

## ضریب رفتار دیوارهای برشی دارای بازشو

ابوالفضل عربزاده<sup>۱\*</sup>، مسعود سینافر<sup>۲</sup>

۱- استادیار مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- کارشناس ارشد عمران، سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

\*تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵

arabzade@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: دی ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: بهمن ۱۳۸۵)

**چکیده** - دیوارهای برشی دارای بازشو به عنوان یکی از اعضای اصلی مقاوم در برابر زلزله در ساختمانهای بتنی مطرح هستند، لذا چگونگی عملکرد و رفتار واقعی این دیوارها مورد توجه مهندسان و طراحان است. از طرفی به دلیل پیچیدگیهای تحلیل غیرخطی دینامیکی - که مبین رفتار واقعی سازه‌ها در مواجهه با زلزله است - و در مقابل سادگی تحلیل‌های خطی، سبب شده تا طراحان با استفاده از روش‌های خطی موجود، تحلیل و طراحی سازه‌ها را انجام دهند. بنابراین استفاده از ضریب رفتار در آیین‌نامه‌ها برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه در تحلیل خطی آنها ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله ضریب رفتار دیوارهای برشی دارای بازشو و به تبع آن ضرایبی نظیر ضریب اضافه مقاومت و ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری آنها برای تعدادی دیوار برشی ۵ تا ۲۰ طبقه با مشخصات متفاوت، برای دو زلزله ناغان و طیس محاسبه شده است. در حقیقت با تنوع بخشیدن به شرایط دیوارها و زلزله‌ها، تأثیر عوامل مختلف در محاسبه ضریب رفتار در نظر گرفته شده است. بنابراین ضریب رفتاری که نهایتاً نتیجه می‌شود، مقدار متوسطی است که وابسته به دیوار یا زلزله خاصی نیست. از تحلیل‌های انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که ضریب رفتار متوسط دیوارهای دارای بازشو تحت زلزله‌های ناغان و طیس به ترتیب حدود ۹/۶ و ۱۰/۱ می‌باشد. همچنین ملاحظه گردید ضریب رفتار دیوارهایی که دارای بیش از یک ردیف بازشو هستند بیشتر از دیوارهای با یک ردیف بازشو می‌باشد.

**کلید واژگان:** ضریب رفتار، دیوار برشی، بتنی مسلح، بازشو، تیر پیوند، تحلیل غیرخطی.

### ۱- مقدمه

غیرخطی در آنها بهره لازم گرفته شود. برای این منظور آیین‌نامه‌های زلزله معتبر دنیا ضریبی به نام ضریب رفتار برای سازه‌ها معرفی می‌کنند که با اعمال در نیروهای جانبی ناشی از زلزله و کاهش این نیروها، باعث ملحوظ شدن رفتار غیرخطی سازه‌ها در طراحی آنها می‌شود. این ضریب به خصوصیات سیستمهای سازه‌ای مقاوم در برابر بار جانبی بستگی دارد. در حالت کلی این ضریب به عواملی مانند شکل‌پذیری، درجه نامعینی و مقاومت

زلزله‌های شدید در طول عمر مفید سازه به ندرت اتفاق می‌افتند، بنابراین طراحی سازه‌های کاملاً سخت که در حین این زلزله‌ها در حیطه ارتجاعی باقی بمانند و هیچگونه خرابی در آنها ایجاد نشود از نظر مهندسی و اقتصادی قابل قبول نیست. بنابراین سازه‌ها باید طوری طراحی شوند که بر اثر زلزله‌های شدید رفتار غیرخطی از خود بروز دهند و از اضافه مقاومت و ظرفیت جذب انرژی ناشی از تغییر مکانهای

### ۳- ضریب رفتار و روش محاسبه آن

برای محاسبه ضریب رفتار لازم است به رفتار کلی سازه توجه شود. شکل ۱ بیانگر رفتار کلی سازه متعارف در شکل منحنی برش پایه و جابه‌جایی افقی است. در این شکل منحنیهای بازتاب خطی و غیرخطی سازه مشخص شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، اگر سازه برای نیروی  $F_e$  طراحی شود، به‌طور کامل به‌صورت ارتجاعی عمل کرده و هیچگونه تغییرشکل غیرخطی در آن ایجاد نمی‌شود. اما اگر این نیرو تا حد سرویس نظیر نیروی  $F_a$  کاسته شده و طراحی بر اساس آن انجام شود، در حین افزایش بارگذاری، تغییرشکل‌های غیرخطی سازه، سبب شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی قابل قبولی برای سازه می‌شود. این کاهش سطح نیرو به‌وسیله ضریب رفتار انجام می‌شود.

اما محاسبه ضریب رفتار در دو سطح بار نهایی و بار مجاز، متداول است. در روابط زیر  $R_u$  ضریب رفتار بر مبنای تنشهای تسلیم و  $R_w$  ضریب رفتار بر مبنای تنشهای حد مجاز است:

$$R_u = (F_e / F_p) \times (F_p / F_y) = R_\mu \times R_s$$

$$R_w = (F_e / F_p) \times (F_p / F_y) \times (F_y / F_a) = R_\mu \times R_s \times Y$$

در روابط فوق  $F_e$  مقاومت مورد نیاز برای رفتار کاملاً ارتجاعی سازه،  $F_p$  مقاومت نهایی،  $F_y$  مقاومت تسلیم اولیه،  $F_a$  مقاومت مجاز سازه،  $R_s$  ضریب اضافه مقاومت،  $R_\mu$  ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری و  $Y$  ضریب اطمینان است. شایان ذکر است که با توجه به اینکه ضریب رفتار موجود در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران از نوع  $R_w$  و بر اساس تنشهای مجاز است، در این مقاله برای تطابق نتایج با آیین‌نامه ایران، این نوع ضریب رفتار محاسبه و ارائه شده است [۵].

افزون موجود در سازه بستگی دارد. ضریب اضافه مقاومت و ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری، پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه این ضریب است [۱، ۲، ۳].

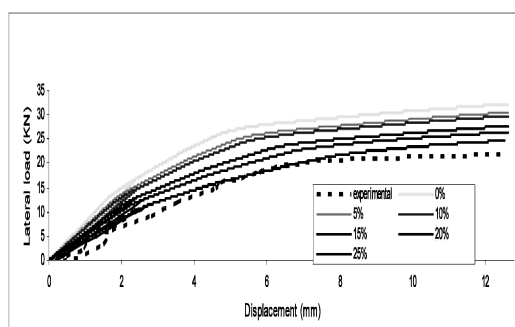
در این مقاله سعی شده است با انجام تحلیلهای غیرخطی و محاسبه ضریب فوق برای دیوارهای برشی دارای بازشو، در راستای شناخت بهتر و همچنین طراحی ایمن و اقتصادی این عضو سازه‌ای، گامی برداشته شود.

