

رفتار غیرخطی ساختمان بتن مسلح مقاوم سازی شده با CFRP تحت خرابی پیشرونده به روش مسیر جایگزین

علی دلفانی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بندرعباس، بندرعباس، ایران

آرمین عظیمی نژاد*

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عبدالرضا سروقد مقدم

پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

Armin.aziminejad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۱۲/۱۱

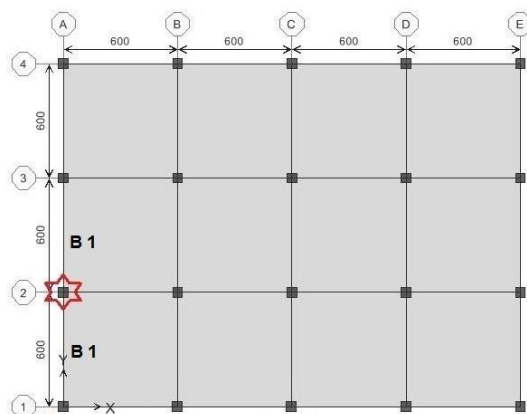
چکیده:

گسترش یک خرابی موضعی اولیه از یک عضو به عضو دیگر و در نتیجه تخریب کلی سازه یا بخش بزرگی از آن خرابی پیشرونده تعریف می شود. وقوع حوادث مختلفی از قبیل انفجار، آتش سوزی، برخورد وسایل نقلیه، خطا در محاسبات یا ساخت می تواند این نوع خسارت را در سازه ایجاد نماید. اگرچه احتمال وقوع تخریب پیشرونده در ساختمانهای معمولی قابل توجه نیست اما این پدیده می تواند در ساختمانهایی که در طبقه بندی با اهمیت خیلی زیاد قرار می گیرند تلفات انسانی، خسارات اقتصادی و تهدیدات امنیتی زیادی به همراه داشته باشد. در این تحقیق روش تحلیل خرابی پیشرونده مختصراً بیان شده و سپس رفتار یک سازه ۷ طبقه بتن مسلح متشکل از سیستم قاب خمشی ویژه که در برابر نیروهای لرزه ای طراحی شده است تحت تخریب پیشرونده مطابق با آیین نامه UFC-4-023-03 بر اساس روش مسیر جایگزین با استفاده از نرم افزار SAP مورد ارزیابی قرار می گیرد. مشاهده می شود که سازه قادر به تامین الزامات UFC نمی باشد. بنابراین تیرهای ضعیف با پلیمرهای مسلح به الیاف کربن CFRP در خمش تقویت شدند. نتایج تحلیل بیانگر این است که روش اتخاذ شده پیوستگی و مقاومت را در تیرهای مجاور ستون حذف شده به طور قابل توجهی بهبود بخشیده و توزیع مفاصل پلاستیک رضایت بخش است. در نتیجه خسارت بصورت موضعی باقی می ماند.

کلید واژگان: خرابی پیشرونده، مسیر جایگزین، بتن مسلح، FRP، تحلیل دینامیکی غیرخطی

۱- مقدمه

در این تحقیق قاب ساختمانی بتن مسلح ۷ طبقه متشکل از سیستم قاب خمشی ویژه (شکل پذیری زیاد) در نظر گرفته شده است. مقاومت مشخصه بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد ۴۴/۴ مگاپاسکال با ضریب پواسن ۰/۱۶۴، آرماتورهای طولی و عرضی از نوع AIII با مقاومت تسلیم ۴۱۳ مگاپاسکال و ضریب پواسن ۰/۳ می‌باشد. کاربری ساختمان از نوع امنیتی با اهمیت خیلی زیاد فرض شده و همچنین جهت طراحی در برابر زلزله در مطابقت با آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۶] در منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد واقع شده و تپ خاک نوع II می‌باشد. طول دهانه‌ها یکسان ۶ متر و ارتفاع طبقات نیز یکسان و برابر ۳/۲ متر می‌باشد. تیر ریزی سقف بصورت یکطرفه در راستای بعد کوچکتر ساختمان در پلان لحاظ گردیده است. تمامی اتصالات و تکیه‌گاه‌ها از نوع گیردار و سقف‌ها دیافراگم صلب است. پلان و نمای سه بعدی سازه در شکل ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. بارگذاری لرزه‌ای به روش تحلیل دینامیکی طیفی مطابق الزامات دستورالعمل ASCE7-10 انجام شده است. طراحی سازه نیز مطابق آیین‌نامه ACI318-08 انجام شده و الزامات قاب خمشی ویژه نیز کنترل گردیده است.



