رفتار غیرخطی ساختمان بتن مسلح مقاوم‌سازی شده با CFRP تحت خرابی پیشرونده به روش مسیرجایگزین

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 بین‌المللی زلزله‌شناسی 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 می‌شود. وقوع حوادث مختلفی از قبیل انفجار، آتش‌سوزی، برخورد وسایل نقلیه، خطا در محاسبات یا ساخت می‌تواند این نوع خسارت را در سازه ایجاد نماید. اگرچه احتمال وقوع تخریب پیشرونده در ساختمانهای معمولی قابل توجه نیست اما این پدیده می‌تواند در ساختمانهایی که در طبقه‌بندی با اهمیت خیلی زیاد قرار می‌گیرند 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 خشمی ویژه که در برابر نیروهای لرزه‌ای طراحی شده است تحت تخریب پیشرونده مطابق با آیین‌نامه UFC-4-023-03 بر اساس روش مسیر جایگزین با استفاده از نرم‌افزار SAP مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مشاهده می‌شود که سازه قادر به تامین الزامات UFC نمی‌باشد. 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 رضایت‌بخش است. در نتیجه خسارت بصورت موضعی باقی می‌ماند.

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

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

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.

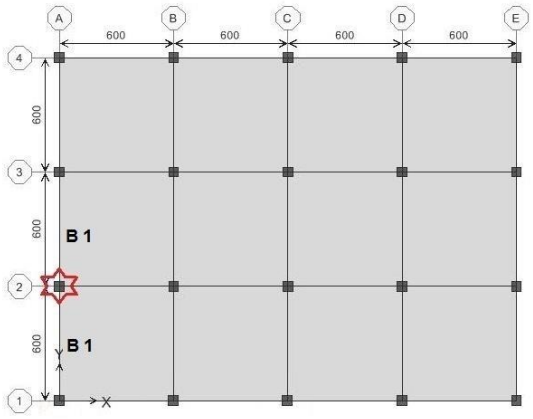
روشهای نیروی کلافی[۶]، مسیرجایگزین [۷] و افزایش مقاومت موضعی[۸] بعنوان سه روش اصلی در تحلیل و طراحی خرابی پیشرونده بکار میروند. [۱]. آیین‌نامه ASCE7 [۲] دو شیوه جامع را برای کاهش خرابی پیشرونده ارائه می‌دهد: روش طراحی غیرمستقیم و روش طراحی مستقیم.

در روش طراحی غیر مستقیم مقاومت در برابر تخریب پیشرونده بصورت غیرصریح 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 آیین نامه 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

در این تحقیق قاب ساختمانی بتن مسلح ۷ طبقه متشکل از سیستم قاب خمشی ویژه (شکل‌پذیری زیاد) در نظرگرفته 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 تیپ 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 ۱و۲ 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.

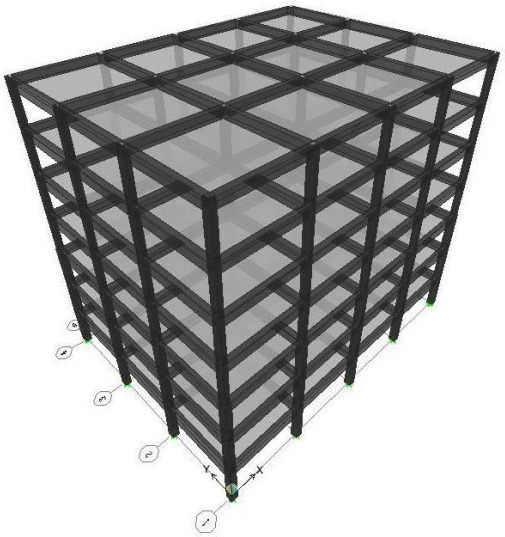


شکل ۱- پلان سازه

[2] Progressive collapse
[3] Ronan point
[4] Alfred P.Murrah
[5] World Tower Trade Centers

