

بررسی حداقل درز انقطاع در سازه‌های قاب خمشی فولادی متوسط به روش آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی

علی نیکخو، استادیار، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران
مجید فرامرزی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران

چکیده

مقادیر به دست آمده از تحلیل غیرخطی دینامیکی نشان می‌دهد که در هر حالت قابل قبول نمی‌باشد. ولی نتایج تحلیل با روابط پیشنهادی *IBC2009* که در مقاله به آن اشاره شده بسیار به هم نزدیک بوده، بنابراین برای تعیین حداقل درز انقطاع بین دو سازه قاب خمشی فولادی متوسط استفاده از روابط *IBC2009* توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تحلیل دینامیکی غیرخطی، درز انقطاع، استاندارد ۲۸۰۰، قاب خمشی متوسط، آیین‌نامه *IBC2009*

۱- مقدمه

در خلال زلزله سال ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی از مجموع ۳۲۰ ساختمانی که تخریب شدند حدود ۱۵ درصد تخریب‌ها به دلیل پدیده ضربه دو ساختمان مجاور هم بود. در این میان ۷۹ درصد از ساختمانها تحت اثر نیروی ضربه دچار تخریب معماری شدند. بنابراین ارائه راهکارهایی برای جلوگیری از اثر ضربه ساختمانها به یکدیگر مطرح شد که یکی از ایمن‌ترین، ساده‌ترین و اجرایی‌ترین کارها رعایت حداقل درز انقطاع لازم می‌باشد، لذا دانستن مقدار این فاصله و ارائه جداول و اعداد و ارقامی در آیین‌نامه‌ها برای عموم سازه‌ها به صورت قابل استفاده و بیان ساده همواره مورد نظر بوده است.

بعضی از روشهای پیشنهادی برای کاهش خسارات ناشی از ضربه زدن عبارتند از:

- ۱- قرار دادن فاصله مناسب برای ساختمانهای مجاور هم تا از ضربه زدن ساختمانهای جلوگیری شود؛
- ۲- همتراز بودن سقفهای دو ساختمان مجاور؛
- ۳- جاگذاری مصالح جذب کننده انرژی بین دو ساختمان؛
- ۴- طراحی ویژه با قرار دادن سیستم‌های مقاوم- عمود

یکی از خسارات ناشی از زلزله، ضربه دو سازه مجاور هم با فاصله ناکافی است. از ایمن‌ترین و آسانترین راههای مقابله با پدیده ضربه رعایت حداقل فاصله جانبی لازم است. در پژوهش حاضر، مقدار فاصله لازم بین سازه‌های فولادی قاب خمشی متوسط برای مقابله با پدیده ضربه مورد بحث و ارزیابی قرار می‌گیرد. برای برآورد حداقل فاصله مجاز لازم بین دو سازه مجاور نیاز است که از تغییرمکانهای غیرخطی سازه آگاهی داشته باشیم، لذا برای این منظور با استفاده از تحلیل غیرخطی دینامیکی تاریخچه زمانی به کمک نرم‌افزار *SAP* مقادیر فوق را باید به دست آورد. این کار برای سازه‌های مورد نظر (مدل‌های سه، شش، نه، دوازده و پانزده طبقه) انجام می‌شود، لازم به ذکر است سازه مورد مطالعه در پلان و در ارتفاع منظم بوده و اثر پیچش در نظر گرفته نشده است. برای تحلیل از ده رکورد زلزله استفاده شده و در انتها از پاسخ سازه‌ها میانگین‌گیری می‌شود. برای به دست آوردن حداقل درز انقطاع سازه‌هایی با تعداد طبقات مختلف در کنار یکدیگر قرار داده می‌شود و سپس این فاصله به روش *SRSS*^۲ به دست می‌آید و در انتها اعداد به دست آمده با مقادیر پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش سوم) و *IBC 2009* مقایسه می‌شود. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مقادیر پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ برای تعیین حداقل درز انقطاع به روش یک صدم ارتفاع و یا به روش تغییرمکان جانبی نسبی آن طبقه ضریب رفتار ساختمان صحیح نبوده و نیاز به اصلاح دارد. بخش دیگری از نمودارها که با کلمه *GAP* مشخص و به صورت حاصلضرب تغییرمکان جانبی (مراکز جرم) در ضریب رفتار سازه تعریف شده است، هر چند از دو روش پیشنهادی استاندارد ۲۸۰۰ اختلاف کمتری را با

اعضاء، تأثیر میرایی، اندازه دهانه بین دو سازه را بررسی نمود. جنگ و همکاران [۶] درز انقطاع مورد نیاز بین دو ساختمان را به کمک روش تفاضل طیفی تعیین کردند. فرض رفتار خطی در تحلیل ایشان در نظر گرفته شده و روش مذکور را با روش تاریخچه زمانی مقایسه کردند. همچنین در چند سال اخیر نیز تحقیقاتی توسط جانکوسکی [۷] (آسیب ناشی از ضربات بین دو ساختمان سه طبقه با خواص دینامیکی بسیار متفاوت) و لیز-گارسیا و سونگ [۸-۹] تحقیقاتی برای تعیین فاصله جدایی لازم برای جلوگیری از آسیب زلزله در بین سازه‌های خطی و غیرخطی هیسترتیک انجام دادند. در سالهای اخیر نیز در ایران نیز چندین پایان‌نامه و مقاله در کنفرانسهای دانشجویی و بین‌المللی ارائه شده است که کافی نمی‌باشد. به طور نمونه، در اکثر این تحقیقات تحلیل پوش‌آور صورت گرفته و به ندرت تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در آنها مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰].