شکل ۱- پلان سازه

توجه محققین به این پدیده پس از وقوع خرابی پیشرونده^۲ ناشی از انفجار گاز در ساختمان رونان پوینت^۳ در لندن در سال ۱۹۶۸ جلب شد و با وقوع حملات تروریستی در ساختمان آلفرد پی موراه^۴ در سال ۱۹۹۵ و برج های تجارت جهانی^۵ در سال ۲۰۰۱ در ایالات متحده آمریکا، تحقیقات در این زمینه گسترش فراوانی پیدا کرد و توسعه روشهای تحلیلی برای ارزیابی پتانسیل خرابی پیشرونده در سازه‌های موجود یا جدید شکل گرفت. هر گونه ضعف در طراحی یا اجرای المان‌های سازه‌ای نیز ممکن است باعث بوجود آمدن پدیده خرابی پیشرونده در سازه‌ها حین بارگذاری انفجار و یا لرزه‌ای گردد.

روشهای نیروی کلافی^۶، مسیرجایگزین^۷ و افزایش مقاومت موضعی^۸ بعنوان سه روش اصلی در تحلیل و طراحی خرابی پیشرونده بکار می‌روند. [۱]. آیین‌نامه ASCE7 [۲] دو شیوه جامع را برای کاهش خرابی پیشرونده ارائه می‌دهد: روش طراحی غیرمستقیم و روش طراحی مستقیم.

در روش طراحی غیر مستقیم مقاومت در برابر تخریب پیشرونده بصورت غیر صریح و با ایجاد حداقل سطحی از مقاومت، پیوستگی و شکل پذیری تامین می‌شود که خود شامل روش نیروی کلافی (TF) است. در روش طراحی مستقیم به مقاومت در برابر تخریب پیشرونده در طول مراحل طراحی توجه می‌شود و شامل ملاحظات صریح مقاومتی در طی فرآیند طراحی است و خود شامل روشهای مسیرجایگزین (AP) و افزایش مقاومت موضعی (ELR) می‌باشد.

به منظور بررسی اهداف مطرح شده، نمونه‌ای از قاب خمشی بتن مسلح ویژه ۷ طبقه برای زلزله مطابق با دستورالعمل ASCE7-10 به روش تحلیل دینامیکی طیفی و آیین‌نامه ACI318-08 [۳] بارگذاری لرزه‌ای و به کمک نرم‌افزار ETABS [۴] طراحی شده است. سپس تحلیل خرابی پیشرونده با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی و روش مسیر بار جایگزین مطابق آیین‌نامه UFC4-023-03 [۱] به کمک نرم‌افزار SAP [۵] انجام شده است. در نهایت با مقایسه نتایج روند توزیع مفاصل پلاستیک در المان‌های سازه و رفتار سازه طراحی شده در سطوح عملکرد با معیارهای پذیرش UFC آسیب پذیری سازه ارزیابی می‌گردد. مطابق UFC چنانچه سازه معیارهای پذیرش آیین‌نامه را ارضا نکند می‌بایست مجدداً طراحی شده یا مقاوم‌سازی شود [۱].

۲- مشخصات سازه

⁶ Tie force

⁷ Alternate path

⁸ Enhanced local resistance

² Progressive collapse

³ Ronan point

⁴ Alfred P. Murrah

⁵ World Trade Centers

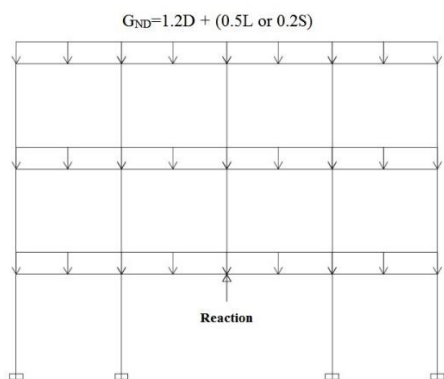
در ارتفاع ساختمان و در طبقه زیر بام در تحلیل‌های جداگانه حذف شده‌اند. حذف ستون باید به صورت آنی باشد و در مدت زمانی کمتر از ۰/۱ زمان تناوب مربوط به مد پاسخ سازه برای نوسان عمودی دهانه‌های بالایی ستون حذف شده صورت می‌گیرد (که از مدل تحلیلی با حذف ستون بدست می‌آید). تحلیل باید تا زمان رسیدن به جابجایی ماکزیمم و یا وقوع یک چرخه از نوسان عمودی در محل حذف ستون ادامه یابد. طبق آیین‌نامه UFC ترکیب بار برای بار ثقیلی بصورت زیر است:

$$G_{ND} = 1.2D + (0.5L \text{ or } 0.2S) \quad (۱)$$

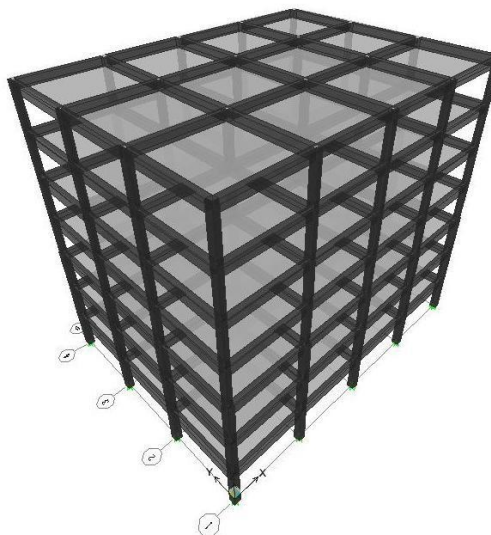
که در آن: G_{ND} بارهای ثقیلی برای تحلیل دینامیکی غیرخطی، D بار مرده شامل بار نما، L بار زنده شامل کاهش بار زنده و S بار برف است.

۵- نحوه حذف ستون در نرم‌افزار مطابق UFC

ابتدا نیروی محوری ستون مورد نظر از سازه خسارت ندیده تحت ترکیب بار ثقیلی عنوان شده از خروجی نرم‌افزار استخراج می‌شود و به عنوان نیروی عکس‌العمل ستون در جهت مخالف به گره اعمال می‌شود شکل ۳. در ادامه نیروی عکس‌العمل تحت تحلیل تاریخچه زمانی در مدت زمان ۰/۱ پریود ارتعاش دهانه بالایی ستون حذف شده، T (که از مدل تحلیلی با حذف ستون بدست می‌آید)، به مقدار صفر کاهش می‌باید که شرایط اثر دینامیکی و پدیده حذف ناگهانی ستون را ایجاد نماید. تحلیل تا مدت زمان ۲ ثانیه ادامه می‌یابد. نسبت میرایی در نظر گرفته شده نیز ۰/۰۵ است. شکل ۴.



شکل ۳- نیروی محوری ستون بعنوان عکس‌العمل گرهی



شکل ۲- نمای سه بعدی سازه

۳- روش مسیر بار جایگزین در ارزیابی رفتار سازه در برابر خرابی پیشرونده

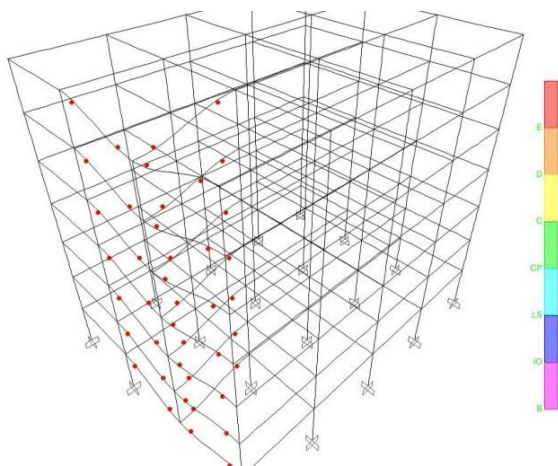
از جمله روشهای موجود در آیین‌نامه که از آنها می‌توان جهت ارزیابی سازه‌های بتن مسلح و سایر سازه‌ها استفاده کرد روش مسیر بار جایگزین می‌باشد. در این روش اثر بارهای غیر عادی بوسیله حذف المان سازه‌ای در نظر گرفته می‌شود. این روش به بررسی توانایی سازه برای پل زدن روی المان سازه‌ای حذف شده به جهت اینکه خسارت بصورت موضعی باقی بماند می‌پردازد. دستورالعمل UFC سه نوع تحلیل استاتیکی خطی، استاتیکی غیرخطی و دینامیکی غیرخطی را مجاز می‌داند. این روش المان‌ها را به اعضای اولیه و ثانویه تقسیم‌بندی می‌کند.

