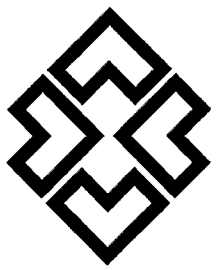
٩٦١٧٩



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

پژوهشکده ساختمان و مسکن

پایان نامه کارشناسی ارشد

روش طراحی ساختمانهای مسکونی متعارف بتنی بر اساس سطح عملکرد

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

استاد راهنما : جناب آقای دکتر مهدی

دانشجو : حمیدرضا نصیری اوانکی

زمستان ۸۲

۱۳۸۷/۶۵/۱۰۳

۹۶۱۷۹

بسمه تعالی

تاییدیه هیات داوران

آقای حمیدرضا نصیری اوانکی پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۶ واحدی خود را با عنوان « طراحی بر اساس عملکرد برای ساختمانهای بتنی با ارتفاع متوسط(بیشتر از ۵ طبقه) » که در تاریخ ۸۲/ ۱۱ / ۱۴ ارایه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران با گرایش مهندسی زلزله پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضا
۱- استاد راهنما	آقای دکتر طارق مهدی	
۲- استاد مشاور	آقای دکتر	
۳- استادان ممتحن خارجی	آقای دکتر	
داخلی	آقای دکتر	
۴- مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی):	آقای دکتر	

۱۳۸۲/۱۱/۱۴

کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس
برای پژوهشکده ساختمان و مسکن محفوظ است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

ضمن سپاس و امتنان فراوان از خداوند منان، در پایان تلاشهای وافر جهت تدوین این پایان نامه جا دارد که از کلیه اساتید؛از جمله جناب آقایان دکتر مهدی ، دکتر اسکویی ،دکتر سرو قد مقدم، پروفسور کاوه ، دکتر قناد ، دکتر کاظمی، دکتر رحیم زاده ، دکتر نورزاد و دیگر اساتیدی که به نوعی در مراحل علمی این پایان نامه کمک شایانی کردند ، تشکر و قدردانی بنمایم.

همچنین از کلیه دوستان از جمله خانم مهندس نیکزاد، آقای مهندس همتی ، آقای دکتر ولیپور، خانم بصیری ، خانم بهاریان و همچنین خانم چشمه دری که در امر تایپ پایان نامه زحمات فراوانی کشیدند،تشکر و قدر دانی می نمایم .

با سپاس فراوان

حمیدرضا نصیری اوانکی

اردیبهشت ۱۳۸۳

آشنایی با روش طراحی ساختمانها براساس عملکرد

چکیده

به جهت نقص آیین‌نامه‌های رایج طرح ساختمانها از نظر پیش‌بینی عملکرد سازه در برابر زلزله،در چند سال اخیر روش طراحی براساس عملکرد مورد توجه پژوهشگران و آیین‌نامه‌های جدید قرار گرفته است. در این روش، رفتار سازه و آسیب‌های وارده به آن تحت بارهای جانبی متغیر، تا لحظه شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد و طراح می‌تواند با انتخاب اهداف عملکردی مناسب، با توجه به کاربری و نیازهای ساختمان، از طریق تعیین ظرفیت تغییر شکل و میزان آسیب وارده، آن را طرح نماید. از طرف دیگر با تعیین عملکرد ساختمانهای موجود در برابر زلزله، می‌توان با انتخاب استراتژی بهینه تقویت، تراز عملکرد ساختمان را به سطح مورد نظر ارتقا داد.در این مقوله ضمن مرور و بررسی روش طراحی براساس عملکرد، ضوابط آیین نامه‌های کشور با معیارهای روش طراحی براساس عملکرد مقایسه و ارزیابی می‌گردد. بنظر می‌رسد آیین نامه‌های کشور از نظر تأمین اهداف مختلف عملکردی نیاز به انعطاف پذیری بیشتری دارند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: آشنایی با مفاهیم اولیه طراحی لرزه‌ای ساختمانهای براساس عملکرد

