مهندسی عمران شریف، (زمستان ۱۳۹۴)
دوره‌ی ۲ - ۳۱، شماره‌ی ۱/۴، ص. ۷۱-۸۱

Original Article

ارزیابی سطح عملکرد لرزه‌یی سازه‌های فولادی قاب خمشی براساس اهمیت آنها مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران

علی معصومی* **(دانشیار)**
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی
نرگس سرلک (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه علوم و فنون مازندران

طراحی لرزه‌یی در بسیاری از آیین‌نامه‌ها، از جمله استاندارد ۲۸۰۰ ایران، بر اساس روش نیرویی است. در این روش برای ارتقاء سطح عملکرد ساختمان‌ها، نیروی وارد بر آنها با افزایش ضریب اهمیت ساختمان (I) افزایش داده می‌شود. از آنجا که در روش نیرویی، رفتار سازه در حوزه‌ی غیرارتجاعی مشخص نیست، میزان و محل آسیب سازه در سطوح عملکرد متفاوت برای طراح نامعلوم خواهد بود. در این نوشتار با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، سطح عملکرد سازه‌های طراحی‌شده براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران برآورد و نسبت ضریب اهمیت سازه‌های مورد مطالعه در سطوح عملکرد مختلف بررسی و ارزیابی شده است. در نهایت، مقدار ضریب اهمیت مورد نیاز برای سطوح عملکرد موردنظر برآورد شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده‌ی آن است که سازه‌های بلندمرتبه با اهمیت متوسط و سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد جواب گوی سطح عملکرد موردنظر نیستند و نیاز به افزایش مقدار ضریب اهمیت آن‌ها دارند.

واژگان کلیدی: ضریب اهمیت، سطح عملکرد، تحلیل استاتیکی غیرخطی، حوزه‌ی غیرارتجاعی.

massumi@khu.ac.ir
sahar_n_sarlak@yahoo.com

۱. مقدمه

آیین‌نامه‌ی فعلی بارگذاری و طراحی لرزه‌یی ایران (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)،[۱] تحلیل کشسان خطی را برای برآورد پاسخ سازه و رفتار لرزه‌یی آن (در حد طراحی) کافی می‌داند. در آیین‌نامه‌ی مذکور برای بالابردن سطح عملکرد ساختمان برای کاربری‌های خاص مانند بیمارستان، ضریب اهمیت (I) در نظر گرفته می‌شود و با بالارفتن اهمیت ساختمان این ضریب نیز افزایش می‌یابد. از آنجا که پایداری و رفتار مناسب لرزه‌یی فقط تابع مقاومت سازه نیست و سازه باید علاوه‌بر مقاومت، در برابر مقدار نیروی مشخصی، توانایی انجام جابه‌جایی به مقدار تعیین‌شده‌یی را داشته باشد، تحلیل‌های خطی برای بررسی سطح عملکرد سازه در هنگام وقوع زلزله و پیش‌بینی وضعیت سازه ناکافی هستند؛ از این رو در این تحلیل‌ها، با اعمال ضریب اهمیت (I) انتظار می‌رود سازه بعد از وقوع زلزله رفتار مطلوبی داشته باشد و سطح عملکرد موردنظر تأمین شود. در دستورالعمل‌های جدیدی که بر پایه‌ی طراحی براساس عملکرد هستند، مانند FEMA ۳۵۶،[۲] و دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی ساختمان‌های موجود،[۳] روش‌های تحلیل غیرخطی جایگاه خاصی دارند؛ بنابراین ارزیابی لرزه‌یی ساختمان‌های طراحی‌شده با استاندارد ۲۸۰۰ با استفاده از دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی و بررسی ضریب اهمیت (I) می‌تواند در راستای منطقی و هدفمندترکردن این ضریب مفید باشد.

در پژوهشی در سال ۱۹۹۶، یک روش طراحی براساس جابه‌جایی پیشنهاد شد که به روش N۲ معروف شد. در این روش با استفاده از منحنی پوش‌اور ساده‌شده و طیف تقاضای کشسان، جابه‌جایی تقاضای بام تعیین می‌شود. شتاب طیفی با درنظرگرفتن زمان تناوب مؤثر سازه، که از منحنی پوش‌اور ایده‌ال‌شده به‌دست می‌آید، برآورد و جابه‌جایی غیرکشسان با رابطه‌ی تجربی نیومارک و هال[۱] ($R-\mu-\mathrm{T}$) محاسبه می‌شود.[۴] در مطالعه‌ی دیگری در سال ۱۹۹۹ نیز روش اصلاح‌شده‌یی ارائه شده است که در آن از یک شیوه‌ی گرافیکی برای ارزیابی عملکرد ساختمان‌های طراحی‌شده استفاده شده است. روش مذکور را می‌توان در گام‌های معکوس‌شده، برای طراحی براساس جابه‌جایی استفاده کرد، که در آن برای ایجاد طیف تقاضای غیرکشسان از رابطه‌ی تجربی ویدیک و فایفر[۲] ($\mu-\mathrm{R}-\mathrm{T}$) استفاده شده و هم‌چنین جابه‌جایی هدف یا نقطه‌ی عملکرد سیستم یک درجه آزاد معادل از نقطه‌ی تقاطع دیاگرام ظرفیت ایده‌آل‌شده و طیف تقاضای غیرکشسان در فرمت ADRS به‌دست آمده است.[۴] پژوهشگرانی نیز در سال ۱۹۹۹، روشی را برای طراحی براساس جابه‌جایی (DBD)[۳] ارائه داده‌اند، که در

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۷/۱۴، اصلاحیه ۱۳۹۲/۱۰/۲۲، پذیرش ۱۳۹۲/۱۲/۷.

Archive of SID
www.SID.ir

آن برای ایجاد طیف تقاضای غیرکشسان، از رابطه‌ی $\mu - R - T$ استفاده شده است.[۵]

همچنین در مطالعه‌ی دیگری در سال ۲۰۰۴، رابطه‌ی جدید $\mu - R - T$ برای تهیه‌ی طیف تقاضای غیرکشسان از طیف تقاضای کشسان ارائه شده است. روش مذکور در ATC، تخمین دست‌پایینی از تغییرشکل سیستم‌های غیرکشسان دارد و روشی است که در آن طیف کشسان از رابطه‌ی جدید $\mu - R - T$، به‌دست می‌آید و تخمین منطقی‌تری از جابه‌جایی‌های غیرکشسان ارائه می‌دهد.[۶]

پژوهشگران دیگری نیز در سال ۲۰۰۷، روش دیگری را برای طراحی براساس جابه‌جایی ارائه کرده‌اند. در روش مذکور، جابه‌جایی تسلیم اولیه‌ی سازه با درنظرگرفتن هندسه‌ی سازه و خصوصیات مصالح سازه محاسبه و مقاومت نیاز سازه از نقطه‌ی تلاقی جابه‌جایی نهایی با طیف تقاضای غیرکشسان متناظر با ظرفیت شکل‌پذیری تعیین شده است. مزیت روش ذکرشده علاوه بر سادگی، عدم استفاده از زمان تناوب اصلی سازه است، بنابراین از فرض‌های غیر واقعی مربوط به محاسبه‌ی زمان تناوب اجتناب می‌شود.[۷]

در مطالعه‌ی دیگری در سال ۱۳۸۵ نیز نشان داده شده است که در قاب‌های با سطح عملکرد قابلیت بهره‌برداری بدون وقفه، مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران، کلیه‌ی قاب‌ها خسارت بالایی را تجربه می‌کنند، که این رفتار متناقض با سطح عملکرد مورد انتظار از این سازه‌هاست.[۸]

همچنین در سال ۱۳۸۷ در پژوهش دیگری با بررسی ساختمان‌های قاب خمشی فولادی مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران نشان داده شده است که ساختمان‌های کوتاه در روش استاتیکی غیرخطی سطح عملکرد مطلوبی دارند و نیازی به بهسازی ندارند؛ در حالی که در ساختمان‌های بلندمرتبه، سطح عملکرد موردنظر برآورده نمی‌شود و باید ساختمان را بهسازی لرزه‌یی کرد.[۹]

