طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها

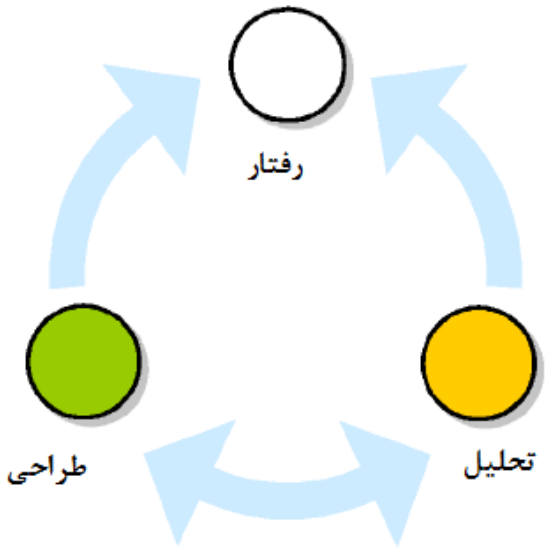
۱.۵. مقدمه

ساختمان‌ها تحت لرزش ناشی از زلزله به صورت رفت و برگشتی در سه جهت حرکت می‌نمایند. تحت سطوح پایین لرزش، دامنه و جهت لرزش آن‌ها به چگونگی تناسب هندسی از نظر سختی[1] در پلان و ارتفاع ساختمان بستگی دارد. در حالی که تحت لرزش قوی زلزله، ساختمان‌ها حتی متحمل خسارت می‌گردند. کنترل نوع خسارت و ترتیب آن در المان‌های مختلف سازه‌ای، موضوع اصلی طراحی لرزه‌ای می‌باشد. درک منطقی از فرایند کلی خرابی ساختمان از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی مناسب امکان‌پذیر است. بسیاری از مشکلاتی که در این نوشته مورد بحث قرار می‌گیرند، می‌توانند در خود مرحله طراحی شناسایی شده و به منظور تامین مقاومت ساختمان در برابر اثرات ناشی از لرزش قوی زلزله، پیکربندی‌ها، طراحی و دیتیل سازه‌ای مورد اصلاح قرار گیرند.

بارگذاری جابجایی-کنترل[2] وارد شده در پای ساختمان در طول لرزش زلزله و نیز افزایش رفتارهای غیرالاستیک[3] طی لرزش شدید در کنار هم منجر به اهمیت ویژه طراحی لرزه‌ای می‌گردند. رابطه‌ی تنگاتنگ بین تحلیل، طراحی و نوع رفتار، عملکرد لرزه‌ای کلی ساختمان را تعیین می‌نمایند. این رابطه برای بارگذاری‌های دیگر در طراحی ساختمان نیز وجود دارد (برای مثال باد، موج، برف و دما). با این وجود، رفتار غیرالاستیک مورد انتظار تحت شرایط لرزه‌ای و عدم وجود آن تحت بارهای دیگر، تعیین رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها را دشوار کرده است. تحلیل و طراحی در کنار هم بر رفتار لرزه‌ای ساختمان‌ها موثر می‌باشند (شکل ۱.۵). تعیین رفتار لرزه‌ای تنها از طریق تحلیل‌های مناسب ساختمان امکان‌پذیر است؛ این تحلیل‌ها باید قادر باشند تا تمام رفتارهای محتمل در ساختمان‌ها را در طول زلزله در نظر بگیرند. هم‌چنین، کنترل رفتار لرزه‌ای تنها با استفاده از یک طراحی صحیح ممکن می‌گردد. ویژگی این طراحی، تضمین تمام رفتارهای مورد نظر در ساختمان در طول تحلیل می‌باشد. روابطی نیز میان طراحی و تحلیل وجود دارند. طراحی یک ساختمان جدید باید بیان‌گر تحلیل انجام شده در آن باشد و تحلیل یک ساختمان موجود باید طراحی انجام شده در آن را ارزیابی نماید.

---

[1] Stiffness
[2] Displacement-control
[3] Inelastic



شکل ۱.۵. روابط تنگاتنگ موثر بر طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها: تمرکز طراحی لرزه‌ای بر رفتار لرزه‌ای دلخواه است.

از این رو فرایند انجام طراحی لرزه‌ای یک ساختمان جدید مطابق با زیر است (شکل ۲.۵):

(۱) تحلیل ساختمان به منظور در نظر گرفتن رفتار لرزه‌ای دلخواه؛ به عبارت دیگر، انجام تحلیل‌های ساختمان برای تضمین رفتارهای مجاز مورد انتظار ساختمان در طول لرزش زلزله؛

(۲) طراحی ساختمان به منظور انعکاس صحت تمام فرضیات در نظر گرفته شده در تحلیل و در نتیجه کنترل رفتار لرزه‌ای دلخواه از طریق طراحی ساختمان جدید؛

(۳) مشاهده رفتار ساختمان (در طول زلزله بعدی در منطقه محل ساخت آن) به منظور حصول اطمینان از فرایند طراحی یا مشخص شدن کاستی‌های آن.

