می‌شود. طبقات بام و خرپشته از این تعریف مستثنا هستند.

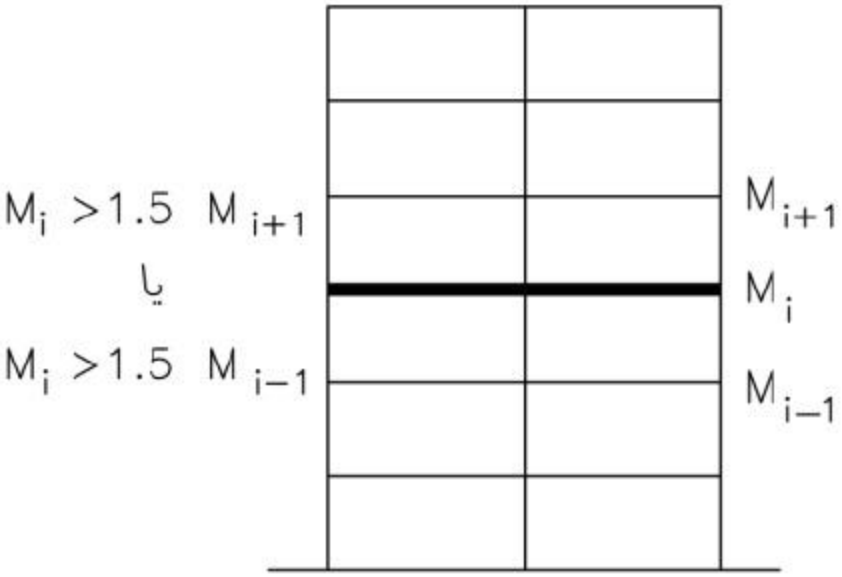


ب- نامنظمی جرمی

TAVAT

پیش‌نویس ویرایش پنجم:

اگر جرم هر طبقه‌ای بیش از ۱٫۵ برابر جرم یکی از طبقات مجاور باشد، ساختمان دارای نامنظمی جرمی است. بام با وزن سبک تراز طبقه تحتانی اش از این بررسی معاف است..



ب – نامنظمی جرمی

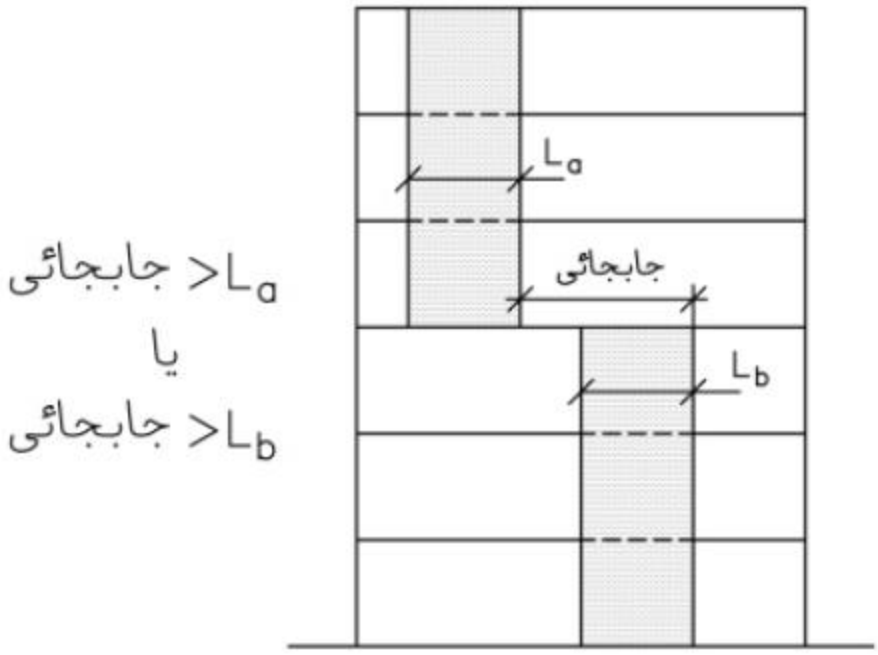
تحلیل:

تعریف دقیقاً یکسان است و عدد معیار ۱٫۵ برابر (۱۵۰ درصد) تغییری نکرده است. تنها تفاوت در بیان ریاضی و نگارشی بند است که در پیش‌نویس ویرایش پنجم رسمی‌تر و ساده‌تر شده است. از منظر مهندسی، این نامنظمی معمولاً ناشی از تغییر ناگهانی کاربری، دیوارهای سنگین یا سیستم سقف متفاوت در طبقه‌ای خاص است که موجب تمرکز نیروهای اینرسی در آن طبقه می‌شود.اضافه بر این بجای اشاره به بام و خرپشته صرفا به بام به عنوان استثناء پرداخته که مسلما خرپشته هم شامل آن می شود.

پ) نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی (یا قطع عناصر قائم مقاوم لرزه‌ای)

ویرایش چهارم:

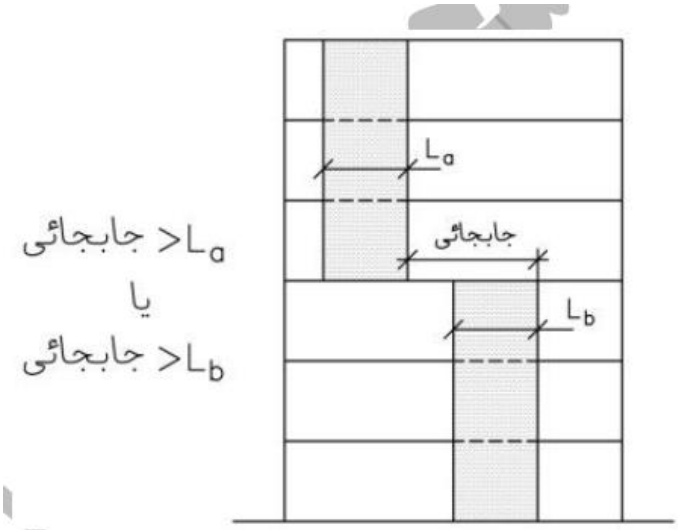
در مواردی که جزئی از سیستم باربر جانبی در ارتفاع قطع شده باشد به‌طوری‌که آثار ناشی از واژگونی روی تیرها، دال‌ها، ستون‌ها و دیوارهای تکیه‌گاهی تغییراتی ایجاد کند.



پ – نامنظمی قطع سیستم باربر جانبی

پیش‌نویس ویرایش پنجم:

عناصر قائم مقاوم لرزه‌ای در صفحه‌ی خود به میزانی بیش از حدود ارائه شده در شکل زیر جابجا شده باشد.