پژوهشگرانی نیز در سال ۱۳۹۰ با بررسی دو ساختمان ۵ و ۷ طبقه با سطح اهمیت خیلی زیاد در زلزله سطح بهره‌برداری، توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی مشخص کردند که تغییرمکان سازه‌ها بیش از حد مجاز است و سطح عملکرد موردنظر (قابلیت بهره‌برداری بدون وقفه) را ارضاء نکرده‌اند.[۱۰]

در این پژوهش چند ساختمان کوتاه و متوسط با قاب‌های خمشی فولادی و با سطوح اهمیت متوسط و خیلی زیاد تحت روش نیرویی، با استفاده از استاندارد ۲۸۰۰ ایران،[۱] طراحی شده‌اند و سطح عملکرد لرزه‌یی آن‌ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد مطالعه قرارگرفته است. برای این منظور میزان و نوع مفاصل خمیری ایجادشده در سازه، جهت بررسی سطح عملکرد موردنظر در سازه‌های طراحی‌شده به روش نیرویی مطالعه شده است. در انتها، مقدار ضریب اهمیت سازه‌های مورد مطالعه به گونه‌یی محاسبه شده است که آنها را به سطح عملکرد مطلوب (سطح عملکرد مورد نیاز) برساند.

۲. تاریخچه‌ی ضریب زلزله و ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌های لرزه‌یی

اولین نسخه از قوانین و ضوابط لرزه‌یی در زمینه‌ی طراحی مهندسی توسط تیمی از مهندسان ایتالیایی که رفتار ساختمان‌های آسیب‌دیده در جریان زلزله‌ی مسینا رجیو (۱۹۰۸) را مطالعه کرده‌اند، منتشر شده است. تیم مزبور با بررسی ساختمان‌های تخریب‌شده به این نتیجه رسیده است که زلزله با نیرویی افقی سبب تخریب شده است. مقدار این نیرو برابر ۱/۱۲ وزن ساختمان فرض شده است. مطابق نظر ذکرشده، رابطه‌ی $V = CW$ تعریف شده است؛ که در آن V نیروی برشی زلزله، W وزن ساختمان و C ضریب زلزله است. ضریب زلزله (C) با گذشت زمان تغییر کرده و به مقدار ۰/۱ وزن ساختمان افزایش یافته است. اولین آیین‌نامه‌ی آمریکا (۱۹۳۳) در لس‌آنجلس نوشته شده است که در آن ضریب زلزله برای مدارس برابر ۰/۱ وزن ساختمان و برای سایر ساختمان‌ها برابر ۰/۰۸ وزن ساختمان در نظر گرفته شده بود.[۱۰] در سال ۱۹۴۳ در لس‌آنجلس، ضریب زلزله (C) به‌صورت رابطه‌ی ۱ تعریف شده است، که در آن N تعداد طبقات روی تراز پایه است:[۱۰]

$$C = \frac{۶۰}{۱۰۰(N + ۴/۵)} \qquad (۱)$$

در سال ۱۹۵۹ انجمن مهندسان سازه‌ی کالیفرنیا (SEAOC)[۴]، تأثیر زمان تناوب در ضریب زلزله و توزیع نیروهای لرزه‌یی در ارتفاع ساختمان را به‌صورت رابطه‌ی ۲ تعریف کرده‌اند:

ضریب زلزله:

$$C = \frac{۰/۰۵}{\sqrt{T}} \qquad (۲)$$

توزیع نیرو در طبقات (رابطه‌ی ۳):

$$F = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V \qquad (۳)$$

در سال ۱۹۷۵ آیین‌نامه‌ی SEAOC (انجمن مهندسان سازه‌ی کالیفرنیا)، نیروی جانبی زلزله را به‌صورت رابطه‌ی ۴ اصلاح کرده‌اند:

$$V = ZIKCSW \qquad (۴)$$

که در آن تأثیر لرزه‌خیزی محل، اهمیت ساختمان و جنس خاک به ترتیب توسط ضرایب Z، I و S اعمال می‌شود. در نهایت، ضریب زلزله نیز به‌صورت رابطه‌ی ۵ افزایش یافته است:[۱۰]

$$C = \frac{۱}{۱۵\sqrt{T}} \leq ۰/۱۲ \qquad (۵)$$

از این‌رو، در سال ۱۹۷۵ ضریب اهمیت ساختمان برای اولین بار در آیین‌نامه‌های زلزله وارد شده است. این ضریب با توجه به نوع کاربری ساختمان از جدول ۱ تعیین می‌شده است. مقادیر ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌های دهه‌های ۸۰، ۹۰ و دهه‌ی اول سال ۲۰۰۰ میلادی، برای مقایسه در جدول‌های ۲ الی ۴ ارائه شده‌است.[۱۱]

۳. معرفی سازه‌های مورد مطالعه

۱.۳. مشخصات سازه‌ها

در این پژوهش چند نمونه سازه‌ی قاب خمشی فولادی به روش استاتیکی خطی مطابق با ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران،[۱] و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان،[۱۷] طراحی و سطح عملکرد سازه‌ها با استفاده از تحلیل به روش استاتیکی غیرخطی (پوش‌اور) کنترل شده است. از ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران و دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی ساختمان‌های موجود،[۳] چنین برداشت می‌شود که ساختمان‌های تعریف‌شده با اهمیت متوسط، باید سطح عملکرد ایمنی جانی و ساختمان‌های

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. مقادیر ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌ی SEAOC.[۹]

کاربری ساختمان	ضریب اهمیت
ساختمان‌هایی که استفاده از آن‌ها پس از وقوع زلزله، اضطراری است مانند: بیمارستان، مراکز آتش‌نشانی، پلیس و غیره.	۱٫۵
هر ساختمانی که برای اجتماع بیش از ۳۰۰ نفر یا بیشتر ساخته شده باشد.	۱٫۲۵
سایر ساختمان‌ها	۱

جدول ۲. ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌های دهه‌ی ۸۰.[۱۲]

آیین‌نامه	سال انتشار	تعداد گروه‌های ساختمانی	مقادیر ضریب اهمیت		
			گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
UBC-۸۵	۱۹۸۵	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱
BOCA	۱۹۸۷	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱
UBC-۸۸	۱۹۸۸	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱
NEHRP-۸۵	۱۹۸۵	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱
آیین‌نامه‌ی یوگسلاوی	۱۹۸۵	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۰٫۷۵
استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۱۹۸۷	۳	۱٫۲	۱	۰٫۸

تعریف‌شده با اهمیت خیلی زیاد، سطح عملکرد قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه بعد از وقوع زلزله‌های شدید داشته باشند. در نهایت، با بررسی سطح عملکرد با استفاده از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، کفایت ضریب اهمیت I، که در استاندارد ۲۸۰۰ تعیین‌کننده‌ی مقدار اهمیت ساختمان‌هاست، بررسی شده است. مقدار ضریب اهمیت I برای طراحی ساختمان‌ها براساس جدول ۴ استاندارد ۲۸۰۰ تعیین شده است.[۱]

مدل‌های مورد بررسی به‌صورت سازه‌های سه بعدی متقارن فلزی با سیستم قاب خمشی منظم و با تعداد طبقات ۴، ۸ و ۱۲ طبقه در نظر گرفته شده است. ارتفاع تمام طبقات ۳ متر و سقف ساختمان‌ها از تیرچه و بلوک است. قاب‌ها در هر سمت، ۴ دهانه با عرض ۵ متر دارند. در شکل ۱، پلان قاب‌های ساختمان، نمای یکی از قاب‌ها و نمای سه بعدی ساختمان ۴ طبقه نشان داده شده است. بار مرده‌ی طبقات ۵٫۸۸ کیلونیوتن بر مترمربع و بار مرده‌ی بام ۶٫۳۷ کیلونیوتن بر مترمربع است. بار زنده‌ی طبقات براساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان،[۱۶] برای طبقات با کاربری مسکونی ۱٫۹۶ کیلونیوتن بر مترمربع و برای کاربری بیمارستان، اتاق عمل ۲٫۹۴ کیلونیوتن بر مترمربع و بقیه‌ی اتاق‌ها ۱٫۹۶ کیلونیوتن بر مترمربع و بام ۱٫۴۷ کیلونیوتن بر مترمربع است. برای بارگذاری زلزله براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران فرض شده است که ساختمان‌ها در پهنه‌ی با خطر نسبی خیلی زیاد (شتاب مبنای طرح $A = 0{,}35\,g$) قرار دارند و ساختگاه ساختمان‌ها خاک تیپ II است. مشخصات مصالح در جدول ۵ ارائه شده است. ساختمان‌ها با اهمیت متوسط و خیلی زیاد در نظرگرفته شده‌اند، تا بتوان مقدار ضریب اهمیت I را برای هر دو گروه مورد بررسی قرار داد.

