

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

علی معصومی* (دانشیار)

دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی

ژگس سرلک (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه علوم و فنون مازندران

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

طراحی لرزه‌ی در بسیاری از آیین‌نامه‌ها، از جمله استاندارد ۲۸۰۰ ایران، براساس 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 طراحی شده 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 جواب‌گوی 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

از دستوالعمل بهسازی لرزه‌ی 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 پشاور ساده‌شده و طیف تقاضای کشسان، جابه‌جایی تقاضای بام تعیین می‌شود. شتاب طیفی با در نظر گرفتن زمان تناوب مؤثر سازه، که از منحنی پشاور ایده‌آل شده به‌دست می‌آید، برآورد و جابه‌جایی غیرکشسان با رابطه‌ی تجربی نیومارک و هال^۱ ($R - \mu - T$) محاسبه می‌شود.^[۱] در مطالعه‌ی دیگری در سال ۱۹۹۹ نیز روش اصلاح‌شده‌ی ارائه شده است که در آن از یک شیوه‌ی گرافیکی برای ارزیابی عملکرد ساختمان‌های طراحی شده استفاده شده است. روش مذکور را می‌توان در گام‌های معکوس شده، برای طراحی براساس جابه‌جایی استفاده کرد، که در آن برای ایجاد طیف تقاضای غیرکشسان از رابطه‌ی تجربی ویدیک و فایفر^۲ ($\mu - R - T$) استفاده شده و هم‌چنین جابه‌جایی هدف یا نقطه‌ی عملکرد سیستم یک درجه آزاد معادل از نقطه‌ی تقاطع دیاگرام ظرفیت ایده‌آل شده و طیف تقاضای غیرکشسان در فرمت ADRS به‌دست آمده است.^[۲] پژوهشگرانی نیز در سال ۱۹۹۹، روشی را برای طراحی براساس جابه‌جایی (DBD)^۳ ارائه داده‌اند، که در

آیین‌نامه‌ی فعلی بارگذاری و طراحی لرزه‌ی ایران (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)،^[۱] تحلیل کشسان خطی را برای برآورد پاسخ سازه و رفتار لرزه‌ی آن (در حد طراحی) کافی می‌داند. در آیین‌نامه‌ی مذکور برای بالا بردن سطح عملکرد ساختمان برای کاربری‌های خاص مانند بیمارستان، ضریب اهمیت (I) در نظر گرفته می‌شود و با بالا رفتن اهمیت ساختمان این ضریب نیز افزایش می‌یابد. از آنجا که پایداری و رفتار مناسب لرزه‌ی فقط تابع مقاومت سازه نیست و سازه باید علاوه بر مقاومت، در برابر مقدار نیروی مشخصی، توانایی انجام جابه‌جایی به مقدار تعیین‌شده‌ی 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 دستوالعمل‌های جدیدی که بر پایه‌ی طراحی براساس عملکرد هستند، مانند FEMA ۳۵۶^[۱] و دستوالعمل بهسازی لرزه‌ی ساختمان‌های موجود،^[۲] روش‌های تحلیل غیرخطی جایگاه خاصی دارند؛ بنابراین ارزیابی لرزه‌ی ساختمان‌های طراحی شده با استاندارد ۲۸۰۰ با استفاده

* نویسنده مسئول

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

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 $\mu - R - T$ به دست 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 در نظر گرفتن 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 غیرواقعی 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 مورد نظر برآورده نمی‌شود و باید ساختمان را بهسازی لرزه‌ی 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 مورد نظر (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،^[۱۱] طراحی شده‌اند و سطح عملکرد لرزه‌ی آن‌ها با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور میزان و نوع مفاصل خمیری ایجادشده در سازه، جهت بررسی سطح عملکرد مورد نظر در سازه‌های طراحی‌شده به روش نیرویی مطالعه شده است. در انتها، مقدار ضریب اهمیت سازه‌های مورد مطالعه به گونه‌ی محاسبه شده است که آنها را به سطح عملکرد مطلوب (سطح عملکرد مورد نیاز) برساند.