### ۲- مطالعات گذشته

سابقه مطالعات و تحقیقات در زمینه دیوارهای برشی به حدود ۳۰ سال قبل می‌رسد، اما این تحقیقات بر روی رفتار ارتجاعی آنها متمرکز بوده و در زمینه رفتار غیرارتجاعی و خواص غیرارتجاعی، تحقیقات چندانی انجام نشده است. شو، تاکایاناجی و کورلی در ژاپن اثر سختی تیرهای پیوند بر مقاومت و سختی مجموعه دیوار را بررسی کردند. نتیجه این بود که اگر دو دیواره‌وسیله تیرهای قوی به هم متصل شوند، مانند یک دیوار عمل می‌کنند. در این حالت باز پخش کلی در تنشها به‌وجود می‌آید، به طوری که برش و ممان از طریق تیرها از دیوار کششی به دیوار فشاری منتقل می‌شود [۴].

تاسیوس و همکاران در دانشگاه آتن اثر نوع آرماتورگذاری و طول دهانه تیرها را بر رفتار دیوارها بررسی کردند و حالت‌های خاصی از آرماتورگذاری را برای بهبود عملکرد دیوارها ارائه دادند. در سالهای اخیر برخی پژوهشگران امکان استفاده از تیرهای رابط فولادی را برای اتصال دیوارهای برشی بررسی کرده‌اند. آزمایشهای انجام شده نشان داده که اگر این تیرها صحیح طراحی شده و جزئیات اجرایی مناسبی داشته باشند، رفتاری مانند تیر پیوند در بادبند برون‌محور خواهند داشت [۴]. در این صورت تیر می‌تواند شکل‌پذیری بالایی را از خود نشان دهد و بنابراین می‌تواند مقدار زیادی از انرژی زلزله را جذب نماید.

محدود شده، تعدیل شوند. در اینجا با توجه به در اختیار داشتن نمونه‌های آزمایشگاهی و با سعی و خطا، این ضریب برای استفاده در مدلسازی تخمین زده شد. بدین منظور طول ناحیه صلب مدل‌های آزمایشگاهی را در چند مرحله کاهش داده و نتایج را مقایسه کرده‌ایم. در شکل ۳ نمودارهای مربوط به یکی از مدل‌ها نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که اگر طول صلب تیرها کاهش نیابد، نتایج به مقدار زیادی اختلاف خواهند داشت و شیب نمودار نیرو - جابه‌جایی حاصل از تحلیل در این حالت از شیب نمودار آزمایشگاهی بیشتر است. اما با کاهش ۲۵ درصدی طول صلب انتهایی، دقت جوابها به حدود ۹۵ درصد می‌رسد. همچنین شیب نواحی مختلف نمودار نیرو - جابه‌جایی و رفتار کلی دیوار، تحت بارگذاری یکسان تا حدود زیادی منطبق بر یکدیگر می‌شود.

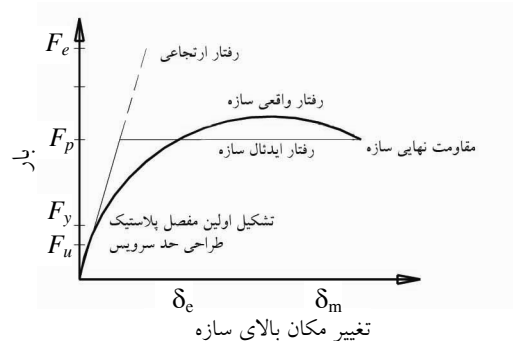


شکل ۳ مقایسه نمودارهای بار - جابه‌جایی یکی از مدل‌ها با نواحی صلب متفاوت

## ۵- مشخصات نمونه‌ها

### ۱-۵- مشخصات مصالح

در تحلیل غیرخطی برای تعریف منحنی تنش - کرنش بتن از منحنی هوگنستاد مطابق شکل ۴-ب با فرض اینکه کرنش بتن در تنش حداکثر برابر  $0.002$  باشد و برای نمودار تنش - کرنش فولاد از منحنی دو خطی با سخت‌شدگی کرنش مطابق شکل ۴-الف استفاده شده است. مشخصات خطی به شرح زیر است [۱۴].

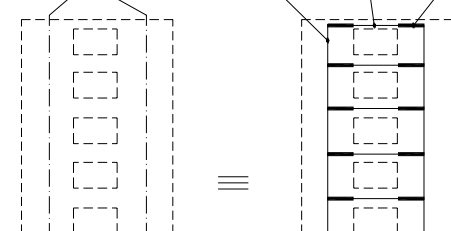


شکل ۱ رفتار کلی سازه

## ۴- نحوه مدلسازی

مدلسازی غیرخطی به روش قاب مشابه ستون - عریض با اجزای تیری دارای انتهای صلب و با استفاده از نرم‌افزار IDARC 5.5 مطابق شکل ۲ انجام شده و برای اطمینان از صحت مدلسازی دو دیوار شش طبقه را - که به‌وسیله گابریل آگودا (۱۹۹۱) آزمایش شده - مدلسازی و تحلیل کرده و نتایج حاصل تحلیل را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کرده‌ایم. همانطور که قبلاً اشاره شد برای این نوع تحلیل از تحلیل سیکلیک استفاده شده که در IDARC 5.5 برای بررسی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی پیش‌بینی شده است [۶] تا [۹].