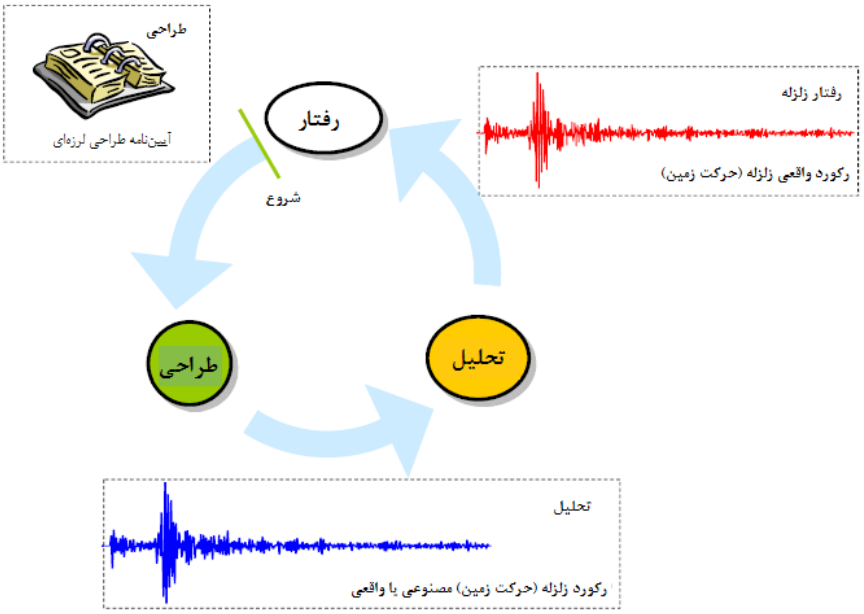
اما در ارزیابی مقاومت لرزه‌ای ساختمان موجود، فرایند ارزیابی ایمنی شامل مراحل فرعی جداگانه است که به انجام تحلیل قبل یا بعد از وقوع زلزله بستگی دارند. برای ارزیابی پیش از زلزله، مراحل به صورت زیر می‌باشند (شکل ۵.۳a):

(۱) تحلیل ساختمان به منظور در نظر گرفتن رفتار لرزه‌ای محتمل؛ به عبارت دیگر انجام تحلیل‌های مناسب ساختمان برای دستیابی به تمام رفتارهای محتملی که می‌توانند در طول زلزله در ساختمان ایجاد شوند. در این مرحله، رکوردهای مصنوعی[4] یا واقعی حرکت زمین با ویژگی‌های مشخص برای تعیین نیاز در ساختمان به کار گرفته می‌شوند.

[4] Synthetic

(۲) طراحی بهسازی هر عضو (و در نتیجه کل ساختمان) برای دستیابی به رفتار صحیحی که از تحلیل به دست آمده و در واقعیت مورد نظر است و از این رو، تعیین رفتار لرزه‌ای محتمل ساختمان موجود؛

(۳) مشاهده رفتار ساختمان (در طول زلزله بعدی در منطقه محل ساخت) به منظور حصول اطمینان از فرایند طراحی بهسازی یا مشخص شدن کاستی‌های آن.



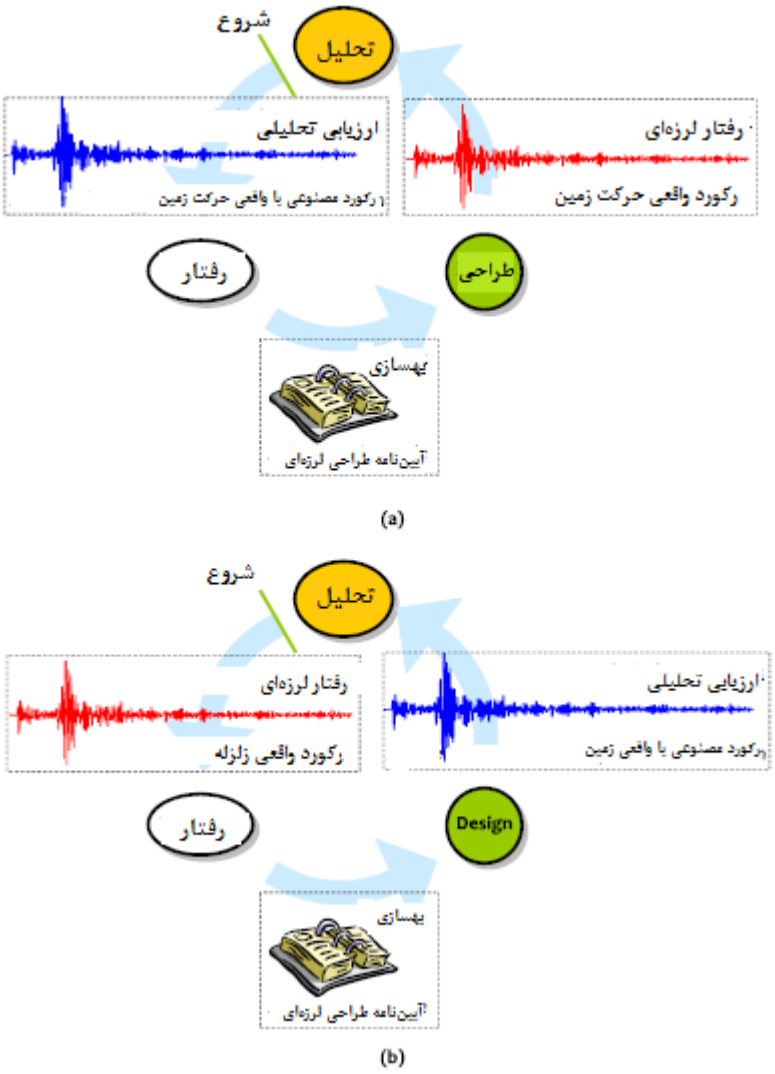
شکل ۲.۵. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمان جدید