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) به صورت رابطه‌ی ۱ تعریف شده است، که در آن N تعداد طبقات روی تراز پایه است:^[۱۰]

$$C = \frac{60}{100(N + 4.5)} \quad (1)$$

در سال ۱۹۵۹ انجمن مهندسان سازه‌ی کالیفرنیا (SEAOC)،^[۱۱] تأثیر زمان تناوب در ضریب زلزله و توزیع نیروهای لرزه‌ی در ارتفاع ساختمان را به صورت رابطه‌ی ۲ تعریف کرده‌اند:

$$C = \frac{0.5}{\sqrt{T}} \quad (2)$$

توزیع نیرو در طبقات (رابطه‌ی ۳):

$$F = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} V \quad (3)$$

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

$$V = ZIKCSW \quad (4)$$

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 به صورت رابطه‌ی ۵ افزایش یافته است:^[۱۰]

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12 \quad (5)$$

از این رو، 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 شده است.^[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،^[۱۱] 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 لرزه‌ی ساختمان‌های موجود،^[۱۳] چنین برداشت می‌شود که ساختمان‌های تعریف‌شده با اهمیت متوسط، باید سطح عملکرد ایمنی جانبی و ساختمان‌های

۲. تاریخچه‌ی ضریب زلزله و ضریب اهمیت در

آیین‌نامه‌های لرزه‌ی

اولین نسخه از قوانین و ضوابط لرزه‌ی 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 نیروی افقی سبب تخریب شده است. مقدار این نیرو برابر ۱/۱۲ وزن ساختمان فرض شده است. مطابق نظر

تعریف شده 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 به صورت سازه‌های سه بعدی متقارن فازی 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 $g = 0.35$) قرار دارند و ساختمان‌ها خاک تیپ II است. مشخصات مصالح در جدول ۵ ارائه شده است. ساختمان‌ها با اهمیت متوسط و خیلی زیاد در نظر گرفته شده‌اند، تا بتوان مقدار ضریب اهمیت I را برای هر دو گروه مورد بررسی قرار داد.

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

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

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

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

جدول ۳. ضریب اهمیت در آیین‌نامه‌های دهه‌ی ۹۰.^[۱۳، ۱۴]

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

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

آیین‌نامه	سال انتشار	مقادیر ضریب اهمیت			
		گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴
IBC-۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
IBC-۲۰۰۶	۲۰۰۶	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
IBC-۲۰۰۹	۲۰۰۹	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
ASCE 7-۰۵	۲۰۰۵	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
ASCE 7-۱۰	۲۰۱۰	۱٫۵	۱٫۲۵	۱	۱
NBCC-۰۵	۲۰۰۵	۱٫۵	۱٫۳	۱	—
استاندارد ۲۸۰۰ ایران	۲۰۰۵	۱٫۴	۱٫۲	۱	۰٫۸

بعد از اتمام طراحی و کنترل نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی خطی و بررسی ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، سطح عملکرد ساختمان و در واقع عملکرد ساختمان در حوزه‌ی غیرارتجاعی توسط تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌اور) در نرم‌افزار SAP2000 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 موده‌های 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 مشخص کردن مقاطع مناسب برای پاسخ‌گویی به نیازهای طراحی، عملکرد سازه در دو سطح ایمنی جانی و قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه، با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 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 $Q_G = 1/11[Q_D + Q_L]$ و $Q_G = 0/9[Q_D]$ محاسبه شده است.^[۳]