بازوهای سخت تیرانعطف‌پذیر ستون انعطاف‌پذیر محورهای مرکزی دیوار



شکل ۲ مدل قاب ستون - عریض مشابه

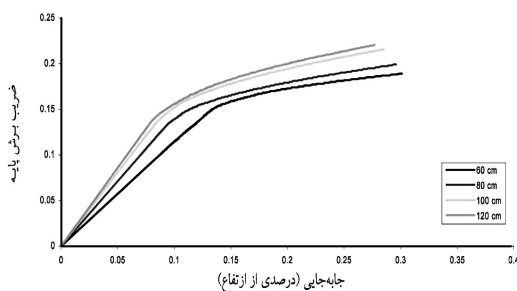
در این روش تحلیل، ناحیه صلب اعضا را باید در حدی کاهش داد تا ضمن اعمال اثر انعطاف‌پذیری اتصال دیوار و تیر، تغییرشکلها در داخل ناحیه‌ای که توسط ابعاد گره‌ها

در ابتدا دیوارها به وسیله نرم افزار ETABS 2000 مدلسازی و تحت بارهای ثقلی و بارهای جانبی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران تحلیل خطی و طراحی شد [۵، ۱۱]. برای محاسبه ضریب کاهش بر اثر شکل پذیری دیوارها - که در واقع نشان دهنده قابلیت جذب و استهلاک انرژی است - دیوارهای مورد مطالعه تحت زلزله های ناغان و طبس تحلیل شده است. در نهایت ضریب رفتار برای دیوارهای دارای بازشو تحت هر یک از دو زلزله فوق به طور جداگانه محاسبه شده است. ضریب اضافه مقاومت نیز با استفاده از تحلیل های غیرخطی با بارگذاری جانبی افزایشی به دست آمده است.

### ۶- تحلیل نمونه ها

#### ۶-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی دیوارها

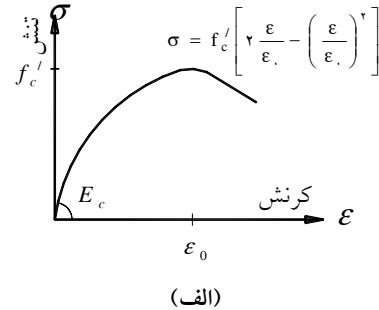
برای این تحلیل، دیوارها بر طبق روش آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران بارگذاری شده اند. سپس بارهای جانبی به سازه اعمال شده و در گام های یکنواخت از صفر افزایش یافته است. این افزایش تا جایی ادامه داده می شود که سازه به طور کلی گسیخته گردد. شکل ۵ شامل نمودارهای بار - جابه جایی مربوط به تحلیل دیوارهای ۵ طبقه با ارتفاع های مختلف تیر است که به عنوان نمونه ارائه شده. بار مربوط به نقطه ای که در آن، قسمت خطی ابتدایی منحنی پایان یافته و منحنی به صورت غیرخطی در می آید، متناظر با بار ایجاد اولین مفصل پلاستیک است [۱۱].



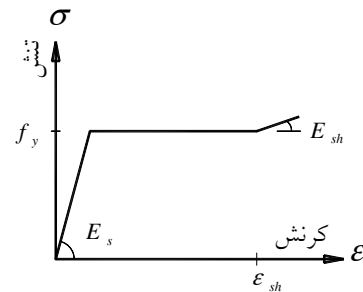
شکل ۵ نمودار بار - تغییر مکان بالای دیوارهای ۵ طبقه با ارتفاع های مختلف تیر تحت بار جانبی افزایشی

$$f'_c = 300 \text{ kg/cm}^2, E_c = 216210 \times \text{kg/cm}^2$$

$$f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2, E_s = 10^6 \times 21 \times \text{kg/cm}^2$$



(الف)



(ب)

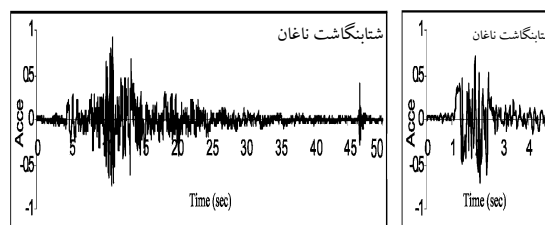
شکل ۴ منحنی تنش - کرنش مصالح (الف) بتن (ب) فولاد

#### ۵-۲- مشخصات دیوارها

در این تحقیق برای دستیابی به اطلاعات مناسب درباره تأثیر عوامل مختلف بر تغییر مکان دیوارها، شرایط مختلف هر یک از دیوارها به طور مستقل تغییر داده شده است. این عوامل عبارت است از: تعداد طبقات از ۵ تا ۲۰ طبقه، ارتفاع طبقات از ۲/۸ تا ۳/۴ متر، ارتفاع تیرهای میانی از ۶۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر، عرض تیرها از ۰/۷ تا ۱/۳ برابر عرض دیوارها، تعداد ردیف بازشوها از ۱ تا ۳ ردیف، تقارن و عدم تقارن بازشوها نسبت به محور مرکزی دیوار و نحوه آرماتورگذاری دیوارها. در تمامی حالتها به جز حالتی که ارتفاع تیرها تغییر کرده، ارتفاع تیرها در دیوارهای ۵ و ۱۰ طبقه برابر ۱۰۰ سانتیمتر و در دیوارهای ۱۵ و ۲۰ طبقه برابر ۸۰ سانتیمتر بوده و تیرها به صورت معمولی آرماتورگذاری شده است.

## ۶-۲- تحلیل دینامیکی غیرخطی دیوارها

برای این منظور دیوارها تحت شتابنگاشت‌های دو زلزله ناغان و طبس تحلیل شده است. شتابنگاشت زلزله‌های مذکور همچنین منحنیهای تاریخچه زمانی جابه‌جایی طبقات فوقانی و برش پایه دیوار ۵ طبقه با ارتفاع تیر ۱۰۰ سانتیمتر تحت این دو زلزله در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. در این نمودارها رفتار غیرخطی دیوارها مشهود است. شایان ذکر است که ۵ ثانیه دوم در نمودارهای زلزله ناغان مربوط به پاسخ ارتعاش آزاد دیوارها پس از زلزله است.



(ب)

(الف)

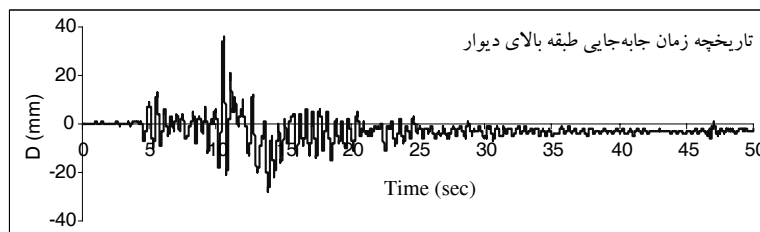
شکل ۶ شتابنگاشت مربوط به (الف) زلزله ناغان (ب) زلزله طبس

## ۷- محاسبه ضریب رفتار دیوارهای برشی دارای بازشو

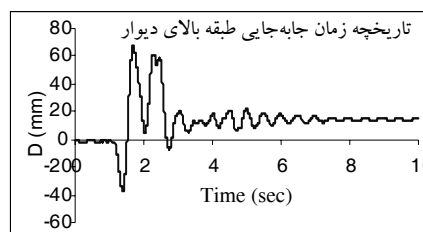
همانطور که بیان شد برای محاسبه ضریب رفتار باید ابتدا ضرایب اضافه مقاومت و کاهش بر اثر شکل‌پذیری محاسبه شود. با توجه به تحلیل‌های غیرخطی انجام شده و نتایج مربوط به نیروهای طراحی دیوارها، این ضرایب به صورت زیر محاسبه می‌شود.