پ – نامنظمی قطع داخل صفحه

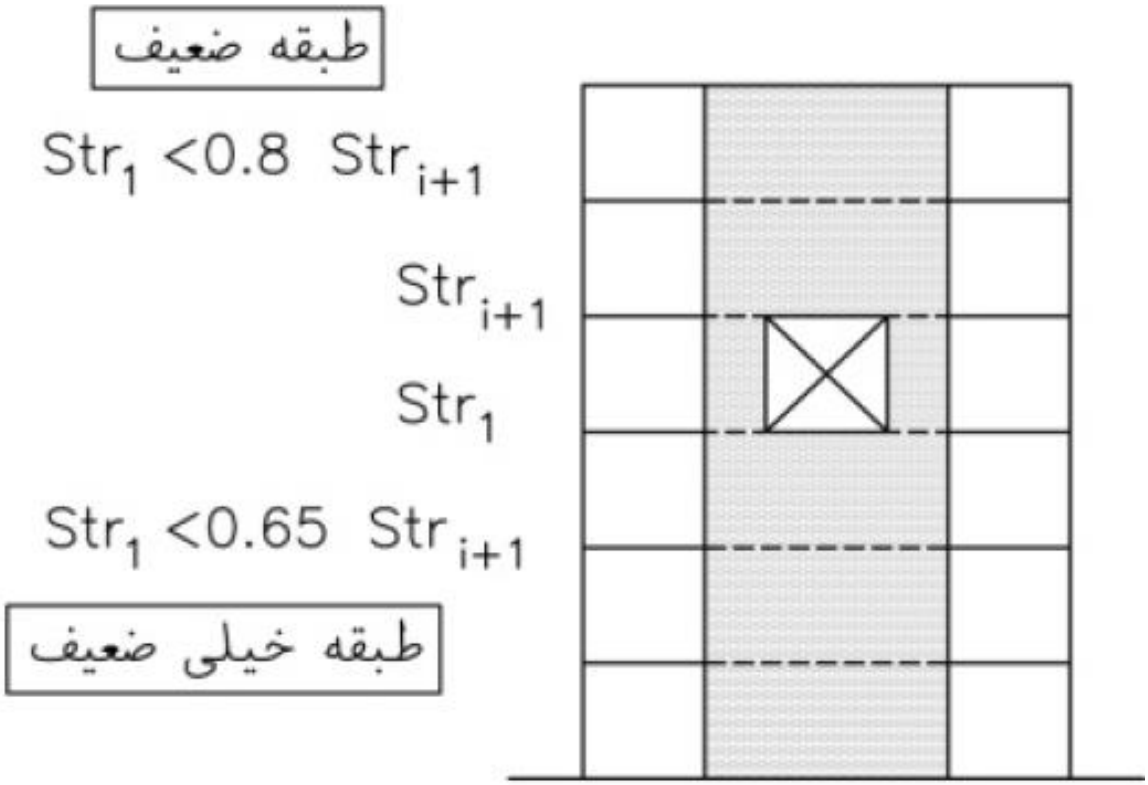
از لحاظ ادبیات فنی تفاوت هایی بین دو تعریف وجود دارد مثل تغییر در مفهوم عناصر قائم مقاوم لرزه‌ای و همینطور حذف بخش قطع شدن عضو، ولی در کل مفهوم مشابه می باشد.

از نظر فنی، این نامنظمی زمانی بروز می‌کند که دیوار برشی یا قاب مقاوم در طبقه‌ای حذف یا جابجا شود (مثلاً در طبقه‌ی پیلوت). در چنین شرایطی، مسیر انتقال بار جانبی دچار انقطاع شده و نیروهای اضافی در تیرها و دیافراگم‌ها ایجاد می‌شود.

ت) نامنظمی مقاومت جانبی

ویرایش چهارم:

در مواردی که مقاومت جانبی طبقه‌ای کمتر از ۸۰ درصد مقاومت جانبی طبقه‌ی روی خود باشد، آن طبقه «طبقه ضعیف» و اگر کمتر از ۶۵ درصد باشد، «طبقه خیلی ضعیف» محسوب می‌شود.

