



ارزیابی رفتار لرزه ای قاب های بتن آرمه مقاوم سازی شده توسط بادبند های زانویی شکل

محسن ایزدی نیا^۱، سید امیر مهرداد محمد حجازی^۲، مسعود طاهری^۳، صابر اوستاخ^۴

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد نجف آباد، اصفهان، ایران

۴- مربی، موسسه آموزش عالی غیرانتفاعی فرزندگان، فولادشهر، اصفهان، ایران

Izadiniam2002@yahoo.com

mm.hejazi@yahoo.com

m.taheri1900@yahoo.com

آدرس رایانامه نویسنده رابط Av_saber@hotmail.com

خلاصه

طی چند دهه ی اخیر در جوامع علمی، به تدریج بادبند های زانویی به عنوان نسل جدید بادبند های واگرا جای خود را در سیستم های سازه ای باز کرده است در این سیستم اعضای زانویی با تغییر شکل های پلاستیک خود در هنگام زلزله به عنوان اعضای فرعی در سازه عمل نموده و پس از زلزله امکان تعویض و بهره برداری مجدد از سازه را فراهم می کنند. همچنین عضو زانویی با جاری شدن خود در زلزله های شدید شکل پذیری لازم را فراهم می کند و مانع کماتش عضو قطری می شود در نتیجه سختی و شکل پذیری توأمأ برای سازه فراهم می گردد.

کلمات کلیدی: بادبند زانویی، بهسازی لرزه ای، تغییر شکل الاستیک، کماتش، قاب

۱. مقدمه

طی چند دهه ی اخیر در جوامع علمی، تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی زیادی بر روی رفتار قاب های بادبندی انجام شده که سیستم بادبندی خارج از محور (EBF) و سیستم بادبندی زانویی (KBF) را می توان از جمله نتایج مهم حاصل از این تحقیقات دانست. با وجود آن که قابهای بادبندی خارج از محور، به عنوان یک سیستم سازه ای معتبر، در اکثر آئین نامه ها پذیرفته شده است، ولی این سیستم دارای معایب و نقاط ضعفی نیز می باشد [۱]. از جمله این که، استهلاک انرژی در قابهای خارج از محور در اثر تسلیم قسمتی از اعضای اصلی سازه (تیرهای پیوند) صورت گرفته و این امر مشکلاتی را به لحاظ امکان تعویض و بهره برداری مجدد از سازه ایجاد می کند. در سیستم بادبندی زانویی این مشکل نیز رفع شده و اعضای مستهلک کننده انرژی که همان اعضای زانویی هستند، با تغییر شکل های پلاستیک خود در هنگام زلزله به عنوان اعضای فرعی در سازه عمل نموده و پس از زلزله امکان تعویض و بهره برداری مجدد از سازه را فراهم می کنند. همچنین عضو زانویی با جاری شدن خود در زلزله های شدید شکل پذیری لازم را فراهم می کند و مانند یک فیوز شکل پذیر عمل کرده و مانع کماتش عضو قطری می شود در نتیجه سختی و شکل پذیری توأمأ برای سازه فراهم می گردد. با توجه به این که موجودیت بادبند های زانویی وابسته به تغییر شکل های پلاستیک خواهد بود نوع تحلیل این قاب ها بهتر است غیر خطی باشد تا تأثیر استهلاک انرژی در محل مفصل های پلاستیک، در نتایج محاسبات وارد گردد [۲].

در این تحقیق ابتدا مدل سازی و بار گذاری ثقلی چند قاب ساده بتنی ۲، ۳، ۴ دهانه ی، ۳، ۹ و ۱۵ طبقه در نرم افزار های موجود پرداخته خواهد شد و سپس با استفاده از بادبند های زانویی قاب های مذکور را مطابق با نشریه ۳۶۰، ضوابط و مقررات بهسازی لرزه ای [۳] و FEMA-356 [۴] تحت بار های زلزله بهسازی نموده و نیروی داخلی اعضا و تغییر مکان های سازه کنترل گردد، در ادامه با محاسبه تغییر مکان هدف و زمان تناوب اصلی سازه ها و وضعیت عملکرد مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سازه ها با توجه به سطح عملکرد ایمنی جانی به عنوان معیار عملکردی مناسب جهت سازه های

موجود، در زمان وقوع تغییر مکان هدف میزان برش پایه ناشی از اثر بارهای مختلف محاسبه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مراحل بارگذاری سازه تحت دو بار استاتیکی غیر خطی و دینامیکی خطی قرار می‌گیرد و نتایجی که در ادامه به حضور ارائه خواهد شد حاصل دو نوع تحلیل گوناگون خواهد بود که با یکدیگر مقایسه شده است.