[6] Tie force
[7] Alternate path
[8] Enhanced local resistance

Archive of SID
www.SID.ir



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. دستورالعملUFC 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

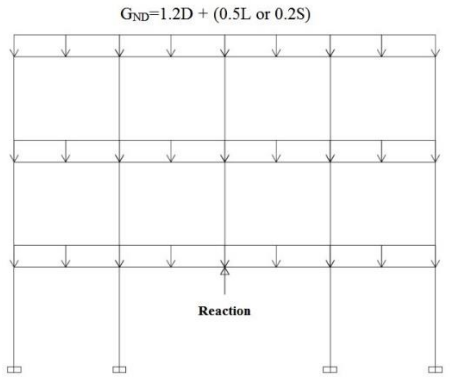
آیین‌نامه UFC اعمال بارثقلی را به کل سازه بسته به نوع تحلیل توصیه می‌نماید. روند بارگذاری در تحلیل دینامیکی غیرخطی بدین‌صورت انجام می‌شود که بار را از مقدار صفر شروع کرده و بطور یکنواخت و متناسب بار ثقلی را به کل سازه اعمال می‌کنیم. این روند بارگذاری تا زمانی‌که سازه به تعادل برسد ادامه می‌یابد، در این 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 مسیرجایگزین انجام می‌شود. بنابراین در این تحقیق ستون کناری در بعد کوچکتر ساختمان (ستون A2 در شکل ۱) در طبقه همکف، طبقه میانی در ارتفاع ساختمان و در طبقه زیر بام در تحلیل‌های جداگانه حذف شده‌اند. حذف ستون باید به بصورت 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 می آید). 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 ثقلی بصورت زیراست:

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

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

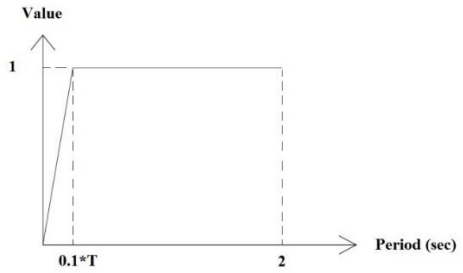
۵- نحوه حذف ستون در نرم‌افزار مطابق UFC

ابتدا نیروی محوری ستون مورد نظر از سازه خسارت ندیده تحت ترکیب بار ثقلی 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 می‌یابد که شرایط اثر دینامیکی و پدیده حذف ناگهانی ستون را ایجاد نماید. تحلیل تا مدت زمان ۲ ثانیه ادامه می‌یابد. نسبت میرایی در نظرگرفته شده نیز ۰/۰۵ است. شکل ۴.



شکل ۳- نیروی محوری ستون بعنوان عکس العمل گرهی

Archive of SID
www.SID.ir



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

۶-معرفی مفاصل پلاستیک و معیار های 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 نامهASCE41 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]

$$\Phi Q_{CL} \geq Q_{UF} \qquad (۲)$$

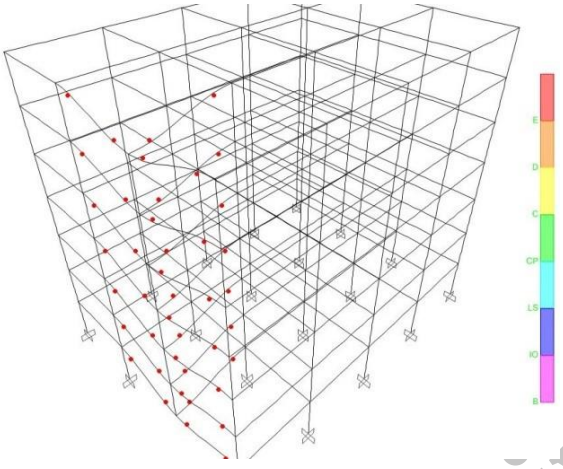
که درآن Φ ضریب کاهش مقاومت، Q_{CL} مقاومت حد پایین جز یا المان برای عملکرد کنترل شده با نیرو ، Q_{UF} عملکرد کنترل شده با نیرو از مدل دینامیکی غیرخطی است.

