

بررسی شکل‌پذیری مجموعه دیوار باربر بتنی با جزء مرزی

علیرضا رهایی^{*}، سید هادی راشدی

دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۵ اردیبهشت ۱۳۹۴
بازنگری: ۱۸ آبان ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۸ آبان ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۲ اسفند ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

مجموعه دیوار باربر بتنی
جزء مرزی
تحلیل استاتیکی غیرخطی
جزء رشته‌ای
ضریب رفتار

چکیده: مجموعه دال و دیوار بتنی درجا از مجموعه‌های متداول در ایران و سایر نقاط جهان است که به علت عملکرد مناسب آن در زلزله‌های گذشته، کاربرد گسترده‌ای یافته است. برای ارزیابی رفتار مجموعه دیوار باربر با جزء مرزی، از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی نرم‌افزار PERFORM-3D استفاده شده است. به منظور اطمینان از صحت الگوسازی‌ها به روش الیاف، الگوی مجزایی از یک دیوار با استفاده از این روش در نرم‌افزار مذکور ایجاد شده و نتایج تحلیل آن با نتایج الگوی آزمایشگاهی از دیوار باربر اعتبارسنجی شده است. بررسی انجام‌شده بر روی الگوهای با و بدون جزء مرزی با تعداد طبقات مختلف و با هدف تعیین ضریب رفتار و بررسی میزان شکل‌پذیری آن‌ها صورت گرفته است. نتایج بدست‌آمده نشان‌دهنده تأثیر محدود وجود اجزای جزء مرزی بر روی میزان شکل‌پذیری الگوهای مطالعاتی است. همچنین ضرایب رفتار محاسبه‌شده برای الگوهای مورد مطالعه با افزایش ارتفاع الگوها، تا ارتفاعی در حدود ۵۰ متر مقادیر قابل قبولی را بدست داده‌اند. اما در ارتفاع‌های بیشتر روند کاهش این ضرایب فزونی یافته است.

۱- مقدمه

مجموعه دیوار باربر بتنی یکی از مجموعه‌های سازه‌ای مناسب و قابل توجه برای ساختمان‌های میان‌مرتبه است. با توجه به تعداد دیوارها در پلان و کاهش سهم نیروی جانبی آن‌ها، این مجموعه علاوه بر مقاوم‌بودن در برابر زلزله، از نظر حجم مصالح مصرفی نیز اقتصادی است و می‌توان آن‌را با سرعت، دقت و کیفیت بالایی اجرا نمود. پیشرفت فناوری‌های جدید در استفاده از مصالح مهندسی ساخته‌شده، گزینه دیوار باربر را برای ساختمان‌های میان‌مرتبه اقتصادی ساخته است. کشورهای در معرض خطر زلزله مانند کانادا، رومانی، کلمبیا، ترکیه و غیره، از این مجموعه به صورت وسیعی استفاده می‌کنند.

مجموعه سازه‌ای دال و دیوار بتن آرمه باربر که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد، عموماً بدون تیر و ستون اجرا می‌شوند. عملکرد مطلوب این سازه‌ها در زلزله‌های گذشته نیازمند مطالعاتی گسترده‌ای است تا بتوان از این طریق با شناخت مناسب این مجموعه، آن‌را به عنوان گزینه‌ای مناسب در ساخت‌وسازها مطرح کرد.

امروزه بخش عمده‌ای از طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس روش استاتیکی معادل و محاسبه نیروی زلزله طراحی از طیف خطی زلزله با اعمال

ضریب کاهش به نام ضریب رفتار سازه صورت می‌گیرد. ضریب رفتار سازه، ضریبی است که بر اساس فلسفه طراحی به منظور بیان عملکرد غیرالاستیک سازه تعریف می‌شود و نشانگر مقاومت و شکل‌پذیری واقعی سازه در مرحله غیرالاستیکی است. هر چه ضریب شکل‌پذیری یک سازه بیشتر باشد، میزان جذب انرژی سازه بالاتر بوده و در نتیجه مقدار ضریب رفتار آن نیز بزرگتر خواهد بود. بنابراین با مشخص شدن ضریب رفتار برای یک سامانه سازه‌ای رفتار سازه معلوم و شناخته‌شده می‌شود. از این رو، تحقیقات بسیاری توسط محققان مختلف در ارتباط با رفتار لرزه‌ای سازه‌های دیوار باربر بتن مسلح به صورت آزمایش‌های تجربی و الگوهای تحلیلی صورت گرفته است. این در حالی است که امروزه روش‌های جدید طراحی بر اساس عملکرد، رفتار واقعی سازه را با روش دیگری بیان می‌کنند.