۲. مشخصات اولیه سازه ای

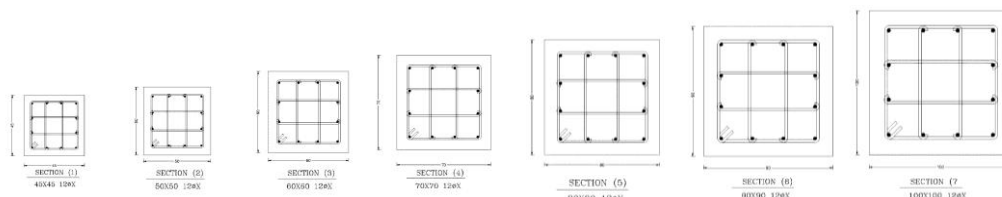
جهت همسان سازی مقاطع تیرها و ستون‌های بتنی به کار رفته در این تحقیق به صورت زیر عمل شده است:

- کلیه تیرهای انتخابی با ارتفاع ۰/۴۰ متر در مدل سازی اعمال می‌گردند و عرض تیرها همواره با عرض ستون طبقه زیرین آن یکی خواهد بود به عنوان مثال در صورتی که ستون طبقه پائینی ۰/۶۰×۰/۶۰ باشد عرض تیر در تراز بالای این ستون باید ۰/۶۰ متر باشد. با این حساب ابعاد تیر در این طبقه ۰/۶۰×۰/۴۰ متر خواهد بود.
- جهت انجام تیپ بندی ستون‌ها ابعاد ستون‌ها مانند جدول ۱ استفاده می‌شود.

جدول ۱: تیپ بندی ستون‌ها بر اساس شماره طبقه

طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
بعد ستون Cm	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۹۰	۸۰	۸۰	۷۰	۷۰	۶۰	۶۰	۵۰	۵۰	۴۵	۴۵	۴۵

همانگونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌کنید ابعاد ستون‌ها در هر دو طبقه از پائین به بالا به اندازه ۱۰ سانتی متر کاسته می‌شود به جزء سه طبقه آخر که همواره در آن ابعاد ستون‌ها ۴۵ سانتی متر خواهد بود. دو قاب دیگر (۳ و ۹ طبقه) نیز بر اساس همین جدول تیپ بندی می‌شوند با این تفاوت که از پائین به بالا طبقات به نسبت کم می‌شوند. به عنوان مثال در قاب ۹ طبقه ابعاد ستون‌ها از ۷۰ سانتی متر در تراز زمین شروع شده و در نهایت، ابعاد کلیه ستون‌ها در قاب ۳ طبقه، ۴۵ سانتی متر خواهد بود. کلیه مقاطع ستون‌ها در شکل‌های ۱ آورده شده است.