۲- شتابنگاشتهای مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش از ده شتابنگاشت حوزه دور ثبت شده بر روی خاک نوع سوم بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۲] ایران با بزرگی بیش از شش ریشتر استفاده شده است. شتابنگاشتهای از سایت پییر [۱۱] گرفته شده است، جدول (۱).

۳- معرفی ساختمانهای مورد مطالعه

سیستم‌های سازه‌ای انتخاب شده، ساختمانهای قاب خمشی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ طبقه می‌باشند. ارتفاع تمام طبقات برابر ۳/۲ متر و ابعاد پلان ۲۰×۱۶ متر در نظر گرفته شده است. تعداد دهانه‌ها در هر دو جهت چهار عدد می‌باشد. تمامی ساختمانها به منظور بررسی درز انقطاع ابتدا به کمک نرم‌افزار ETABS، تحلیل خطی و طراحی صورت گرفته است و پس از اتمام این مرحله تمامی مدل‌ها در نرم‌افزار SAP مجدد مدل شده و قبل از تعریف مفاصل پلاستیک و تحلیل دینامیکی غیرخطی، برای صحت مدلسازی در SAP برش پایه و پریودهای طبیعی و ... سازه در هر دو نرم‌افزار چک شده است، پس از این مرحله مفاصل

بر باره برای اطمینان از عدم خسارت سازه تحت اثر ضربه؛

۵- اتصال ساختمانهای مجاور هم برای اطمینان از عملکرد یکپارچه ساختمانها در مقابل نیروهای وارد.

هدف اصلی از این مطالعه تعیین حداقل فاصله بین سازه‌های خمشی فولادی متوسط جهت مقابله با پدیده ضربه به روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی و مقایسه نتایج با آیین‌نامه‌های IBC2009 [۱] و استاندارد ۲۸۰۰ [۲] می‌باشد.

آناگنوستوپولس [۳] جزء اولین دانشمندانی است که در این زمینه به تحقیق و بررسی پرداخت. ایشان در سال ۱۹۸۸ با مدلسازی سیستم‌های ساختمانی چند درجه آزاد برشی در کنار هم به صورت زنجیروار استفاده کرد. به منظور بررسی اثرات تخریبی ناشی از نیروی ضربه و عوامل مؤثر بر آن از یک سیستم فنر-میراگر جهت مدلسازی نیروی ضربه بهره گرفت. عمده نتایج حاصل از تحقیق ایشان، بررسی اثر جرم، پریود سازه و ارتباط این دو پارامتر در بین دو سازه مجاور هم، موقعیت قرارگیری ساختمان (از این نظر که ساختمان در ابتدای زنجیره ساختمانها قرار گرفته یا در میان آنها)، و عدم برابری سختی و ارتفاع دو ساختمان کنار هم می‌باشد. وسترمو [۴] به منظور کاهش خسارتهای ناشی از نیروی ضربه دو ساختمان برشی مجاور هم را از طریق یک تیر اتصال^۳ به همدیگر متصل کرد تا به این طریق پاسخ تغییر مکانی دو ساختمان یکی شود. ایشان به این نتیجه رسید که هرچه ویژگیهای دینامیکی دو ساختمان مجاور هم نزدیک به هم باشد، وجود تیر اتصال سبب کاهش درز انقطاع مورد نیاز می‌گردد. البته نسبت سختی تیر اتصال به ستونی که تیر به آن متصل شده است نیز در تعیین این فاصله جداساز مؤثر است.

آناگنوستوپولس [۵] مجدداً در سال ۱۹۹۱ تأثیر نیروی ضربه را بر افزایش پاسخ نسبی دو ساختمان مجاور هم به چالش کشید. البته ایشان در مدل محاسباتی خود علاوه بر رفتار خطی، رفتار غیرخطی (دو خطی) را برای مدل خود در نظر گرفت. ایشان علاوه بر پارامترهایی که در تحقیق اولیه خود مورد بررسی قرار داد، اثر عواملی چون مقاومت گسیختگی

جدول (1): مشخصات شتابنگاشتهای استفاده شده در تحلیل‌ها.

