

## مطالعه و بررسی سیستم مهاربندی کمر بند خرابی در مقاومسازی سازه فولادی تحت بار

### خرابی پیشرونده

سیدعلی موسوی داودی<sup>۱</sup>

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه، دانشکده فنی مهندسی، مرکز آموزش عالی طبری

آدرس پست الکترونیکی نویسنده رابط (Ali\_mousavii@yahoo.com)

#### چکیده

ایمنی ساختمان همواره امری کلیدی برای مهندسان طراح پروژه های مهندسی بوده است و یکی از مکانیزم های خرابی سازه که توجه زیادی را در دهه های اخیر به خود اختصاص داده است، پدیده خرابی پیش رونده می باشد. خرابی پیش رونده به معنی تخریب پیش رونده بخشی از ساختمان در اثر آسیب غیر متعارف به سازه و گسترش این خرابی به بخش های دیگر سازه می باشد. معمولاً ساختمان ها برای بارهای عادی نظیر بار مرده، زنده، باد و زلزله طراحی می شوند با این وجود بارهای دیگری نیز مانند خطای طراحی و ساخت، آتش سوزی، انفجار، بار بیش از اندازه تصادفی، مواد خطرناک، برخورد وسائل نقلیه، انفجار بمب و غیره وجود دارند که احتمال وقوع آنها کم است ولی در صورت اتفاق می توانند منجر به آسیب های جبران ناپذیری با رویکرد خرابی پیش رونده شوند. به همین دلیل، در صورت محتمل بودن هریک از این پارامترها، طراح می بایست برنامه ای جهت کنترل خرابی پیش رونده در سازه، در نظر داشته باشد. در این مطالعه با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی، عملکرد قاب های بتنی که بر اساس آیین نامه های رایج کشور طراحی شده است در برابر خرابی پیش رونده که به دلیل از بین رفتن برخی از اعضای اصلی سازه (ستونها و مهاربندها) به وجود آمده مطابق ضوابط آیین نامه های مربوطه مورد ارزیابی و مقایسه قرار خواهد گرفت. امروزه آیین نامه های مخصوص طراحی سازه در مقابل خرابی پیشرونده توسعه پیدا نموده اند که در آنها روش های طراحی مستقیم و غیرمستقیم در برابر خرابی پیش رونده پیشنهاد شده است با توجه به اهمیت این موضوع در این پژوهش به بررسی مقاومسازی سازه فولادی در برابر خرابی پیشرونده به کمک سیستم مهاربندی کمر بند خرابی پرداخته شد و بررسی نتایج نشان داد که اثر کمر بند خرابی در سازه در سازه های تحت بار خرابی پیش رونده باعث بهبود رفتار مکانیکی سازه ها خواهد شد.

کلمات کلیدی: خرابی پیش روند، کمر بند خرابی، تحلیل پوس اور؛ سازه فولادی

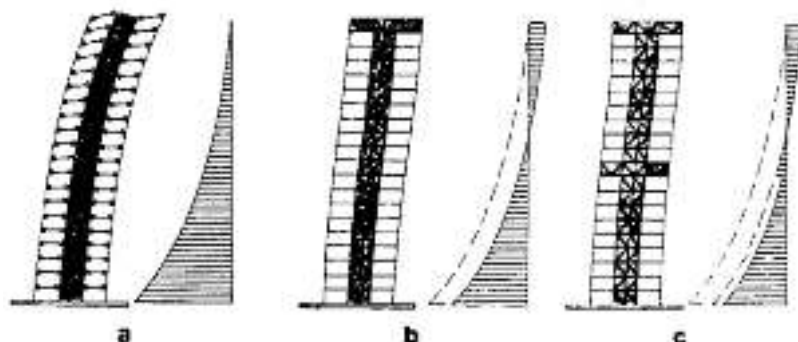
#### ۱. مقدمه

در طی چند دهه اخیر موارد مهمی از وقوع خرابی در سازه ها را می توان یافت که منجر به خسارات اقتصادی سنگین و از دست رفتن جان انسان ها گردیده است. یکی از سازوکارهای خرابی در سازه ها، خرابی پیش رونده می باشد که در آن یک یا چند عضو سازه ای در اثر ضربه یا عوامل دیگر بطور آنی فروریخته و سازه بطور پیش رونده ای خراب می شود. با توزیع بارهای ناحیه خراب شده سبب خرابی دیگر اجزای سازه ای شده و در نتیجه خرابی کل سازه و یا بخش مهمی از آن حاصل می گردد. طی چهل سال گذشته بارهای غیر عادی ناشی از حوادث طبیعی، طراحی ناقص، خطاهای اجرا و حملات تروریستی باعث بوجود آمدن خرابی پیش رونده در تعدادی از سازه ها گردیده است. در طی این سال ها مهندسان سازه بدنبال یافتن علل و

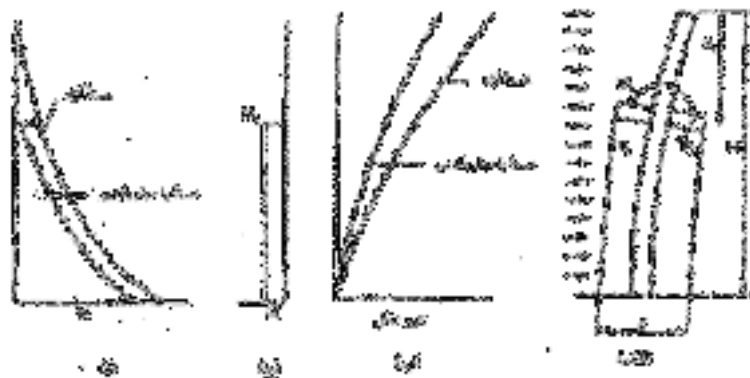
چگونگی وقوع خرابی پیش‌رونده در ساختمان و راه‌های پیش‌بینی و پیشگیری از این پدیده و تدوین آیین‌نامه‌های لازم برای داشتن مقاومت کافی سازه‌های در برابر این نوع خرابی بوده‌اند. آیین‌نامه‌های ساختمانی سنتی، برای طراحی سازه‌ها در برابر خرابی پیش‌رونده، اغلب بطور غیر مستقیم سطح معینی از یکپارچگی و شکل‌پذیری را پیشنهاد می‌نمایند. امروزه آیین‌نامه‌های مخصوص طراحی سازه در مقابل خرابی پیش‌رونده توسعه پیدا نموده‌اند که در آن‌ها روش‌های طراحی مستقیم و غیرمستقیم در برابر خرابی پیش‌رونده پیشنهاد شده است [۱].

## ۲- تعریف کمر بند خرابی

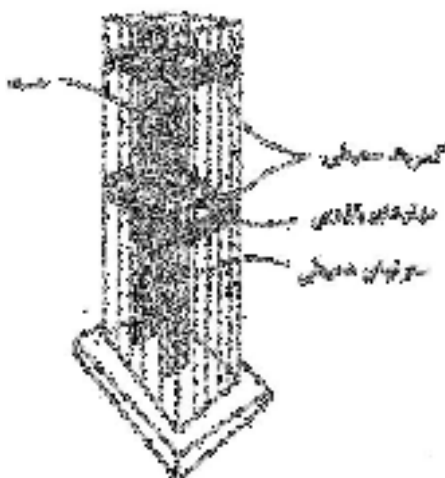
در دهه‌های اخیر استفاده از مهاربازویی و کمر بند خرابی در سازه‌های بلند، جهت کاهش تغییر شکل‌های سازه و مقاومت در برابر بارهای جانبی بسیار متداول شده است. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، مهاربازویی به همراه کمر بند خرابی، ستون‌های خارجی را به هسته مرکزی داخلی متصل می‌نماید. در نتیجه مجموعه ستون‌های خارجی و مهاربازویی در مقابل چرخش هسته مرکزی مقاومت می‌کنند و باعث کاهش تغییر شکل‌های جانبی و کاهش لنگرهای خمشی در پای سازه می‌شوند (شکل ۲) اضافه بر ستون‌های انتهایی مهارهای بازویی، معمولاً از ستون‌های محیطی دیگر نیز برای گیردار نمودن مهارهای بازویی استفاده می‌شود. این کار با افزودن یک تیر عمیق محیطی یا کمر بند در اطراف سازه و در تراز مهارهای بازویی، صورت می‌گیرد (شکل ۳). این نوع فرم سازه‌ای، سازه با مهاربازویی و کمر بند خرابی نامیده می‌شود [۲]. میزان تاثیر مهارهای بازویی در کاهش تغییر شکل جانبی بسته به موقعیت آن‌ها دارد. بنابراین یافتن موقعیت بهینه مهار بازویی یکی از مسائل اساسی مد نظر محققین بوده است.