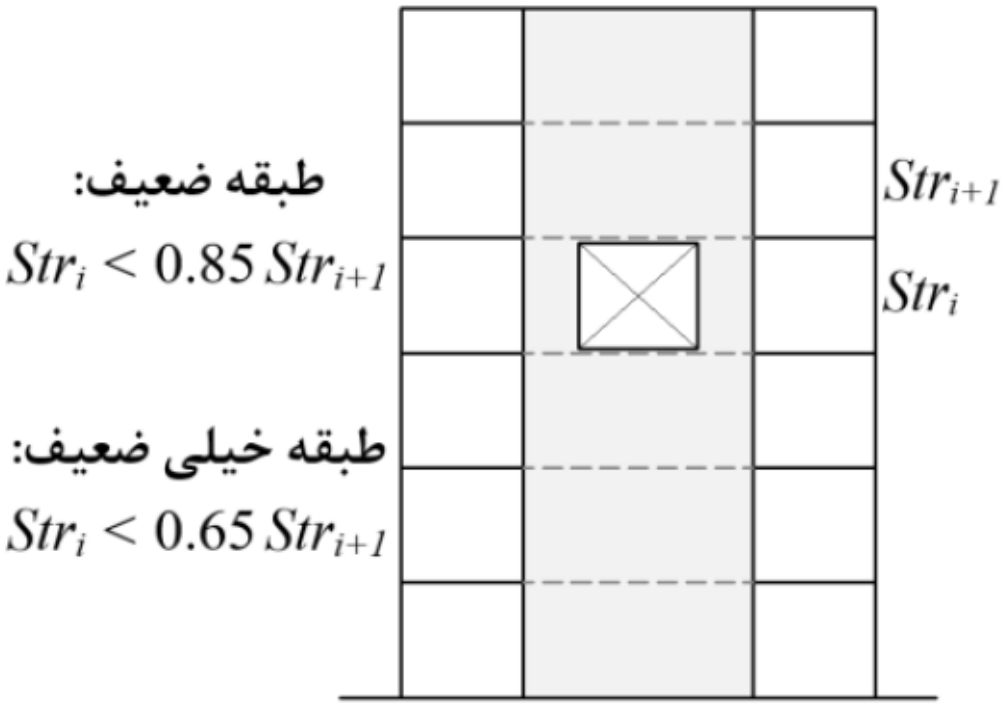


ت – نامنظمی مقاومت جانبی

پیش‌نویس ویرایش پنجم:

ت- نامنظمی مقاومت جانبی: در مواردی که طبقه‌ای از ساختمان، ضعیف یا خیلی ضعیف باشد. چنانچه مقاومت جانبی طبقه از ۸۵ درصد مقاومت جانبی طبقهٔ روی خود کمتر باشد، "طبقهٔ ضعیف" و اگر از ۶۵ درصد مقاومت جانبی طبقهٔ روی خود کمتر باشد، "طبقهٔ خیلی ضعیف" نامیده می‌شود.

به منظور بررسی این نامنظمی، می‌توان مقاومت جانبی طبقه را با انجام یک تحلیل غیرخطی و با اعمال یک نیروی جانبی به سقف طبقه موردنظر، در شرایطی که کف طبقه، بدون حرکت انتقالی جانبی در نظر گرفته شده است، محاسبه نمود. همچنین می‌توان این مقاومت را برمبنای روش‌های مبتنی بر فرض مکانیزم‌های طبقه‌ای متناسب با رفتار سیستم مقاوم لرزه‌ای ساختمان محاسبه نمود.



ت – نامنظمی مقاومت جانبی عناصر قائم مقاوم لرزه‌ای

تحلیل:

تفاوت اصلی این بند در افزایش آستانه‌ی تشخیص طبقه‌ی ضعیف از ٪۸۰ به ٪۸۵ است. این تغییر، سخت‌گیرانه‌تر شدن ضابطه را نشان می‌دهد. دلیل آن، مطالعات تجربی پس از زلزله‌های اخیر ایران و جهان است که نشان دادند

طبقات با کاهش مقاومت کمتر از حدود ۸۵٪، معمولاً عملکرد لرزه‌ای ضعیف‌تری دارند. در واقع، استاندارد جدید تلاش کرده ناپیوستگی مقاومت بین طبقات را زودتر شناسایی کند تا احتمال تشکیل مکانیزم طبقه‌ی نرم کاهش یابد.