آشنایی با روش طراحی ساختمانها براساس عملکرد ۲

چکیده ۲

۱-۱ مقدمه ۳

۱-۲ مقاومت یک معیار ناکافی ۳

۱-۳ مفاهیم بنیادی در روش طراحی براساس عملکرد ۵

۱-۳-۱ مقدمه ۵

۱-۳-۲ کلیات و تعاریف ۶

۱-۴ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها ۸

۱-۵ اهداف عملکردی ۱۰

۱-۵-۱ ترازهای عملکرد سازه‌ای عبارتند از: ۱۰

۱-۵-۲ ترازهای عملکرد غیرسازه‌ای عبارتند از ۱۱

۱-۶ تحلیل خطر و طیف طراحی ۱۲

۱-۷ تعاریف بنیادی ۱۳

۱-۸ مراحل تحلیل خطر ویژه ساختگاه ۱۵

۱-۹ تهیه طیف طرح ویژه ساختگاه ۱۶

۱-۱۰ شتابنگاشتها ۱۷

۱-۱۰-۱ شتابنگاشت سازگار با طیف طرح ۱۷

۱-۱۱ ترازهای عملکرد ۱۸

۱-۱۲ ظرفیت سازه و نیاز زلزله ۲۰

۱-۱۳ نقطه عملکرد سازه ۲۲

۱-۱۴ کنترل اهداف عملکردی ۲۳

۱-۱۵ کاربرد روش طراحی براساس عملکرد در ارزیابی و تقویت سازه‌ها ۲۴

۱-۱۶ بهسازی ۲۵

۱-۱۶-۱ بررسی ویژگی‌های ساختمان ۲۶

۱-۱۶-۲ انتخاب هدف بهسازی ۲۶

۱-۱۶-۳ جمع‌آوری اطلاعات وضعیت موجود ساختمان ۲۶

۱-۱۶-۴ نیاز یا عدم نیاز به بهسازی ۲۶

۱-۱۷ ساختمان با دیافراگم صلب ۲۶

۱-۱۹ تحلیل دینامیکی غیرخطی ۳۶

۱-۲۰ ملاحظات خاص مدلسازی و تحلیل ۳۷

۱-۲۱ نتیجه‌گیری ۳۷

فصل دوم: بررسی فلسفه طراحی براساس عملکرد و کاربرد روشهای غیرخطی در آن

۲-۱ کلیات ۳۳
۲-۲ روش‌های پیشنهادی ۳۳
۲-۲-۱ روش طیف ظرفیت مودی ۳۳
۲-۲-۲ روش ترکیب پاسخ‌های مودی بر مبنای جرم مودی (EMC و MEMC) ۳۵
۲-۳ نتایج تحلیل‌ها و مقایسه روش‌ها ۳۶
۲-۳-۱ تعیین اشکال مودی و توزیع بار جانبی ۳۶
۲-۲-۲-۲ سطوح زلزله طرح ۴۳
۲-۲-۲-۳ اهداف طراحی ۴۳
۲-۳ بررسی کاربرد روش‌های آنالیز استاتیکی و دینامیکی ۴۴
۲-۳-۱ نیاز به روش‌های تحلیل غیرخطی ۴۴
۲-۳-۲ بررسی روند تحلیل استاتیکی غیرخطی (PUSHOVER) ۴۷
۲-۳-۲-۱ کلیات ۴۷
۲-۳-۲-۲ منحنی رفتاری ۵۰
۲-۳-۲-۳ الگوی بار جانبی ۵۲
۲-۳-۳ معرفی انواع روش‌های مبتنی بر تحلیل استاتیکی غیرخطی ۵۳
۲-۳-۳-۱ روش طیف ظرفیت ۵۴
۲-۳-۳-۲ روش ضریب تغییر مکان ۵۵
۲-۳-۳-۳ روش سکانت ۵۶

فصل سوم: ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها به روش طیف ظرفیت

۳-۱ مقدمه ۵۸
۳-۲ هدف عملکرد ۵۸
۳-۳ ترازهای زلزله ۵۹
۳-۴ ترازهای عملکرد سازه‌ای ۶۰
۳-۵ هدف عملکرد انتخابی ۶۱
۳-۶ حداکثر شتاب مؤثر (EPA) ۶۲
۳-۷ مقایسه زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ قدیم و جدید ۶۵
۳-۸ ارزیابی خطی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های موجود ۶۷
۳-۹ مدلسازی الاستیک ۶۸
۳-۱۰ آنالیز خطی ۶۹
۳-۱۱ معیارهای پذیرش در تراز مقاومت و تنشهای مجاز ۷۵
۳-۱۲ ارزیابی غیرخطی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها در تراز عملکرد ایمنی جانی ۷۶
۳-۱۳ مدلسازی غیرالاستیک ۷۷
۳-۱۴ آنالیز دینامیکی غیرخطی ۸۵

۳-۱۵ آنالیز استاتیکی غیرخطی..... ۹۰
۳-۱۶ منحنی ظرفیت..... ۹۳
۳-۱۷ تعیین نقطه عملکرد به روش طیف ظرفیت..... ۹۷