شکل شماره ۱- رفتار مهاربازویی و کمر بند خرابی در کاهش لنگرهای خمشی و تغییر شکل سازه [3]



شکل شماره ۲- الف) سازه با یک مهاربازویی ب) منحنی تغییر شکل ج) نمودار لنگرهای قیدی د) نمودار لنگر نهایی هسته [۴]



شکل شماره ۳- نمای کلی سازه با مهاربازویی و کمربندخرپایی [5]

سیستم ترکیبی قاب خمشی مهاربندی شده برای ساختمان‌های بلند به علت عدم سختی کافی برای تحمل بارهای افقی و تغییر مکان زیاد در بالای سازه، مناسب نیست. از مشکلات عمده این سیستم، شکل‌پذیری و جذب انرژی کم، عمدتاً به دلیل کماتش موضعی یا کلی عضو فشاری مهاربند و تا حدی هم ضعف و عملکرد نامناسب اتصالات آن می‌باشد [۶]. یک روش سودمند، کاربرد کمربند خرپایی در روی هسته‌های مهاربندی شده است که به ستون‌ها متصل می‌گردد. سازه‌های مهاربازویی، دارای یک هسته مرکزی مهاربندی هستند که متشکل از دیوارهای برشی و یا قاب‌های مهاربندی شده می‌باشد. هسته مرکزی توسط خرپاهای بازو مانند یا شاه‌تیرها به ستون‌های خارجی متصل می‌شود [۷]. هنگامی که سازه تحت اثر بارهای جانبی قرار می‌گیرد چرخش هسته بوسیله بازوها، از طریق کشش در ستون‌های جهت بار و فشار در ستون‌های جهت خلاف بار محدود می‌گردند. در این صورت ستون‌های خارجی به غیر از نیروی ثقلی، قسمت عمده‌ای از نیروی جانبی را تحمل می‌نمایند [۸]. تاران‌ات که خود مبدع این سیستم می‌باشد، تحلیل و طراحی سازه‌های با یک مهاربازویی را مورد بررسی قرار داد و همچنین موقعیت بهینه مهاربازویی را با رویکرد کاهش تغییرمکان جانبی بین طبقه‌ای در ارتفاع سازه تعیین نمود [۹]. وی تراز مناسب برای استقرار یک بازو را در ۰,۴۴۵ برابر ارتفاع سازه عنوان کرده است [۱۰]. به دلیل اینکه بخش قابل توجهی از ساختمان‌های بلند احداث شده در ایران دارای تعداد طبقات بین ۱۵ الی ۲۵ طبقه می‌باشد و مهم‌تر از آن، اینکه در سیستم سازه‌ای آن‌ها از کمربند خرپایی استفاده نشده است، بنابراین ایده بهبود عملکرد این سازه‌ها به وسیله سخت کردن یکی از طبقات آن به وسیله کمربند خرپایی کاربردی‌تر به نظر می‌رسد.

### ۳- خرابی پیش‌رونده

ایمنی سازه مهم‌ترین عامل در طراحی پروژه‌های مهندسی است. یکی از سازوکارهای خرابی سازه که اخیراً مورد توجه طراحان و مهندسان قرار گرفته، خرابی پیش‌رونده است. مسئله‌ی مهمی که در خرابی پیش‌رونده با آن مواجه هستیم، بروز مشکلات جدی بر اساس آیین‌نامه‌های اخیر طراحی است. و مواردی مشاهده شده که خرابی پیش‌رونده منجر به انهدام کل سازه شده است. هر گونه ضعف و اشکال در سازه‌ها ممکن است باعث بوجود آمدن پدیده‌ی خرابی پیش‌رونده در حین بارگذاری انفجار یا لرزه‌ای شود. امروزه در مباحث مقاوم‌سازی ضرورت هرچه بیشتر مطالعه و بررسی خرابی پیش‌رونده احساس می‌شود. خرابی پیش‌رونده به عنوان یک پدیده مهم در حیطه سازه‌های مهندسی عمران در حال رشد است که به صورت خرابی تمام یا بخش وسیعی از یک سازه بر اثر شکست ایجاد شده در بخش کوچکی که توسط بارهای غیرعادی ایجاد می‌شود تعریف می‌گردد عوامل زیادی مانند آتش‌سوزی، برخورد وسایل نقلیه، خطاهای ناشی از ساخت و ساز، همچنین

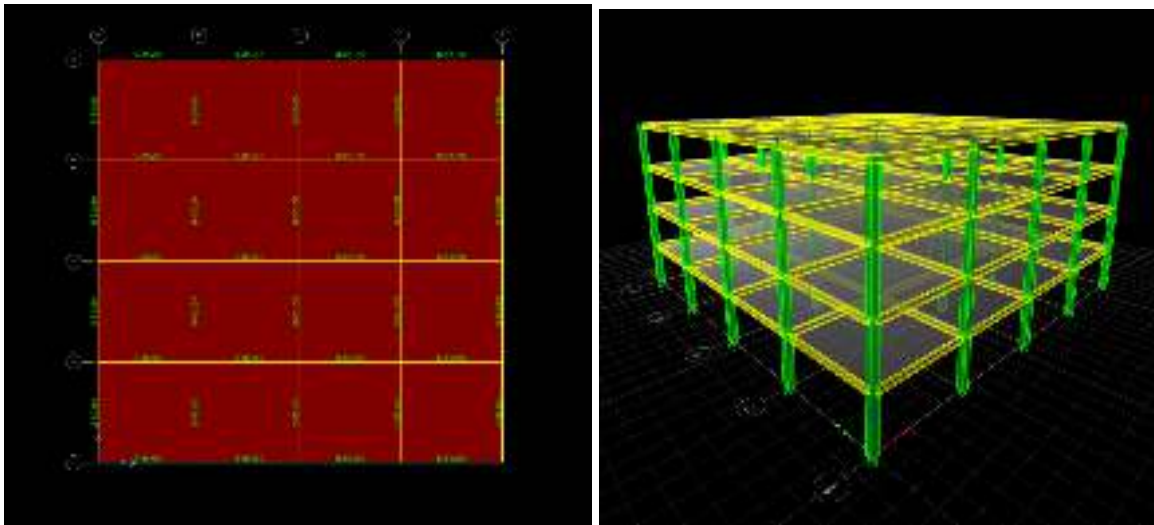
انفجار ناشی از گاز یا حملات تروریستی منابع اصلی بارگذاری غیرعادی محسوب می شوند. [۱۱] تخریب پیشرونده عکس العمل‌های زنجیروار از شکست می‌باشد که توسط از دست رفتن یک و یا تعدادی از اجزای باربر آغاز می‌شود. عامل شروع تخریب پیشرونده می‌تواند عوامل انسانی مانند انفجار، آتش‌سوزی و برخورد وسایل نقلیه و یا خطرهای طبیعی مانند زلزله باشد. وقتی که یک عضو باربر سازه‌های دچار شکست یا از دست دادن مقاومت می‌شود، بار عضو از طریق مسیری جایگزین به اعضای مجاور منتقل می‌شود. آزاد شدن انرژی داخلی به دلیل حذف عضو سازه‌ای منجر به افزایش نیروهای داخلی دینامیکی در اعضای مجاور می‌شود. باز توزیع نیروهای داخلی سازه از طریق مسیرهای انتقال بار منجر به حمل بار اضافی ناشی از حذف عضو سازه‌ای توسط سایر اعضای سازه‌ای می‌شود. اگر اضافه بار توزیع شده از ظرفیت تحمل اعضای صدمه دیده مجاور تجاوز کند، ممکن است شکست محلی دیگری را به وجود آورد. چنین شکست‌های پیاپی ممکن است از عضوی به عضو دیگر پخش شود و سرانجام به تخریب کل سازه و یا بخش وسیعی از آن منجر شود. [۱۲]

