

# بررسی اثر بازشو بر رفتار دیافراگم‌های مرکب فولادی - بتنی در سازه‌های فولادی کوتاه مرتبه

مهرداد حجازی<sup>۱\*</sup>؛ پرهام معمارزاده<sup>۲</sup>؛ محمدعلی سبحانی<sup>۳</sup>

## چکیده

دیافراگم‌های کف، علاوه بر تحمل بارهای ثقلی و انتقال این بارها به اعضای قائم سازه‌ای، وظیفه‌ی جمع‌آوری نیروهای جانبی و توزیع آن‌ها بین سامانه مقاوم جانبی را بر عهده دارند. بنابراین درک رفتار درون‌صفحه‌ای دیافراگم‌ها برای تحلیل و طراحی سازه و همچنین به‌دست آوردن عملکرد بهینه‌ی لرزه‌ای دارای اهمیت است. به‌این منظور در این مقاله، برای بررسی اثر بازشو بر رفتار دیافراگم‌های مرکب فولادی - بتنی در سازه‌های فولادی کوتاه‌مرتبه، سازه‌های فولادی از یک تا شش طبقه، با نسبت‌های ابعادی ۱، ۳ و ۵ و سطوح مختلف بازشو توسط نرم‌افزار ETABS طراحی شده‌اند. پس از تحلیل دینامیکی طیفی، نتایج حاصل نشان می‌دهند که در سازه‌های مورد مطالعه فرض صلب بودن دیافراگم، به‌ویژه در طبقات پایینی، تا حدودی نامناسب به نظر می‌رسد و در سازه‌های با نسبت‌های ابعادی ۱، ۳ و ۵ به‌ترتیب طبقات اول، دوم، و اول الی چهارم به‌صورت انعطاف‌پذیر عمل می‌نمایند. همچنین دیافراگم‌های دارای سطح مشارکت بین ۲۰ الی ۵۰ درصد بازشو، انعطاف‌پذیری بیش از حد انتظاری نشان می‌دهند و در صورت وجود بازشوهای با مساحت بیش از ۲۰ درصد سطح دیافراگم، بسامد سازه‌ها به‌صورت چشم‌گیری افزایش یافته و لزوم تفکیک سازه را به چند بخش ایجاب می‌نماید.

## کلمات کلیدی

دیافراگم مرکب، بازشو، رفتار درون‌صفحه‌ای، صلبیت، تحلیل دینامیکی طیفی

## *Study Of The Effect Of Opening On The Behaviour Of Composite Steel-Concrete Diaphragms In Low-rise Steel Structures*

M. Hejazi ; P. Memarzadeh and M. A. Sobhani

### ABSTRACT

The most important function of structural diaphragms is to support and transmit gravity loads to vertical structural elements such as columns. In addition, diaphragms play an important role in collecting lateral loads at specific elevations and distributing them to the lateral resistance system. Thus, in-plane behaviour of diaphragms can be considered for structural analysis and design of structural elements and securing the optimum seismic performance of the structure. In order to investigate structural behaviour of composite steel-concrete diaphragms in low-rise steel structures, one to six storey steel structures with planar aspect ratios of one, three and five with different areas of openings have been analysed by the ETABS code.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۵/۱۹

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۱۱/۵

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول و دانشیار مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی عمران، m.hejazi@pci.iaun.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی عمران، p-memar@iaun.ac.ir

<sup>۳</sup> دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، دانشکده مهندسی عمران،

m.sobhani@sci.iaun.ac.ir

Results from response spectrum dynamic analysis indicate that the assumption of rigid diaphragms in the studied structures, in particular in the lower floors, is inappropriate. Diaphragms with openings of 20 to 50 percent of area have a flexible behaviour. An opening area of more than 20 percent increases the natural frequency of the structure; hence, necessity for an expansion joint.

### Keywords

Composite diaphragm; Opening; In-plane behaviour; Rigidity; Response spectrum analysis

## ۱- مقدمه

بسیار اندک است. این درحالی است که این میزان خطا در ساختمان‌های کوتاه‌تر مشهود به نظر می‌رسد [۳].

در سال ۱۹۹۹ و در تحقیقی دیگر، کولینا به بررسی اثرات نرمی درون‌صفحه‌ای دیافراگم کف بر سامانه‌های نامتقارن پیچشی پرداخت. در این مطالعه از یک سامانه سازه‌ای شامل دیافراگم خطی الاستیک که بر روی قاب‌های غیرخطی قرار داده شده بود، استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که افزایش نرمی درون‌صفحه‌ای دیافراگم موجب کاهش تغییرمکان‌های قاب برای سامانه‌های با دوره اصلی جانبی لرزه‌ای  $T > 0.4$  sec می‌شود [۴].

در سال ۲۰۰۴ جوئل و ماری در تحقیقی برای بررسی اثرات دیافراگم‌ها در طراحی سازه‌ها، پس از طراحی سازه‌های با نسبت ابعادی مختلف، صلبیت دیافراگم‌ها را در قاب‌های خمشی بدون سامانه مقاوم جانبی تأیید نمودند و به این نتیجه رسیدند که در مقایسه‌ی تحلیل سازه‌های بدون سامانه مقاوم جانبی با دو فرض دیافراگم صلب و انعطاف‌پذیر، توزیع برش پایه در قاب‌های داخلی تغییر قابل توجهی نمود، در صورتی که در همان سازه‌ها با سامانه مقاوم جانبی موارد متغیری دیده می‌شود [۵].

در سال ۲۰۰۵ لی و همکاران در تحقیقی دیگر با عنوان «تحلیل لرزه‌ای موثر سازه ساختمانی شامل دال کف» به بررسی کارامدی طرح‌های تحلیلی لرزه‌ای با استفاده از روش‌های خاص، با در نظر گرفتن اثر سختی دال‌های کف و تیرهای T شکل در طرح‌های تحلیلی پرداختند. در طی این تحقیق، محققین دریافتند که برای نشان دادن رفتار دینامیکی سازه ساختمانی، مطلوب است که اثر سختی دال‌های کف و تیرهای خارج از مرکز در طرح‌های تحلیلی در نظر گرفته شود [۶].

مرور تحقیقات انجام شده [۷-۱۰] نشان می‌دهد که تاکنون رفتار درون‌صفحه‌ای دیافراگم‌های مرکب فولادی - بتنی در سازه‌های کوتاه و همچنین اثر وجود بازشوها بر رفتار این نوع سازه‌ها، بررسی نشده است. بنابراین در این پژوهش به بررسی این دو موضوع پرداخته شده است.

## ۲- رفتار دیافراگم‌ها

در زمینه‌ی نوع رفتار دیافراگم‌ها می‌توان برای آسانی آن‌ها را مشابه یک تیر ورق تصور نمود که بر روی تکیه‌گاه‌هایی که

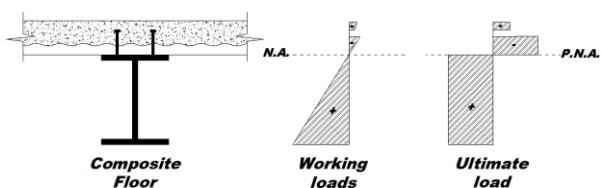
بهترین شکل برای یک سازه، تحمل ترکیب‌های مختلفی از انواع بارهای ثقلی و جانبی است که بتواند بهترین مقاومت را فراهم آورد و این در حالی است که به‌طور معمول ملاحظات غیر سازه‌ای اثرات غیر قابل انکاری بر شکل سازه دارند. از عوامل مهمی که باید در تحلیل و طراحی سازه‌ها مورد توجه قرار گیرد وجود انواع مختلف بازشو از قبیل نورگیر، راه‌پله و غیره در کف طبقات است. کف طبقات که به اختصار با نام «دیافراگم» شناخته شده است، علاوه بر تحمل انواع بارهای ثقلی وارده به سازه اعم از بارهای مرده و زنده، وظیفه جمع‌آوری نیروهای جانبی وارد به سازه در ترازهای مشخص و توزیع مناسب این نیروها را به اعضای قائم مقاوم در برابر بار جانبی بر عهده دارد.