### ۷-۱- ضریب اضافه مقاومت دیوارها

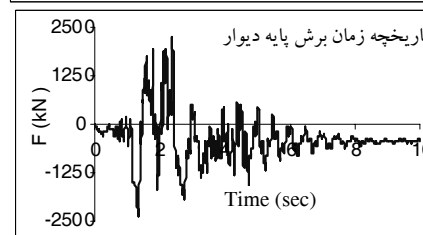
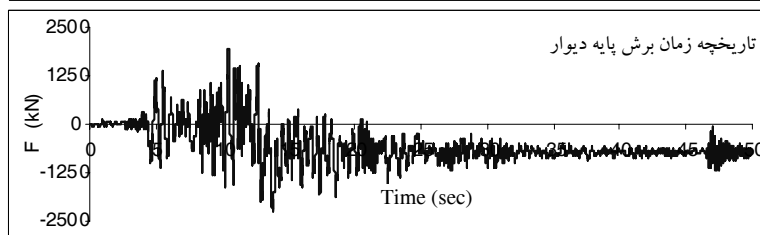
ضریب اضافه مقاومت برابر است با نسبت مقاومت نهایی به مقاومت تسلیم سازه. در جدول ۱ نیروی  $F_p$  مقاومت نهایی دیوار و  $F_y$  مقاومت نظیر تسلیم اولین نقطه دیوارها است که از نتایج تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی دیوارها به دست آمده. همانطور که مشاهده می‌شود، ضریب اضافه مقاومت دیوارها بین  $1/4$  و  $2/24$  متغیر است. ضریب اطمینان دیوارها نیز محاسبه و در جدول ۱ آورده شده است.



(ب)



(الف)



شکل ۷ نمودارهای تاریخچه زمانی دیوار ۵ طبقه با ارتفاع تیر ۱۰۰ سانتیمتر مربوط به: (الف) زلزله ناغان (ب) زلزله طبس

طوری که مقدار متوسط آن در زلزله ناغان و طبس به ترتیب برابر ۹/۶ و ۱۰/۱ است. بیشترین ضریب رفتار مربوط به دیوارهای با تعداد ردیف بازشو بیش از یکی است.

## ۸- نتیجه گیری

از تحلیل‌های انجام شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که: ضریب اضافه مقاومت دیوارهای برشی دارای بازشو حدود ۱/۴ تا ۲/۲۴ است.

اضافه مقاومت دیوارهایی که دارای آرماتورگذاری یکنواخت هستند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از دیوارهای مشابه با آرماتورگذاری متمرکز است و گاه این مقدار به ۲۵ درصد نیز می‌رسد.

شکل‌پذیری دیوارهایی که دارای آرماتورگذاری یکنواخت هستند - نسبت به دیوارهای مشابه با آرماتورگذاری متمرکز - بیشتر است. با افزایش ارتفاع تیرها، مقاومت نهایی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت عرض تیر به عرض دیوار، مقاومت نهایی مقدار بسیار کمی افزایش می‌یابد.

شکل‌پذیری دیوارهای دارای ۲ و ۳ ردیف بازشو، نسبت به دیوارهای با یک ردیف بازشو بیشتر است.

ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری در دیوارهایی که تعداد طبقات بیشتری دارند، بزرگتر است.

مقدار متوسط ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری دیوارهای دارای بازشو، تحت زلزله‌های ناغان و طبس به ترتیب حدود ۳/۴ و ۳/۶ است. این ضریب با توجه به خصوصیات زلزله‌های مختلف تغییر می‌کند.

مقدار متوسط ضریب رفتار دیوارهای دارای بازشو تحت زلزله‌های ناغان و طبس حدود ۹/۶ و ۱۰/۱ است.

## ۷-۲- ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری دیوارها

ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری سازه برابر است با نیروی وارد شده به سازه در حالت رفتار کاملاً ارتجاعی به مقاومت نهایی سازه. این ضریب برای دیوارها تحت دو زلزله ناغان و طبس محاسبه شده است. نیروهای حداکثر دیوارها از نتایج تحلیل غیرخطی آنها به دست آمده و نیروی حداکثر ارتجاعی سازه نیز با توجه به آیین‌نامه زلزله ایران محاسبه شده است.

مقادیر ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری دیوارهای مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. مقدار متوسط این ضریب برای زلزله ناغان برابر ۳/۴ و زلزله طبس برابر ۳/۶ به دست آمده است. مطلب دیگر اینکه بیشترین مقدار این ضریب، مربوط است به دیوارهای با آرماتورگذاری یکنواخت و دیوارهای با تعداد ردیف بازشو بیشتر از یک. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از شیوه آرماتورگذاری یکنواخت در دیوارها و استفاده از تعداد ردیف بازشو بیشتر از یک، باعث افزایش قابل توجه در شکل‌پذیری سازه می‌شود.

## ۷-۳- ضریب رفتار دیوارها

ضریب رفتار دیوارهای مورد مطالعه با توجه به مقادیر ضرایب اضافه مقاومت، کاهش بر اثر شکل‌پذیری و اطمینان ارائه شده در جداول ۱ و ۲، به راحتی قابل محاسبه است. در جدول ۳ مقادیر این ضریب برای دیوارهای مورد مطالعه تحت زلزله‌های ناغان و طبس محاسبه و آورده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود، ضریب رفتار دیوارها تحت زلزله ناغان و طبس، اندکی تفاوت دارد، به