۴- بارگذاری خرابی پیشرونده مطابق UFC

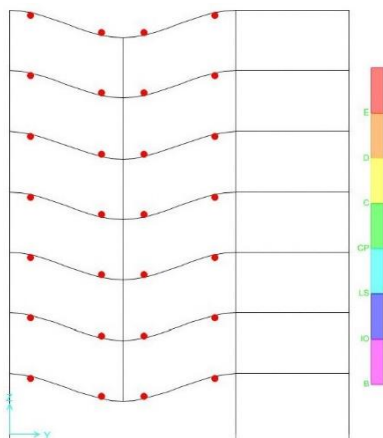
آیین‌نامه UFC اعمال بار ثقیلی را به کل سازه بسته به نوع تحلیل توصیه می‌نماید. روند بارگذاری در تحلیل دینامیکی غیرخطی بدین صورت انجام می‌شود که بار را از مقدار صفر شروع کرده و بطور یکنواخت و متناسب بار ثقیلی را به کل سازه اعمال می‌کنیم. این روند بارگذاری تا زمانی که سازه به تعادل برسد ادامه می‌یابد، در این مرحله ستون هنوز حذف نشده است. بعد از حصول تعادل برای سازه ستون حذف می‌شود که لازم به ذکر است موقعیت ستون‌ها برای حذف شدن طبق توصیه آیین‌نامه UFC در آنالیز به روش مسیر جایگزین انجام می‌شود. بنابراین در این تحقیق ستون کناری در بعد کوچکتر ساختمان (ستون A2 در شکل ۱) در طبقه همکف، طبقه میانی

توجه به این نکته ضروری است که سطح عملکرد قابل قبول برای سازه مطابق UFC سطح عملکرد ایمنی جانی^{۱۱} (LS) می‌باشد.

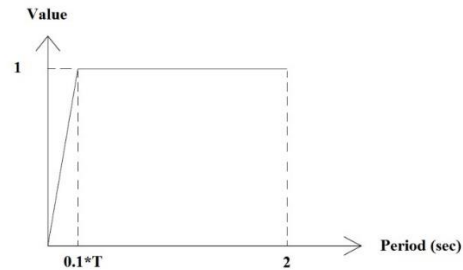
پس از تحلیل خرابی پیشرونده و حذف ستون، روند توزیع مفاصل پلاستیک در المان‌های سازه ارزیابی شده است که مشاهده گردید مفاصل پلاستیک در دوانتهای تیرهای متصل به گره ستون محذوف تشکیل می‌شود که از سطح عملکرد آستانه فروریزش^{۱۲} عبور کرده و رفتاری نامطلوب دارند (اشکال ۵ الی ۸).



شکل ۵- توزیع مفاصل پلاستیک در نمای سه بعدی - حذف ستون در طبقه همکف



شکل ۶- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- حذف ستون در طبقه همکف



شکل ۴- طیف تاریخیچه زمانی حذف ستون (نیروی عکس العمل)

۶- معرفی مفاصل پلاستیک و معیارهای پذیرش

آیین نامه UFC به نقل از آیین نامه ASCE41 [۷] تمامی عملکردها را با استفاده از منحنی نیرو- تغییرشکل عضو بعنوان عملکردهای کنترل شده با نیرو^۹ و عملکردهای کنترل شده با تغییر شکل^{۱۰} تقسیم‌بندی می‌کند. عملکردهای کنترل شده با تغییر شکل به این صورت بیان شده: المان‌های اولیه و ثانویه ظرفیت‌های تغییر شکل مورد انتظار بزرگتری از ماکزیمم تغییرشکل محاسبه شده ی مورد تقاضا داشته باشند. پارامترهای مدلسازی غیرخطی و معیارهای پذیرش تیر و ستون بتن مسلح به ترتیب از جدول ۴-۱ آیین نامه UFC و جدول ۶-۸ آیین نامه ASCE41 برگرفته شده است. شایان ذکر است معیار پذیرش تیرها زاویه چرخش مفاصل پلاستیک تشکیل شده در تیر می‌باشد.