در ابتدا برای تحلیل دیافراگم کف مورد استفاده در ساختمان‌های بلند که در معرض بارهای جانبی قرار داشتند؛ فرضیه عمومی (توسط رسپانس در سال ۱۹۷۱، مک لود در سال ۱۹۷۱ و ویلسون در سال ۱۹۷۲) این بود که کف در سطح خودش دچار تغییرشکل نشده و صلب در نظر گرفته شود. این فرض تعداد درجات آزادی کف را کاهش داده و بدین ترتیب، تحلیل سازه‌ها را در برابر بارهای جانبی آسان‌تر می‌نماید [۱].

موتو در سال ۱۹۷۴ مطالعه‌ای با عنوان «طرح لرزه‌ای ساختمان‌ها» انجام داد که در آن برای طراحی دیافراگم کف، از یک تیر با تغییر شکل خمشی - برشی استفاده نمود و در پایان به تحلیل مطمئن‌تری در سازه‌های خود رسید [۲].

در سال ۱۹۹۲ سفارینی و کودایمات مطالعه‌ای با عنوان «تغییرشکل درون‌صفحه‌ای دیافراگم کف در ساختمان‌های بتن آرمه» انجام دادند. در این تحقیق، ۳۷ ساختمان در حالت‌های گوناگون و با دو فرض دیافراگم صلب و انعطاف‌پذیر بررسی شد و دیده شد که در ساختمان‌های مورد مطالعه، با افزایش نسبت ارتفاع به طول ساختمان رفتار دیافراگم‌ها به حالت صلب نزدیک‌تر شده و همچنین توزیع برش طبقات بین اعضای مقاوم در برابر بار جانبی به نسبت سختی آن‌ها صورت می‌گیرد. در این تحقیق مشخص شد میزان خطا در نیروهای برشی و تغییرمکان‌ها، حاصل از تحلیل ساختمان‌ها با دیافراگم‌های صلب نسبت به انعطاف‌پذیر، در ساختمان‌های بلندتر از چهار طبقه

مناسب، می‌توان پوشش‌های بتنی را به بال بالایی تیرها و شاه‌تیرهای فلزی یکپارچه نمود. این عمل موجب می‌شود که پوشش بتنی با تیر فولادی تشکیل تیر مرکبی بدهد که دارای سختی و مقاومت خمشی بیش‌تری نسبت به تیر فولادی مجزا است. پوشش بتنی در این حالت جزئی از بال فشاری تیر شده، در نتیجه، محور خنثای مقطع به طرف بالا حرکت نموده و ظرفیت کششی پایین‌تر خنثی، افزایش می‌یابد. این طراحی، باعث کاهش سطح مقطع تیر فولادی و وزن واحد طول آن می‌شود [۱۲]. در شکل (۳) نحوه‌ی توزیع تنش‌های بوجود آمده در کف‌های مرکب فولادی - بتنی بر اثر نیروهای ثقیلی نشان داده شده است.



شکل (۳): توزیع تنش در کف‌های مرکب فولادی - بتنی [۱۲]

طبق آیین‌نامه‌ی طراحی سازه‌های فولادی ایران [۱۳] و مطالب گفته شده، کف‌های مرکب فولادی - بتنی، دیده می‌شود که طراحی این کف‌ها بیش‌تر در راستای تأمین عملکرد آن‌ها در برابر بارهای ثقیلی بوده و توجه کمتری به طراحی آن‌ها در برابر بارهای جانبی شده است. بنابراین در بررسی رفتار دیافراگم‌ها، دیافراگم مرکب فولادی - بتنی گزینه‌ی مناسبی به نظر می‌رسد، تا علاوه بر در نظر گرفتن نحوه‌ی توزیع تنش تحت بارهای ثقیلی در آن‌ها، نحوه‌ی رفتار درون‌صفحه‌ای در اثر بارهای جانبی، در طراحی برخی از سازه‌ها (مانند سازه‌های با مهاربندهای واقع در دو طرف پلان) مدنظر قرار گیرد.

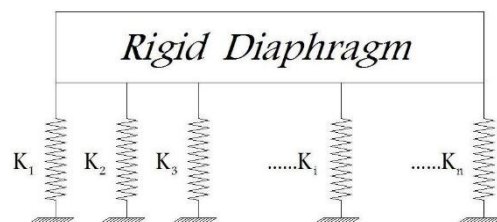
#### ۴- نحوه‌ی انجام تحلیل

در تحلیل استاتیکی معادل، به‌طور معمول نیروهای جانبی ناشی از زلزله به‌صورت یک نیروی متمرکز به‌گروهی مرجع واقع در مرکز جرم دیافراگم کف وارد می‌شود و به‌علت صلب در نظر گرفتن دیافراگم باعث تغییر مکان یکپارچه دیافراگم می‌شود. بنابراین اعمال نیروی جانبی استاتیکی به یک سازه با فرض المان‌بندی دیافراگم غیرممکن است، زیرا وارد نمودن این نیرو در مرکز جرم منجر به ایجاد تمرکز تنش و همچنین تغییر مکان خالص در مرکز جرم می‌شود. از این‌رو برای تحلیل و بررسی حالت واقعی دیافراگم که ممکن است صلب یا انعطاف‌پذیر باشد، استفاده از تحلیل دینامیکی به‌علت وارد شدن تحریکات زلزله به پایه‌ی سازه، گزینه مناسبی به نظر می‌رسد [۱۴]. قابل توجه است که نیروی جانبی زلزله با استفاده از بازتاب دینامیکی که سازه

همان اجزای قائم باربر جانبی هستند (قاب‌ها و دیوارهای برشی یا مهاربندها) واقع شده است. به‌طور کلی عملکرد دیافراگم‌ها از نظر صلبیت درون‌صفحه‌ای طبق استاندارد ۲۸۰۰ [۱۱] به دو صورت صلب و انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شده است که در ادامه به ضوابط موجود هر دو رفتار اشاره می‌شود.

#### ۲-۱- دیافراگم صلب

یک دیافراگم هنگامی صلب فرض می‌شود که تغییر شکل دیافراگم نسبت به تغییر شکل اعضای قائم مقاوم در برابر بار جانبی بسیار ناچیز و یا حتی در بعضی موارد قابل صرف‌نظر است. در این حالت عملکرد تکیه‌گاه‌های موجود به‌صورت ارتجاعی است تا دیافراگم به‌صورت صلب حرکت نماید. به‌این منظور هرگاه نسبت  $\Delta_{Diaphragm}/\Delta_{Storey}$  کوچک‌تر از ۰/۵ باشد دیافراگم به‌صورت صلب عمل می‌نماید. در شکل (۱) طرح ساده شده یک دیافراگم صلب همراه با تکیه‌گاه‌های آن نشان داده شده است.



