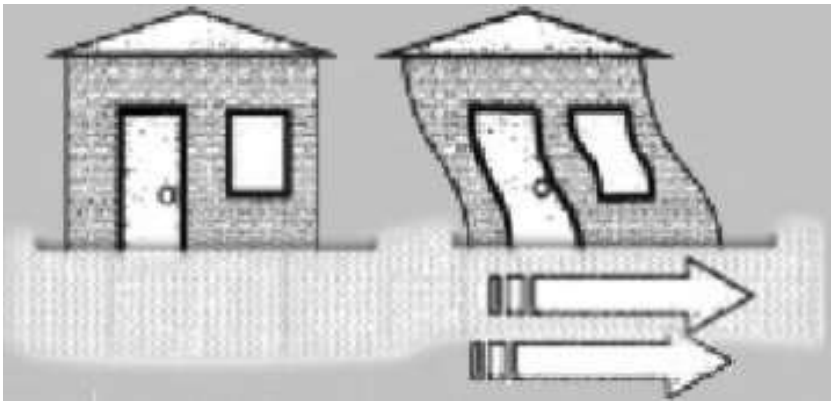
اصول طراحی مفهومی برای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله

لحاظ کردن خطرات لرزه‌ای در مناطق آسیب‌پذیر در فاز طراحی مفهومی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله بسیار مهم است. تنها سیستم سازه‌ای قابل‌قبول خواهد بود که در آن مقررات عنوان شده در یوروکد ۸ رعایت شده باشد، ضوابط جلوگیری از فروریزش و محدود کردن آسیب لحاظ شده باشد و هزینه ساخت و اجرای آن هم در حد قابل‌قبولی باشد.

این مقاله به توضیح اصول پایه‌ی طراحی مفهومی سازه‌ی مقاوم در برابر زلزله خواهد پرداخت.



شکل ۱. اثر زلزله بر سازه‌ی ساختمان

اصول طراحی مفهومی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله

اصول اساسی طراحی مفهومی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله عبارت‌اند از:

- سادگی سازه
- یکنواختی و تقارن
- سختی و مقاومت در دو جهت
- مقاومت و سختی پیچشی
- کافی بودن دیافراگم‌ها در هر طبقه
- پی‌های مناسب

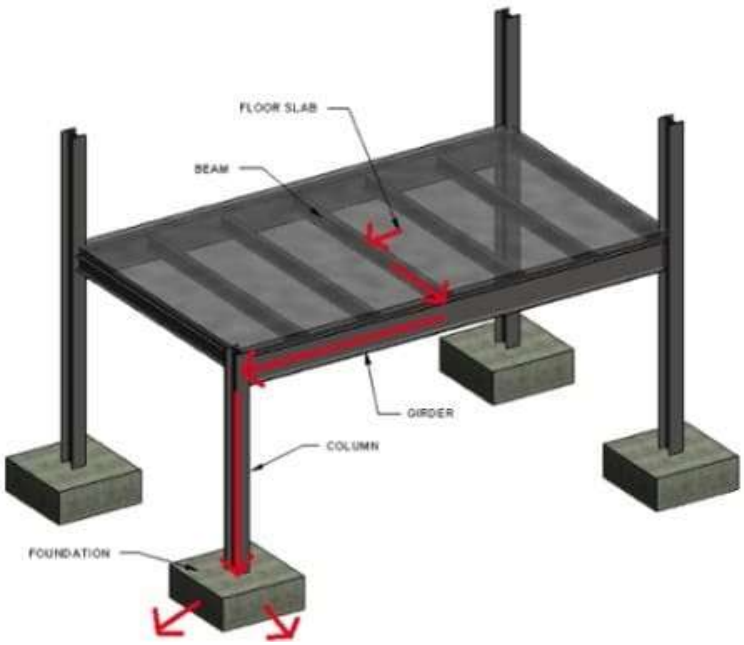
سادگی سازه برای طراحی مقاوم در برابر زلزله

سادگی سازه به قانونی برمی‌گردد که طبق آن مسیر انتقال نیروهای لرزه‌ای از نقاط مختلف سازه به پی، باید واضح، ساده و سرراست باشد.