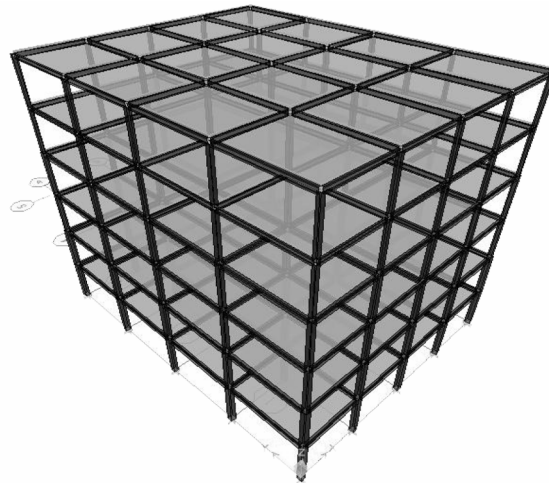
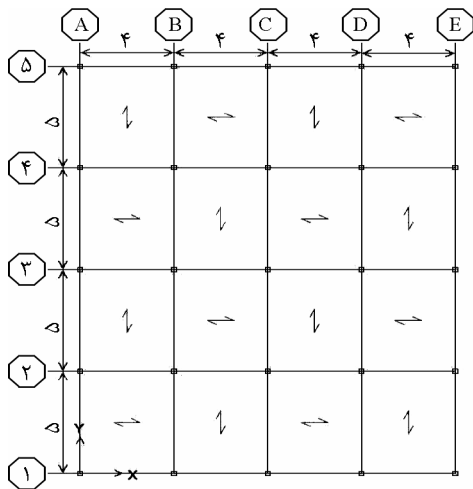
ردیف	شماره ردیف زلزله در سایت پیبر	نام زلزله	حداکثر شتاب زمین (g)	بزرگای زلزله	مدت زمان جنبش مؤثر (ثانیه)	فاصله از مرکز زلزله (کیلومتر)
۱	P0.170	۱-۲ والی امپریال	۰/۲۳۸	۶/۵	۵۱	۴۳/۶
۲	P0.170	۲-۲ والی امپریال	۰/۳۵۱	۶/۵	۵۰/۳۳	۴۳/۶
۳	P0.166	۱-۳ والی امپریال	۰/۲۷	۶/۵	۲۰/۰۴	۲۸/۷
۴	P0.166	۱-۳ والی امپریال	۰/۲۵۴	۶/۵	۲۲/۰۵	۲۸/۷
۵	P0.737	۱-لوماپرینا	۰/۴۱۷	۶/۹	۱۳/۸۴	۱۶/۱
۶	P0.737	۲-لوماپرینا	۰/۲۱۲	۶/۹	۱۴/۷۷	۱۶/۱
۷	P0.748	۱-۲ لوماپرینا	۰/۲۳۶	۶/۹	۱۰/۷۸۵	۶۴/۴
۸	P0.748	۲-۲ لوماپرینا	۰/۳۲۹	۶/۹	۱۱/۲۸	۶۴/۴
۹	P0.452	۱-مورگان هیل	۰/۲۲۴	۶/۲	۱۳/۲۱۵	۱۲/۸
۱۰	P0.452	۲-مورگان هیل	۰/۳۴۸	۶/۲	۱۲/۵۴۵	۱۲/۸
۱۱	P0.892	۱-نورثریچ	۰/۳۵۶	۶/۷	۱۲/۰۱	۱۵/۸
۱۲	P0.892	۲-نورثریچ	۰/۴۲	۶/۷	۱۰/۴	۱۵/۸
۱۳	P0.904	۱-۲ نورثریچ	۰/۴۶۵	۶/۷	۱۰/۶۶	۳۰/۹
۱۴	P0.904	۲-۲ نورثریچ	۰/۳۲۱	۶/۷	۱۲/۳۶	۳۰/۹
۱۵	P0.914	۱-۳ نورثریچ	۰/۴۷۴	۶/۷	۱۱/۵۳	۳۰
۱۶	P0.914	۲-۳ نورثریچ	۰/۴۳۹	۶/۷	۸/۷۶	۳۰
۱۷	P0.052	۱-سان فرناندو	۰/۲۱	۶/۶	۱۰/۵۲	۲۱/۲
۱۸	P0.052	۲-سان فرناندو	۰/۱۷۴	۶/۶	۱۱/۱۶	۲۱/۲
۱۹	P0.651	۱-ناروز وایتر	۰/۲۷۷	۶/۰	۱۱/۲۲	۲۰/۹
۲۰	P0.651	۲-ناروز وایتر	۰/۱۷۸	۶/۰	۱۲	۲۰/۹

- بار مرده و زنده در تمامی طبقات به ترتیب برابر ۶۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است؛
- طبق استاندارد ۲۸۰۰ ایران درصد میزان بار زنده در محاسبه جرم سازه ۲۰ درصد در نظر گرفته شده است.
- ساختمانها با اهمیت متوسط در نظر گرفته شده‌اند، لذا ضریب اهمیت $I = 1$ فرض شده است؛
- خاک محل احداث از نوع III فرض شده است؛
- محل احداث منطقه با خطرپذیری خیلی زیاد فرض شده است، شتاب مبنای طرح برابر $0.35g$ می‌باشد؛
- سیستم سازه‌ای قاب خمشی فولادی متوسط در نظر گرفته شده است، لذا ضریب رفتار ۷ است.
- در تمامی مدل‌ها برای تحلیل از روش دینامیکی خطی استفاده شده است (همپایه کردن برش پایه و انتخاب تعداد مدل‌ها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده است)؛

پلاستیک به صورت دستی و شتابنگاشتهای مورد نظر به برنامه داده شده و تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شده است؛ و پاسخ حداکثر جابه‌جایی طبقات مختلف تحت رکوردهای مختلف به صورت میانگین گرفته شده و با نتایج استاندارد ۲۸۰۰ و *BCI2009* مقایسه شده است. در انتها خروجی‌ها از نرم افزار استخراج شده است.

۳-۱- فرضیات تحلیل و طراحی در نرم‌افزار ETABS

- کلیه فرضیات طراحی که بین مدل‌ها مشترک است به صورت زیر می‌باشد:
- نسخه *ETABS* مورد استفاده ۹.۷.۰ می‌باشد؛
- سازه‌ها به صورت سه بعدی مدل گردیده و سقف به صورت دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است. شکل پلان و جهت تیرریزی مطابق شکل (۱) است؛



شکل (1): اندازه دهانه در جهت X, Y و مدل سه بعدی ساختمان شش طبقه [۱۲].