#### ۴- معرفی روش تحقیق

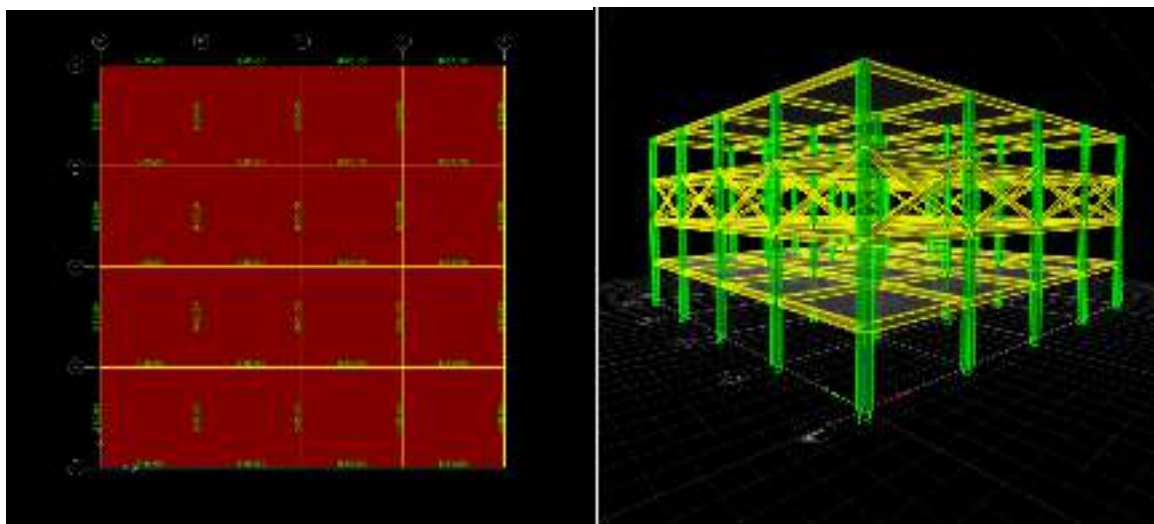
در این پژوهش بمنظور مطالعه و بررسی سیستم مهاربندی کمربند خرابایی در مقاوم‌سازی سازه فولادی تحت بار خرابایی پیش‌رونده، مدل‌ها در دو گروه A, B تقسیم بندی می‌شود، هر گروه دارای ۶ زیر مجموعه هست، در مجموع ۱۲ نمونه مطالعاتی با نام‌های A-۱, A-۲, A-۳, A-۴, A-5, A-6, B-1, B-2, B-3, B-4, B-۵, B-۶ را تشکیل می‌دهند، بعد از تعریف خطوط ترسیمی هندسی مدل‌های مطالعاتی در محیط برنامه ETABS ۲۰۱۶ اشکال هندسی سازه‌های مورد مطالعه زیر ترسیم می‌گردد، در اشکال زیر می‌توان نمای گرافیکی مدل‌های مورد مطالعه را بعد از ایجاد شدن در محیط گرافیکی برنامه ETABS ۲۰۱۶ مشاهده کرد.

جدول شماره (۱): مشخصات و معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

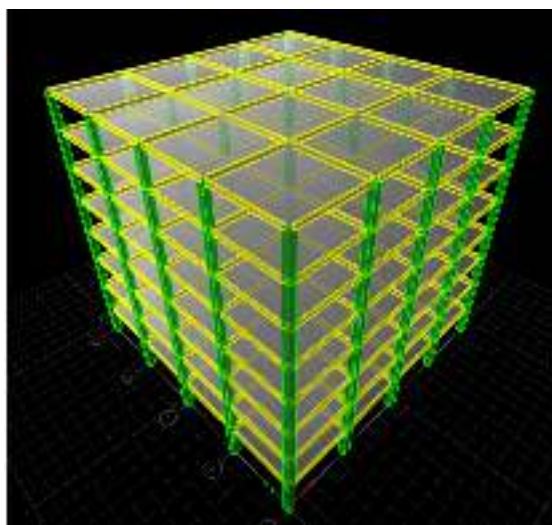
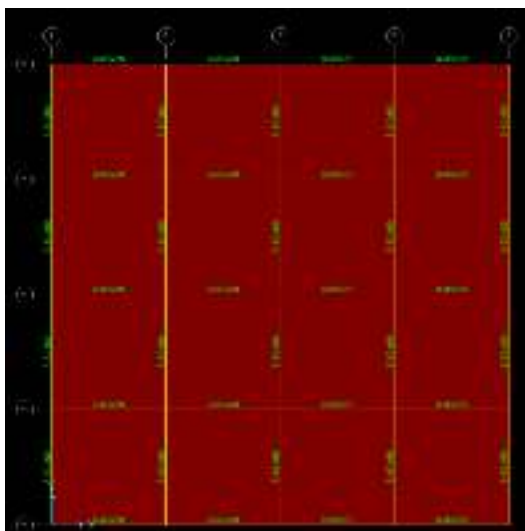
| نام گروه مطالعاتی | نام مدل | حالت سیستم سازه‌ایی | تعداد طبقات | سناریوی تخریب پیش‌رونده |
|-------------------|---------|---------------------|-------------|-------------------------|
| Group-A           | A-۱     | بدون کمربند خرابایی | ۴ طبقه      | ستون مرکزی              |
|                   | A-۲     |                     |             | ستون کناری              |
|                   | A-۳     |                     |             | ستون گوشه               |
|                   | A-۴     | با کمربند خرابایی   |             | ستون مرکزی              |
|                   | A-۵     |                     |             | ستون کناری              |
|                   | A-۶     |                     |             | ستون گوشه               |
| Group-B           | B-۱     | بدون کمربند خرابایی | ۸ طبقه      | ستون مرکزی              |
|                   | B-۲     |                     |             | ستون کناری              |
|                   | B-۳     |                     |             | ستون گوشه               |
|                   | B-۴     | با کمربند خرابایی   |             | ستون مرکزی              |
|                   | B-۵     |                     |             | ستون کناری              |
|                   | B-۶     |                     |             | ستون گوشه               |