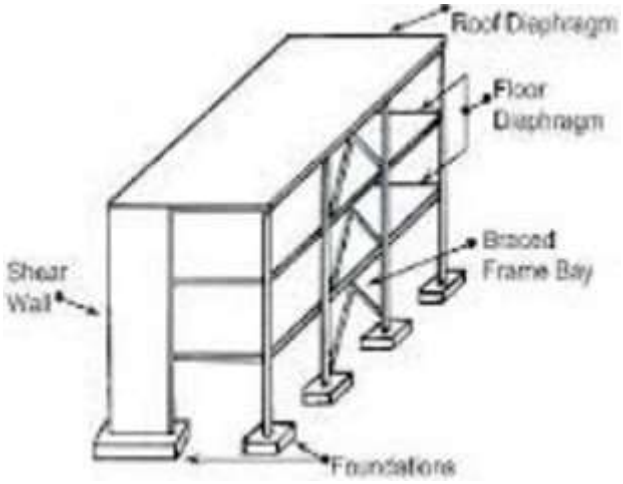
نه‌تنها مسیر بار باید شفاف و ساده باشد، بلکه اجزای این مسیر هم باید سختی، شکل‌پذیری و مقاومت کافی داشته باشند. این الزام باید توسط طراح سازه‌ای که معمولاً مسیر بار را طراحی می‌کند، بررسی شود.

یکی از مزیت‌های بزرگ مسیر بار مستقیم این است که به کاهش شک و عدم قطعیت در ارزیابی مقاومت، شکل‌پذیری و رفتار دینامیکی کمک می‌کند.

در مقابل، مسیر بار پیچیده باعث تمرکز تنش و سخت شدن تخمین مقاومت، شکل‌پذیری و پاسخ دینامیکی سازه می‌شود. باید بدانیم که سازه‌های قابل‌قبول را می‌توانیم با مسیر بار پیچیده طراحی کنیم.



شکل ۲. مسیر بار ساده و سرراست سازه

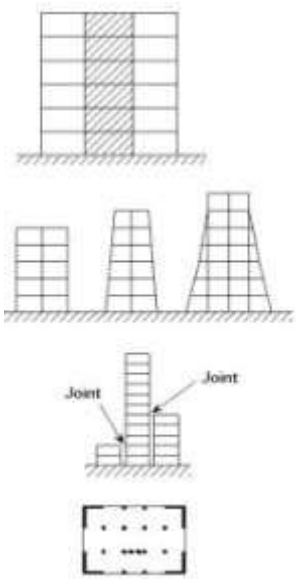


شکل ۳. اجزای مسیر بار لرزه‌ای

یکنواختی، افزونگی و تقارن سازه‌ای

ثابت شده است که اگر مقاومت، سختی و جرم یک سازه به‌صورت متقارن و یکنواخت در ارتفاع و پلان توزیع شده باشند، این سازه عملکرد بهتری در برابر زلزله نسبت به سازه‌ای که فاقد این مشخصات است، خواهد داشت.

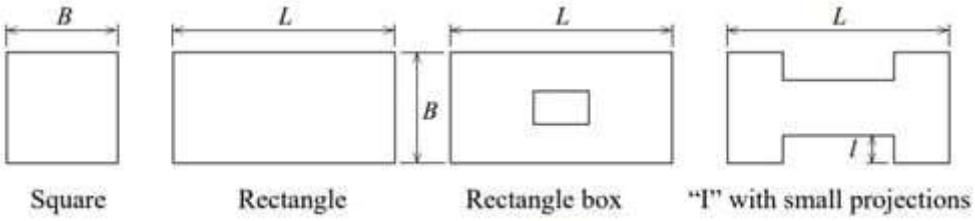
اگر مقاومت و سختی به‌طور یکنواخت در ارتفاع توزیع شده باشند، از ایجاد طبقه‌ی نرم در سازه جلوگیری می‌شود. باید در نظر داشته باشیم که عدم یکنواختی به معنای عملکرد لرزه‌ای بد نیست؛ مثلاً اگر چنین سازه‌ای از نظر لرزه‌ای جداسازی شده باشد، عملکرد لرزه‌ای رضایت بخشی نشان خواهد داد.