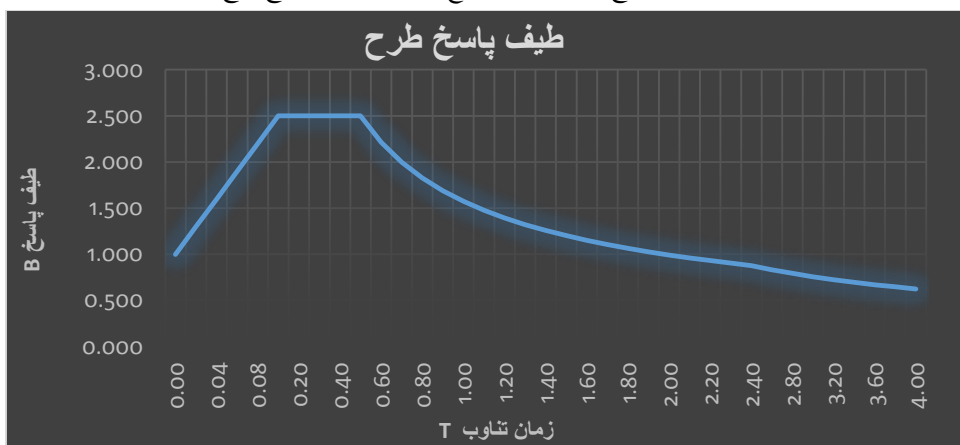
شکل ۱: مقاطع ستون‌های تیپ شده در قاب‌ها

۳. طیف پاسخ

به منظور انجام یک تحلیل دینامیکی ابتدا باید یک طیف پاسخ مطابق با آنچه در آئین نامه زلزله ایران ۲۸۰۰ بیان شده و مطابق با فرضیات انجام شده طیف پاسخ (B) بر اساس زمان تناوب سازه (T) بدست آید. با توجه به فرضیات موجود نوع زمین TYPE II انتخاب گردید و در نتیجه خواهیم داشت:

$$T_0=0.1, \quad T_s=0.5, \quad S=1.5$$

با توجه به مندرجات آئین نامه ۲۸۰۰ [۵] طیف پاسخ برای خاک‌های نوع ۲ می‌توان طیف پاسخ طرح را از مانند شکل شماره ۲ رسم کرد:



شکل ۲: طیف پاسخ طرح خاک نوع II

۵. ترکیبات بارگذاری ثقلی و جانبی

در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پایین اثرات بار ثقلی، Q_G ، باید از روابط زیر محاسبه شود :

$$Q_G = 1.1 (Q_D + Q_L)$$

$$Q_G = 0.9 Q_D$$

Q_L بار مرده و Q_D که در آن بار زنده ی موثر بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان می باشد. تاثیرات بارگذاری جانبی (Q_E) با مقادیر

مذکور جمع می گردد [۳.]

$$Q_{UD} = Q_G \pm Q_E$$

۵. بدست آوردن مقادیر زمان تناوب سازه با استفاده از نرم افزار

پس از مدل سازی قاب های مورد بحث در این پایان نامه اولین خروجی که می توان تا حدودی رفتار سازه را بر اساس آن حدس زد ، بدست آوردن مقادیر زمان تناوب سازه یا همان پر یود سازه خواهد بود که مطابق بر جدول زیر خواهد بود.

جدول ۲ : مقادیر مختلف زمان تناوب سازه در قاب ها بر حسب ثانیه (S)

نوع قاب دهانه ها	2×3	2×9	2×15	3×3	3×9	3×15	4×3	4×9	4×15
قاب خمشی بتنی	0.92	1.79	2.52	0.84	1.71	2.42	0.80	1.67	2.39
قاب بهسازی شده	0.28	0.61	0.85	0.26	0.57	0.86	0.35	0.62	0.92

۶. بدست آوردن مقادیر برش پایه و برش طبقات

پس از تعریف مفاصل پلاستیک برای نرم افزار مطابق با استاندارد FEMA-356 و با توجه به این که تطابق کاملی بین این آئین نامه و نشریه ۳۶۰ وجود دارد نتایج مندرج در جدول ۳ از خروجی های نرم افزار بدست آمده است [۶]. در این جدول به راحتی می توان برش پایه در قاب های مختلف و نتایج حاصل از تحلیل های مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد.

جدول ۳ : مقادیر مختلف برش پایه برای قاب های معین شده

قاب ۲ دهانه			قاب ۳ دهانه			قاب ۴ دهانه			نوع قاب
2×3	2×9	2×15	3×3	3×9	3×15	4×3	4×9	4×15	پارامتر
19165	62417	118110	28426	92208	172685	37607	121532	769254	برش پایه استاتیکی - خطی
68272	167669	238719	97126	253764	351541	129016	317638	837141	برش پایه دینامیکی - خطی
72080	132302	278629	94381	392653	505900	108747	411356	579758	برش پایه استاتیکی - غیر خطی

۵. تغییر مکان هدف

یکی از مهمترین مسائل طراحی و بهسازی لرزه ای ساختمان ها ، انتخاب سطح عملکرد مناسب برای ساختمان می باشد همانگونه که قبلا هم ذکر شده بود سطح عملکرد ایمنی جانی "C-3" به عنوان سطح عملکرد بهسازی مبنا مدنظر خواهد بود.