فصل چهارم: روش طراحی ساختمانهای مسکونی متعارف بتنی براساس سطح عملکرد

۴-۱ مقدمه..... ۱۲۴
۴-۳ روش طیف ظرفیت و بیان معیارهای پذیرش..... ۱۳۰
۴-۴ تعیین ظرفیت سازه..... ۱۳۰
۴-۵ تعیین نیاز و نقطه عملکرد سازه..... ۱۳۱
۴-۶ معیارهای پذیرش..... ۱۳۲
۴-۷ معرفی ساختمان مورد مطالعه..... ۱۳۳
۴-۸ شیوه طراحی یک ساختمان براساس روش عملکردی..... ۱۳۴
۴-۹ تعیین اهداف عملکردی ساختمان..... ۱۳۸
۴-۱۰ تحلیل Pushover و تعیین نقطه عملکرد ساختمان..... ۱۳۸
۴-۱۰ نمودارهای بدست آمده..... ۱۴۱
۴-۱۱ ارزیابی عملکرد ساختمان مطابق معیارهای پذیرش..... ۱۴۷
۴-۱۳بررسی تغییر شکلهای جانبی..... ۱۴۷
۴-۱۴ بررسی معیارهای پذیرش اجزا..... ۱۴۸
۴-۱۵ اصلاح سطح عملکرد بدست آمده..... ۱۴۸
۴-۱۶ بررسی عملکرد ساختمان در زلزله سطح بهره‌برداری..... ۱۴۹
۴-۱۷ ارزیابی آیین‌نامه ۲۸۰۰ جدید براساس طراحی عملکردی..... ۱۴۹
۴-۱۸ ارائه نتایج نهایی..... ۱۵۰

فصل اول

آشنایی با مفاهیم اولیه

طراحی لرزه‌ای ساختمانها بر اساس عملکرد

۱-۱ مقدمه

آیین نامه‌های طراحی کنونی سازه‌ها در برابر زلزله عمدتاً با هدف کاهش تلفات جانی ناشی از زلزله تدوین شده‌اند و تجارب بدست آمده از زلزله‌های اخیر نیز نشـان دهنـده کـارآمدی آنـها در زمینه کاهش تلفات ناشی از زلزله بوده است. از طرف دیگر زلزله‌های بزرگ سالهای اخیر نشانگر اینست که میزان خسارت‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای وارده به سازه‌ها در برخی موارد بسیار شـدید بوده و خسارات مالی سنگینی بدنبال داشته است. بنظر می‌رسد اشکالی که در روشـهای طراحـی مرسوم آیین‌نامه‌های کنونی وجود دارد این است که عملکرد سازه و اجزای آن بطور صریح قـابل ارزیابی نمی‌باشد. بدین منظور در سالهای اخیر روش طراحی براساس عملکرد مورد توجـه بسـیار قرار گرفته است. هدف از طراحی براساس عملکرد این است که بتوان سازه‌ای ساخت که عملکرد آن در مقابل زلزله‌های مختلف قابل پیش‌بینی باشد و کارفرمای پروژه و طـراح بتواننـد عملکـرد مورد نظر را بسته به هدف‌سازه انتخاب کنند. البته شاید این ایده بسیار قدیمی باشد، اما مشکلاتی از قبیل عدم شناخت دقیق از رفتار زلزله و نـیز پیچیـدگیـهای رفتـاری سـازه در محـدوده رفتـار غیرخطی، تحقق عملی این روش طراحی را تا سالیان اخیر به تعویق انداخته اسـت. مسـئله مـهم دیگر این است که چگونه اهداف عملکردی کیفی سازه بصـورت کمـی و فرمولـه شـده در آییـن نامه‌ها وارد شود. در چند سال اخیر برای استاندارد و فرموله کردن روش طراحی براساس عملکرد تلاشهای فراوانی صورت گرفته است {۱و۲}. با توجه بـه گرایـش گسـترده بـه سـمت طراحـی براساس عملکرد، لازم است آیین نامه‌های طراحی موجود کشور نیز در جهت تطابق با ایـن روش طراحی مورد ارزیابی قرار گرفته و با آن هماهنگ شوند.

۱-۲ مقاومت یک معیار ناکافی

طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله در چندین سال اخیر دستخوش تغییرات و پیشرفت‌هایی شده است که تأکید آن عمدتاً بر تغییر معیار طراحی از «مقاومت» به «عملکرد» می‌باشـد. علـت این امر آشکار شدن نقاط ضعف و ناکار آمد بودن ضوابط حاکم بر آیین نامه‌های لرزه‌ای و منطبق نبودن آنها با رفتار واقعی سازه در هنگام زلزله می‌باشد. توضیح اینکه در طول هفتاد سال گذشـته