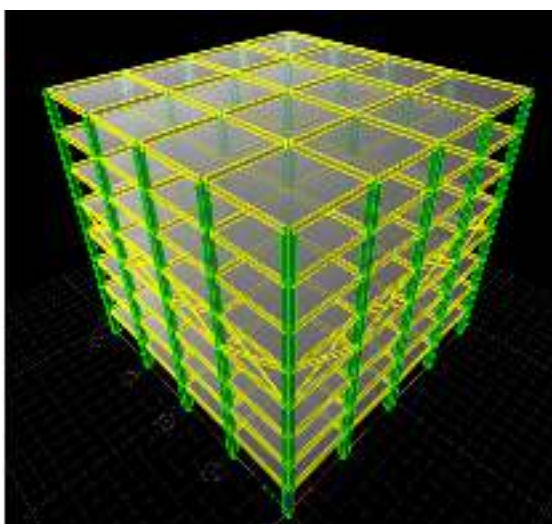
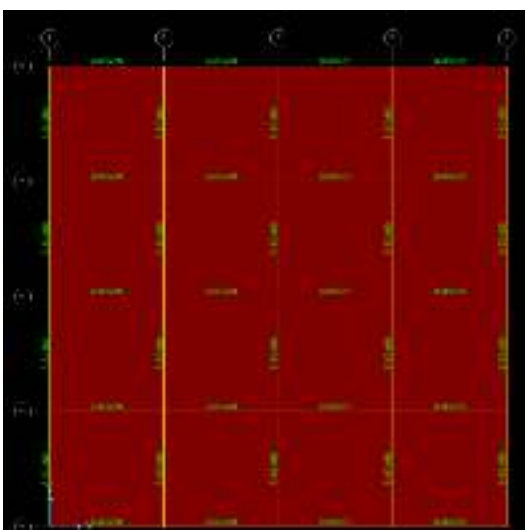
شکل شماره ۴- نمای پارت های ایجاد شده مدل گروه A (بدون کمربند خرابایی) در محیط گرافیکی برنامه ETABS



شکل شماره ۵- نمای پارت های ایجاد شده مدل گروه A (با و بدون کمربند خرابایی) در محیط گرافیکی برنامه ETABS



شکل شماره ۶- نمای پارت های ایجاد شده مدل گروه B (بدون کمر بند خرابایی) در محیط گرافیکی برنامه ETABS

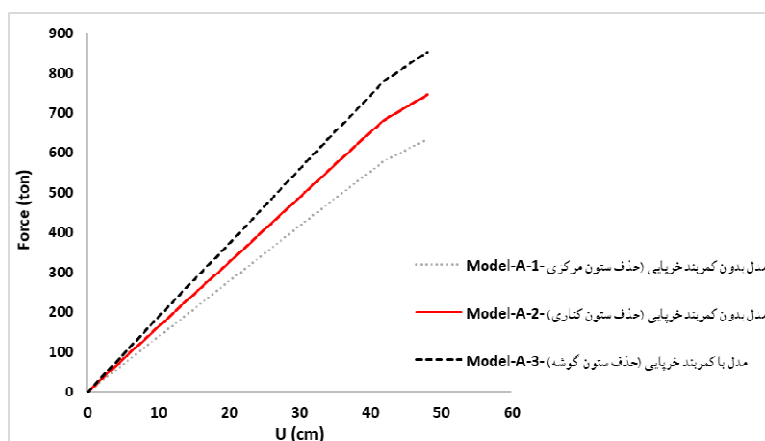


شکل شماره ۷- نمای پارت های ایجاد شده مدل گروه B (با کمر بند خرابایی) در محیط گرافیکی برنامه ETABS

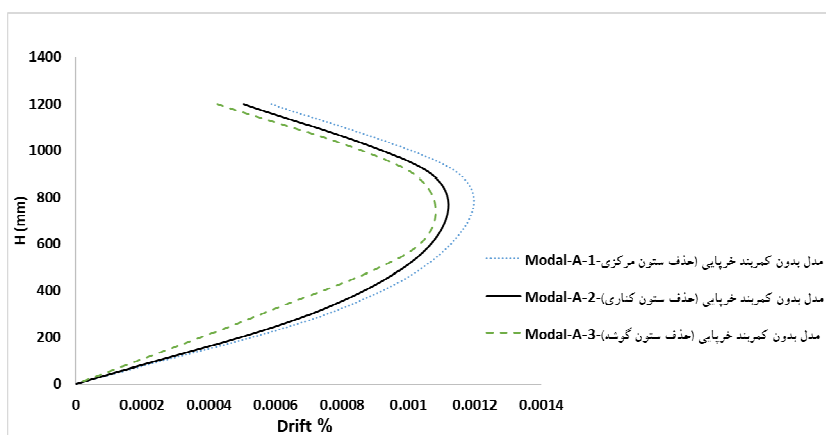
جهت مدلسازی از بتن رده C۲۵ و جهت مدلسازی مقطع میلگرد های فولادی از میلگرد نوع S۴۰۰ استفاده گردیده است. در مرحله معرفی مشخصات مصالح در نرم افزار ETABS۲۰۱۶ رفتار مصالح در ناحیه خطی و غیر خطی لحاظ گردید. همچنین مشخصات مکانیکی فولاد نرمه ST ۳۷، نیز مدنظر قرار گرفته اند.

### ۵- نتایج خروجی حاصل از تحلیل گروه A

در این بخش مدل های گروه مطالعاتی A که نمونه های A-۱، A-۲، A-۳، A-۴، A-۵، A-۶ را تشکیل می دهند، توسط نرم افزار ETABS ۲۰۱۶ تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون قرار گرفته و منحنی ظرفیت سازه تحت خرابی پیش رونده محاسبه شده است، بنابراین در این بخش می توان به مقایسه نمودارهای نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) گروه مطالعاتی A با نمونه های مطالعاتی A-۱، A-۲، A-۳، A-۴، A-۵، A-۶ پرداخت. در شکل (۸) می توان نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) سه نمونه مطالعاتی A-۱، A-۲، A-۳ را مشاهده کرد.

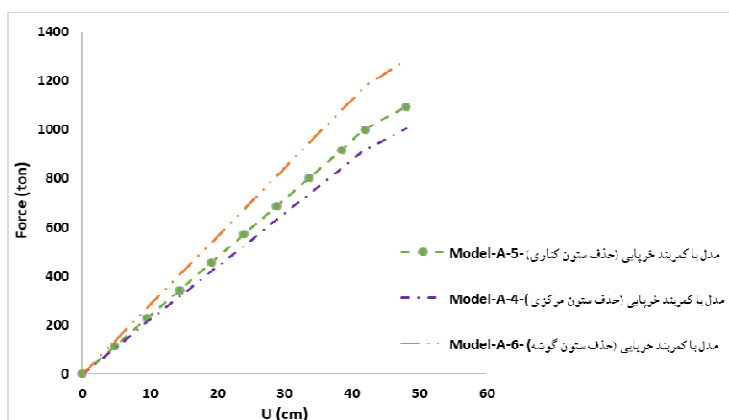


شکل شماره ۸- مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان سازه گروه مطالعاتی A (بدون کمر بند خرابی)

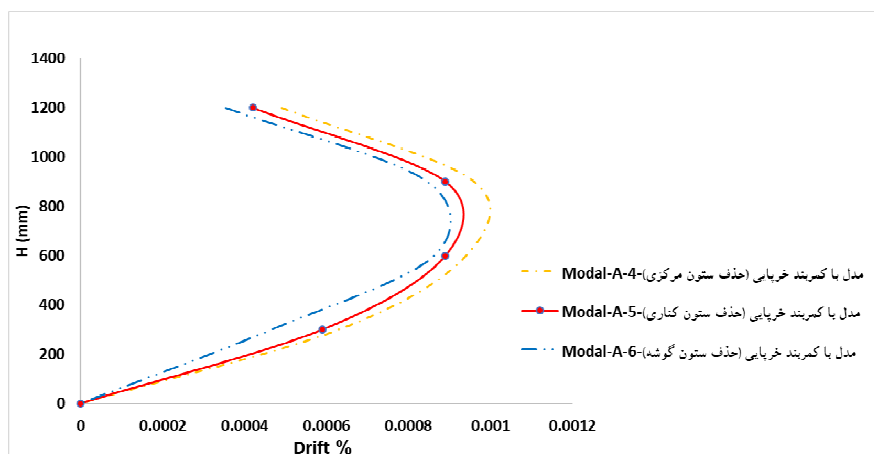


شکل شماره ۹- مقایسه نمودار دررفت سازه گروه مطالعاتی A (بدون کمر بند خرابی)

در شکل (۱۰) می توان نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) سه نمونه مطالعاتی A-۴، A-۵، A-۶ را مشاهده کرد.