۲.۴. تعیین جابه‌جایی هدف

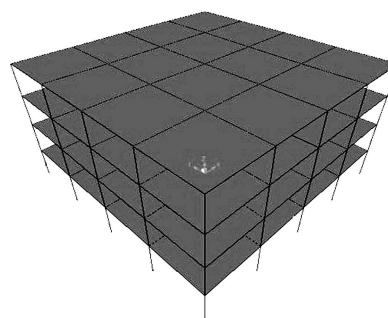
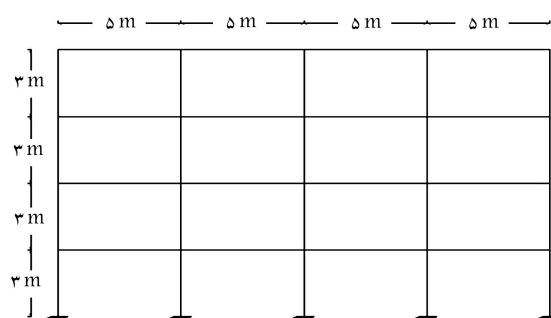
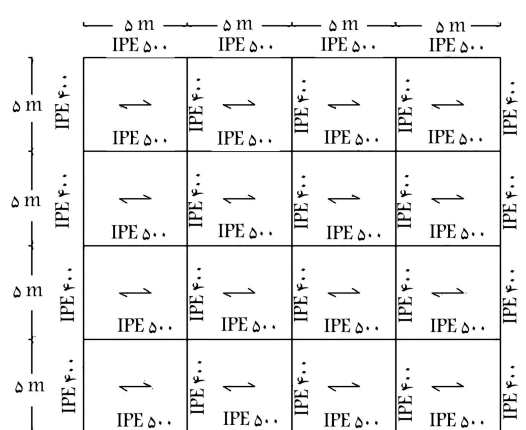
میزان جابه‌جایی هدف، براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ی، با استفاده از رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید:^[۳]

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

مقدار جابه‌جایی هدف و زمان تناوب برای سازه‌های طراحی شده 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 مفصل خمیری به اعضاء

در تیرهای قاب خمشی فولادی لنگر خمشی M_F ، تلاش کنترل‌شده توسط تغییرشکل است، در نتیجه باید به دو سر تیر در ابتدا و انتها، مفصل خمشی کنترل‌شده‌ی M_F توسط تغییرشکل اختصاص داده شود. برای تعیین رفتار خمشی در تیرها از نمودار $M-\theta$ ، که برای هر تیر ترسیم می‌شود، استفاده شده است. هم‌چنین در تیرهای قاب خمشی مفصل V_F ، کنترل‌شده توسط نیرو است، که فقط برای کنترل کردن 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.



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)	
۲۳۵	تنش جاری شدن F_y
۳۶۳	تنش نهایی F_u
۲۵۹	تنش بیشینه F_{ye}

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 ETABS ۹٫۵ بوده است. خلاصه‌ی 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.

جدول ۶. مشخصات سازی 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 خیلی زیاد
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 مدهای 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

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

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

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

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

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

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						
LStoCP	IOtoLS	BtoIO	AtoB	نیروی پایه (Tonf)	جابه‌جایی (cm)	گام
۰	۰	۰	۸۴۰	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۸۴۰	۷۰٫۹	۱٫۹۵	۱
۰	۰	۰	۸۴۰	۱۴۱٫۸	۳٫۹۱	۲
۰	۰	۰	۸۴۰	۲۱۲٫۷	۵٫۸۷	۳
۰	۰	۰	۸۴۰	۲۸۳٫۶	۷٫۸۳	۴
۰	۱۰	۲	۸۴۰	۳۵۴٫۵	۹٫۷۹	۵
۰	۱۱۶	۷۷	۸۳۸	۴۲۵٫۵	۱۱٫۷۵	۶
۰	۱۸۱	۴۸	۸۳۵	۴۴۶٫۶	۱۲٫۳۵	۷
۰	۱۹۷	۱۶	۷۷۲	۵۰۵٫۲	۱۴٫۲۹	۸
۰	۲۰۲	۲۱	۷۱۲	۵۳۳٫۴	۱۶٫۴۶	۹
۰	۱۱۱	۲۶	۷۰۳	۵۵۵٫۵	۱۸٫۹۴	۱۰
۰	۱۲۱	۱۷	۷۰۲	۵۶۱٫۲	۱۹٫۵۶	۱۱

حالت بارگذاری برای تمام مدل‌ها، فقط نتایج یکی از الگوهای بار (توزیع مودی) ارائه شده است.