که خروجی کار برای مدل‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ به ترتیب برابر ۰/۴۸، ۰/۷۳، ۰/۷۹، ۱/۰۸ و ۱/۱۵ به دست می‌آید. - در تعریف مفاصل پلاستیک و ارزیابی تیرها و ستونها از جداول FEMA356 [۱۳] استفاده شده است.

۴- ارزیابی و ارائه نتایج

در این بخش، به بررسی نتایج به دست آمده از تحلیل دینامیکی غیرخطی مدل‌های سه، شش، نه، دوازده و پانزده طبقه در دو جهت X و Y و مقایسه نتایج خروجی با استاندارد ۲۸۰۰ و IBC2009 پرداخته شده است. برای این بخش ابتدا حداکثر پاسخ تغییرمکان جانبی سازه‌ها تحت ده رکورد انتخاب شده گرفته شده و در انتها میانگین‌گیری شده است.

پس از میانگین‌گیری نتایج تغییرمکان جانبی، به این صورت عمل شده که ابتدا سازه سه طبقه ثابت فرض می‌شود و در کنار آن ساختمانهای سه، شش، نه، دوازده و پانزده طبقه آورده شده و با کمک روش SRSS حداقل درز انقطاع ساختمانها در کنار یکدیگر به دست می‌آید. سپس درز انقطاع محاسبه شده با استاندارد ۲۸۰۰ و IBC2009 مقایسه می‌شود.

برای سازه‌های شش، نه، دوازده و پانزده طبقه نیز به همین صورت عمل می‌گردد.

قبل از ارائه نتایج خروجی و مقایسه آنها با آیین‌نامه‌ها به چگونگی محاسبه درز انقطاع در استاندارد ۲۸۰۰ و IBC2009 پرداخته می‌شود:

- در تمامی مدل‌ها طراحی بر اساس آیین‌نامه مبحث دهم مقررات ملی ساختمان چاپ سال ۱۳۸۷ و استاندارد ۲۸۰۰ صورت گرفته است.
- مشخصات فولاد مصرفی برابر با $F_v = 2400 \text{ kg/m}^2$ و $F_u = 3700 \text{ kg/m}^2$ در نظر گرفته شده است.

محاسبه ضریب C برای تمامی مدل‌ها به صورت زیر به دست آمده است (ضریب C در تحلیل دینامیکی برای همپایه کردن برش پایه‌ها در تحلیل خطی کاربرد دارد).

ساختمان سه طبقه $(H = 9.6 \text{ m}) \Rightarrow C = 0.1375$
ساختمان شش طبقه $(H = 19.2 \text{ m}) \Rightarrow C = 0.115$
ساختمان نه طبقه $(H = 28.8 \text{ m}) \Rightarrow C = 0.0939$
ساختمان دوازده طبقه $(H = 38.4 \text{ m}) \Rightarrow C = 0.081$
ساختمان پانزده طبقه $(H = 48 \text{ m}) \Rightarrow C = 0.0725$

۳-۲- تعریف مفاصل پلاستیک و فرضیات تحلیل غیرخطی در نرم‌افزار SAP

تعریف مفاصل پلاستیک و فرضیات تحلیل غیرخطی در نرم‌افزار SAP عبارتند از:

- نسخه SAP مورد استفاده ۱۴.۲.۰ می‌باشد؛
- مشخصات فولاد در تحلیل غیرخطی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:

$$F_v = 2400 \text{ kg/m}^2, \quad F_u = 3700 \text{ kg/m}^2$$

$$F_{ye} = 2640 \text{ kg/m}^2, \quad F_{ue} = 4070 \text{ kg/m}^2$$

- ضریب مقیاس تعیین شده به روش آیین‌نامه ۲۸۰۰ بایستی در شتابنگاشت مقیاس شده به حداکثر خود ضرب شود

۴-۱- محاسبه حداقل درز انقطاع ساختمان در

استاندارد ۲۸۰۰

بند ۱-۶-۳ از استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم آیین‌نامه بیان می‌کند که "حداقل عرض درز انقطاع در هر طبقه برابر یک صدم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه می‌باشد. برای تأمین این منظور فاصله هر طبقه ساختمان از مرز زمین مجاور حداقل باید برابر پنج هزارم ارتفاع آن طبقه از روی تراز پایه باشد در ساختمانهای "با اهمیت خیلی زیاد" و "زیاد" و یا در سایر ساختمانهای با هشت طبقه و بیشتر این عرض در هر طبقه نباید کمتر از حاصلضرب تغییرمکان جانبی نسبی طرح آن طبقه ضربدر ضریب رفتار R در نظر گرفته شود. هر یک از ساختمانهای مجاور یکدیگر، ملزم به رعایت فاصله‌ای معادل حاصلضرب $0.5R$ در تغییرمکان جانبی نسبی طرح آن ساختمان در هر طبقه می‌باشد."