با استفاده از نرم افزار Sap2000 [۶] می توان مقادیر تغییر مکان هدف را بدست آورد. این نرم افزار در حالت اتوماتیک مقادیر C_0 ، C_1 ، C_2 ، C_3 و T_e را محاسبه می کند ولی در صورت نیاز می توان مقدار C_2 و C_3 را به صورت دستی نیز در نرم افزار وارد کرد. جهت محاسبه تغییر مکان هدف، ابتدا مفاصل پلاستیک در مکان های اتصالات از نوع اتوماتیک بر حسب نوع عضو (تیر، ستون یا وسط بادبند) بر اساس آئین نامه FEMA 356 تعبیه شده سپس نقطه ای از سازه که معمولاً در سقف آخرین طبقه قرار دارد به عنوان مبنای محاسبه تغییر مکان هدف سازه انتخاب می گردد و بار پوش آور جهت بارگذاری تعریف می گردد پس از آنالیز سازه اطلاعات مربوط به پوش آور کلی سازه و کلیه مفاصل قابل دسترسی می باشد. جدول ۴ بیان کننده تغییر مکان هدف بدست آمده در قاب های زیر می باشد که از خروجی های نرم افزار استخراج شده است

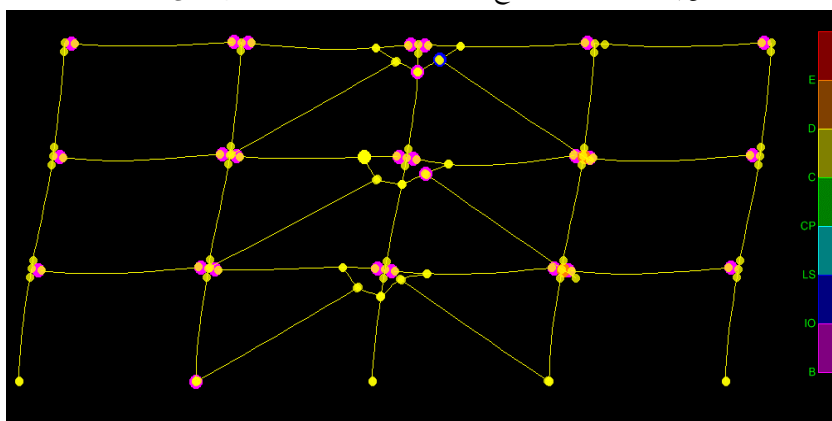
جدول ۴: تغییر مکان هدف بدست آمده در قاب های مختلف بر حسب متر

15×4	9×4	3×4	15×3	9×3	3×3	15×2	9×2	3×2	نوع قاب دهانه ها
0.69	0.38	0.12	0.72	0.41	0.14	0.78	0.45	0.17	تغییر مکان قاب خمشی بتنی بر حسب m
0.168	0.111	.048	0.166	0.118	0.0418	0.268	0.126	0.031	تغییر مکان قاب بهسازی شده بر حسب m

در ادامه به عنوان نمونه نتایج حاصل از تحلیل پوش آور قاب های ۴ دهانه به صورت خلاصه بیان شده است.