۵. نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی

۵.۱. 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 - جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۴ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول مذکور، مفاصل تاگام ۷ در محدوده‌ی IO و ازگام ۷ به بعد در محدوده‌ی LS قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، متوسط و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی ایمنی جانی است، سازه پاسخ‌گوی سطح عملکرد LS است. به دلیل تشابه نتایج در دو

۵.۲. 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 - جابه‌جایی و تعداد کل مفاصل سازه‌ی ۸ طبقه تحت توزیع نیروها در طبقات در مود اول را نشان می‌دهد. مطابق جدول مذکور، مفاصل تاگام ۵ در محدوده‌ی IO و ازگام ۵ به بعد در محدوده‌ی LS قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، متوسط و معیار آن در محدوده‌ی ایمنی جانی است؛ بنابراین، سازه پاسخ‌گوی سطح عملکرد LS است.

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 پوشش‌آور						
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 پوشش‌آور						
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

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 - 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 قرار گرفته‌اند. 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.

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 - 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 قرار گرفته‌اند. 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 - 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 قرار گرفته‌اند. 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 - 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 قرار گرفته‌اند. با توجه به اینکه سطح اهمیت سازه، خیلی زیاد و معیار پذیرش آن در محدوده‌ی

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 پوشش‌آور						
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 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 پوش آور						
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

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

سازه	سطح اهمیت	۱۲ طبقه متوسط
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	سطح عملکرد	تعداد مفاصل‌ها
از سطح عملکرد	CP	۲۱
مطابوب و سطح عملکرد	CP	۱۸
سازه با ضرایب اهمیت مختلف	CP	۱۰
	LS	۶
		—

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

سازه	سطح اهمیت	۴ طبقه خیلی زیاد
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	افزایش ضریب اهمیت	تعداد مفاصل‌ها
از سطح عملکرد	I=۱٫۴۰	۱۱۶
مطابوب و سطح عملکرد	I=۱٫۴۵	۸۸
سازه با ضرایب اهمیت مختلف	I=۱٫۵۰	۵۷
	I=۱٫۵۵	۲۳
	I=۱٫۶۰	—

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

سازه	سطح اهمیت	۸ طبقه خیلی زیاد
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	افزایش ضریب اهمیت	تعداد مفاصل‌ها
از سطح عملکرد	I=۱٫۴۰	۱۹۲
مطابوب و سطح عملکرد	I=۱٫۴۵	۱۰۵
سازه با ضرایب اهمیت مختلف	I=۱٫۵۰	۸۳
	I=۱٫۵۵	۴۲
	I=۱٫۶۰	—

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

سازه	سطح اهمیت	۱۲ طبقه خیلی زیاد
تعداد مفاصل خارج از سطح عملکرد	افزایش ضریب اهمیت	تعداد مفاصل‌ها
از سطح عملکرد	I=۱٫۴۰	۲۰۳
مطابوب و سطح عملکرد	I=۱٫۴۵	۱۰۴
سازه با ضرایب اهمیت مختلف	I=۱٫۵۰	۸۵
	I=۱٫۵۵	۲۶
	I=۱٫۶۰	—

