

طراحی پلاستیک سازه‌های فولادی مقاوم در برابر زلزله بر اساس سطح عملکرد

مترجمین:

مهندس علیرضا صالحین

مهندس احسان عمرانیان

فهرست مطالب

۵	پیش‌گفتار
	فصل اول
۷	مقدمه
	فصل دوم
۱۳	طراحی پلاستیک در مقابل طراحی الاستیک
	فصل سوم
۲۳	روش طراحی پلاستیک براساس عملکرد
	فصل چهارم
۴۱	قاب‌های خمشی MF
	فصل پنجم
۸۱	قاب‌های مهاربندی بیرون محور (EBF)
	فصل ششم
۱۲۱	قاب‌های خمشی خرابایی ویژه (STMFs)
	فصل هفتم
۱۶۷	قاب‌های مهاربندی هم‌محور (CBF)
	فصل هشتم
۲۱۹	قاب‌های خمشی بلند
	پیوست
۲۵۱	اثبات تئوری
۲۶۶	مراجع
۲۷۱	لغت‌نامه

تقدیم به :

جناب آقای حیدر همایونی

با تشکر از زحمات شما

تقدیم به :

پدر و مادرم به خاطر زحمات

بی دریغشان

احسان عمرانیان

پیش‌گفتار

بدون شک، طراحی لرزه‌ای براساس عملکرد (PBSD) از اجزای مهم مهندسی زلزله در آینده است. PBSD که در ابتدا به‌عنوان روشی برای مقاوم‌سازی سازه‌های موجود در اوایل دهه 90 با انتشار اسناد FEMA-356 مطرح شده بود به‌تدریج به‌عنوان رویکرد معقول و مناسب، برای طراحی سازه‌های جدید هم معرفی شد. بسیاری از ساختمان‌های بلند در لس‌آنجلس، سانفرانسیسکو و جاهای دیگر با استفاده از روش PBSD طراحی شده‌اند.

نسل جدیدی از روش‌های PBSD توسط انجمن تکنولوژی کاربردی (ATC)، تحت پروژه‌ای با عنوان ATC-58 در حال توسعه است. سازمان‌هایی مثل انجمن طراحی سازه‌ای ساختمان‌های بلند لس‌آنجلس و مرکز تحقیقاتی مهندسی زلزله پاسفیک به‌طور جدی در حال توسعه و تدوین راهنمایی برای به‌کارگیری روش PBSD در طراحی و ارزیابی سازه‌های مهم می‌باشند.

یکی از مشکلات همه‌ی روش‌های PBSD موجود این است که اساساً بیش از این که یک روش طراحی باشند، راهی برای ارزیابی هستند. به عبارت دیگر اصول PBSD موجود، ابزاری است برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمانی که قبلاً طراحی شده و در واقع یک روش شفاف برای طراحی ساختمان، جهت رسیدن به یک عملکرد مطلوب فراهم نمی‌کنند. این دقیقاً چیزی است که این کتاب انجام می‌دهد. با فراهم نمودن یک رویکرد گام‌به‌گام واضح و شفاف برای طراحی یک ساختمان؛ به‌طوری‌که عملکرد مطلوب برای یک تحریک لرزه‌ای داده شده را فراهم نماید.

اصول ارائه‌شده در این کتاب، مهندس سازه را از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی طاقت‌فرسا در طول پروسه طراحی و محدودیت‌های مربوط به به‌کارگیری تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی نجات داده و به یک نقطه مناسب رهنمون می‌کند: صحت نسبی عملکرد مناسب یک سازه از قبل طراحی شده. این امر، با به‌کارگیری قوانین ساده طراحی پلاستیک در فولاد، اصول طراحی براساس ظرفیت و استفاده از یک الگوی بار جانبی استاتیکی ساده ممکن می‌شود. الگوی باری که علی‌رغم شباهت به الگوی بار جانبی استاتیکی آیین‌نامه‌ها اندکی با آن متفاوت است.

در نتیجه ساختمانی به‌دست می‌آید که با استفاده از تحلیل مهندسی و تکنیک‌های طراحی پایه طرح می‌شود و در معرض زلزله‌ای با شدت مشخص، رفتار مورد انتظار را نشان می‌دهد.