در سال ۱۹۷۷ آنیکریشنا و پارتاسارافی^[۱] مطالعاتی بر روی مقاومت نهایی و مشخصات فنی دیوارهای بتنی انجام داده‌اند. برای این منظور، ۱۸ الگو دیوار باربر بتنی با مقیاس بزرگ در آزمایشگاه برای ۵ نسبت ارتفاع به ضخامت متمایز و ۳ درصد فولاد مختلف ساخته و تحت بارگذاری قرار گرفته‌اند. مقاومت نهایی دیوارها به صورت نظری و با استفاده از چهار روش گوناگون بر اساس نظریه ستون‌ها و روابط آیین‌نامه ACI و همچنین با

نویسنده عهده‌دار مکاتبات: rahai@aut.ac.ir

^۱ P. Unnikrishna and C. V. Parthasarathy

صورت جزئی در نظر می‌گیرد. در حالی که روش ضریب تغییر مکان مقادیر قابل قبولی را در بیشتر موارد بدست می‌دهد.

در ادامه این تحقیقات و به منظور ارزیابی سختی و شکل‌پذیری مجموعه دیوار باربر، الگوهای متعددی از سازه دیوار باربر انتخاب شد. بعد از اعتبارسنجی روش تحلیل با نتایج تجربی برای اطمینان از صحت روش مطالعه، الگوهای مطالعاتی با نرم‌افزار [۵] PERFORM-3D، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی و با فرض دیوار با و بدون جزء مرزی^۵ در تعداد طبقات مختلف انجام شده و میزان شکل‌پذیری و ضریب رفتار این مجموعه‌ها بررسی شده است.

۲- مفاهیم اولیه طراحی لرزه‌ای

یکی از کاربردهای تحلیل استاتیکی غیرخطی (ارزیابی پوش‌آور^۶)، تعیین شکل‌پذیری و محاسبه ضریب رفتار سازه R است. آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای کنونی، نیروهای لرزه‌ای طراحی خطی ساختمان را از یک طیف خطی که وابسته به دوره تناوبی طبیعی ساختمان و شرایط خاک محل احداث ساختمان است، بدست می‌آورند و برای لحاظ کردن رفتار غیرخطی و اتلاف انرژی در اثر رفتار چرخه‌ای، میرایی و اثر اضافه مقاومت سازه، این نیروی خطی را به وسیله ضریبی به نام اصلاح رفتار یا ضریب رفتار به نیروی طراحی تبدیل می‌کنند.

تاکنون روابط متعددی برای تعیین ضریب رفتار در سامانه‌های یک درجه آزادی پیشنهاد شده که می‌توان بر اساس آن‌ها با داشتن ظرفیت شکل‌پذیری سامانه، ضریب رفتار آن‌را محاسبه کرد. به دلیل وجود شکل‌پذیری، سازه قابلیت اتلاف انرژی چرخه‌ای را دارا است. بنابراین نیروی کشسان سازه می‌تواند به وسیله ضریبی به نام ضریب رفتار کلی R تا حد مقاومت جاری شدن کاهش یابد. مقدار کلی ضریب رفتار بر اساس پیشنهاد ATC-19 [۶] از رابطه ۱ بدست می‌آید.

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

بر اساس نمودار بار-تغییر شکل، ضریب شکل‌پذیری μ از رابطه ۲ بدست می‌آید.

$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (2)$$

به دلیل شکل‌پذیری و رفتار غیرخطی سازه، نیروی خطی سازه (V_e) می‌تواند به نیروی (V_y) کاهش یابد. بنابراین می‌توان ضریب کاهش نیرو را مطابق با رابطه ۳ تعریف کرد.