۶. اصلاح ضریب اهمیت برای طراحی سازه‌ها

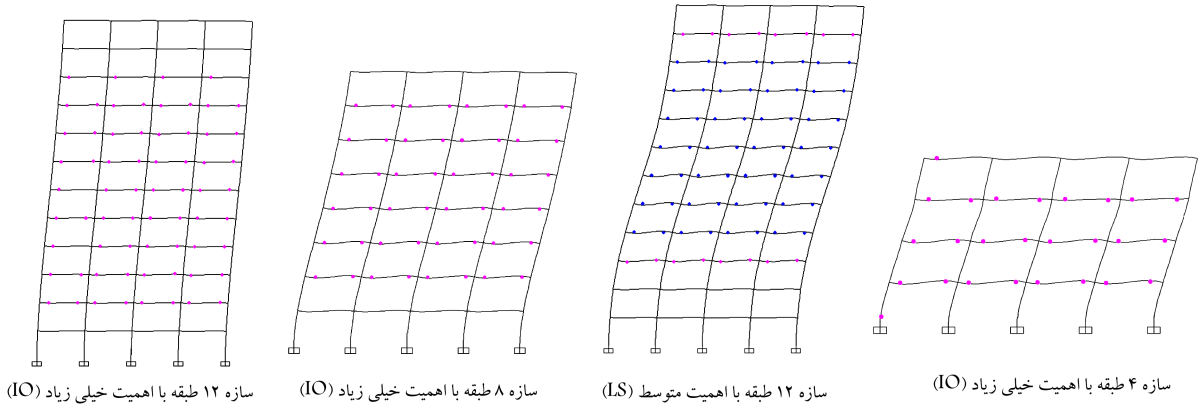
با توجه به نتایج تحلیل‌های ارائه‌شده، برخی سازه‌های با اهمیت متوسط و اهمیت خیلی زیاد پاسخ‌گوی سطح عملکرد موردنظر نیستند و باید برای تأمین سطح عملکرد موردنظر تقویت شوند. برای بهبود وضعیت سازه در طراحی استاتیکی خطی می‌توان با افزایش ضریب اهمیت I به نتایج مطلوب‌تری دست پیدا کرد. به‌منظور بررسی ضرایب اهمیت ارائه‌شده در آیین‌نامه‌ی طرح لرزه‌ی ایران، ضرایب اهمیت سازه‌ها برای تأمین هدف عملکردی موردنظر به تدریج از مقادیر کم 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 قرار گرفته است.