شکل (۱): تیر صلب بر روی تکیه‌گاه‌های ارتجاعی

#### ۲-۲- دیافراگم انعطاف‌پذیر

در این نوع دیافراگم‌ها، توزیع نیروی افقی بین اعضای مقاوم جانبی مستقل از سختی نسبی آن‌ها است. در این حالت تغییر شکل دیافراگم در مقابل تغییر شکل اعضای مقاوم جانبی بسیار است. سختی جانبی اعضای مقاوم جانبی در این حالت بسیار بزرگ بوده به‌طوری که می‌توان تکیه‌گاه‌ها را به‌صورت صلب فرض نمود. بدین منظور هرگاه نسبت  $\Delta_{Diaphragm}/\Delta_{Storey}$  بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۵ باشد دیافراگم به‌صورت انعطاف‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۲) نمونه‌ی ساده شده‌ی آن از این دیافراگم نشان داده شده است.



شکل (۲): تیر ارتجاعی بر روی تکیه‌گاه‌های صلب

#### ۳- کف‌های مرکب فولادی - بتنی

در مورد نحوه‌ی عملکرد کف‌های مرکب فولادی - بتنی در سازه‌های فولادی می‌توان گفت که با استفاده از اتصالات برشی

## ۵- مشخصات سازه‌های مورد مطالعه

مشخصات سازه‌های فولادی طراحی شده در این تحقیق که ۱۴۴ عدد هستند، به شرح زیر است:

### ۵-۱- شکل و ابعاد پلان‌ها

با توجه به اینکه در ابتدا تعیین محدوده‌ی صلبیت دیافراگم مرکب فولادی - بتنی در نظر است و بررسی مشخصات خاصی از شکل پلان مطرح نیست، پلان ساختمان‌ها به صورت منظم با سامانه قاب خمشی و مهاربندهای هم‌محور فولادی، نسبت‌های ابعادی ۱، ۳، ۵ و در چهار گروه مورد بررسی قرار می‌گیرد. گفتنی است که گروه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس نسبت ابعادی سازه و مقدار سطح مشارکت بازشو (در وسط پلان‌ها) که در جدول (۱) مشخص شده، انجام شده است. در شکل (۴) پلان‌های مفروض (نمونه‌ی بدون بازشو) همراه ابعاد نشان داده شده است. در ادامه نیز برای بررسی اثر صلبیت دیافراگم بر بسامد سازه‌ها و همچنین بررسی اثر وجود بازشو، سازه‌های گفته شده در دو رفتار صلب و انعطاف‌پذیر طراحی می‌شوند. گفتنی است که در سازه‌های فوق موقعیت بازشو به صورت ثابت، در مرکز پلان و ابعاد آن متناسب با طول و عرض پلان به شکل مستطیلی در نظر گرفته شده است.

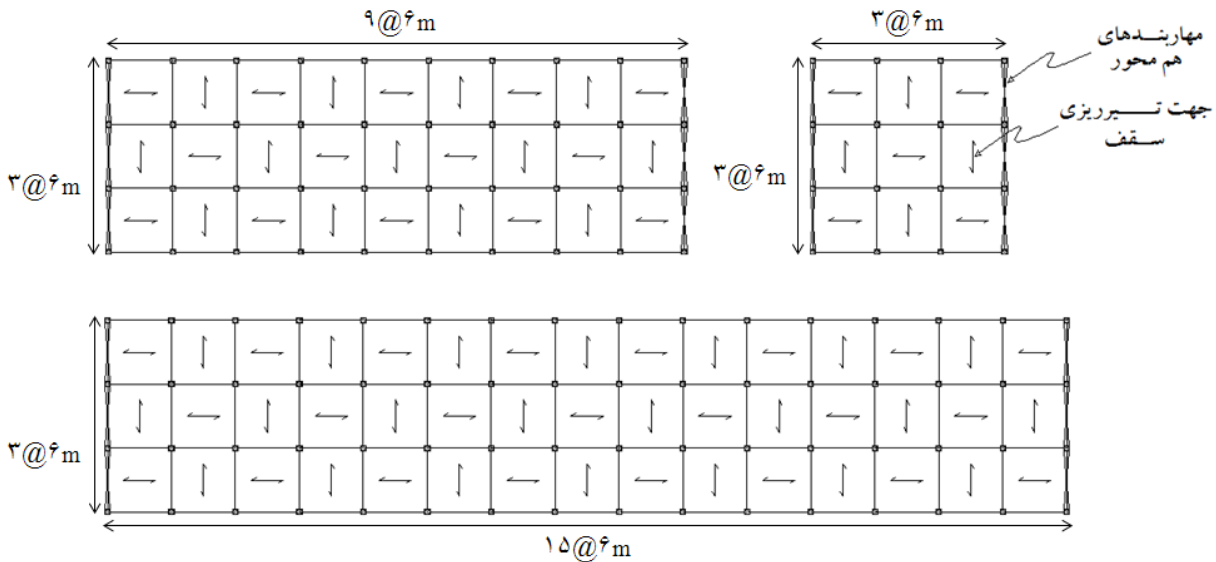
بر اثر حرکت زمین ناشی از زلزله، از خود نشان می‌دهد تعیین شده و به پایه‌ی سازه وارد می‌شود.

تحلیل دینامیکی شامل دو روش تحلیل تاریخچه زمانی و تحلیل طیفی است. در تحلیل تاریخچه زمانی، تحلیل دینامیکی سازه با اثر دادن شتاب زمین، به صورت تابعی از زمان، در تراز پایه‌ی ساختمان و بکارگیری محاسبات متعارف دینامیک سازه‌ها انجام می‌شود. هر زوج شتاب‌نگاشت برداشت شده در ساختگاه همزمان در دو جهت عمود به یکدیگر، که به طور معمول در امتدادهای اصلی سازه هستند، به آن اثر داده می‌شود و بازتاب‌های سازه به صورت تابعی از زمان تعیین می‌شوند. تحلیل دینامیکی طیفی سازه با فرض رفتار خطی آن انجام شده و حالت‌های نوسان آن طبق روش گفته شده در استاندارد ۲۸۰۰ تعیین می‌شود. سپس حداکثر بازتاب هر حالت با توجه به زمان تناوب آن حالت از طیف طرح بدست آورده شده و با ترکیب آماری آن‌ها بازتاب کلی سازه تعیین می‌شود.

برای سازه‌های بررسی شده در این تحقیق از تحلیل دینامیکی طیفی با استفاده از طیف طرح استاندارد پیوست سوم استاندارد ۲۸۰۰ و از ترکیب اثر حالت‌ها CQC استفاده می‌شود. سازه‌ها با فرض زمین نوع II، در منطقه‌ی با خطرپذیری زیاد و با اهمیت متوسط بررسی می‌شوند. تمامی تحلیل‌ها با نرم‌افزار ETABS و المان‌بندی دیافراگم به ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر انجام می‌شود.