ارزیابی پس از زلزله شامل مراحل زیر می‌باشد (شکل ۵.۳b):

(۱) مشاهده رفتار ساختمان (در طول زلزله‌ی رخداده در منطقه ساخت آن) برای حصول اطمینان از فرایند طراحی یا مشخص شدن کاستی‌های آن؛

(۲) طراحی بهسازی هر عضو (و در نتیجه کا ساختمان) برای دستیابی به رفتار صحیحی که در واقعیت مطلوب است و در نهایت تعیین رفتار لرزه‌ای محتمل ساختمان موجود در زلزله بعدی؛

(۳) تحلیل ساختمان برای دستیابی به رفتار لرزه‌ای محتمل؛ به عبارت دیگر، انجام تحلیل‌های مناسب ساختمان برای در نظر گرفتن تمام رفتارهای محتملی که می‌توانند در طول لرزش زلزله رخ دهند. در این مرحله، رکوردهای مصنوعی یا واقعی حرکت زمین با ویژگی‌های مشخص برای تعیین نیاز ساختمان به کار گرفته شوند.

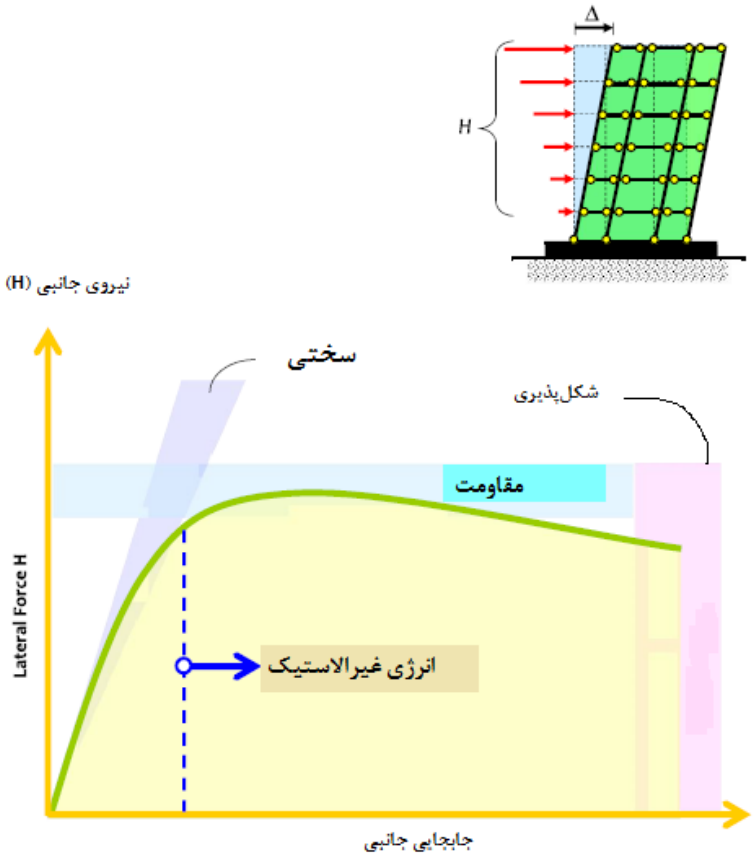


شکل ۳.۵. ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های موجود: (a) قبل از زلزله و (b) پس از زلزله

۲.۵. روش‌های طراحی لرزه‌ای

منحنی ایده‌آل بار جانبی – تغییرشکل (اسکلت‌بندی[۵]) یک ساختمان تحت بارگذاری جابجایی جانبی مونوتونیک در تحلیل پوش‌اور سه ویژگی شامل رفتار خطی، شروع رفتار غیرخطی و رفتار پلاستیک را مشخص می‌سازد (شکل ۴.۵). این ویژگی‌ها می‌توانند به منظور شناسایی سه محدوده غالب رفتار سازه‌ای شامل رفتار الاستیک[۶]، رفتار اولیه غیرالاستیک[۷] و رفتار غیرالاستیک شکل‌پذیر[۸] را که به ترتیب رخ می‌دهند، استفاده شوند. یک نتیجه مهم از این سه مشخصه در کنار هم، ظرفیت اتلاف انرژی غیرالاستیک ساختمان می‌باشد.