۱.۶. سطح عملکرد سازه‌ها

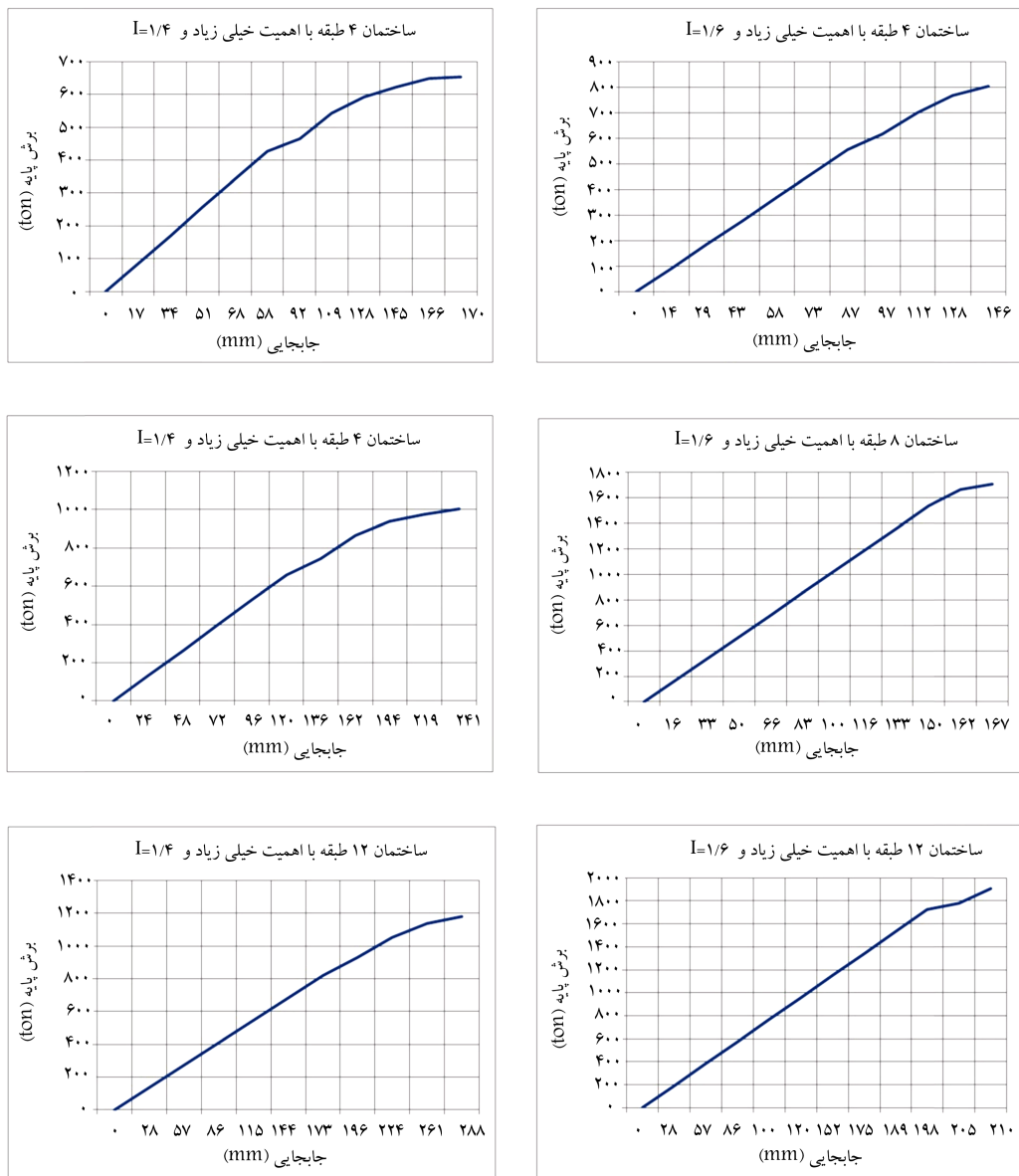
در جدول‌های ۱۶ الی ۱۹، وضعیت سطح عملکرد سازه‌ها برای مقادیر مختلف ضریب اهمیت نشان داده شده است. سازه‌ی ۱۲ طبقه با سطح اهمیت متوسط در مقدار ضریب اهمیت I = ۱٫۳ به سطح عملکرد مطلوب رسیده و مفاصل آن در محدوده‌ی ایمنی جانی (LS) قرار گرفته است. سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با سطح اهمیت خیلی زیاد، در مقدار ضریب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

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،



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).

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 مشخص شده مطابق با استاندارد ۲۸۰۰ و ضرایب اهمیت افزایش‌یافته از طریق تحلیل استاتیکی غیرخطی و طراحی مجدد به دست 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 مشخص شده 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، به منظور بررسی سطح عملکرد سازه‌ها، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل نشان داده است که در مواردی سازه‌های طراحی شده 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. در واقع، در روش طراحی نیروی پیشنهاد شده 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 به دست آمده 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. به گونه‌ی بی‌کیفر 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، به نظر

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 طراحی شده 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 اعضا نشان می‌دهد که سازه‌های طراحی شده 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 غیراقتصادی شدن طرح خواهد شد. با عنایت به نتایج به دست آمده 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 وارد آمدن 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.

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

پانویس‌ها

1. Newmark and Hall
2. Vidic and Fajfar
3. displacement 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).

2. Federal Emergency Management Agency (FEMA), *FEMA-356: Prestandard and Commentary 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., *Earthquake Engineering*, Tehran, Dekhoda 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).