جدول ۳. ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌های دهه‌ی ۹۰.[۱۳،۱و۱۴]

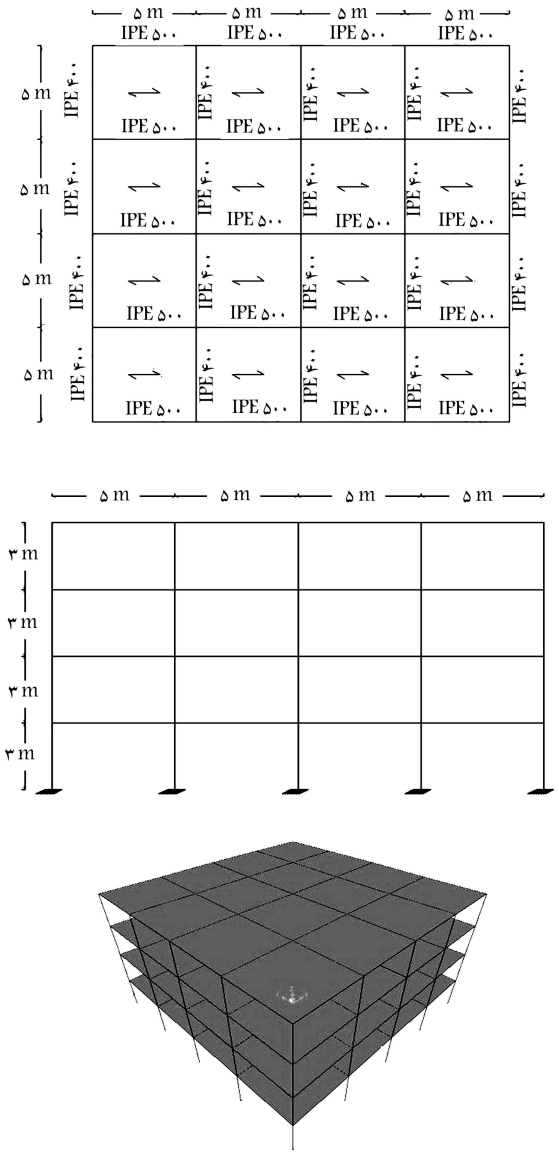
آیین‌نامه	سال انتشار	تعداد گروه‌های ساختمانی	مقادیر ضریب اهمیت		
			گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳
UBC-۹۴	۱۹۹۴	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱
UBC-۹۷	۱۹۹۷	۵ (۲ سری از گروه ۱ و ۲ با مقادیر یکسان)	۱٫۵	۱٫۳	۱
NBCC-۹۵	۱۹۹۵	۳	۱٫۵	۱٫۳	۱
استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۱۹۹۹	۳	۱٫۲	۱	۰٫۸

جدول ۴. ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌های دهه‌ی اول سال ۲۰۰۰.[۱۳،۱-۱۶]

آیین‌نامه	سال انتشار	تعداد گروه‌های ساختمانی	مقادیر ضریب اهمیت			
			گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴
IBC-۲۰۰۰	۲۰۰۰	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
IBC-۲۰۰۶	۲۰۰۶	۳	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
IBC-۲۰۰۹	۲۰۰۹	۴	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
ASCE ۷-۰۵	۲۰۰۵	۴	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
ASCE ۷-۱۰	۲۰۱۰	۴	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
NBCC-۰۵	۲۰۰۵	۳	۱٫۵	۱٫۳	۱	—
استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۲۰۰۵	۴	۱٫۴	۱٫۲	۱	۰٫۸

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. پلان قاب‌ها، نمای قاب‌ها، و نمای سه بعدی ساختمان ۴ طبقه.

جدول ۵. مشخصات مصالح مصرفی.

مشخصات مصالح مصرفی (فولاد نرمه‌ی ساختمانی)	بر حسب (MPa)
تنش جاری‌شدن F_y	۲۳۵
تنش نهایی F_u	۳۶۳
تنش بیشینه F_{ye}	۲۵۹

۲.۳. تحلیل و طراحی

برای طراحی سازه‌های معرفی‌شده، روش تحلیل استاتیکی معادل مطابق با ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران استفاده شده است. نرم‌افزار مورد استفاده برای تحلیل نیز ETABS۹٫۵ بوده است. خلاصه‌یی از طراحی ساختمان ۱۲ طبقه با اهمیت متوسط و اهمیت خیلی زیاد (به عنوان نمونه) در جدول ۶ ارائه شده است. این تذکر لازم است که ساختمان‌های با اهمیت زیاد تحت زلزله سطح بهره‌برداری و ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ نیز کنترل شده‌اند.

بعد از اتمام طراحی و کنترل نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی و بررسی ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، سطح عملکرد ساختمان و درواقع عملکرد ساختمان در حوزه‌ی غیرارتجاعی توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌اور) در نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ ۱۴٫۲۰ برآورد شده است. این نرم‌افزار دارای امکانات مناسب برای انجام تحلیل‌های غیرخطی و گرافیکی نسبت به نرم‌افزارهای دیگر است. در جدول ۷، زمان تناوب مودهای ساختمان‌ها براساس مجموع جرم‌های مؤثر بیشتر از ۹۰٪ جرم کل سازه ارائه شده است.

۴. تحلیل استاتیکی غیرخطی

پس از تحلیل استاتیکی سازه مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران و مشخص‌کردن مقاطع مناسب برای پاسخ‌گویی به نیازهای طراحی، عملکرد سازه در دو سطح ایمنی جانی و قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه، با استفاده از نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ کنترل شده است. در ادامه، روند انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی به اختصار شرح داده شده است.

۱.۴. تعیین الگوی بار جانبی

برای ارزیابی سازه، دست‌کم دو الگوی بار جانبی باید به سازه اعمال شود. دو نوع توزیع نیروی استفاده‌شده در این مطالعه عبارت‌اند از:

- توزیع نوع اول، متناسب با توزیع نیروها در طبقات در مود اول (توزیع مودی)، این روش نسبت به روش‌های دیگر عمومی‌تر بوده و در آیین‌نامه‌ی ASCE هم استفاده شده است.
- توزیع نوع دوم، متناسب با وزن طبقات (توزیع یکنواخت)، در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پایین اثرات بار ثقلی، Q_G، با استفاده از روابط $Q_G = ۱٫۱[Q_D + Q_L]$ و $Q_G = ۰٫۹[Q_D]$ محاسبه شده است.[۳]

۲.۴. تعیین جابه‌جایی هدف

میزان جابه‌جایی هدف، براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی، با استفاده از رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید:[۳]

$$\delta_t = C_0.C_1.C_2.C_3.S_a\frac{T_e^2}{4\pi^2}g \qquad (۶)$$

مقدار جابه‌جایی هدف و زمان تناوب برای سازه‌های طراحی‌شده مطابق استاندارد ۲۸۰۰، که تحت تحلیل پوش‌اور بررسی شده‌اند، در جدول‌های ۸ و ۹ برای دو الگوی بار (توزیع مودی و توزیع یکنواخت) ارائه شده است.