یعنی در طول دوره‌ای که محاسبات خاص طراحی برای مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌ها در آیین نامه‌ها گنجانده شده است، عموماً مقاومت و عملکرد به عنوان دو مفهوم یکسان و مترادف تلقی می‌شدند. به عبارت دیگر افزایش مقاومت به مفهوم بهبودعملکرد لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شد. در طول ۲۵ سال اخیر یک تغییر جهت نسبت به این مفهوم در حال شکل‌گیری است. بر پایه این واقعیت که افزایش مقاومت لزوماً باعث افزایش ایمنی و یا کاهش خرابی در سازه‌ها نمی‌شود. با توجه به این واقعیت تغییرات اساسی در فلسفهٔ آیین نامه‌های لرزه‌ای در کشورهای پیشرفته شکل گرفته است که به عنوان نمونه می‌توان به ایدهٔ «طرح ظرفیت» که توسط پاولی[1] در کشور نیوزلند در دههٔ هفتاد میلادی ارائه شد، اشاره کرد. براساس این مفهوم که نحوهٔ توزیع مقاومت در سازه بسیار مهم‌تر از مقادیر مطلق برش پایه طراحی می‌باشد.

همانطور که می‌دانیم زوشهای فعلی آیین نامه‌های لرزه‌ای بر مبنای تحلیل‌های خطی و طراحی براساس نیرو به همراه کنترل تغییر مکان[2] می‌باشد و سعی شده است مفاهیم مربوط به رفتار سازه با اعمال ضریب رفتار R و بعضاً انجام کنترل‌های غیر خطی در نظر گرفته شود. این شیوه دارای اشکالات زیادی می‌باشد. زیرا این ضرایب در مواردی خاص با خطای فاحشی روبرو هستند. همچنین حتی اگر بتوان با اعمال این ضریب نیروهای لرزه‌ای را نزدیک به واقعیت برآورد کرد، اما روشن است که نمی‌توان دید و کنترل محسوسی بر رفتار اجزاء سازه و پیگیری مکانیزم‌های خرابی در طول زلزله داشت.

ناکافی بودن معیار مقاومت و روشهای نیرویی در تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌ها را می‌توان از جنبه دیگر نیز مورد بررسی قرار داد. همانطور که می‌دانیم معیارهای شکست اعضای سازه‌ای اکثراً بر حسب تغییر مکان و کرنش تعریف شده‌اند و از طرف دیگر روش‌های تحلیلی به علت پیچیدگی‌های تحلیل براساس تغییر مکان، نیرویی هستند. در محدوده‌ای که سازه بصورت خطی رفتار می‌کند، به عبارت دیگر مدل‌های رفتاری نیرو- تغییر مکان برای سازه خطی است، می‌توان بدون هیچ اشکالی از معیار نیرو یا مقاومت برای کنترل اعضا استفاده کرد. ولی از آنجا که در هنگام زلزله اکثر قریب به اتفاق سازه‌های معمول وارد ناحیه غیرارتجاعی می‌شوند و دیگر

---

1 Pauley- Capacity Design
2 Force based/ Displacement check Design

مدل‌های رفتاری آنها از روابط خطی نیرو- تغییر مکان پیروی نمی‌کند، لذا معیار نیرو و مقاومت نمی‌تواند برای کنترل مکانیزم‌های شکست که بر پایه تغییر مکان و کرنش هستند به کار رود.

مجموعه مشکلات و کاستی‌هایی از این قبیل باعث شده که نیاز به روش‌های نوین که بر مبنای تحلیل‌های غیرخطی استوار باشد و بوسیله آنها بتوان رفتار لرزه‌ای و مکانیزم‌های خرابی در سازه‌ها را بطور واقعی‌تر مورد بررسی قرار داد، بیش از پیش احساس شود. بر این مبنا فلسفهٔ نوین «طراحی براساس عملکرد» در حال شکل‌گیری و گسترش است. سعی روش‌های عملکردی این است که ضرایبی از قبیل R را از آیین‌نامه‌ها خارج کرده و مواردی از قبیل شکل‌پذیری و رفتار غیرخطی در سازه بطور خاص با انجام تحلیل‌های غیرخطی لحاظ شود.

در ادامه ضمن تشریح بیشتر روش طراحی براساس عملکرد به معرفی مفاهیم و تعاریف بنیادی در این فلسفه جدید طراحی می‌پردازیم.