جدول (۱): گروه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس نسبت ابعادی سازه و مقدار سطح مشارکت بازشو

نسبت ابعادی سازه	ابعاد پلان (m)	مساحت پلان (m <sup>2</sup> )	ابعاد بازشو (m)	مساحت بازشو (m <sup>2</sup> )	میزان تقریبی سطح مشارکت بازشو (%)	گروه‌بندی
۱	۱۸×۱۸	۳۲۴	-	-	-	اول
			۶×۶	۳۶	۱۱	دوم
			۸×۸	۶۴	۲۰	سوم
			۱۲×۱۲	۱۴۴	۴۵	چهارم
۳	۱۸×۵۴	۹۷۲	-	-	-	اول
			۶×۱۸	۱۰۸	۱۱	دوم
			۶×۳۰	۱۸۰	۱۹	سوم
			۱۰×۴۶	۴۶۰	۴۸	چهارم
۵	۱۸×۹۰	۱۶۲۰	-	-	-	اول
			۶×۳۰	۱۸۰	۱۱	دوم
			۶×۵۴	۳۲۴	۲۰	سوم
			۱۰×۸۲	۸۲۰	۵۱	چهارم



شکل (۴): پلان‌های مفروض سازه‌های فولادی (نمونه‌های بدون بازشو)

### ۲-۵- تعداد و ارتفاع طبقات

همان‌گونه که در مقدمه اشاره شد با توجه به نقش رفتار درون‌صفحه‌ای دیافراگم‌ها در سازه‌های کوتاه‌مرتبه، تعداد طبقات این سازه‌ها از یک تا شش طبقه در نظر گرفته شده و ارتفاع طبقات با توجه به محدوده‌ی ۱۸ متری ارتفاع، ۳ متر است. گفتنی است که این محدودیت در راستای تعیین سازه‌های با قاب خمشی فولادی معمولی به صورت کوتاه‌مرتبه بوده که در این تحلیل با مهاربند هم‌محور در نظر گرفته شده است.

### ۳-۵- مشخصات مقاطع سازه‌ای

مقاطع همه عناصر بکار رفته در سازه‌ها که بر اساس یک تحلیل تقریبی برآورد شده‌اند طبق ردیف‌های جدول (۲)، در هر طبقه است که طبق روند افزایشی طبقات، این ردیف‌ها به ترتیب از طبقات بالایی به پایین اختصاص داده شده‌اند. بدیهی است که تیرهای بکار رفته در دیافراگم مرکب فولادی - بتنی طبق روش طراحی گفته شده در آیین‌نامه‌ی فولاد ایران از نوع IPE 180 و با فاصله دهانه‌ی یک متر و با فرض دال بتنی بدون عرشه‌ی فولادی به ضخامت ۸ سانتی‌متر بر روی آن در نظر گرفته شده است.

جدول (۲): مقاطع بکار رفته در طبقات

ردیف	مقاطع ستون	مقطع تیرهای اصلی	مقطع تیرچه‌های دیافراگم	مقاطع مهاربند
1	BOX 250x250x8	HE 220 A	IPE 180	2 UPN 80
2	BOX 250x250x8	HE 220 A	IPE 180	2 UPN 80
3	BOX 250x250x10	HE 240 A	IPE 180	2 UPN 100
4	BOX 250x250x12	HE 240 A	IPE 180	2 UPN 100
5	BOX 300x300x12	HE 240 A	IPE 180	2 UPN 120
6	BOX 350x350x12	HE 240 A	IPE 180	2 UPN 120

### ۴-۵- بارگذاری و مشخصات مصالح مصرفی

اعمال بارهای مرده و زنده به صورت بارهای ثقلی و مشخصات مواد بکار رفته به شرح زیر است:

(الف) وزن مخصوص بتن و فولاد مصرفی در سازه‌ها به ترتیب برابر با  $2400 \text{ kg/m}^3$  و  $7850 \text{ kg/m}^3$  در نظر گرفته شده است. گفتنی است که این مقادیر برای برآورد اولیه‌ی بار مرده‌ی کف برای نرم‌افزار ETABS معرفی شده است.

(ب) بار زنده طبقات برابر با  $200 \text{ kg/m}^2$  است که فقط ۲۰ درصد از آن در محاسبات دینامیکی در نظر گرفته شده است. گفتنی است که به دلیل برآورد بحرانی‌ترین حالت ممکن، کاهش سربار زنده در نظر گرفته نشده است.

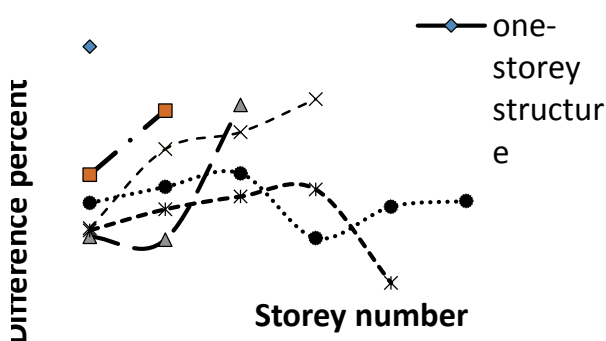
(ج) بار مرده‌ی کف‌سازی طبقات برابر با  $200 \text{ kg/m}^2$  فرض شده است.

(د) مدول ارتجاعی بتن و فولاد بکار رفته در سازه‌ها به ترتیب برابر با  $2 \times 10^4 \text{ kg/m}^2$  و  $2 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$  و ضرایب پواسون مربوطه به ترتیب برابر ۰/۱۷ و ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

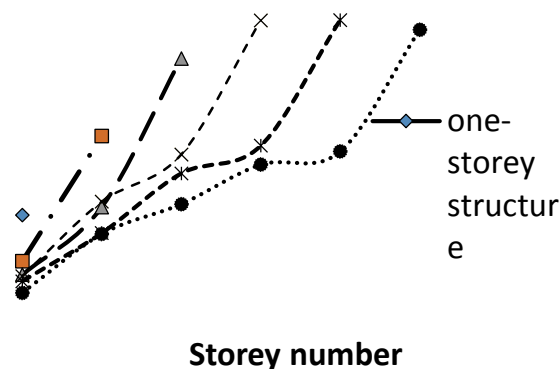
### ۶- بررسی میزان صلبیت دیافراگم‌ها

یکی از عوامل موثر در بررسی میزان صلبیت دیافراگم‌ها، نسبت طول دهانه‌ی آزاد به عرض ساختمان در پلان است. دهانه‌ی انعطاف‌پذیر یا آزاد دیافراگم شامل فاصله‌ی آزاد بوجود آمده بین دو عنصر قائم مقاوم در برابر بار جانبی مانند مهاربندها بوده که در این تحقیق برابر با بزرگ‌ترین بعد سازه‌های موجود در نظر گرفته شده است. بنابراین پس از طراحی و تحلیل سازه‌های گفته شده در نرم‌افزار ETABS، به تعیین رفتار درون‌صفحه‌ای و میزان صلبیت دیافراگم در هر طبقه

افزایش ارتفاع، معیار صلبیت به سمت حداقل (که همان صلبیت بیشتر است) میل می‌نماید. در گروه‌های دوم، سوم و چهارم سازه‌ها که به ترتیب شامل ۱۱، ۲۰ و ۵۰ درصد سطح مشارکت بازشو هستند همان‌گونه که دیده می‌شود سطح اشغال بیشتر بازشو نشان‌دهنده‌ی رفتار نرم‌تر سازه است. در مقایسه دقیق‌تر جداول مشاهده می‌شود حداکثر میزان ۲۰ درصد سطح مشارکت بازشو، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در نرم‌تر عمل کردن دیافراگم ندارد. سپس برای بررسی اختلاف بین معیار صلبیت گروه‌ها با نمونه بدون بازشو و تعیین درصد اختلاف آن‌ها، نمودارهای درصد اختلاف رسم شدند (شکل‌های (۵) الی (۱۳)).