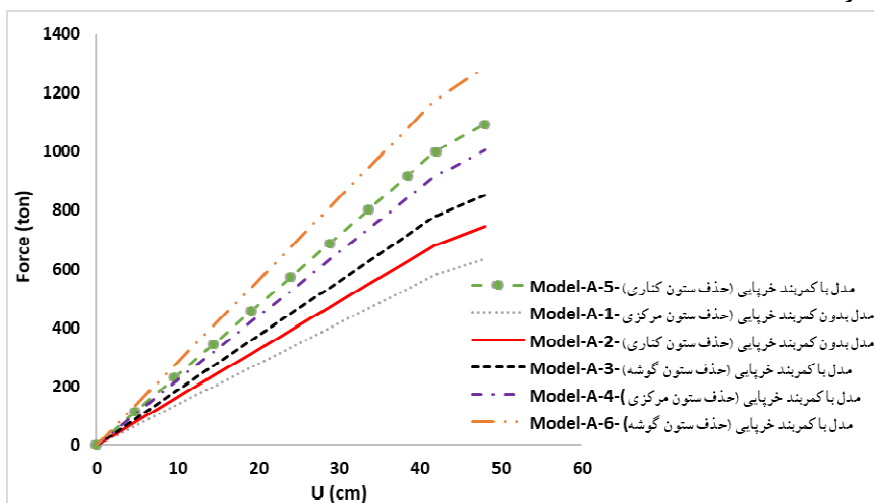


شکل شماره ۱۰- مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان سازه گروه مطالعاتی A (با کمریند خرابایی)



شکل شماره ۱۱- مقایسه نمودار دررفت سازه گروه مطالعاتی A (با کمریند خرابایی)

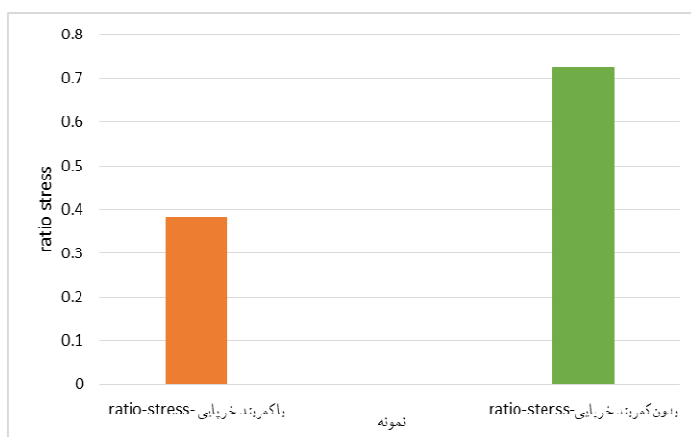
در شکل (۱۲) می‌توان نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) شش نمونه مطالعاتی A-۱, A-۲, A-۳, A-۴, A-۵, A-۶ را مشاهده کرد.



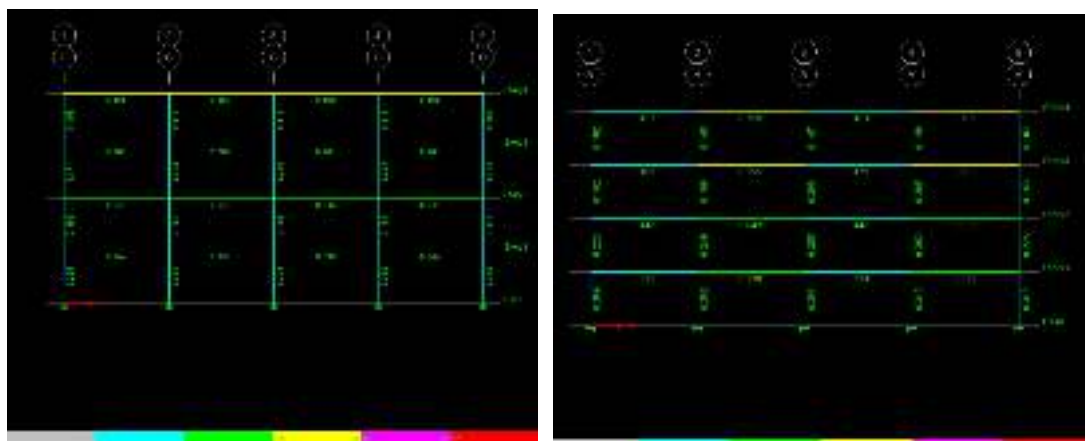
شکل شماره ۱۲- مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان سازه گروه مطالعاتی A (با و بدون کمریند خرابایی)



در شکل (۱۳) می‌توان نمودار توزیع تنش‌های ایجاد شده در اعضای سازه‌ای در دو نمونه مطالعاتی را در حالت با و بدون کمربند خرپایی مورد مقایسه قرار داد. مطابق شکل (۱۳) مشاهده می‌گردد که در حالت بدون کمربند خرپایی در تیر شماره B۳۷ نسبت تنش آن بدون کمربند خرپایی برابر ۰/۷۲۳ می‌باشد. و برای همان تیر مشاهده می‌گردد که این نسبت با کمربند خرپایی برابر ۰/۳۸۳ می‌باشد.

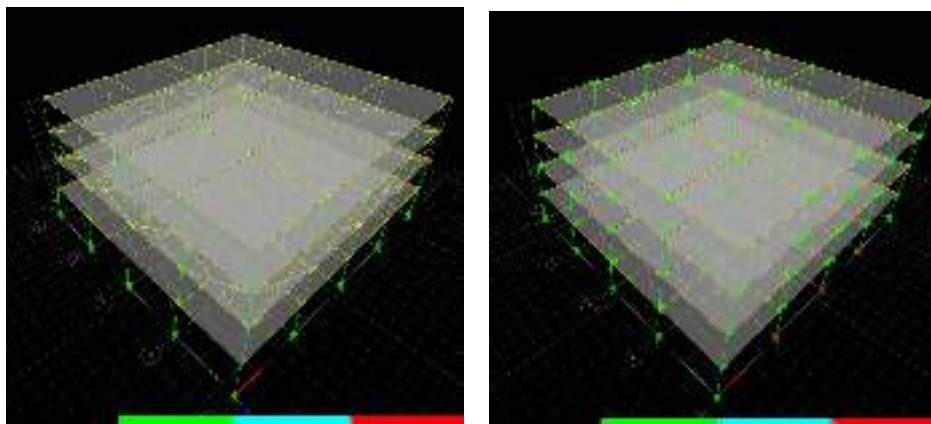


شکل شماره ۱۳- مقایسه نسبت تنش ایجاد شده در نمونه گروه مطالعاتی A (با و بدون کمربند خرپایی)



شکل شماره ۱۴- مقایسه نسبت تنش سازه گروه مطالعاتی A (با و بدون کمربند خرپایی)

در شکل (۱۵) می‌توان نمودار توزیع مفصل‌های خمیری ایجاد شده در اعضای به وجود آمده تیر و ستون را در دو نمونه مطالعاتی در حالت با و بدون کمربند خرپایی مورد مقایسه قرار داد. مشاهده می‌گردد که در حالت بدون کمربند خرپایی مفاصل خمیری بیشتری در حالت ایمنی جانی تحت یک نیروی جانبی پوش ایجاد گردیده است.