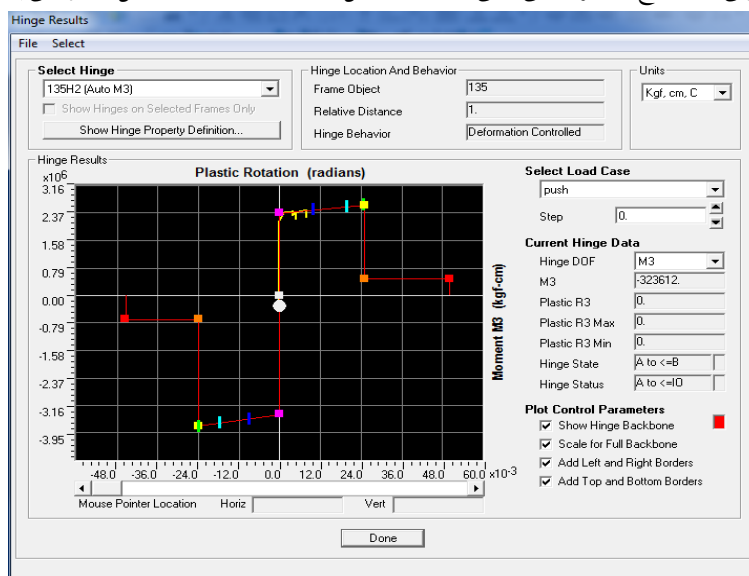
۵. پوش آور قاب ۳×۴

در شکل ۳ وضعیت مفاصل پلاستیک در لحظه وقوع تغییر مکان هدف با توجه به مقیاس رنگی در کنار تصویر مشخص شده است.



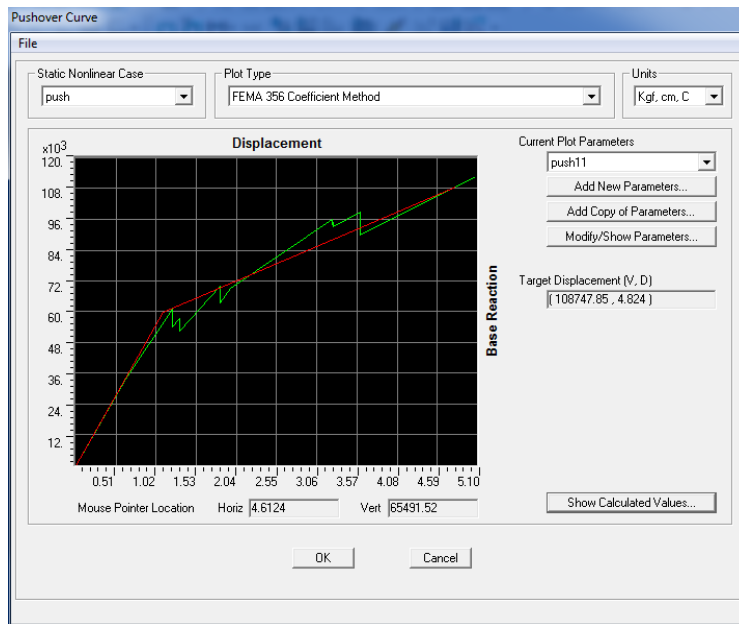
شکل ۳: وضعیت مفاصل های پلاستیک تحت بار استاتیکی - غیر خطی

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می گردد بر اساس نتایج حاصل از آنالیز سازه در حالت استاتیکی غیرخطی، در محل اتصال بادبند به زانوئی در طبقه سوم، مفصل میانی بادبند زانوئی وارد سطح عملکرد ایمنی جانی شده است. شکل ۴ نشان دهنده وضعیت مفصل مذکور می باشد.



شکل ۴: وضعیت مفصل در سطح عملکرد ایمنی جانی

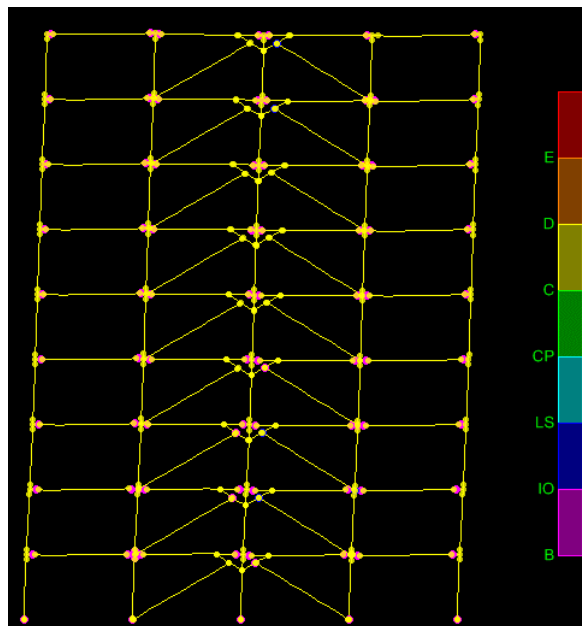
در نهایت در شکل ۵ از این سری قاب نمودار پوش آور این قاب و محاسبه مرحله به مرحله ای تغییر مکان هدف بر اساس آئین نامه FEMA 356 و مقدار برش پایه در لحظه وقوع تغییر مکان هدف ارائه شده است.