۱-۳ مفاهیم بنیادی در روش طراحی براساس عملکرد

۱-۳-۱ مقدمه

بطور کلی می‌توان گفت که هدف اصلی روش «طراحی براساس عملکرد» پیش‌بینی واقع‌بینانهٔ عملکرد ساختمان بر حسب عوامل قابل تعریف در طول زلزله‌هایی با شدت مختلف می‌باشد که ممکن است در طول عمر سازه در محل احداث آن رخ دهد. این امر با طراحی ساختمان به گونه‌ای که محدودهٔ وسیعی از اهداف عملکردی را محقق سازد، انجام می‌گیرد. یک هدف عملکردی خاص تشکیل شده است از یک سطح عملکردی براساس خرابی به علاوه سطح خطر زلزله. به عنوان مثال در طراحی ساختمان می‌توان به گونه‌ای عمل کرد که سازه در طول زلزله‌هایی که انتظار می‌رود هر ۲۵۰۰ سال رخ دهد در آستانهٔ فروپاشی قرار گیرد. برای اینکه عملکرد سازه قابل پیش‌بینی باشد، ملاحظاتی در مورد میزان قابلیت اطمینان طرح نهایی باید صورت گیرد تا هدف عملکردی مورد نظر برآورد شود. با توجه به اینکه طراحی و ساخت ساختمانها در فضایی سرشار از عدم قطعیت‌ها انجام می‌گیرد، قابلیت اطمینان طرح تنها می‌تواند به صورت احتمالاتی بیان شود.

به عنوان یک تعریف کلی ارائه شده توسط SEAOC

«طراحی عملکردی شامل کلیه عملیات مهندسی می‌باشد که بتوان سازه‌ای با عملکرد مشخص در برابر زلزله بدست آورد، که این عملیات می‌تواند شامل تعیین اهداف طراحی، مطالعات لرزه‌خیزی، تحلیل و طراحی لرزه‌ای اعضا سازه‌ای و غیرسازه‌ای، کنترل ساخت و نگهداری سازه شود.»

به تازگی فلسفه طراحی براساس عملکرد جهت ارزیابی، مقاوم‌سازی و بهسازی ساختمان‌های موجود استفاده شده است. در ۱۹۹۶ ATC [۱] گزارشی تحت عنوان «ارزیابی لرزه‌ای و تجهیز ساختمانهای بتنی» منتشر کرد.

همچنین در سال ۱۹۹۷ FEMA [۲] راهنمایی را جهت بهسازی ساختمانهای موجود انتشار داد که طیف وسیعی از ساختمانها از جمله فولادی، بتنی، آجری و سنگی را تحت پوشش قرار داده است که مبنای هر دو، فلسفهٔ جدید طرح براساس عملکرد می‌باشد.

در ادامه به تشریح مفاهیم و پارامترهای اساسی که در مبحث طراحی براساس عملکرد مطرح می‌شود می‌پردازیم.

۱-۳-۲ کلیات و تعاریف

همانطور که می‌دانیم در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها هیچگاه هدف ما این نیست که سازه در مقابل شدیدترین زلزله ممکن دچار هیچگونه خرابی نشود. زیرا این امر نه ضروری به نظر می‌رسد و نه از لحاظ اقتصادی منطقی می‌باشد. به عبارت دیگر در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، طراح این واقعیت را می‌پذیرد که سازه در طول زلزله‌های بزرگ مقداری از عملکرد خود را از دست بدهد. با توجه به این واقعیت هدف اصلی در طراحی لرزه‌ای این است که خرابی یک سازه تحت زلزله‌های مختلف در حد قابل قبولی محدود شود.

هدف اصلی در آیین‌نامه‌های فعلی حفظ ایمنی جانی تحت زلزله‌های شدید می‌باشد و شرایط خدمت‌پذیری نیز به طور ضمنی کنترل می‌شود. این هدف یک هدف حداقل است که برای سازه‌های معمول لازم‌الاجرا می‌باشد. برای سازه‌های خاص احتیاج به اهداف کاملتری می‌باشد که سعی شده است با وارد کردن ضریب اهمیت این مساله در نظر گرفته شود که البته این ضریب نمی‌تواند به طور کامل نیازهای مختلف طراحی را برآورده سازد.

براساس فلسفه طراحی عملکردی حدود قابل قبول خرابی، از طریق در نظر گرفتن اثرات اقتصادی خرابی سازه تعریف می‌شود. به عبارت دیگر، هزینه‌های ساخت، نگهداری و ترمیم خرابی‌های ناشی از زلزله‌های متحمل در طول عمر مفید سازه می‌باشد که در نهایت تعیین کننده نوع طرح و حدود خرابی قابل قبول می‌باشد. بدین ترتیب حدود خرابی سازه‌ها شامل گسترهٔ وسیعی از «عدم خسارت» تا «فروریزش» خواهد بود.

در اینجا به تعریف پارامترهای مورد استفاده در روش طراحی عملکردی می‌پردازیم:

- **هدف طراحی:** نشان دهندهٔ سطح عملکرد مورد نیاز برای سازه تحت وقوع زلزله‌هایی با شدت‌های مختلف (دوره بازگشت مشخص) می‌باشد. اهداف طراحی باید براساس کاربری سازه، نوع سیستم و رفتار سازه، عوامل اقتصادی شامل هزینه‌های ساخت و تعمیرات آنی و عوامل اجتماعی- سیاسی انتخاب شود.
- **سطح عملکردی:** نشان دهندهٔ حداکثر خرابی مورد انتظار سازه می‌باشد به طوری اگر خرابی از این حد افزایش پیدا کند، سطح عملکردی سازه نیز تغییر پیدا خواهد کرد. وضعیت کلیه اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای در تعریف این سطوح عملکردی دخیل می‌باشند.