شکل (۵): درصد اختلاف گروه‌های ۱ و ۲ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۱



شکل (۶): درصد اختلاف گروه‌های ۱ و ۳ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۱

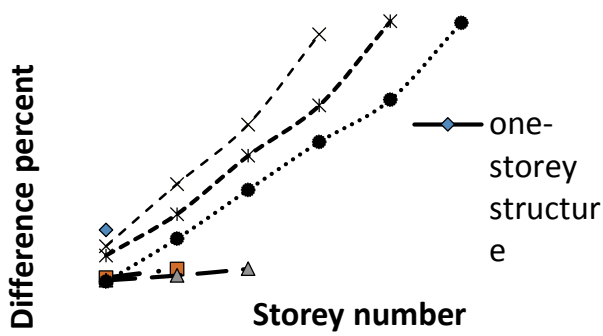
و متناسب با آن در هر گروه سازه، طبق روش ارائه شده در پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰ پرداخته می‌شود. به‌این منظور در هر طبقه از سازه پس از تعیین مقدار  $\Delta_{Diaphragm}$  و  $\Delta_{Storey}$  محاسبه‌ی نسبت  $\Delta_{Diaphragm}/\Delta_{Storey}$  (معیار صلبیت) با توجه به مطالب گفته شده در بند ۲، رفتار دیافراگم تعیین می‌شود. گفتنی است که  $\Delta_{Storey}$  برابر تغییرمکان نسبی طبقه و  $\Delta_{Diaphragm}$  برابر حداکثر تغییرشکل دیافراگم است.

جداول (۳)، (۴) و (۵) نشان‌دهنده‌ی معیار و وضعیت صلبیت دیافراگم مرکب فولادی - بتنی هر طبقه با توجه به گروه‌بندی و نسبت ابعادی سازه‌های مورد مطالعه هستند. در این جداول دیده می‌شود که دیافراگم‌ها بدون سطح مشارکت بازشو، در طبقات پایین‌تر، انعطاف‌پذیری بیشتری از خود نشان می‌دهند و این در حالی است که با افزایش ارتفاع سازه‌ها، معیار صلبیت به سمت صلب شدن دیافراگم‌ها میل می‌کند. بدیهی است که با توجه به روند رو به رشد نسبت ابعادی سازه‌ها، انعطاف‌پذیری دیافراگم‌ها به صورت بارزتری نمایان است.

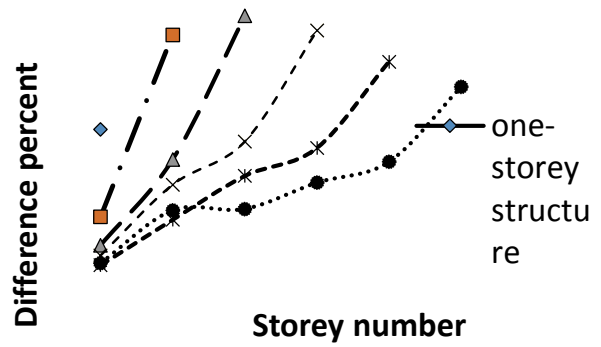
همان‌گونه که در جداول دیده می‌شود وجود بازشو در سطح دیافراگم می‌تواند اثر بسزایی بر رفتار درون‌صفحه‌ای دیافراگم از خود نشان دهد به طوری که با اضافه شدن سطح مشارکت بازشو در دیافراگم، رفتار دیافراگم نرم‌تر شده و متناسب با روند افزایشی سطح مشارکت بازشو، انعطاف‌پذیری دیافراگم از طبقات پایین‌تر به سمت طبقات بالایی افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد برای تیرریزی کف‌های مرکب فولادی - بتنی و امتداد نیروهای جانبی ناشی از زلزله که در این تحقیق، در جهت عمود بر طول سازه‌ها فرض شده است، می‌تواند در انتقال این نیروها و در پایان رفتار دیافراگم طبقات اثرگذار باشد. از اینرو برای تیرریزی طبقات به صورت شطرنجی در نظر گرفته شده تا از بوجود آمدن تمرکز تنش و همچنین اثر بر رفتار دیافراگم کاسته شود.

همان‌گونه که در جداول (۳)، (۴) و (۵) دیده می‌شود رفتار دیافراگم‌ها در چهار گروه گفته شده بررسی شد که نشان‌دهنده‌ی رفتاری انعطاف‌پذیر برای سازه‌های بدون بازشو (گروه اول)، در طبقات اول (سازه‌های با نسبت ابعادی ۱)، اول الی دوم (سازه‌های با نسبت ابعادی ۳) و اول الی چهارم (سازه‌های با نسبت ابعادی ۵) است. این در حالی است که در طبقات دوم (سازه‌های با نسبت ابعادی ۱)، سوم (سازه‌های با نسبت ابعادی ۳) و پنجم (سازه‌های با نسبت ابعادی ۵) دیافراگم‌ها، رفتاری متعادل (انعطاف‌پذیر یا صلب) از خود نشان می‌دهند. طبق معیارهای صلبیت نشان داده شده در طبقات بالایی سازه‌ها، رفتار دیافراگم‌ها به صورت کاملاً صلب است که همواره با

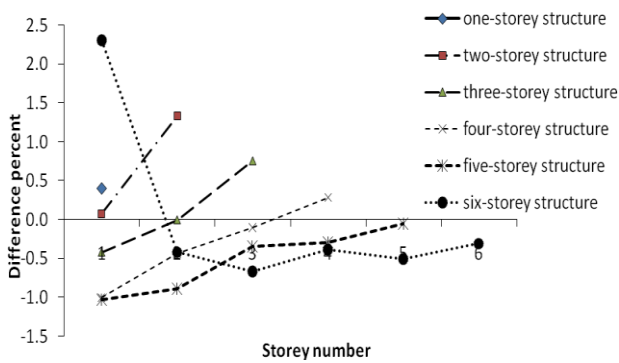




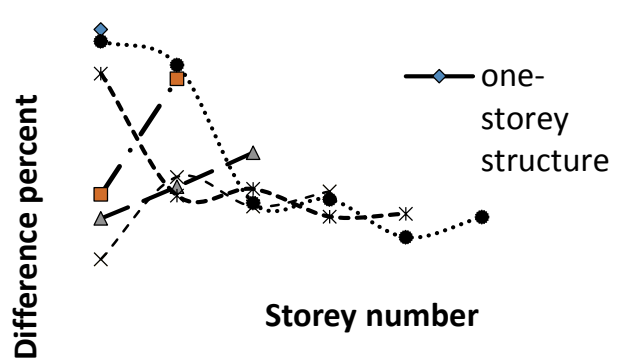
شکل (۱۰): درصد اختلاف گروه‌های ۴ و ۳ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۳



شکل (۷): درصد اختلاف گروه‌های ۴ و ۱ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۱

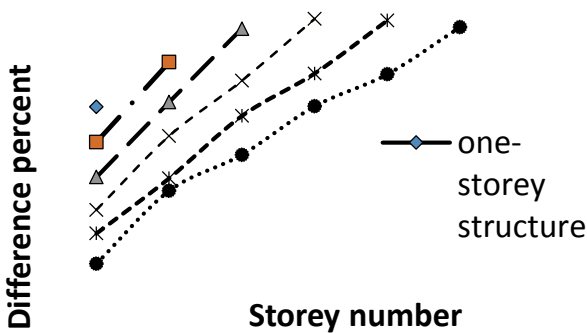


شکل (۱۱): درصد اختلاف گروه‌های ۲ و ۵ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۵