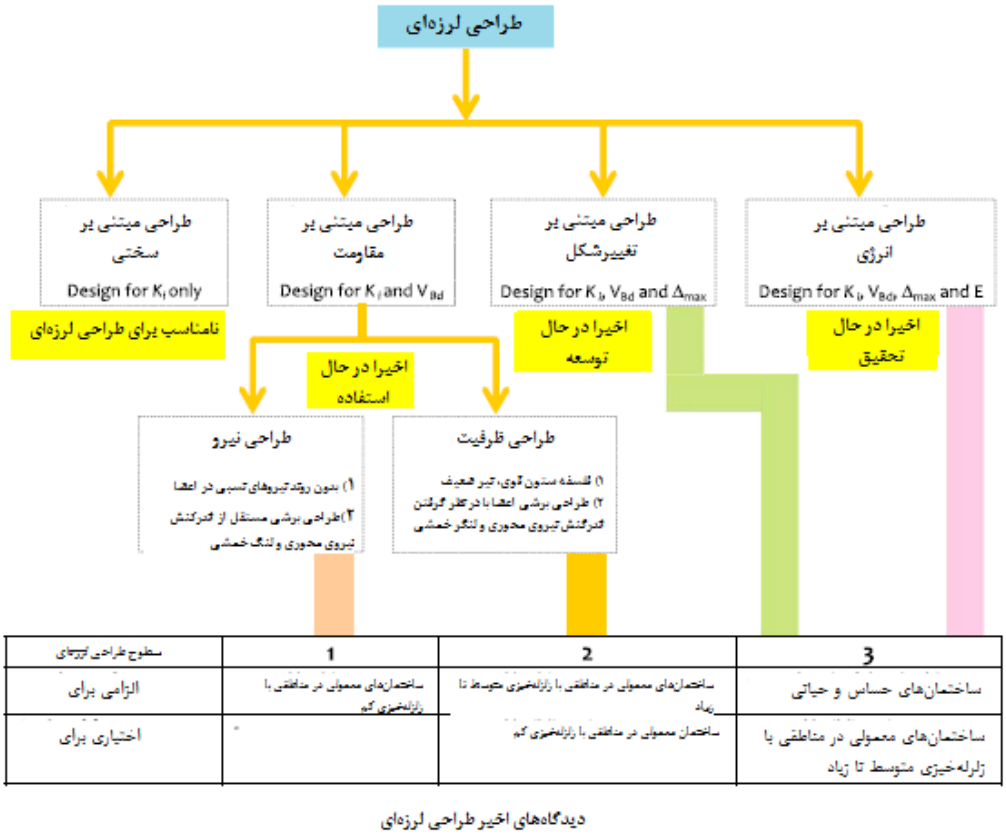
[5] Backbone
[6] Elastic behavior
[7] Early inelastic behavior
[8] Ductile inelastic behavior



شکل ۴.۵. چهار معیار در ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله، عملکرد لرزه‌ای آن‌ها را کنترل می‌نمایند؛ در این میان، سختی، مقاومت و شکل‌پذیری به صورت مستقیم رفتار نیرو-تغییرشکل ساختمان‌ها را تحت تاثیر قرار می دهند؛ در حالی که پیکربندی لرزه‌ای سازه به صورت غیر مستقیم بر این سه معیار اثرگذار است. ظرفیت اتلاف انرژی یک نتیجه کلی از این چهار معیار ساختمان‌ها می‌باشد.

در ادامه‌ی بحث مشخصات کلیدی ساختمان‌ها (شکل ۴.۵)، طراحی سازه‌ای ساختمان‌ها می‌تواند به صورت مبتنی بر سختی (تنها در نظر گرفتن سختی)، مبتنی بر مقاومت (در نظر گرفتن سختی و مقاومت)، مبتنی بر تغییر شکل (در نظر گرفتن سختی، مقاومت و شکل‌پذیری) و یا مبتنی بر انرژی (در نظر گرفتن سختی، مقاومت، شکل‌پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی) باشد (شکل ۵.۵). طراحی مبتنی بر مقاومت نیز می‌تواند به صورت طراحی نیرو و طراحی ظرفیت دسته‌بندی گردد. طراحی‌های پیشین به سادگی با در نظر گرفتن نیروی جانبی در ساختمان صورت می‌گرفت، اعضا برای تحمل برایند تنش به دست آمده از تحلیل خطی سازه‌ای ساختمان تحت نیروهای جانبی آیین‌نامه‌ای طراحی می‌شدند. هیچ روند از پیش تعریف شده‌ای برای مقاومت‌های اعضای متصل و نیز برای هر عضو وجود نداشت. طرح برشی هر عضو بتن آرمه با استفاده از نیروهای برشی به دست آمده از تحلیل سازه‌ای ذکر شده در بالا انجام می‌شد و مستقل از طراحی برای نیروهای محوری و لنگرهای خمشی می‌باشد. طراحی جدید هم مبتنی بر برایندهای تنش ناشی از تحلیل خطی سازه‌ای

ساختمان تحت بارهای جانبی طرح آیین‌نامه‌ای و هم برایندهای تنش سازگار با تعادل[9] به دست آمده از فرایند از پیش تعریف شده خرابی می‌باشد. در طراحی اعضای متصل متقاطع و هر عضو، یک روند از پیش تعریف شده برای مقاومت‌ها وجود دارد. در این حالت، طراحی برشی اعضای بتن آرمه با استفاده از مقدار بزرگ‌تر از میان a) نیروهای برشی به دست آمده از تحلیل سازه‌ای بیان شده در بالا و b) نیروهای برشی مبتنی بر مفاصل پلاستیک[10] که به نیروهای محوری و لنگرهای خمشی وابسته هستند؛ انجام می‌شود.