۳.۴. اختصاص مفاصل خمیری به اعضاء

در تیرهای قاب خمشی فولادی لنگر خمشی M_3، تلاش کنترل‌شونده توسط تغییرشکل است، در نتیجه باید به دو سر تیر در ابتدا و انتها، مفصل خمشی کنترل‌شونده‌ی M_3 توسط تغییرشکل اختصاص داده شود. برای تعیین رفتار خمشی در تیرها از نمودار M-θ، که برای هر تیر ترسیم می‌شود، استفاده شده است. هم‌چنین در تیرهای قاب خمشی مفصل V_2، کنترل‌شونده توسط نیرو است، که فقط برای کنترل‌کردن مقدار تلاش موجود به تلاش مجاز در عضو می‌توان در تحلیل وارد کرد. برای تعیین ظرفیت خمشی ستون‌ها نیز از نمودار اندرکنش P-M_2-M_3 استفاده شده است.

Archive

www.SID.ir

جدول ۶. مشخصات سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی قاب خمشی فولادی با اهمیت متوسط و خیلی زیاد.

شماره‌ی طبقه	ستون با اهمیت متوسط	تیر راستای X و Y با اهمیت متوسط	ستون با اهمیت خیلی زیاد	تیر راستای X و Y با اهمیت متوسط
۱	BOX ۶۵۰ × ۲	X-IPE ۵۵۰	BOX ۷۵۰ × ۲	X-IPE ۶۰۰
	BOX ۶۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۵۰	BOX ۷۰۰ × ۲	Y-IPE ۶۰۰
۲	BOX ۶۵۰ × ۲	X-IPE ۵۵۰	BOX ۷۵۰ × ۲	X-IPE ۶۰۰
	BOX ۶۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۵۰	BOX ۷۰۰ × ۲	Y-IPE ۶۰۰
۳	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰	BOX ۷۵۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰
		Y-IPE ۵۰۰	BOX ۶۰۰ × ۲	Y-IPE ۶۰۰
۴	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰	BOX ۷۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰
		Y-IPE ۵۰۰	BOX ۶۰۰ × ۲	X-IPE ۶۰۰
۵	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰	BOX ۷۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰
	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۰۰	BOX ۵۰۰ × ۲	Y-IPE ۶۰۰
۶	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۴۵۰	BOX ۷۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰
	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۰۰	BOX ۵۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۵۰
۷	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۴۵۰	BOX ۶۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰
	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۰۰	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۰۰
۸	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۴۵۰	BOX ۶۰۰ × ۲	X-IPE ۵۰۰
	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۴۵۰	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۰۰
۹	BOX ۵۰۰ × ۲	X-IPE ۴۵۰	BOX ۶۰۰ × ۲	X-IPE ۴۵۰
	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۴۵۰	BOX ۴۰۰ × ۲	Y-IPE ۵۰۰
۱۰	BOX ۴۰۰ × ۲	X-IPE ۴۰۰	BOX ۴۰۰ × ۲	X-IPE ۴۰۰
	BOX ۳۵۰ × ۲	Y-IPE ۴۰۰	BOX ۳۰۰ × ۲	Y-IPE ۴۵۰
۱۱	BOX ۴۰۰ × ۲	X-IPE ۳۶۰	BOX ۴۰۰ × ۲	X-IPE ۳۳۰
	BOX ۳۵۰ × ۲	Y-IPE ۴۰۰	BOX ۳۰۰ × ۲	Y-IPE ۴۵۰
۱۲	BOX ۴۰۰ × ۲	X-IPE ۳۰۰	BOX ۴۰۰ × ۲	X-IPE ۳۰۰
	BOX ۳۵۰ × ۲	Y-IPE ۳۳۰	BOX ۳۰۰ × ۲	Y-IPE ۴۰۰

جدول ۷. زمان تناوب مودهای مهم سازه‌های قاب خمشی فولادی مورد مطالعه.

سازه‌ی قاب خمشی فولادی	زمان تناوب										
	مود اول	مود دوم	مود سوم	مود چهارم	مود پنجم	مود ششم	مود هفتم	مود هشتم	مود نهم	مود دهم	مود یازدهم
۴ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۰۴۵	۰٫۹۴۷	۰٫۹۱۴	۰٫۴۰۲	۰٫۳۴۱	—	—	--	—	—	--
۸ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۳۸۲	۱٫۰۰۷	۰٫۹۷۹	۰٫۴۷۵	۰٫۳۶۰	۰٫۳۵۶	۰٫۲۴۳	۰٫۱۹۴	—	—	--
۱۲ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۷۱۶	۱٫۶۶۲	۱٫۴۹۹	۰٫۶۱۵	۰٫۵۹۸	۰٫۵۴۴	۰٫۳۶۲	۰٫۳۴۰	۰٫۳۱۳	۰٫۲۳۶	۰٫۲۲۸
۴ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۰٫۹۴۲	۰٫۸۴۹	۰٫۸۰۲	۰٫۳۲۶	۰٫۳۰۳	—	—	--	—	—	--
۸ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۱۶۸	۱٫۰۵۲	۰٫۹۷۸	۰٫۴۱۹	۰٫۳۶۲	۰٫۳۴۳	۰٫۲۱۷	۰٫۱۹۹	—	—	--
۱۲ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۵۶۱	۱٫۳۷۶	۱٫۲۸۳	۰٫۵۸۷	۰٫۵۰۶	۰٫۴۷۵	۰٫۳۲۹	۰٫۲۹۰	۰٫۲۷۱	۰٫۲۱۲	۰٫۱۸۸

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸. مقدار جابه‌جایی هدف برای سازه‌های قاب خمشی متناسب با توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

سازه‌ی قاب خمشی فولادی	C_0	C_1	C_2	C_3	$S_a = AB$	T_e	δ_t (m)
۴ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۳۶	۱	۱	۱	۰٫۵۳۵	۱٫۰۴۵	۰٫۱۹
۸ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۴۲	۱	۱	۱	۰٫۴۴۴	۱٫۳۸۲	۰٫۲۹
۱۲ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۳۴	۱	۱	۱	۰٫۳۷۳	۱٫۷۱۵	۰٫۳۶
۴ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۳۵	۱	۱	۱	۰٫۵۷۴	۰٫۹۴۲	۰٫۱۷
۸ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۴۴	۱	۱	۱	۰٫۴۹۶	۱٫۱۶۸	۰٫۲۴
۱۲ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۴۹	۱	۱	۱	۰٫۴۳۲	۱٫۴۳۸	۰٫۳۳

جدول ۹. مقدار جابه‌جایی هدف برای سازه‌های قاب خمشی متناسب با الگوی بار ناشی از وزن.

سازه‌ی قاب خمشی فولادی	C_0	C_1	C_2	C_3	$S_a = AB$	T_e	δ_t (m)
۴ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۳۳	۱	۱	۱	۰٫۵۸۶	۰٫۹۱۳۲	۰٫۱۶
۸ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۳۷۹	۱	۱	۱	۰٫۵۰۴	۱٫۱۴۵	۰٫۲۳
۱۲ طبقه با اهمیت متوسط	۱٫۳۱۵	۱	۱	۱	۰٫۴۳۶	۱٫۴۶۸	۰٫۳۰
۴ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۳۱۶	۱	۱	۱	۰٫۶۱۸	۰٫۸۴۳	۰٫۱۴
۸ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۴۰۳	۱	۱	۱	۰٫۵۵۹	۰٫۹۸	۰٫۱۹
۱۲ طبقه با اهمیت خیلی زیاد	۱٫۴۳۹	۱	۱	۱	۰٫۴۸۵	۱٫۲۱۱	۰٫۲۵

جدول ۱۰. وضعیت مفاصل و معیار پذیرش در سازه‌ی ۴ طبقه با اهمیت متوسط تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