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y} \quad (3)$$

در عمل به دلیل پیچیده‌بودن محاسبه V_e از روش انرژی، این فراسنج با توجه به زمان تناوب سازه مورد بررسی، به کمک روابط گوناگونی (که از

بکارگیری روش یوکل^۱ محاسبه شده‌اند. مقایسه نتایج نظری و آزمایشگاهی نشان داد که برای دیوارهای باربر بتنی مسلح، ارائه روش‌های طراحی بر اساس نظریه ستون‌ها و روابط تجربی بسیار محافظه‌کارانه هستند و روابطی برای اصلاح این موارد ارائه شده است. همچنین نتایج نشان داد که در این نوع دیوارها، درصد فولادگذاری تأثیر کمی بر روی مقاومت نهایی دیوار خواهد گذاشت.

در سال ۲۰۰۲ هان و همکاران^۲ [۲] مطالعاتی را بر روی شکل‌پذیری و مقاومت دیوارهای سازه‌ای انجام داده‌اند. به همین منظور، سه نوع الگو دیوار در اندازه واقعی تحت آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی قرار دادند. سپس فراسنج‌های لرزه‌ای این دیوارها با فراسنج‌های ارائه‌شده در آیین‌نامه‌های کشور کره، UBC و ATC مقایسه شد. نتایج نشان داد که مقاومت نهایی بدست‌آمده از بارگذاری دیوارها با مقاومت محاسباتی مندرج در آیین‌نامه ACI-318 همخوانی مناسبی داشته است. همچنین مقایسه برش پایه دیوارها با مقادیر محاسباتی آیین‌نامه‌ای نشان داده است که ضریب رفتار ارائه‌شده در آیین‌نامه UBC همخوانی بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد.

در سال ۲۰۰۴، چایا و اندرسون^۳ [۳] پانل‌های پیش‌ساخته بتنی همراه با بازشو را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیقات، یک نمونه دیوار پانلی (که حفراتی برای تعبیه درب و پنجره در آن قرار داشته است) تحت آزمایش بارگذاری رفت و برگشتی قرار گرفت و مشخصات لرزه‌ای آن بررسی شد. نتایج نشان داد که این‌گونه دیوارها سختی و مقاومت زیادی را از خود نشان می‌دهند. اما قابلیت شکل‌پذیری آن‌ها پایین است. همچنین روند ترک‌خوردگی دیوارهای پانلی با بازشو نیز مورد بررسی قرار گرفت و پیشنهادهایی برای کاهش این ترک‌خوردگی‌ها با رعایت چیدمان مناسب میلگردها ارائه شد.

در سال ۲۰۰۴، چانگ هاین و همکاران^۴ [۴] مطالعاتی را بر روی پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های دیوار باربر انجام داده‌اند؛ به این صورت که سازه‌ای متشکل از دو سری دیوارهای بتن مسلح که با مقیاس یک‌سوم در ۵ طبقه ساخته و به صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته و توسط ۶ کف مربعی شکل به یکدیگر متصل شده‌اند و الگوها تحت زلزله‌های حوزه دور و نزدیک بر روی میز لرزه قرار گرفتند. پاسخ‌های لرزه‌ای بدست‌آمده از الگوسازی این دیوارها در نرم‌افزارهای SAP2000 و RCAHEST، مانند پیشینه جایجایی نسبی طبقات و پیشینه نیروی برش پایه که با استفاده از دو روش طیف ظرفیت (ATC-40) و روش ضریب تغییر مکان (FEMA-356) بدست آمده‌اند، با نتایج بدست‌آمده از آزمایش‌ها مقایسه شدند. این مقایسه نشان داد که پاسخ‌های لرزه‌ای بدست‌آمده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی الگو ساخته‌شده در نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی همخوانی مناسبی دارند. همچنین روش طیف ظرفیت، رفتار سازه را در محدوده غیرخطی به