برای عملکرد کنترل شده با نیرو در تمامی اجزای اولیه و ثانویه باید رابطه زیر برقرار باشد: [۱]

$$\Phi Q_{CL} \geq Q_{UF} \quad (2)$$

که در آن Φ ضریب کاهش مقاومت، Q_{CL} مقاومت حد پایین جز یا المان برای عملکرد کنترل شده با نیرو، Q_{UF} عملکرد کنترل شده با نیرو از مدل دینامیکی غیرخطی است.

۷- ارزیابی روند توزیع مفاصل پلاستیک با توجه به سطوح عملکرد

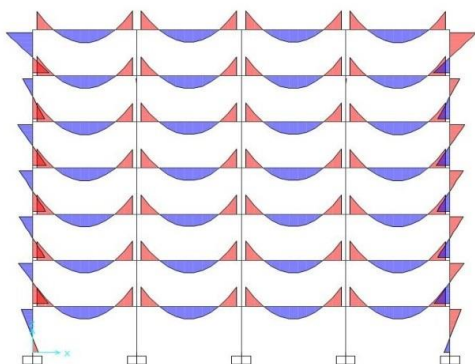
در این تحقیق جهت ارزیابی عملکرد کنترل شده توسط تغییر شکل مفصل خمشی M3 به تیرها و مفصل اندرکنش نیروی محوری-لنگر خمشی P-M2-M3 به ستون‌ها اختصاص داده شده است. در نرم‌افزار SAP می‌توان در هر مرحله از آنالیز غیرخطی وضعیت مفاصل را مشاهده کرد [۸].

¹¹ Life safety

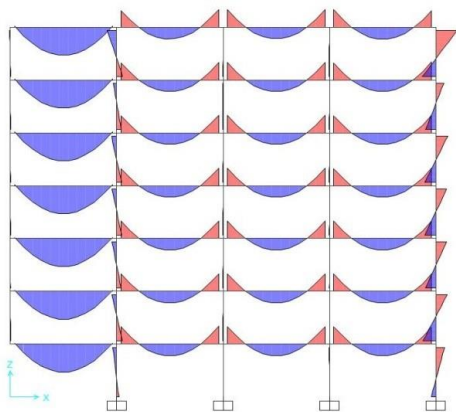
¹² Collapse prevention

⁹ Force-controlled actions

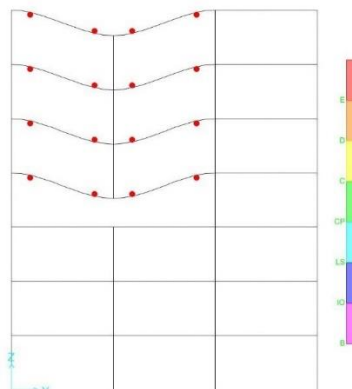
¹⁰ Deformation-controlled actions



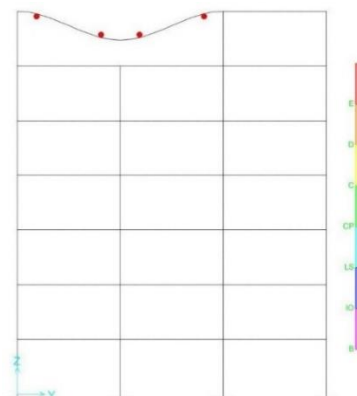
شکل ۹- لنگر خمشی قبل از حذف ستون در قاب ۲



شکل ۱۰- لنگر خمشی بعد از حذف ستون در قاب ۲



شکل ۷- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- حذف ستون در طبقه میانی در ارتفاع (طبقه چهارم)



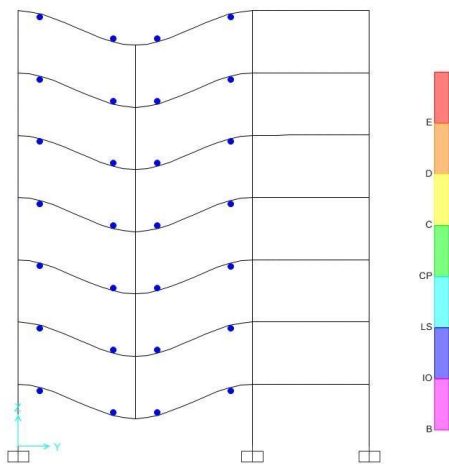
شکل ۸- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- حذف ستون در طبقه زیر بام