شکل ۵: محاسبه تغییر مکان هدف بر اساس FEMA 356

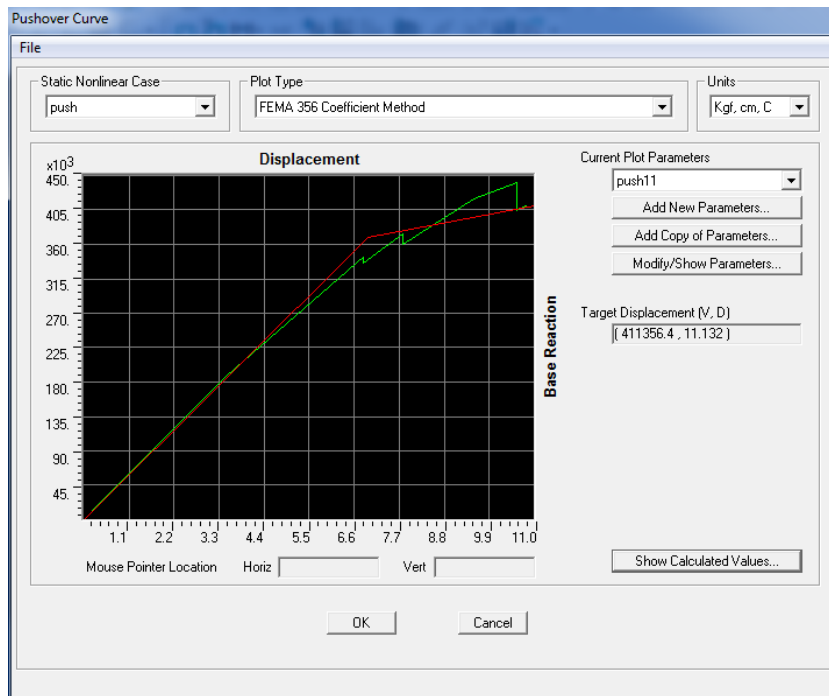
۵. پوش آور قاب ۴×۹

در شکل شماره ۶ وضعیت مفاصل پلاستیک با توجه به مقیاس رنگی در کنار تصویر مشخص شده است.



شکل ۶: وضعیت مفاصل های پلاستیک در قاب ۴×۹

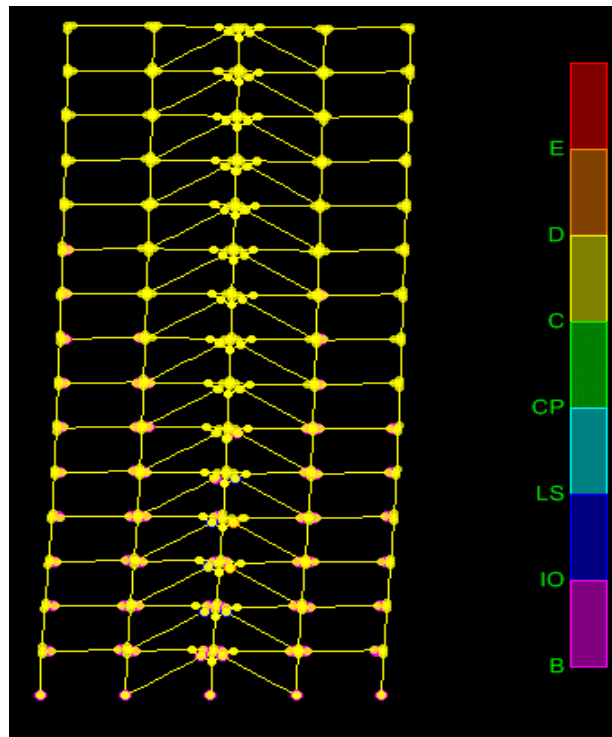
همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می گردد بر اساس نتایج حاصل از آنالیز سازه در حالت استاتیکی غیرخطی، در محل اتصال بادبند به زانوئی در طبقه سوم، مفصل میانی بادبند زانوئی وارد سطح عملکرد ایمنی جانی شده است. در نهایت در شکل ۷ از این سری قاب نمودار پوش آور این قاب و محاسبه مرحله به مرحله ای تغییر مکان هدف بر اساس آئین نامه FEMA 356 و مقدار برش پایه در لحظه وقوع تغییر مکان هدف ارائه شده است.