در تعریف سطوح عملکردی می‌توان دو جنبه متفاوت ولی مربوط به هم را در نظر گرفت:

۱- به شکل قابل فهم برای کارفرمایان، جامعه، ساکنین و کارگزاران نظام مهندسی (جنبه کیفی)

۲- به صورت فنی و مورد استفاده برای طراحان و مهندسین به صورت تعیین محدودیت‌های مجاز اعضا و کل سازه

در طراحی عملکردی ۴ سطح عملکردی در نظر گرفته می‌شود:

- عملکرد کامل
- عملکردی
- ایمنی جانی
- حد فروریزش

میزان خرابی‌های کلی سازه و تغییر مکانهای مجاز برای سطوح مختلف عملکردی در جدول ۱-۱ و خرابیهای اعضای قائم ساختمان در جدول ۲-۱ آورده شده است.

جدول ۲-۱ میزان خرابیهای کلی سازه و تغییر مکانهای مجاز برای سطوح مختلف عملکردی [۱۵]

			سطح عملکردی				
			عملکرد کامل	عملکردی	ایمنی جانی	حد فرو ریزش	فرو ریزش
میزان خرابی کلی سازه			قابل صرف‌نظر	سبک	متوسط	شدید	کامل
تغییر مکان نسبی جانبی مجاز	گذرا	قابهای بتنی	0.5%	1%	2%	4%	-
	دائمی		قابل صرف‌نظر	قابل صرف‌نظر	1%		
تغییر مکان نسبی جانبی مجاز	گذرا	قابهای خمشی فولادی	0.4%		2.50%	5%	-
	دائمی		قابل صرف‌نظر	قابل صرف‌نظر	1%		
تغییر مکان نسبی جانبی مجاز	گذرا	قابهای مهاربندی بتنی	0.2%	0.50%	1.50%	2%	–
	دائمی		قابل صرف‌نظر	قابل صرف‌نظر	0.50%		
خرابی اعضای باربر ثقلی			قابل صرف‌نظر	قابل صرف نظر	کم الی متوسط. سازه ظرفیت زیادی برای تحمل بارهای قائم دارد.	متوسط الی سنگین. هنوز اعضا قابلیت تحمل بارهای ثقلی بارهای ثقلی را دارا می‌باشند.	از بین رفتن نسبی و یا کامل ظرفیت باربری قائم
خرابی اعضای باربر جانبی			قابل صرف‌نظر– اعضا در محوده خطی قرار دارند– سختی و مقاومت سازه کاهش نمی‌یابد	سبک– نزدیک به رفتار خطی– سختی و مقاومت سازه کاهش چشمگیری نخواهد داشت. ترک خوردن و تسلیم شدن جزیی اعضا– تعمیرات در صورت لزوم امکان‌پذیر است.	متوسط– سختی و مقاومت سازه کاهش می‌یابد ولی سیستم باربر جانبی عملکرد خود را حفظ می‌کند.	سختی و مقاومت سازه قابل صرفنظر کردن است. مکانیزم خرابی تشکیل نمی‌شود ولی تغییر مکانهای دائمی بزرگ خواهند بود. اعضای باربر ثانویه ممکن است کل باربریشان را از دست بدهند.	خرابی کامل‌بخش و یا کل سیستم باربر جانبی
خرابی اعضای معماری			خرابی قابل صرفنظر در شیشه‌ها، تیغه‌بندها، روکشها، سقف و گچکاریها. اعضای ایزوله شده ممکن است احتیاج به تعمیر داشته باشند	خرای کم الی متوسط در اعضای معماری. اعضای اساسی و محافظت شده آسیبی نخواهد دید. مواد خطرزا آزاد نخواهد شد.	خرابی متوسط الی شدید اعضای معماری. اعضا فرو نمی‌ریزند. بیشتر مواد خطرزا آزاد نخواهد شد.	خرابی شدید اعضای معماری. بعضی از اعضا ممکن است کنده شده و فرو بریزند.	فرو ریزش خطرناک و گسترده اعضای معماری
سیستم خروجی از ساختمان			صدمه نمی‌بیند	خروج از ساختمان با مشکل اساسی همراه نخواهد بود. با تعمیرات سطحی می‌توان از آسانسورها استفاده کرد	خروج از ساختمان با مشکل اساسی همراه نخواهد بود. ممکن است آسانسور را کاربری خود را از دست بدهند.	ممکن است راه خروجی مسدود شده باشد.	ممکن است راه خروجی به طور کامل مسدود شده باشد.

