

## کاربرد بادبند کماتش ناپذیر و دیوار برشی در مقاوم سازی ساختمان بتنی موجود

مهدی ایزدی<sup>۱\*</sup>، محمد ایزدی<sup>۲</sup>، عباس اکبرپور نیک قلب<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس

۲- دانشجوی کارشناسی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید منتظری مشهد

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

### چکیده

ساختمان‌های آسیب پذیر و مقاوم سازی آنها از مسائل مهم برای مناطق زلزله خیز می‌باشند. در دهه‌های اخیر مطالعات روی بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های گوناگون منجر به ابداع روش‌های جدید و متنوع در این زمینه گردیده است. اکثر این روشها مستلزم وقفه در بهره برداری به منظور اتمام عملیات مقاوم سازی می‌باشند. روش‌های زیادی همچون اضافه کردن اجزای سازه‌ای (دیوار برشی فولادی و بتنی، بادبندهای فولادی و بادبندهای کماتش ناپذیر)، تقویت اعضای سازه‌ای ضعیف و تغییر کاربری سازه را می‌توان برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه نام برد. در پاسخ به بسیاری از مسائل عملی و ملاحظات اقتصادی، مهندسان معمولاً از قاب‌های بادبندی شده ی همگرای کماتش ناپذیر به عنوان سامانه‌ی مقاوم در برابر بارهای جانبی در طول یک زمین لرزه استفاده می‌کنند. این نوع بادبندها باعث افزایش سختی و مقاومت در سازه‌های بتنی می‌شوند. هدف مطالعه حاضر، مقایسه عملکرد لرزه‌ای و مقاوم سازی یک سازه بتنی ۷ طبقه موجود با استفاده از بادبند کماتش ناپذیر و دیوار برشی پیرامونی بصورت جداگانه مطابق با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰) می‌باشد که این عمل توسط روش تحلیل استاتیکی غیر خطی انجام می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که بادبند کماتش ناپذیر باعث شده دریافت طبقات به حد قابل قبول کاهش یافته و سازه در سطح عملکرد ایمنی جای رفتار می‌کند.

**کلمات کلیدی:** بادبند کماتش ناپذیر (BRB)، دیوار برشی، مقاوم سازی لرزه‌ای، سطح عملکرد، تحلیل استاتیکی غیرخطی.

## The Application of Buckling Reinforced Bracing and Shear Wall in Retrofitting of Existing Concrete Building

Mahdi Izadi<sup>1\*</sup>, Mohammad Izadi<sup>2</sup>, Abbas Akbar Pour<sup>3</sup>

1- MSc in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University Bandar Abas Branch

2- BSc Student, Department of Civil Engineering, Shahid Montazeri University of Mashhad

3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University - South Tehran Branch

### Abstract

Vulnerable buildings and their rehabilitation are important problems for earthquake regions. In recent decades the goal of building rehabilitation and strengthening has gained different rehabilitation systems. However, most

\* مؤلف مسئول: مهدی ایزدی، mahdi\_civil62@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۲/۲ - تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱/۲۱

of these strengthening techniques disturb the occupants, who must vacate the building during renovation. Several retrofitting techniques such as addition masonry infill wall, application of buckling restrained braces and local modification of components has been studied in order to improve the overall seismic performance of such buildings. In response to many of the practical issues and economic considerations, engineers use often convergent unbuckling steel bracing frames as the lateral load resisting system during an earthquake. This kind of bracings increases the hardness and strength of concrete structures. The aim of the present study is the evaluation and comparison of seismic performance and retrofitting of an existing 7-storeys concrete structure with buckling restrained bracings and shear walls by nonlinear static procedure (NSP) and accordance with cod-361. The results show that the buckling restrained bracing, decreased drift to acceptable levels and Structure behaves on the life safety of performance level.

**Keywords:** Buckling restrained bracing (BRB), Shear walls, Seismic performance, Performance based design, Nonlinear static procedure.

## ۱- مقدمه

زلزله یکی از پدیده‌های مخرب طبیعی است که تنها طی نیمه قرن اخیر خسارات جانی و مالی زیادی را به جا گذاشته است. کشور ایران به عنوان یکی از کشورهای زلزله خیز جهان، طی این دوره دچار خسارات و عواقب ناشی از این پدیده گردیده است. امکان وقوع زلزله‌های شدید به دلیل شرایط طبیعی زمین ساختاری ایران، طراحی و ساخت ساختمان‌های بتنی زیادی که ضوابط بارگذاری لرزه ای در آنها رعایت نشده یا به دلیل تغییر این ضوابط، بارهای لرزه‌ای آنها دست پایین برآورد شده و نیز تغییر در کاربری ساختمان‌ها، اشتباه در تحلیل و طراحی، عدم دسترسی به آیین نامه دقیق، حوادث طبیعی در طول عمر سازه، بتن کم کیفیت، ستون ضعیف- تیرقوی، اتصالات ضعیف و ... ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌ها موجود و نیز بهسازی آنها را ضروری می‌سازد [۱].

روش‌های زیادی همچون اضافه کردن اجزای سازه‌ای (دیوار برشی فولادی و بتنی، بادبندهای فولادی و بادبندهای کمانش ناپذیر<sup>۱</sup>)، تقویت اعضای سازه‌ای ضعیف و تغییر کاربری سازه برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه می‌توان نام برد [۲ و ۳].

امروزه استفاده از میراکننده‌های انرژی در سازه به منظور اتلاف انرژی زلزله مورد توجه فراوان قرار گرفته است. مزیت اصلی استفاده از میراگرها، جذب انرژی زلزله در اجزایی مجزا از قاب سازه می‌باشد که این امر منجر به کاهش آسیب‌هایی سازه اصلی در هنگام وقوع زلزله می‌گردد. در میان انواع مختلف میراگرها، میراگرهای هیستریزیس به دلیل هزینه کم، قابلیت اطمینان بالا و فقدان اجزای مکانیکی در آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. مطالعات نشان داده است که موثرترین و اقتصادی‌ترین روش افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه موجود افزودن عضو جدید به سازه موجود می‌باشد [۴].

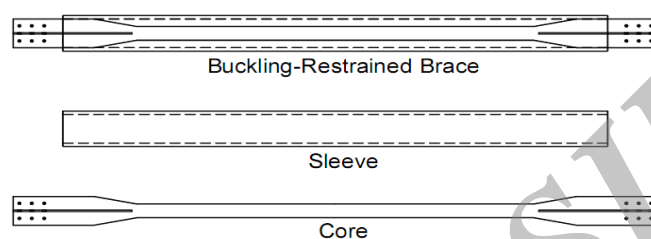
استفاده از دیوار برشی و بادبندهای قطری فولادی به عنوان روشهای جالب به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌رحال به این نکته باید توجه شود که بادبندهای معمول و مرسوم موقعی که تحت تاثیر تنشهای فشاری قرار می‌گیرند تمایل به کمانش دارند که منجر به رفتار ناپایدار در بارهای چرخه‌ای می‌گردند [۵].

مطالعات انجام گرفته روی مقاوم سازی لرزه‌ای سازه بتنی با استفاده از بادبند کمانش ناپذیر نشان می‌دهد که این سیستم تاثیر چشمگیری بر افزایش مقاومت و سختی سازه بتنی دارد و عملکرد لرزه‌ای سازه را بهبود می‌بخشد [۶ و ۷]. این بادبندها می‌توانند در قابهای پیرامونی [۷] و همچنین قابهای داخلی [۸] سازه نصب گردند.