تعریف تغییرمکان جانبی نسبی طبقات نیز در بند ۲-۵-۱ بیان شده است که "تغییرمکان جانبی نسبی هر طبقه اختلاف تغییرمکانهای مراکز جرم کف در بالا و پایین آن طبقه می‌باشد". در بند بعدی بیان می‌کند "تغییرمکان جانبی نسبی هر طبقه تغییرمکانی است که با فرض رفتار خطی سازه زیر اثر جانبی زلزله تعیین شده است که در زلزله طرح به عنوان "تغییرمکان جانبی نسبی طرح" نامیده می‌شود.

علت محاسبه درز انقطاع در ساختمانهای هشت طبقه و بیشتر و در ساختمان با اهمیت زیاد و خیلی زیاد با هر تعداد طبقه به روش بیان شده در آیین‌نامه به دلیل زیر می‌باشد:

$$\Delta_M = 0.7R\Delta_w \quad (1)$$

Δ_M : تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح در طبقه؛

Δ_w : تغییرمکان جانبی نسبی طرح در طبقه؛

R : ضریب رفتار سازه؛

و با فرض اینکه دو ساختمان مجاور هم با شماره‌های یک و دو نامگذاری شود، داریم:

$$\text{درز انقطاع} = \sqrt{\Delta_{M_1}^2 + \Delta_{M_2}^2} \quad (2)$$

$$\text{درز انقطاع} = \sqrt{(0.7R\Delta_w)^2 + (0.7R\Delta_w)^2} \cong R\Delta_w \quad (3)$$

Δ_{M_1} : تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح در طبقه در

ساختمان شماره یک؛

Δ_{M_2} : تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح در طبقه در

ساختمان شماره دو.

حال اگر درز انقطاع حداکثر را با d_{\max} نشان دهیم با فرض ارتفاع طبقات یکسان داریم:

$$T < 0.7 \rightarrow d_{\max} = \sqrt{(0.025h)^2 + (0.025h)^2} \quad (4)$$

$$T \geq 0.7 \rightarrow d_{\max} = \sqrt{(0.02h)^2 + (0.02h)^2} \quad (5)$$

که در اینجا با توجه به ارتفاع طبقات $h = 320$ سانتیمتر داریم:

$$T < 0.7 \rightarrow d_{\max} = \sqrt{8^2 + 8^2} = 11.3 \text{ cm}$$

$$T \geq 0.7 \rightarrow d_{\max} = \sqrt{6.4^2 + 6.4^2} = 9.05 \text{ cm}$$

بر طبق بحث فوق مشاهده می‌شود موضوع حداقل درز انقطاع در استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم خالی از اشکال نیست.

در قسمت مقایسه نتایج خروجی برنامه با استاندارد ۲۸۰۰ سه حالت زیر در نظر گرفته شده است:

- ۱- حالتی که با عنوان $SRSS - 2800$ بیان شده است که مطرح کننده مباحث بالا می‌باشد.
- ۲- حالتی که با عنوان $0.1H$ بیان شده است که با فرض یک صدم ارتفاع درز انقطاع محاسبه شده و به تعداد طبقات محدود نشده است.
- ۳- حالتی نیز با عنوان GAP در نمودارها بیان شده است که به صورت زیر محاسبه شده است. با فرض اینکه احتمالاً در بند ۳-۶-۱ آیین‌نامه ۲۸۰۰ منظور از محاسبه حداقل درز انقطاع به صورت حاصلضرب تغییرمکان جانبی (مراکز جرم) در ضریب رفتار سازه باشد، این حالت نیز با نام GAP آورده شده است.

۴-۲- محاسبه حداقل درز انقطاع ساختمان در

IBC2009

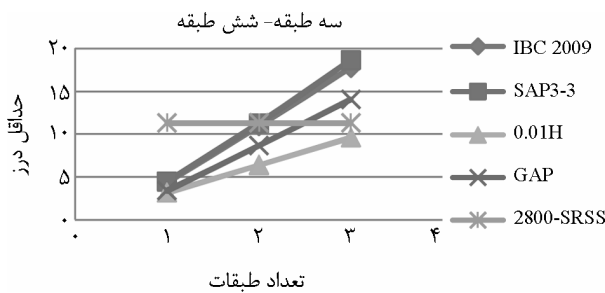
آیین‌نامه $IBC2009$ در بند ۱۶۱۳.۶.۷ حداقل درز انقطاع را به صورت زیر محاسبه می‌کند: اگر داشته باشیم:

$$\delta_M = \frac{C_d \delta_{\max}}{1} \quad (6)$$

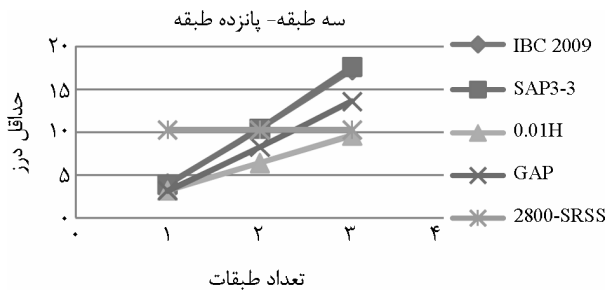
حداقل درز انقطاع از رابطه (۷) به دست می‌آید:

و طبق نمودارهای (۲) تا (۹) مشاهده می‌شود که هر چه تعداد طبقات بالاتر می‌رود استفاده از این روش به دلیل عدم پوشش رفتار غیرخطی سازه با نتایج حاصل از آیین‌نامه *IBC2009* و مقادیر به دست آمده از تحلیل غیرخطی دینامیکی اختلاف بیشتری پیدا می‌کند.