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

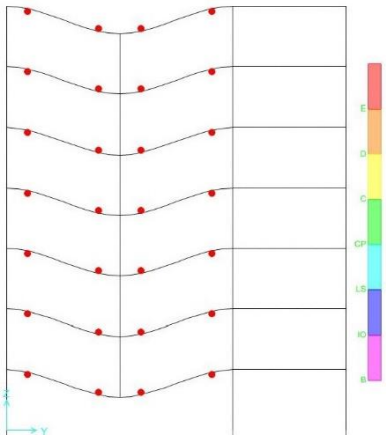
در این تحقیق جهت ارزیابی عملکرد کنترل شده توسط تغییر شکل مفصل خمشی M3 به تیرها و مفصل اندرکنش نیروی محوری-لنگرخمشی P-M2-M3 به ستون‌ها اختصاص داده شده است. در نرم‌افزار SAP می توان در هر مرحله از آنالیز غیرخطی وضعیت مفاصل را مشاهده کرد [۸].

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 می شود که از سطح عملکرد آستانه فروریزش [۱۲] عبور کرده و رفتاری نامطلوب دارند (اشکال ۵ الی ۸).



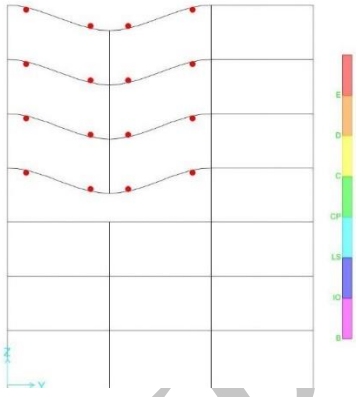
شکل ۵- توزیع مفاصل پلاستیک در نمای سه بعدی - حذف ستون در طبقه همکف



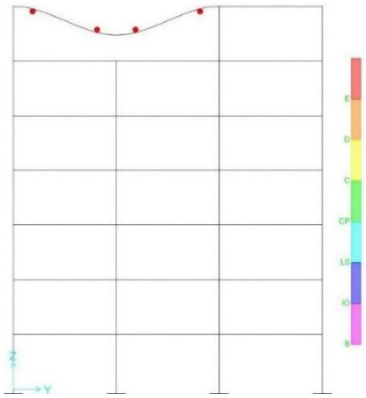
شکل ۶- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- حذف ستون در طبقه همکف

[9] Force-controlled actions
[10] Deformation-controlled actions
[11] Life safety
[12] Collapse prevention

www.SID.ir

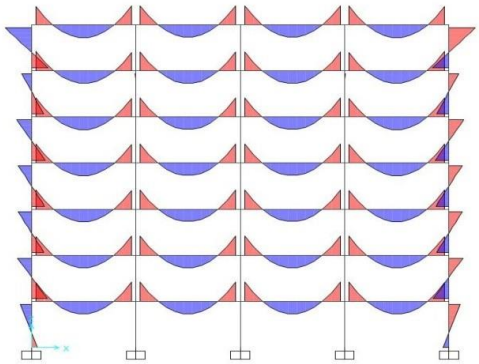


شکل ۷- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- حذف ستون در طبقه میانی در ارتفاع (طبقه چهارم)

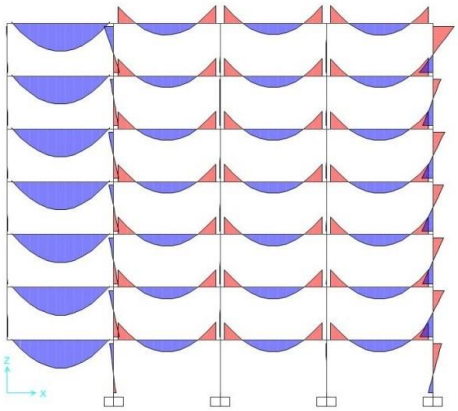


شکل ۸- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- حذف ستون در طبقه زیر بام

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 ۹و۱۰.