در هر حال همه این موارد مقاوم سازی، سختی و مقاومت سازه را در حد رضایت بخشی افزایش می‌دهند اما اکثر آنها بغیر از بادبندهای پیرامونی نیازمند عملیات اجرایی در داخل سازه بوده که منجر به ایجاد مزاحمت برای بهره برداری از ساختمان می‌گردند و باعث می‌شوند که سازه برای مدتی قابل استفاده نباشد در نتیجه تحقیقات به سمت استفاده از روشهایی که این مشکل را برطرف کنند متمرکز گردید [۹].

## 1. Buckling Restrained Bracings (BRBs)

بسیاری از نقایص رفتاری مهاربندهای همگرای متعارف نتیجه اختلاف بین ظرفیت فشاری و کششی این مهاربندها و زوال در مقاومت این مهاربندها تحت بارگذاری چرخه‌ای می‌باشد. از این رو تحقیقات بسیاری صرف بهسازی این مهاربندها جهت رسیدن به یک رفتار الاستوپلاستیک ایده‌آل گردیده است. برای رسیدن به این هدف لازم بود تا با استفاده از مکانیزم مناسبی از کماتش فشاری مهاربند جلوگیری شود و امکان تسلیم فشاری فولاد فراهم شود روشی که مدنظر قرار گرفت عبارت بود از محصورسازی یک هسته فلزی شکل پذیر در میان حجمی از بتن که خود توسط یک غشای فلزی در برگرفته شده است شکل (۱). وقتی این نوع بادبندها به صورت مناسب طراحی و جزییات بندی شوند، غلاف فولادی نباید هیچگونه نیروی محوری را تحمل کند [۱۰].



شکل (۱): بادبند کماتش ناپذیر

مبانی اصلی عملکرد این میراگر، جلوگیری از وقوع کماتش هسته فولادی به منظور امکان وقوع پدیده تسلیم فشاری در آن و در نتیجه امکان جذب انرژی در این عضو از سازه می‌باشد. این امر با پوشاندن سراسر طول هسته فولادی در لوله فولادی پر شده با بتن یا ملات میسر می‌گردد [۱۱]. در مهاربندهای مقاوم در برابر کماتش (BRB) به دلیل جلوگیری از کماتش مهاربند در کشش و فشار، قابلیت اتلاف انرژی و شکل پذیری سیستم بالا رفته و سازه رفتار بسیار پایدارتری را از خود نشان می‌دهد [۱۲].

رفتار قابهای دارای مهاربندهای کماتش ناپذیر به رغم مشابهت ظاهری، تفاوت زیادی با قابهای مهاربندی متداول هم محور دارد. در سیستم مهاربندی کماتش ناپذیر حلقه‌های هیستریزاس از نوع پایدار بوده و طی چرخه‌های بارگذاری و باربرداری متعدد، افت در مقاومت و سختی سیستم مشاهده نمی‌شود. در حالیکه تحقیقات دو دهه اخیر نشان می‌دهد که در سیستم مهاربندی‌های هم محور این مهاربندها در مود فشاری دچار کماتش کلی می‌شوند و در نتیجه سیستم دچار زوال در مقاومت و سختی می‌شود و در واقع پایین افتادگی منحنی هیستریزاس را موجب می‌شود. برای جلوگیری از این رفتار نامطلوب و کماتش بادبندها، سیستم بادبندهای Buckling Restraint Brace (BRB) به وجود آمد [۱۳]. در این سیستم نیاز به فراهم آوردن یک سطح لغزش یا لایه ناپیوستگی بین هسته فلزی و بتن محصور کننده وجود دارد. سطح مقطع هسته فولادی در دو انتهای بادبند که خارج از غلاف فولادی می‌باشد برای اطمینان جهت عدم کماتش بیشتر می‌باشد [۱۴].

در طراحی سیستم‌هایی که از بادبند کماتش ناپذیر استفاده می‌شود، آگاهی از تاثیر این نوع بادبند بر رفتار سازه مهم می‌باشد. از جمله:

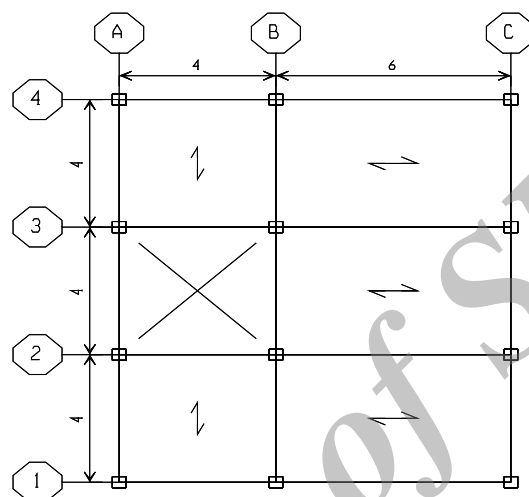
۱. تاثیر بر سختی سازه ۲. تاثیر بر مقاومت سازه ۳. تاثیر بر جذب انرژی، که مورد اول و دوم بر منحنی ظرفیت سازه تاثیر می‌گذارند.

در این مطالعه سازه بتنی با استفاده از نرم افزارهای ETABS Nonlinear V.9.7.1 و PERFORM-3D 5 و بر اساس تحلیل استاتیکی غیر خطی پوش آور مطابق با نشریه بهسازی ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۰) و بر اساس نیازهای آیین نامه ۲۸۰۰ مورد بررسی قرار گرفت و همچنین به منظور ترسیم نمودارها داده‌های لازم از نرم افزار PERFORM-3D استخراج شده و با استفاده از نرم افزار EXCEL و MATLAB7.6.0(R2800a) این نمودارها ترسیم گردیدند.

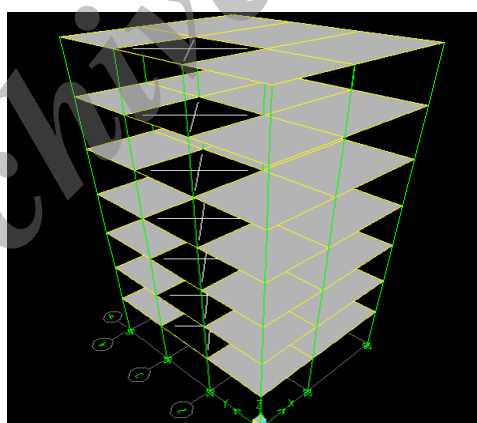
## ۲- سازه موجود

## ۱-۲ معرفی سازه بتن مسلح موجود

سازه انتخاب شده یک ساختمان مسکونی بتنی و با ارتفاع ۲۲/۹۰ متر از سطح زمین بوده و دارای ۷ طبقه می‌باشد که بر اساس معیارهای ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ ملی ایران در سال ۱۳۷۰ و در شهر تهران احداث گردیده است. طبقه همکف با ارتفاع ۳/۷۰ متر کاربری تجاری دارد و سایر طبقات با ارتفاع ۳/۲۰ متر مسکونی هستند شکل (۳ و ۲).