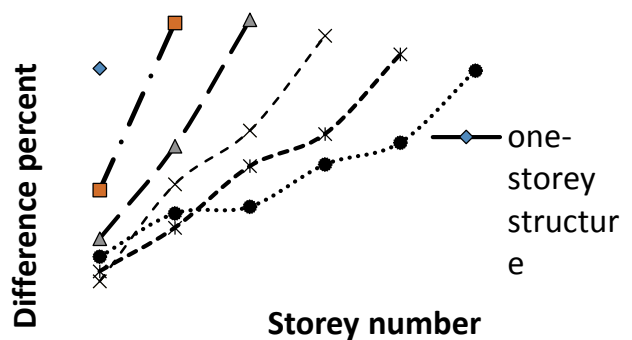


شکل (۸): درصد اختلاف گروه‌های ۲ و ۳ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۳

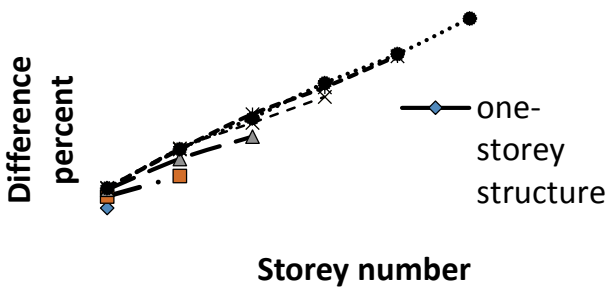
بر اساس این نمودارها دیده می‌شود که درصد اختلاف بین معیارهای صلبیت دیافراگم‌ها، با توجه به روند رو به رشد افزایش ارتفاع سازه‌ها، بیشتر افزایش می‌یابد.



شکل (۱۲): درصد اختلاف گروه‌های ۳ و ۵ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۵



شکل (۹): درصد اختلاف گروه‌های ۳ و ۳ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۳



شکل (۱۳): درصد اختلاف گروه‌های ۴ و ۵ در سازه‌های با نسبت ابعادی ۵

جدول (۳): رفتار درون صفحه‌ای دیافراگم در سازه‌های فولادی با نسبت ابعادی ۱

گروه اول							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۰۵	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۴۷	۱/۰۲	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه دو طبقه
-	-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۲۸	۰/۵۵	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه سه طبقه
-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۵۲	۱/۰۰	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۵۸	۱/۰۰	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۵۶	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه دوم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۰۶	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۴۷	۱/۰۲	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه دو طبقه
-	-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۲۸	۰/۵۵	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه سه طبقه
-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۵۲	۱/۰۰	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۵۸	۱/۰۰	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۵۶	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه سوم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۰۸	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۴۹	۱/۰۳	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه دو طبقه
-	-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۳۰	۰/۵۶	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه سه طبقه
-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۵۳	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۳۶	۰/۵۹	۱/۰۰	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۱۴	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۴۰	۰/۵۶	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه چهارم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۲۴	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۶۱	۱/۰۹	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۳۷	۰/۶۲	۱/۰۴	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه سه طبقه
-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۲۵	۰/۴۰	۰/۵۷	۱/۰۲	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۶۲	۱/۰۱	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۴۲	۰/۶۰	۱/۰۲	$\Delta_{Diaphragm/\Delta Storey}$	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	

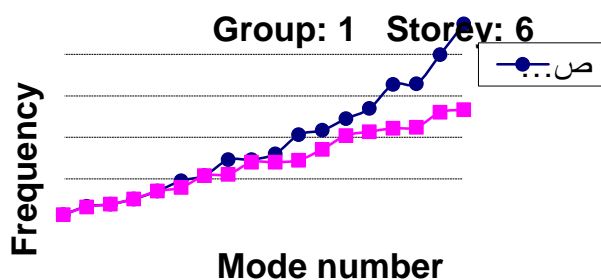


جدول (۴): رفتار درون صفحه‌ای دیافراگم در سازه‌های فولادی با نسبت ابعادی ۳

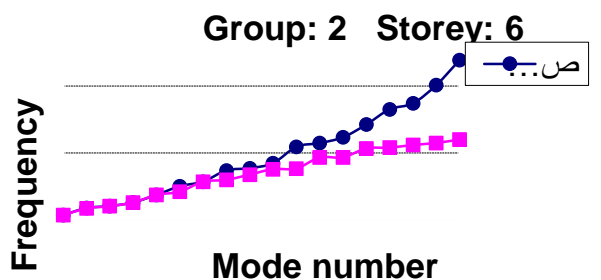
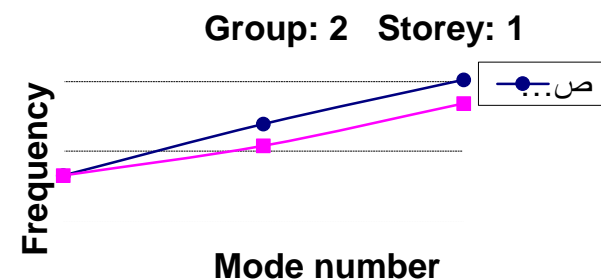
گروه اول							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۲۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۷۶	۱/۱۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۴۹	۰/۷۰	۱/۰۷	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۶۳	۱/۰۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۶۶	۱/۰۱	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۶۶	۱/۰۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه دوم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۳۰	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۷۷	۱/۱۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۴۹	۰/۷۰	۱/۰۷	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۳۳	۰/۴۷	۰/۶۳	۱/۰۲	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۶۶	۱/۰۱	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۲۰	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۶۶	۱/۱۰	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه سوم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۳۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۰/۸۴	۱/۱۷	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۵۴	۰/۷۴	۱/۰۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۶۶	۱/۰۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۶۷	۱/۰۱	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۳۶	۰/۴۸	۰/۶۸	۱/۱۰	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
صلب	صلب	صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه چهارم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۷۷	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۱/۵۰	۱/۵۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۱/۲۰	۱/۲۸	۱/۴۵	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۹۲	۰/۹۹	۱/۰۷	۱/۲۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۷۳	۰/۷۹	۰/۸۶	۰/۹۸	۱/۲۰	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۷	۰/۸۶	۱/۱۰	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	

جدول (۵): رفتار درون صفحه‌ای دیافراگم در سازه‌های فولادی با نسبت ابعادی ۵

گروه اول							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۴۶	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۱/۱۴	۱/۳۲	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۸۷	۰/۹۹	۱/۲۲	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۱۴	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۵۲	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۸۱	۱/۰۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۶۴	۰/۷۵	۱/۰۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه دوم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۴۷	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۱/۱۶	۱/۳۲	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۰/۸۸	۰/۹۹	۱/۲۱	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۶۶	۰/۷۵	۰/۸۵	۱/۱۲	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۵۲	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۸۱	۱/۰۸	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۶۳	۰/۷۵	۱/۰۶	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
صلب	صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه سوم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۶۴	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۱/۳۲	۱/۴۵	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۱/۰۳	۱/۱۲	۱/۳۱	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۹۴	۱/۰۹	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۰/۶۲	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۸۷	۱/۱۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۰/۴۹	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۶۹	۰/۸۰	۱/۰۵	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
صلب	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
گروه چهارم							
ششم	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	شماره طبقه ←	تعداد طبقات
-	-	-	-	-	۱/۸۴	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه یک طبقه
-	-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	-	۱/۷۷	۱/۸۰	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه دو طبقه
-	-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	-	۱/۶۸	۱/۶۹	۱/۷۴	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه سه طبقه
-	-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	-	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۵۴	۱/۶۳	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه چهار طبقه
-	-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
-	۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۴۲	۱/۴۷	۱/۵۷	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه پنج طبقه
-	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	
۱/۲۶	۱/۲۸	۱/۳۰	۱/۳۳	۱/۳۶	۱/۴۸	$\Delta$ Diaphragm/ $\Delta$ Storey	سازه شش طبقه
انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	انعطاف‌پذیر	رفتار دیافراگم	