شکل ۵.۵ چهار روش گسترده موجود برای طراحی لرزه‌ای: الزامات سخت‌گیرانه در سطوح بالاتر در هر روش افزایش می‌یابد

روش طراحی مبتنی بر تغییر شکل به عنوان یکی از چهار روش طراحی، پیشرفته‌ترین روش می‌باشد و انتظار می‌رود که بهترین عملکرد لرزه‌ای را ارائه دهد. این روش نیازمند تجربه و قضاوت مهندسی بیش‌تر است؛ با این وجود، نتایج آن منجر به اطمینان بیش‌تر در طراحان برای دستیابی به ساختمانی با عملکرد مشابه با حالت طراحی شده می‌گردد. از این رو، این روش مناسب‌ترین حالت برای ساختمان‌های خاص مانند ساختمان‌های حساس و حیاتی می‌باشد که عملکرد آن‌ها باید پس از زلزله نیز حفظ شود. روش طراحی ظرفیت مناسب‌ترین روش برای ساختمان‌های معمولی است که باید لرزش ناشی از زلزله متوسط تا شدید را تحمل نمایند. روش طراحی مبتنی بر انرژی هنوز در حال مطالعه است. روش طراحی نیرو، نتایج مناسبی در مورد رفتار لرزه‌ای

[9] Equilibrium-compatible
[10] Plastic hinges

نشان نداده است؛ از این رو بهتر است تا از آن حتی در مناطقی با زلزله‌خیزی کم اجتناب شود. با این وجود، به دلیل عدم وجود نیروی انسانی کافی و بحث‌های اقتصادی، همچنان این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳.۵ روند طراحی لرزه‌ای

روندی که در آن مشخصات ساختمان‌ها از طریق رفتار نیرو – جابجایی آن‌ها ظاهر می‌شوند (شکل ۴.۵)، از سه مرحله شامل مرحله طراحی سختی، مرحله طراحی مقاومت و مراحل طراحی شکل‌پذیری می‌باشد. جزئیات مربوط به هر یک از این مراحل طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها در ادامه بیان می‌شوند.

۱.۳.۵ مرحله طراحی سختی

مهم‌ترین بخش‌های این مرحله عبارتند از:

(۱) انتخاب یک پیکربندی لرزه‌ای سازه که انتظار می‌رود قادر به ارائه رفتار لرزه‌ای دلخواه باشد.

الف) بهتر است هندسه کلی ساختمان در ارتفاع مورد نیاز به صورت محدب[11] باشد. از این نظر بایستی مواردی چون نسبت‌های لاغری[12] در ارتفاع و نسبت‌های ابعاد پلان مشاهده شده در ساختمان‌هایی با طراحی مطلوب در هندسه در نظر گرفته شود. برای مثال تناسب ساختمان باید به صورت زیر باشد:

(i) بیش‌ترین نسبت لاغری (H/B) در ساختمان‌های مختلف با طراحی مناسب در تمام دنیا معمولا در حدود ۱۰ می‌باشد؛ هم‌چنین بیشینه مقدار نسبت ابعاد (L/B) حدود ۴ است.

(ii) ابعاد مطلق ساختمان‌ها نباید بیش از حد بلند باشند؛ زیرا در این حالت حرکت‌های ناهمسان زمین در بخش‌های مختلف ساختمان وارد می‌شوند. در این حالت انجام یک تحلیل طول موج لرزه‌ای به منظور تعیین بعد نسبی ساختمان با توجه به موج لرزه‌ای غالب مود نیاز است.

(iii) مساحت مطلق پلان ساختمان نباید به اندازه‌ای بزرگ باشد که منجر به جذب نیروی اینرسی زیاد گردد؛

(iv) نامنظمی‌های واضح ذکر شده در آیین‌های طراحی و ادبیات فنی استاندارد باید به حداقل برسند و در صورت نیاز حذف شوند.

ب) سیستم سازه‌ای انتخاب شده باید به کمک اعضای قائم و افقی سیستم مقاوم در برابر با جانبی عملکرد لرزه‌ای مناسبی داشته باشد. این سیستم می‌تواند اثرات زلزله را در طول لرزش‌های شدید به صورت ایمن تحمل کند. برای مثال، سیستم سازه‌ای باید ویژگی‌های زیر را دارا باشد:

(i) در هر دو راستای پلان متقارت باشد،

---

[11] Convex
[12] Slenderness

(ii) توزیع سختی در ارتفاع با افزایش تدریجی آن به سمت طبقات پایین‌تر ساختمان به صورت منظم باشد (برای مثال، ساختمان‌هایی با طبقه همکف باز به دلیل افت ناگهانی در سختی جانبی و مقاومت جانبی در طبقه پایین مورد قبول نیستند).

(iii) وجود مسیرهای بار متعدد مستقیم و کوتاه؛ به عبارت دیگر ساختمان می‌تواند اعضا و اتصالات زیادی داشته باشد اما نباید از هیچ مسیر بار غیرمنتظره‌ای در زمان طراحی صرف نظر شود؛ برای مثال اثرات ستون کوتاه[۱۳] به دلیل مهار جانبی ناشی از میانقاب[۱۴]ها غیر قابل قبول هستند.

(iv) عدم وجود برون محوری[۱۵] یا تنها وجود تعداد محدودی از آن در پلان ساختمان،

(v) عدم وجود ناپیوستگی در المان‌های افقی سیستم باربر جانبی؛ برای مثال نباید هیچ برشی در لبه‌های دال‌ها وجود داشته باشد.

هم‌چنین ممکن است قاب‌های خمشی به تنهایی نتوانند پاسخگوی مقاومت در برابر لرزش زلزله در ساختمان‌های بتن آرمه باشند؛ دیوارهای بتن آرمه یا مهاربندها باید در ساختمان‌های ساخته شده در مناطقی با لرزه‌خیزی متوسط تا زیاد مورد استفاده قرار بگیرند.