شکل (۲): پلان سازه

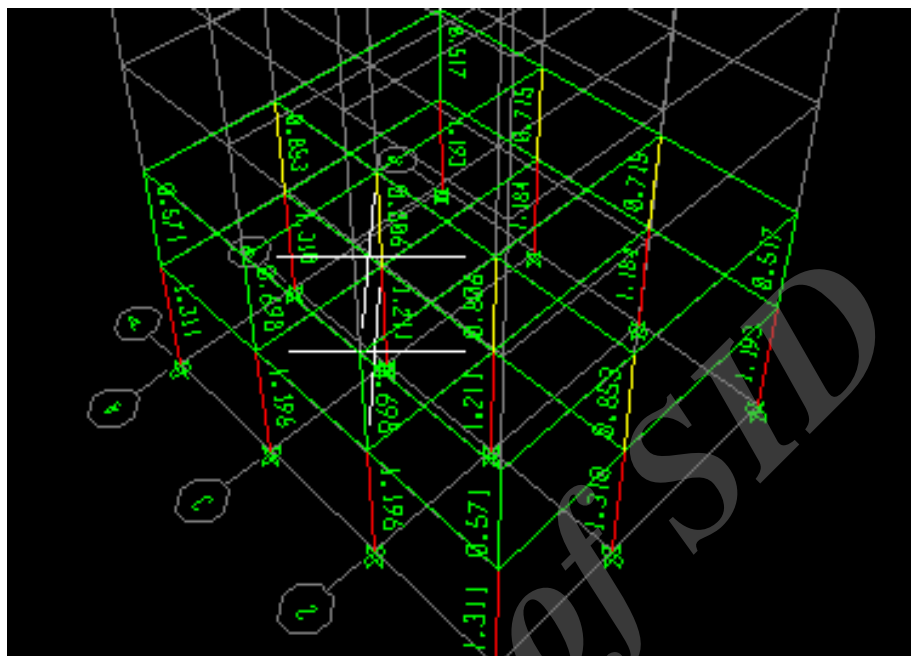


شکل (۳): نمای سه بعدی ساختمان

## ۲-۲ بررسی رفتار سازه مورد مطالعه

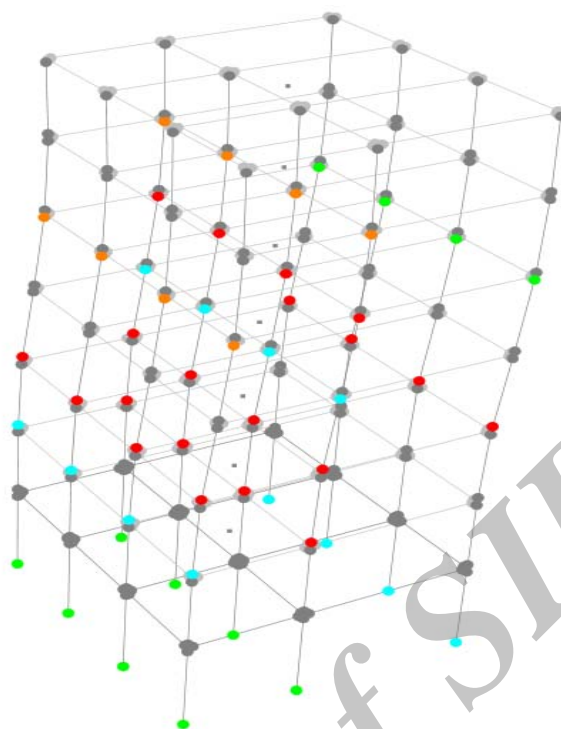
ابتدا عملکرد سازه موجود با استفاده از مدل‌سازی ۳ بعدی با دیافراگم صلب در نرم افزار ETABS و بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ملی ایران و آیین نامه بتن ایران (آبا) مورد تحلیل و طراحی قرار گرفت. ضرایب بارهای لرزه‌ای براساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ محاسبه شده، آنگاه بارهای لرزه ای جدید بر سازه بتن مسلح طرح شده موجود اعمال گردید [۱۵]. برش پایه کل سازه موجود برابر با  $W/0.98$  می‌باشد که بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ملی ایران به  $W/0.125$  افزایش می‌یابد. تحلیل‌های انجام گرفته حاکی از

آن است که ستون‌ها در وضعیت جدید پاسخ گوی بارهای لرزه‌ای نمی‌باشند و نسبت تنش در تعدادی از آنها از یک تجاوز می‌کند شکل (۴). همچنین جابجایی نسبی در بعضی از طبقات از مقدار مجاز بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ملی ایران بیشتر می‌شود.



شکل (۴): نسبت تنش در سازه موجود

سطح عملکرد و منحنی ظرفیت سازه موجود نیز با استفاده از نرم افزار PERFORM-3D و توسط روش تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش آور) مورد بررسی قرار گرفت. معیارهای مدلسازی و پذیرش تیر و ستون بر اساس پارامترهای مدل سازی و معیارهای پذیرش برای روش‌های غیرخطی تیرها و ستون‌های بتن مسلح، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه ۳۶۰ انتخاب شدند. سازه باید تحت اثر زلزله طرح (این سطح خطر براساس ۱۰٪ احتمال رویداد در ۵۰ سال که معادل دوره ی بازگشت ۴۷۵ سال است، تعیین می‌شود)، در سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) به ۱/۵ برابر مقدار تغییر مکان هدف  $(\delta_i = C0C1C2C3Sa \frac{Te^2}{4\pi^2g})$  برسد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد سازه از سطح عملکرد ایمنی جانی گذشته و در سطح عملکرد آستانه فروریزش به تغییر مکان هدف می‌رسد و در ستونها مفصل پلاستیک تشکیل می‌گردد شکل (۵). بدین ترتیب که ابتدا در قسمت پایین ستونهای طبقه چهارم و سپس در قسمت بالای ستونهای طبقه پنجم و در انتها در قسمت پایین ستونهای طبقه سوم در قاب B مفصل پلاستیک تشکیل گردید و همچنین با بررسی نسبت کاربردی سازه نیز مشخص شد که این نسبت در سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) از یک بیشتر می‌باشد شکل (۶). پس از بررسی سازه مشخص شد که ظرفیت آن با نیاز لرزه‌ای برابر نیست بنابراین در برابر بار جانبی آسیب پذیر است و به عبارت دیگر نیاز به بهسازی دارد. در بهسازی، هدف آن است که بتوان به طریقی ظرفیت سازه را با نیاز لرزه ایش برابر ساخت. در برخی موارد ظرفیت سازه را افزایش می‌دهیم تا با نیاز لرزه‌ای آن برابر شود. به این افزایش ظرفیت سازه مقاوم سازی می‌گویند [۱۶].

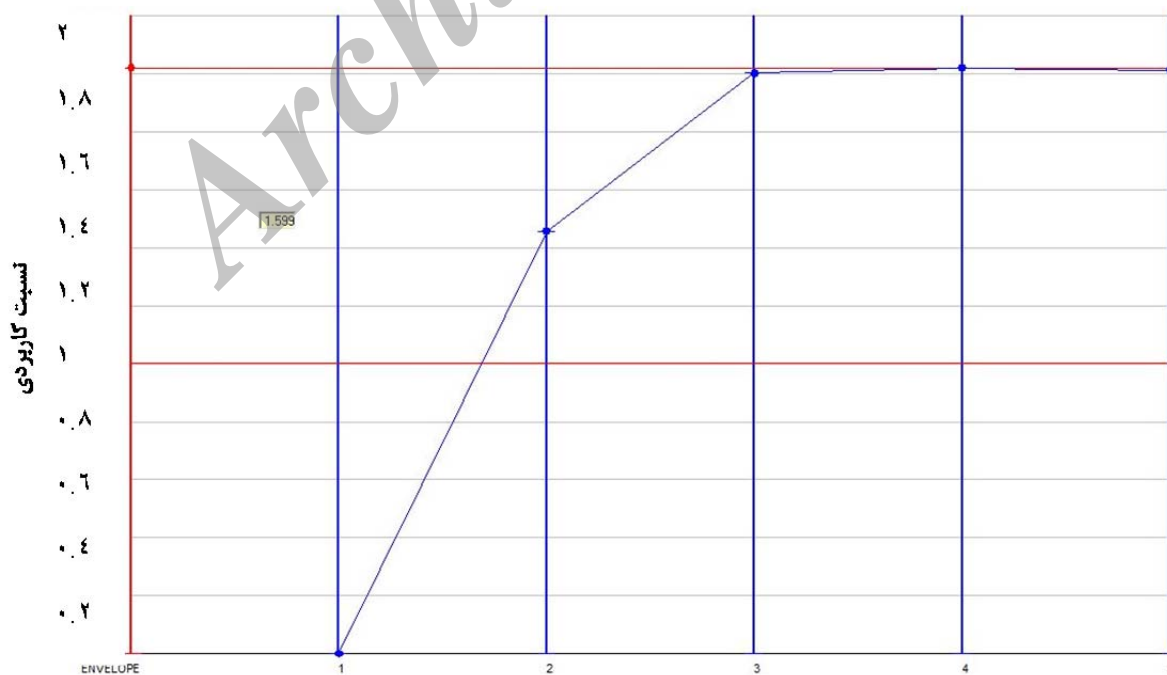


DEFLECTED SHAPE SHOWING COMPONENT USAGE RATIOS

Structure = sohrabi en (3story)  
 Analysis Series = A1 (S1)  
 Load Case = [2] = [0] + LP1H1  
 Reference Drift = .02485  
 Limit state group = LS

Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.7 0.8 0.9 1

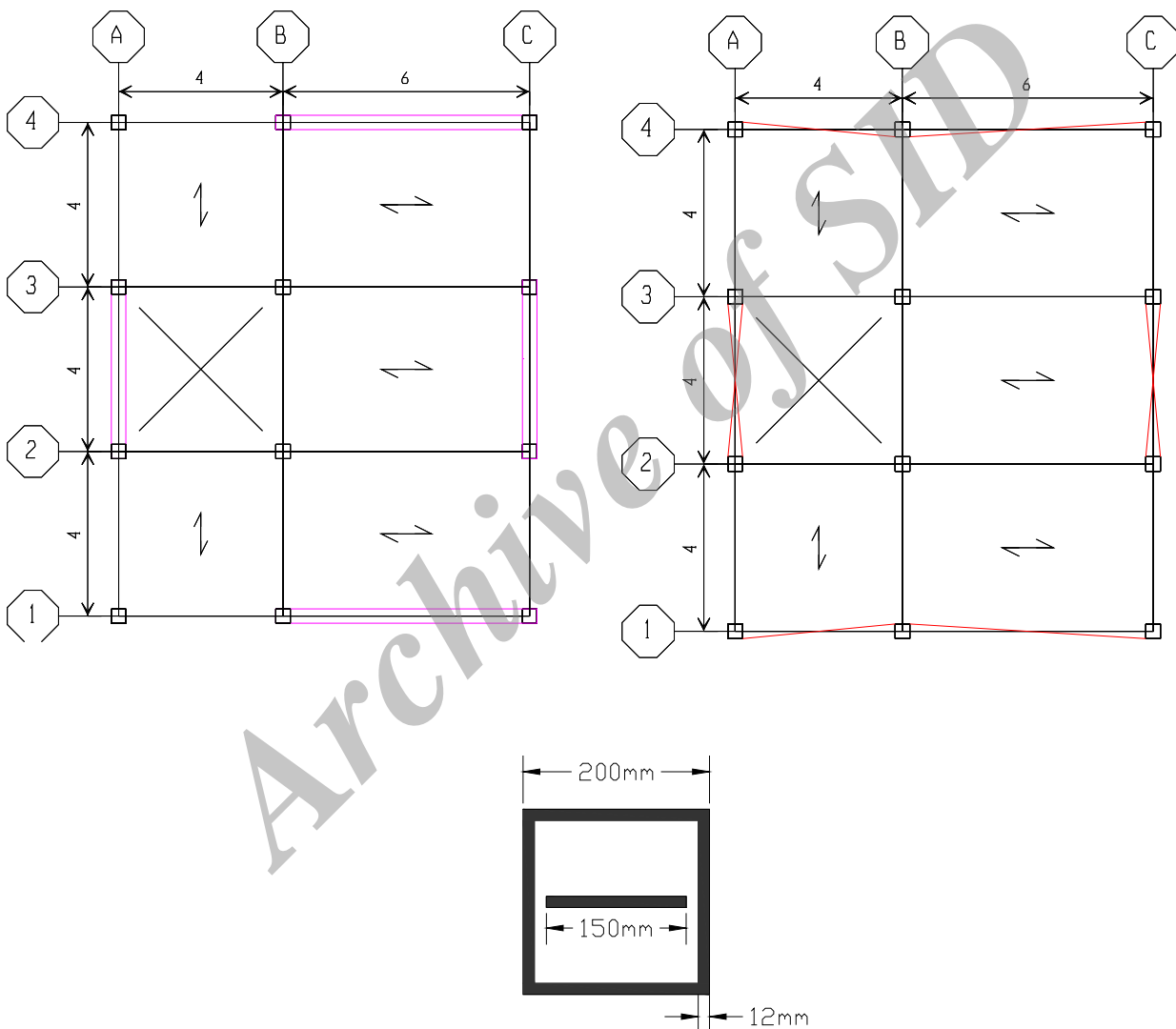
شکل (۵): تشکیل مفصل پلاستیک در سازه موجود



شکل (۶): نسبت کاربردی سازه موجود

## ۳- مقاوم سازی

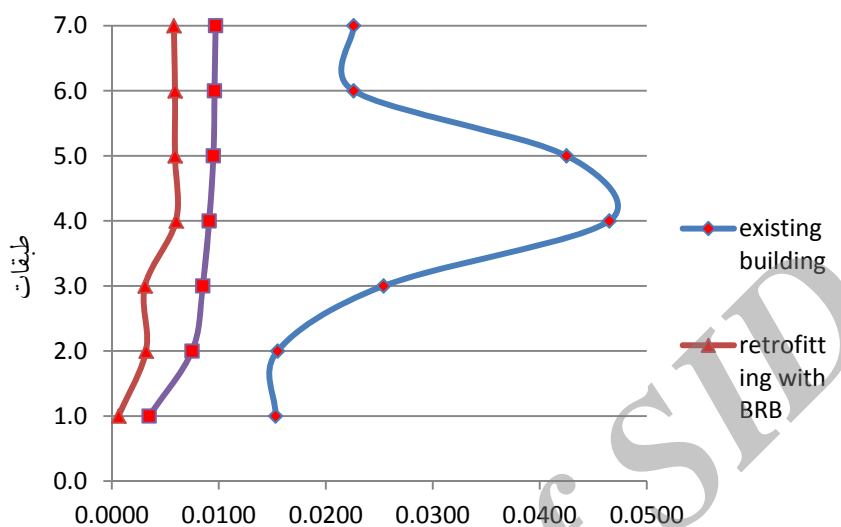
موقعیت بادبندهای کماتش ناپذیر و سطح مقطع آنها و موقعیت دیوارهای برشی در شکل (۷) نشان داده شده است. بدیت ترتیب که در قابهای پیرامونی محوره‌های ۱ و ۴ بصورت قطری و در محوره‌های بیرونی A و C حدفاصل محوره‌های ۲ و ۳ بادبند همگرا به شکل V (برعکس) استفاده گردید. دیوار برشی به ضخامت ۲۰ سانتی متر بوده و در آن از دو شبکه طولی و عرضی میلگرد نمره ۱۲ استفاده شده است و پوشش بتن میلگردها ۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. موقعیت و سطح مقطع بادبندها و دیوارهای برشی براساس افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه و تامین سطح عملکرد ایمنی جانی انتخاب گردیده‌اند و سعی شده است حتی الامکان در موقعیت‌های یکسان استفاده گردند.



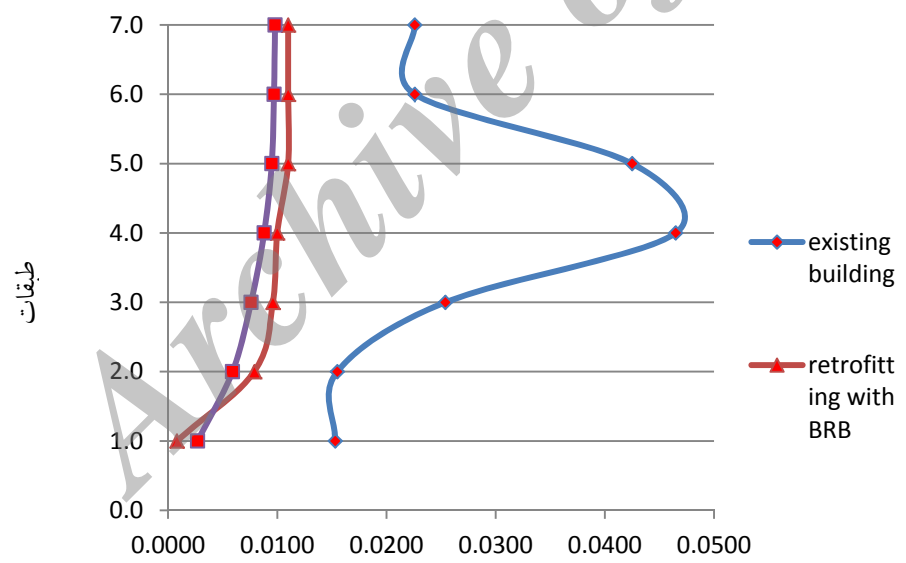
شکل (۷): پلان جانمایی دیوار برشی و بادبندها

در نمودارهای شکل (۸) دریفیت سازه موجود و مقاوم سازی شده با بادبند و دیوار برشی نشان داده شده است. همانطور که مشخص است دریفیت در طبقات سازه اولیه از مقدار مجاز آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم (۰/۰۰۵) بیشتر بوده که بعد از مقاوم سازی به زیر حد مجاز رسیده است. در نمودار شکل (۹) منحنی ظرفیت (مقاومت) سازه قبل و بعد از مقاوم سازی نشان داده شده است. همانطور که از شکل

مشخص است بعد از مقاوم سازی ظرفیت سازه حدوداً ۵ برابر افزایش داشته است. سطح عملکرد ایمنی جانی سازه نیز در شکل‌های (۱۰) نشان داده شده است. در هر دو روش مقاوم سازی سازه‌ها، سطح عملکرد ایمنی جانی رضایت بخش می‌باشند.



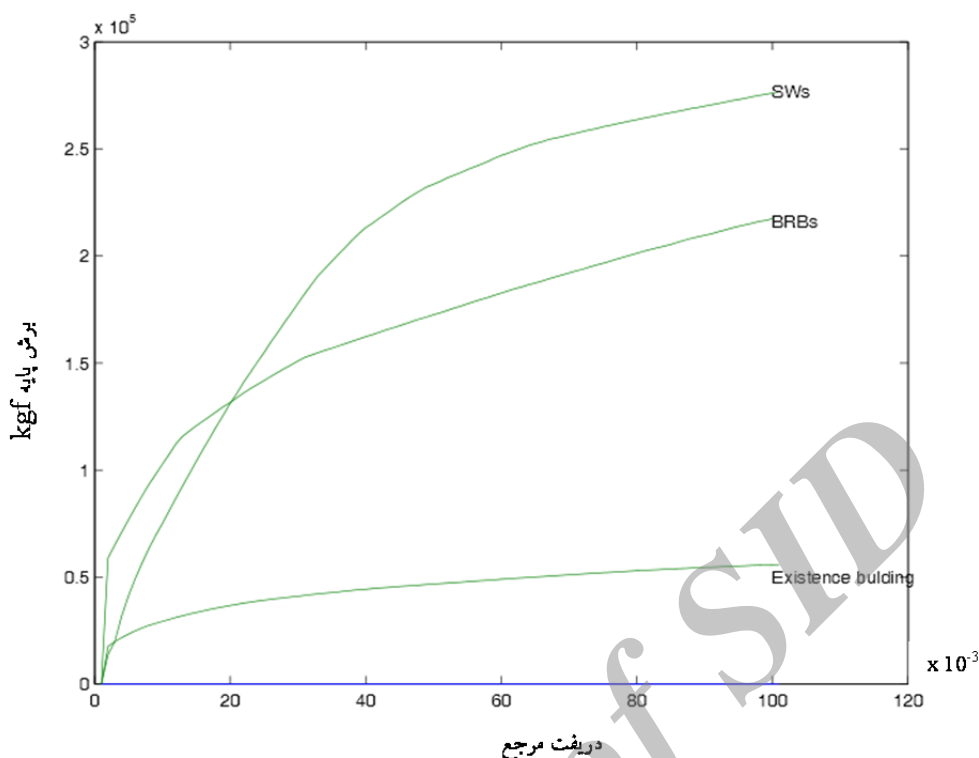
الف) دریفت در راستای X



ب) دریفت در راستای Y

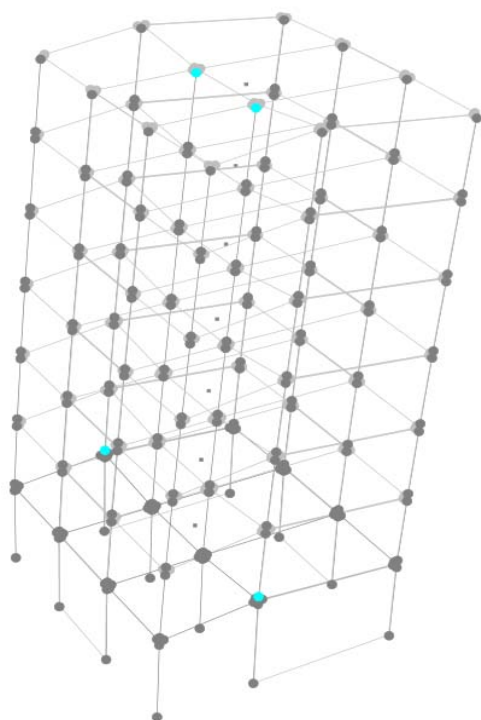
شکل (۸): دریفت نسبی طبقات





شکل (۹): منحنی ظرفیت سازه قبل و بعد از مقاوم سازی

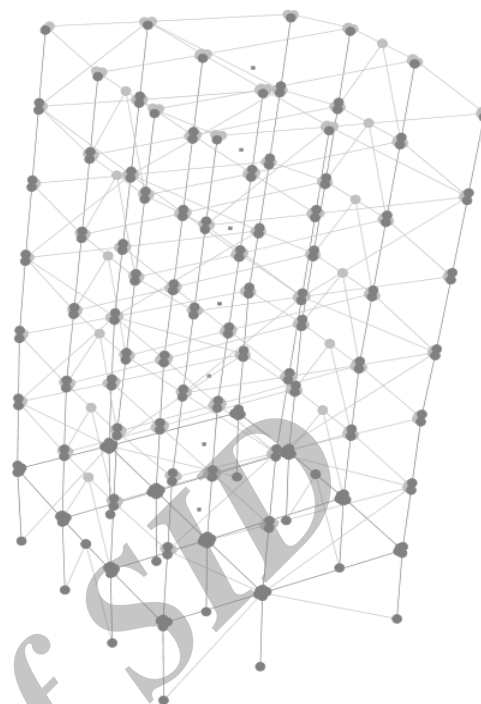
در شکل‌های (۱۱ و ۱۲) نسبت کاربردی ستونها بعد از مقاوم سازی سازه نشان داده شده است. با مشاهده این نتایج مشخص است که نسبت کاربردی اعضای سازه در سطح عملکرد ایمنی جانی زیر ۱ می‌باشد که این قابل قبول می‌باشد (در این شکلها برای مقایسه فقط نسبت کاربردی ستونها نشان داده شده است). با وجود اینکه دیوار برشی استفاده شده باعث افزایش ۵ برابری ظرفیت سازه شده و سازه نیز در سطح عملکرد ایمنی جانی رفتار می‌کند و مفصل پلاستیکی در سازه تشکیل نمی‌گردد و علاوه بر این نیز نسبت کاربردی اعضا کمتر از یک می‌باشد اما دریفت طبقات در راستای  $\Delta$  مقدار کمی بیشتر از حد مجاز می‌باشد، بنابراین باید سطح مقطع دیوار برشی را در این راستا بیشتر گرفت و یا طول دیوار برشی را افزایش داد.



DEFLECTED SHAPE SHOWING COMPONENT USAGE RATIOS

Structure = sws (7story sws)  
 Analysis Series = A1 (S1)  
 Load Case = [1] = [0] + LP1H1  
 Reference Drift = .008111  
 Limit state group = LS

Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.7 0.8 0.9 1

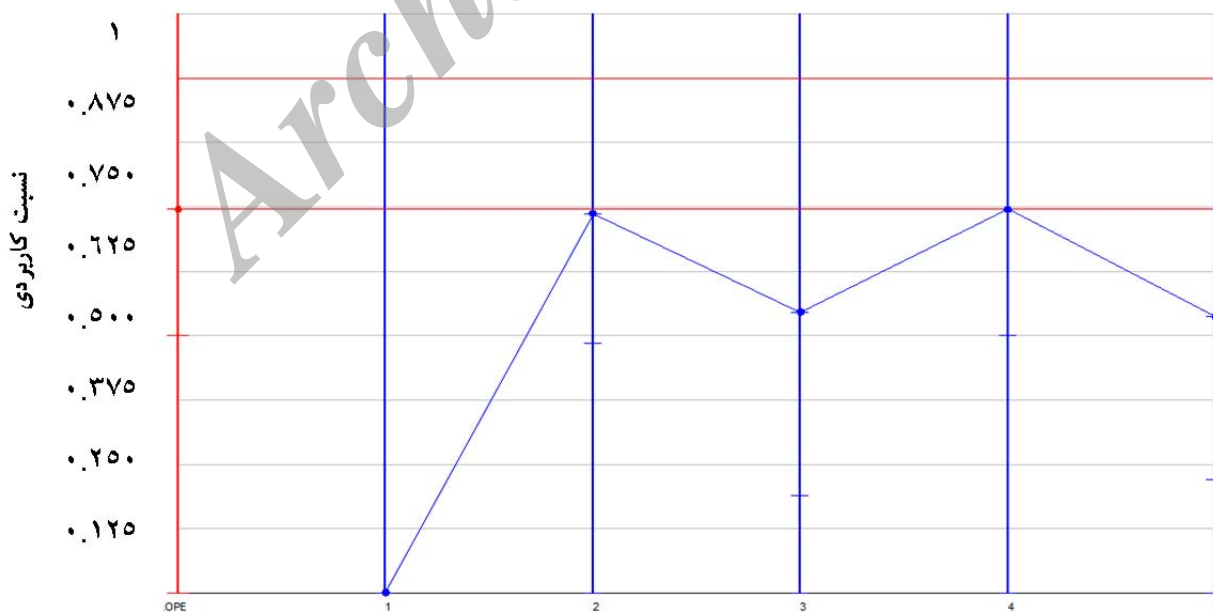


DEFLECTED SHAPE SHOWING COMPONENT USAGE RATIOS

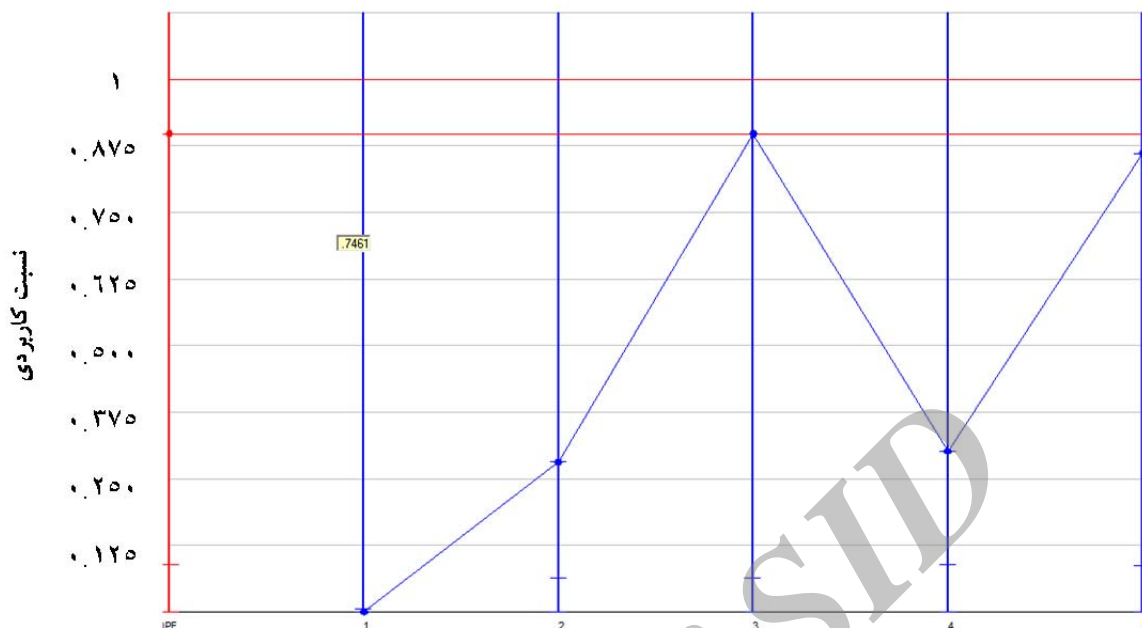
Structure = 7st with brb (7story with brb)  
 Analysis Series = A1 (S1)  
 Load Case = [2] = [0] + LP1H1  
 Reference Drift = .004307  
 Limit state group = LS

Minimum usage ratio for each color : 0.0 0.7 0.8 0.9 1

شکل (۱۰): تشکیل مفصل پلاستیک (سمت راست با دیوار برشی و چپ با بادبند)

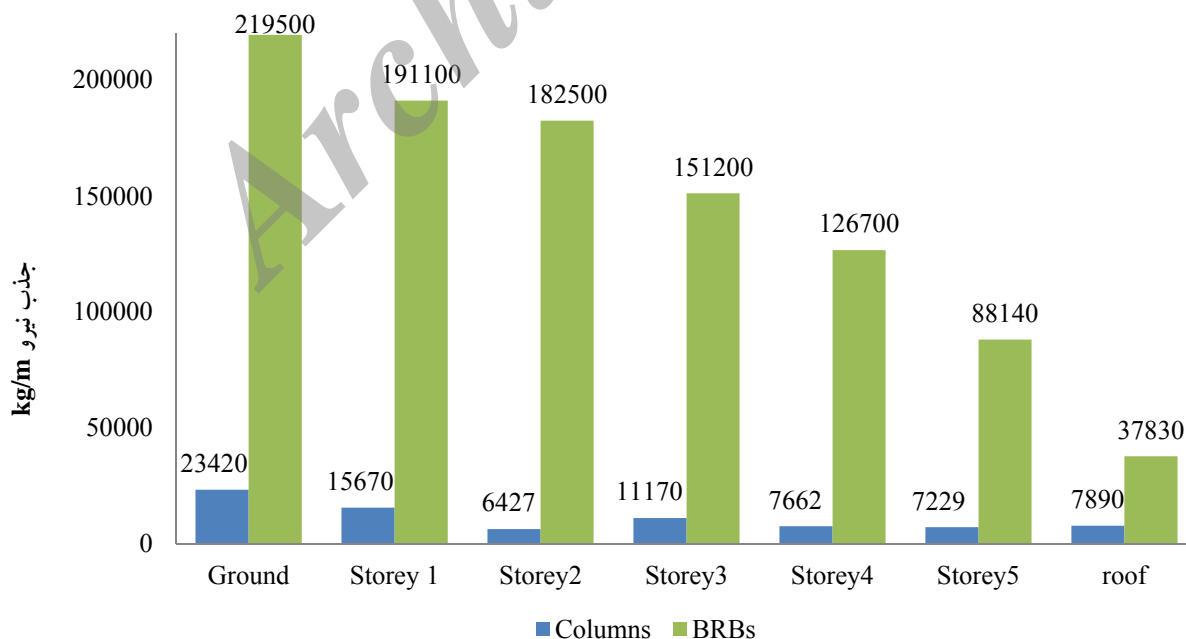


شکل (۱۱): نسبت کاربردی در سازه مقاوم سازی شده با دیوار برشی

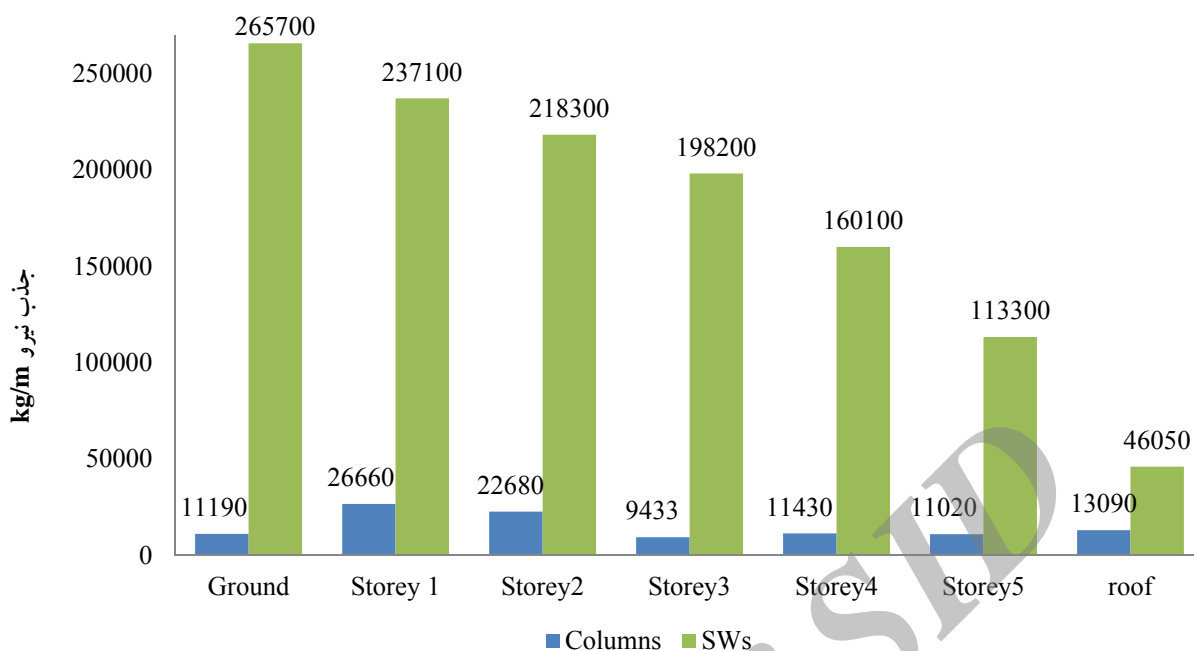


شکل (۱۲): نسبت کاربردی در سازه مقاوم سازی شده با بادبند

مقدار جذب نیروی جانبی توسط قابها در سازه‌های مقاوم سازی شده در شکل‌های (۱۳ و ۱۴) نشان داده شده است. با مشاهده این نمودارها کاملاً مشخص است که در سازه‌ای که با بادبند مقاوم سازی گردیده است تا طبقه ۶ سهم بالایی از نیروی جانبی توسط بادبند جذب شده است و در طبقه ۷ این سهم کاهش داشته است، اما در سازه مقاوم سازی شده با دیوار برشی در طبقه همکف سهم بسیار زیادی توسط دیوار برشی تحمل می‌شود و با افزایش تعداد طبقات این سهم کاهش می‌یابد.

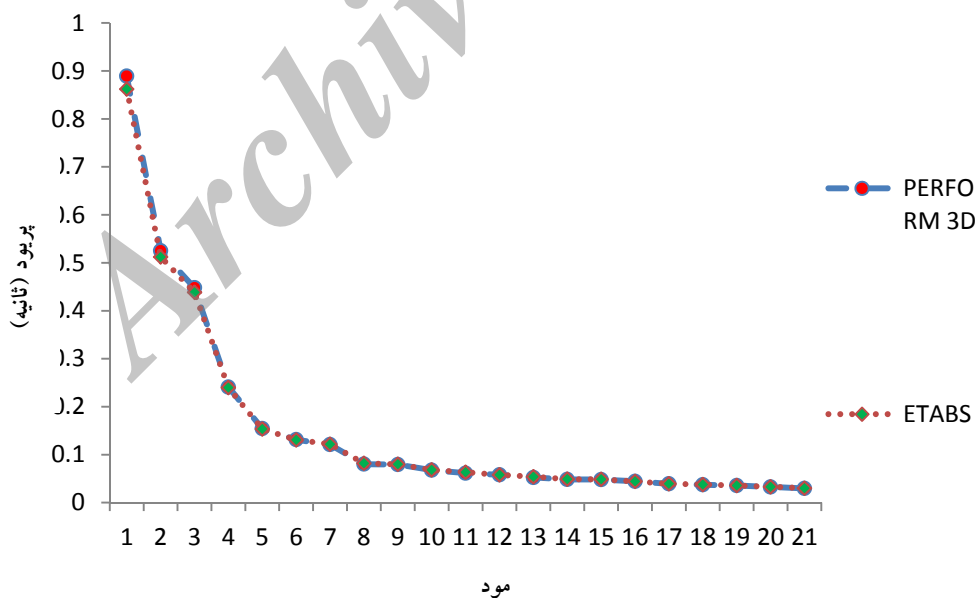


شکل (۱۳): جذب نیروی جانبی توسط بادبندها و ستونها



شکل (۱۴): جذب نیرو جانبی توسط دیوار برشی و ستونها

یکی از روشهای اطمینان از روند صحیح مدلسازی در نرم افزار PERFORM 3D این است که پرپود سازه در مودهای مختلف در نرم افزار ETABS و PERFORM یکی بوده و یا اختلاف حداقل داشته باشند شکل (۱۵).



شکل (۱۵): پرپود سازه در مودهای مختلف

## ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه مقاوم سازی یک ساختمان بتنی ۷ طبقه بر اساس سطح عملکرد و مطابق با معیارهای نشریه ۳۶۰ ارزیابی گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که بادبندهای کماتش ناپذیر یک سیستم مناسب به منظور رفع بسیاری از نقایص ساختمان‌های بتنی می‌باشد. نتایج بصورت کلی در زیر ارائه گردیده‌اند:

- ۱- افزودن مهاربندهای فولادی به قابهای بتنی، بارهای خمشی وارده بر ستونها را محوری نموده لذا نسبت تنشها را در آنها به کمتر از یک تقلیل می‌دهد.
- ۲- در سیستم سازه‌ای با مهاربند BRB، به علت قابلیت شکل پذیری بالا و تمرکز نیروهای ناشی از زلزله در مهاربندها، ابعاد تیر و ستون کاهش یافته و سازه سبک می‌شود.
- ۳- پس از افزودن مهاربند تغییر مکان جانبی ساختمان بسیار کاهش یافته و ساختمان رفتار خوبی از خود نشان می‌دهد.
- ۴- نصب مهاربند بر روی سازه باعث افزایش سختی سازه و کاهش زمان تناوب سازه می‌شود که باعث افزایش برش پایه سازه می‌شود.
- ۵- با افزایش طبقات، تشکیل مفاصل پلاستیک از ستونها به تیرها انتقال می‌یابد و ستونها از آسیب مصون می‌مانند که در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۸ در کشور امریکا انجام شد [۱۷] نیز به این مورد اشاره گردیده است.
- ۶- در حالت کلی سیستم‌های مهاربندی باعث افزایش سختی و ظرفیت باربری و مقاومت و شکل‌پذیری سازه شده و تغییر مکان جانبی و زمان تناوب سازه را کاهش می‌دهد [۱۸].

## ۵- مراجع

- [1] Yakut A, Gülkan P, Bakır B S, Yılmaz M T. Re-examination of damage distribution in Adapazari structural considerations. *Eng. Struct*; 27(7): pages 990–1001, 2005.
- [2] *Handbook on seismic retrofit of building*. Central public works department and INDIAN building congress in association with INDIAN institute of technology-MADRAS, chapter 9, 2007.
- [3] Michael N. FARDIS. *Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings*. Based on EN-Eurocode8, Volume 8, chapter 6, 2009.
- [4] Kaltakci M, Arslan M, Yavuz G. Effect of Internal and External Shear Wall Location on Strengthening Weak RC Frames. *Sharif University of Technology*;17(4); pages 312-323, August 2010.
- [5] Bertero V.V, Anderson J.C, Krawinkler H. *Performance of steel building structures during the Northridge earthquake, Report EERC 94/09*, University of California at Berkeley 2004.
- [6] Bosh, T.D, Jones, E.A., Jirsa J.O., “ Behavior of RC Frame Strengthened using Structural Steel Bracing”, *Journal of Structural Engineering*, Vol.117, No.4, April 1991, pp. 1115-1126.
- [7] Uriz P, Mahin S.A. *Towards Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures. Report PEER 2008/08*, University of California at Berkeley 2008.
- [8] Masri A, Goel S. Seismic design and testing of an RC slab-column frame strengthened with steel bracing. *Earth. Spectra*; 12(4): pages 645–666, 1996.
- [9] Kaplan H, Yılmaz S, Cetinkaya N, Atimtay E. Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls. *Sadhana Indian Academy of Sciences*; 36(1): pages 17–34, 2011.
- [10] Margaux Burkholder., *Performance Based Analysis of a Steel Braced Frame Building with Buckling Restrained Braces*, A Thesis presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo, January 2012.
- [11] Jinkoo K, Hyunhoon C., *Behavior and design of structures with buckling-restrained brace*, Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Chunchun-dong, Jangan-gu, 440-746 Suwon, South Korea.
- [12] Fahnestock L, Sause R, Ricles J., “Seismic Response and Performance of Buckling-Restrained Braced Frames”, *Journal of Structural Engineering*;133(9):1195-204, 2007.

- [13] R. T. Ranf., "Analysis and design comparison between unbounded and conventional bracing", CEE 513: *Advanced Steel Design* Winter 2003.
- [14] Rahai A, Lashgari M., Eismic strengthening of nine-storey rc building using concentric and buckling-restrained bracing, *31st Conference on OUR WORLD IN CONCRETE & STRUCTURES*, Singapore, 16 – 17 August 2006.
- [15] آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) - ویرایش اول و سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی
- [16] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه شماره ۳۶۰، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.
- [17] Mahin A S, Uriz P, "Toward Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures", Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley, PEER Report 2008/08, November 2008.
- [18] اکبریور نیک قلب، ع، ادیب رضانی، م، ایزدی، م، بررسی عملکرد لرزه‌ای ساختمان بتن مسلح نامنظم موجود مقاوم سازی شده با استفاده از بادبند کماتش ناپذیر، ۱۳۹۲، نشریه بنا، شماره ۵۲.

Archive of SID