جدول ۱ ضرایب اضافه مقاومت و اطمینان دیوارهای مورد مطالعه

| مشخصات                                 | تغییرات | طبقه | F <sub>y</sub> | F <sub>u</sub> | Y    | R <sub>s</sub>                        | طبقه | F <sub>y</sub> | F <sub>u</sub> | Y    | R <sub>s</sub> | طبقه | F <sub>y</sub> | F <sub>u</sub> | Y    | R <sub>s</sub> |
|--|---------|------|----------------|----------------|------|---------------------------------------|------|----------------|----------------|------|----------------|------|----------------|----------------|------|----------------|
| ارتفاع تیر (cm)                        | ۶۰      | ۵    | ۱۰۲۸           | ۱۶۳۹           | ۱/۴۲ | ۱/۵۹                                  | ۱۰   | ۱۱۰۴           | ۱۹۱۳           | ۱/۳۸ | ۱/۷۳           | ۱۵   | ۱۰۵۸           | ۱۹۳            | ۱/۴۶ | ۱/۸۵           |
|  | ۸۰      |      | ۱۲۱۷           | ۱۸۷۷           | ۱/۶۸ | ۱/۵۴                                  |      | ۱۱۸۳           | ۲۱۹۶           | ۱/۴۸ | ۱/۸۶           |      | ۱۱۶۳           | ۲۰۲۰           | ۱/۶۰ | ۱/۷۴           |
|  | ۱۰۰     |      | ۱۲۴۲           | ۱۹۹۲           | ۱/۷۱ | ۱/۶۰                                  |      | ۱۲۶۲           | ۲۲۵۳           | ۱/۵۸ | ۱/۷۹           |      | ۱۰۹۴           | ۲۱۱۲           | ۱/۵۱ | ۱/۹۳           |
|  | ۱۲۰     |      | ۱۲۶۸           | ۲۱۲۹           | ۱/۷۵ | ۱/۶۸                                  |      | ۱۳۲۴           | ۲۳۷۶           | ۱/۶۶ | ۱/۷۹           |      | ۱۱۲۹           | ۲۲۲۲           | ۱/۵۶ | ۱/۹۷           |
| نسبت عرض تیر به عرض دیوار              | ۰/۷     |      | ۱۱۹۶           | ۲۰۷۶           | ۱/۶۵ | ۱/۷۴                                  |      | ۱۲۸۶           | ۲۰۷۶           | ۱/۶۱ | ۱/۶۱           |      | ۱۰۶۴           | ۱۶۳۳           | ۱/۴۷ | ۱/۵۳           |
|  | ۰/۸     |      | ۱۲۵۵           | ۲۲۲۶           | ۱/۷۳ | ۱/۷۷                                  |      | ۱۲۶۵           | ۲۲۲۶           | ۱/۵۸ | ۱/۷۶           |      | ۱۱۵۵           | ۱۸۳۹           | ۱/۵۹ | ۱/۵۹           |
|  | ۰/۹     |      | ۱۲۴۱           | ۲۲۳۴           | ۱/۷۱ | ۱/۸۰                                  |      | ۱۲۶۲           | ۲۲۲۴           | ۱/۰۸ | ۱/۷۷           |      | ۱۰۶۴           | ۱۹۶۹           | ۱/۴۷ | ۱/۸۵           |
|  | ۱       |      | ۱۲۴۲           | ۲۲۵۳           | ۱/۷۱ | ۱/۸۱                                  |      | ۱۲۶۲           | ۲۲۵۳           | ۱/۰۸ | ۱/۷۹           |      | ۱۰۵۸           | ۲۰۲۰           | ۱/۴۶ | ۱/۹۱           |
|  | ۱/۱     |      | ۱۳۰۱           | ۲۲۶۲           | ۱/۷۹ | ۱/۷۴                                  |      | ۱۲۷۵           | ۲۲۶۲           | ۱/۰۹ | ۱/۷۷           |      | ۱۰۲۴           | ۲۰۳۰           | ۱/۴۱ | ۱/۹۸           |
|  | ۱/۲     |      | ۱۲۷۵           | ۲۲۶۱           | ۱/۷۶ | ۱/۷۷                                  |      | ۱۲۹۸           | ۲۲۶۱           | ۱/۶۲ | ۱/۷۴           |      | ۱۱۱۱           | ۲۰۲۰           | ۱/۵۳ | ۱/۸۲           |
|  | ۱/۳     |      | ۱۲۴۴           | ۲۲۵۸           | ۱/۷۱ | ۱/۸۲                                  |      | ۱۳۰۴           | ۲۲۵۸           | ۱/۶۳ | ۱/۷۳           |      | ۱۰۵۲           | ۲۰۰۷           | ۱/۴۵ | ۱/۹۱           |
| ارتفاع طبقات (m)                       | ۲/۸     |      | ۱۲۹۵           | ۲۲۰۱           | ۱/۷۸ | ۱/۷۰                                  |      | ۱۲۸۶           | ۲۴۹۷           | ۱/۶۱ | ۱/۹۴           |      | ۱۱۳۴           | ۲۱۲۱           | ۱/۵۶ | ۱/۸۷           |
|  | ۳       |      | ۱۱۹۷           | ۲۱۱۲           | ۱/۶۵ | ۱/۷۶                                  |      | ۱۲۶۲           | ۲۳۷۶           | ۱/۰۸ | ۱/۸۸           |      | ۱۰۹۰           | ۲۰۷۶           | ۱/۵۰ | ۱/۹۰           |