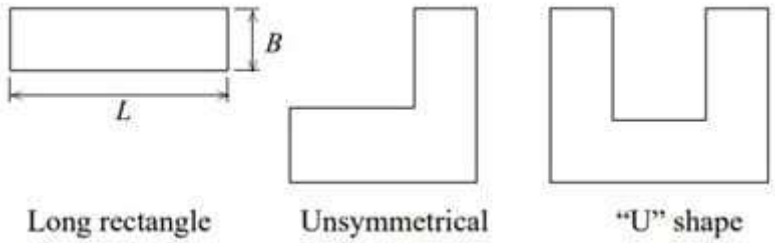
شکل ۴. یکنواختی سازه‌ای در ارتفاع و پلان

یکنواختی در پلان ساختمان موجب حذف پاسخ پیچشی می‌شود و در نتیجه عملکرد دینامیکی سازه را بهبود خواهد داد. برای ساختمان‌هایی با شکل نامنظم، مثل ساختمان‌های T شکل، توصیه می‌شود که همانند شکل‌های ۷ و ۸، از درزهایی استفاده کنیم که ساختمان را به قسمت‌هایی با شکل منظم تقسیم کند.

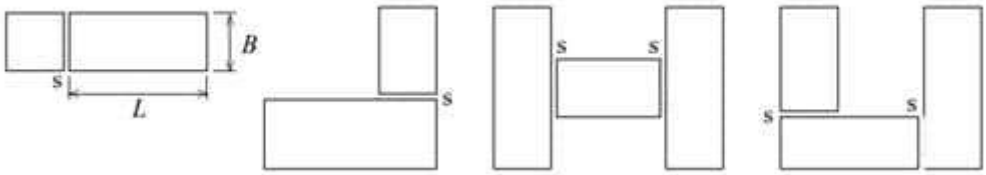
در شکل‌های ۵ و ۶ شکل‌های پلانی که برای مناطق لرزه‌خیز مناسب هستند و شکل‌هایی که باید در این مناطق از آن‌ها اجتناب کرد، نشان داده شده‌اند. در صورت استفاده از شکل‌های شکل ۶، باید از درزهایی که در شکل ۷ و ۸ نشان داده استفاده کرد.



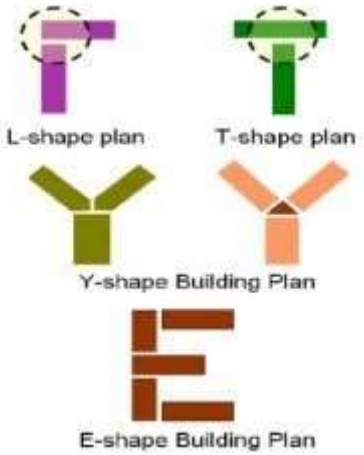
شکل ۵. پلان شکل متقارن مطلوب برای ساختمانی در مناطق لرزه‌خیز



شکل ۶. شکل‌های پلان نامطلوب برای مناطق لرزه‌خیز



شکل ۷. درزهای لرزه‌ای برای حذف حرکت پیچشی به دلیل زلزله



شکل ۸. درزهای لرزه‌ای برای کاهش یا حذف حرکت پیچشی به دلیل زلزله

با این وجود ممکن است در محل درزها مشکلات خاصی به دلیل حرکات لرزه‌ای پیش بیاید که باید با آن‌ها مقابله کرد.

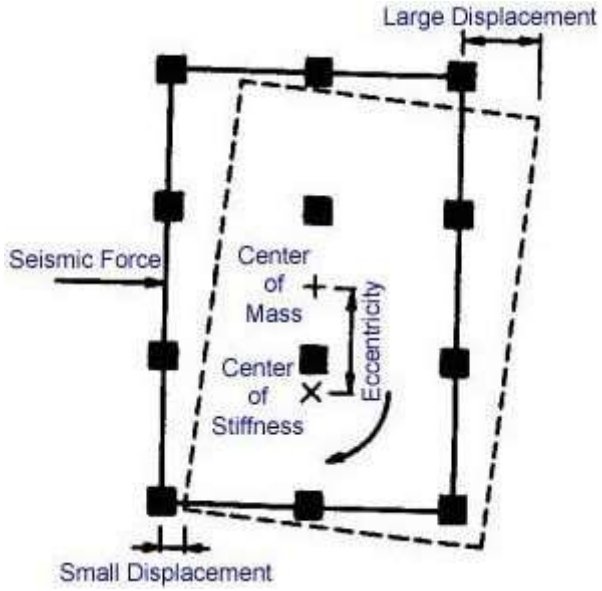
زمانی سازه دارای افزونگی است که دارای بیش از یک مسیر بار در ساختمان برای انتقال بارهای لرزه‌ای وجود داشته باشد؛ بنابراین اگر مقاومت یا سختی مسیر بار خاصی، دچار مشکل شود، بار از مسیر دیگر منتقل خواهد شد؛ بنابراین افزونگی سازه را قابل‌اعتمادتر خواهد کرد.