شکل ۹- لنگر خمشی قبل از حذف ستون در قاب۲



شکل ۱۰- لنگر خمشی بعد از حذف ستون در قاب۲

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]. بدین‌منظور 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 مجددا طی تحلیل خرابی پیشرونده رفتار سازه مقاوم‌سازی شده ارزیابی می‌گردد. روش کار بدین

[13] Fiber Reinforced Polymer

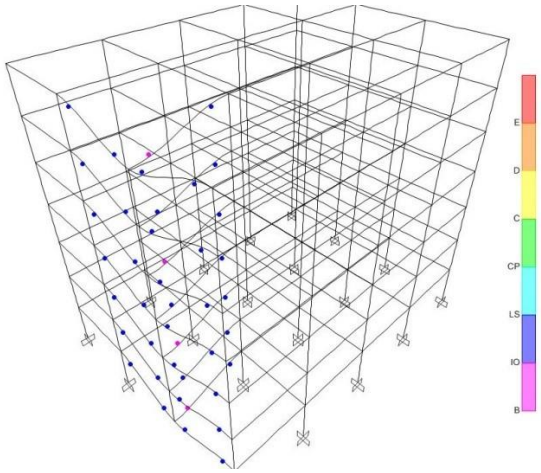
Archive of SID
www.SID.ir

صورت است که ابتدا در نرم‌افزار SAP لنگر مقاوم خمشی تیر را افزایش داده و طی آنالیز دینامیکی غیرخطی رفتار سازه بررسی می‌شود ، 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 می‌گردد.

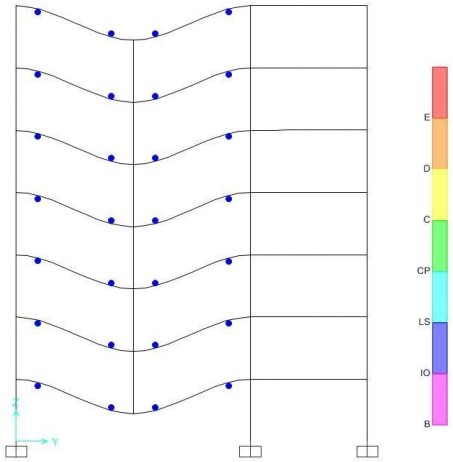
جدول۱- خلاصه نتایج طرح تقویت

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

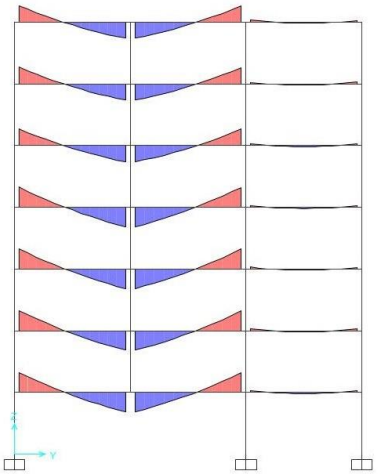
با اعمال نتایج طرح تقویت و بازنگری تحلیل غیرخطی مشاهده گردید که مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سطح عملکرد ایمنی جانی قرار دارند و زاویه دوران مفصل پلاستیک بصورت نمونه در تیر B1 در طبقه اول (به شکل ۱ رجوع شود) از مقدار ۰/۸۷ قبل از تقویت به مقدار ۰/۰۶۱ برحسب رادیان بعد از مقاوم سازی بطور چشمگیری کاهش یافته است. لذا معیارهای پذیرش با توجه به آیین‌نامه UFC ارضا شده است (شکل ۱۱و۱۲). با افزایش ظرفیت خمشی تیرها و ارزیابی دیاگرام لنگر خمشی مشاهده شد که سازه توانایی بازتوزیع نیروها و پل زدن روی المان سازه‌ای حذف شده را دارد (شکل ۱۳و۱۴).