|  | ۳/۲     |      | ۱۲۴۲           | ۱۹۹۲           | ۱/۷۱ | ۱/۶۰                                  |      | ۱۲۶۲           | ۲۲۵۲           | ۱/۰۸ | ۱/۷۹           |      | ۱۰۵۸           | ۲۰۲۰           | ۱/۴۶ | ۱/۹۱           |
|  | ۳/۴     |      | ۱۲۳۶           | ۱۹۷۰           | ۱/۷۰ | ۱/۵۹                                  |      | ۱۱۵۳           | ۲۲۸۰           | ۱/۴۴ | ۱/۹۸           |      | ۱۰۹۵           | ۲۰۲۸           | ۱/۵۱ | ۱/۸۵           |
| تعداد ردیف بازشو                       | ۱       |      | ۱۲۴۲           | ۱۹۹۲           | ۱/۷۱ | ۱/۶۰                                  |      | ۱۲۶۲           | ۲۲۵۲           | ۱/۰۸ | ۱/۷۹           |      |                |                |      |                |
|  | ۲       | ۲۳۷۳ | ۴۰۹۵           | ۱/۶۲           | ۱/۷۳ | ۱۸۷۴                                  | ۲۲۸۱ | ۱/۰۶           | ۱/۸۰           |      |                |      |                |                |      |                |
|  | ۳       | ۲۱۴۹ | ۳۶۹۰           | ۱/۴۷           | ۱/۷۲ | ۳۴۸۵                                  | ۷۰۳۸ | ۱/۴۵           | ۲/۰۲           |      |                |      |                |                |      |                |
| عرض پایه دیوارهای دارای بازشو نامتقارن | ۱×۳/۴   | ۹۷۸  | ۱۸۹۰           | ۱/۳۶           | ۲/۰۱ | ۱۰۱۶                                  | ۲۲۸۰ | ۱/۲۷           | ۲/۲۴           | ۹۹۲  | ۲۰۶۱           | ۱/۳۷ | ۲/۰۸           |                |      |                |
|  | ۱/۲×۳/۲ | ۱۱۰۱ | ۲۰۱۲           | ۱/۵۲           | ۱/۸۳ | ۱۰۵۶                                  | ۲۳۱۵ | ۱/۳۲           | ۲/۱۹           | ۹۶۱  | ۲۰۸۷           | ۱/۳۲ | ۲/۱۷           |                |      |                |
|  | ۱/۴×۳   | ۱۱۷۸ | ۲۰۳۱           | ۱/۶۲           | ۱/۷۲ | ۱۱۶۳                                  | ۲۳۳۰ | ۱/۴۵           | ۲/۰۰           | ۱۰۴۳ | ۲۱۱۳           | ۱/۴۴ | ۲/۰۳           |                |      |                |
|  | ۱/۶×۲/۸ | ۱۱۹۲ | ۲۰۵۲           | ۱/۶۴           | ۱/۷۲ | ۱۱۸۴                                  | ۲۳۶۲ | ۱/۴۸           | ۱/۹۹           | ۱۱۲۴ | ۲۰۹۲           | ۱/۵۵ | ۱/۸۶           |                |      |                |
|  | ۱/۸×۲/۶ | ۱۲۱۷ | ۲۱۴۸           | ۱/۶۸           | ۱/۷۶ | ۱۲۱۵                                  | ۲۴۳۰ | ۱/۵۲           | ۲/۰۰           | ۱۱۳۱ | ۲۱۶۷           | ۱/۵۶ | ۱/۹۲           |                |      |                |
|  | ۲×۲/۴   | ۱۲۰۹ | ۲۱۰۰           | ۱/۶۷           | ۱/۷۴ | ۱۲۲۴                                  | ۲۳۴۸ | ۱/۵۳           | ۱/۹۲           | ۱۱۸۷ | ۲۲۵۳           | ۱/۶۳ | ۱/۹۰           |                |      |                |
|  | ۲/۲×۲/۲ | ۱۱۸۵ | ۱۹۴۶           | ۱/۶۳           | ۱/۶۴ | ۱۲۴۸                                  | ۲۲۷۵ | ۱/۵۶           | ۱/۸۲           | ۱۰۹۸ | ۲۱۲۳           | ۱/۵۱ | ۱/۹۳           |                |      |                |
|  | متمركز  | ۱۲۴۲ | ۱۹۹۲           | ۱/۷۱           | ۱/۶۰ | ۱۲۶۲                                  | ۲۲۵۳ | ۱/۵۸           | ۱/۷۹           | ۱۱۶۳ | ۲۰۲۰           | ۱/۶۰ | ۱/۷۴           |                |      |                |
| گذاری                                  | ۱۱۳۳    | ۱۵۸۴ | ۱/۵۶           | ۱/۴۰           | ۱۲۰۲ | ۱۷۸۰                                  | ۱/۵۰ | ۱/۴۸           | ۱۱۳۷           | ۱۶۰۵ | ۱/۵۷           | ۱/۴۱ |                |                |      |                |
| دیوار ۲۰ طبقه با آرماتور متمركز        |         | ۹۶۸  | ۱۶۸۴           | ۱/۶۳           | ۱/۷۴ | دیوار ۲۰ طبقه با آرماتورگذاری یکنواخت |      |                |                |      |                | ۸۶۴  | ۱۳۵۲           | ۱/۵۳           | ۱/۵۶ |                |