جدول ۲-۲ خرابیهای اعضای قائم ساختمان تحت سطوح مختلف عملکردی [۱۵]

	نوع عضو	سطح عملکردی			
		عملکرد کامل	عملکردی	ایمنی جانی	حد فرو ریزش
قابهای بتنی	اولیه	قابل صرف‌نظر	ایجاد ترکهای مویی (۰/۲. اینچ): تسلیم شدن نقاط محدودی از سازه: خرد شدگی مشاهده نمی‌شود (کلیه کرنشها در مقاطع زیر./۰۳..)	خرابی زیاد در تیرها؛ خرد شدن پوشش مقاطع؛ ترکهای برشی (کوچکتر از یک هشتم اینچ) در ستونهای شکل‌پذیر؛ خردشدگی جزیی در ستونهای تردی؛ ترکهای کوچکتر از یک هشتم اینچ در	ترکهای زیاد و ایجاد مفصل خمیری در اعضای شکل‌پذیری؛ ترکهای محدود در ستونهای ترد. خرابی شدید در ستونهای کوتاه
	ثانویه	قابل صرف‌نظر	همانند اعضای اولیه	ترکهای زیاد و ایجاد مفصل خمیری در اعضای شکل‌پذیر؛ ترکهای محدود در ستونهای ترد. خرابی شدید در ستونهای کوتاه.	خردشدگی شدید در ستونها و تیرها (احتمال کوتاه شدگی ستونها نیز وجود دارد). خرابی شدید در اتصالات کمانه کردن برخی از آرماتورها
قابهای خمشی فولادی	اولیه	قابل صرف‌نظر	تسلیم شدن موضعی در مقاطع خاصی از سازه شکست قابل روئیتی رخ نخواهد داد. کمانه کردن جزیی و یا کج شدگی دائمی و قابل رویت	تشکیل مفاصل خمیری؛ کمانش موضعی برخی از تیرها؛ خرابی شدید اتصالات. برخی از اعضا ممکن است دچار شکست شوند.	خرابی شدید در تیرها و ستونها شکستهای بسیار در اتصالات.
	ثانویه	قابل صرف‌نظر	تسلیم شدن موضعی در مقاطع خاصی از سازه. هیچ عضوی دچار شکست نخواهد شد. کمانه کردن جزیی و یا کج شدگی دائمی و قابل	خرابی شدید در تیرها و ستونها. شکستهای بسیار در اتصالات	خرابی شدید در تیرها و ستونها شکستهای بسیار در اتصالات.
قابهای مهار شده فولادی	اولیه	قابل صرف‌نظر	تسلیم شدن و یا کمانه کردن جزیی مهاربندیها؛ تغییر شکلهای بزرگ (کج شدن) خارج از صفحه مقاطع اتفاق نمی‌افتد	بسیاری از مهاربندها تسلیم شده و یا کمانه می‌کنند ولی هنوز بطرو کلی خراب نشده‌اند. بسیاری از اتصالات ممکن است خراب شوند.	تسلیم و کمانه کردن شدید مهاربندها. بسیاری از مهاربندها و اتصالات بطور کامل خراب می‌شوند.
	ثانویه	قابل صرف‌نظر	همانند اعضای اولیه	همانند اعضای اولیه	همانند اعضای اولیه

عاملهای ناشی از زلزله: شامل تمام عوامل طبیعی که مربوط به حرکت و لرزش زمین ناشی از زلزله می‌باشند، از قبیل: شکست گسل، روانگرایی، لغزش زمین و نشستهای نامساوی. هر یک از این عامل‌ها می‌توانند موجب خرابی سازه و لذا کاهش عملکرد آن گردند. مقدار خرابی ناشی از این عوامل بستگی به شدت و بزرگی آن عامل دارد که آن نیز وابسته به بزرگی زلزله، فاصله سازه از گسل، جهت گسترش گسل، جنس زمین منطقه و شرایط خاص محل مورد نظر دارد. در یک طراحی ایده‌آل عملکردی باید اثرات کلیه این عوامل در طراحی در نظر گرفته شود.