تناسب هندسه ساختمان و انتخاب مناسب‌ترین پیکربندی لرزه‌ای سازه از طریق یک تعامل واقع‌بینانه بین معمار و مهندس سازه پروژه ممکن می‌گردد.

(۲) تناسب اعضای قائم سیستم باربر جانبی در سیستم سازه‌ای ساختمان:

(الف) تراکم المان‌های قائم سیستم باربر جانبی در پلان سازه در هر راستا باید حداقل ۴ تا ۸ درصد باشد. این حالت در بیش‌تر موارد با استفاده از قاب‌های خمشی تحقق نمی‌یابد و لذا دیوارهای سازه‌ای در تمام ارتفاع ساختمان و در هر جهت از پلان نیاز می‌باشند.

(ب) ساختمان باید دارای حداقل مقدار سختی جانبی باشد تا مقدار جابجایی‌ها (و در نتیجه خسارت) تحت لرزش متوسط تا شدید کوچک باقی بماند. در حالت کلی، ساختمان‌هایی با سختی جانبی زیاد به ساختمان‌هایی با سختی جانبی کم ترجیح داده می‌شوند.

(ج) مقطع عرضی عر عضو قائم و طراحی آن (از نوع فولاد سازه‌ای یا ستون بتن آرمه یا دیوار سازه‌ای) باید به گونه‌ای طراحی شوند که بیشینه نیاز نیروی محوری کم‌تر از ۳۰ درصد ظرفیت فشاری محوری تک محوره[۱۶] آن باشد.

---

[13] Short column
[14] Infill
[15] Offset
[16] Uniaxial

(د) مقطع جانبی هر ستون قائم یا دیوار سازه‌ای باید به گونه‌ای باشد که در اتصال اعضای افقی در دیتیل میلگردگذاری اعضای بتن آرمه مشکلی به وجود نیاید،

(ه) مقاومت‌های مقاطع جانبی هر ستون قائم یا دیوار سازه‌ای باید به صورتی باشند که اعضای قائم نسبت به اعضای افقی متصل به آن‌ها قوی‌تر شوند.

(۳) مدل‌سازی سیستم سازه‌ای ساختمان برای تحلیل سازه‌ای (در کامپیوتر)

یک مدل پایه تحلیل سازه‌ای ساختمان با ابعاد و دیتیل‌های به دست آمده از روندهای طراحی اولیه آماده کنید. مدل تحلیلی ساختمان بایستی ویژگی‌های زیر را داشته باشد.

(الف) این مدل باید به صورت سه بعدی باشد تا بتواند با تمام سختی و جرم‌های ممکن در آن، رفتار دینامیکی را مورد مطالعه قرار دهد. مدل‌های دو بعدی قابل قبول نیستند؛ زیرا آیین‌های طراحی الزام می‌نمایند که تمام ساختمان‌ها با در نظر گرفتن اثرات پیچش و با حداقل خروج از مرکزیت بین مرکز جرم و سختی در هر طبقه تحلیل گردند (ادبیات فنی کلاسیک الزام می‌کنند که ممان اینرسی ترک‌خوردگی در مدل‌سازی اعضای قاب خمشی مورد استفاده قرار گیرند؛ برای مثال ۰/۳۵ ممان اینرسی خالص برای تیرها و ۰/۷ ممان اینرسی خالص برای ستون‌ها)؛

(ب) این مدل باید بتواند اثرات ناشی از خاک انعطاف‌پذیر یا ضعیف را در زیر سازه در نظر بگیرد. در اغلب موارد، روابط ساختاری مربوط به خاک به صورت غیرخطی است. در مواردی، حتی یک ساده سازی خطی از انعطاف‌پذیری خاک منجر به اختلاف قابل توجه در رفتارهای سازه می‌گردد.

(۴) مطالعه مودهای دینامیکی ارتعاش[17] ساختمان

این مرحله در ارزیابی مناسب بودن هندسه کلی، پیکربندی لرزه‌ای سازه و توزیع جرم و سختی ساختمان مهم می‌باشد. موارد حائز اهمیت در این مرحله عبارتند از:

(الف) ساختمان باید کم‌ترین حالت نامتقارنی را در پلان داشته باشد. به صورت واضح‌تر، مودهای اولیه ارتعاش باید به صورت مودهای خالص انتقالی ارتعاش باشند و حتی مودهای انتقالی قطری یا پیچشی ارتعاش را که منجر به عملکرد ضعیف ساختمان‌ها می‌شود، شامل نگردند.

(ب) جرم مودی مربوط به مجموع مودهای انتقالی باید حداقل برای ۹۰ درصد از جرم ساختمان شامل مودهای ارتعاشی پیچشی در هر راستا از پلان در نظر گرفته شود. در صورتی که این موضوع محقق نگردد؛ پیکربندی سازه‌ای، تناسب اعضا، مشخصات مصالح و / یا اتصال باید به منظور رسیدن به رفتار خالص انتقالی دلخواه در مودهای اولیه ارتغاش تغییر یابند.