شکل ۷: محاسبه تغییر مکان هدف بر اساس FEMA 356

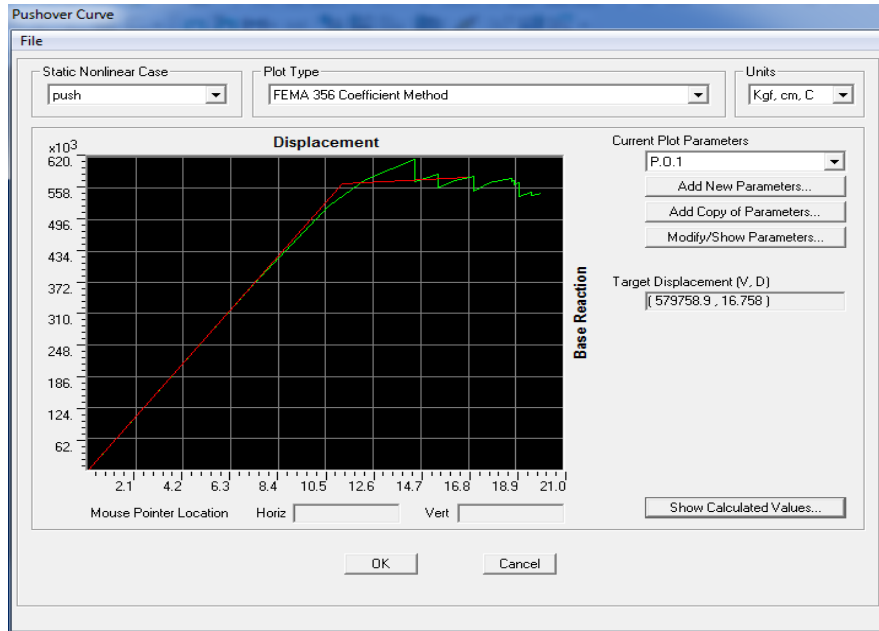
۳-۶-۶) پوش آور قاب ۴×۱۵

در شکل شماره ۸ صفحه بعد وضعیت مفاصل پلاستیک با توجه به مقیاس رنگی در کنار تصویر مشخص شده است.



شکل ۸: وضعیت مفاصل های پلاستیک در قاب ۴×۱۵

همانگونه که در شکل ۸ مشاهده می گردد بر اساس نتایج حاصل از آنالیز سازه در حالت استاتیکی غیرخطی، در محل اتصال بادبند به زانوئی در طبقه چهارم و پنجم، مفصل میانی بادبند زانوئی وارد سطح عملکرد ایمنی جانی شده است. در نهایت در شکل ۹ از این سری قاب نمودار برش پایه نسبت به تغییر مکان و محاسبه مرحله به مرحله ای تغییر مکان هدف بر اساس آئین نامه FEMA 356 و مقدار برش پایه در لحظه وقوع تغییر مکان هدف ارائه شده است.