شکل (۱۴): نمودار بسامد-مد نوسان در سازه یک و شش طبقه گروه ۱ با نسبت ابعادی ۳



شکل (۱۵): نمودار بسامد-مد نوسان در سازه یک و شش طبقه گروه ۲ با نسبت ابعادی ۳

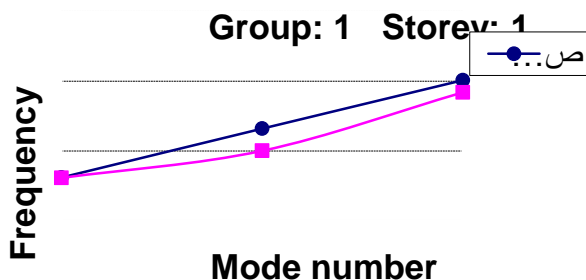
همان‌گونه که دیده می‌شود روند واگرایی بسامدها در دو نوع دیافراگم صلب و انعطاف‌پذیر با افزایش تعداد حالت‌های نوسان و در پایان تعداد طبقات سازه حفظ می‌شود. این واگرایی با افزایش سطح مشارکت بازشو در دیافراگم کف به صورت بارزتری خود را نشان می‌دهد. گفتنی است که تعداد حالت‌های نوسان در هر سازه با توجه به طبقات موجود در آن متغیر بوده و طبق ضوابط گفته شده در استاندارد [۲۸۰۰] تعیین می‌شود. طبق این ضوابط در هر یک از دو امتداد متعامد سازه (منظور جهت محورهای اصلی سازه است) باید حداقل سه حالت اول نوسان، یا تمام حالت‌های نوسان با زمان تناوب بیشتر از  $0.4$  ثانیه و یا تمام حالت‌های نوسان که مجموع جرم‌های مؤثر در آن‌ها بیشتر از ۹۰ درصد جرم کل سازه است، هر کدام که بیشتر است، در نظر گرفته شود.

باید توجه داشت که افزایش درصد اختلاف بین معیارهای صلبیت معرف حرکت دیافراگم به سمت صلبیت بیش‌تر در طبقات بالاتر و میزان اثر کم رفتار دیافراگم بر رفتار کلی سازه است. با توجه به نمودارها، پس از زیاد شدن سطح مشارکت بازشو در دیافراگم‌ها (مطابق با گروه‌های مذکور)، درصد اختلاف بین گروه‌های ۱ و ۲ به طور عموم کمتر از ۳ درصد به دست می‌آید و این اختلاف در بین گروه‌های ۱ و ۳ و همچنین ۱ و ۴ بسیار بیش‌تر می‌شود و تا حدود ۲۵۰ درصد می‌رسد که نشان‌دهنده‌ی اختلاف ناچیز بین گروه‌های ۱ و ۲ و در مقابل، اختلاف غیر قابل اغماض بین گروه‌های ۱ با سطح مشارکت بیش‌تر بازشو است.

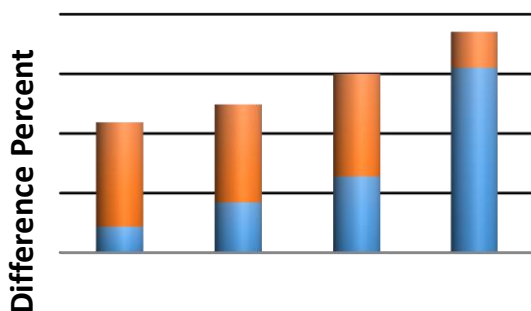
طبق مقادیر محاسبه شده در نمودارها به نظر می‌رسد رفتار دیافراگم‌ها تا میزان ۲۰ درصد سطح مشارکت بازشو تغییرات چندانی ننموده ولی وقتی این مقدار به ۵۰ درصد می‌رسد معیار صلبیت به صورت مشهود افزایش می‌یابد و با رسیدن سطح مشارکت بازشو‌ها به محدوده ۵۰ درصد، رفتار سازه دچار تغییر شکل کلی می‌شود که این اتفاق با یکی از بندهای گفته شده در استاندارد [۲۸۰۰] [۱۰] که تجاوز بیش از ۵۰ درصد بازشو در سطح دیافراگم برابر با تبدیل رفتار سازه از منظم به نامنظم است، برابری دارد.

## ۷- بررسی بسامد سازه‌ها طبق رفتار دیافراگم

بسامد یک سازه، معرف تعداد نوسان‌های آن در واحد زمان است و زیاد شدن بسامد در یک سازه نشان‌دهنده‌ی ارتعاش سازه همگام با ارتعاش زمین است. بنابراین در بررسی‌های انجام شده پس از تحلیل دینامیکی سازه‌های موردنظر، نمودار بسامد - مد نوسان در هر سازه تحت دو رفتار صلب و انعطاف‌پذیر دیافراگم رسم شد. گفتنی است که بدلیل زیاد بودن تعداد نمودارها و همچنین مشابه بودن روند تغییرات آن‌ها، فقط نمودار سازه‌های با نسبت ابعادی ۳ نمایش داده شده است. در ادامه دو نمودار از سازه‌های یک و شش طبقه (سازه‌های ابتدایی و انتهایی) در هر گروه بر اساس مقادیر مختلف سطح مشارکت بازشو در اشکال (۱۴) الی (۱۷) مشخص شده است.



بسامدها در حالت‌های انتهایی نوسان دیده شد که درصد اختلاف بین بسامدهای سازه در دو حالت دیافراگم صلب و انعطاف‌پذیر طبق روند افزایشی سطح مشارکت بازشو افزایش می‌یابد که این اختلاف در سازه‌های شش طبقه بیشتر از حالت مشابه یک طبقه در گروه‌های چهارگانه است. در شکل (۱۸) درصد اختلاف بین بسامدها برحسب گروه‌بندی سازه‌های با نسبت ابعادی ۳ نشان داده شده است. طبق این نمودار مقایسه‌ی بین مقدار افزایش بسامدها راحت‌تر انجام می‌شود و طبق این مقایسه دیده می‌شود که روند افزایش ارتفاع سازه‌ها در راستای تمایل بیشتر سازه به رفتار صلب در دیافراگم‌ها و در پایان افزایش درصد اختلاف بسامدها در دو حالت دیافراگم است.