جدول ۲ ضریب کاهش بر اثر شکل‌پذیری دیوارهای مورد مطالعه

| مشخصات                                 | تغییرات | طبقه | R <sub>y</sub> |       | طبقه | R <sub>y</sub> |      | طبقه | R <sub>y</sub> |      |      |
|--|---------|------|----------------|-------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
|  |         |      | ناغان          | طیس   |      | ناغان          | طیس  |      | ناغان          | طیس  |      |
| ارتفاع تیر (cm)                        | ۶۰      | ۵    | ۳/۷۷           | ۳/۹۷  | ۱۰   | ۳/۴۷           | ۳/۵۵ | ۱۵   | ۳/۴۶           | ۳/۶۹ |      |
|  | ۸۰      |      | ۳/۵۷           | ۳/۸   |      | ۳/۴            | ۳/۶۳ |      | ۳/۲۳           | ۳/۵۲ |      |
|  | ۱۰۰     |      | ۳/۴۴           | ۳/۵۷  |      | ۳/۲۹           | ۳/۵  |      | ۳/۲۲           | ۳/۲۲ |      |
|  | ۱۲۰     |      | ۳/۴۹           | ۳/۴   |      | ۳/۳۵           | ۳/۶۲ |      | ۳/۱۲           | ۳/۱۷ |      |
| نسبت عرض تیر به عرض دیوار              | ۰/۷     |      | ۳/۶            | ۳/۸۸  |      | ۳/۵۷           | ۳/۵۷ |      | ۳/۵۷           | ۳/۵۳ | ۳/۶۸ |
|  | ۰/۸     |      | ۳/۵۱           | ۳/۶۲  |      | ۳/۴۷           | ۳/۷۲ |      | ۳/۵۶           | ۳/۶۳ |      |
|  | ۰/۹     |      | ۳/۴۷           | ۳/۹۶۷ |      | ۳/۲۳           | ۳/۵۶ |      | ۳/۳۳           | ۳/۶۱ |      |
|  | ۱       |      | ۳/۴۴           | ۳/۵۷  |      | ۳/۲۹           | ۳/۵  |      | ۳/۲۳           | ۳/۵۲ |      |
|  | ۱/۱     |      | ۳/۳            | ۳/۵۵  |      | ۳/۵۵           | ۳/۴۲ |      | ۳/۲۹           | ۳/۴۷ |      |
|  | ۱/۲     |      | ۳/۵۱           | ۳/۸۳  |      | ۳/۴۳           | ۳/۶۲ |      | ۳/۳۸           | ۳/۳۷ |      |
|  | ۱/۳     |      | ۳/۶۵           | ۳/۷۴  |      | ۳/۴۷           | ۳/۵۹ |      | ۳/۳۵           | ۳/۶۱ |      |
| ارتفاع طبقات (m)                       | ۲/۸     |      | ۳/۳۷           | ۳/۴۹  |      | ۳/۱۵           | ۳/۲۳ |      | ۳/۲۳           | ۳/۲۴ |      |
|  | ۳       | ۳/۴  | ۳/۶۳           | ۳/۱۹  | ۳/۴۳ | ۳/۱۸           | ۳/۴۱ |      |                |      |      |
|  | ۳/۲     | ۳/۴۴ | ۳/۵۷           | ۳/۲۹  | ۳/۵  | ۳/۲۳           | ۳/۵۲ |      |                |      |      |
|  | ۳/۴     | ۳/۵۵ | ۳/۸۷           | ۳/۳۲  | ۳/۶۴ | ۳/۴۵           | ۳/۷۹ |      |                |      |      |
| تعداد ردیف بازشو                       | ۱       | ۳/۴۴ | ۳/۵۷           | ۳/۲۹  | ۳/۵  |                |      |      |                |      |      |
|  | ۲       | ۳/۹۴ | ۵/۲            | ۳/۹۵  | ۳/۸۷ |                |      |      |                |      |      |
|  | ۳       | ۴/۲۶ | ۵/۲۸           | ۳/۶۲  | ۳/۶۸ |                |      |      |                |      |      |
| عرض پایه دیوارهای دارای بازشو نامتقارن | ۱×۳/۴   | ۳/۵۴ | ۳/۸۵           | ۳/۴   | ۳/۷۴ | ۳/۷۳           | ۳/۹۶ |      |                |      |      |
|  | ۱/۲×۳/۲ | ۳/۶۷ | ۳/۸۸           | ۳/۴۵  | ۳/۸۲ | ۳/۵۹           | ۳/۸  |      |                |      |      |
|  | ۱/۴×۳   | ۳/۶۴ | ۳/۶۶           | ۳/۴۳  | ۳/۶۷ | ۳/۴۵           | ۳/۵۹ |      |                |      |      |
|  | ۱/۶×۲/۸ | ۳/۵۶ | ۳/۵۵           | ۳/۳۸  | ۳/۳۱ | ۳/۳۵           | ۳/۴۶ |      |                |      |      |
|  | ۱/۸×۲/۶ | ۳/۳۶ | ۳/۴۲           | ۳/۲۹  | ۳/۲۲ | ۳/۱۷           | ۳/۲۵ |      |                |      |      |
|  | ۲×۲/۴   | ۳/۴۹ | ۳/۵            | ۳/۲۸  | ۳/۲۸ | ۲/۹            | ۳/۳۵ |      |                |      |      |
|  | ۲/۲×۲/۲ | ۳/۵۳ | ۳/۴۴           | ۳/۳۴  | ۳/۳۲ | ۳/۳۲           | ۳/۴۷ |      |                |      |      |
| آرمانورگذاری                           | متمركز  | ۳/۴۴ | ۳/۵۷           | ۳/۲۹  | ۳/۵  | ۳/۲۳           | ۳/۵۲ |      |                |      |      |
|  | یکنواخت | ۴/۲۵ | ۴/۴۷           | ۳/۹۵  | ۴/۱۳ | ۴/۲۵           | ۴/۳۹ |      |                |      |      |
| ۳/۳۸ دیوار ۲۰ طبقه با آرمانور متمركز   |         |      |                |       |      |                |      |      | ۲/۸۵           | ۳/۳۵ |      |