جدول مقادیر نمودار پوش‌آور

گام	جابه‌جایی (cm)	نیروی پایه (Tonf)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP
۰	۰	۰	۸۴۰	۰	۰	۰
۱	۱٫۹۵	۷۰٫۹	۸۴۰	۰	۰	۰
۲	۳٫۹۱	۱۴۱٫۸	۸۴۰	۰	۰	۰
۳	۵٫۸۷	۲۱۲٫۷	۸۴۰	۰	۰	۰
۴	۷٫۸۳	۲۸۳٫۶	۸۴۰	۰	۰	۰
۵	۹٫۷۹	۳۵۴٫۵	۸۴۰	۰	۰	۰
۶	۱۱٫۷۵	۴۲۵٫۵	۸۳۸	۲	۰	۰
۷	۱۲٫۳۵	۴۴۶٫۶	۸۳۵	۵	۰	۰
۸	۱۴٫۲۹	۵۰۵٫۲	۷۷۲	۵۹	۹	۰
۹	۱۶٫۴۶	۵۳۳٫۴	۷۱۲	۴۸	۸۰	۰
۱۰	۱۸٫۹۴	۵۵۵٫۵	۷۰۳	۲۶	۱۱۱	۰
۱۱	۱۹٫۵۶	۵۶۱٫۲	۷۰۲	۱۷	۱۲۱	۰

جدول ۱۱. وضعیت مفاصل و معیار پذیرش در سازه‌ی ۸ طبقه با اهمیت متوسط تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

جدول مقادیر نمودار پوش‌آور

گام	جابه‌جایی (cm)	نیروی پایه (Tonf)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP
۰	۰	۰	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۱	۲٫۹۶	۱۱۴٫۶	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۲	۵٫۹۲	۲۲۹٫۲	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۳	۸٫۸۸	۳۴۳٫۸	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۴	۱۱٫۸۴	۴۵۸٫۳	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۵	۱۴٫۱۰	۵۴۵٫۸	۱۶۷۸	۲	۱۰	۰
۶	۱۶٫۷۵	۶۳۱٫۰۴	۱۵۹۳	۷۷	۱۱۶	۰
۷	۲۰٫۱۷	۶۸۳٫۷	۱۵۱۶	۴۸	۱۸۱	۰
۸	۲۴٫۶۸	۷۳۲٫۷	۱۴۸۳	۱۶	۱۹۷	۰
۹	۲۸٫۱۴	۷۶۶٫۴	۱۴۶۲	۲۱	۲۰۲	۰
۱۰	۲۹٫۶۰	۷۸۸٫۸	۱۴۴۲	۳۶	۱۰	۰

۵. نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی

۱.۵. سازه‌ی ۴ طبقه‌ی قاب خمشی با اهمیت متوسط

جدول ۱۰، به ترتیب جابه‌جایی، برش پایه، وضعیت مفاصل و معیارهای پذیرش در محدوده‌های مختلف منحنی نیرو ـ جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۴ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول مذکور، مفاصل تا گام ۷ در محدوده‌ی IO و از گام ۷ به بعد در محدوده‌ی LS قرارگرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، متوسط و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی ایمنی جانی است، سازه پاسخ‌گوی سطح عملکرد LS است. به‌دلیل تشابه نتایج در دو حالت بارگذاری برای تمام مدل‌ها، فقط نتایج یکی از الگوهای بار (توزیع مودی) ارائه شده است.

۲.۵. سازه‌ی ۸ طبقه‌ی قاب خمشی با اهمیت متوسط

جدول ۱۱، به ترتیب جابه‌جایی، برش پایه، وضعیت مفاصل و معیارهای پذیرش در محدوده‌های مختلف منحنی نیرو ـ جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۸ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول مذکور، مفاصل تا گام ۵ در محدوده‌ی IO و از گام ۵ به بعد در محدوده‌ی LS قرارگرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، متوسط و معیار آن در محدوده‌ی ایمنی جانی است؛ بنابراین، سازه پاسخ‌گوی سطح عملکرد LS است.

Archive of SID

www.SID.ir

۳.۵. سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی قاب خمشی با اهمیت متوسط

جدول ۱۲، به ترتیب جابه‌جایی، برش پایه، وضعیت مفاصل و معیارهای پذیرش در محدوده‌های مختلف منحنی نیرو ـ جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۱۲ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول مذکور، مفاصل تا گام ۶ در محدوده‌ی IO و از گام ۶ به بعد، در محدوده‌ی LS، و از گام ۹ به بعد، در محدوده‌ی CP قرارگرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، متوسط و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی ایمنی جانی است؛ بنابراین، برای تأمین سطح عملکرد LS لازم است که سازه تقویت شود، تا تمامی مفاصل در سطح عملکرد LS قرار گیرند.

۴.۵. سازه‌ی ۴ طبقه‌ی قاب خمشی با اهمیت خیلی زیاد

جدول ۱۳، به ترتیب جابه‌جایی، برش پایه، وضعیت مفاصل و معیارهای پذیرش در محدوده‌های مختلف منحنی نیرو ـ جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل اختصاص داده‌شده به سازه‌ی ۴ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱۳، مفاصل تا گام ۶ در محدوده‌ی IO و از گام ۶ به بعد، در محدوده‌ی LS قرارگرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، خیلی زیاد و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه است؛ بنابراین، سازه جواب‌گوی سطح عملکرد IO نیست و باید در جهت تأمین سطح عملکرد موردنظر تقویت شود.

۵.۵. سازه‌ی ۸ طبقه‌ی قاب خمشی با اهمیت خیلی زیاد

جدول ۱۴، به ترتیب جابه‌جایی، برش پایه، وضعیت مفاصل و معیارهای پذیرش در محدوده‌های مختلف منحنی نیرو ـ جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۸ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱۴، مفاصل تا گام ۶ در محدوده‌ی IO و از گام ۶ به بعد، در محدوده‌ی LS قرارگرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، خیلی زیاد و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه است؛ بنابراین، سازه، پاسخ‌گوی سطح عملکرد IO نیست و باید در جهت تأمین سطح عملکرد موردنظر تقویت شود.

۶.۵. سازه‌ی ۱۲ طبقه‌ی قاب خمشی با اهمیت خیلی زیاد

جدول ۱۵، به ترتیب جابه‌جایی، برش پایه، وضعیت مفاصل و معیارهای پذیرش در محدوده‌های مختلف منحنی نیرو ـ جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۱۲ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱۵، مفاصل تا گام ۷ در محدوده‌ی IO و از گام ۷ به بعد، در محدوده‌ی LS قرارگرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، خیلی زیاد و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه است؛ بنابراین، سازه، پاسخ‌گوی سطح عملکرد IO نیست و باید در جهت تأمین سطح عملکرد موردنظر تقویت شود.

جدول ۱۲. وضعیت مفاصل و معیار پذیرش در سازه‌ی ۱۲ طبقه با اهمیت متوسط تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

جدول مقادیر نمودار پوش‌آور						
گام	جابه‌جایی (cm)	نیروی پایه (Tonf)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP
۰	۰	۰	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۱	۳٫۶۳	۲۱۵٫۵	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۲	۷٫۲۶	۴۳۰٫۹	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۳	۱۰٫۸۹	۶۴۶٫۴	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۴	۱۴٫۵۲	۸۶۱٫۹	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۵	۱۸٫۱۵	۱۰۷۷٫۴	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۶	۱۹٫۲۱	۱۱۴۰٫۵	۲۵۱۸	۲	۰	۰
۷	۲۳٫۳۴	۱۳۱۶٫۴	۲۳۸۳	۵۵	۸۲	۰
۸	۲۷٫۳۹	۱۴۰۲٫۹	۲۳۳۸	۱۹	۱۶۳	۰
۹	۳۲٫۰۱	۱۴۸۴٫۳	۲۳۱۳	۲۵	۱۸۲	۰
۱۰	۳۵٫۸۲	۱۵۴۲٫۷	۲۲۹۸	۱۶	۱۸۸	۱۸
۱۱	۳۶٫۳۰	۱۵۴۹٫۷	۲۲۹۸	۱۵	۱۸۶	۲۱