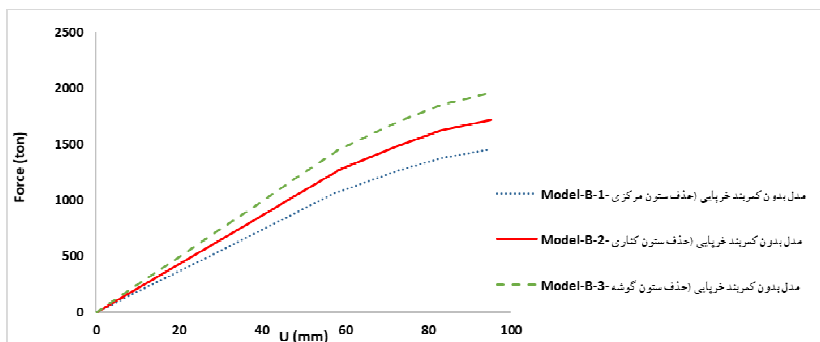
شکل شماره ۱۵- مقایسه مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه چهار طبقه (با و بدون کمر بند خرابی) در شکل (۱۶) می‌توان نمودار وزن ایجاد شده در نمونه را در حالت با و بدون کمر بند خرابی مورد مقایسه قرارداد. مشاهده می‌گردد که در حالت بدون کمر بند خرابی وزن کمتری در حدود ۶ درصد در نمونه نسبت به نمونه با کمر بند خرابی ایجاد شده است.



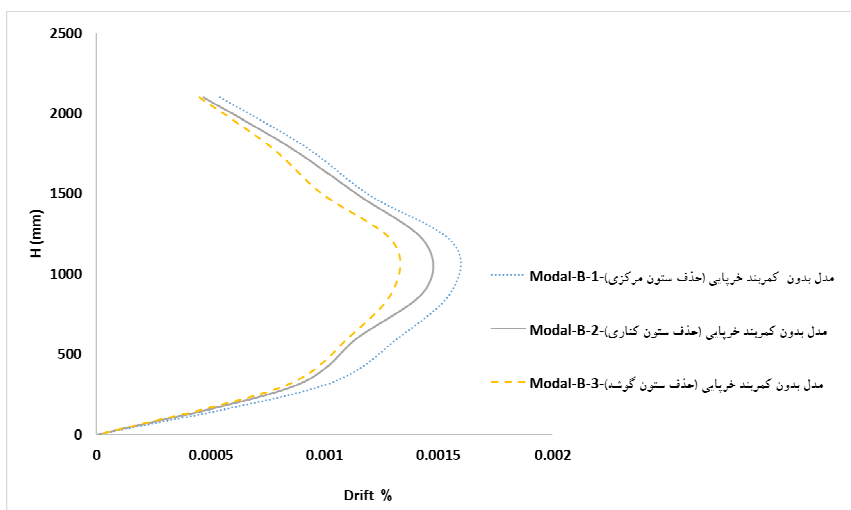
شکل شماره ۱۶- مقایسه نسبت وزن سازه گروه مطالعاتی A (با و بدون کمر بند خرابی)

### ۶- نتایج خروجی حاصل از تحلیل گروه B

در این بخش مدل‌های گروه مطالعاتی B که نمونه‌های B-۱, B-۲, B-3, B-4, B-۵, B-۶ را تشکیل می‌دهند، توسط نرم‌افزار ETABS ۲۰۱۶ تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون قرار گرفته و منحنی ظرفیت سازه تحت خرابی پیش‌رونده محاسبه شده است، بنابراین در این بخش می‌توان به مقایسه نمودارهای نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت) گروه مطالعاتی B با نمونه‌های مطالعاتی B-۱, B-2, B-3, B-4, B-۵, B-۶ پرداخت. در شکل (۱۷) می‌توان نمودار نیرو-تغییرمکان (منحنی ظرفیت) سه نمونه مطالعاتی B-۱, B-۲, B-۳ را مشاهده کرد.

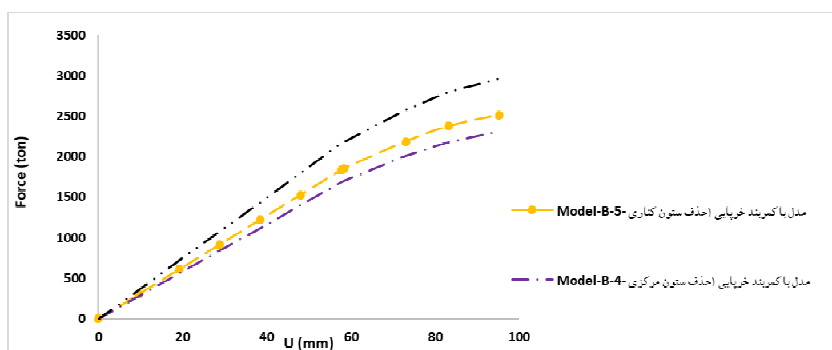


شکل شماره ۱۷- مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان سازه گروه مطالعاتی B (بدون کمر بند خرابایی)

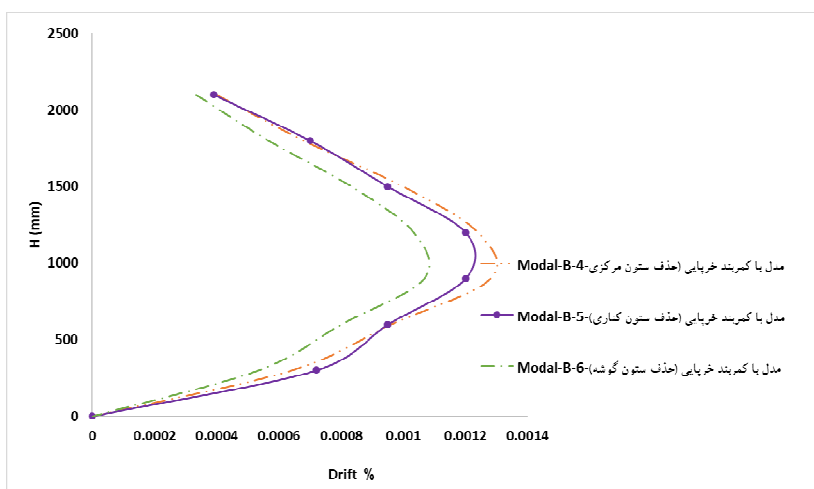


شکل شماره ۱۸- مقایسه نمودار دریفت سازه گروه مطالعاتی B (بدون کمر بند خرابایی)

در شکل (۱۹) می توان نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) این سه نمونه مطالعاتی B-4, B-5, B-6 را مشاهده کنیم .