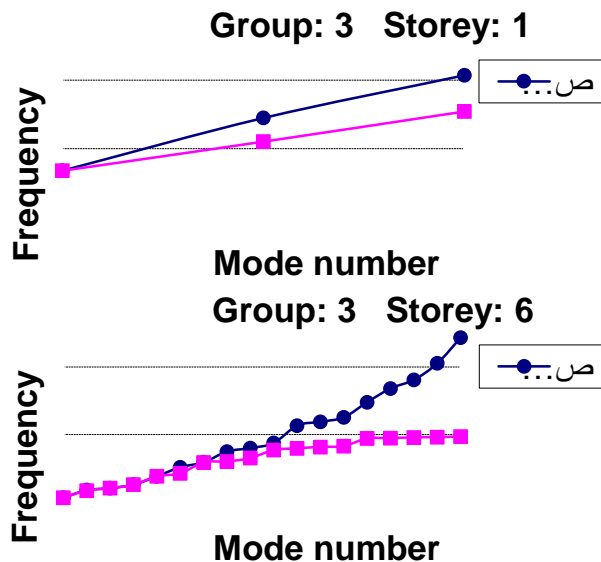
شکل (۱۸): نمودار درصد اختلاف بین بسامدها در حالت انتهایی با دو حالت دیافراگم

## ۸- نتیجه گیری

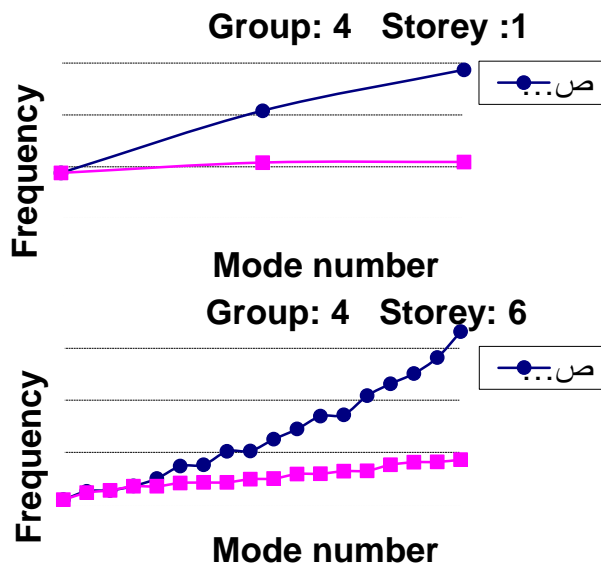
پس از طراحی و تحلیل ۱۴۴ سازه‌ی موردنظر و دیدن جداول و نمودارهای حاصل، نتایجی به شرح ذیل ارائه می‌شود:

- ۱- در سازه‌های فولادی کوتاه‌مرتبه مورد مطالعه که دارای دهانه‌ی آزاد بیش‌تر یا مساوی عرض سازه هستند فرض صلب بودن دیافراگم (به‌خصوص در طبقات پایینی) تا حدودی نامناسب به‌نظر می‌رسد. به‌طوری که در سازه‌های فولادی با نسبت‌های ابعادی ۱، ۳ و ۵ به ترتیب طبقات اول، دوم و اول الی چهارم به‌صورت انعطاف‌پذیر عمل می‌نمایند.
- ۲- با افزایش ارتفاع سازه‌ها و همچنین افزایش سطح مشارکت بازشو تا مقدار ۲۰ درصد، دیافراگم‌های مرکب فولادی - بتنی در طبقات بالایی رفتار صلب از خود نشان می‌دهند.

بازشو می‌تواند باعث انعطاف‌پذیری بیش از حد انتظار در سازه‌های منظم شود.



شکل (۱۶): نمودار بسامد-مد نوسان در سازه یک و شش طبقه گروه ۳ با نسبت ابعادی ۳



شکل (۱۷): نمودار بسامد-مد نوسان در سازه یک و شش طبقه گروه ۴ با نسبت ابعادی ۳

طبق نمودارهای ارائه شده دیده می‌شود که اختلاف چندانی بین بسامدهای سازه‌ها در حالت‌های ابتدایی نوسان وجود ندارد و طبق روند افزایشی حالت‌های نوسان همواره در همه نمودارها حداکثر بسامدهای موجود، در حالت دیافراگم‌های صلب است به‌طوری که اختلاف این دو حالت، در سازه‌های بلندتر و همچنین با سطح مشارکت بیش‌تر بازشو، افزایش می‌یابد.

در ادامه پس از محاسبه‌ی درصد اختلاف موجود بین ۳- با توجه به درصد اختلاف بین معیارهای صلبیت دیافراگم‌ها، سطح مشارکت بین ۲۰ الی ۵۰ درصدی

۶- همان‌گونه که دیده می‌شود وجود بازشو در سطح دیافراگم کف این‌گونه سازه‌ها و در حد کم‌تر از ۲۰ درصد نمی‌تواند اثر چندانی بر افزایش بسامد سازه‌ها داشته باشد و در صورت وجود بازشوه‌های با بیش از ۲۰ درصد سطح مشارکت دیافراگم، لزوم طراحی سازه‌ها با چندین درز انقطاع در سطح پلان را ایجاب می‌نماید.

۴- طبق نمودارهای ارائه شده در مورد بسامد سازه‌ها و درصد اختلاف بین آن‌ها، می‌توان به این نتیجه رسید که سازه‌های کوتاه‌مرتبه عملکردی نرم‌تر و همچنین انعطاف‌پذیرتر نسبت به نمونه مشابه با ارتفاع بیش‌تر دارند.

۵- درصد اختلاف بین بسامدها در دو حالت دیافراگم صلب و انعطاف‌پذیر با افزایش سطح مشارکت بازشو بیش‌تر می‌شود که نشان‌دهنده‌ی عملکرد مطلوب‌تر سازه‌های دارای بازشو با فرض دیافراگم صلب است.

## ۹- مراجع

- [۹] اوشک سرایی، رضا (مترجم)، "کتاب مرجع طراحی سازه‌ها در برابر زلزله"، جلد دوم، انتشارات دانشگاه گیلان، ۱۳۷۴.
- [۲] Muto, K. A., "Seismic Design Analysis of Buildings", Maruzen Ltd., Tokyo, pp. 241-260, 1974.
- [۳] Saffarini, H. S., and Qudaimat, M. M., "In-Plane Floor Deformations in RC Structures", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 1, pp. 3098-3102, November 1992.
- [۴] Colina, J. D. L., "In-Plane Floor Flexibility Effects on Torsionally Unbalanced Systems", Earthquake Engineering and Structure Dynamics, Vol. 28, pp. 1705-1715, June 1999.
- [۵] Joel, M. B., Mary, B. D., "Diaphragm Effects in Rectangular Reinforced Concrete Buildings"; ACI Structural Journal, Vol. 101, No.5, pp. 615-624, September-October 2004.
- [۶] Lee, D. G., Kim, D. K. and Ahn, S. K., "Efficient Seismic Analysis of Building Structure Including Floor Slabs", Engineering Structures, Vol.27, pp. 675-684, 2005.
- [۷] Lam, D., and Fu, F., "Experimental Study on Semi- Rigid Composite Joints with Steel Beams and Precast Hollowcore Slabs", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 62, pp. 771-782, 2006 .
- [۸] Ji, T., and El-Dardiry, E., "Modeling of the Dynamic Behaviour of Profiled Composite Floors", Engineering Structures , Vol. 28, pp. 567-579, 2006.
- [۹] Tokoro, K. T., Anderson, J. C. and Bertero, V. V., "Uncertainties in Determining Diaphragm Flexibility", Proceeding of the 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 1, pp. 565-580, Canada, August 2004.
- [۱۰] Rodriguez, M. E., Restrepo, J. I., and Carr, A. J., "Earthquake-Induced Floor Horizontal Accelerations in Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, pp. 643-718, 2002.
- [۱۱] کمیته دائمی بازنگری آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، "آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰"، ویرایش سوم، تابستان ۱۳۸۶.
- [۱۲] Salmon C. G., Johnson J. E., "Steel Structures: Design and Behavior", 5<sup>th</sup> ed., Prentice-Hall, New York, 2009.
- [۱۳] دفتر تهیه و ترویج مقررات ملی ساختمان، "مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی"، نشر توسعه ایران، ۱۳۸۷.
- [۱۴] حجازی، مهرداد؛ معمارزاده، پرهام؛ سبحانی، محمدعلی، "بررسی رفتار دیافراگم مرکب فولادی - بتنی در سازه‌های فولادی کوتاه مرتبه"، مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی سبک سازی و زلزله، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۹.