جدول ۱۳. وضعیت مفاصل و معیار پذیرش در سازه‌ی ۴ طبقه با اهمیت خیلی زیاد تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

جدول مقادیر نمودار پوش‌آور						
گام	جابه‌جایی (cm)	نیروی پایه (Tonf)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP
۰	۰	۰	۸۴۰	۰	۰	۰
۱	۱٫۷۰	۸۵٫۵	۸۴۰	۰	۰	۰
۲	۳٫۴۰	۱۷۰٫۹	۸۴۰	۰	۰	۰
۳	۵٫۱۰	۲۵۶٫۵	۸۴۰	۰	۰	۰
۴	۶٫۸۰	۳۴۱٫۹	۸۴۰	۰	۰	۰
۵	۸٫۵۰	۴۲۷٫۵	۸۴۰	۰	۰	۰
۶	۹٫۲۲	۴۳۶٫۹	۸۳۹	۱	۰	۰
۷	۱۰٫۹۹	۵۴۳٫۴	۷۹۶	۳۹	۵	۰
۸	۱۲٫۸۵	۵۹۱٫۵	۷۵۵	۳۶	۴۹	۰
۹	۱۴٫۵۹	۶۲۳٫۹	۷۳۰	۲۷	۸۳	۰
۱۰	۱۶٫۶۹	۶۴۹٫۴	۷۱۴	۱۲	۱۱۴	۰
۱۱	۱۷٫۰۰	۶۵۲٫۶	۷۱۱	۱۳	۱۱۶	۰

جدول ۱۴. وضعیت مفاصل و معیار پذیرش در سازه‌ی ۸ طبقه با اهمیت خیلی زیاد تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

جدول مقادیر نمودار پوش‌آور						
گام	جابه‌جایی (cm)	نیروی پایه (Tonf)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP
۰	۰	۰	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۱	۲٫۴۱	۱۳۱٫۹	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۲	۴٫۸۲	۲۶۳٫۹	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۳	۷٫۲۳	۳۹۵٫۹	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۴	۹٫۶۴	۵۲۷٫۹	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۵	۱۲٫۰۵	۶۵۹٫۹	۱۶۸۰	۰	۰	۰
۶	۱۳٫۶۰	۷۴۵٫۱	۱۶۷۸	۲	۰	۰
۷	۱۶٫۲۰	۸۶۷٫۱	۱۶۱۳	۵۷	۱۰	۰
۸	۱۹٫۴۷	۹۳۷٫۷	۱۵۰۰	۵۸	۱۲۲	۰
۹	۲۱٫۹۱	۹۷۳٫۷	۱۴۸۰	۲۹	۱۷۱	۰
۱۰	۲۴٫۱	۱۰۰۴٫۱	۱۴۷۸	۱۰	۱۹۲	۰

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۵. وضعیت مفاصل و معیار پذیرش در سازه‌ی ۱۲ طبقه با اهمیت خیلی زیاد تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول.

جدول مقادیر نمودار پوش‌آور						
گام	جابه‌جایی (cm)	نیروی پایه (Tonf)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP
۰	۰	۰	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۱	۳٫۲۹	۱۷۲٫۸	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۲	۶٫۵۸	۳۵۴٫۷	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۳	۹٫۸۷	۵۱۸٫۵	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۴	۱۳٫۱۶	۶۹۱٫۳	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۵	۱۶٫۴۵	۸۶۴٫۱	۲۵۲۰	۰	۰	۰
۶	۱۹٫۷۴	۱۰۳۶٫۹	۲۵۱۸	۲	۰	۰
۷	۱۹٫۹۷	۱۰۴۸٫۷	۲۵۱۲	۸	۰	۰
۸	۲۳٫۵۶	۱۲۱۱٫۷	۲۴۴۰	۶۲	۱۸	۰
۹	۲۷٫۰۸	۱۳۰۸٫۵	۲۳۴۱	۷۰	۱۰۹	۰
۱۰	۳۰٫۵۹	۱۳۶۹٫۴	۲۳۱۱	۳۴	۱۷۵	۰
۱۱	۲۳٫۹	۱۴۰۳٫۱	۲۲۹۵	۲۲	۲۰۳	۰

۶. اصلاح ضریب اهمیت برای طراحی سازه‌ها

با توجه به نتایج تحلیل‌های ارائه‌شده، برخی سازه‌های با اهمیت متوسط و اهمیت خیلی زیاد پاسخ‌گوی سطح عملکرد موردنظر نیستند و باید برای تأمین سطح عملکرد موردنظر تقویت شوند. برای بهبود وضعیت سازه در طراحی استاتیکی خطی می‌توان با افزایش ضریب اهمیت I به نتایج مطلوب‌تری دست پیدا کرد. به‌منظور بررسی ضرایب اهمیت ارائه‌شده در آیین‌نامه‌ی طرح لرزه‌یی ایران، ضرایب اهمیت سازه‌ها برای تأمین هدف عملکردی موردنظر به‌تدریج از مقادیرکم به زیاد افزایش داده شده و با بارگذاری، تحلیل، و طراحی مجدد، سازه اصلاح (تقویت) شده و اثر افزایش ضریب اهمیت در پاسخ و سطح عملکرد آن، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد مطالعه قرارگرفته است.

۱.۶. سطح عملکرد سازه‌ها

در جدول‌های ۱۶ الی ۱۹، وضعیت سطح عملکرد سازه‌ها برای مقادیر مختلف ضریب اهمیت نشان داده شده است. سازه‌ی ۱۲ طبقه با سطح اهمیت متوسط در مقدار ضریب اهمیت $I = ۱٫۳$ به سطح عملکرد مطلوب رسیده و مفاصل آن در محدوده‌ی ایمنی جانی (LS) قرارگرفته است. سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با سطح اهمیت خیلی زیاد، در مقدار ضریب اهمیت $I = ۱٫۶$ به سطح عملکرد مطلوب رسیده و در محدوده‌ی قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه (IO) قرارگرفته‌اند.

۲.۶. دوران غیرارتجاعی مفاصل خمیری

در شکل ۲، دوران غیرارتجاعی مفاصل خمیری بعد از افزایش ضریب عملکرد و تأمین سطح عملکرد مطلوب نشان داده شده است. رنگ آبی (تیره) مفاصل،

جدول ۱۶. سطح عملکرد سازه‌ی ۱۲ طبقه برای ضرایب اهمیت مختلف.

سازه	۱۲ طبقه		
سطح اهمیت	متوسط		
	سطح عملکرد	تعداد مفصل‌ها	ضریب اهمیت
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	CP	۲۱	I=۱٫۰
مطلوب و سطح عملکرد سازه با ضرایب اهمیت مختلف	CP	۱۸	I=۱٫۱
	CP	۱۰	I=۱٫۲
	LS	۶	I=۱٫۲۵
		–	I=۱٫۳

جدول ۱۷. سطح عملکرد سازه‌ی ۴ طبقه برای ضرایب اهمیت مختلف.

سازه	۴ طبقه		
سطح اهمیت	خیلی زیاد		
	افزایش ضریب اهمیت	سطح عملکرد	تعداد مفصل‌ها
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	I=۱٫۴۰	LS	۱۱۶
مطلوب و سطح عملکرد سازه با ضرایب اهمیت مختلف	I=۱٫۴۵	LS	۸۸
	I=۱٫۵۰	LS	۵۷
	I=۱٫۵۵	IO	۲۳
	I=۱٫۶۰		–

جدول ۱۸. سطح عملکرد سازه‌ی ۸ طبقه برای ضرایب اهمیت مختلف.

