

## The Effects of Number and Location of Bracing Bays on Redundancy of Eccentrically-Braced Steel Moment Frames

Alireza Faroughi<sup>1\*</sup>, Abdolreza S.Moghadam<sup>2</sup>, Mohammd Ghanoonibagha<sup>1</sup>

1- Assistant Professor, Department of civil engineering, East Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate Professor of International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

### ABSTRACT

Steel braced frames are among the most effective lateral load resisting systems. The eccentrically braced frame has a higher ductility, less stiffness, and a better serviceability (limited retrofitting needed after the seismic excitations) compared to concentrically braced ones. Static indeterminacy is generally considered as the number of extra constraints or members in a structural system. In other words, redundancy is the ability of a structure to keep its stability after the onset of the failure or removal of its lateral load resisting elements, preventing it from collapse in the initial stages of loading. The redundancy of a system depends on the "dynamic" characteristics of its structure and properties of the applied earthquake excitations as well as its structural geometric features and details. This indeterminacy is called dynamic redundancy. In this study, the effects of the number and location of braced bays on redundancy were investigated to obtain the best pattern for regular 5 and 8-story buildings using nonlinear analysis. It also develops a relationship for the redundancy factor of the dual structural systems. Results show that position of braced bays is more effective on redundancy than the number of bays. It is also concluded that the building's height affects the required number of bracing bays. The study also showed that the dynamic redundancy is different from the over-strength. According to the results of this research, for dual structural systems, it is recommended not to arrange the braces only in the perimeter of the plan.

### ARTICLE INFO

**Receive Date:** 16 June 2020

**Revise Date:** 04 August 2020

**Accept Date:** 23 September 2020

### Keywords:

Location

Indeterminate, redundancy

Eccentrically braced frames

Dynamic

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.235234.2170>

\*Corresponding author: Alireza Faroughi

Email address: faroughi@iauet.ac.ir

## تأثیر تعداد و موقعیت دهانه‌های مهاربندی بر نامعینی سیستم دوگانه قاب خمشی و مهاربند برون‌محور فولادی

علیرضا فاروقی<sup>۱\*</sup>، عبدالرضا سروقدمقدم<sup>۲</sup>، محمد قانونی بقا<sup>۱</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران شرق، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- دانشیار، پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

### چکیده

نامعینی عبارت است از تعداد اعضا یا قیود اضافه‌ای که در یک سیستم سازه‌ای وجود دارد. این مفهوم نامعینی «استاتیکی» است و یکی از محاسنش این است که هرچه بیشتر باشد، معمولاً ضریب اطمینان سازه برای جلوگیری از فروپاشی بلافاصله بعد از اولین شکست یا انهدام عضو برابر جانبی افزایش می‌یابد. ممکن است بسیاری از درجه‌های نامعینی (استاتیکی) در برخی زلزله‌ها و با توجه به ویژگی‌های ذکرشده اصلاً در سیستم تأثیرگذار نباشند (پلاستیک نشوند) که به این مقوله نامعینی غیرفعال می‌گویند؛ بنابراین در یک زلزله تعداد نامعینی دینامیکی فعال است که اهمیت دارد. در سیستم‌های دوگانه معمولاً درجه نامعینی استاتیکی به‌ویژه به دلیل تعدد قاب خمشی بالاست، اما تعداد و چیدمان دهانه مهاربندی می‌تواند در فعال یا غیرفعال شدن درجه‌های نامعینی قاب خمشی و توزیع آن مؤثر باشد. در این نوشتار رابطه‌ای برای محاسبه درجه نامعینی در سیستم‌های دوگانه با استفاده از نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی ارائه شده است. همچنین ضمن معرفی و محاسبه ضریب نامعینی در ضریب رفتار، به بهترین الگو برای چیدمان مهاربند در سازه‌های منظم ۵ و ۸ طبقه مطابق با نامعینی دست یافته‌ایم. بنا بر نتایج تحقیق مشخص می‌شود که موقعیت مهاربند بر ضریب نامعینی مؤثرتر از تعداد آن است و همچنین توصیه می‌شود مهاربندها در سیستم‌های دوگانه تنها در پیرامون سازه نباشند.

کلمات کلیدی: موقعیت، نامعینی، افزونگی، سیستم دوگانه، قاب خمشی، مهاربند برون‌محور فولادی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	<a href="https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.235234.2170">https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.235234.2170</a>	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.235234.2170	۱۴۰۰/۰۸/۳۰	۱۳۹۹/۰۷/۰۲	۱۳۹۹/۰۷/۰۲	۱۳۹۹/۰۵/۱۴	۱۳۹۹/۰۳/۲۷
				*نویسنده مسئول:		
				پست الکترونیکی:		
				علیرضا فاروقی		
				faroughi@iauet.ac.ir		

## ۱- مقدمه

نامعینی در مفهوم کلی عبارت است از تعداد اعضا یا قیود اضافه و به‌طور کلی مجهولات اضافه‌ای که در یک سیستم سازه‌ای وجود دارد. این مفهوم نامعینی «استاتیکی» است. یکی از محاسن این نامعینی آن است که هرچه بیشتر باشد معمولاً ضریب اطمینان سازه برای جلوگیری از فروپاشی بلافاصله بعد از اولین شکست یا انهدام عضو باربر جانبی افزایش می‌یابد. به این قابلیت افزونگی (Redundancy) می‌گویند [۱]. درجه نامعینی در سازه در درجه اول از ظرفیت ارائه یک مسیر (عضو) جایگزین حمل بار پس از شکست اولین عضو ناشی می‌شود. برخی از عوامل مؤثر بر نامعینی مانند تعداد اعضای باربر جانبی، ظرفیت شکل‌پذیری اعضا، هم‌بستگی بین مقاومت اعضا، پیکربندی سیستم سازه و تنوع تقاضای ناشی از زلزله در بارهای استاتیکی [۱] و بارهای تصادفی [۲، ۳] شناسایی شده‌اند. پس از زلزله ۱۹۹۴ نورتریج، ظرفیت اتصال تیر-ستون سازه در قابلیت اعتماد و نامعینی سازه در تحقیقات فراوانی بررسی شد [۴]. کمی‌سازی نامعینی به‌ویژه در سازه بسیار مشکل است. این مشکل از تشریح رفتار غیرخطی و پاسخ رفتار سیستم سازه‌ای و از سوی دیگر، ارزیابی احتمالی محلی (عضو) و سراسری وقوع خرابی ناشی می‌شود. ضریب نامعینی بر مبنای اولین خرابی در عضو و خرابی کل سازه برای سازه‌های ساده منظم پیشنهاد شده است [۵، ۶]. از آنجا که بحث نامعینی در سیستم‌های دوگانه و به‌ویژه در سازه‌های مهاربند برون‌محور بسیار پیچیده‌تر بوده و علاوه بر مشخصات قاب خمشی، به تعداد و مشخصات دهانه‌های مهاربندی نیز وابسته است لذا باید مورد بررسی ویژه قرار گیرد.

قاب‌های مهاربندی شده با خروج از مرکزیت را اولین بار پوپوف و همکاران در سال ۱۹۷۸ مطرح کردند. این سیستم در واقع برای مقابله با نیروهای جانبی و اثر ناشی از آنها بر تغییر شکل زیاد و تغییر مکان نسبی قابل توجه ابداع شد [۷]. در نتیجه این تحقیقات سیستم مهاربندی واگرا (EBF) به‌عنوان یک سیستم جدید مقاوم در مقابل زلزله در آیین‌نامه‌ها مطرح شد. براساس تحقیقات وسیعی که در این زمینه انجام شده است، سیستم‌هایی با مهاربندی واگرا قابلیت ترکیب سختی زیاد به‌ویژه در محدوده غیرالاستیک دارند. سیستم‌های واگرا در واقع سیستمی مختلط هستند. هدف اولیه از ایجاد قاب‌های مهاربندی شده با خروج از مرکزیت، وقوع تسلیم برشی در قسمت کوچکی از تیر اصلی است که در اصطلاح تیر رابط نامیده می‌شود [۸]. قانونی و همکاران به تحلیل غیرخطی سازه‌های فولادی نامنظم در پلان پرداختند [۹]. همچنین فاروقی و همکاران نیز روش‌های نوین و سریع تحلیل‌های تاریخچه زمانی و تأثیرات آن بر روی سازه متناسب با خصوصیات دینامیکی را ارزیابی کرده‌اند [۱۰].

در مطالعات قبلی و ضرایب ارائه شده توسط آیین‌نامه‌ها، اثرات مربوط به الگوی ساخت و جانمایی مهاربندها بر ضریب نامعینی دیده نشده است. در این تحقیق، ابتدا رابطه‌ای برای محاسبه ضریب نامعینی در سیستم دوگانه ارائه شد. سپس ضمن محاسبه پارامترهای ضریب رفتار، بهترین الگوی چیدمان مهاربند برای سازه‌های منظم ۵ و ۸ طبقه، مطابق با نامعینی به دست آمد.

## ۲- شرح تحقیق

## ۲-۱- نامعینی استاتیکی

در مفهوم کلی نامعینی عبارت است از تعداد اعضا یا قیود اضافه و به‌طور کلی مجهولات اضافه‌ای که در یک سیستم برای افزایش درجه اطمینان پایداری سازه وجود دارد. هرچه این درجه بیشتر باشد، ضریب اطمینان سازه برای جلوگیری از فروپاشی بلافاصله بعد از اولین شکست یا انهدام عضو باربر جانبی افزایش می‌یابد. به بیان دیگر نامعینی عبارت است از اعضای باربر جانبی یا قیود اضافی که از فروپاشی یا ناپایداری آنی سازه بلافاصله بعد از خرابی اولیه جلوگیری می‌کند. اهمیت این موضوع با ورود این پارامتر به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مشخص می‌شود. درجه نامعینی استاتیکی سبب سختی بیشتر و در نتیجه تغییر مکان حداکثر کمتر، نیروی حداکثر و تنش حداکثر کمتر و افزونگی بیشتر می‌شود [۱۱]. افزونگی عبارت است از ظرفیت ارائه یک مسیر (عضو) جایگزین یا اضافه برای حمل بار پس از شکست اولین عضو یا خرابی (Collapse) یا تنش بیش‌ازحد (Overstress) آن، به‌طوری‌که بار به قسمت دیگر سازه منتقل شود. همچنین این اثر مهم‌ترین کارکرد نامعینی به‌ویژه تحت بارهای شدید مانند زلزله است و پایداری سازه به این عامل بستگی دارد؛ از این‌رو به آن نامعینی دینامیکی نیز گفته می‌شود.

## ۲-۲- نامعینی دینامیکی

اولین تحقیقات قابل توجه در این زمینه و برخی مطالعات روی قاب‌های مقاوم در برابر باد را موزز انجام داد و نتیجه گرفت که رفتار قاب‌ها به مقاومت و بارگذاری بستگی دارد [۱۲]؛ بنابراین قابلیت اعتماد برای قاب‌های یک دهانه، کمتر از قاب‌های چنددهانه است (در این حالت مقدار نامعینی کمتر یا مساوی ۱ لازم است). مراجع کمی دربارهٔ تعریف نامعینی دینامیکی وجود دارد که یکی از بهترین آنها برتر و برترو است [۱۳]. در این تحقیق نامعینی به صورت زیر تعریف شده است:

درجهٔ نامعینی یک سیستم سازه‌ای، که با  $\eta$  بیان می‌شود، کمترین تعداد مناطق بحرانی یا مفاصل پلاستیک سیستم سازه‌ای محسوب می‌شود که تسلیم می‌شوند یا به شکلی مشابه به دلیل تحریکات ناشی از زمین‌لرزه فروریزش می‌کنند؛ بنابراین درجهٔ نامعینی یک سیستم، تنها تحت تأثیر ویژگی‌های هندسی سازه و تدوین جزئیات نیست، بلکه به ویژگی‌های دینامیکی سازه و تاریخچهٔ زمانی زلزله نیز بستگی دارد [۱۳].

## ۲-۳- نامعینی دینامیکی فعال و غیرفعال (ترتیب خرابی)

درجات نامعینی در یک سیستم می‌تواند از نوع فعال یا غیرفعال باشد؛ بدین معنا که بعضی از ترکیب‌های نامعینی غیرفعال هستند و هنگامی فعال می‌شوند که بعضی از ترکیب‌های فعال خراب شوند. در یک سیستم سازه‌ای، نامعینی معمولاً از نوع فعال است. البته در حالت خاص از یک سیستم، سازه‌ای با درجهٔ نامعینی بالا ممکن است یک طبقهٔ نرم داشته باشد و سبب شود قبل از اینکه در اثر بارهای واردشده مفصل‌های پلاستیک در اعضای سازه تشکیل شوند، طبقهٔ نرم مکانیسم شده و سازه خراب شود. در این حالت امکان فعال شدن درجهٔ نامعینی وجود ندارد؛ بنابراین نامعینی غیرفعال تأثیری در درجهٔ نامعینی دینامیکی ندارد [۱۳].

## ۲-۴- ضریب نامعینی دینامیکی

در (1995) ATC-19 رابطهٔ ضریب رفتار معرفی شده است. این ضریب یک ضریب اضافهٔ  $R_R$  را برای منظورکردن اثر درجهٔ نامعین در سازه شامل می‌شود. این تأثیر شامل تأثیرات احتمال و دیگر موارد مرتبط با هندسهٔ سازه در پلان و ارتفاع سازه است [۱۴]. در ادامه، رابطهٔ ضریب رفتار به ترتیب بیان شده است.

$$R = R_{\mu} \cdot R_S \cdot R_R \quad (1)$$

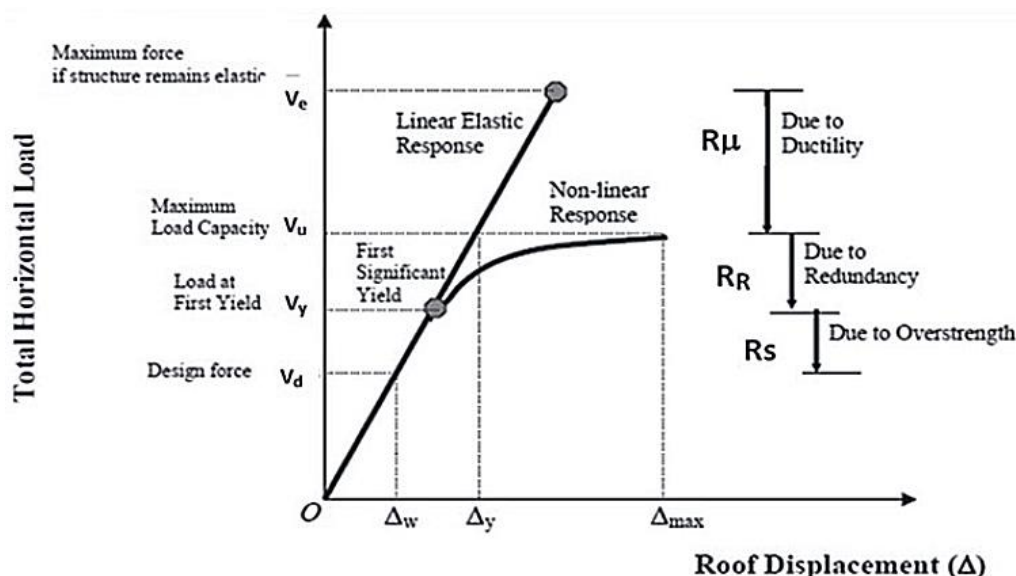
ضرایب  $R_{\mu}$  (ضریب اثر شکل‌پذیری) و  $R_S$  (ضریب اثر اضافه مقاومت) در شکل ۱ آمده است. برای معرفی ضریب نامعینی  $R_R$  لازم است تا تعریف بهتری از آن بیان شود. به طور خاص، تأثیرات کلی نامعینی بر روی مقاومت سازه می‌تواند به وسیلهٔ نسبت مقاومت نهایی یک سیستم سازه‌ای به مقاومت سیستم مشابه اما بدون نامعینی بیان شود؛ بنابراین ضریب نامعینی ناشی از نامعینی  $R_R$  از رابطه ۲ به دست می‌آید [۱۵]:

$$R_R = \frac{S_u}{S_{nr}} \quad (2)$$

که در این رابطه  $S_u$  مقاومت سیستم نامعین و  $S_{nr}$  مقاومت سیستم بدون نامعینی است. با فرض اینکه مقاومت یک سازه توزیع نرمال دارد، مقاومت طراحی یا آماری یک سیستم سازه‌ای می‌تواند تابعی از مقدار میانگین و انحراف استاندارد آن باشد؛ بنابراین پارامترهای  $S_u$  و  $S_{nr}$  می‌تواند به صورت رابطه ۳ نوشته شود [۱۵]:

$$S_u = \overline{S_u} - k \sigma_f \quad (3)$$

$$S_{nr} = \overline{S_{nr}} - k \sigma_{nr} \quad (4)$$



شکل ۱. نمودار برش تغییر مکان نسبی بام و پارامترهای ضریب رفتار [۱۴]

که در این روابط  $\bar{S}_u$  میانگین مقاومت نهایی قاب (سازه) نامعین،  $\bar{S}_{nr}$  میانگین مقاومت نهایی قاب (سازه) بدون نامعینی و  $\sigma_f$  انحراف استاندارد مقاومت قاب (سازه) نامعین و  $\sigma_{nr}$  انحراف استاندارد مقاومت قاب (سازه) بدون نامعینی است.  $k$  نیز ضریب است [۱۶]:

با تقسیم انحراف استاندارد مقاومت قاب (رابطه ۶) به میانگین مقاومت قاب (رابطه ۵) می‌توان ضریب تغییرات مقاومت قاب (رابطه ۷) را به دست آورد:

$$\bar{S} = nc\bar{V}_e \quad (۵)$$

$$\sigma_f = c\sigma_e \sqrt{n + n(n-1)\rho_e} \quad (۶)$$

$$v_f = \bar{v}_e \sqrt{\frac{1 + (n-1)\rho_e}{n}} \quad (۷)$$

که در این رابطه  $\bar{V}_e$  میانگین مقدار مقاومت برشی عضو سازه،  $n$  تعداد مفاصل مطابق مکانیسم شکست یا خرابی،  $c$  ضریب،  $\rho_e$  ضریب هم‌بستگی بین مقاومت اعضا (با فرض یکسان بودن هر دو جفت از اعضا)،  $v_e$  ریب تغییرات مقاومت اعضا و  $v_f$  ضریب تغییرات مقاومت قاب (سازه) است.  $I_v$  نیز شاخص تغییرات نامعینی برابر نسبت این دو ضریب محسوب می‌شود:

$$r_v = \frac{v_f}{v_e} = \frac{\sigma_f / \bar{S}_u}{v_{nr}} \quad (۸)$$

$$r_v = \frac{\sigma_f}{v_e} \times \frac{1}{r_s \bar{S}_{nr}} \quad (۹)$$

$$\sigma_f = r_v r_s v_e \bar{S}_{nr} \quad (۱۰)$$

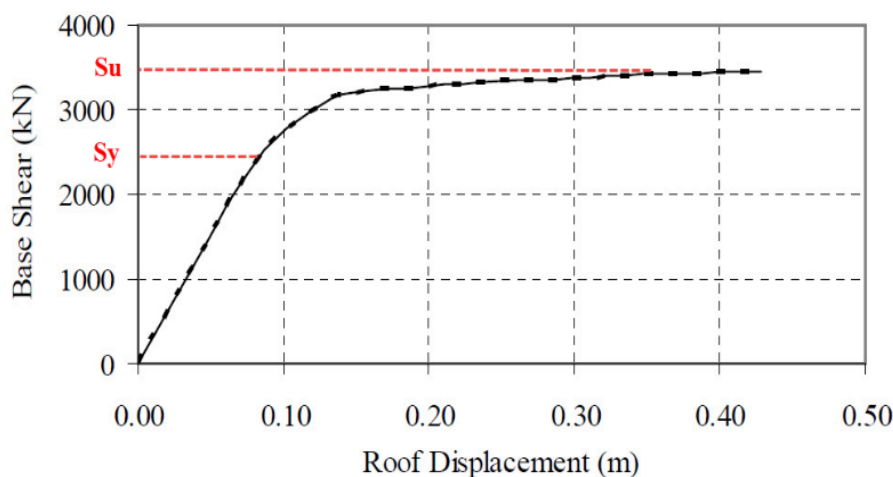
در رابطه ۱۰  $I_s$  شاخص مقاومت نامعینی است که از رابطه ۱۱ به دست می‌آید [۱۵، ۱۶]:

$$r_s = \frac{\bar{S}_u}{S_{nr}} = \frac{\bar{S}_y}{S_y} \quad (11)$$

در رابطه ۱۱ برای محاسبه مقاومت جاری شدن و مقاومت نهایی سیستم سازه‌ای، میانگین مقاومت در نظر گرفته می‌شود، نه مقاومت‌های اسمی که در طراحی استفاده می‌شوند و ناشی از مقادیر اسمی خواص مصالح و دیگر متغیرها هستند؛ بنابراین متغیرهای زیر در محاسبه شاخص مقاومت نامعینی کاربرد دارند:

- برش پایه در شروع جاری شدن سیستم (Sy)؛
- برش پایه نهایی (Su).

در روش تحلیل استاتیکی غیرخطی، این دو پارامتر به آسانی می‌توانند از روی منحنی غیرخطی بار-تغییر مکان حاصل شوند (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار برش تغییر مکان نسبی بام

با جایگذاری رابطه ۱۰ و ۱۱ در رابطه ۳ خواهیم داشت:

$$S_u = r_s \bar{S}_{nr} - k r_v r_s v_e \bar{S}_{nr} = r_s (1 - k r_v v_e) \bar{S}_{nr} \quad (12)$$

و در نهایت با جایگذاری رابطه ۴ و ۱۲ در رابطه ۲ خواهیم داشت.

$$R_R = r_s \left( \frac{1 - \kappa v_e r_v}{1 - \kappa v_{nr}} \right) \quad (13)$$

به طوری که  $v_{nr} = \frac{\sigma_{nr}}{S_{nr}}$  ضریب تغییرات مقاومت قاب بدون نامعینی است.

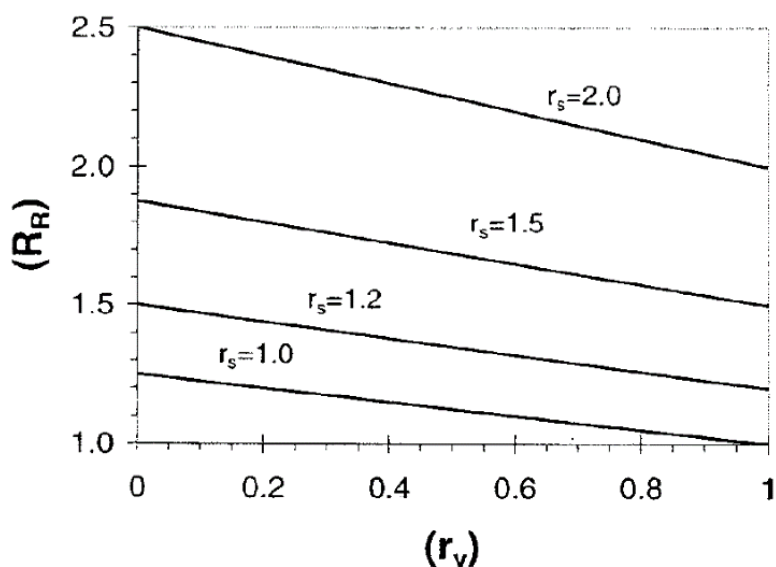
یک سازه قابی بدون نامعینی باید مانند سیستم‌های سری مدل شود؛ یعنی شکست یک عضو موجب شکست سیستم می‌شود و ضریب اطمینان سیستم معدل ضریب اطمینان عضو خواهد شد؛ بنابراین برای یک سیستم بدون نامعینی  $v_{nr} = v_e (n = 1)$  خواهد شد و در نتیجه رابطه ۱۴ به دست می‌آید [۱۶]:

$$R_R = r_s \left( \frac{1 - \kappa v_e r_v}{1 - \kappa v_e} \right) \quad (14)$$

برای مقاومت با توزیع نرمال که احتمال وقوع آن بین ۸۵ تا ۹۵ درصد باشد، ضریب  $k$  بین ۱/۵ تا ۲/۵ تغییر می‌کند و مقدار ضریب تغییرات عضو  $v_e$  در دامنه ۰/۰۸ تا ۰/۱۴ تغییر خواهد کرد؛ بنابراین مقدار  $kv_e$  مساوی ۰/۲ با دقت قابل قبول در محاسبه تأثیر  $r_s$  و  $r_v$  بر روی  $R_R$  می‌تواند استفاده شود. با توجه به رابطه ۱۴ و مقدار در نظر گرفته شده برای  $kv_e$  عبارت به صورت رابطه ۱۵ ساده خواهد شد:

$$R_R = r_s \left( \frac{1 - 0.2r_v}{0.8} \right) = 1.25r_s (1 - 0.2r_v) \quad (15)$$

شکل ۳ تغییرات  $R_R$  را در مقایسه با ضرایب  $r_s$  و  $r_v$  با در نظر گرفتن  $kv_e = 0.2$  نشان می‌دهد [۱۶]:



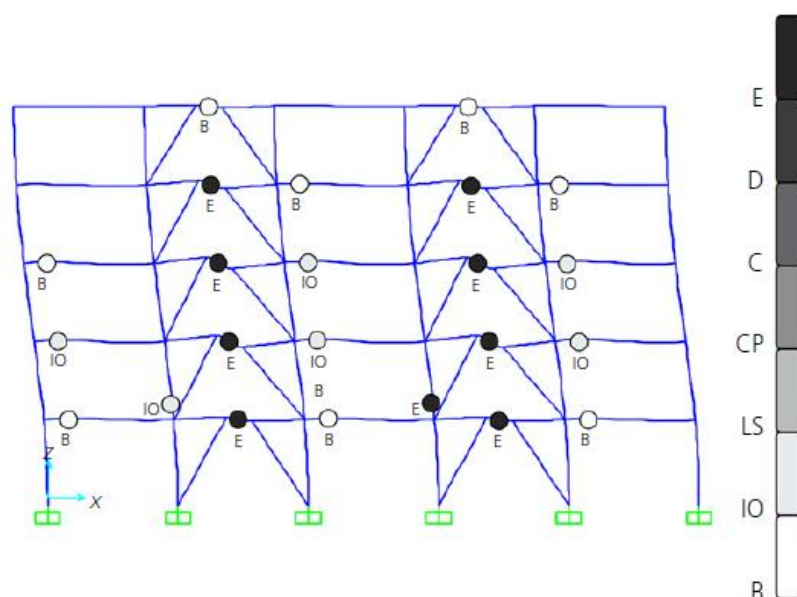
شکل ۳. تغییرات  $R_R$  در مقایسه با ضرایب  $r_s$  و  $r_v$  [۱۶]

با کاهش شاخص تغییرات، نامعینی ضریب نامعینی ( $R_R$ ) افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به رابطه ۱۵ و شکل ۳ در صورتی که سیستم کاملاً نامعین باشد ( $r_v=0$ ) مقدار  $R_R = 1.25r_s$  خواهد شد و این بدان معنی است که حداکثر تأثیر احتمالاتی نامعینی روی ضریب نامعینی ۲۵ درصد است و در حالتی که سیستم بدون نامعینی باشد ( $r_v=1$ ) مقدار  $R_R = r_s$  خواهد بود؛ یعنی تأثیر احتمالاتی نامعینی صفر است. از سوی دیگر اگر سیستم بدون اضافه مقاومت از حد جاری شدن تا حد نهایی باشد ( $r_s=1$ ) دامنه تغییرات  $R_R$  از ۱ تا ۱/۲۵ خواهد بود و در صورتی که اضافه مقاومت بیشتر از یک باشد ( $r_s=1.4$ ) دامنه تغییرات  $R_R$  از ۱/۴ تا ۱/۷۵ خواهد بود [۱۵، ۱۶].

## ۲-۵- نامعینی رابطه قاب دوگانه (توسعه داده شده در این پژوهش)

یکی از چالش‌های اصلی در این تحقیق استفاده از رابطه ۱۵ برای قاب‌های دوگانه، به ویژه قاب‌های دوگانه قاب خمشی با مهاربند برون‌محور فولادی است. فرض اول جمع نامعینی دو سیستم است. بی‌شک نامعینی می‌تواند غیرفعال باشد؛ بنابراین با توجه به امکان خرابی سیستم قبل از استفاده از تمام ظرفیت اعضا، جمع نامعینی دو سیستم فرضی غلط است. فرض بعدی که منطقی‌تر به نظر می‌رسد جمع نامعینی دینامیکی فعال با استفاده از مقاومت‌های مؤثر هنگام خرابی است.

با توجه به اینکه معیار محاسبه، ضریب نامعینی در مرحله حد مقاومت و قبل از شروع افت آن و شروع شکل‌پذیری سازه است، در این مرحله هر کدام از سیستم‌ها به درصدی از ظرفیت خود رسیده‌اند؛ بنابراین سهم بیشتر به دلیل سختی بیشتر به قاب مهاربندی مربوط است. در شکل ۴ نمایی از یک قاب دوگانه در این مرحله مشاهده می‌شود:



شکل ۴. نمایی از لحظه خرابی و شروع کاهش مقاومت در قاب مهاربندی

در این تحقیق و با توجه به دوگانه بودن سیستم در رابطه ۲ و جمع مقاومت‌ها خواهیم داشت:

$$R_R = \frac{\alpha S_{u1} + \beta S_{u2}}{\gamma S_{nr1} + \eta S_{nr2}} \quad (16)$$

رابطه ۱۶ بیانگر این است که مقاومت سیستم در مرحله خرابی برابر جمع درصدی از مقاومت‌های نهایی (ظرفیت) سیستم‌هاست. با جایگذاری روابط ۳ و ۴ در رابطه فوق خواهیم داشت:

$$R_R = \frac{\alpha [\bar{S}_{u1} - k \sigma_{f1}] + \beta [\bar{S}_{u2} - k \sigma_{f2}]}{\gamma [\bar{S}_{nr1} - k \sigma_{nr1}] + \eta [\bar{S}_{nr2} - k \sigma_{nr2}]} \quad (17)$$

$\alpha$ : نسبت نیروی موجود به ظرفیت سیستم اول در مرحله حد مقاومت (مثلاً قاب خمشی)

$\beta$ : نسبت نیروی موجود به ظرفیت سیستم دوم در مرحله حد مقاومت (مثلاً قاب مهاربندی)

$\gamma$ : نسبت نیروی موجود به ظرفیت سیستم اول در مرحله خطی (بدون نامعینی)

$\eta$ : نسبت نیروی موجود به ظرفیت سیستم دوم در مرحله خطی (بدون نامعینی)

بنابراین میانگین مقاومت نهایی سیستم نامعین  $\bar{S}_u$  و معین  $\bar{S}_{nr}$  نیز برای قاب دوگانه خواهد بود:

$$\alpha \bar{S}_{u1} + \beta \bar{S}_{u2} = \bar{S}_u \quad (18)$$

$$\gamma \bar{S}_{nr1} + \eta \bar{S}_{nr2} = \bar{S}_{nr} \quad (19)$$

که با جایگذاری روابط ۱۸ و ۱۹ در رابطه ۱۷ خواهیم داشت:

$$R_R = \frac{\bar{S}_u - k (\alpha \sigma_{f1} + \beta \sigma_{f2})}{\bar{S}_{nr} - k (\gamma \sigma_{nr1} + \eta \sigma_{nr2})} \quad (20)$$



$$R_R = \frac{\bar{S}_u - k (\alpha r_{v1} v_{e1} \bar{S}_{u1} + \beta r_{v2} v_{e2} \bar{S}_{u2})}{\bar{S}_{nr} - k (\gamma v_{nr1} \bar{S}_{nr1} + \eta v_{nr2} \bar{S}_{nr2})} \quad (21)$$

با توجه به توزیع نرمال و یکسان بودن ضرایب تغییرات نامعینی سیستم مهاربند و قاب خمشی خواهیم داشت:

$$v_{nr1} = v_{nr2} = v_e \quad (22)$$

$$v_{e1} = v_{e2} = v_e \quad (23)$$

بنابراین:

$$R_R = \frac{\bar{S}_u - k v_e (\alpha r_{v1} \bar{S}_{u1} + \beta r_{v2} \bar{S}_{u2})}{\bar{S}_{nr} - k v_e (\gamma \bar{S}_{nr1} + \eta \bar{S}_{nr2})} \quad (24)$$

$$R_R = \frac{\bar{S}_u - 0.2 (\alpha r_{v1} \bar{S}_{u1} + \beta r_{v2} \bar{S}_{u2})}{\bar{S}_{nr} - 0.2 (\bar{S}_{nr})} \quad (25)$$

$$R_R = \frac{\bar{S}_u \left( 1 - 0.2 \frac{(\alpha r_{v1} \bar{S}_{u1} + \beta r_{v2} \bar{S}_{u2})}{\bar{S}_u} \right)}{\bar{S}_{nr} (1 - 0.2)} \quad (26)$$

$$R_R = 1.25 r_s \left( 1 - 0.2 \frac{\alpha r_{v1} \bar{S}_{u1} + \beta r_{v2} \bar{S}_{u2}}{\bar{S}_u} \right) \quad (27)$$

سیستم است؛ بنابراین صورت داخل پرانتز رابطه ۲۷، جمع درصد مقاومت‌های هر سیستم در سیستم دوگانه به همراه اثر شاخص تغییرات نامعینی آنهاست. در یک سیستم سازه‌ای با «m» قاب مسطح یکسان موازی، با فرض اینکه یک سازه ۳ بعدی پس از سقوط از «m-1» قاب مسطح فرومی‌ریزد، سیستم به‌طور کامل مقاومت پیشگی را از دست می‌دهد و ناپایدار می‌شود. در این سیستم شاخص تغییرات نامعینی برابر خواهد بود با [۱۶]:

$$r_v = \frac{v_s}{v_s} = \sqrt{\frac{1 + (n-1)\bar{\rho}}{n} \times \frac{1 + (m-2)\bar{\rho}_f}{m-1}} \quad (28)$$

چنانچه سازه از یک سری قاب و اعضای کاملاً ناهمبسته تشکیل شده باشد، رابطه ۲۹ به دست می‌آید:

$$\bar{\rho}_f = 0 \quad \bar{\rho} = 0 \quad (29)$$

آنگاه خواهیم داشت:

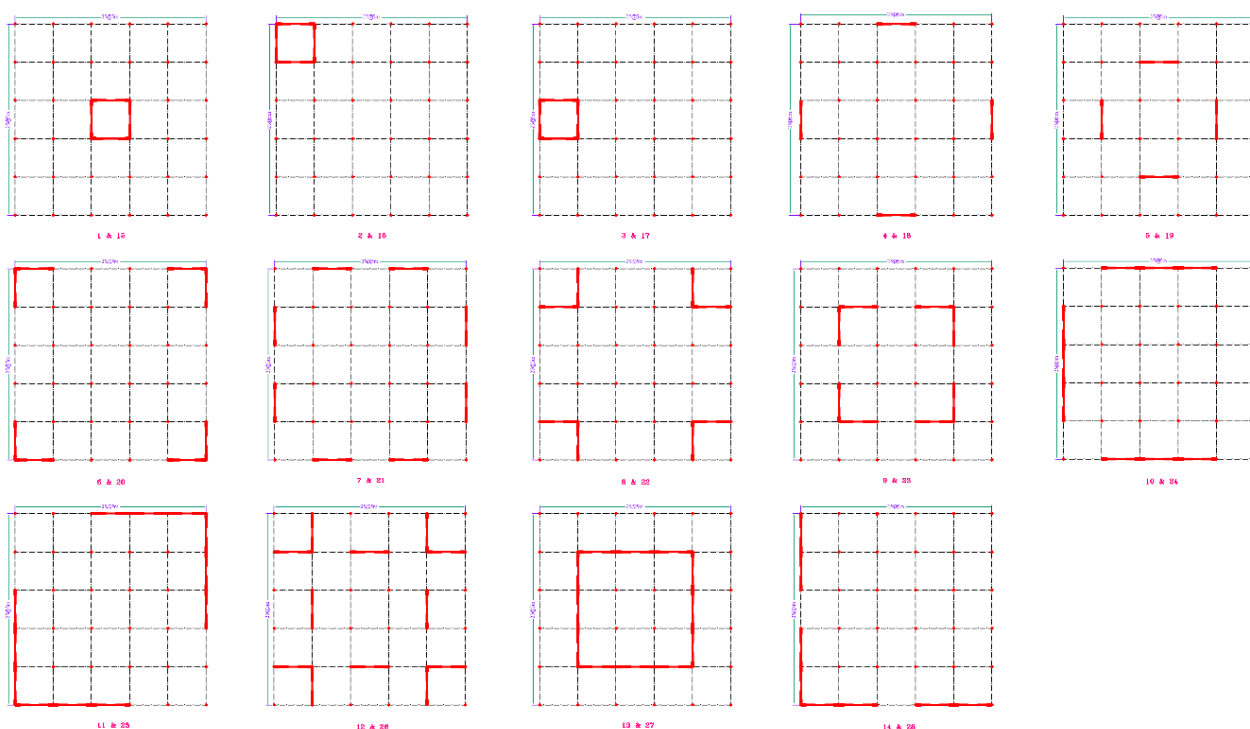
$$r_u = \sqrt{\frac{1}{n} \times \frac{1}{m-1}} \quad (30)$$

بنابراین ضریب نامعینی به شاخص تغییرات نامعینی حساس است. این ضریب علاوه بر تعداد قاب لرزه‌بر، به تعداد مفاصل به وجود آمده وابسته است و این تعریف نامعینی دینامیکی فعال است.

### ۳- مدل سازی، تحلیل و طراحی

#### ۳-۱- معرفی مدل‌ها

در این تحقیق، بررسی، تحلیل و طراحی ۲۸ پلان مختلف سازه در ۵ دهانه با طول ۵ متر و ۵ و ۸ طبقه با ارتفاع ۳ متر صورت گرفته است. طول تیر لینک ۱ متر و رفتار آن برشی است که در شکل ۵ نمایش داده شده است. مدل سازی رفتار غیرارتجاعی، تحلیل براساس ضوابط آیین‌نامه ASCE 41-17 [۱۷] و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ۳۶۰ [۱۹] در نرم‌افزار SAP صورت گرفته است که در ادامه، خلاصه‌ای از آن آمده است. در این مرحله باید مدل‌های سازه‌ای مشخصی برای آغاز کارهای نرم‌افزاری انتخاب شود. در ابتدای امر با یک الگوی تجربی در طراحی، تعداد و طول مهاربندهای مورد نیاز یک سازه با فرض ۱۰-۳۰ درصد محیط سازه انتخاب شد. تعداد مدل‌های سازه‌ای نیز با توجه به اهمیت، به ۲۸ مدل محدود شدند. مقاطع مورد استفاده در مدل‌سازی‌های نرم‌افزاری از مقاطع قوطی با ویژگی‌های مشابه با مقاطع رایج از سایزهای ۸ تا ۴۰ بود که با توجه به کاربری آنها در سازه متغیر بودند. مدل‌های شکل ۵ به ترتیب از چپ به راست، با شماره ۱-۲۸ تحلیل شدند. از آنجا که چیدمان‌ها در مدل‌های ۵ و ۸ طبقه یکسان است، هر پلان معرف ۲ مدل است (مدل‌ها از چپ به راست ۱ تا ۱۴ بودند که با مدل‌های ۱۵ تا ۲۸ مشترک هستند).



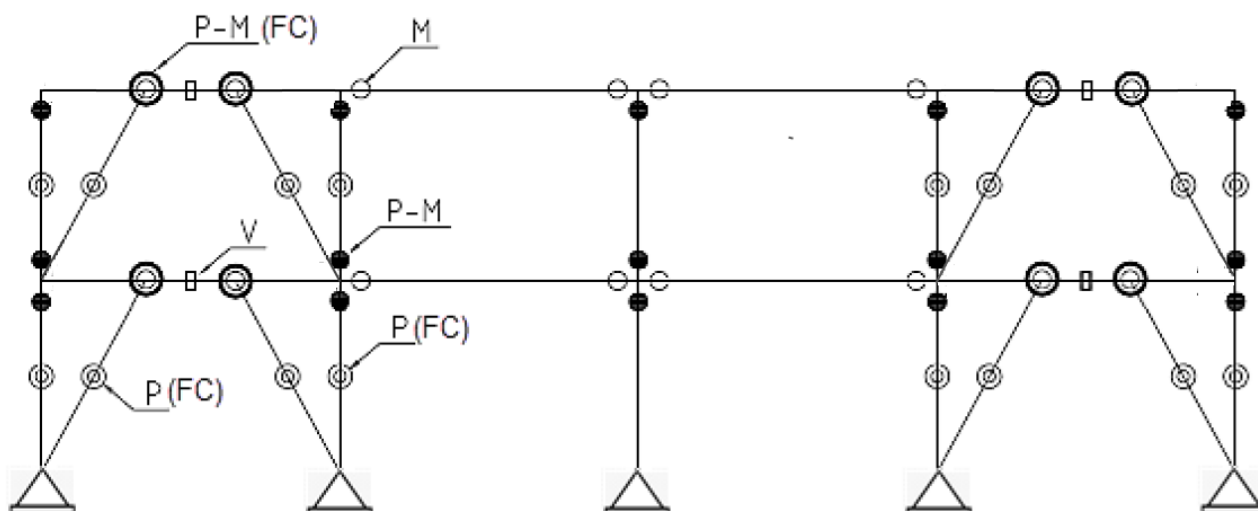
شکل ۵. پلان مدل‌های تحقیق

طراحی سازه براساس آیین‌نامه‌های طراحی‌های ایران و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ [۱۸] در منطقه لرزه‌خیزی بسیار زیاد و خاک نوع ۳ با بارهای متداول مسکونی و به صورت خطی و ارتجاعی صورت گرفته است.

## ۳-۲- خلاصه روش تحلیل استاتیکی غیرخطی

مدل غیرخطی در مقاطعی تعریف می‌شود که بیشترین احتمال وقوع رفتار غیرخطی-غیر ارتجاعی در آنجا وجود دارد. در این حالت، رفتار غیرخطی مصالح با معرفی پارامترهای مفصل در نظر گرفته می‌شود. در این روش، برای بررسی سازه، سازه تحت اثر یک الگوی بارگذاری خاص ثابت (استاتیکی) افزایش یافته تحلیل می‌شود. این تحلیل ادامه می‌یابد تا تغییر مکان نقطه از سازه (تغییر مکان نقطه کنترل) با مدل سازی رفتار واقعی (غیرارتجاعی) مصالح اعضا به حدی برسد که قبلاً محاسبه شده است. این تغییر مکان که با توجه به هدف خاصی از عملکرد محاسبه شده است، تغییر مکان هدف یا نیاز نامیده می‌شود و مبنای بررسی اجزای سازه است؛ به طوری که تغییر شکل، دوران و نیروهای اعضا در این مرحله بررسی می‌شود [۱۳].

در این مدل‌ها برای ستون‌ها ۲ مفصل پلاستیک PMM (خمشی وابسته به نیروی محوری-DC<sup>۱</sup>) در محدوده ابتدایی و انتهایی (خارج از محدوده End Offset) و برای ستون‌های متصل به مهاربندها یک مفصل اضافی محوری (FC<sup>۲</sup>) در وسط در نظر گرفته شده است. برای تیرها نیز همین روند (مفصل خمشی DC در محدوده ابتدایی و انتهایی خارج از محدوده صلب انتهایی) تکرار شده است؛ با این تفاوت که برای تیرهای دهانه مهاربندی، در وسط تیر پیوند یک مفصل پلاستیک برشی DC معرفی شده و برای مهاربندها نیز تنها یک مفصل محوری FC در وسط مهاربندها در نظر گرفته شده است (شکل ۶).



شکل ۶. مفصل مدل شده در سیستم دوگانه

در شکل ۶ دایره توپر و دایره خالی به ترتیب معرف مفصل پلاستیک فشاری-خمشی (P-M) و مفصل پلاستیک خمشی (M) هستند که رفتار شکل پذیر دارند. علامت مستطیل نشانه مفصل پلاستیک برشی (V) است که آن نیز رفتار شکل پذیری دارد. دایره‌های دوخطی (P/P-M) معرف مفصل ترد هستند. تغییر مکان هدف برای سازه با دیافراگم صلب باید با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه برآورد شود. به عنوان روش تقریبی می‌توان تغییر مکان را در هر امتداد از رابطه نشریه ۳۶۰ [۱۹] محاسبه کرد. برای اینکار نیز از طیف استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ [۱۸] استفاده شده است. الگوی بارگذاری جانبی نیز مطابق با نشریه ۳۶۰ [۱۹] عبارت است از توزیع یکنواخت با شکل مود اول ارتعاش در هر راستا. در ادامه، نامعینی دینامیکی در ۲۸ مدل با تعداد و چیدمان‌های متفاوت محاسبه شده است.

<sup>1</sup>. Dc: Displacement Controlled

<sup>2</sup>. Fc: Forces Controlled

## ۴- یافته‌ها

مطابق روش تحلیل یادشده (استاتیکی غیرخطی) مدل‌های ۲۸ گانه بررسی و تحلیل شدند (جدول ۱) (این مدل‌ها در ۲ دسته، ۵ طبقه و ۸ طبقه قرار دارند). برش الاستیک و برش نهایی مطابق شکل ۲ است. ضرایب ذکرشده در روابط ۱۱، ۲۷ و ۳۰ برای مرحله محاسبه Su یا حداکثر مقاومت (شروع مرحله زوال) محاسبه شده‌اند. منظور از مفاصل CP رده‌شده مهاربندها، رده‌شدن نیروی مهاربندها از حد ارتجاعی (با رفتار نیرو کنترل) است.

جدول ۱. نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌ها و مفاصل خرابی

مدل	تعداد طبقات	تعداد مفاصل CP رده شده در ستونهای متصل به دهانه مهاربندی		تعداد مفاصل CP رده شده در ستونهای متصل به قاب خمشی		تعداد مفاصل CP رده شده در تیرها		تعداد مفاصل CP رده شده در مهاربندها	
		Push X	Push Y	Push X	Push Y	Push X	Push Y	Push X	Push Y
۱	۵	۰	۰	۰	۰	۸	۸	۰	۰
۲	۵	۰	۰	۳	۰	۶	۱۰	۰	۰
۳	۵	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۰	۰	۰
۴	۵	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۰	۰	۰
۵	۵	۰	۰	۰	۰	۸	۸	۰	۰
۶	۵	۲	۴	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۷	۵	۴	۴	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۸	۵	۳	۴	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۹	۵	۴	۴	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۱۰	۵	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۱۱	۵	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۱۲	۵	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۱۳	۵	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۲	۰	۰
۱۴	۵	۰	۰	۳	۰	۲۰	۲۰	۰	۰
۱۵	۸	۰	۰	۰	۲	۱۶	۱۶	۰	۰
۱۶	۸	۴	۰	۴۳	۱۲	۲۲	۱۶	۰	۰
۱۷	۸	۰	۰	۰	۱	۱۴	۱۰	۰	۱
۱۸	۸	۰	۰	۲	۱	۱۴	۱۶	۰	۰
۱۹	۸	۰	۰	۰	۰	۱۴	۱۴	۰	۰
۲۰	۸	۰	۰	۶	۲	۲۸	۲۸	۰	۰
۲۱	۸	۴	۰	۰	۱	۲۴	۲۴	۰	۰
۲۲	۸	۰	۰	۴	۸	۲۴	۲۴	۰	۰
۲۳	۸	۲	۲	۰	۰	۲۴	۲۴	۰	۰
۲۴	۸	۲	۳	۰	۲	۳۶	۳۶	۰	۰
۲۵	۸	۰	۱	۱	۱	۳۰	۳۰	۰	۰
۲۶	۸	۰	۰	۰	۰	۳۶	۳۶	۰	۰
۲۷	۸	۲	۰	۲	۲	۳۰	۳۰	۰	۰
۲۸	۸	۰	۰	۳	۸	۳۲	۳۲	۰	۰

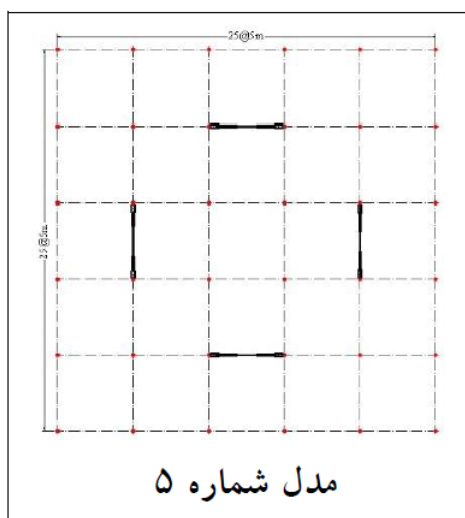
با توجه به جدول ۱ در مدل‌هایی که ستون‌ها از دو جهت به مهاربندها متصل هستند و نیروی زلزله از هر دو طرف به ستون وارد می‌شود، تعداد مفاصل خرابی (از CP گذشته) در مقایسه با مدل‌هایی با مهاربندهای پراکنده به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد. این اثر به دلیل کاهش ظرفیت خمشی ستون‌ها به علت ازدیاد نیروی محوری است؛ موردی که در بیشتر آیین‌نامه‌های معتبر نیز کنترل نمی‌شود. همچنین موقعیت مهاربند (نامنظم یا حضور در پیرامون) بر تعداد مفاصل خرابی قاب خمشی بسیار مؤثرتر از تعداد کمتر آن است.

در جدول ۲ حد مقاومت الاستیک سازه مقاومت Sy و نیروها در حداکثر مقاومت Su مطابق شکل ۲ است. در بین مدل‌های ۵ طبقه، شماره ۳ و ۵ و ۱۴ بیشترین نامعینی را دارند. در مدل ۳ استفاده فراوانی از ظرفیت قاب خمشی (درجه y) شده است؛ بنابراین اضافه مقاومت و نامعینی آن زیاد است. مدل ۵ نیز به دلیل نبود ستون مشترک (این اثر قبلاً تشریح شد) و چیدمان مهاربند در داخل سازه بیشترین نامعینی دینامیکی را دارد.

جدول ۲. نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل‌ها و ضرایب نامعینی

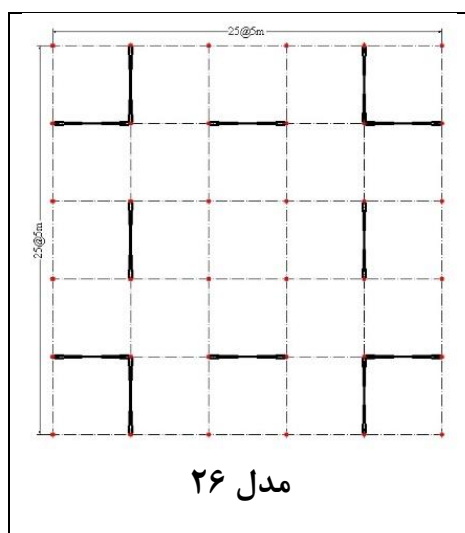
مدل	طبقات	اضافه مقاومت	rsx	rsy	شاخص تغییرات نامعینی قاب		شاخص تغییرات نامعینی مهاربند		R <sub>R</sub>	
					rvx	rvy	rvx	rvy	X	Y
۱	۵	۱/۷۴	۱/۸۵	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۱	۰/۱۱	۲/۱۳	۲/۲۸	
۲	۵	۱/۹۰	۱/۸۵	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۱	۰/۱۰	۲/۳۶	۲/۳۰	
۳	۵	۱/۸۳	۲/۴۰	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۹	۰/۰۸	۲/۲۷	۲/۹۷	
۴	۵	۱/۷۶	۱/۷۷	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۸	۰/۰۹	۲/۱۸	۲/۱۹	
۵	۵	۲/۰۲	۲/۰۷	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۹	۰/۰۹	۲/۵۰	۲/۵۶	
۶	۵	۱/۷۰	۱/۶۷	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۴	۰/۰۵	۲/۱۱	۲/۰۸	
۷	۵	۱/۶۶	۱/۷۳	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۵	۰/۰۴	۲/۰۶	۲/۱۵	
۸	۵	۱/۶۶	۱/۷۰	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۴	۰/۰۴	۲/۰۶	۲/۱۰	
۹	۵	۱/۶۶	۱/۶۸	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۴	۰/۰۴	۲/۰۵	۲/۰۹	
۱۰	۵	۱/۵۰	۱/۵۷	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۳	۰/۰۳	۱/۸۶	۱/۹۵	
۱۱	۵	۱/۶۳	۱/۶۹	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۲	۰/۰۲	۲/۰۳	۲/۱۰	
۱۲	۵	۱/۵۸	۱/۵۹	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۳	۰/۰۳	۱/۹۶	۱/۹۸	
۱۳	۵	۱/۶۰	۱/۶۵	-/۰۱	۰/۰۱	-/۰۳	۰/۰۳	۱/۹۹	۲/۰۵	
۱۴	۵	۲/۱۳	۲/۱۷	-/۰۱	۰/۰۰	-/۰۲	۰/۰۲	۲/۶۵	۲/۷۰	
۱۵	۸	۱/۸۳	۱/۸۵	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۶	۰/۰۵	۲/۲۷	۲/۳۰	
۱۶	۸	۱/۷۲	۲/۲۲	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۳	۰/۰۵	۲/۱۴	۲/۷۷	
۱۷	۸	۱/۹۳	۱/۹۰	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۷	۰/۰۹	۲/۳۸	۲/۳۶	
۱۸	۸	۱/۹۳	۱/۹۴	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۷	۰/۰۷	۲/۳۹	۲/۴۰	
۱۹	۸	۱/۷۶	۱/۷۹	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۷	۰/۰۷	۲/۱۸	۲/۲۲	
۲۰	۸	۱/۶۸	۱/۶۶	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۳	۰/۰۳	۲/۱۰	۲/۰۷	
۲۱	۸	۱/۷۸	۱/۸۲	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۳	۰/۰۳	۲/۲۱	۲/۲۷	
۲۲	۸	۱/۶۷	۱/۶۶	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۳	۰/۰۳	۲/۰۸	۲/۰۷	
۲۳	۸	۱/۶۱	۱/۶۲	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۳	۰/۰۳	۲/۰۰	۲/۰۲	
۲۴	۸	۱/۶۰	۱/۶۱	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۲	۰/۰۲	۱/۹۹	۲/۰۰	
۲۵	۸	۱/۷۰	۱/۷۱	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۱	۰/۰۱	۲/۱۲	۲/۱۳	
۲۶	۸	۱/۷۲	۱/۷۴	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۲	۰/۰۲	۲/۱۴	۲/۱۷	
۲۷	۸	۱/۶۰	۱/۶۱	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۲	۰/۰۲	۱/۹۹	۲/۰۰	
۲۸	۸	۲/۰۸	۲/۰۷	-/۰۰	۰/۰۰	-/۰۱	۰/۰۱	۲/۵۹	۲/۵۹	

مدل ۱۴ با ۴ دهانه مهاربندی در هر جهت و مانند مدل شماره ۲ که بیشترین مشارکت قاب خمشی را دارد، دارای بیشترین میزان نامعینی در سازه است. دیگر مدل‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. در نهایت بین مدل‌های متقارن، مدل ۵ بیشترین نامعینی را دارد.



شکل ۷. مدل مناسب در سازه‌های ۵ طبقه با ۲ دهانه مهاربند در هر راستا با توجه به ضریب نامعینی

مانند قاعده مدل‌های ۵ طبقه، در میان مدل‌های این دسته (دو دهانه در هر راستا- مدل‌های شماره ۱۶ تا ۱۹) بیشترین نامعینی در مدل‌های ۱۹ با چیدمانی مانند مدل ۵ (شکل ۷) و مدل ۱۸ وجود دارد. در مدل‌های ۴ دهانه، بیشترین نامعینی را مدل ۲۱ دارد. در مدل‌هایی با ۶ دهانه در هر راستا بیشترین نامعینی را مدل ۲۶ دارد؛ بنابراین با افزایش ارتفاع و تعداد، چیدمان متقارن و پراکنده در داخل (شکل ۸) بیشترین نامعینی را دارد.



شکل ۸. مدل مناسب در سازه‌های ۸ طبقه با ۶ دهانه مهاربند در هر راستا با توجه به ضریب نامعینی

بر اساس جدول ۲ با افزایش دهانه مهاربندی شاخص تغییرات نامعینی کاهش می‌یابد (که در مجموع سبب افزایش ضریب نامعینی می‌شود) اما به دلیل کاهش اضافه مقاومت، ضرایب نامعینی دینامیکی افزایش نمی‌یابد. نامعینی دینامیکی با اضافه مقاومت متفاوت است. همچنین با افزایش اضافه مقاومت در سیستم‌های مورد مطالعه، نامعینی دینامیکی افزایش نمی‌یابد. میانگین اضافه مقاومت بر اساس رابطه ۱۱ برای دسته‌بندی مدل‌ها (۲ و ۴ و ۶ دهانه در هر جهت در مدل‌های ۵ تا ۸ طبقه) به شرح جدول ۳ است.

بر اساس جدول ۳، افزایش دهانه مهاربندی در سیستم دوگانه به معنای بیشتر شدن اضافه مقاومت نیست. همچنین مقادیر به دست آمده در مقایسه با ضوابط آیین نامه‌هایی معتبر مانند استاندارد ۲۸۰۰ [۲۰] کمتر است. همچنین با توجه به جدول ۳، مدل‌هایی با تعداد دهانه مهاربندی کمتر، برخلاف انتظار، اضافه مقاومت بیشتری دارد. این مورد نشان می‌دهد که هرچه عملکرد قاب خمشی در باربری جانبی بیشتر شود، اضافه مقاومت بیشتر می‌شود.

جدول ۳. میانگین اضافه مقاومت مطلوب دسته‌ها

دسته بندی	اضافه مقاومت ( $\Omega$ ) در جهت X	اضافه مقاومت ( $\Omega$ ) در جهت Y
دسته اول (مدل‌های ۱-۵)	۱/۸۰	۱/۹۹
دسته دوم (مدل‌های ۶-۹)	۱/۶۷	۱/۷۰
دسته سوم (مدل‌های ۱۰-۱۴)	۱/۶۹	۱/۷۳
دسته چهارم (مدل‌های ۱۵-۱۹)	۱/۹۲	۱/۹۴
دسته پنجم (مدل‌های ۲۰-۲۳)	۱/۶۸	۱/۶۹
دسته ششم (مدل‌های ۲۴ و ۲۶ و ۲۷)	۱/۶۶	۱/۶۷
دسته هفتم (مدل‌های ۲۵ و ۲۸)	۲/۰۸	۲/۰۷

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق، با بررسی تأثیرات تعداد و موقعیت دهانه‌های مهاربندی بر درجه نامعینی، رابطه‌ای برای سیستم دوگانه ارائه شد (رابطه ۲۷). سپس ضمن محاسبه پارامترهای ضریب رفتار، بهترین الگو برای چیدمان دهانه‌های مهاربندی در سازه‌های منظم ۵ و ۸ طبقه به دست آمد.

- نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که نامعینی دینامیکی با اضافه مقاومت متفاوت است و لزوماً با افزایش اضافه مقاومت در سیستم‌های مورد مطالعه در این پژوهش، نامعینی دینامیکی افزایش نمی‌یابد.
- مشاهده می‌شود که کلیه مدل‌ها شرط حداقل تعداد دهانه باربرجانبی متذکر در بند ۳-۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ را ارضا نموده و ضریب رفتار همه مدل‌ها نیز از دید استاندارد فوق یکسان است اما نتایج نشان می‌دهد تعداد و چیدمان مهاربندها حتی در مدل‌های منظم باعث تغییر ضریب نامعینی تا ۴۰ درصد و اضافه مقاومت تا ۲۵ درصد می‌شود.
- برخلاف نامعینی استاتیکی، موقعیت مهاربند کاملاً بر نامعینی دینامیکی مؤثر است و با توجه به اینکه افزایش تعداد دهانه مهاربندی سبب ازدیاد نامعینی دینامیکی در مدل‌ها نشده است، بنابراین اهمیت موقعیت بیشتر از تعداد آن است.
- افزایش مشارکت قاب خمشی در باربری جانبی باعث افزایش اضافه مقاومت می‌گردد به این معنی که با کاهش دهانه مهاربندی، قاب خمشی قوی تر شده و سیستم اضافه مقاومت بالاتری از خود بروز می‌دهد. لذا تأثیر قاب خمشی بر روی اضافه مقاومت بیشتر از مهاربندی است.
- برای ستونهای محل تقاطع مهاربند در دو راستای عمود برهم چنانچه قاب دوگانه باشد، به علت کاهش ظرفیت خمشی ستونها تحت اثر ازدیاد نیروهای محوری، کنترل کفایت ظرفیت محوری ستون در زلزله تشدید یافته و یا اثر همزمانی ۱۰۰ و ۳۰ به تنهایی ضامن پایداری آن نیست و برای جلوگیری از رفتار ترد ستونها در خمش، اندرکنش نیروها باید کنترل گردد.
- موقعیت مهاربندها متمرکز در پیرامون سازه سبب کاهش نامعینی دینامیکی می‌شود (متوسط حدود ۶ درصد)؛ بنابراین توصیه می‌شود مهاربندها متمرکز در پیرامون سازه نباشند و مشابه شکل ۷ در داخل پلان نیز قرار بگیرند.
- با افزایش ارتفاع ضریب نامعینی دینامیکی کمی کاهش یافته است (متوسط حدود ۵ درصد) که این امر نیاز به افزایش دهانه مهاربندی با افزایش ارتفاع را نشان می‌دهد؛ بنابراین توصیه می‌شود ضریب نامعینی به ارتفاع سازه نیز وابسته شود.

## مراجع

- 1- Gollwitzer, S. and R. Rackwitz (1990). On the Reliability of Daniels Systems. *Structural Safety*, Volume (7): Page(229-243)
  - 2- Song, S-H. (2000), *Structural Redundancy of Dual Systems under Seismic excitation*, PhD Thesis, University of Illinois, Y. K. Wen, Faculty Advisor.
  - 3- Wang, C.-H. And Y. K. Wen (1998), *Reliability and Redundancy of Pre-Northridge Low-rise Steel Buildings under Seismic Excitation*, Structural Research Series No. 624, University of Illinois at Urbana-Champaign.
  - 4- Yun, S. Y., and Foutch, D. A. (2000). Performance prediction and evaluation of low ductility steel moment frames for seismic loads. *SAC Background Document SAC/BD-00/26*, SAC Joint Venture, Richmond, Calif.
  - 5- Hendawi, S. and Frangopol, D. M., System Reliability and Redundancy in Structural Design and Evaluation, *Structural Safety*, Vol. 16, pp. 47-71, 1994
  - 6- De, R.S., Karamchandani, A. and Cornell, C.A., Study of Redundancy in Near-Ideal Parallel Structural Systems, ICOSAR'89, *Structural Safety and Reliability*, pp.975-982, 1989.
  - 7- Popov, E.P. and Roeder, C.W. 1978. Design of an eccentrically braced frame. *AISC Engineering Journal*. Third Quarter
  - 8-Roeder, C.W. and Popov, E.P. (1978). Eccentrically Braced Steel Frames for Earthquakes, *ASCE Journal of the Structural Division*, ST3, March, pp. 391-411
  - 9-MA Shayanfar, M Ghanooni-Bagha, Y Khalaj-zadeh, Comparison of seismic performance of steel Frames with regularity and irregularity in Elevation, *Journal of Materials and Environmental Science* ,Volume (7), Page(1907-20)
  - 10- Alireza Faroughi, Mahmood Hosseini, Quick Nonlinear Time History Analysis of SDOF by Using Simplified Earthquake Accelerograms Based on Modified Inverse Fourier Transform, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration (RJAV)*, Vol XIV issue 1, Jun 2017, p. 11-14.
  - 11- R. C. Hibbeler, Engineering Mechanics Statics (12th Edition -2009)
  - 12- Moses, F. (1974). Reliability of structural systems. *J. Struct. Div.*, ASCE, 100(9), 1813-1820.
  - 13- Bertero, R.D. and V. Bertero, 1999. Redundancy in earthquake-resistant design. *J. Struct. Eng.*, Volume (125), Page (81-88)
  - 14- ATC, 1995. Structural response modification factors. ATC-19, Applied Technology Council, Redwood City, California
  - 15- Husain, M. and P. Tsopelas, 2004. Measures of structural redundancy in reinforced concrete buildings. I: Redundancy indices. *J. Struct. Eng.*, 130: 1651-1658.
  - 16- Husain, M. and P. Tsoplas, 2004. Measures of structural redundancy in reinforced concrete buildings. II: Redundancy indices. *J. Struct. Eng.*, 130: 1659-1666.
  - 17-American Society of Civil Engineers, *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings* (ASCE 41), 2017
- ۱۸- کمیته دائمی بازنگری، ۱۳۹۳، استاندارد ۲۸۰۰ زلزله-ویرایش ۴، آیین نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- ۱۹- کمیته دائمی بازنگری، ۱۳۹۲، دستورالعمل بهسازی لرز های ساختمانهای موجود (نشریه ۳۶۰)، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.