[17] Oscillation

(۵) تحلیل سازه‌ای خطی الاستیک ساختمان

(الف) مدل پیشرفته تحلیل سازه‌ای ساختمان با ابعاد و جزئیات به دست آمده از محاسبات طراحی اولیه‌ی ذکر شده در بالا تهیه می‌شود. زمان تناوب انتقالی غالب تقریبی ساختمان را تخمین زده شده و برش پایه لرزه‌ای طرح وارد بر ساختمان را از طریق روند طراحی نیروی جانبی معادل محاسبه می‌گردد (با نام روش ضریب لرزه‌ای نیز شناخته می‌شود).

(ب) نیروهای جانبی طرح مشخص شده آیین‌نامه در هر طبقه از مدل تحلیلی وارد شده و تحلیل سازه‌ای خطی الاستیک صورت می‌گیرد. برایندهای تنش از تمام ترکیبات بار ارائه شده در آیین‌نامه لرزه‌ای تخمین زده می‌شوند. تغییرشکل جانبی در ساختمان نیز تحت ترکیبات بار مختلف به دست می‌آیند. در صورتی که تغیرشکل جانبی غالب کم‌تر از تغییرشکل جانبی مجاز بیان شده در آیین‌نامه لرزه‌ای باشد، پیکربندی لرزه‌ای و ابعاد مورد استفاده برای ساختمان مورد قبول خواهد بود. در غیر این صورت، سیستم باربر جانبی قائم باید به منظور دستیابی یه پیکربندی اصلاح شده ساختمان، سخت‌تر گردد.

(ج) تحلیل سازه‌ای دینامیکی خطی برای ساختمان‌های نامنظم، بلند، طویل، مهم و در مناطقی با زلزله‌خیزی زیاد انجام می‌گیرد. این کار می‌تواند به دو روش انجام شود: استفاده از تاریخچه‌های زمانی حرکت ثبت شده/ مصنوعی زمین یا طیف پاسخ طرح. برخی از آیین‌نامه‌ها تاکید می‌کنند که برش پایه لرزه‌ای به دست آمده از روش تحلیل طیف پاسخ طرح نباید کم‌تر از مقدار به دست آمده برای این کمیت از روش ضریب لرزه‌ای باشد؛ حتی اگر جابجایی‌های به دست آمده از روش پیشین بتوانند از مقدار آن‌ها در روش اخیر بیش‌تر شوند.

۲.۳.۵ مرحله طراحی مقاومت

مهم‌ترین بخش‌های این مرحله عبارتند از:

(۶) انتخاب مقدار نسبی مقاومت خمشی عضو برای تعیین مکانیزم فروریزش[۱۸]

(الف) یک مکانیزم فروریزش مطلوب برای سیستم سازه‌ای تعیین می‌شود که در آن، سازه‌ها قادر باشند تحت شرایط سخت فروریزش و حتی در هنگام وقوع لرزش قوی زلزله فراتر از لرزش معمول زلزله طرح، تغییرشکل دهند. موقعیت‌ها و نوع رفتارهای غیر ارتجاعی مطلوب در ساختمان مشخص می‌گردد.

(ب) طراحی ظرفیت تمام اعضا به منظور تضمین روند مقاومت مبنی بر تقدم رفتارهای پلاستیک خمشی بر خرابی برشی و مطابقت رفتارهای پلاستیک با موقعیت‌های دلخواه تعیین شده در مرحله قبل (۶ (الف)) انجام می‌شود. در این حالت ممکن است نسبت مقاومت طراحی خمشی تیر به ستون در ساختمان‌های قاب خمشی یا قاب با دیوار سازه‌ای بسیار بیش‌تر از مقادیر معمول توصیه شده در برخی از آیین‌نامه‌های لرزه‌ای باشند.

[18] Collapse

(۷) انجام طراحی لرزه‌ای تمام المان‌های سازه‌ای ساختمان

(الف) طراحی دال[19]های ساختمان،

(ب) طراحی خمشی تمام تیرها برای نیاز خمشی غالب به دست آمده از ترکیبات بار. سپس، طراحی این تیرها برای برش از طریق روش طراحی ظرفیت و در راستای مفاصل پلاستیک در مکانیزم خرابی تعیین شده.

(ج) طراحی خمشی تمام ستون‌ها و دیوارهای سازه‌ای برای ترکیبات غالب نیروی محوری و لنگر خمشی مشخص شده توسط آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای و برای برایندهای تنش ناشی از ترکیب بار ویژه ساختمان با اضافه مقاومت مفاصل خمشی پلاستیک تعیین شده در مکانیزم مطلوب فروریزش. سپس، طراحی برشی ستون‌ها برای نیاز برشی به دست آمده از ترکیبات بار آیین‌نامه‌ای و برش ناشی از ترکیب بار ویژه اضافی بر اساس روش طراحی ظرفیت با در نظر گرفتن مفاصل پلاستیک در تیرها مطابق با مکانیزم مطلوب فروریزش. ستون‌ها و دیوارهای بتن آرمه باید به صورتی طراحی شوند تا تمام نقاط طراحی در محدوده ناحیه خرابی کششی (کنترل کشش) منحنی اندرکنش P-M قرار گیرند؛ به عبارت دیگر، نیاز نیروی محوری در این اعضا معمولا باید کم‌تر از ۳۰ درصد ظرفیت فشاری تک محوره مقطع باشد. برخی ویژگی‌های مهم‌تر نیز باید در اعضای ساختمان‌های قاب خمشی بتن آرمه وجود داشته باشند که عبارتند از:

(i) ستون باید بسیار عریض‌تر از تیر باشد (در هر دو راستا) تا امکان عبور میلگردهای تیر به داخل یا از میان آن بدون خمیدگی فراهم گردد.