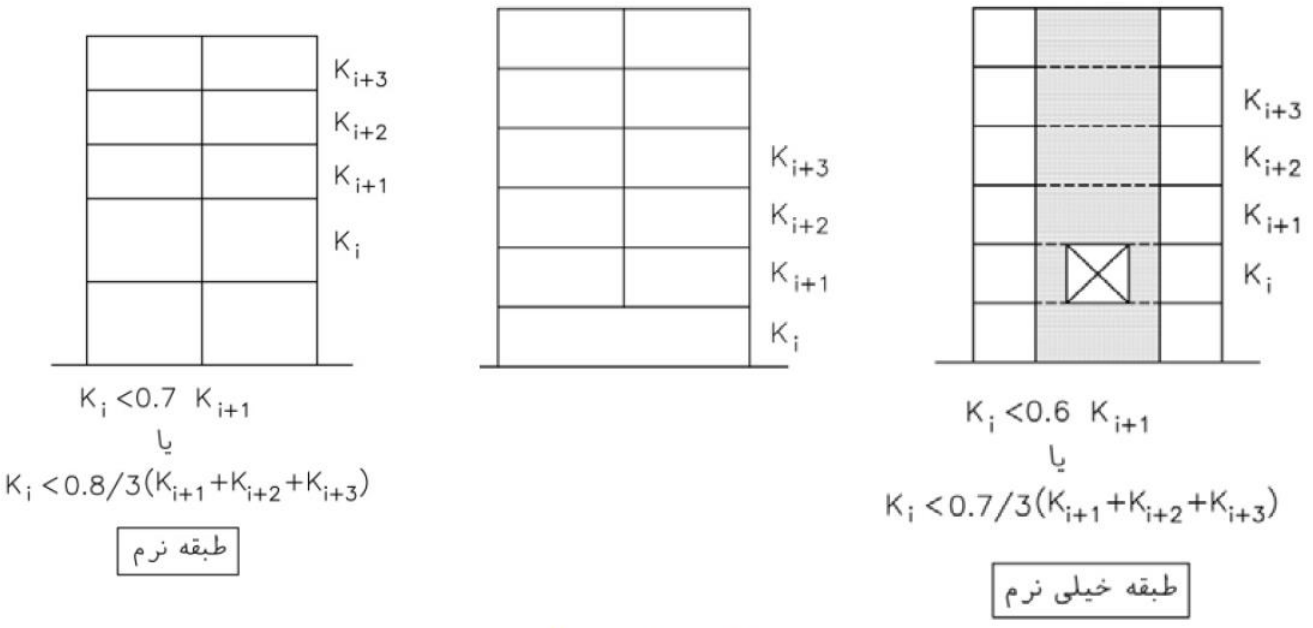
ضمنا راه حلی برای کنترل این نامنظمی پیشنهاد شده است.

ث) نامنظمی سختی جانبی

ویرایش چهارم:

در مواردی که سختی جانبی هر طبقه کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقه روی خود و یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی های جانبی سه طبقه روی خود باشد. چنین طبقه ای اصطلاحاً "طبقه نرم" نامیده می شود.

در مواردی که مقادیر فوق به ترتیب به ۶۰ درصد و ۷۰ درصد کاهش پیدا کنند، طبقه اصطلاحاً "طبقه خیلی نرم" توصیف می شود.



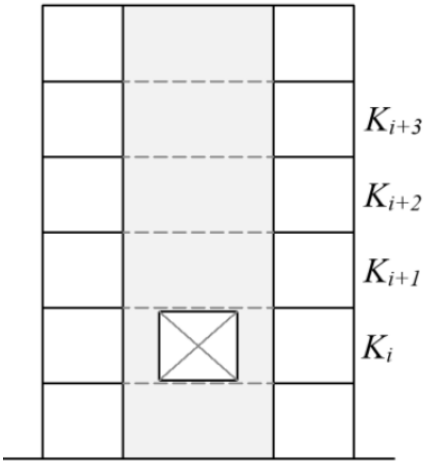
ث – نامنظمی سختی جانبی

پیش‌نویس ویرایش پنجم:

ث- نامنظمی سختی جانبی: در مواردی که طبقه‌ای از ساختمان، نرم یا خیلی نرم باشد. چنانچه سختی جانبی طبقه، کمتر از ۷۰ درصد سختی جانبی طبقهٔ روی خود یا کمتر از ۸۰ درصد متوسط سختی جانبی سه طبقهٔ روی خود باشد، "طبقهٔ نرم" و اگر مقادیر فوق، به ترتیب به ۶۰ درصد و ۷۰ درصد کاهش یابند "طبقهٔ خیلی نرم" نامیده می‌شود.