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



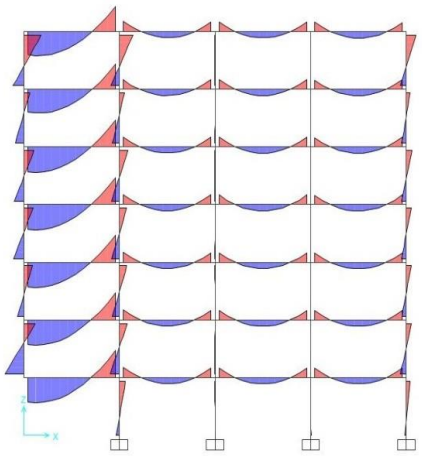
شکل ۱۲- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب A- بعد از مقاوم‌سازی



شکل ۱۳- لنگر خمشی بعد از مقاوم‌سازی در قاب A

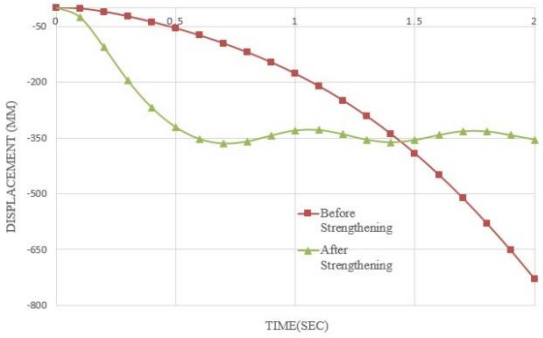
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱۴- لنگر خمشی بعد از مقاوم‌سازی در قاب ۲

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



شکل ۱۵- جابه‌جایی قائم گره ستون حذف شده قبل و بعد از مقاوم‌سازی

۹- نتیجه‌گیری

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

۲- با توجه به موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت سازه قاب خمشی ویژه که برای زلزله طراحی شده و جوابگوی بارهای وارده بوده است در برابر پدیده خرابی پیشرونده به شدت آسیب‌پذیر می‌باشد بطوریکه اعمال شرایط غیرعادی به سازه بعد از حذف شدن ستون منجر به رفتار کاملا نامطلوب در سازه می‌گردد.

۳-ارائه طرح تقویت و مقاوم‌سازی خمشی تیرهای سازه مطابق روش مسیر بار جایگزین نشان می‌دهد که ایجاد پیوستگی در المان‌های سازه‌ای توانایی سازه را برای پل زدن روی المان سازه‌ای حذف شده افزایش داده و موجب بهبود عملکرد سازه تحت پدیده خرابی پیشرونده می‌گردد و روشی کارآمد است.

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

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 ستون‌ها شده که به دنبال آن ناپایداری موضعی ایجاد می‌گردد و باید مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در هنگام طراحی برای افزایش مقاومت المان‌های خاص باید اثرات متعاقب این کار را بر روی رفتار سازه تحت پدیده خرابی پیشرونده لحاظ نمود.

۶- دو هدف اصلی مقاوم‌سازی سازه‌های موجود دفع شکست موضعی و تامین توزیع مجدد بار به منظور جلوگیری از خرابی پیشرونده در کل سازه می‌باشد به عبارت دیگر تقویت موضعی برای جلوگیری از شکست اولیه و مقاوم‌سازی کلی برای محدود کردن خرابی مورد توجه است. بدین منظور ایجاد پیوستگی، شکل‌پذیری و مقاومت در اتصالات و المان‌های سازه ضروری می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

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)، "آیین‌نامه 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 بااستفاده 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

Archive of SID

www.SID.ir

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

Archive of SID

www.SID.ir