(ii) به منظور جلوگیری از مشکلات اجرایی مهار میلگردهای تیر در داخل ستون متصل، استفاده از دیتیل قلاب[20] استاندارد در انتهای تیر برای میلگردهای طولی نیاز است.

(د) طراحی اتصالات تیر به ستون و تیر به دیوار به منظور قرار گرفتن تنش‌های برشی در محدوده مجاز مقدار تعیین شده توسط آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای.

(ه) طراحی پی(ها) ساختمان با توجه به ظرفیت خاک زیر آن.

۳.۳.۵ مرحله طراحی شکل‌پذیری

مهم‌ترین بخش‌های این مرحله عبارتند از:

(۸) تعیین دیتیل تمام اعضا و اتصالات آن‌ها به منظور تضمین شکل‌پذیری در اعضای مورد نیاز و جلوگیری از رفتارهای نامطلوب در اعضای دیگر.

---

[19] Slab
[20] Hook

(الف) در فوصل تعیین شده توسط الزامات آیین‌نامه، از خاموت در تمام تیرهای بتن آرمه شکل‌پذیر استفاده می‌شود (خاموت‌ها باید در فاصله کم، به صورت حلقه‌های بسته با قلاب‌های ۱۳۵ درجه و حداقل در کم‌ترین طول‌های معین در دو انتهای قلاب استفاده شوند).

(ب) مطابق با محاسبات طراحی از میلگردهای عرضی در تمام ستون‌ها و دیوارهای بتن آرمه استفاده شود (میلگردهای عرضی باید در فاصله کم، به صورت حلقه‌های بسته با قلاب‌های ۱۳۵ درجه و حداقل در کم‌ترین طول‌های معین در دو انتهای قلاب استفاده شوند).

(۹) تایید وقوع مکانیزم خرابی مطلوب در ساختمان

(الف) مدل تحلیل سازه‌ای برای انجام تحلیل غیرخطی شبه استاتیکی[۲۱] جابجایی پوش‌اور[۲۲] و تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی تهیه می‌شود.

(ب) تحلیل پوش‌اور با استفاده از یک الگوی نیروی جانبی مطابق با توزیع مشخص شده نیروهای جانبی طرح انجام می‌شود. با استفاده از نتایج، شکل‌پذیری تحت بارگذاری نیروی جانبی طرح و مکانیزم فروریزش ایجاد شده و نیاز یا عدم نسیاز به اصلاح طراحی مشخص می‌گردد . در صورت عدم تطابق مکانیزم فروریزش با حالت مطلوب آن، پیکربندی لرزه‌ای سازه اصلاح شده و تمام مراحل بالا از مرحله ۱ تکرار می‌شود تا مکانیزم مطلوب حاصل گردد. در صورتی تطابق مکانیزم فروریزش با حالت مطلوب آن، مرحله بعدی دنبال خواهد شد.

(ج) حرکت‌های مناسب زمین به صورتی انتخاب می‌شوند که تا حد امکان نمایان‌گر حرکت‌های محتمل زمین در موقعیت ساختمان باشند. این حرکت‌ها در صورت امکان استفاده می‌توانند حرکت‌های حوزه دور یا نزدیک را شامل شوند. هم‌چنین، نوع خاک محل ساخت ساختمان را نیز منعکس می‌نمایند. باید اطمینان حاصل شود که سطح شدت این حرکت‌ها و طیف فرکانس آن‌ها حداقل با الزامات آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای مطابقت داشته باشد. تحلیل تاریخچه زمانی ساختمان تحت تمام حرکت‌های مشخص شده انجام می‌شود تا نوع مکانیزم ایجاد شده در آن تعیین گردد. در هر کدام از این تحلیل‌ها، مکانیزم ایجاد شده مطالعه می‌شود.

(د) در صورت عدم دستیابی به مکانیزم مطلوب، تغییرات مناسب در مرحله ۱ صورت می‌پذیرد (برای در طراحی اعضا، سیستم سازه‌ای، دیتیل شکل‌پذیر و / یا انتخاب مصالح) و تمام بخش‌های مربوط به گام‌های طراحی سختی و مقاومت انجام می‌شود.

(ه) در صورت دستیابی به مکانیزم مطلوب، نقشه‌های سازه‌ای مورد نیلز مطابق با دیتیل انتخاب شده در طراحی و تحلیل تهیه می‌گردد.

[21] Quasi-static
[22] Pushover

۴.۵. نظرات مرتبط

تنها بخش منتخبی از مفاهیم رفتار لرزه‌ای در این کتاب مورد بحث قرار گرفت. این مجموعه تمامی مفاهیم مربوط به رفتار لرزه‌ای، تحلیل و طراحی را پوشش نمی‌دهد. از طرفی دیگر، بسیاری از این مفاهیم به هم مرتبط هستند؛ با این وجود، این کتاب به ارتباط بین آن‌ها نمی‌پردازد. امید است تا بحث‌های مطرح شده در این کتاب به ویژه در مورد مفاهیم ارائه شده، به معماران و مهندسان کمک نمایند تا طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها را با شفافیت و اطمینان بیش‌تر بر عهده بگیرند.