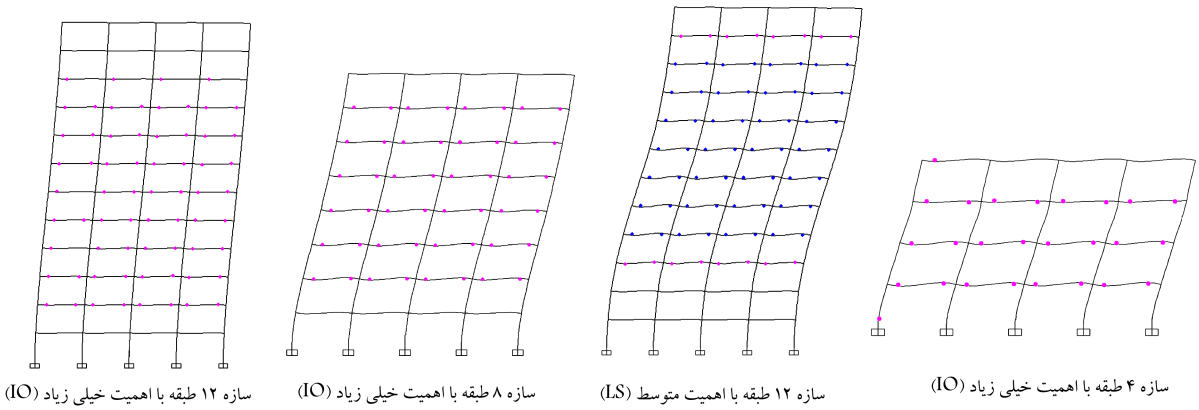
سازه	۸ طبقه		
سطح اهمیت	خیلی زیاد		
	افزایش ضریب اهمیت	سطح عملکرد	تعداد مفصل‌ها
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	I=۱٫۴۰	LS	۱۹۲
مطلوب و سطح عملکرد سازه با ضرایب اهمیت مختلف	I=۱٫۴۵	LS	۱۰۵
	I=۱٫۵۰	LS	۸۳
	I=۱٫۵۵	IO	۴۲
	I=۱٫۶۰		–

جدول ۱۹. سطح عملکرد سازه‌ی ۱۲ طبقه برای ضرایب اهمیت مختلف.

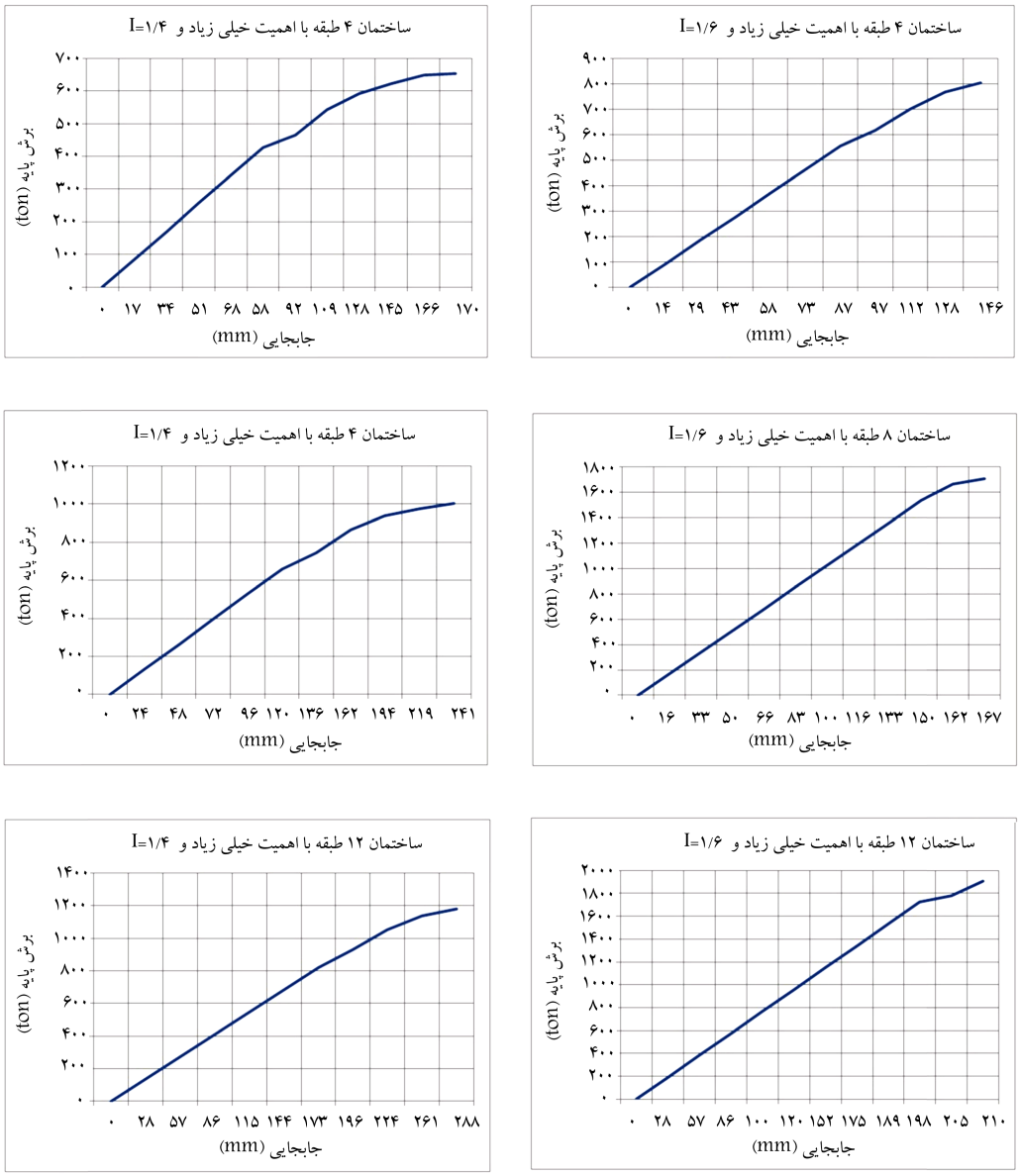
سازه	۱۲ طبقه		
سطح اهمیت	خیلی زیاد		
	افزایش ضریب اهمیت	سطح عملکرد	تعداد مفصل‌ها
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	I=۱٫۴۰	LS	۲۰۳
مطلوب و سطح عملکرد سازه باضرایب اهمیت مختلف	I=۱٫۴۵	LS	۱۰۴
	I=۱٫۵۰	LS	۸۵
	I=۱٫۵۵	IO	۳۶
	I=۱٫۶۰		–

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. وضعیت مفاصل خمیری بعد از افزایش ضریب اهمیت (I).



شکل ۳. نمودار پوش سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد قبل و بعد از افزایش ضریب اهمیت (I).

www.SID.ir

نشان‌دهنده‌ی سطح عملکرد ایمنی جانی و رنگ صورتی (روشن) مفاصل، سطح عملکرد قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه را نشان می‌دهد.

۳.۶. نمودار ظرفیت سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد

نمودار ظرفیت سازه‌های با اهمیت زیاد، با ضرایب اهمیت مشخص‌شده مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ و ضرایب اهمیت افزایش‌یافته از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی و طراحی مجدد به‌دست آمده است. با توجه به نمودارها که در شکل ۳ ارائه شده است، سطح عملکرد سازه در دو مقدار ضریب اهمیت نشان می‌دهد که سازه با مقدار ضریب اهمیت مشخص‌شده در استاندارد ۲۸۰۰، سطح عملکرد مطلوب را تأمین نمی‌کند.