جدول ۳ ضریب رفتار دیوارهای مورد مطالعه

| مشخصات                                  | تغییرات | طبقه  | R <sub>w</sub> |       | طبقه  | R <sub>w</sub> |       | طبقه | R <sub>w</sub> |       |
|---|---------|-------|----------------|-------|-------|----------------|-------|------|----------------|-------|
|   |         |       | ناغان          | طیس   |       | ناغان          | طیس   |      | ناغان          | طیس   |
| ارتفاع تیر (cm)                         | ۶۰      | ۵     | ۸/۵۱           | ۸/۹۶  | ۱۰    | ۸/۲۸           | ۸/۴۸  | ۱۵   | ۹/۳۵           | ۹/۹۷  |
|   | ۸۰      |       | ۹/۲۴           | ۹/۸۳  |       | ۹/۳۶           | ۹/۹۹  |      | ۸/۹۹           | ۹/۸۰  |
|   | ۱۰۰     |       | ۹/۴۱           | ۹/۷۷  |       | ۹/۳۰           | ۹/۹۰  |      | ۹/۳۸           | ۹/۳۸  |
|   | ۱۲۰     |       | ۱۰/۲۶          | ۱۰/۰۰ |       | ۹/۹۵           | ۱۰/۷۶ |      | ۹/۵۳           | ۹/۶۸  |
| نسبت عرض تیر به عرض دیوار               | ۰/۷     |       | ۸/۸۵           | ۹/۵۴  |       | ۹/۲۵           | ۹/۲۵  |      | ۷/۹۹           | ۸/۳۳  |
|   | ۰/۸     |       | ۹/۲۳           | ۹/۵۲  |       | ۹/۶۵           | ۱۰/۳۴ |      | ۹/۰۰           | ۹/۱۸  |
|   | ۰/۹     |       | ۹/۱۴           | ۹/۶۶  |       | ۹/۰۳           | ۹/۹۶  |      | ۹/۰۶           | ۹/۸۲  |
|   | ۱       |       | ۹/۴۱           | ۹/۷۷  |       | ۹/۳۰           | ۹/۹۰  |      | ۹/۰۱           | ۹/۸۲  |
|   | ۱/۱     |       | ۹/۱۰           | ۹/۷۹  |       | ۹/۹۹           | ۹/۶۲  |      | ۹/۱۹           | ۹/۶۹  |
|   | ۱/۲     |       | ۹/۵۱           | ۱۰/۱۱ |       | ۹/۹۷           | ۱۰/۲۰ |      | ۹/۴۱           | ۹/۳۸  |
|   | ۱/۳     |       | ۹/۷۴           | ۹/۹۸  |       | ۹/۷۹           | ۱۰/۱۲ |      | ۹/۲۸           | ۱۰/۰۰ |
| ارتفاع طبقات (m)                        | ۲/۸     |       | ۱۰/۲۰          | ۱۰/۵۶ |       | ۹/۸۴           | ۱۰/۰۹ |      | ۹/۴۲           | ۹/۴۵  |
|   | ۳       |       | ۹/۸۷           | ۱۰/۵۴ |       | ۹/۴۸           | ۱۰/۱۹ |      | ۹/۰۶           | ۹/۷۲  |
|   | ۳/۲     |       | ۹/۴۱           | ۹/۷۷  |       | ۹/۳۰           | ۹/۹۰  |      | ۹/۰۱           | ۹/۸۲  |
|   | ۳/۴     |       | ۹/۶۰           | ۱۰/۱۹ |       | ۹/۴۷           | ۱۰/۳۸ |      | ۱۰/۱۱          | ۱۱/۱۰ |
| تعداد ردیف بازشو                        | ۱       |       | ۹/۴۱           | ۹/۷۷  |       | ۹/۳۰           | ۹/۹۰  |      |                |       |
|   | ۲       | ۱۱/۰۴ | ۱۴/۵۷          | ۱۱/۴۶ | ۱۱/۲۳ |                |       |      |                |       |
|   | ۳       | ۱۰/۷۷ | ۱۳/۳۵          | ۱۰/۶۰ | ۱۰/۷۸ |                |       |      |                |       |
| عرض پایه دیوارهای دارای بازشو نامنتظران | ۱×۳/۴   | ۹/۶۸  | ۱۰/۵۲          | ۹/۶۷  | ۱۰/۶۴ | ۱۰/۶۳          | ۱۱/۲۸ |      |                |       |
|   | ۱/۲×۳/۲ | ۱۰/۲۱ | ۱۰/۷۹          | ۹/۹۷  | ۱۱/۰۴ | ۱۰/۲۸          | ۱۰/۸۸ |      |                |       |
|   | ۱/۴×۳   | ۱۰/۱۴ | ۱۰/۲۰          | ۹/۹۵  | ۱۰/۶۴ | ۱۰/۰۹          | ۱۰/۴۹ |      |                |       |
|   | ۱/۶×۲/۸ | ۱۰/۰۴ | ۱۰/۰۱          | ۹/۹۵  | ۹/۷۵  | ۹/۶۶           | ۹/۹۸  |      |                |       |
|   | ۱/۸×۲/۶ | ۹/۹۹  | ۱۰/۱۷          | ۱۰/۰۰ | ۹/۷۹  | ۹/۴۹           | ۹/۷۳  |      |                |       |
|   | ۲×۲/۴   | ۱۰/۰۸ | ۱۰/۱۱          | ۹/۶۴  | ۹/۶۴  | ۸/۹۸           | ۱۰/۳۷ |      |                |       |
|   | ۲/۲×۲/۲ | ۹/۴۴  | ۹/۲۰           | ۹/۵۴  | ۹/۴۸  | ۹/۶۸           | ۱۰/۱۱ |      |                |       |
|   |         | ۹/۴۱  | ۹/۷۷           | ۹/۳۰  | ۹/۹۰  | ۸/۹۹           | ۹/۸۰  |      |                |       |
| آرماتور گذاری                           | متمركز  | ۹/۴۱  | ۹/۷۷           | ۹/۳۰  | ۹/۹۰  | ۸/۹۹           | ۹/۸۰  |      |                |       |
|   | یکنواخت | ۹/۲۸  | ۹/۷۶           | ۸/۷۷  | ۹/۱۷  | ۱۰/۰۱          | ۱۰/۳۴ |      |                |       |
| دیوار ۲۰ طبقه با آرماتور متمركز         |         |       |                |       |       |                |       |      | ۸/۰۸           | ۹/۵۰  |

## ۹- منابع

- [7] R. E. Valles; A. M. Reinhorn; S. K. Kunnath; C. Li; A. Madan "IDARC 2D Version 5.5 USER'S GUIDE" Department of civil eng.; University of NewYork at Buffalo; July 2002.
- [8] R. E. Valles; A. M. Reinhorn; S. K. Kunnath; C. Li; A. Madan "IDARC 2D Version 4.0 TECHNICAL REPORT" Department of civil eng.; University of NewYork at Buffalo; January 1996.
- [9] Gabriel, O. Aguda; "Ultimate Strength Tests for RC Coupled Shear Walls with Two Bands of Opening" Experimental Rresearch; University of Dundee; October 1991.
- [10] Hidalgo, P. A.; Jordan; R. M, Martinez, M. P. "An Analytical Model to Predict the Inelastic Seismic Behavior of Shear-wall" Reinforced Concrete Structures; Department of Structural and Geotechnical Eng.; Catholic University of Chil; June 2001.
- [11] Sherif, El-Tawil; M. ASCE; Christofer, M Kuenzli "Pushover of Hybrid Coupled Walls. Analysis and Behavior;" Journal of Structural Engineering; Vol. 128; No. 10; October 2002.
- [۱] سینافر، مسعود؛ عربزاده، ابوالفضل؛ «رفتار دیوارهای برشی دارای بازشو تحت اثر نیروهای دینامیکی»؛ پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی عمران، گروه سازه؛ ۱۳۸۳.
- [۲] اسمیت، برایان استفورد؛ آکس، کول؛ «تحلیل و طراحی سازه‌های بلند»؛ ترجمه حسن حاجی کاظمی؛ انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۲۰۶، چاپ اول؛ ۱۳۷۵.
- [۳] سینافر، مسعود؛ دانشجو، فرهاد؛ «پاسخ لرزه‌ای غیرالاستیک قابهای خمشی فولادی»؛ سمینار کارشناسی ارشد؛ دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی؛ بخش مهندسی عمران، گروه سازه، ۱۳۸۱.
- [۴] عربزاده، ابوالفضل؛ اسماعیلی، محمد مهدی؛ «رفتار سازه لوله‌ای مهاربندی شده در ساختمانهای بلند تحت اثر نیروی زلزله»؛ ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی اصفهان؛ ۱۵-۱۷ اردیبهشت ۱۳۸۲.
- [۵] آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله؛ نشریه شماره ۲۵۳؛ استاندارد ۲۸۰۰ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ ویرایش دوم؛ آذر ۱۳۷۸.
- [۶] حبیب‌الله؛ اشرف؛ «تحلیل و طراحی سه‌بُعدی سازه‌های ساختمانی: مرجع جامع نرم‌افزار ETABS2000»؛ ترجمه محمدعلی برخورداری؛ دانشگاه هرمزگان؛ چاپ اول؛ ۱۳۸۰.

