

## ارزیابی تاثیر ضریب نامعینی بر روی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های قاب خمشی بتنی

امین قنادی اصل<sup>۱\*</sup>، سعید مرتضوی<sup>۲</sup>

۱- استادیار، دانشکده فنی مهندسی، گروه عمران، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- کارشناس مهندسی عمران، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران

### چکیده

در بسیاری از آیین نامه‌های بین‌المللی برای افزایش نامعینی سازه‌هایی که دارای نامعینی استاتیکی کافی نیستند ضریب نامعینی مطرح می‌شود که محدوده‌ی مقدار ضریب نامعینی با توجه به نوع آیین نامه‌های طراحی کشورها متفاوت است. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ برای بهبود بخشیدن عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌هایی که دارای نامعینی کافی نیستند ضریب نامعینی ارائه شده و محدوده آن مقدار ۱ و ۱٫۲ در نظر گرفته شده است. یعنی با توجه به ضوابط ذکر شده در استاندارد ۲۸۰۰ برش پایه را می‌توان حداکثر ۲۰٪ افزایش داد. در این مقاله با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش اور) به بررسی تاثیر ضریب نامعینی بر روی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی با سیستم قاب خمشی و هم‌چنین ارزیابی عددی مقدار ارائه شده توسط استاندارد ۲۸۰۰ برای ضریب نامعینی پرداخته شده است. مدل‌های مورد مطالعه، ساختمان‌هایی با تعداد طبقات ۴، ۶ و ۸ با ارتفاع ۳٫۲ متر و تعداد دهانه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ در نرم افزار Etabs مدل سازی و تحلیل شده و سپس با اعمال یک بار ضریب نامعینی ۱ و بار دیگر ضریب ۱٫۲ عملکرد سازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که ضریب نامعینی بطور مستقیم نامعینی سازه‌ای را مطابق پیشنهاد برخی از استانداردهای بین‌المللی برآورد می‌نماید.

کلمات کلیدی: تحلیل غیر خطی، ضریب نامعینی، عملکرد لرزه‌ای، سیستم قاب خمشی، استاندارد ۲۸۰۰

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/JSCE.2017.95567.1295	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/JSCE.2017.95567.1295	۱۳۹۸/۰۴/۰۱	۱۳۹۶/۱۰/۰۴	۱۳۹۶/۱۰/۰۴	۱۳۹۶/۰۹/۲۵	۱۳۹۶/۰۵/۲۶
			*نویسنده مسئول:		امین قنادی اصل
			پست الکترونیکی:		aghannadiasl@uma.ac.ir

## Assessment of the Effect of Redundancy Factor for Seismic Performance of Moment Resisting Reinforced Concrete Buildings

Amin Ghannadiazl<sup>1\*</sup>, Saeed Mortazavi<sup>2</sup>

1- Assistant Professor, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

2- Bachelor of Civil Engineering, Young Researchers and Elite Club, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran

### ABSTRACT

The redundancy factor is applied to increase the redundancy of structures that not had a sufficient degree of static indeterminacy in many international standards. The redundancy factor is different in the design standards. In the fourth edition of the standard No. 2800, the redundancy factor is proposed to improve the seismic performance of buildings that are considered with two values 1 and 1.2. Therefore, the base shear can be increased to a maximum of 20%, according to the standard No. 2800. In this paper, the effect of the redundancy factor on the seismic performance of the moment resisting concrete structures is investigated using nonlinear static analysis. Also, the numerical evaluation of the value provided by the standard No. 2800 for the redundancy factor is assessed. The studied models have 4, 6 and 8 stories with a story height  $h=3.2$  m where 1, 2, 3 or 4 bays have to be located. ETABS software used for modeling and analysis. Then, the performance of the structures is evaluated by applying once a redundancy factor 1 and again the redundancy factor 1.2. Based on the results of this research, it can be concluded that it is justified to account directly structural redundancy in the design by using a redundancy factor, as proposed in some international building codes.

### ARTICLE INFO

Received: 17/08/2017

Revised: 16/12/2017

Accepted: 25/12/2017

### Keywords:

Nonlinear analysis,  
Redundancy factor,  
Seismic performance,  
Moment resisting frames,  
Standard No. 2800.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2017.95567.1295

\*Corresponding author: Amin Ghannadiazl

Email address: aghannadiazl@uma.ac.ir

## ۱- مقدمه

امروزه با گسترش روز افزون ساخت و ساز در سرتا سر جهان و به خصوص در شهرهای بزرگ تجاری و عدم تامین فضای کافی برای معماری ساختمان‌ها و هم چنین افزایش چشمگیر قیمت زمین‌ها، مهندسين در طراحی سازه‌ها ملزم هستند که ساختمان‌هایی با تعداد طبقات زیاد و با دهانه‌های کمتر طراحی کنند. با کاهش دادن دهانه ساختمان‌ها یک مشکل اساسی، یعنی عدم تامین ایمنی کامل سازه در مقابل اثرات زلزله به وجود می‌آید. برای حل این مشکل، آیین نامه‌های بین المللی طراحی سازه‌ها ضریب نامعینی سازه را پیشنهاد کرده‌اند که تا حد قبولی ایمنی سازه را تامین می‌کند. اگر چه اثرات مثبت و اهمیت بسیار زیاد نامعینی و تاثیر آن در شکل پذیری سازه از مدت‌ها پیش شناخته شده بود. ولی در اواسط دهه ۸۰، پس از زمین لرزه نورتریج و کوبه باعث شد که بسیاری از محققین به بررسی تاثیر نامعینی در عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها بپردازند. در این زمینه پژوهشگرانی مانند کرلی و پاندی [۱]، دی و همکاران [۲]، برترو [۳] و ونگ و ون [۴] را می‌توان نام برد که تحقیقات گسترده‌ای در مطالعه اثرات نامعینی بر روی عملکرد سازه‌ها داشتند. با توجه به تجربه از زلزله‌های بسیار قوی مانند کاراکاس ماچوآکان و... نشان می‌دهد که شکل پذیری و نامعینی سازه، یکی از موثرترین پارامترها در تامین ایمنی سازه‌ها در مقابل آسیب‌های جدی در برابر زلزله است.

آنگ و تنگ سازه‌هایی را دارای نامعینی کافی دانستند که با حذف یک المان از سازه احتمال خرابی کل سیستم وجود دارد [۵]. همچنین کرنل برای سازه‌های دریایی ضریب نامعینی را مطرح کرد [۶]. کرلی و پاندی بر اساس مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که سازه‌ها در طی گذشت زمان می‌توانند درجات نامعینی مختلفی داشته باشند [۱]. دی و همکاران نشان دادند که با اضافه کردن المان‌هایی حتی با مقاومت کمتر نیز می‌توان نامعینی سازه را افزایش داد [۲]. برترو با استفاده از تحلیل غیر خطی، اثرات زلزله را تخمین زده و نشان داد که خرابی احتمالی یک سازه با نامعینی سازه مرتبط می‌باشد و هم چنین ثابت کرد نامعینی، اثرات مطلوبی در کاهش ظرفیت چرخش پلاستیک و اتلاف انرژی دارد [۳].

سانگ و و نتاثير نامعینی را بر روی سیستم قاب خمشی ویژه بررسی کرده و مدل‌های مورد مطالعه سازه ۳ و ۹ طبقه و با دهانه‌های متفاوت در نظر گرفته شده بود [۷]. کووی لیا و همکاران به بررسی تاثیر نامعینی بر روی سازه‌های فولادی قاب خمشی تحت بارهای لرزه‌ای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که آیین نامه ۹۷ NEHRP تاثیر مساحت پلان ساختمان را در محاسبات ضریب نامعینی دست بالا در نظر گرفته است در حالی در نسخه جدید آیین نامه ۲۰۰۳ NEHRP مقدار ضریب پیشنهادی برای نامعینی کافی نبوده و هم چنین احتمال دارد سازه در طول زلزله‌هایی که تجربه می‌کند دچار نامنظمی پیچشی خیلی زیاد شود [۸].

نخستین بار موضوع ضریب نامعینی در آیین نامه‌های ۹۷ NEHRP، ۱۹۹۷ UBC و ۲۰۰۰ IBC مطرح شد. ضریب  $\rho$  (ضریب نامعینی) در آیین نامه‌های ۹۷ NEHRP و ۱۹۹۷ UBC با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\rho = 2 - \frac{6.1}{r_{max}\sqrt{A_B}} \quad (1)$$

که  $A_B$  مساحت طبقه مورد نظر و  $r_{max}$  نسبت برش المان به برش طبقه که در  $\frac{2}{3}$  ارتفاع طبقات اتفاق می‌افتد. آیین نامه ۷ ASCE NEHRP، سیستم سازه‌ای را به دو دسته نامعینی و بدون نامعینی تقسیم بندی کرده که محدوده ضریب نامعینی را دو مقدار ۱ و ۱٫۳ در نظر می‌گیرد. در نتیجه برای سازه‌هایی که دارای نامعینی کافی نیستند نیروی جانبی زلزله را ۱٫۳ برابر بارگذاری معمول در نظر گرفته می‌شود. در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ محدوده‌ی این ضریب مقدار ۱ و ۱٫۲ می‌باشد که برای ساختمان‌هایی که درجه نامعینی کافی ندارند برش پایه را به اندازه ۲۰ درصد افزایش می‌دهیم [۹]. همچنین اگر یکی از شرایط زیر برقرار باشد می‌توان ضریب نامعینی را ۱ در نظر گرفت:

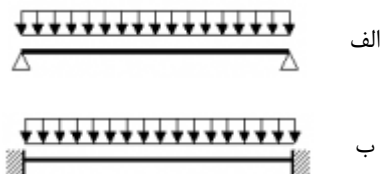
(۱) اگر سازه از نظر نامنظمی در پلان، منظم باشد و نیروی برشی در طبقات بیش از ۳۵٪ نیروی برشی پایه در سازه باشد و هم چنین حداقل دو دهانه مقاوم در برابر بارهای جانبی در هر طرف مرکز جرم قرار داشته باشد می‌توان ضریب نامعینی سازه را یک در نظر گرفت.

۲) در طبقاتی که مقدار نیروی برشی در آن ها از ۳۵٪ برش پایه بیشتر شود و چنانچه حذف جزئی از سیستم مقاوم جانبی مطابق جدول ۱ موجب کاهش مقاومت جانبی طبقه به میزان بیش از ۳۳٪ در صد نشود و در طبقه نامنظمی پیچشی اتفاق نیافتد.

جدول ۱: محدودیت مربوط به ضریب نامعینی [۹]

نوع سیستم مقاوم جانبی	ضوابط
سیستم مهاربندی شده	حذف یک مهاربند یا اتصال آن
قاب خمشی	حذف یک دیوار و یا یک پایه و یا اتصالات جمع کننده آن ها
سیستم با دیوار برشی عادی یا دیوارهای برشی هم بسته با نسبت ارتفاع هر پایه به طول بزرگتر از یک	حذف مقاومت خمشی اتصالات دو انتهای یک تیر
سیستم کنسولی	حذف مقاومت خمشی در اتصال پایه یکی از ستون ها

با توجه به تحلیل سازه هر چه سازه دارای درجه نامعینی بیشتری باشد برای ایجاد ناپایداری در المان ها باید تعداد بیشتری مفصل پلاستیک در اعضا ایجاد شود تا عضو مورد نظر به حالت ناپایداری برسد. با توجه به شکل ۱، تیر(الف) دارای سه عکس العمل تکیه می باشد که با ایجاد یک مفصل جدید در تیر(الف)، تیر(الف) به حالت ناپایداری می رسد. ولی در تیر(ب) که دارای شش عکس العمل تکیه گاهی است و با ایجاد یک مفصل تیر ناپایدار نمی شود چون تیر(ب) سه درجه نامعین می باشد پس باید برای اینکه تیر(ب) به حالت ناپایداری برسد حتما باید سه مفصل در یک راستا ایجاد شود.



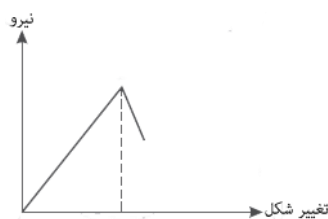
شکل ۱: بررسی درجه نامعینی تیرها

در سال های اخیر مطالعات گسترده ای در مورد تاثیر نامعینی بر روی سازه در کشورمان صورت گرفته است. دشتی در مطالعات خود به این نتیجه رسید که در قاب ساختمانی ساده با مهاربندی همگرا اعمال ضریب ۱٫۲ الزامی است و برای سازه های منظم هم همانند سازه های نامنظم باید ضریب نامعینی ۱٫۲ را در نظر گرفت [۱۰] و همچنین مقدار ضریب نامعینی ۱٫۲ برای قاب ساختمانی ساده با مهاربندی ضربدری کافی نمی باشد. با اعمال ضریب نامعینی با توجه به اینکه افزایش ناچیزی در وزن سازه مشاهده می شود ولی باعث بهبود تغییر مکان سازه و برش پایه شده و از لحاظ اقتصادی قابل توجه می باشد. نتیجه مهم این پایان نامه اینکه در سازه های بلند اعمال ضریب نامعینی ۱٫۲ ضرورت داشته چون در سازه های مدل سازی شده (۸ و ۱۲ طبقه) تعداد زیادی از مفاصل پلاستیک حد ایمنی جانی را رد کرده بودند. در سال ۱۳۷۶ میر شاهی در مطالعات خود بر روی درجه نامعینی و اضافه مقاومت در ضریب رفتار قابها، به این نتیجه رسید که افزایش درجه نامعینی در سازه هایی که از قاب مهاربندی همگرا استفاده شده است منجر به افزایش ضریب رفتار نمی شود [۱۱]. محمدی و همکاران مطالعه ای در مورد تأثیر نامعینی بر رفتار لرزه ای قاب های خمشی بتن مسلح انجام دادند [۱۲]. در این مطالعات به این نتیجه رسیدند که افزایش نامعینی به تنهایی نمی تواند معیاری برای بهبود رفتار سازه ها تلقی شود و باید تأثیر نامعینی بر سایر پارامترهای مؤثر بر رفتار سازه ها لحاظ شود. کورتز بنیتز و تننا کولونگا به بررسی ضریب نامعینی در طراحی لرزه ای سازه ها پرداختند

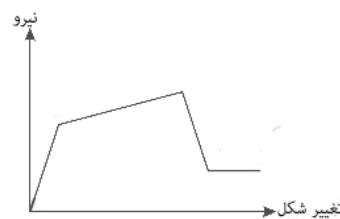
[۱۳]. همچنین گودینز دومینگز و تنا کولونگا مطالعه‌ای در خصوص تاثیر ضریب نامعینی بر عملکرد لرزه ای سازه های بتنی همراه با بادبند شوریون انجام دادند [۱۴].

## ۲- تحلیل استاتیکی غیر خطی

برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها تحت بار زلزله، به ویژه زمانی که سازه وارد رفتار غیرالاستیک می‌شود با استفاده از تحلیل‌های خطی نمی‌توان رفتار واقعی سازه را مدل‌سازی و بررسی کرد. با توجه به اینکه در تحلیل خطی نمی‌توان اطلاعات دقیقی در مورد پاسخ سازه تحت بارهای مختلف، وقتی که سازه وارد حالت غیر خطی می‌شود، بدست آورد به ناچار مجبور هستیم از تحلیل‌های غیرخطی استفاده کنیم. غیرخطی بودن سازه می‌تواند از نوع هندسی و یا نوع مصالح باشد. در بین تحلیل‌های غیر خطی، تحلیل تایخچه زمانی روشی پیچیده و وقت گیر می‌باشد و به همین دلیل در این مقاله برای بررسی عملکرد لرزه‌ای مدل‌های مورد مطالعه، از روش تحلیل غیر خطی استاتیکی (پوش اور)<sup>۱</sup> استفاده شده که این تحلیل به مراتب از تحلیل غیر خطی تاریخچه زمانی ساده‌تر بوده و با ضعف‌هایی همراه است. ولی در کل می‌توان با استفاده از تحلیل پوش اور نتایجی مانند منحنی ظرفیت سازه (نمودار نیرو-تغییر مکان)، محاسبه میزان چرخش مفاصل پلاستیک ایجاد شده در المان‌ها و هم چنین پاسخ سازه نسبت به حرکات زمین را در اختیار استخراج نمود. تحلیل پوش اور به دو صورت انجام می‌گیرد: (۱) کنترل شونده توسط تغییر شکل (۲) کنترل شونده توسط نیرو



شکل ۳: عضو کنترل شونده توسط نیرو



شکل ۲: عضو کنترل شونده توسط تغییر شکل

در تحلیل استاتیکی غیرخطی، ملاک جابه‌جایی سازه می‌باشد. یعنی سازه مورد نظر تحت یک الگوی بارگذاری ثابت تحلیل شده و سپس تحلیل سازه (افزایش بار جانبی) تا جایی ادامه پیدا می‌کند که نقطه کنترل تغییر مکان (مرکز جرم بام) به تغییر مکان هدف که قبلاً محاسبه شده است برسد و آن گاه پاسخ‌های مورد نیاز سازه را استخراج می‌کنیم. از تحلیل پوش اور زمانی می‌توان استفاده کرد که اثر مودهای بالاتر حاکم نباشد. آیین‌نامه‌های مختلفی برای ارزیابی رفتار سازه‌ها منتشر شدند که می‌توان به نشریه‌هایی مانند FEMA440، FEMA356 و ASCE/SEI 41-06 اشاره کرد. در سال ۱۳۸۱ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود با استفاده از قواعد FEMA273,274 در کشورمان منتشر شد و در سال ۱۳۸۵ نشریه ۳۶۰ با تغییرات کلی در اختیار مهندسين قرار گرفت. انتخاب الگوی توزیع بار جانبی در تحلیل پوش اور مطابق نشریه ۳۶۰ و دستورالعمل‌های بهسازی به این صورت است که باید حداقل دو نوع توزیع بار جانبی که حالت بحرانی در مدل‌های مورد مطالعه ایجاد می‌کند انتخاب شود. که این الگوهای توزیع بار جانبی عبارتند از:

(۱) توزیع بار جانبی به صورت یکنواخت: فرض بر این است که توزیع نیروهای اینرسی در طول تحلیل ثابت و بدون تغییر است شکل ۴ الف. که از رابطه (۲) پیروی می‌کند.

$$F_i = V \times \frac{W_i}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (2)$$

(۲) توزیع بار جانبی به روش مثلثی معکوس: توزیع به این روش با توجه به روابط موجود آیین‌نامه‌ها در ارتفاع طبقات توزیع می‌شود شکل ۴ ب. طبق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

<sup>۱</sup> Pushover

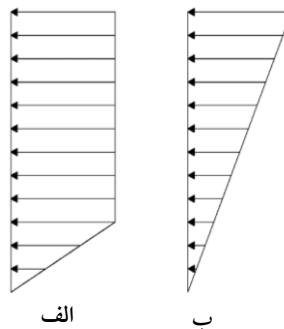
$$F_i = V \times \frac{W_i \times h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j \times h_j^k} \quad (3)$$

روند تحلیل پوش اور در نرم افزار به این صورت است که ابتدا باید مفصل پلاستیک را برای اعضای سازه که برای تیرها مفصل از نوع خمشی (M) و هم چنین برای ستون‌ها از نوع محوری و خمشی (P-M2-M3) طبق نشریه ۳۶۰ تعریف می‌کنیم و سپس ترکیب بارهای ثقلی را با استفاده از رابطه (۴) و (۵) تعریف کرده و بعد الگوی بار جانبی که می‌تواند به صورت یکنواخت (U) و یا مثلثی معکوس (T) باشد به نرم افزار معرفی می‌کنیم. هم چنین برای محاسبه تغییر مکان هدف از رابطه (۶) استفاده می‌کنیم.

$$Q_G = 1.1[Q_D + Q_L] \quad (4)$$

$$Q_G = 0.9Q_D \quad (5)$$

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_g^2}{4\pi^2} g \quad (6)$$

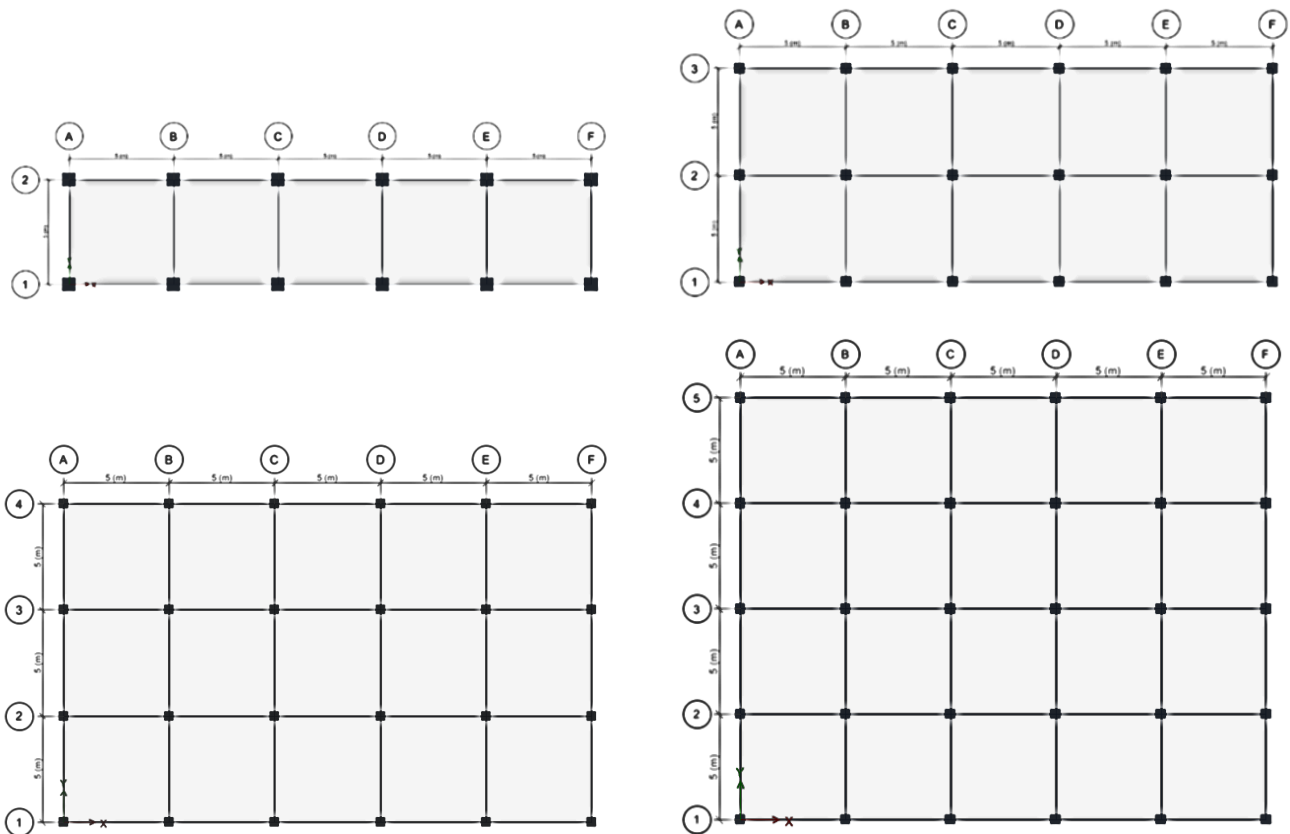


شکل ۴: توزیع مثلثی و شبه یکنواخت نیروی جانبی در روش تحلیل استاتیکی غیر خطی

### ۳- مشخصات مدل های مورد مطالعه

در این تحقیق از یک پلان های منظم مطابق شکل ۵ استفاده شده است. کاربری ساختمان‌ها مسکونی فرض شده و بر روی خاک نوع ۳ و در پهنه لرزه خیزی نسبی زیاد احداث شده است. در هر دو جهت ساختمان‌ها، برای مقابله با بارهای جانبی از سیستم قاب خمشی متوسط و با تعداد طبقات ۴، ۶، ۸ که ارتفاع طبقات ۳،۲ متر و تعداد دهانه‌ها در جهت X پنج دهانه با فاصله ۵ متر و در جهت Y از یک دهانه شروع شده و تا چهار دهانه با فاصله ۵ متر در نرم افزار Etabs 2016 مدل سازی شده است. بارگذاری ثقلی و جانبی ساختمان‌ها مطابق مبحث ششم و استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشد. بار مرده طبقات  $550 \text{ kg/m}^2$  و بار زنده طبقات و پشت بام به ترتیب  $200 \text{ kg/m}^2$  و  $150 \text{ kg/m}^2$  و هم چنین بار مرده دیوارهای پیرامون  $750 \text{ kg/m}$  در نظر گرفته شده است. مقاومت فشاری بتن  $250 \text{ kg/cm}^2$  و تنش تسلیم و نهایی میلگردهای طولی به ترتیب  $4000 \text{ kg/cm}^2$  و  $6000 \text{ kg/cm}^2$  در نظر گرفته شده است.

سازه‌های مورد مطالعه را ابتدا مطابق آیین بتن آمریکا (ACI) با استفاده از نرم افزار Etabs یکبار با ضریب نامعینی ۱،۲ و بار دیگر با ضریب ۱ تحلیل و طراحی شده و سپس به روش تحلیل پوش اور عملکرد سازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تعریف مفصل پلاستیک برای تیرها محل تشکیل مفصل پلاستیک را در فواصل نسبی ۰.۰۵L و ۰.۹۵L در نظر گرفته شده است و برای ستون‌ها ابتدا و انتهای المان را محل تشکیل مفصل پلاستیک به نرم افزار معرفی کرده‌ایم. محدوده ابعاد مقاطع مورد استفاده در مدل‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. همچنین درصد میلگرد تیر و ستون مورد استفاده بر حسب نوع مدل در جدول ۳ ارایه شده است.



شکل ۵: پلان ساختمان های مورد مطالعه

جدول ۲: ابعاد مقاطع مورد استفاده در مدل ها مورد مطالعه

مدل	تیر	ستون
4	35 × 35 – 40 × 40	35 × 35 – 50 × 50
6	40 × 40 – 45 × 45	35 × 35 – 65 × 65
8	40 × 40 – 45 × 45	35 × 35 – 80 × 80

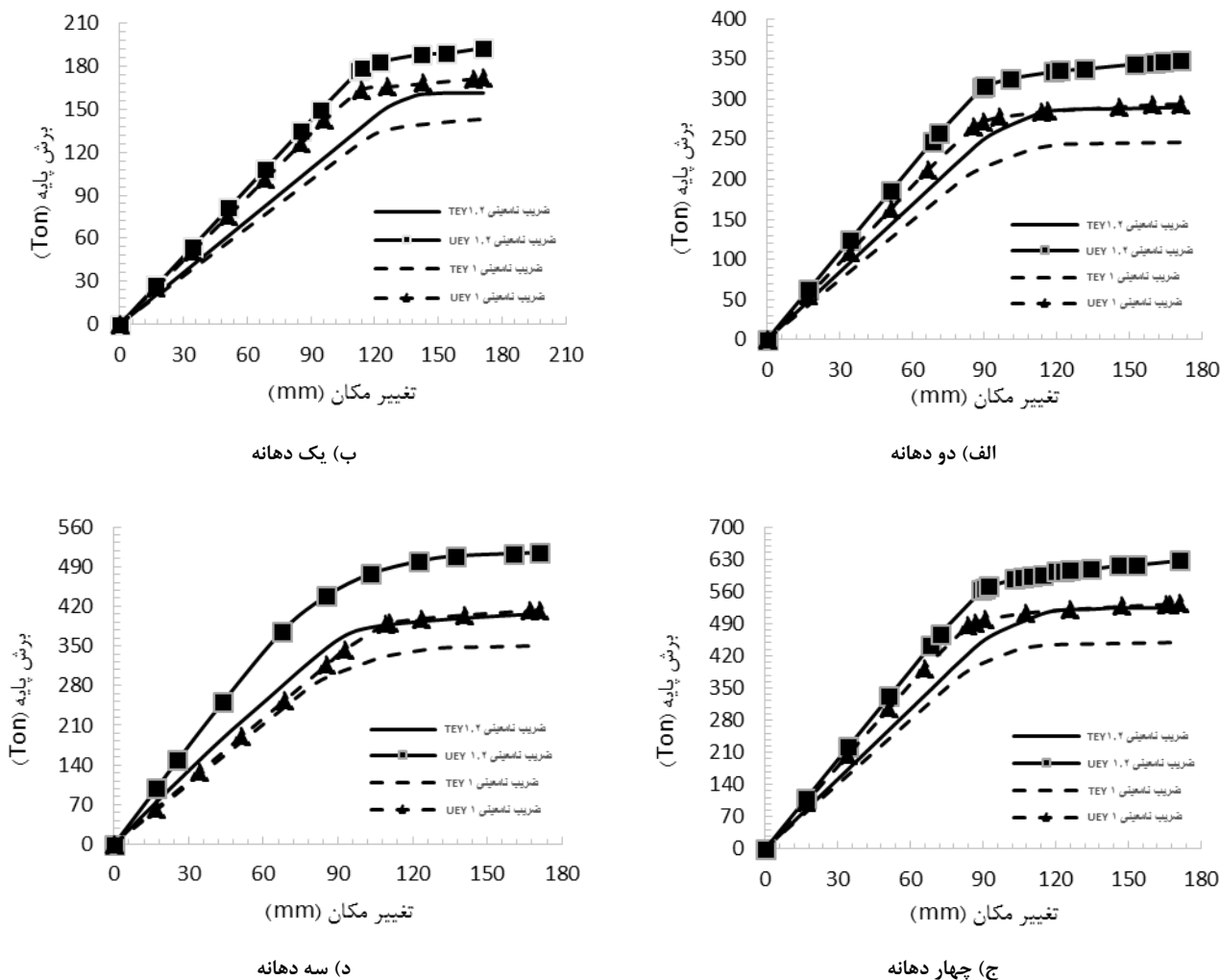
جدول ۳: درصد میلگرد تیر و ستون

مدل	% $\rho$ (تیر)	% $\rho$ (ستون)	مدل	% $\rho$ (تیر)	% $\rho$ (ستون)	مدل	% $\rho$ (تیر)	% $\rho$ (ستون)
S-4-1	0.16-1.11	1.82-2.49	S-6-1	0.1-1.31	1.27-2.60	S-8-1	0.1-1.44	1.48-2.13
S-4-2	0.11-1.14	1.51-2.49	S-6-2	0.19-1.43	1.48-2.85	S-8-2	0.1-1.65	1.40-2.49
S-4-3	0.26-1.34	1.51-2.85	S-6-3	0.12-1.52	1.48-2.60	S-8-3	0.11-1.7	1.24-2.63
S-4-4	0.13-1.22	1.27-2.49	S-6-4	0.13-1.56	1.52-2.85	S-8-4	0.12-1.74	1.24-2.85

(در نام مدل ها اعداد به ترتیب معرف تعداد طبقه و تعداد دهانه در راستای محور Y می باشد.)

۴- نتایج تحلیل غیرخطی مدل‌های مورد مطالعه

منحنی ظرفیت (نمودار نیرو-تغییر مکان) سازه ۴، ۶ و ۸ طبقه که با اعمال ضریب نامعینی ۱ و ۱٫۲ و هم چنین با تعداد دهانه‌های متفاوت مدل‌سازی شده است در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ ارایه شده است. نام‌گذاری مدل‌ها به این صورت است که عبارات از سمت چپ به ترتیب تعداد طبقه، تعداد دهانه، ضریب نامعینی سازه، توزیع بار جانبی یکنواخت (UEY) و یا مثلثی (TEY) می‌باشد. هم چنین در شکل ۸ تاثیر افزایش تعداد دهانه‌ها بر روی افزایش برش ظرفیت قابل مشاهده می‌باشد. با مشاهده شکل‌های ۵، ۶ و ۷ می‌توان دریافت که با اعمال ضریب نامعینی ۱٫۲ ظرفیت برش پایه ب افزایش پیدا کرده است. در سازه‌های پنج دهانه اعمال ضریب نامعینی ۱٫۲، برش پایه نظیر تغییر مکان هدف را نسبت به سازه‌های سه دهانه افزایش بیشتری می‌دهد. از همین نمودارها می‌توان بهبود عملکرد سازه‌ها با اعمال ضریب نامعینی ۱٫۲ را مشاهده کرد که با توجه به اعمال این ضریب در برش پایه طراحی قابل پیش بینی بود. مقدار برش پایه برای سازه ۴ طبقه با اعمال ضریب نامعینی یک برای تغییر مکان هدف حدوداً ۱۷۰ میلی‌متر به ترتیب برابر حدوداً ۱۴۳، ۲۴۷، ۳۴۹ و ۴۴۸ تن در حالت توزیع بار جانبی به صورت مثلثی برای یک دهانه، دو دهانه، سه دهانه و چهار دهانه بدست آمده است در حالی که با اعمال ضریب نامعینی ۱٫۲ مطابق آیین نامه مقدار برش پایه به ترتیب برابر حدوداً ۱۷۱، ۲۹۴، ۴۱۳ و ۵۳۳ تن حاصل گردیده است.

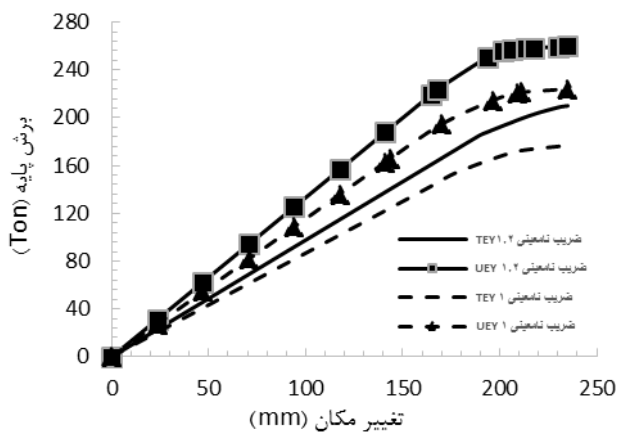


شکل ۶: منحنی ظرفیت سازه ۴ طبقه

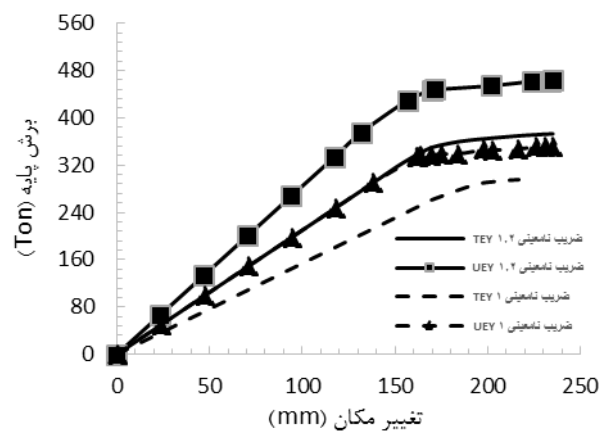


از طرفی مقدار برش پایه برای سازه ۶ طبقه با اعمال ضریب نامعینی یک برای تغییر مکان هدف حدوداً ۲۳۵ میلی متر در حالت توزیع بار جانبی به صورت یکنواخت به ترتیب برابر حدوداً ۲۲۳، ۳۵۲، ۵۳۸ و ۶۹۲ تن برای یک دهانه، دو دهانه، سه دهانه و چهار دهانه بدست آمده است در حالی که با اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ مطابق آیین نامه مقدار برش پایه به ترتیب برابر حدوداً ۲۶۱، ۴۶۳، ۶۳۳ و ۸۲۰ تن حاصل گردیده است. همچنین مطابق شکل ۸، مقدار برش پایه برای سازه ۸ طبقه با اعمال ضریب نامعینی یک برای تغییر مکان هدف حدوداً ۲۵۹ میلی متر در حالت توزیع بار جانبی به صورت مثلی به ترتیب برابر حدوداً ۱۶۸، ۳۲۳، ۴۶۴ و ۶۰۴ تن برای یک دهانه، دو دهانه، سه دهانه و چهار دهانه بدست آمده است در حالی که با اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ مطابق آیین نامه مقدار برش پایه به ترتیب برابر حدوداً ۲۳۵، ۴۲۶، ۵۵۶ و ۷۲۱ تن حاصل گردیده است.

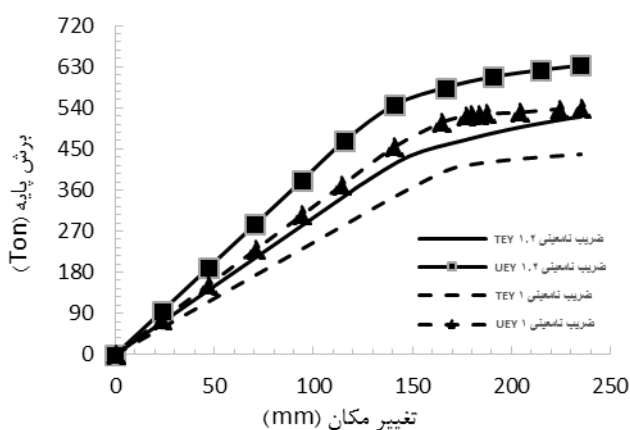
همان طور که در تمامی موارد مشاهده می شود با اعمال ضریب نامعینی ۱/۲، سازه ها در جابه جایی های بزرگتری به مرز رفتار غیرخطی می رسند. همچنین میزان مقاومت نهایی سازه ها در منحنی های پوش آور افزایش پیدا نموده است. در سازه های چهار دهانه اعمال ضریب نامعینی ۱/۲، برش پایه نظیر تغییر مکان هدف را نسبت به سازه های یک دهانه افزایش نسبتاً بیشتری می دهد. از همین نمودارها می توان بهبود عملکرد سازه ها با اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ را مشاهده کرد که با توجه به اعمال این ضریب در برش پایه طراحی قابل پیش بینی بود.



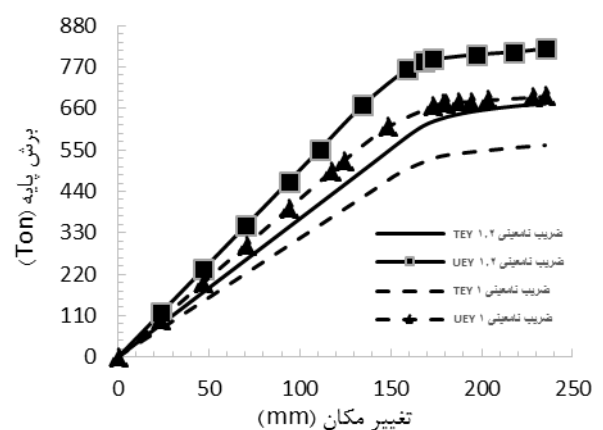
الف) یک دهانه



ب) دو دهانه

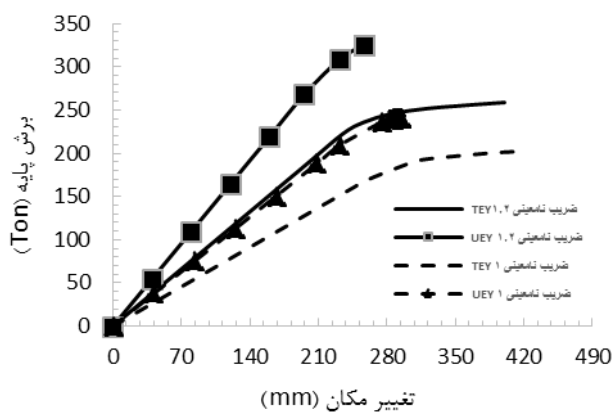


ج) سه دهانه

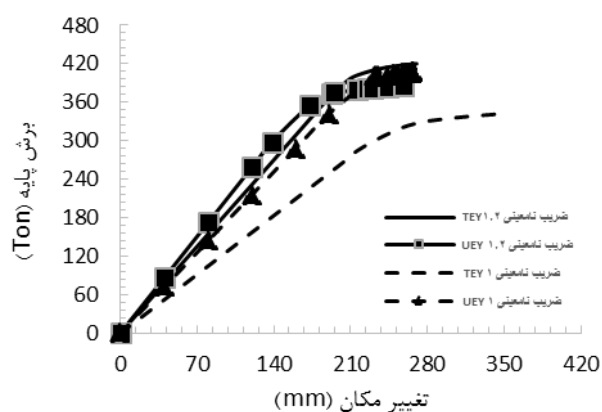


د) چهار دهانه

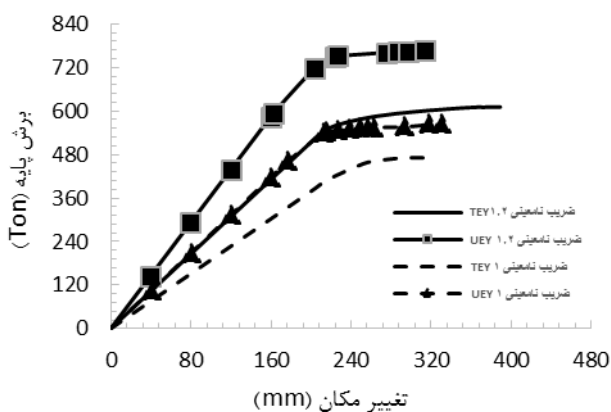
شکل ۷: منحنی ظرفیت سازه ۶ طبقه



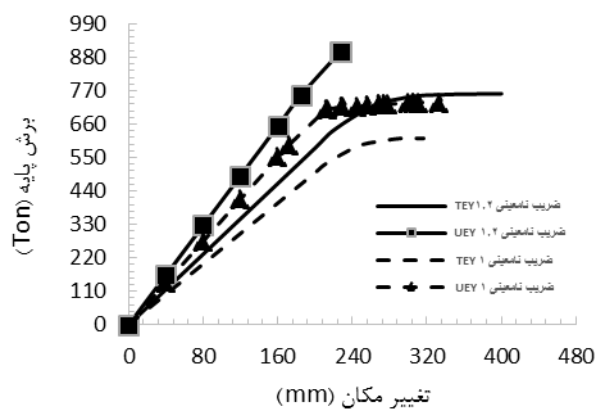
الف) یک دهانه



ب) دو دهانه



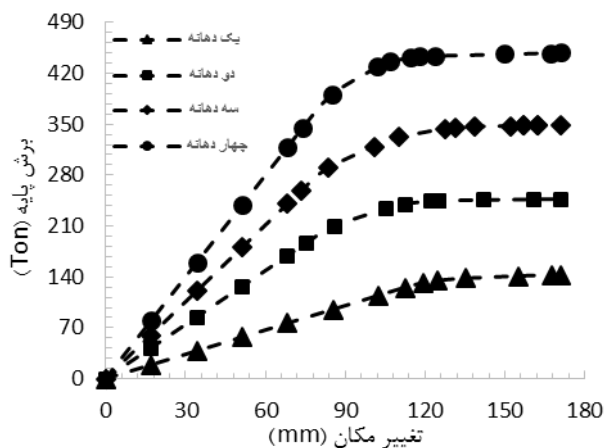
ج) سه دهانه



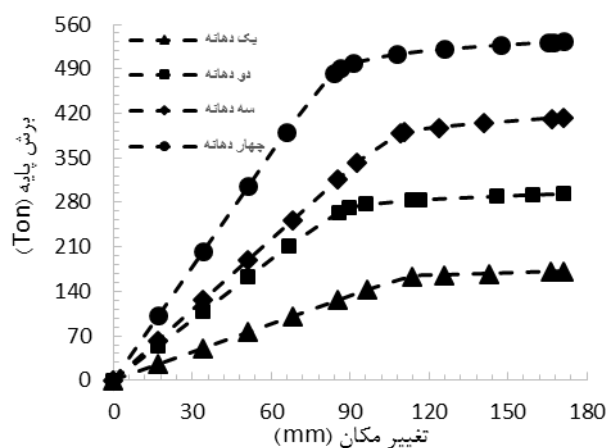
د) چهار دهانه

شکل ۸: منحنی ظرفیت سازه ۸ طبقه

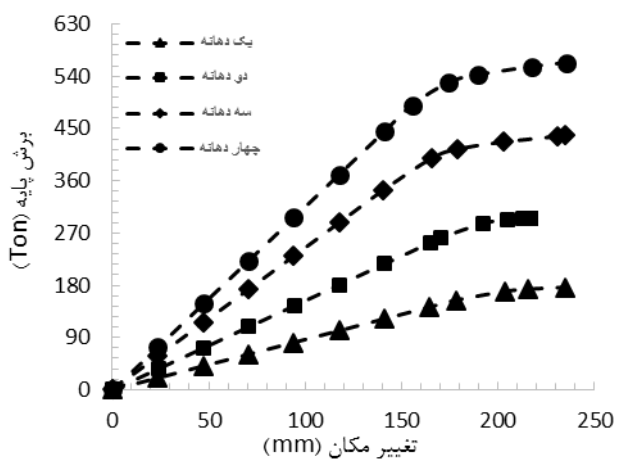
شکل ۹ منحنی ظرفیت مدل‌های مورد مطالعه با افزایش تعداد دهانه را برای دو توزیع بار جانبی نشان می‌دهد. با استفاده از شکل ۹ می‌توان به تاثیر افزایش تعداد دهانه و تعداد طبقه بر روی تغییر مکان هدف و برش پایه و هم عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها پی برد. با استفاده از نتایج بدست آمده در شکل می‌توان به تاثیر قابل ملاحظه‌ای مساحت پلان طبقه بر عملکرد لرزه‌ای دست یافت. یکی از مهمترین موارد جهت بررسی عملکرد سازه‌ها، سطح عملکرد مفاصل پلاستیک سازه‌ها در نقطه تغییر مکان هدف است که نمایانگر سطح عملکرد کلی سازه می‌باشد. نتایج مربوط به سطح عملکرد و تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده، وزن سازه، تغییر مکان هدف، و برش پایه برای سازه‌های مدل‌سازی شده تحت الگوی بارهای جانبی یکنواخت و مثلثی و هم چنین برای تعداد دهانه‌های مختلف در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ارایه شده است. نتایج حاصل از تحلیل نشان می‌دهد که برخی از سازه‌ها از سطح عملکرد آستانه فروریزش عبور کرده اند که نشان دهنده عدم کفایت کافی این سازه‌ها با اعمال ضریب نامعینی یک می‌باشد. با این حال اکثر سازه‌هایی که ضریب نامعینی یک در آنها اعمال شده است از سطح عملکرد ایمنی جانی عبور کرده اند، در حالی که به ندرت در سازه‌هایی که با اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ طراحی شده اند چنین موردی مشاهده می‌شود. بنابراین مدل‌های طراحی شده با ضریب نامعینی یک معمولاً سطح عملکردهای لازم را ارضاء نمی‌نمایند به طوری که در بعضی از مدل‌ها سطح ایمنی جانی تأمین نمی‌شود و در برخی دیگر حتی سطح آستانه فروریزش نیز تأمین نمی‌شود.



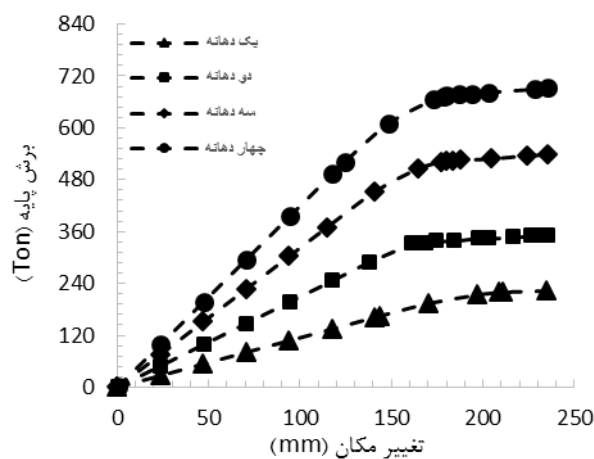
(الف) سازه ۴ طبقه، الگوی بار (TEY)



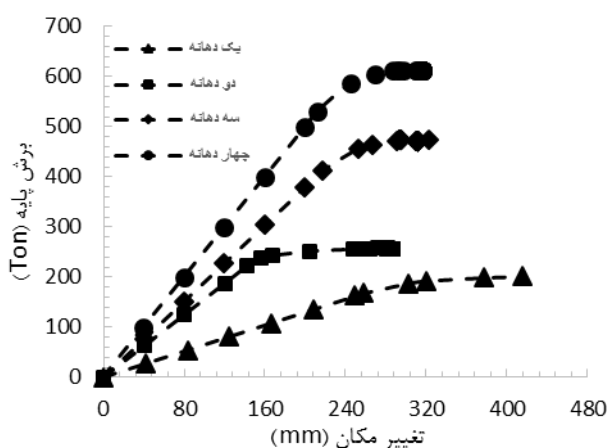
(ب) سازه ۴ طبقه، الگوی بار (UEY)



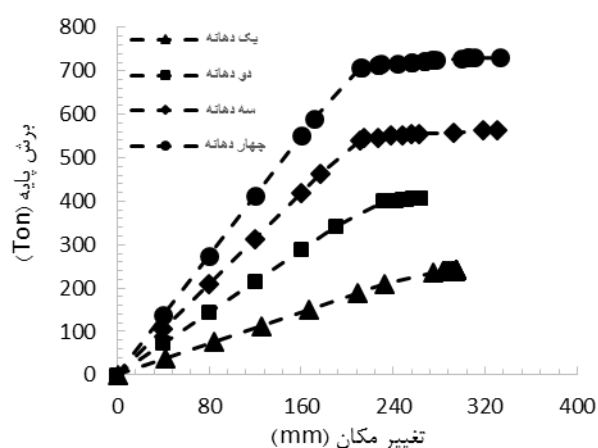
(ج) سازه ۶ طبقه، الگوی بار (TEY)



(د) سازه ۶ طبقه، الگوی بار (UEY)



(ه) سازه ۸ طبقه، الگوی بار (TEY)



(و) سازه ۸ طبقه، الگوی بار (UEY)

شکل ۹: منحنی ظرفیت مدل‌های مورد مطالعه با افزایش تعداد دهانه

از نتایج جدول‌های ۴ تا ۶ می‌توان دریافت که بهبود عملکرد مدل‌ها در اثر اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ قابل انتظار بوده و مشهود است. با این حال میزان بهبود در عملکرد متفاوت بوده و برای تعداد طبقات و دهانه‌های مختلف الگوی خاصی دارد. علت این امر را می‌توان در ساختار سیستم مقاوم سازه‌ای سازه‌ها در نظر گرفت. به دلیل اینکه سیستم مقاوم در مقابل نیروی زلزله، سیستم قاب خمشی می‌باشد، بنابراین تغییر ضریب نامعینی در طراحی و ابعاد تیرها و ستون‌ها تأثیر گذار بوده و ممکن است اختلاف سازه‌های طراحی شده با اعمال ضرایب نامعینی متفاوت در ابعاد متفاوت باشد.

همچنین در تمامی مدل‌ها با اعمال ضریب نامعینی ۱،۲ با کاهش تغییر مکان هدف مواجه هستیم یعنی سازه‌ها در جابه‌جایی خیلی بیشتر وارد رفتار غیر الاستیک می‌شوند و در ضمن افزایش برش پایه در مدل‌هایی که ضریب نامعینی ۱،۲ اعمال شده قابل مشاهده است و یکی از نتایج مهمی است که می‌توان مشاهده کرد این است که برخی از سازه‌هایی که از سطح عملکرد ایمنی جانی یا حتی آستانه فروریزش را عبور کرده بودند با اعمال ضریب نامعینی ۱،۲ به سطح عملکرد قابل توجهی رسیده‌اند. پس در کل اعمال ضریب نامعینی به صورت ناچیزی باعث افزایش وزن لرزه‌ای سازه‌ها می‌شود ولی در مقابل باعث می‌شود که عملکرد لرزه‌ای سازه تحت الگوی بار جانبی متفاوت بهبود یابد.

جدول ۴: سطح عملکرد و تعداد مفاصل پلاستیک در سازه ۴ طبقه

مدل	ضریب نامعینی	IO-LS	LS-CP	>CP	وزن سازه (Ton)	تغییر مکان هدف (mm)	برش پایه
4-1-TEY	1	18	0	2	684.38	243.7	142.86
	1.2	2	0	0	693.76	230.2	161.21
4-1-UEY	1	32	0	0	684.38	201.3	171.53
	1.2	27	0	0	693.76	198.6	193.03
4-2-TEY	1	72	0	0	1185.1	216.2	246.67
	1.2	46	0	0	1200.8	205.2	289.79
4-2-UEY	1	56	10	0	1185.1	186.6	293.55
	1.2	56	2	8	1200.8	173	347.84
4-3-TEY	1	104	0	4	1672.2	208.1	347.3
	1.2	104	0	2	1693.9	193.5	406.61
4-3-UEY	1	80	4	0	1672.2	181.9	416.2
	1.2	104	0	0	1693.9	162.2	513.48
4-4-TEY	1	151	0	3	2153.1	212.2	448.4
	1.2	118	0	0	2166.9	202.1	525.7
4-4-UEY	1	96	22	8	2153.1	182	532.98
	1.2	98	26	0	2166.9	174.8	626.56

جدول ۵: سطح عملکرد و تعداد مفاصل پلاستیک در سازه ۶ طبقه

مدل	ضریب نامعینی	IO-LS	LS-CP	>CP	وزن سازه (Ton)	تغییر مکان هدف (mm)	برش پایه
6-1-TEY	1	4	0	0	1070.82	379.7	176.67
	1.2	4	0	0	1086.67	336.9	210.06
6-1-UEY	1	24	0	4	1070.82	298.2	233.85
	1.2	8	0	0	1086.67	279.4	260.56
6-2-TEY	1	0	0	0	1785.88	341.1	295.98
	1.2	16	0	0	1858.75	314.4	373.1
6-2-UEY	1	66	0	0	1785.88	286.6	351.65
	1.2	66	0	0	1858.75	249.9	462.74
6-3-TEY	1	48	0	0	2555.85	348.5	438.21
	1.2	96	0	9	2604.44	304.6	520.41
6-3-UEY	1	97	0	8	2555.85	277.9	538.52
	1.2	92	0	6	2604.44	248	632.92
6-4-TEY	1	62	0	1	3281.67	342	563.39
	1.2	25	0	0	3347.14	309.6	672.98
6-4-UEY	1	132	0	8	3281.67	274.2	692.55
	1.2	136	0	6	3347.14	251.1	819.5

جدول ۶: سطح عملکرد و تعداد مفاصل پلاستیک در سازه ۸ طبقه

مدل	ضریب نامعینی	IO-LS	LS-CP	>CP	وزن سازه (Ton)	تغییر مکان هدف (mm)	برش پایه
8-1-TEY	1	48	0	0	1450.13	538.8	201.09
	1.2	60	0	2	1535.94	420.6	258.88
8-1-UEY	1	4	0	0	1450.13	430.4	240.37
	1.2	0	0	0	1535.94	328.1	325
8-2-TEY	1	80	0	1	2462.92	487.2	342.16
	1.2	8	0	0	2584.74	387.3	420.3
8-2-UEY	1	69	8	2	2462.92	386	406.98
	1.2	56	0	0	2584.74	315.4	496.01
8-3-TEY	1	55	0	8	3461.87	460.9	472.97
	1.2	184	0	0	3590.78	384.7	610.9
8-3-UEY	1	112	16	4	3461.57	374.9	564.85
	1.2	136	8	0	3590.78	307.7	766.61
8-4-TEY	1	84	0	2	4462.28	458.5	623.72
	1.2	226	0	0	4585.78	416.7	760.29
8-4-UEY	1	148	18	12	4462.28	370.2	730.72
	1.2	0	0	0	4585.78	337	898.96

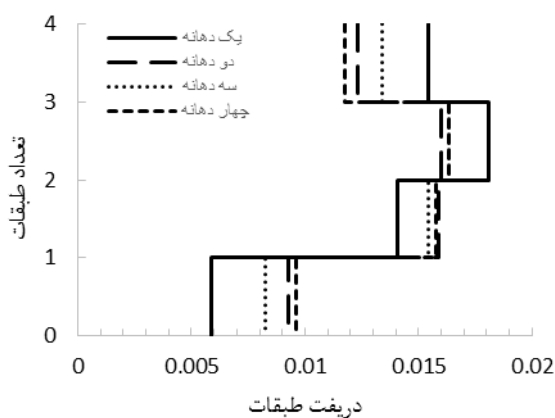
شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ دریف‌ت طبقات و هم‌چنین در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ درصد تاثیر افزایش ضریب نامعینی در برش پایه و هم‌چنین تغییر مکان هدف نشان داده شده است. برای بررسی بهتر موضوع درصد تاثیر ضریب نامعینی ۱،۲ در کاهش تغییر مکان هدف را با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌نماییم:

$$\alpha = \frac{\delta_1 - \delta_{1,2}}{\delta_1} \times 100 \quad (7)$$

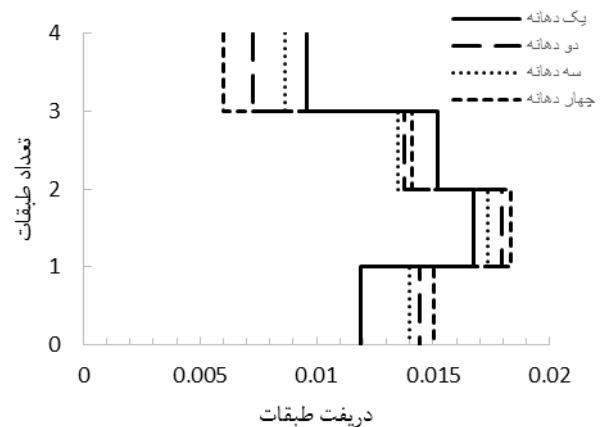
$\alpha$ : درصد کاهش تغییر مکان هدف

$\delta_1$ : تغییر مکان هدف با اعمال ضریب نامعینی ۱

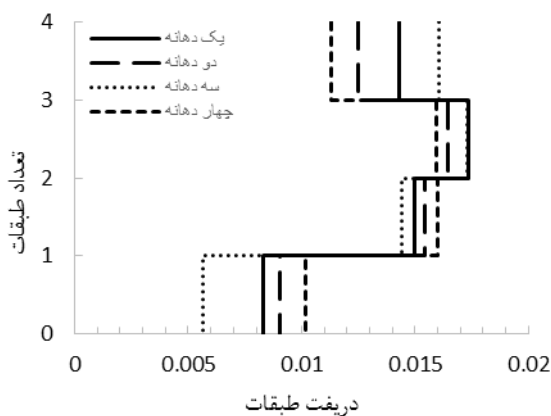
$\delta_{1,2}$ : تغییر مکان هدف با اعمال ضریب نامعینی ۱،۲



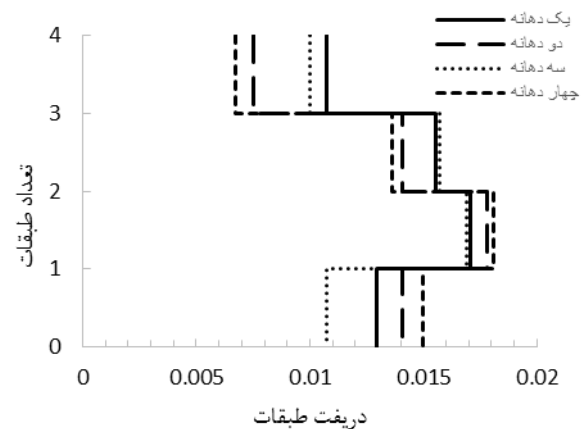
الف) سازه ۴ طبقه، الگوی بار (TEY)، ضریب نامعینی ۱



ب) سازه ۴ طبقه، الگوی بار (UEY)، ضریب نامعینی ۱

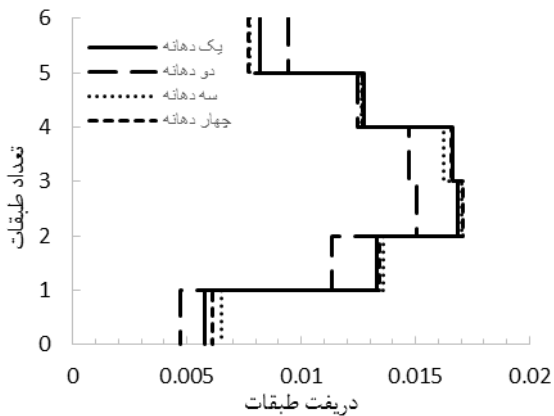


ج) سازه ۴ طبقه، الگوی بار (TEY)، ضریب نامعینی ۱،۲

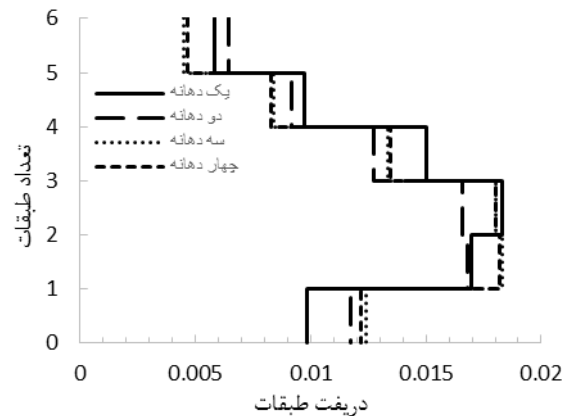


د) سازه ۴ طبقه، الگوی بار (UEY)، ضریب نامعینی ۱،۲

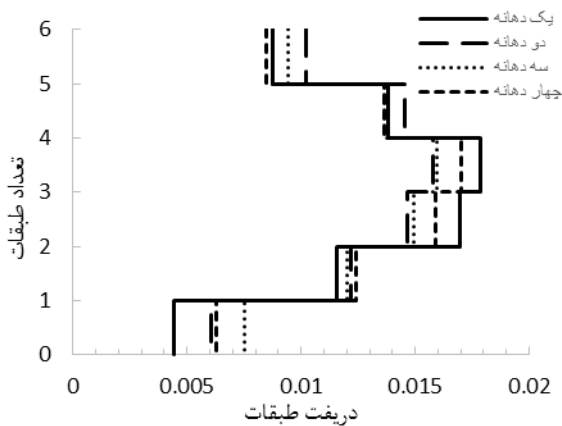
شکل ۱۰: نمودار دریف‌ت سازه ۴ طبقه



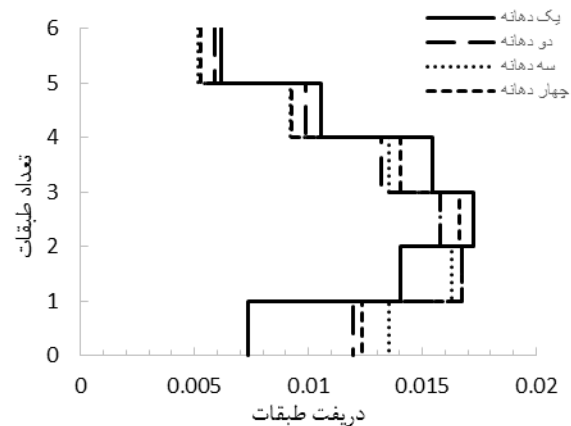
الف) سازه ۶ طبقه، الگوی بار (TEY)، ضریب نامعینی ۱



ب) سازه ۶ طبقه، الگوی بار (UEY)، ضریب نامعینی ۱



ج) سازه ۶ طبقه، الگوی بار (TEY)، ضریب نامعینی ۱,۲



د) سازه ۶ طبقه، الگوی بار (UEY)، ضریب نامعینی ۱,۲

شکل ۱۱: نمودار دریفت سازه ۶ طبقه

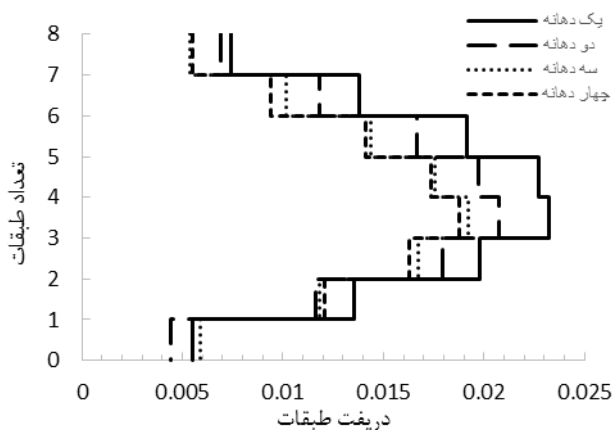
همچنین برای بررسی تاثیر ضریب نامعینی ۱,۲ بر افزایش برش پایه رابطه زیر را محاسبه کرده و بعنوان درصد تاثیر در شکل ۱۳ نشان داده شده است:

$$\beta = \frac{v_{1.2} - v_1}{v_{1.2}} \times 100 \quad (۸)$$

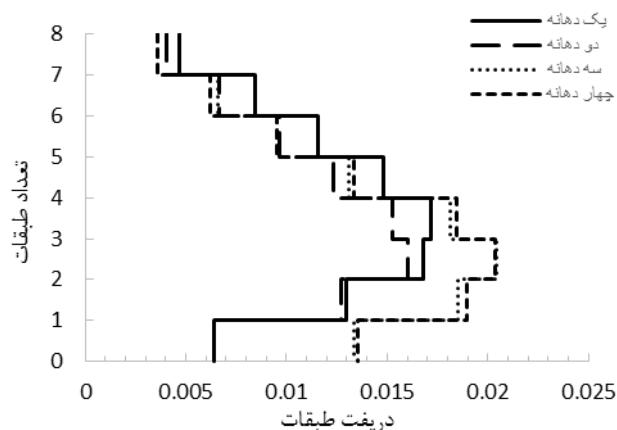
$\beta$ : درصد افزایش برش پایه

$v_{1.2}$ : برش پایه بدست آمده با اعمال ضریب نامعینی ۱,۲

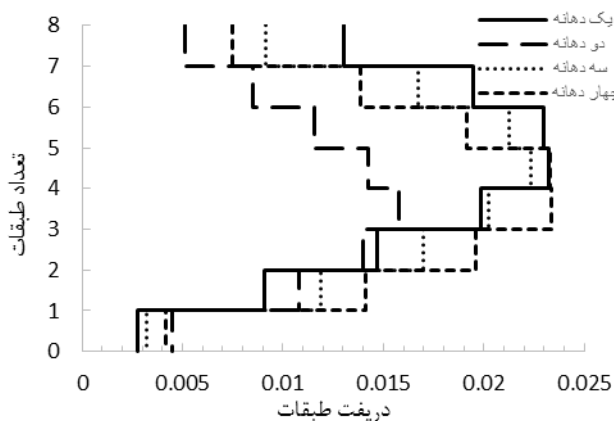
$v_1$ : برش پایه بدست آمده با اعمال ضریب نامعینی ۱



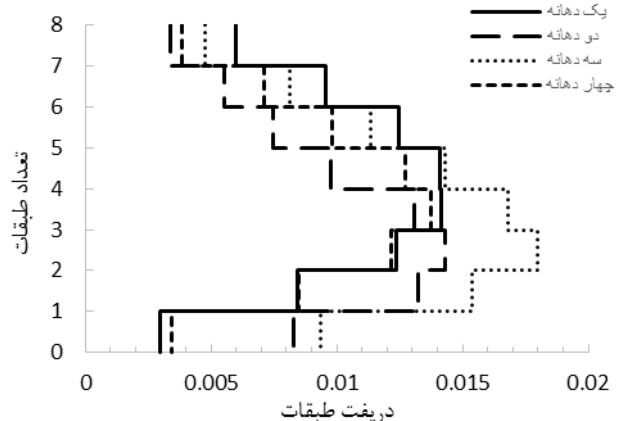
الف) سازه ۸ طبقه، الگوی بار (TEY)، ضریب نامعینی ۱



ب) سازه ۸ طبقه، الگوی بار (UEY)، ضریب نامعینی ۱



ج) سازه ۸ طبقه، الگوی بار (TEY)، ضریب نامعینی ۱,۲



د) سازه ۸ طبقه، الگوی بار (UEY)، ضریب نامعینی ۱,۲

شکل ۱۲: نمودار دریفت سازه ۸ طبقه



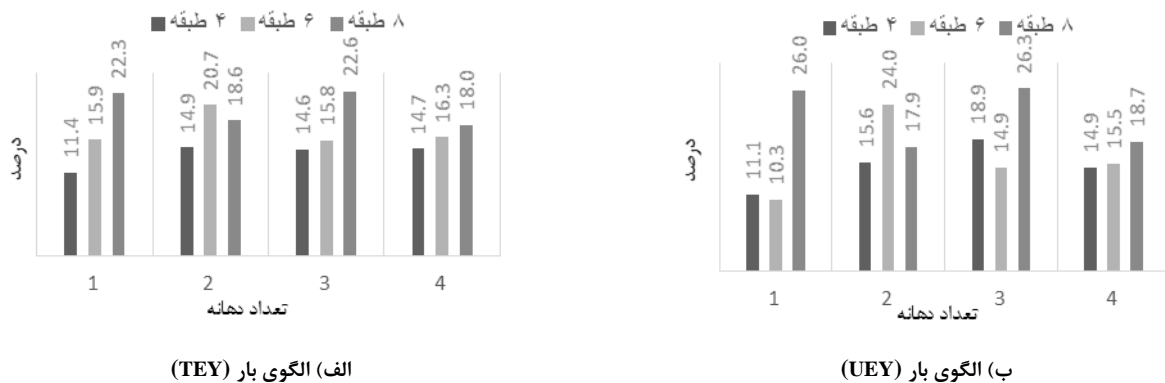
الف) الگوی بار (TEY)



ب) الگوی بار (UEY)

شکل ۱۳: نمودار درصد کاهش تغییر مکان هدف با اعمال ضریب نامعینی





شکل ۱۴: نمودار درصد افزایش برش پایه با اعمال ضریب نامعینی

## ۵- نتیجه گیری

در این مقاله تأثیر ضریب نامعینی در عملکرد سیستم مقاوم لرزه ای قاب خمشی بتنی مورد بررسی قرار گرفت. جهت نیل به این هدف مدل های ۳ بعدی ۴، ۶ و ۸ طبقه با تعداد دهانه های ۱، ۲، ۳ و ۴ تحت آنالیز پوش آور قرار گرفته و نتایج حاصل از آن ها مورد بررسی قرار گرفت. جهت رسیدن به عملکرد مطلوب در سازه هایی که دارای نامعینی کافی نمی باشد، اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ الزامی است. همچنین در سازه های منظم نیز که دارای نامعینی کافی نیستند، همانند سازه های نامنظم باید با اعمال ضریب نامعینی ۱/۲ طراحی گردند. بنابراین منظم بودن یا نبودن، تأثیری در اعمال این ضریب ندارد. از نتایج مشخص گردید که مقدار ضریب نامعینی آورده شده در آیین نامه ۲۸۰۰ که ۱/۲ می باشد برای سازه هایی که دارای نامعینی کافی نمی باشد، مقدار مناسبی بوده و مقادیر کمتر منجر به طراحی ضعیف و مقادیر بیشتر منجر به طراحی غیر اقتصادی خواهد شد. البته بهتر است رابطه ای بین مساحت طبقه و ضریب نامعینی نیز ارائه گردد.

## مراجع

- [1] Curley, J., Pundy. LH. (1986). *Damage, redundancy and system reliability*. University of Colorado, p. 8-11.
- [2] De, R. S., Karamchandani, A. and Cornell, C. A. (1989). Study of redundancy in near-ideal parallel structural systems. *Structural Safety and Reliability*, p. 975-982.
- [3] Bertero, RD., Bertero, VV. (1999). Redundancy in earthquake-resistant design. *Journal of Structural Engineering*, 125(1), p. 81-88.
- [4] Wang, C-H. and Wen, Y. K. (2000). Evaluation of pre-northridge low-rise steel buildings part ii, reliability and redundancy. *Journal of Structural Engineering*, 126(10), p. 1169-1176.
- [5] Ang, A., and Tang, W. (2000). *Probability concepts in engineering planning and design*. Vol. 2, John Wiley & Sons, New York, p. 20.
- [6] Cornell, C. A. (1987). *Offshore structural systems reliability*. A Report to Amoco Production Company for the Joint Industry Project Participants.
- [7] Song, S. H. and Wen, Y. K. (2000) *Structural redundancy of dual steel moment frame systems under seismic excitation*. SRS Report NO.631, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, p. 110-141.
- [8] Kuo-Wei Liao. And Yi-Kwei Wen (2004). *Redundancy in steel moment frame systems under seismic excitations*. Structural Research Series No. 636, College of Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, p. 28-41.
- [9] Building and Housing Research Center (BHRC). (2013). *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800*, 4rd edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran.
- [10] Dashti, A. (2016). *The Effect of Redundancy Factor on the Seismic Performance of Structures*. M.SC Earthquake Engineering, University of Mohaghegh Ardabili.
- [11] Mir Shahi, AA. (1997). *Assessment the effect of study of redundancy and overstrength factor in response modification factor of frames*. M.SC Earthquake Engineering, Iran University of Science and Technology.

- [12] Mohammadi, R., Massumi, A. and Meshkat-Dini, A. (2014). Effects of Redundancy on Seismic Behavior of RC Moment Resisting Frames. *Modares Journal of Civil Engineering*, 14(3), p. 139-152.
- [13] Cortes-Benitez, J.A. and Tena-Colunga, A. (2015). Assessment of redundancy factors for the seismic design of special moment resisting reinforced concrete frames. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 12 (12), p. 2330-2350.
- [14] Godinez-Dominguez, E.A. and Tena-Colunga, A. (2016). Redundancy factors for the seismic design of ductile reinforced concrete chevron braced frames. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 13 (11), p. 2088-2112.