۸- مقاومسازی با استفاده از مصالح FRP و پاسخ سازه تقویت شده

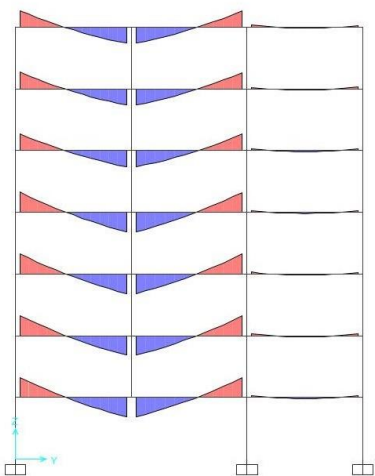
با مقایسه رفتار سازه با معیارهای پذیرش UFC مشاهده می‌شود که سازه قاب خمشی بتن مسلح ویژه طراحی شده برای زلزله تحت پدیده خرابی پیشرونده به شدت آسیب‌پذیر می‌باشد و معیارهای پذیرش را ارضا نمی‌کند لذا مطابق UFC سازه می‌بایست مقاومسازی شود. در سال‌های اخیر کاربرد FRP^{۱۳} برای مقاومسازی ساختمان‌های بتن مسلح افزایش قابل توجهی یافته است. چسباندن الیاف FRP به سطوح کششی تیر بطوریکه راستای الیاف موازی محور طولی عضو باشد باعث افزایش مقاومت خمشی تیر می‌گردد [۹]. بدین منظور تیرهای دهانه مجاور ستون حذف شده را بصورت نمونه برای ستون A2 در طبقه همکف با استفاده از دستورالعمل ACI440.2R-08 [۱۰] تقویت خمشی کرده و مجدداً طی تحلیل خرابی پیشرونده رفتار سازه مقاومسازی شده ارزیابی می‌گردد. روش کار بدین

ارزیابی لنگرخمشی تیرها تحت بارگذاری دینامیکی خرابی پیشرونده در نتیجه حذف ستون در طبقه همکف مطابق رابطه (۱) قبل و بعد از حذف شدن ستون در سازه نشان‌دهنده تحمیل شدن لنگر خمشی مازاد بر ظرفیت خمشی به تیرها بوده که منجر عدم پیوستگی در تیرها و خسارت در سازه گردیده است. شکل ۹ و ۱۰.

¹³ Fiber Reinforced Polymer



شکل ۱۲- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- بعد از مقاوم سازی



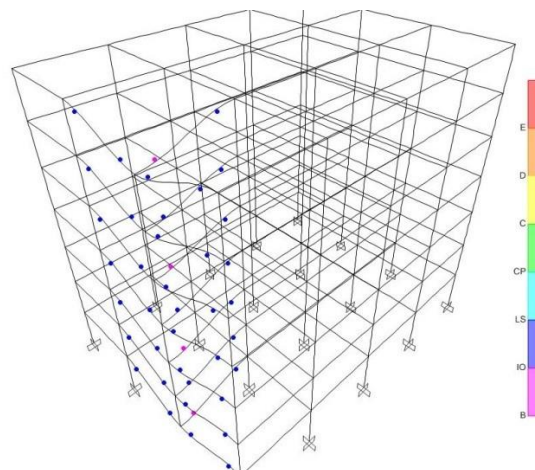
شکل ۱۳- لنگر خمشی بعد از مقاوم سازی در قاب A

صورت است که ابتدا در نرم افزار SAP لنگر مقاوم خمشی تیر را افزایش داده و طی آنالیز دینامیکی غیرخطی رفتار سازه بررسی می شود، این روند سعی و خطا تا رسیدن رفتار سازه به سطح عملکرد مطلوب ایمنی جانی انجام شده است. در جدول ۱ خلاصه نتایج طرح تقویت مشاهده می گردد.