برای هر سازه‌ای، یک منحنی پیوسته وجود دارد که نشان دهنده بزرگی زلزله‌هایی می‌باشد که ممکن است در عمر مفید سازه به آن وارد شوند. این منحنی با زلزله‌های کوچک با احتمال وقوع زیاد و خرابی کم در عمر مفید سازه آغاز می‌شود و به زلزله‌های بسیار بزرگ با احتمال وقوع بسیار کم و خرابیهای شدید در عمر مفید سازه ختم می‌شود. در طراحی عملکردی هدف این است که تحت کلیه نقاط این منحنی که هر یک نشان دهندهٔ یک زلزله با بزرگی و احتمال وقوع مشخص می‌باشد بتوانیم سازه‌ای با عملکرد مورد نظر داشته باشیم. اما از آنجایی که نمی‌توانیم برای کلیه زلزله‌های ممکن سازه را کنترل کنیم مجبوریم این منحنی را به صورت گسسته دربیاوریم و این نقاط نشان دهنده سطوح طراحی زلزله خواهند بود. اگرچه تعریف سطوح زلزله کمک بزرگی به راحتی طراحی مقاوم در برابر زلزله می‌کند، ممکن است که هیچ وقت زلزله با بزرگی دقیقاً برابر با این سطوح طرح به وقوع نپیوندد.

۱-٤ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها

در ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها، چگونگی رفتار سازه، بویژه در شرایطی که در اثر زلزله از محدوده رفتار الاستیک خارج می‌شود، بررسی می‌گردد. بدین منظور مقایسه‌ای بین پارامتر نیاز لرزه‌ای و پارامتر ظرفیت سازه صورت می‌گیرد.

در روشهای مرسوم طراحی، نیروی برش پایه، پارامتر اصلی طراحی سازه است و طراح با مقایسه نیاز نیروی برش پایه ناشی از زلزله و ظرفیت برش پایه، سازه را طراحی می‌کند. در این روشها نیروهای زلزله تا حدی که رفتار سازه در دامنه الاستیک مورد بررسی قرار گیرد، کاهش

داده می‌شوند. هنگامی که سازه وارد محدوده رفتار غیرالاستیک گردد، پارامتر نیروی برش پایه دیگر نمی‌تواند مشخص کننده آسیبهای وارده به اجزای سازه باشد.

در این ناحیه رفتاری، بدون تغییر قابل توجه در نیروی برش پایه، آسیب پیش رونده در سازه به وقوع می‌پیوندد، برخی قسمتهای سازه تسلیم می‌شود، نیروها در سازه باز توزیع می‌شوند و نیاز غیرالاستیک بین اجزای سازه تغییر خواهد کرد. با توجه به موارد فوق، طراحی سازه براساس نیرو در دامنه رفتار غیرخطی، توزیع شتاب در تراز طبقات و بام نیز تغییر خواهد کرد.

با توجه به موارد فوق، طراحی سازه براساس نیرو در دامنه رفتار الاستیک، که روش مرسوم طراحی سازه‌ها در برابر زلزله است، نمی‌تواند به تنهایی مبنای مناسبی برای تعیین عملکرد سازه در برابر زلزله، که اساس روش طراحی براساس عملکرد است، باشد. پارامتر مناسب برای مقایسه نیاز زلزله و ظرفیت سازه در محدوده رفتار غیرخطی می‌تواند تغییر شکل سازه باشد. در حال حاضر عملی‌ترین و مرسوم‌ترین روش ارزیابی عملکرد سازه تحت زلزله، استفاده از آنالیز استاتیکی غیرخطی برای تعیین رابطه بار- تغییر مکان جانبی سازه است که به روش طیف ظرفیت مرسوم است. در این روش رفتار سازه بصورت غیرخطی تحت بار جانبی استاتیکی متغیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و پارامترهای مرتبط با اهداف عملکردی سازه، از قبیل تغییر مکان نسبی طبقات، محاسبه می‌شوند. از مزایای این روش نمایش ترسیمی عملکرد لرزه‌ای سازه است که به طراح دید مناسبی جهت انتخاب استراتژی مؤثر برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه می‌دهد. البته محدودیتهایی را نیز می‌توان برای این روش برشمرد، از جمله اینکه بدلیل استاتیکی بودن این روش، تأثیر مودهای بالاتر ارتعاش سازه، بطور کامل در نظر گرفته نمی‌شود. محدودیت دیگر این روش، برآورد نسبت میرایی موثر سازه است که پارامتر مهمی در تعیین طیف نیاز لرزه‌ای سازه می‌باشد. این نسبت به شکل حلقه‌های هیسترزیس و یا به عبارت دیگر رفتار سازه تحت بارهای سیکلی بستگی دارد. در آنالیز استاتیکی بار جانبی رفتار هیسترتیک سازه را تنها بصورت تقریبی می‌توان لحاظ نمود. با وجود محدودیتهای فوق، روش استاتیکی طیف ظرفیت به جهت سهولت و کارایی قابل ملاحظه در مقایسه با روشهای دینامیکی، متداول‌ترین روش ارزیابی عملکردی سازه محسوب می‌گردد. بطور خلاصه ارزیابی عملکرد سازه و طراحی آن براساس عملکرد با روش طیف ظرفیت شامل