از ویژگی‌های استثنایی این کتاب، علاوه بر تشریح اصول طراحی مناسب بحث شده فوق، به‌کارگیری این روش برای سیستم‌های سازه‌ای گوناگون با توضیحات شیوا و مثال‌های طراحی عددی مختلف

می‌باشد که در هر گام، پروسه کاملاً تعریف و نشان داده می‌شود. بدون شک این کتاب برای طراحان لرزه‌ای سازه‌های فولادی بسیار مفید و عملی و نیز برای اساتید و دانشجویان دانشگاه‌ها در مباحث طراحی پلاستیک یک ابزار آموزشی و ارزشمند خواهد بود. نویسندگان باید به دلیل سهم بزرگشان در پیشرفت مهندسی سازه شاکر باشند.

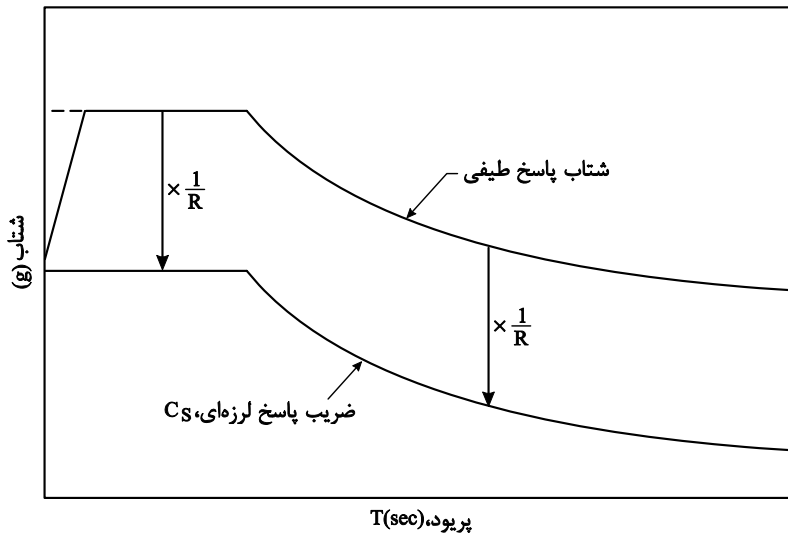
مهندس علیرضا صالحین و مهندس احسان عمرانیان

فصل اول

مقدمه

۱-۱- روش طرح لرزه‌ای رایج و معایب آن

به‌خوبی می‌دانیم که سازه‌های طراحی شده با آیین‌نامه‌های رایج می‌بایست تغییر شکل‌های غیرالاستیک بزرگ را در طول زلزله‌های شدید تحمل نمایند. رویکرد طراحی لرزه‌ای، عموماً براساس رفتار سازه‌های الاستیک بوده و رفتار غیرالاستیک به‌طور غیرمستقیم و مجازی در نظر گرفته می‌شود (BSSC, 2006a). در روش طراحی لرزه‌ای در آمریکا برش پایه طراحی (ضریب پاسخ لرزه‌ای) از شتاب طیفی آیین‌نامه به‌دست می‌آید با فرض این‌که سازه به‌صورت الاستیک رفتار می‌کند و سپس برش پایه طراحی توسط یک ضریب اصلاح نیرو، R ، که مقدار آن به شکل‌پذیری سیستم سازه‌ای فرض شده، وابسته است کاهش می‌یابد. این مقاومت مورد نیاز (با هدف کاهش آسیب یا تغییر شکل مورد انتظار در انواع مختلف سازه‌های ساختمانی) توسط ضریب اهمیت، I ، افزایش می‌یابد.



شکل ۱-۱ - نمونه طیف پاسخ شتاب و ضریب پاسخ لرزه‌ای برای برش پایه طراحی

پس از انتخاب ابعاد اعضا براساس مقاومت مورد نیاز (که عموماً با تحلیل J الاستیک انجام می‌شود) تغییر مکان نسبی محاسبه‌شده با استفاده از تحلیل الاستیک در یک ضریب افزایش « C_d » ضرب می‌شود که باید از یک حد مجاز (2%) کم‌تر باشد. در ادامه ضوابط دیگری بررسی می‌گردد تا این‌که شکل‌پذیری موردنیاز در حین ضربه‌های ناشی از حرکات شدید زمین به‌دست آید. به هر حال سازه‌های طرح‌شده با این روش می‌بایست تغییر شکل‌های غیرارتجاعی بزرگ را تا اندازه‌ای به‌صورت غیرکنترلی

تحمل نمایند. رفتار غیرارتجاعی مثل تسلیم شدید و کماتش اعضای سازه‌ای می‌تواند به‌طور گسترده و ناگهانی در سازه توزیع شود و در نتیجه به یک پاسخ غیرقابل پیش‌بینی و نامطلوب منجر گردد که در نهایت به فروریزش کلی و با هزینه تعمیر بالا منتهی می‌شود.