مقاومت و سختی در دو جهت سازه هنگام وقوع زلزله

معمولاً بارهای لرزه‌ای در محورهای افقی سازه‌ها مشابه هستند و به همین دلیل سیستم‌های مقاوم مشابه در هر دو جهت پیشنهاد می‌شوند؛ بنابراین اعضای سازه‌ای باید به‌صورت همگون پیکربندی شوند تا مقاومت مشابه در هر دو جهت اصلی تضمین شود.

مقاومت و سختی پیچشی سازه‌ها

تغییر شکل پیچشی جانبی که ممکن است اعضای سازه‌ای زیادی را به‌صورت غیریکنواخت تحت فشار قرار دهد، ممکن است در طول زلزله اتفاق بیفتد. عاملی که به حرکت پیچشی جانبی منجر می‌شود، خروج از محور بین مرکز جرم و سختی است؛ بنابراین این مشکل باید در مرحله‌ی طراحی حل شود.



شکل ۹. مرکز جرم و مرکز سختی در یک سازه تحت زلزله و جابه‌جایی‌های حاصل از آن

خروج از محوریت را می‌توان در مرحله‌ی طراحی کاهش داد اما نمی‌توان آن را کاملاً حذف کرد، زیرا تعدادی از عوامل مثل توزیع جرم غیریکنواخت و زوال سختی غیر یکسان اعضای سازه‌ای در طول زلزله؛ خارج از کنترل طراح هستند.

در نهایت این مشکل را می‌توان را با چینش اعضای مقاوم و سخت در پیرامون سازه حل کرد.