۷. بحث و تفسیر نتایج

در این پژوهش تعدادی سازه با قاب‌های خمشی منظم فولادی و با سطح اهمیت متوسط و خیلی زیاد، به‌منظور بررسی سطح عملکرد سازه‌ها، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل نشان داده است که در مواردی سازه‌های طراحی‌شده به روش معادل استاتیکی استاندارد ۲۸۰۰ ایران، پاسخ‌گوی سطح عملکرد موردنظر نیستند. در این سازه‌ها جابه‌جایی بیش از مقادیر مجاز است و تعداد زیادی از مفاصل خمیری در سازه از حد مجاز پیش‌روی می‌کنند. درواقع، در روش طراحی نیروی پیشنهادشده مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ ایران، سازه تحت اثر نیروی وارد بر آن طراحی می‌شود و طراح از عملکرد سازه در حوزه‌ی رفتار خمیری بی‌اطلاع است. در روش نیرویی برای ارتقاء سطح عملکرد سازه‌ها از ضریب اهمیت استفاده می‌شود و با افزایش مقدار این ضریب سعی می‌شود عملکرد سازه به سطح بالاتری برسد، در صورتی که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده و نمودارهای ظرفیت سازه‌ها برای ضرایب اهمیت مختلف مشاهده می‌شود که سازه پاسخ‌گوی سطح عملکرد موردنظر نبوده است. نمودارهای ظرفیت سازه‌ها با ضرایب اهمیت مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ نشان می‌دهد که این سازه‌ها از سطح عملکرد موردنظر فراتر رفته و جابه‌جایی بیشتری را تجربه کرده‌اند، در حالی که با افزایش مقدار ضریب اهمیت، نمودار ظرفیت بهبود یافته و به سطح عملکرد موردنظر رسیده است. به‌گونه‌یی که مقدار جابه‌جایی در سازه‌ی ۴ طبقه با اهمیت خیلی زیاد حدود ۱۴٪، در سازه‌ی ۸ طبقه با اهمیت خیلی زیاد ۱۷٪، و در سازه‌ی ۱۲ طبقه با اهمیت خیلی زیاد ۲۰٪ کاهش یافته است. از آنجا که نتایج حاصل برای سازه‌های منظم و متقارن ارائه شده است، به‌نظر می‌رسد در صورتی که سازه‌های نامنظم یا نامتقارن مورد بررسی قرار گیرند، احتمال ایجاد مفاصل فراتر از سطح عملکرد، بسیار بیشتر از حالت منظم و متقارن باشد.[۱۸]

۸. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، سازه‌های طراحی‌شده به روش نیرویی مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران، وارد محدوده‌ی غیرارتجاعی می‌شوند و جابه‌جایی‌های بزرگی را تجربه می‌کنند. از آنجا که سطح عملکرد هر سازه مطابق با کاربری آن در نظر گرفته می‌شود، لذا جابه‌جایی‌ها و در واقع تشکیل مفاصل خمیری بیشتر از حدود مجاز در سطح عملکرد موردنظر است. ارزیابی سازه‌ها با توجه به معیار پذیرش اعضاء نشان می‌دهد که سازه‌های طراحی‌شده به روش نیرویی، عملکرد موردنظر آیین‌نامه در سطوح اهمیت متوسط در سازه‌ی ۱۲ طبقه و قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه در سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد را تأمین نکرده‌اند. در سازه‌ی ۱۲ طبقه با اهمیت متوسط تعداد ۲۱ مفصل خمیری فراتر از محدوده‌ی ایمنی جانی و در محدوده‌ی آستانه‌ی فروریزش قرار داشتند. در سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با اهمیت خیلی زیاد نیز به ترتیب تعداد ۱۱۶، ۱۹۲ و ۲۰۳ مفصل خمیری فراتر از محدوده‌ی قابلیت بهره‌برداری بی‌وقفه و در محدوده‌ی ایمنی جانی قرار داشتند. سازه‌های ۴ و ۸ طبقه با اهمیت متوسط، سطح عملکرد مطلوبی نشان دادند و مفاصل خمیری سازه‌ها در سطح عملکرد ایمنی جانی قرار داشتند.

لحاظ کردن مقادیر بزرگ‌تری برای ضریب اهمیت I، گرچه باعث رسیدن سازه به سطح عملکرد مطلوب می‌شود؛ اما به مقدار قابل توجهی باعث افزایش وزن سازه و غیراقتصادی‌شدن طرح خواهد شد. با عنایت به نتایج به‌دست‌آمده در سازه‌ی ۱۲ طبقه با اهمیت متوسط، ضریب اهمیت از مقدار ۱ به ۱٫۳ و برای سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد از مقدار ۱٫۴ به ۱٫۶ افزایش یافته است. افزایش این مقدار ضریب اهمیت باعث واردآمدن نیروهای بیشتری به سازه‌ها خواهد شد و نهایتاً وزن سازه‌ها را افزایش خواهد داد. با این حال می‌توان برای بهینه‌شدن طراحی تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی و با حفظ سطح عملکرد سازه، سطح مقاطعی را که بیش از حد موردنظر تقویت شده‌اند، کاهش داد تا وزن سازه کاهش یابد و طراحی از نظر اقتصادی منطقی شود.

به‌نظر می‌رسد بهتر است ضرایب و روش‌های طراحی معرفی‌شده در استاندارد ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار گیرند و یا از روش‌های نوین طراحی، که نشان‌دهنده‌ی رفتار سازه در حوزه‌ی غیرارتجاعی است، استفاده شود.

پانوشت‌ها

1. Newmark and Hall
2. Vidic and Fajfar
3. displacment base design
4. structural engineers association of California

منابع (References)

1. Building and Housing Research Center (BHRC), *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800-05*, 3rd Edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran (2005).

Archive of SID
www.SID.ir

2. Federal Emergency Management Agency (FEMA), *FEMA-356: Prestandard and Comentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Washington D.C. (2002).

3. Management and Planning Organization (MPO), *Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings*, Management and Planning Organization of Iran, Publication No. 360, Tehran, Iran (2007).

4. Fajfar, P. "A nonlinear analysis method for performance-based seismic design", *Earthquake Spectra*, **16**(3), pp. 573-592 (2000).

5. Chopra, A.K. and Goel, R.K., *A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Building: Theory and Preliminary Evaluation*, Report No. PEER-2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley (2001).

6. Chopra, A.K., Goel, R.K. and Chinatana-Pakdee, C. "Evaluation of a modified MPA procedure assuming higher modes as elastic to estimate seismic demands", *Earthquake Spectra*, **20**(3), pp. 757-778 (August 2004).

7. Ghorbanie-Asl, M. "Performance-based seismic design of building structures", Ph.D. Thesis, University of Carleton, Ottawa, Canada (2007).

8. Habibi, A.R., Moharrami, H. and Tasnimi, A.A. "Evaluation of seismic performance of RCMRF using stiffness damage index", *Journal of University College of Engineering*, **40**(5), pp. 701-712 (2006).

9. Ghodrati Amiri, G., Razavian Amrei, S.A. and Seyed Kazemi, A. "Seismic evaluation of steel ordinary moment frame buildings", *Journal of Structure & Steel, Iranian Society of Steel Structures,* **5**(5), pp. 5-17 (2009).

10. Mahmoudi, M. and Ghobadi, A. "Seismic design of very high importance buildings regulations using standard 2800: Critical review", *Journal of Civil Engineering Infrastructures (Journal of Faculty of Engineering),* **45**(3), pp. 365-369 (2011).

11. Moghaddam, H. and Ghannad, M. "Evaluation of the dynamic analysis requirements in the seismic code of Iran", *Proceedings of the 2nd Int. Conf. on Seismology and Earthquake Engineering*, Tehran (1995).

12. Adeli, H., *Earthquak Engineering*, Tehran, Dehkhoda Publications (1980).

13. Imashi, N. and Massumi, A.,"A comparative study of the seismic provisions of Iranian seismic code (standard no.2800) and international building code 2003", *Asian Journal of Civil Engineering* (Building and Housing), **12**(5), pp.579-596 (2011).

14. Uniform Building Code, International Conference of Building officials, Whittier, CA (1997).

15. International Code Council (ICC), International Building Code (IBC), ICC, Birmingham, AL (2009).

16. INBC (Iranian National Building Code), *Design Loads for Buildings*, Part 6, INBC, National Building Regulations Office, Tehran, Iran (2006).

17. INBC (Iranian National Building Code), *Design and Construction of Steel Structures*, Part 10, INBC, National Building Regulations Office, Tehran, Iran (2008).

18. Sarlak, N. "Evaluation of importance factor in Iranian seismic code (IS-2800, 3rd edition) for steel moment resisting frame buildings", M.S. Thesis in Structural Engineering, Mazandaran University (2012).

Archive of SID

www.SID.ir