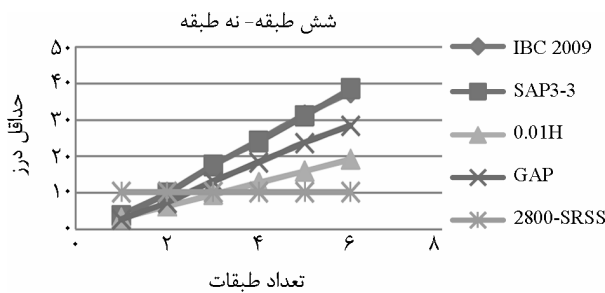
همان طور که در نمودار (۱) نیز مشاهده می‌شود، محاسبه حداقل درز انقطاع به روش *2800-SRSS* (به بخش ۴-۱-۳ مراجعه شود) مقادیر نامناسبی را نشان می‌دهد که شاید علت این موضوع وجود عبارت "نسبی" در بند ۱-۶-۳ استاندارد



نمودار (۲): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط *IBC2009* و *۲۸۰۰* برای ساختمان سه و شش طبقه در جهت *X*.



نمودار (۳): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط *IBC2009* و *۲۸۰۰* برای ساختمان سه و پانزده طبقه در جهت *X*.



نمودار (۴): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط *IBC2009* و *۲۸۰۰* برای ساختمان شش و نه طبقه در جهت *X*.

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (7)$$

C_d : ضریبی تشدید است که از جدول ۱۲-۲-۱ آیین-نامه *ASCE7* به دست می‌آید [۱۴].

δ_{max} : حداکثر تغییر مکان طبقه *x* مطابق تعریف بخش

۱۲.۸.۴.۳ آیین‌نامه *ASCE7* می‌باشد.

I: ضریب اهمیت ساختمان مطابق بخش ۱۱.۵.۱ آیین-

نامه *ASCE7*.

که δ_{max} با کمک نرم‌افزار به دست آمده، ضریب C_d برای ساختمان قاب خمشی متوسط برابر ۴ و *I* ضریب اهمیت ساختمان مسکونی برابر یک به دست می‌آید.

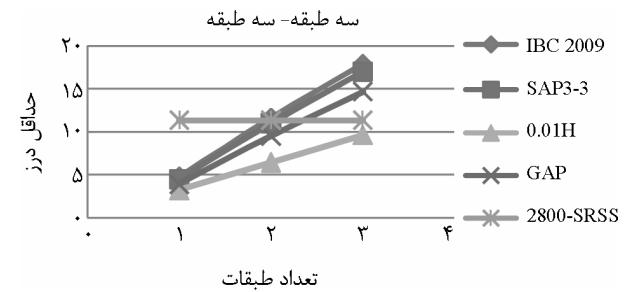
در قسمت مقایسه نتایج خروجی از تحلیل با آیین‌نامه

IBC2009، این بخش در نمودارها با عنوان *IBC2009* نامگذاری شده است.

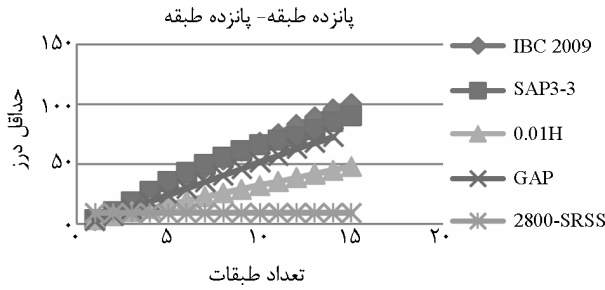
۳-۴- مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط استاندارد *۲۸۰۰* و *IBC2009*

در ادامه، چند نمونه از مقایسه حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط استاندارد *۲۸۰۰* و *IBC2009* در قالب نمودار آورده شده است.

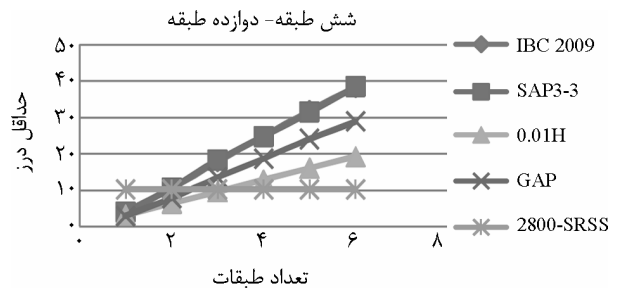
همان طور که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود، حداقل درز انقطاع دو ساختمان سه طبقه مجاور هم طبق *IBC2009* و مقادیر به دست آمده از تحلیل غیرخطی دینامیکی بسیار به هم نزدیک می‌باشد (این موضوع در نمودارهای (۲) تا (۹) نیز مشاهده می‌شود)، ولی محاسبه حداقل درز انقطاع به روش یک صدم ارتفاع که در استاندارد *۲۸۰۰* بیان شده است در مقایسه با دو حالت اول مقادیر کمتری را به دست می‌آورد



نمودار (۱): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط *IBC2009* و *۲۸۰۰* برای ساختمان سه و سه طبقه در جهت *X*.



نمودار (۹): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط ۲۸۰۰ و IBC2009 برای ساختمان پانزده و پانزده طبقه در جهت X.