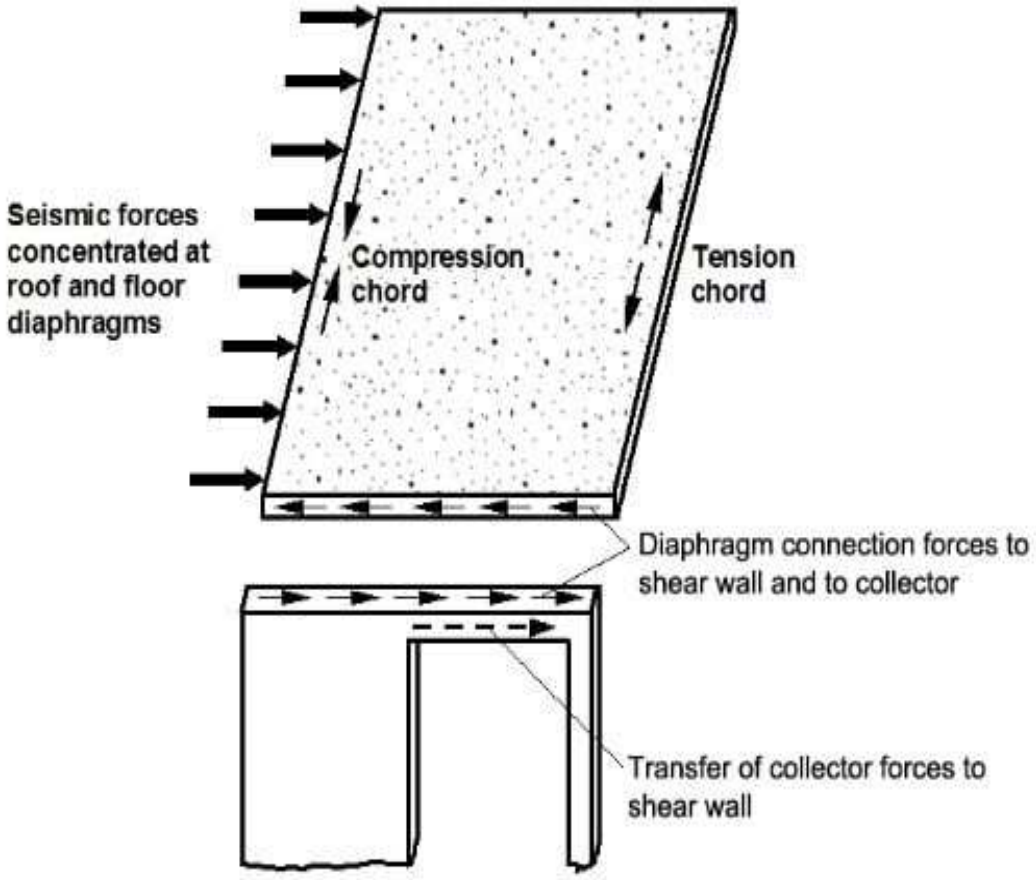
کافی بودن دیافراگم‌ها در هر تراز طبقه

تأثیر دیافراگم‌ها در پاسخ لرزه‌ای سازه بسیار مهم است. دیافراگم‌ها علاوه بر انتقال بار اینرسی لرزه‌ای به اعضای سازه‌ای عمودی، از حرکت جانبی قابل‌توجه در این اعضا جلوگیری می‌کند.

برای اینکه طبقات عملکرد مناسبی داشته باشند، سختی داخل صفحه باید کافی باشد. به‌علاوه، باید به اتصال بین طبقات و اعضای سازه‌ای عمودی هم توجه شود.

این ملاحظات به‌خصوص زمانی که دیافراگم با بازشوی قابل‌توجه داریم یا درصورتی‌که شکل پلان طولانی است، اهمیت زیادی پیدا می‌کند.

در نهایت اگر کف از بتن پیش‌ساخته باشد، لازم است که ظرفیت باربری کافی تأمین شود تا از افت باربری در طول زلزله جلوگیری کنیم.

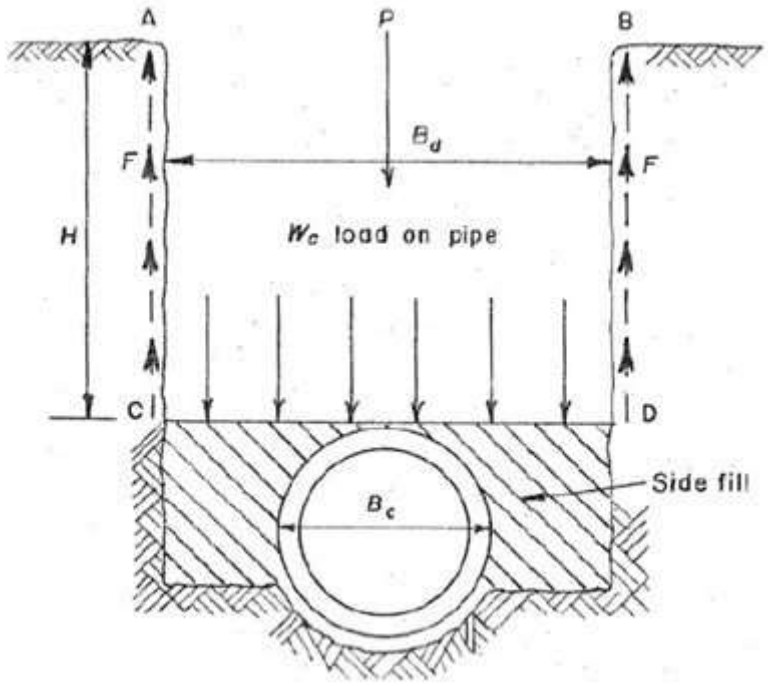


شکل ۱۰. عملکرد دیافراگم کف و سقف

پی‌های مناسب برای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله

لازم است که پی و اتصال آن به رو سازه به‌صورتی طراحی و ساخته شود که کل سازه تحریک یکنواختی را در طول زلزله‌ها تجربه کند.

به همین دلیل توصیه می‌شود که بین شمع‌های منفرد از اتصال مناسبی مانند دال یا تیر استفاده شود. به‌علاوه وقتی رو سازه از دیوارهای مجزا با سختی‌های مختلف تشکیل شده است، توصیه می‌شود که از پی سلولی (خانه) سخت استفاده شود.



شکل ۱۱. اتصال پی‌های منفرد با تیرهای یا دال‌های سازه‌ای برای جلوگیری از حرکت نسبی در طول زلزله

مترجم: علی‌اکبر خلیلی

منبع:

https://theconstructor.org/earthquake/earthquake-resistant-structures-conceptual-design/#/۱۸۰۳۲