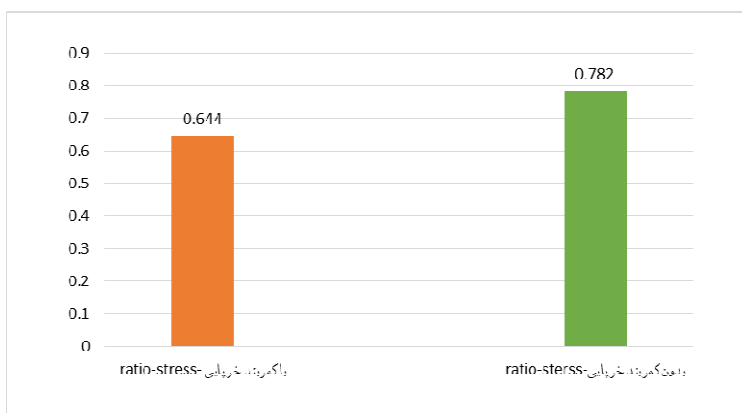


شکل شماره ۱۹- مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان سازه گروه مطالعاتی B (با کمر بند خرابایی)

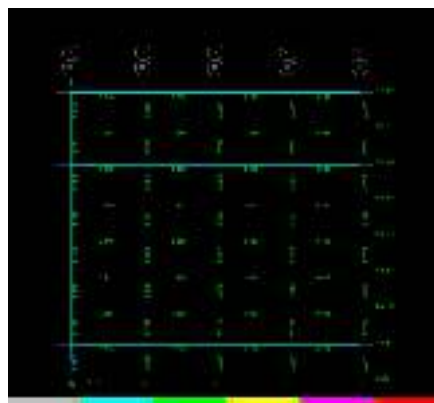
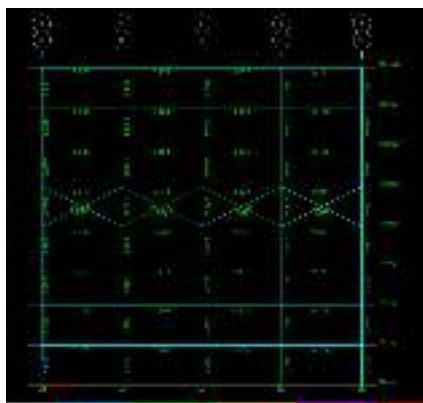


شکل شماره ۲۰- مقایسه نمودار دریفت سازه گروه مطالعاتی B (با کمر بند خرابایی)

در شکل (۲۱) میتوان نمودار توزیع تنش های ایجاد شده در اعضای به وجود آمده اعضای سازه ای در دو نمونه مطالعاتی در حالت با و بدون کمر بند خرابایی مورد مقایسه قرار داد. مشاهده می گردد که در حالت بدون کمر بند خرابایی در تیر شماره  $B^{۱۹}$  نسبت تنش آن بدون کمر بند خرابایی برابر  $0.782$  می باشد. و برای همان تیر مشاهده می گردد این نسبت با کمر بند خرابایی  $0.644$  می باشد.

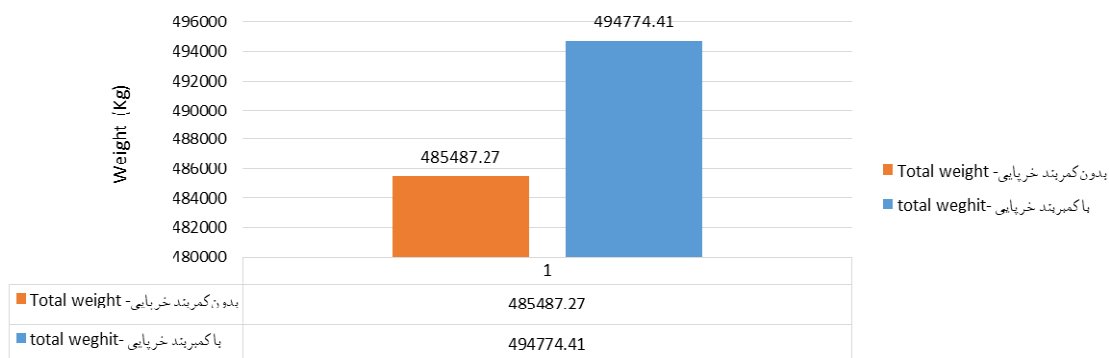


شکل شماره ۲۱- مقایسه نسبت تنش سازه گروه مطالعاتی B (با و بدون کمر بند خرابایی)

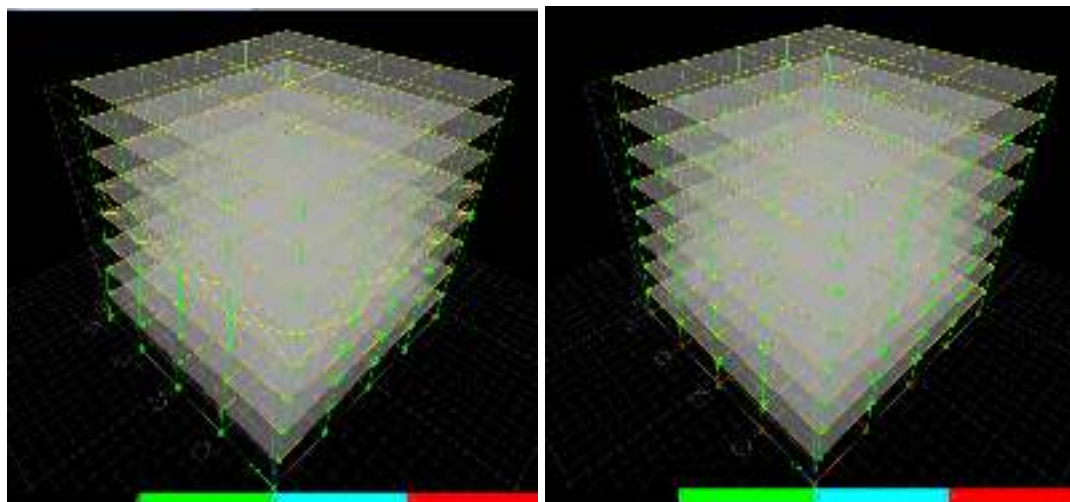


شکل شماره ۲۲- مقایسه نسبت‌های تنش بوجود آمده در سازه نمونه (با و بدون کمربند خرابایی) در شکل (۲۳) می‌توان نمودار وزن ایجاد شده در نمونه را در حالت با و بدون کمربند خرابایی مورد مقایسه قرار داد. مشاهده می‌گردد که در حالت بدون کمربند خرابایی وزن کمتری در نمونه نسبت به نمونه با کمربند خرابایی ایجاد شده است.

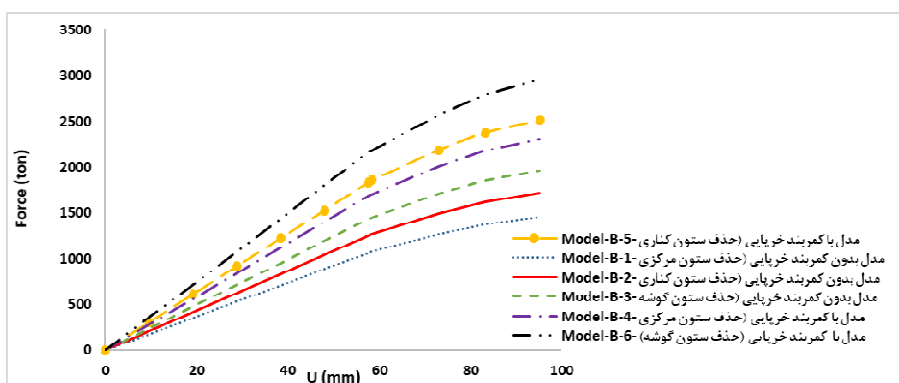
مقایسه وزن سازه در حالت با و بدون کمربند خرابایی



شکل شماره ۲۳- مقایسه نسبت وزن سازه گروه مطالعاتی B (با و بدون کمربند خرابایی) در شکل (۲۴) می‌توان نمودار توزیع مفصل‌های پلاستیک ایجاد شده در اعضای به وجود آمده تیر و ستون را در دو نمونه مطالعاتی در حالت با و بدون کمربند خرابایی مورد مقایسه قرار داد. مشاهده می‌گردد که در حالت بدون کمربند خرابایی مفاصل پلاستیک بیشتری در حالت ایمنی جانی تحت یک نیروی جانبی پوش ایجاد گردیده است.