در حالی که روش طراحی فوق به‌طرز وسیعی در گذشته در حرفه مهندسی به‌کار می‌رفته است، نیازهای اجتماعی، این حرفه را به‌سمت رسیدن به ترازهای بالاتر عملکرد، امنیت و اقتصادی شامل هزینه‌های دوره زندگی سوق داده است. لذا، آیین‌نامه‌ها به‌سمت اتخاذ چارچوبی جهت طراحی براساس عملکرد حرکت نمودند.

تلاش‌های جدی برای توسعه‌ی مهندسی زلزله براساس عملکرد PBEE در آمریکا بعد از زلزله نورثریج 1994 صورت گرفته است. براساس الزامات PBEE یک سازه در معرض زلزله باید چندین هدف عملکردی را برآورده نماید از قبیل قابلیت استفاده بی‌وقفه برای زلزله با دوره بازگشت 72 ساله، (15% احتمال روی داد در 50 سال)، ایمنی جانی برای زلزله با دوره بازگشت 475 ساله (10% در 50 سال) و آستانه فروریزش در دوره بازگشت 2500 ساله (2% در 50 سال). این‌ها همه از این حقیقت حکایت می‌کنند که می‌بایست عملکرد آسیب سازه‌ای و غیرسازه‌ای به‌طور دقیق تعیین گردد تا مالک یا کاربر بتواند تصمیم‌های درستی اتخاذ نماید. در حال حاضر، طراحی براساس عملکرد به‌صورت غیرمستقیم انجام می‌شود. معمولاً این روش با یک طراحی اولیه براساس روش طراحی الاستیک سنتی براساس آیین‌نامه‌های طراحی شروع و سپس تحلیل‌هایی انجام می‌گیرد تا چگونگی ارضای معیارهای پذیرش ارزیابی شود. بنابراین یک پروسه تکراری بین طراحی و ارزیابی دنبال می‌شود.

اغلب در عمل از دو روش مهم، روش ضرایب در FEMA356 (ASCE, 2000) و روش طیف ظرفیت در ATC – 40 (ATC – 1996) در ایالات متحده استفاده می‌شود. هر دو رویکرد از تحلیل استاتیکی غیرخطی (تحلیل پوش‌اور) جهت تخمین نیاز و ظرفیت لرزه‌ای استفاده می‌کنند. ابتدا تغییر مکان هدف بیانگر حداکثر تغییر مکان محتمل در طول زلزله طراحی در هر یک از دو روش محاسبه می‌شود. سپس سازه تا رسیدن به جابه‌جایی هدف به‌صورت یکنواخت و تحت یک الگوی بار جانبی مشخص قرار می‌گیرد و این بار به‌صورت فزاینده اعمال می‌شود. چنان‌چه عملکرد نشان داده شده توسط تحلیل پوش‌اور مثل تغییر مکان نسبی درون طبقه، زاویه دوران عضو و شکل‌پذیری نیاز اهداف مورد نیاز را برآورده نکند طراحی اصلاح و این پروسه تا ارضای اهداف عملکردی تکرار می‌شود.

رویکردهای طراحی براساس عملکرد مثل آن‌چه که در بالا شرح داده شد چندین عیب دارند:

۱- طراحی ضعیف اولیه ممکن است با تکرارهای زیاد بهبود پیدا کند، اما شاید هرگز به یک طراحی بهینه و خوب منتهی نشود (2004 Krawinkler and Miranda). هم‌چنین پروسه تکراری به‌صورت سعی و خطا انجام می‌شود.

۲- به دلیل انجام یک تحلیل غیرخطی، مدل‌های ریاضی مناسب نمایانگر مشخصه بار - تغییر شکل غیرخطی اعضای سازه هم نیاز می‌شوند.

۳- تمرکز ارزیابی عملکرد بیش‌تر روی نیازها و ظرفیت‌های اعضای مجزا می‌باشد تا رفتار کلی سازه؛ در نتیجه، عملکرد کلی سازه به شدت، تحت تاثیر اعضای ضعیف یا با شکل‌پذیری حداقل است. (Hamburger و همکاران - 2004).

۴- روش‌های تحلیل استاتیکی غیرخطی در پیش‌بینی پارامترهای اصلی مورد نیاز قابل اعتماد نیست هم‌چنان‌که در FEM440 به آن اشاره شده است. (ATC - 2005). این پارامترها شامل، تغییر مکان نسبی ماکزیمم در هر تراز، برش طبقه و لنگرهای واژگونی می‌باشد. لذا عملکرد یک طراحی اصلاح‌شده از طریق تحلیل پوش‌آور استاتیکی اندکی با تردید روبه‌روست. یک تحلیل دینامیکی غیرخطی مستقیم، در بسیاری موارد نتایج مطمئن‌تری می‌دهد.

۱-۲- روش طراحی پلاستیک براساس عملکرد

برای دستیابی به عملکرد سازه در زلزله‌های شدید درک رفتار نهایی سازه مثل روابط غیرخطی بین نیرو و تغییر شکل و مکانیزم تسلیم سازه ضروری است. علاوه بر این، فاکتورهای طراحی از قبیل تعیین نیروی جانبی مناسب طرح و میزان مقاومت اعضا، انتخاب یک مکانیزم تسلیم مطلوب و تغییر مکان نسبی و مقاومت سازه برای سطح خطر داده‌شده باید بخشی از پروسه طراحی در آغاز کار باشد. این روش طراحی کامل که در آن رفتار غیرالاستیک سازه به‌طور مستقیم در نظر گرفته می‌شود و هرگونه تخمین و یا تکرار را بعد از طرح اولیه حذف می‌کند، توسط نویسنده و همکارانش در دانشگاه میشیگان در طول 8 سال گذشته توسعه داده شده است. (Lee and Goel, 1999; Leelataviwat et al., 2005; Chao and Goel, 2006a; Chao 2001; Dasgupta et al., 2004; Chao and Goel, 2006b and Goel) - این روش، طراحی پلاستیک براساس عملکرد نامیده می‌شود. در روش PBPD از دو حالت حدی عملکردی کلیدی یعنی مکانیزم تسلیم و تغییر مکان نسبی هدف از پیش‌انتخاب‌شده استفاده می‌شود. این دو حالت حدی مستقیماً به ترتیب به درجه و توزیع آسیب سازه‌ای مربوط می‌شوند. برش پایه طراحی برای یک سطح خطر داده شده با معادل قراردادن کار مورد نیاز برای هل دادن (Push) سازه به‌صورت یکنواخت تا رسیدن به تغییر مکان نسبی هدف با انرژی مورد نیاز برای رسیدن یک سیستم یک درجه آزادی الاستو - پلاستیک معادل به همان حالت محاسبه می‌شود (شکل ۲-۱). هم‌چنین از یک الگوی توزیع بار جانبی جدید استفاده می‌گردد (Chao و همکاران - 2007) که براساس توزیع نسبی حداکثر برش طبقه سازگار با نتایج پاسخ دینامیکی غیرالاستیک

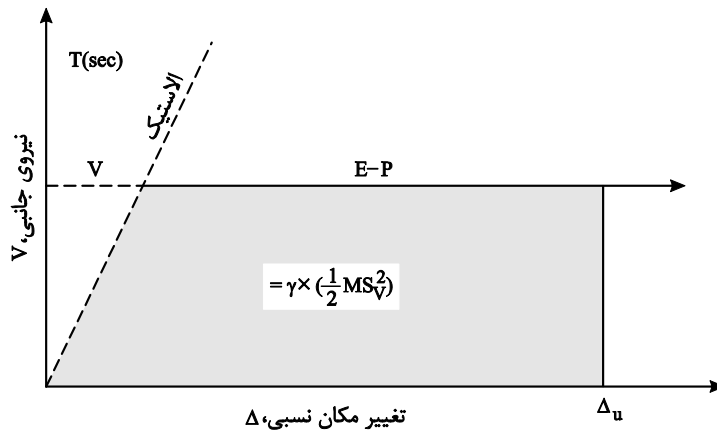
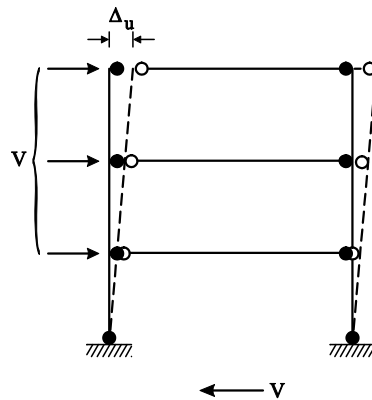
می‌باشد. سپس اعضا و اتصالات قاب به روش پلاستیک‌گونه‌ای طرح می‌شوند که مکانیزم تسلیم و رفتار مورد نظر به دست آید. در فصل سوم به‌طور مفصل به این دو بخش پرداخته خواهد شد.

نتایج حاصل از تحلیل‌های گسترده دینامیکی و استاتیکی غیرارتجاعی، اعتبار روش پیشنهادی را تایید نموده است. این روش، به‌طور موفقیت‌آمیزی برای قاب‌های خمشی فولادی (MFs)، قاب‌های مهاربندی ضدکمانش (BRBF) قاب‌های مهاربندی برون‌محور (EBFs) و قاب‌های خمشی خرپایی ویژه STMF. به‌کار رفته است. همچنین در مورد قاب‌های دارای مهاربندی هم‌محور (CBF) با رفتار هیستریزیس باریک شونده ناشی از کمانش بادبند این روش توسعه داده شده است که نتایج بسیار دلگرم‌کننده‌ای به دست آمده است. در همه موارد، قاب‌ها به‌طور مطلوب مکانیزم تسلیم تیر ضعیف ستون قوی را هم‌چنان که مورد نظر بود ایجاد کردند و شکل‌پذیری و یا تغییر مکان نسبی مورد نیاز با مقادیر طراحی انتخابی یکسان بود و لذا اهداف عملکردی انتخابی برآورده می‌شد. مقایسه پاسخ با قاب‌های متناظر طراحی شده با روش‌های سنتی، نشان از برتری روش پیشنهادی از نظر دستیابی به رفتار مطلوب دارد.

در این رویکرد، طرح، تغییر مکان نسبی سازه‌ای هدف (متناظر با شکل‌پذیری و آسیب‌پذیری) و مکانیزم تسلیم (برای پاسخ مطلوب و بازبینی و تعمیر آسان ترآسیب‌های پس از زلزله) را انتخاب و نیروهای طراحی و ابعاد المان‌ها را برای یک سطح خطر معلوم (طیف) تعیین می‌کند. دیگر نیازی به ضرایبی مثل R ، I و C_d که در آیین‌نامه‌های رایج آمده نمی‌باشد. این ضرایب براساس مجموعه‌ای از قضاوت‌های مهندسی تعیین می‌شوند. ضریب اهمیت I با هدف شکل‌پذیری و تغییر مکان نسبی مورد نیاز کم‌تر در یک زلزله داده شده، تراز نیروی جانبی طراحی را افزایش می‌دهد (SEAOC, 1999; BSSC, 2003). به هر حال این روش نمی‌تواند به‌طور مستقیم برای رسیدن به هدف مورد نظر مثلاً کنترل آسیب به‌کار رود. کاهش میزان آسیب‌پذیری باید مستقیماً با محدودیت‌های تغییر مکانی مناسب سروکار داشته باشد. در روش PBPD برای محاسبه‌ی برش پایه طراحی، از تغییر مکان نسبی هدف به‌عنوان پارامتر حاکم استفاده می‌شود که باید در آن اهمیت ساکنین در نظر گرفته شود.

روش طراحی PBPD خیلی با روش‌های طراحی رایج متفاوت نیست و به‌آسانی می‌تواند با مفهوم مهندسی زلزله براساس عملکرد (PBEE) ترکیب شود. البته با روش PBEE که در عمل به‌کار می‌رود فرق می‌کند که در آن روش طراحی اولیه عموماً در ابتدا براساس روش الاستیک با استفاده از آیین‌نامه‌های معمول صورت می‌گیرد و سپس با به‌کارگیری تحلیل‌های دینامیکی یا استاتیکی غیرارتجاعی و پروسه تکراری وقت‌گیر و طاقت‌فرسا تا رسیدن به هدف عملکردی مطلوب ادامه می‌یابد.

تکرارها با روش سعی و خطا انجام می‌شوند هیچ راهنمایی برای طراح فراهم نشده تا بداند چه طور باید به هدف مطلوب برسد، مثلاً کنترل تغییر مکان نسبی یا توزیع و گسترش تغییر شکل‌های پلاستیک. در مقابل روش PBPD یک روش طراحی مستقیم است که به هیچ ارزیابی بعد از طراحی اولیه نیاز ندارد،



شکل ۱-۲- نیروی جانبی طراحی PBPD

زیرا رفتار غیرخطی و معیارهای عملکردی کلیدی از همان ابتدا در پروسه طراحی حضور دارند و روش طراحی به آسانی دنبال می‌شود و به راحتی قابل برنامه‌نویسی است هم‌چنین سازه‌های طراحی شده با PBPD می‌توانند با روش‌های دیگر ارزیابی شوند. اگرچه لازم نیست. در مواردی که نامنظمی‌های سازه‌ای قابل توجه وجود داشته باشند با این روش می‌توان به یک طراحی اولیه خوب رسید اگرچه ممکن است نیاز باشد برخی اصلاحات از طریق تحلیل دینامیکی و یا استاتیکی غیرخطی صورت گیرد.