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

تبصره: درصورتی‌که تحت اثر نیروی زلزلهٔ طرح، نسبت تغییر مکان جانبی نسبی در هیچ‌کدام از طبقات، از ۱٫۳ برابر این مقدار در طبقهٔ فوقانی‌اش بیشتر نباشد می‌توان نامنظمی‌های ارتفاعی از نوع جرمی و سختی جانبی (طبقه نرم و خیلی نرم) را در آن سازه نادیده گرفت. برای انجام این بررسی، در محاسبهٔ تغییر مکان جانبی نسبی طبقات می‌توان از آثار پیچش صرف‌نظر نمود. همچنین در ساختمان‌های بیش از دو طبقه، بررسی نسبت تغییر مکان جانبی نسبی طبقهٔ زیرین بام به تغییر مکان جانبی نسبی بام ضرورت ندارد.



طبقه خیلی نرم	طبقه نرم
$K_i < 0.6\,K_{i+1}$ یا $K_i < \frac{0.7}{3}\left(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3}\right)$	$K_i < 0.7\,K_{i+1}$ یا $K_i < \frac{0.8}{3}\left(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3}\right)$

ث – نامنظمی سختی جانبی

تحلیل:

مبنای محاسبه در هر دو نسخه یکسان است.

از دیدگاه فنی، این بند از مهم‌ترین موارد در طراحی لرزه‌ای است، زیرا طبقات نرم (Soft Story)یکی از خطرناک‌ترین نامنظمی‌ها محسوب می‌شوند. وجود چنین طبقه‌ای باعث تمرکز تغییرشکل جانبی و ایجاد مکانیزم برشی یا خمشی در ستون‌ها می‌شود.

تأکید شده که بررسی سختی باید با تحلیل جانبی و تعیین تغییرمکان نسبی هر طبقه انجام گیرد.

تبصره (در پیش‌نویس ویرایش پنجم)

در پیش‌نویس جدید، تبصره‌ای اضافه شده است که می‌گوید:

اگر نسبت تغییرمکان نسبی طبقه‌ای به طبقه‌ی فوقانی بیش از ۱٫۳ نباشد، لزومی به بررسی کنترل های مربوط به نامنظمی جرمی و سختی جانبی نیست.

نتیجه‌گیری

مقایسه‌ی بندهای مربوط به «نامنظمی در ارتفاع» در ویرایش چهارم و پیش‌نویس ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ نشان می‌دهد که ساختار اصلی ضوابط حفظ شده، اما ویرایش جدید با هدف افزایش دقت و شفافیت تحلیلی، اصلاحات عددی و مفهومی مهمی را اعمال کرده است.

مهم‌ترین تغییرها شامل:

- سخت‌گیرانه‌تر شدن آستانه‌ی طبقه‌ی ضعیف از ٪۸۰ به ٪۸۵،
- و افزودن تبصره‌ی رفتاری مبتنی بر تغییرمکان نسبی بین طبقات است.

در مجموع، ویرایش پنجم، گامی مؤثر در جهت ارتقای ایمنی سازه‌ها، انطباق بیشتر با آیین‌نامه‌های بین‌المللی و تسهیل کنترل عددی در نرم‌افزارهای طراحی محسوب می‌شود. رعایت دقیق این ضوابط، به‌ویژه در ساختمان‌های دارای پیلوت یا تغییرات شدید کاربری در ارتفاع، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد لرزه‌ای مطلوب سازه دارد.