جدول ۱- خلاصه نتایج طرح تقویت

مشخصات تیر بتن مسلح (cm)	مدول الاستیسیته FRP (Gpa)	لنگر مقاوم اولیه (N.m)	لنگر مقاوم نهایی (N.m)	تعداد لایه FRP مورد نیاز
B30X30 طبقه ۱ تا ۴	۲۳۴/۵	۵۱/۵۲	۲۰۵/۳۶	۱۲
B30X30 طبقه ۵ تا ۷	۲۳۴/۵	۴۴/۰۶	۱۷۳/۰۶	۸

با اعمال نتایج طرح تقویت و بازنگری تحلیل غیرخطی مشاهده گردید که مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سطح عملکرد ایمنی جانی قرار دارند و زاویه دوران مفصل پلاستیک بصورت نمونه در تیر B1 در طبقه اول (به شکل ۱ رجوع شود) از مقدار ۰/۸۷ قبل از تقویت به مقدار ۰/۰۶۱ برحسب رادیان بعد از مقاوم سازی بطور چشمگیری کاهش یافته است. لذا معیارهای پذیرش با توجه به آیین نامه UFC ارضا شده است (شکل ۱۱ و ۱۲). با افزایش ظرفیت خمشی تیرها و ارزیابی دیاگرام لنگر خمشی مشاهده شد که سازه توانایی بازتوزیع نیروها و پل زدن روی المان سازه ای حذف شده را دارد (شکل ۱۳ و ۱۴).



شکل ۱۱- توزیع مفاصل پلاستیک در نمای سه بعدی بعد از مقاوم سازی

۹- نتیجه گیری

۱- با حذف ستون میانی قاب A در طبقات توصیه شده در UFC مشاهده می شود مفاصل پلاستیک در دو انتهای تیرهای متصل به گره ستون محذوف تشکیل شده که از سطح عملکرد ایمنی جانی عبور کرده اند.

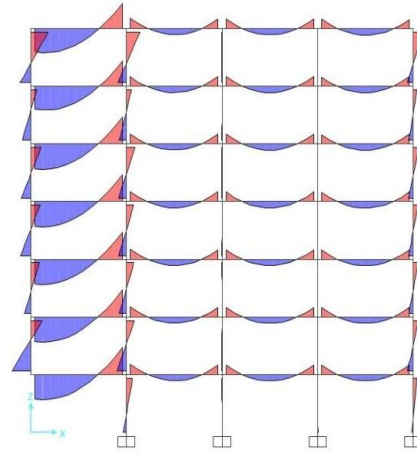
۲- با توجه به موارد فوق می توان نتیجه گرفت سازه قاب خمشی ویژه که برای زلزله طراحی شده و جوابگوی بارهای وارده بوده است در برابر پدیده خرابی پیشرونده به شدت آسیب پذیر می باشد بطوریکه اعمال شرایط غیرعادی به سازه بعد از حذف شدن ستون منجر به رفتار کاملاً نامطلوب در سازه می گردد.

۳- ارائه طرح تقویت و مقاوم سازی خمشی تیرهای سازه مطابق روش مسیر بار جایگزین نشان می دهد که ایجاد پیوستگی در المان های سازه ای توانایی سازه را برای پل زدن روی المان سازه ای حذف شده افزایش داده و موجب بهبود عملکرد سازه تحت پدیده خرابی پیشرونده می گردد و روشی کارآمد است.

۴- با مقایسه میزان دوران مفصل پلاستیک و همچنین جابه جایی قائم گره بالای ستون حذف شده قبل و بعد از تقویت می توان نتیجه گرفت که ارائه طرح تقویت زاویه چرخش مفصل پلاستیک و جابه جایی گره را به میزان قابل توجهی کاهش داده و تغییر مکان گره میرا و مطلوب می باشد.

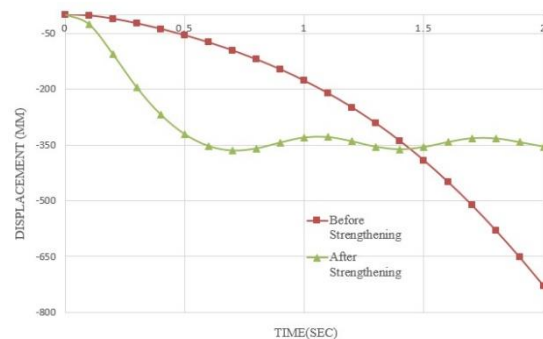
۵- با افزایش ظرفیت خمشی تیرها رفتار سازه در سطح عملکرد ایمنی جانی قرار میگیرد که رفتاری مطلوب است اما افزایش بیش از اندازه مورد نیاز در ظرفیت خمشی تیرها باعث تشکیل شدن مفصل پلاستیک در ستون ها شده که به دنبال آن ناپایداری موضعی ایجاد می گردد و باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در هنگام طراحی برای افزایش مقاومت المان های خاص باید اثرات متعاقب این کار را بر روی رفتار سازه تحت پدیده خرابی پیشرونده لحاظ نمود.

۶- دو هدف اصلی مقاوم سازی سازه های موجود دفع شکست موضعی و تامین توزیع مجدد بار به منظور جلوگیری از خرابی پیشرونده در کل سازه می باشد به عبارت دیگر تقویت موضعی برای جلوگیری از شکست اولیه و مقاوم سازی کلی برای محدود کردن خرابی مورد توجه است. بدین منظور ایجاد پیوستگی، شکل پذیری و مقاومت در اتصالات و المان های سازه ضروری می باشد.



شکل ۱۴- لنگر خمشی بعد از مقاوم سازی در قاب ۲

در شکل ۱۵ جابه جایی قائم گره بالای ستون حذف شده در طبقه همکف (میلی متر) بر حسب زمان (ثانیه) قبل و بعد از مقاوم سازی ترسیم گردیده که بیانگر رفتار مطلوب و اصلاح شده است. شایان ذکر است جا به جایی گره در محور قائم نمودار بعث نکات ترسیم برای سازه تقویت نشده در عدد ۰/۱ ضرب شده است.



شکل ۱۵- جابه جایی قائم گره ستون حذف شده قبل و بعد از مقاوم سازی

۱۰- مراجع

1. Unified Facilities Criteria, (UFC), UFC4-023-03, (2013), "Design of Building to Resist Progressive Collapse", US Department of Defense, DoD, Washington DC, USA.
2. American Society of Civil Engineers, (ASCE), (2010), SEI/ASCE7, "Minimum Design Loads for Buildings and other Structures", Washington DC, USA.
3. American Concrete Institute (ACI), (2008), ACI318, "Building Code Requirements for Structural Concrete", USA.
4. Computers and structures Inc., (CSI), "Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems", ETABS Software, Berkeley, California, USA.
5. Computers and structures Inc., (CSI), "Structural Analysis Program", SAP Software, Berkeley, California, USA.
۶. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۴)، "آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله،" استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، ۱۹-۹.
7. American Society of Civil Engineers, (ASCE), (2006), SEI/ASCE41, "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", Washington DC, USA.
۸. تقی‌نژاد، ر، (۱۳۸۹)، "طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش‌آور ETABS-SAP2000"، نشرکتب دانشگاهی، تهران، ۹۶-۶۱.
۹. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۵)، "راهنمای طراحی و ضوابط اجرایی بهسازی ساختمانهای بتنی موجود با استفاده از مصالح تقویتی FRP"، نشریه شماره ۳۴۵، ۷۱-۶۷.
10. American Concrete Institute (ACI), (2008), ACI440.2R, "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", USA

Nonlinear Behavior of a Reinforced Concrete (RC) Building Strengthened with CFRP Under Progressive Collapse Based on Alternate Path Method

Ali Delfani

Islamic Azad University, Bandar Abbas Branch, Bandar Abbas, Iran

Armin Aziminejad

Assistant Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

Abdolreza Sarvghad Moghadam

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

Armin.aziminejad@gmail.com

Abstract:

The spread of an initial local failure from element to element, eventually resulting in the collapse of an entire structure or a disproportionately large part of it is defined as progressive collapse. Occurrence of events such as blast, firing, vehicle collision and error in design calculations or construction could cause local damages to structures. Although prospect of progressive collapse is not considered in ordinary buildings, such incident could result in significant human casualties, economic losses, and security threats in buildings which fall into very high importance categories. In this paper progressive collapse analysis is briefly presented and then nonlinear behavior of a seven-story reinforced concrete building with special resisting moment frame designed against seismic loads is evaluated under progressive collapse in accordance with Unified Facilities Criteria, UFC4-023-03 code, based on alternate path method using SAP software. It is observed that the structure is unable to meet the requirements presented in the UFC. Thus, weak beams were strengthened in flexure by carbon reinforced polymer (CFRP) fabrics. Results of the analysis indicate that the adopted method greatly enhances continuity and strength in beams adjacent to the lost column and hence in plastic hinge development, remaining the damage to be local.

Keywords: Progressive collapse, Alternate path, Reinforced concrete, FRP, Nonlinear dynamic analysis