شکل شماره ۲۴- مقایسه مفاصل پلاستیک ایجاد شده در سازه هشت طبقه (با و بدون کمربند خرابایی) مدل‌های گروه مطالعاتی B که دارای کمربند خرابایی بودند عبات بودند از نمونه B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6 این نمونه‌ها توسط نرم‌افزار ETABS ۲۰۱۶ تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی بارافزون برای بدست آوردن منحنی ظرفیت سازه تحت خرابی پیش رونده تحت تحلیل قرار گرفتند. در شکل زیر می‌توان نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت) این شش نمونه مطالعاتی B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6 را مشاهده کرد.



شکل شماره ۲۵- مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان سازه گروه مطالعاتی B (با و بدون کمربند خرابایی)

## ۹- نتیجه گیری

در این پژوهش کلیه مدل‌ها توسط برنامه ETABS ۲۰۱۶ مورد مدلسازی و تحلیل قرار گرفت. بعد از مدلسازی و انجام تحلیل‌های اجزاء محدود نتایج زیر در این پژوهش حاصل شد.

۱- با توجه به مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های A-۱ (حذف ستون مرکزی) نسبت به نمونه A-۲ (حذف ستون کناری) مشاهده گردید، که نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر محل تخریب ستون سبب کاهش ۲۳/۵۳٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی A-۱ نسبت به مقاومت نمونه A-۲ خواهد گردید.

۲- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های A-۲ (حذف ستون کناری) نسبت به نمونه A-۳ (حذف ستون گوشه) مشاهده گردید، که نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون، سبب کاهش ۱۹/۴۱٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی A-۲ نسبت به مقاومت نمونه A-۳ خواهد شد.

۳- با توجه به مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های A-۱ (حذف ستون مرکزی بدون کمربند خرابایی) نسبت به نمونه A-۴ (حذف ستون مرکزی با کمربند خرابایی) مشاهده گردید، که نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب افزایش ۲۱/۲۱٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی A-۴ نسبت به مقاومت نمونه A-۱ خواهد شد.

۴- با توجه به مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های A-۲ (حذف ستون کناری بدون کمربند خرابایی) نسبت به نمونه A-۵ (حذف ستون کناری با کمربند خرابایی) مشاهده گردید، که نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب افزایش ۲۴/۵۱٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی A-۵ نسبت به مقاومت نمونه A-۲ خواهد شد.

۵- با توجه به مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های A-۳ (حذف ستون گوشه بدون کمربند خرابایی) نسبت به نمونه A-۶ (حذف ستون گوشه با کمربند خرابایی) مشاهده گردید، که نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب افزایش ۲۵/۷۱٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی A-۶ نسبت به مقاومت نمونه A-۳ خواهد شد.

۶- با توجه به مقایسه نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های B-۱ (حذف ستون مرکزی) نسبت به نمونه B-۲ (حذف ستون کناری) مشاهده گردید، که نمودار نیرو-تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب کاهش ۲۱/۷۲٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی B-۱ نسبت به مقاومت نمونه B-۲ خواهد شد.

۷- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های B-۲ (حذف ستون کناری) نسبت به نمونه B-۳ (حذف ستون گوشه) مشاهده گردید، که نمودار نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون، سبب کاهش ۲۰/۶۳ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی B-۲ نسبت به مقاومت نمونه B-۳ خواهد شد.

۸- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های B-۱ (حذف ستون میانی بدون کمر بند خرابی) نسبت به نمونه B-۴ (حذف ستون میانی با کمر بند خرابی) مشاهده گردید، که نمودار نیرو- تغییر مکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب افزایش ۲۳/۵۲٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی B-۴ نسبت به مقاومت نمونه B-۱ خواهد شد.

۹- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های B-۲ (حذف ستون کناری بدون کمر بند خرابی) نسبت به نمونه B-۵ (حذف ستون کناری با کمر بند خرابی) مشاهده گردید، که نمودار نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب افزایش ۲۲/۳۴٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی B-۵ نسبت به مقاومت نمونه B-۲ خواهد شد.

۱۰- با توجه به مقایسه نمودار نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت سازه) مدل‌های B-۳ (حذف ستون گوشه بدون کمر بند خرابی) نسبت به نمونه B-۶ (حذف ستون گوشه با کمر بند خرابی) مشاهده گردید، که نمودار نیرو- تغییرمکان (منحنی ظرفیت سازه) تحت خرابی پیش‌رونده با تغییر تخریب محل ستون سبب افزایش ۲۴/۸۵٪ درصدی مقاومت نمونه مطالعاتی B-۶ نسبت به مقاومت نمونه B-۲ خواهد شد.

## مراجع

- [۱] محمودی سجاد، ۱۳۹۰، بررسی رفتار قابهای خمشی فولادی تحت تاثیر خرابی پیش‌رونده، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، گروه سازه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران- سازه، استاد راهنما: دکتر علی حدیدی، استاد مشاور: دکتر کامبیز کوهستانی
- [۲] حاجی کاظمی، ح. (مترجم). آنالیز و طراحی سازه‌های بلند، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲
- [۳] Schueller W., :High - Rise Building Structures, John Wiley & Sons, New York, ۱۹۷۷.
- [۴] Stafford Smith B. and Salim, I., Formulae for optimum drift resistance of outrigger braced tall building structure, Computer & Structures, Vol. ۱۷, No. ۱, ۱۹۸۳.
- [۵] Taranath B.S. :Structural Analysis and Design of Tall Buildings: Steel and composite construction, CRC Press I L<sup>c</sup>, ۲۰۱۱.
- [۶] Naeim F. The Seismic Design Handbook
- [۷] Abbas Haghollahi , Mohsen Besharat Ferdous, Mehdi Kasiri. Optimization of outrigger locations in steel tall buildings subjected to earthquake loads ۱۵ WCEE, LISBOA, ۲۰۱۲
- [۸] Chen Z . Seismic response of high-rise zipper braced frame structures with outrigger trusses, for the Degree of Master of Applied Science (Civil Engineering) at Concordia University Montreal, Quebec, Canada, ۲۰۱۲
- [۹] Taranath B.S. Structural Analysis and Design of Tall Buildings. McGraw Hill Book Company: New York, ۱۹۸۸
- [۱۰] N.Herath, N.Haritos, T.Ngo & P.Mendis. Behaviour of Ourigger Beams in High rise Buildings under Earthquake Loads. Australian Earthquake Engineering Society ۲۰۰۹ Conference, ۲۰۰۹

[۱۱] INTERNATIONAL MONOHULL OPEN CLASS ASSOCIATION, I.M.O.C.A., OPEN ۶۰' ISAF INTERNATIONAL CLASS, Class Rules - ۲008, Version 1, (Retrieved 2016-11-12.)

[۱۲] اسحقی مهماندوستی سالار، (۱۳۹۰)، تحلیل تقریبی سیستم ترکیبی قاب محیطی تودرتو، مهار بازویی و کمر بند خربایی در ساختمانهای بلند، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، استاد راهنما: رضا رهگذر، پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۹۰

[۱۳] کلانتری مسیحا، (۱۳۹۰)، بررسی رفتار لرزه ای سازه های بلند با کمر بند خربایی و محاسبه ضریب رفتار آن ها، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشگاه زنجان، استاد راهنما: علی جعفروند، پایان نامه کارشناسی ارشد ۱۳۹۰

[۱۴] فاروقی علیرضا، ۱۳۹۵، تخریب پیشرونده، عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق