# بررس ضریب نامعینی در ساختمان‌های بتنی با سیستم سازه‌ای غیر موازی

عظیم بنی جلالی
گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی ، اهر، ایران
سیدسینا کورهلی*
گروه مهندسی عمران، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی ، اهر، ایران
s-kourehli@iau-ahar.ac.ir*

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۶/۰۹/۰۲

**چکیده:**

درمقاله حاضر به بررسی ضریب نامعینی در ساختمانهای بتنی با سیستم سازه‌ای غیرموازی پرداخته شده است. چهار سازه بتنی سه بعدی ۵و ۷ طبقه با سه و چهار دهانه با سیستم قاب خمشی درنرم‌افزار ایتبس مورد تحلیل و طراحی قرارگرفته است. جهت برآورد ضریب نامعینی با تحلیل خطی، مقاومت جانبی و نامنظمی پیچشی سازه‌های مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار مورد بررسی قرار گرفته است. در ساختمانهای مورد مطالعه که دارای سیستم نامنظم در پلان می‌باشند ابتدا طبقاتی که میزان برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می کند را مشخص نموده و سپس مقاومت خمشی تیر حذف شده و کاهش مقاومت جانبی طبقه همچنین ایجاد نامنظمی شدید پیچشی کنترل می‌گردد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد درسازه‌های مورد مطالعه نامنظمی شدید پیچشی وجود نداشته و درصد کاهش مقاومت درتمامی سازه‌ها کمتراز ۳۳ درصد می‌باشد و ضریب نامعینی می‌بایست برابر یک درنظر گرفته می‌شود.

**کلید واژگان:** ضریب نامعینی، سیستم سازه‌ای غیرموازی، مقاومت جانبی، نامنظمی شدید پیچشی

Archive of SID
www.SID.ir

## ۱- مقدمه

با اعمال آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و مطرح شدن ضریب نامعینی برای اولین بار در آیین‌نامه‌ی ایران، و الزامی شدن استفاده از این آیین‌نامه در طراحی ساختمان در برابر زلزله و اهمیت بالای این ضریب در تعیین نیروی زلزله و وجود ابهاماتی در برخی از موارد آیین‌نامه‌ای جهت تعیین این ضریب، شناخت بهتر از عملکرد و تاثیر ضریب نامعینی در طراحی اهمیت یافته تا جایی که در صورت عدم آگاهی از آن تاثیرات منفی در طراحی سازه‌ها از نظر فنی و اقتصادی در پروژه نمایان خواهد شد. طبق آیین‌نامه ۲۸۰۰ هرگاه ساختمانی دارای نامعینی کافی نباشد، ساختمان باید برای بار جانبی بیشتر طراحی شود که به افزایش نیروی زلزله وارد بر ساختمان منجر خواهد شد.
طبق آیین‌نامه هرگاه در طبقاتی از ساختمان که میزان برش در آن از ۳۵ درصد برش پایه بیشتر باشد، در صورتی که پس از حذف جزئی از سیستم مقاوم جانبی، مقاوم جانبی طبقه به میزان بیشتر از ۳۳ درصد کاهش پیدا نکند و همچنین نامنظمی شدید پیچشی در طبقه ایجاد نگردد، این سازه از نظر آیین‌نامه دارای نامعینی کافی بود و ضریب $\rho$ برابر ۱ خواهد بود و نیازی به افزایش نیروی زلزله نخواهد بود[۱].
تاکنون تحقیق‌های انجام شده درارتباط با بررسی ضریب نامعینی سازه توسط محققان مورد بررسی قرارگرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش های صورت گرفته توسط شمس وهمکاران [۲] به بررسی تأثیردرجه نامعینی درضریب رفتارقاب‌های خمشی فولادی پرداختند. عرفانی وهمکاران [۳] به بررسی تأثیربکارگیری اثرات نامعینی درعملکرد سازه‌های فولادی مهاربندی با توجه به ضوابط جدید ویرایش ۴ استاندارد پرداختند. در تحقیق دیگری امامی فرد وهمکاران [۴] به بررسی روش ساده شده برای تعیین ضریب نامعینی درسازه‌های بتنی با قاب خمشی با نامنظمی هندسی پرداختند. صادقی ندوشن وهمکاران [۵] به بررسی تأثیرافزایش درجه نامعینی استاتیکی قاب‌های خمشی فولادی برشاخص قابلیت اعتماد پرداختند. قنادی اصل وهمکاران [۶] به بررسی تاثیر ضریب نامعینی برروی نیروهای داخلی سیستم قاب خمشی متوسط پرداختند.
اندایش وهمکاران [۷] نیز با توسعه کاربرد تحلیل پوش‌آور در سال‌های اخیر روش‌های پوش‌آور پیشرفته متعددی برای لحاظ کردن اثر مودهای بالاتر و همچنین اثر تغییر مشخصات مودال سازه در طول تحلیل ناشی از تسلیم اعضاء پیشنهاد کرده‌اند.

## ۲- تعیین ضریب نامعینی

در آیین‌نامه UBC97 و همچنین در IBC2000، این ضریب نامعینی تابعی از مساحت طبقه و نسبت برش المان‌های مقاوم جانبی به برش طبقه بود و برای سازه‌های مختلف با رابطه زیر تعیین می‌شد[ ۸]:

$$1.0 \le \rho = 2 - \frac{6.1}{r_{max}\sqrt{A_B}} \le 1.5$$
$$1.0 \le \rho = 2 - \frac{20}{r_{max}\sqrt{A_B}} \le 1.5 \qquad (۱)$$

رابطه اول برای سیستم SI و رابطه دوم در سیستم انگلیسی برقرار است.
که در رابطه فوق (رابطه اول)، $A_B$، مساحت کف طبقه بر حسب متر مربع، $r_{max}$حداکثر نسبت برش المان طبقه می‌باشد. در ساختمان‌های با شکل پذیری ویژه، در صورتی که ضریب افزونگی $\rho$ از ۱/۲۵ تجاوز نماید، بایستی با اضافه نمودن دهانه، مقدار درجه نامعینی سیستم بالا برده شود. برای محاسبه مقدار جابجایی طبقه و همچنین در مناطق با لرزه‌خیزی کم و متوسط مقدار $\rho = 1.0$ می‌باشد. در ساختمان‌های با دیوار برشی، مقدار ضریب افزونگی $\rho$ به طول و تعداد دیوار برشی و مساحت کف طبقه بستگی دارد. در ساختمان‌های با قاب خمشی مقدار ضریب افزونگی $\rho$ به مساحت کف و همچنین تعداد ستون‌ها بستگی خواهد داشت. همچنین در ساختمان‌های مهاربندی شده، مقدار ضریب افزونگی $\rho$ به مساحت کف و همچنین تعداد مهاربندهای موجود در طبقه بستگی دارد.
استاندارد ۲۸۰۰ در رابطه با نحوه تعیین $\rho$ (بند ۳-۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰) چنین بیان می‌کند که ساختمان‌هایی که سیستم مقاوم جانبی آنها در دو جهت عمود بر هم دارای درجه نامعینی کافی نیستند، باید برای بار جانبی بیشتری طراحی شوند. در این ساختمان‌ها بار جانبی باید با ضریب $\rho$ برابر با ۱,۲ افزایش داده شود.

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین ساختمان‌هایی که سیستم مقاوم جانبی آنها دارای خصوصیات زیر هستند دارای نامعینی کافی بوده و در آنها ضریب $\rho = 1$ منظور می‌شود:
الف) در ساختمان‌های منظم در پلان، در طبقاتی که برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می‌کند. حداقل دو دهانه سیستم مقاوم جانبی در هر سمت مرکز جرم، در هر دو امتداد عمود بر هم، موجود باشد. در سیستم‌های دارای دیوار برشی تعداد دهانه‌ها از تقسیم طول دیوار بر ارتفاع ان در طبقه به دست می‌آید.
ب) در سایر ساختمان، در طبقاتی که میزان برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می‌کند، چنانچه حذف جزئی از سیستم مقاوم جانبی (در مطالعه حاضر با حذف مقاومت خمشی تیرها صورت گرفته است)، موجب کاهش مقاومت جانبی طبقه به میزان بیشتر از ۳۳ نشود و در طبقه نامنظمی شدید پیچشی ایجاد نگردد[ ۹].

## ۳- معرفی سازه‌های مورد مطالعه

در تحقیق حاضر چهار سازه ۵ و ۷ طبقه و با سه و چهار دهانه با سیستم بتنی قاب خمشی با استفاده از نرم‌افزار ETABS2017 مدلسازی و طراحی شده است. همچنین پلان سازه‌های مورد مطالعه از نوع نامنظم در پلان و با سیستم‌های سازه‌ای ناموازی در نظر گرفته شده است. کاربری ساختمانهای مورد مطالعه مسکونی بوده و میزان بارمرده واحدسطح کف طبقات$kg/m2$ ۵۵۰ وبارزنده کف طبقات $۲۰۰kg/m2$ وبام $۱۵۰kg/m2$ درنظرگرفته شده است. محل احداث سازه‌ها درمکان با خطرپذیری زیاد زلزله احداث شده است که دارای شتاب مبنای ۰,۳g می‌باشد. پلان‌های مدلسازی شده در نرم‌افزار در شکل شماره ( ۱) نشان داده شده است.
همچنین ابعاد المانهای سازه درجداول شماره (۱و۲) قابل مشاهده می‌باشد.

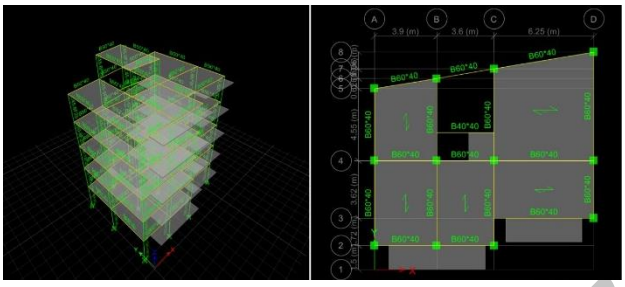
جدول۱- ابعاد المان‌ها سازه ۵طبقه

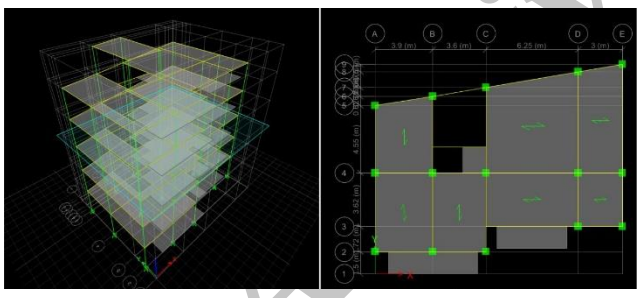
| طبقه | تیر | ستون |
|---|---|---|
| ۱ | B60X40 | C55x55 |
| ۲ | B60X40 | C50x50 |
| ۳ | B60X40 | C50x50 |
| ۴ | B50X40 | C50x50 |
| ۵ | B50X40 | C45x45 |

جدول۲- ابعاد المان‌ها سازه۷طبقه

| طبقه | تیر | ستون |
|---|---|---|
| ۱ | B60X40 | C60X60 |
| ۲ | B60X40 | C50X50 |
| ۳ | B60X40 | C50X50 |
| ۴ | B50X40 | C50X50 |
| ۵ | B50X40 | C50X50 |
| ۶ | B50X40 | C45X45 |
| ۷ | B50X40 | C45X45 |

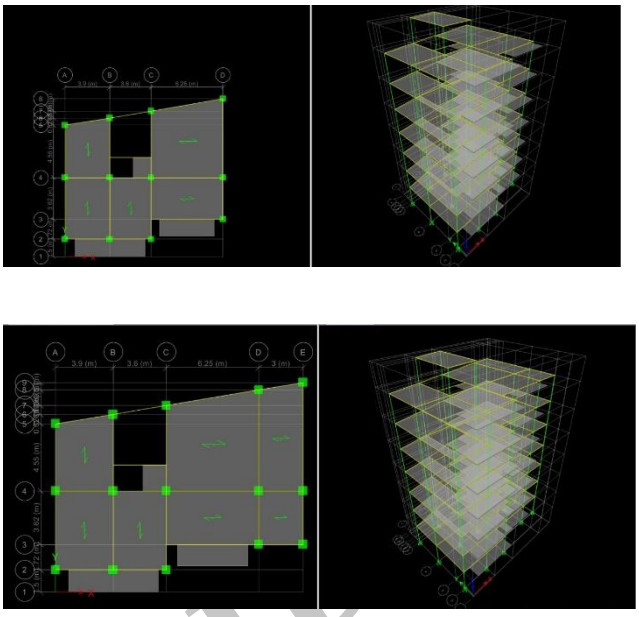
پارامترهای مقاومت جانبی و نامنظم پیچشی در سازه‌ها با تحلیل خطی مورد بررسی قرار گرفته است.





Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱ –پلان و سه بعدی سازه مورد مطالعه

## ۴- بحث و بررسی نتایج

ساختمانهای مورد مطالعه در تحقیق حاضر از نوع نامنظم در پلان (سیستم‌های سازه‌ای نامنظم) است که برای کنترل میزان ضریب نامعینی ابتدا طبقاتی که میزان برش در آنها از ۳۵ درصد برش پایه تجاوز می‌کند را مشخص نموده و سپس مقاومت خمشی تیر در سیستم قاب خمشی حذف شده و کاهش مقاومت جانبی طبقه و همچنین ایجاد نامنظمی شدید پیچشی کنترل گردیده است. در صورتی که حذف مقاومت خمشی تیر موجب کاهش مقاومت جانبی طبقه به میزان بیشتر از ۳۳ شود و در طبقه نامنظمی شدید پیچشی ایجاد گردد ضریب نامعینی به میزان ۱,۲ و در غیر اینصورت ۱ لحاظ می‌شود. برای کنترل نامنظمی شدید پیچشی نیز میزان حداکثر تغییر مکان نسبی در یک انتهای ساختمان نسبت به متوسط تغییر مکان نسبی در دو انتهای ساختمان در آن طبقه محاسبه گردیده است که اگر این نسبت بیش از ۴و ۱ باشد نامنظم شدید پیچشی تلقی می‌گردد. مقادیر حداکثر تغییر همانطوریکه مشاهده می‌شود در تمامی سازه‌های مورد مطالعه میزان حداکثر تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی کمتر از ۱/۴ بوده و پس از حذف مقاومت خمشی تیر در سیستم قاب خمشی نامنظمی شدید پیچشی اتفاق نمی‌افتد.

جدول ۳- میزان حداکثر تغییر مکان نسبی به متوسط تغییر مکان نسبی

| سازه مورد مطالعه | X جهت | Yجهت |
|---|---|---|
| سازه ۵ طبقه و ۳ دهانه | ۱,۱۴۸ | ۱,۲۲۶ |
| سازه ۵ طبقه و ۴ دهانه | ۱,۱۲ | ۱,۷۸ |
| سازه ۷ طبقه و ۳ دهانه | ۱,۲ | ۱,۲۲ |
| سازه ۷ طبقه و ۴ دهانه | ۱,۱۲۳ | ۱,۱۲۶ |

درصد تغییرات مقاومت جانبی طبقه مورد نظر پس از حذف مقاومت خمشی تیر در ۴ سازه مورد که از نوع سیستم قابهای خمشی با سیستم سازه‌ای ناموازی است در جدول شماره ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود پس از دو سر مفصل کردن تیر بحرانی در طبقه مورد نظر و با احتساب تغییرات تنش ستونها در سازه اصلی و سازه تضعیف شده، در سازه‌هایی که دارای دهانه کمتر هستند میزان افت مقاومت در مقایسه با سازه هم طبقه با دهانه بیشتر، دارای درصد تغییرات بیشتری می‌باشد.

همچنین در سازه‌های مورد مطالعه که نامنظم در پلان در جهت Y می باشد در سازه‌های با دهانه کم نیز بیشترین نسبت تغییرات تحت زلزله EY بدست آمده است. بنابراین در قابهای خمشی با افزایش تعداد دهانه، تعداد اعضای باربر جانبی افزایش یافته و در نتیجه درجه نامعینی افزایش می‌یابد. از طرفی در قابهای خمشی، به علت تعداد بالای عناصر باربر جانبی (تیرها و ستون‌ها ) به ندرت با حذف مقاومت خمشی یک تیر در طبقه‌ای ما شاهد نامنظمی شدید پیچشی و یا تغییرات بیش از ۳۳٪ مقاومت جانبی طبقه خواهیم بود.

از طرفی مشاهده می‌شود درصد کاهش مقاومت در تمامی سازه‌ها با روش تحلیل خطی کمتر از ۵۰ درصد بوده و در کنار آن در هیچ یک از سازه‌ها نیز نامنظمی شدید پیچشی رخ نداده است و بنابراین ضریب نامعینی یک در نظر گرفته می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- درصد تغییرات مقاومت جانبی طبقه مورد نظر

| سازه ۷ طبقه و ۴ دهانه | | سازه ۷ طبقه و ۳ دهانه | | سازه ۵ طبقه و ۴ دهانه | | سازه ۵ طبقه و ۳ دهانه | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EY | EX | EY | EX | EY | EX | EY | EX |
| ۱/۲۵ | -۰/۲۵ | ۴/۶۳ | ۷/۲۰ | ۴/۳۴ | ۱/۶۵ | ۱/۰۵ | ۰/۷۹ |
| ۲/۳۶ | ۲/۹۶ | ۱/۱۵ | ۵/۱۹۶ | ۲/۱۹ | ۲/۸۷ | ۰/۸۲ | ۴/۴۸ |
| ۴/۷۲ | ۳/۶۲ | ۵/۹۲ | ۹/۸۰ | ۵/۵۰ | ۲/۷۵ | ۷/۰۸ | ۱۰/۷۰ |
| ۶/۵۸ | ۲/۱۴ | ۱۶/۴۱ | ۸/۴۹ | ۶/۲۸ | ۱/۶۲ | ۱۷/۶۶ | ۳/۸۹ |
| -۴/۷۲ | ۰/۴۸ | -۰/۶۴ | ۳/۳۵ | ۶/۱۰ | ۰۰/۰ | ۱/۷۵ | ۱/۲۰ |
| ۱/۵۱ | ۳/۷۰ | -۰/۲۱ | ۳/۸۲ | ۰/۲۲ | ۳/۱۸ | ۰۰/۰ | ۳/۳۵ |
| ۰۰/۰ | ۳/۱۶ | -۰/۹۷ | ۲/۳۲ | ٪۰/۱۹ | ۳/۰۹ | ۰/۷۷ | ۱/۹۹ |
| ۰/۴۶ | ۵/۱۷ | ۳۳ | ۳/۸۰ | ۱/۰۱ | ۴/۶۵ | ۳۲/۹۳ | ۴/۲۳ |
| -۴/۸۲ | -۶/۳۸ | -۲۱/۵۴ | -۰/۴۰ | ۱۳/۷۷ | ۰/۷۹ | ۱۹/۰۰ | ۱/۰۷ |
| -۱-۴۱ | ۱۴/۰۴ | ۴/۷۰ | ۱۹/۵۵ | ۱/۰۵ | ۱۲/۵۹ | ۴/۹۰ | ۲۴/۵۵ |
| -۰/۲۷ | ۱۲/۷۳ | ۳/۶۳ | -۱/۳۴ | ۰/۵۷ | ۱۱/۹۰ | ۲/۷۸ | ۱/۱۷ |
| ۵/۶۹ | ۸/۲۵ | ۲/۷۸ | -۱۵/۵۱ | ۴/۸۸ | ۹/۰۶ | ۱۰/۷۴ | -۱۸/۱۴ |
| ۰/۷۹ | ۵/۶۱ | | | ۰/۵۰ | ۴/۵۲ | | |
| ۱۳/۴۰ | ۰/۲۹ | | | ۱۵/۸۰ | ۱/۵۲ | | |
| ۳/۳۹ | -۴/۵۵ | | | ۱۲/۸۵ | ۴/۴۴ | | |

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات اعمال شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم و لزوم در نظر گرفتن ضریب نامعینی در سازه‌ها در تحقیق حاضر به بررسی میزان این ضریب در سازه‌های دارای سیستم نامنظم در پلان و از نوع سیستم‌های سازه‌ای ناموازی پرداخته شده است. اهمیت این موضوع از این جهت است که در صورتی که تعداد درجات نامعینی در سازه ها کم باشد مسیر های انتقال بار جانبی زلزله کاهش یافته و در حین وقوع زلزله با آسیب دیدن اعضای سازه‌ای و لذا قطع شده مسیرهای انتقال بار مسیرهای جایگزین کمتری بوده و احتمال ناپایداری سازه افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر چهار سازه با پلان و طبقات مختلف مورد تحلیل استاتیکی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحقیق حاضر بیانگر اینست که در سازه‌های مورد مطالعه که از نوع سیستم سازه‌ای باربر غیر موازی بودند نامنظمی شدید پیچشی اتفاق نیافتاد و در هیچ یک از حالات درصد تغییرات مقاومت جانبی طبقه مورد نظر در اثر حذف مقاومت خمشی تیر بحرانی از قاب خمشی بیش از ۳۳ درصد نبوده ولذا میزان ضریب نامعینی برابر یک خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

## مراجع

[۱] صبوری قمی, سعید؛ سیداکبر خلیفه لو و سیدحسام مدنی، ۱۳۸۸، بررسی مفهوم ضریب نامعینی بعنوان جزئی از ضریب رفتار و نحوه استفاده از آن در آیین‌نامه‌های معتبر لرزه‌ای دنیا، چهارمین همایش نگرشی بر آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

[۲] شمس, وحیدرضا؛ مهرداد حجازی و محسن ایزدی‌نیا، ۱۳۹۱، تاثیر درجه نامعینی درضریب رفتار قابهای خمشی فولادی، چهارمین کنفرانس بین‌المللی مقاوم‌سازی، تبریز، انستیتو مقاوم‌سازی لرزه‌ای ایران

[۳] عرفانی, علی و حامد حمیدی، ۱۳۹۴، تاثیر بکارگیری اثرات نامعینی در عملکرد سازه‌های فولادی مهاربندی شده با توجه به ضوابط جدید ویرایش ۴ استاندارد 2800، دومین کنفرانس لرزه‌شناسی و مهندسی زلزله، کرج، دانشگاه خوارزمی.

[۴] امامی فرد, محمدمهدی و سعید موحدی، ۱۳۹۵، روش ساده شده برای تعیین ضریب نامعینی در سازه‌های بتنی قاب خمشی با نامنظمی هندسی، اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران (مهندسی سازه و مدیریت ساخت)، تهران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۵] صادقی ندوشن, محمدصادق؛ محمد فروغی و احمدعلی فلاح، ۱۳۹۲، تاثیر افزایش درجه نامعینی استاتیکی قاب‌های خمشی فولادی بر شاخص قابلیت اعتماد، همایش ملی مهندسی عمران کاربردی و دستاوردهای نوین، کرج.

[۶] قنادی اصل, امین و سعید مرتضوی، ۱۳۹۵، بررسی تاثیر ضریب نامعینی برروی نیروهای داخلی سیستم قاب خمشی متوسط، چهارمین کنگره بین‌المللی عمران ، معماری و توسعه شهری، تهران، دبیرخانه دایمی کنفرانس، دانشگاه شهید بهشتی.

[۷] اندایش, محسن؛ پنام زرفام و مسعود مفید، ۱۳۸۵، تخمین پاسخ سازه‌ها در سطوح مختلف زلزله با استفاده از آنالیز پوش‌آور مودال، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده عمران.

[۸] ASCE/SEI 7-11 (2۰11) Minimum Design Loads for Buildings and Other Strictures. American Society of Civil Engineers.

[۹] مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر بار زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم ۱۳۹۳

Archive of SID

www.SID.ir

# Investigation of Redundancy Factor at Buildings with Nonparallel Systems Irregularity

Azim Banijalali
Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

Seyed Sina Kourehli*
Department of Civil Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

## Abstract:

In this paper, the redundancy factor at buildings with nonparallel systems irregularity has been investigated. For this purpose, four concrete moment resisting frames with different heights and spans designed in ETABS software. Because of irregularity of the studied buildings in plan, the story which resist more than 35% of the base shear in the direction of interest should be found. Then, loss of moment resistance at the beam-to-column connections at both ends of a single beam should be tested. The obtained results show that the story strength reduced less than 33% and the resulting system have not an extreme torsional irregularity. So, the redundancy factor at studied buildings is equal one.

**Keywords**: Redundancy factor, Nonparallel systems irregularity; Story strength; Extreme torsional irregularity

Archive of SID

www.SID.ir