شکل ۹: محاسبه تغییر مکان هدف بر اساس FEMA 356

۱۰. نتیجه گیری

نتایج حاصل شده در این تحقیق که از آنالیزهای انجام شده در حالت استاتیکی غیرخطی و دینامیکی خطی بدست آمد نشان می دهد که استفاده مناسب از این گونه بادبند ها می تواند کمک بسیار زیادی در ایجاد پایداری در سازه های قدیمی در دست تعمیر داشته باشد با توجه به شکل پذیری مناسب این گونه سازه ها در برابر زلزله و قابلیت و سهولت تعویض پذیری مقاطع زانوئی پس از زلزله یکی از بهترین و مناسب ترین راهکارهای بهسازی محسوب می شوند همانگونه که در فصل قبل مشاهده شد نتایج حاصل از قاب های دو دهانه و چهار دهانه به دلیل وجود تقارن نسبی که در بارگذاری وجود داشت بهتر از نتایج حاصل از قاب سه دهانه در حالت نامتقارن بود که خود باعث ایجاد مقادیری از خطاها در محاسبات می شد.

در تحلیل های استاتیکی چه خطی و چه غیرخطی تقریباً میزان کاهش بار زلزله بصورت کاملاً یکسان در هر دو طبقه یک بار صورت می گیرد و در طبقات ۱۱ و ۱۲ کاهش شدید جذب نیروی زلزله را شاهد هستیم. ولی در تحلیل دینامیکی خطی این آهنگ از ابتدا بصورت ثابت و در هر طبقه نسبت به طبقه قبلی اتفاق می افتد. به همین میزان که جذب نیروی زلزله در این طبقات متفاوت است ولی تغییر مکان نسبی طبقات در این دو طبقه چندان مشهود نیست.

استفاده از بادبند فلزی در سازه های بتنی به خاطر اجرای آسان، اقتصادی بودن و قابلیت ایجاد نورگیر در دهانه های بادبندی شده نسبت به دهانه های دارای دیوار برشی و همچنین مقاوم کردن ساختمان بتنی ضعیف موجود در برابر زلزله در چند دهه اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است که خود گواه این موضوع خواهد بود که این روش یکی از بهترین روش ها در جهت بهسازی سازه های موجود می باشد.

نتایج آنالیزها و بررسی های انجام شده در این تحقیق نشان دهنده این است که اضافه کردن مهاربند زانوئی به قاب خمشی بتنی باعث افزایش مقاومت و سختی قاب گردیده است تا حدی که تغییر مکان های طبقات مختلف و نتایج تغییر مکان کلی قاب های بتنی مهاربندی شده توسط بادبند زانوئی در پاره ای موارد تا ۶۰٪ کاهش نشان می دهد.

همچنین بررسی های انجام شده حاکی از این مسئله است که شکل پذیری سازه با نصب بادبندهای زانوئی بر روی قاب های بتنی تا حد زیادی کاهش می یابد.



به صورت خلاصه می توان نتیجه گرفت که با توجه به گزینه های بهسازی دیگر موجود این روش یکی از اقتصادی ترین روش ها جهت بهسازی سازه های بتنی است همچنین به دلیل تعویض سریع و آسان اعضا زانویی پس از زلزله ، دوره تعمیرات بسیار کوتاه خواهد بود و با این که شکل پذیری سازه در مقابل نیروهای جانبی کاهش می یابد ولی در کل رفتار سازه در مقابل زلزله بهبود می یابد.

۱۲. مراجع

- [۱] ح. رجبی دهنوی، م. ایزدی نیا، مقایسه رفتار تیر پیوند (خمش و برش) در ساختمان های بتنی مقاوم سازی شده با بادبند برون محور، ۱۳۹۰، سومین همایش ملی مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر
- [۲] علی رضایی فر، علی اکبر افشینی، مقایسه سیستم بادبندی هم محور ضربداری و بادبندی زانویی برای بهسازی لرزه ای قابهای بتن مسلح. اولین کنفرانس بین المللی مقاوم سازی لرزه ای ، تبریز- ایران، مهر ۱۳۸۷
- [۳] سازمان برنامه مدیریت و برنامه ریزی کشور، بهسازی ساختمان های موجود، نشریه شماره ۳۶۰، ۱۳۸۵
- [4] American Institute of Steel Construction. Specification for Structural Steel Buildings. Chicago, IL; 2005.
- [۵] آئین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰ ویرایش ۳، چاپ نوزدهم بهار ۹۱
- [۶] رامین تقی نژاد، طراحی و بهسازی سازه ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش آور، نشر کتاب جهاد دانشگاهی، چاپ دوم ۱۳۸۹.