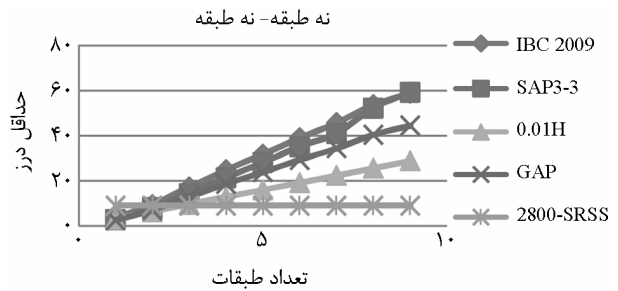


نمودار (۵): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط ۲۸۰۰ و IBC2009 برای ساختمان شش و دوازده طبقه در جهت X.

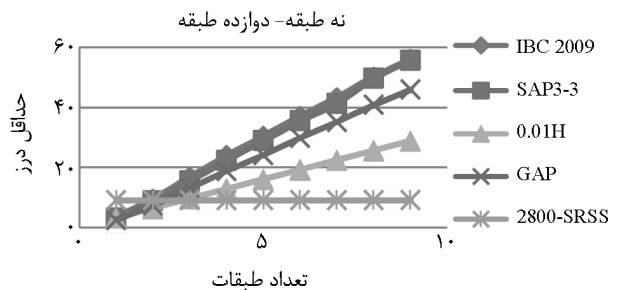
۲۸۰۰ باشد. بخش دیگری از نمودار که با کلمه GAP مشخص شده است، (GAP به صورت حاصلضرب تغییرمکان جانبی (مراکز جرم) در ضریب رفتار سازه تعریف شده است، مراجعه شود به بخش ۴-۱) نیز هر چند از دو روش ۰/۰۱ ارتفاع و 2800-SRSS نتایج نزدیکتری را به نتایج آیین‌نامه IBC2009 و مقادیر به دست آمده از تحلیل غیرخطی دینامیکی نشان می‌دهد؛ ولی به هر حال قابل قبول نمی‌باشد.

در ذیل چند نمونه مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط ۲۸۰۰ و IBC2009 آورده شده که به طور مشابه قابل بحث و تفسیر است. در جهت دیگر (Y) نیز به دلیل مشابهت از آوردن نتایج آن خودداری شده است.

به طور خلاصه، آنچه در نمودارها مشاهده می‌شود نتایج حاصل از تحلیل با آیین‌نامه IBC2009 بسیار نزدیک بوده و استفاده از روابط استاندارد ۲۸۰۰ در تمامی موارد در خلاف جهت اطمینان است.



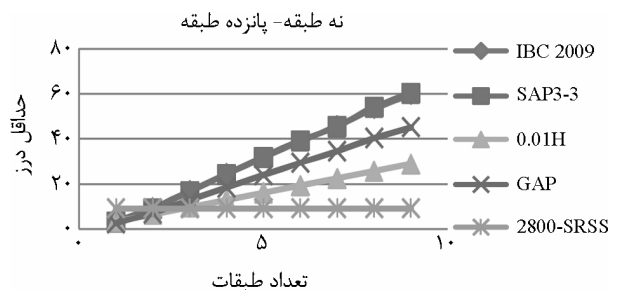
نمودار (۶): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط ۲۸۰۰ و IBC2009 برای ساختمان نه و نه طبقه در جهت X.



نمودار (۷): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط ۲۸۰۰ و IBC2009 برای ساختمان نه و دوازده طبقه در جهت X.

۴-۴- مقایسه حداقل درز انقطاع آیین‌نامه IBC2009 با نتایج حاصل از تحلیل برای ساختمانهای مجاور هم با تعداد طبقات مساوی

همان طور که در نمودارهای (۱۰) و (۱۱) مشاهده می‌شود، بین ساختمانهای با تعداد طبقات مساوی در هر دو جهت X و Y در ساختمانهای سه، نه و دوازده خطای بسیار کم و برای سازه‌های شش و پانزده طبقه خطایی در حدود ۱۰ درصد ملاحظه می‌شود.



نمودار (۸): مقایسه نتایج حداقل درز انقطاع حاصل از تحلیل با ضوابط ۲۸۰۰ و IBC2009 برای ساختمان نه و پانزده طبقه در جهت X.

استاندارد ۲۸۰۰ "تغییر مکان جانبی نسبی آن طبقه ضربدر ضریب رفتار ساختمان" صحیح نبوده و نیاز به اصلاح دارد.

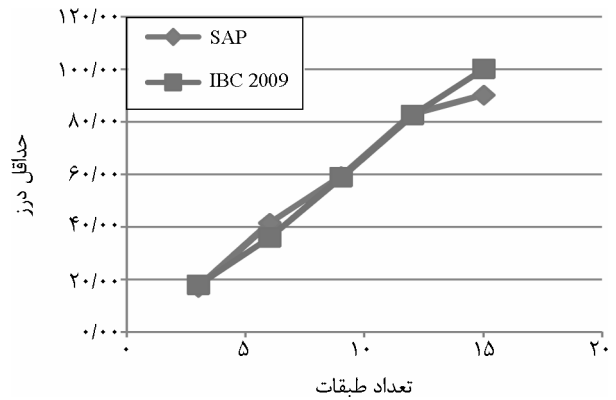
- در محاسبه درز انقطاع ساختمان بایستی تغییر مکان جانبی (کلی) ساختمان ملاک روابط آیین نامه ای قرار گیرد، نه تغییر مکان جانبی نسبی آن طبقه.

- با توجه به نزدیکی پاسخهای حاصل از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی با نتایج آیین نامه IBC2009، در ساختمانهای قاب خمشی متوسط فولادی استفاده از روابط IBC2009 برای حداقل درز انقطاع توصیه می شود (به بخش ۴-۲ مراجعه شود).

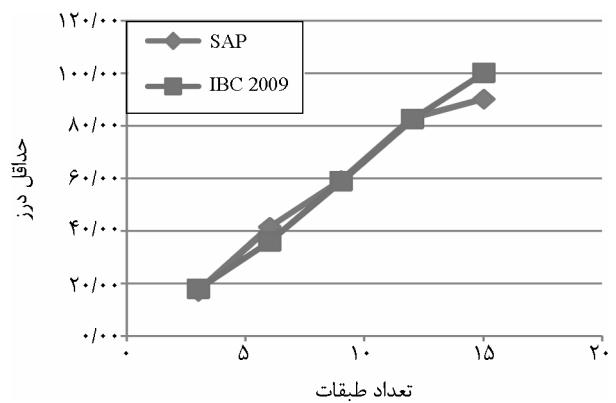
در انتها برای کارهای آینده بررسی حداقل فاصله مورد نیاز بین سازه های فولادی دارای سیستم های مهاربندی مختلف و همچنین سازه های بتنی و مصالح بنایی و غیره ارائه جدولی کامل در این رابطه پیشنهاد می گردد. همچنین حداقل فاصله لازم بین ساختمانهای نامنظم، اثر زلزله های حوزه های نزدیک، اثر پیچش تصادفی، تأثیر نوع خاک، اثر حرکات زمین (حرکات گهواره ای) و ... در ادامه بایستی مورد بررسی قرار گیرد.

۶- مراجع

1. IBC2009 (2009). International Building Code.
۲. آیین نامه طرح ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۸۴).
3. Anagnostopoulos, S.A. (1988). Pounding of buildings in series during earthquakes, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **16**, 443-456.
4. Westermo, B.D. (1989). The dynamics of inter-structural connection to prevent pounding, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **18**, 687-699.
5. Anagnostopoulos, S.A. and Spiliopoulos, K.V (1991). An investigation of earth quake induced pounding between adjacent building, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **21**, 289-302.



نمودار (۱۰): مقایسه حداقل درز انقطاع آیین نامه IBC2009 با نتایج حاصل از تحلیل برای ساختمانهای مجاور هم با تعداد طبقات مساوی در جهت X.



نمودار (۱۱): مقایسه حداقل درز انقطاع آیین نامه IBC2009 با نتایج حاصل از تحلیل برای ساختمانهای مجاور هم با تعداد طبقات مساوی در جهت Y.

۵- نتیجه گیری

هدف از این مطالعه، تعیین حداقل درز انقطاع بین سازه های خمشی فولادی متوسط (سازه های سه، شش، نه، دوازده و پانزده طبقه با ارتفاع هر طبقه ۳/۲ متر) به روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی و مقایسه این موضوع در آیین نامه های IBC2009 و استاندارد ۲۸۰۰ است. لازم به ذکر است در این مطالعه از اثر پیچش تصادفی صرف نظر شده است. نتایج حاصل از این مطالعه را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- فاصله بین دو ساختمان و (حداقل درز انقطاع) طبق استاندارد ۲۸۰۰ "یک صدم ارتفاع" صحیح نبوده و نیاز به اصلاح دارد.
- فاصله بین دو ساختمان (حداقل درز انقطاع) طبق

10. PEER.NGA Strong Ground Motion Database, <http://peer.berkeley.edu/NGA>
۱۱. حسینی‌هاشمی، بهرخ، بهنام‌فر، فرهاد و غریب‌زاده، سیدامیر (۱۳۸۴). ارزیابی عملکرد سازه‌های فولادی قاب خمشی با اهمیت زیاد با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال هشتم، شماره دوم و سوم.
11. FEMA356 (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Washington, D.C, USA.
12. ASCE 7-05 (2005). Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers (ASCE).
6. Jeng, V., Kasai, K., and Maison, B.F. (1992). A spectral difference method to estimate building separations to avoid pounding, *Earthquake Spectra*, **8**, 201-223.
7. Jankowski, R. (2008). Earthquake-induced pounding between equal heights buildings with substantially different dynamic properties, *Engineering Structures*, **30**, 2818-2829.
8. Lopez-Garcia, D. and Soong, T.T. (2009). Assessment of the separation necessary to prevent seismic pounding between linear structural systems, *Probabilistic Engineering Mechanics*, **24**, 210-223.
9. Lopez-Garcia, D. and Soong, T.T. (2009). Evolution of current criteria in predicting the necessary to prevent seismic pounding between nonlinear hysteretic structural systems, *Engineering Structures*, **31**, 1217-1229.

۷- پانویس

- ۱- Structural Analysis Program
- ۲- Square Root of Sum of Squares
- ۳- Link Beam

۱۰. غیاثوند، حسین (۱۳۸۵). بررسی حداقل فاصله مجاز بین ساختمانهای فولادی مقاوم‌سازی شده توسط بادبندهای فولادی جهت مقابله با پدیده ضربه، پایان‌نامه، دانشگاه بین‌المللی قزوین.