¹ Yokel method

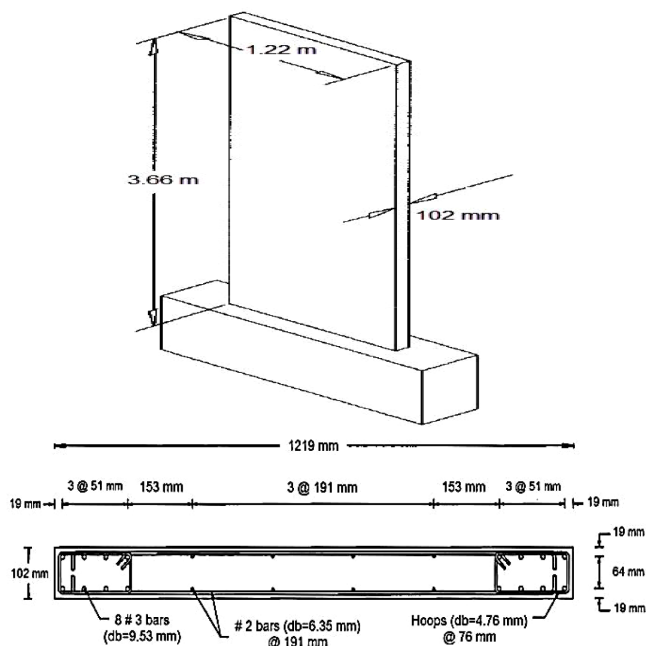
² S. W. Han et al.

³ Y. H. Chaia and J. D. Anderson

⁴ C. H. Hyun et al.

⁵ Boundary Element

⁶ pushover analysis



شکل ۱: ابعاد و جزئیات دیوار مورد آزمایش

Fig. 1. Wall Details

است. برای میلگردهای قائم و اصلی اعضای مرزی دیوار از میلگرد #۳ با قطر ۹/۵۳ میلی‌متر، برای میلگردهای افقی و قائم جان دیوار از میلگرد #۲ با قطر ۶/۳۵ میلی‌متر و برای خاموت‌های اعضای مرزی از سیم صاف با قطر ۴/۷۶ میلی‌متر استفاده شده است. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب بیانگر نتایج آزمایشگاهی منحنی تنش-کرنش نمونه‌های استوانه‌ای بتن تشکیل‌دهنده دیوار و منحنی تنش-کرنش مصالح فولادی در هنگام آزمایش هستند. بر اساس نمونه‌های گرفته‌شده در زمان آزمایش مقاومت فشاری بتن در پایین‌ترین تراز دیوار به میزان ۴۲/۸ مگا پاسکال بوده است. بیشینه کرنش متناظر با تنش فشاری بیشینه بتن معادل با ۰/۰۰۲ بوده است.

بار محوری به مقدار تقریبی $0.07 A_g f'_c$ به وسیله دو جک هیدرولیکی (که در بالاترین قسمت دیوارها نصب شده‌اند)، به صورت یکنواخت و ثابت در طی آزمایش به دیوار وارد شده است. از یک مقطع دبل ناودانی برای انتقال یکنواخت بار جک‌های قائم و جلوگیری از تمرکز تنش و خردشدگی بتن سطح مقطع دیوار در محل اتصال به جک‌ها استفاده شده است. از یک محرک هیدرولیکی که در گوشه بالاترین تراز دیوار به صورت افقی جاسازی شده، به منظور وارد کردن تغییر مکان جانبی به صورت تناوبی و با روند افزایشی استفاده شده است.

تحلیل استاتیکی غیرخطی برای بدست‌آوردن منحنی ظرفیت دیوار و تحلیل دینامیکی غیرخطی با استفاده از برداشت جابجایی جانبی اعمال شده به دیوار در آزمایشگاه، برای بدست‌آوردن رفتار چرخه‌ای و منحنی چرخه‌ای دیوار انجام شده است.

در شکل ۴ منحنی بار-جابجایی الگو آزمایشگاهی و تحلیلی ترسیم و مقایسه شده است. بر اساس این اشکال، نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی و

طرف محققان مختلف پیشنهاد شده است) محاسبه می‌شود.

در انجام این تحقیق، برای محاسبه ضریب کاهش نیرو از رابطه ۴ پیشنهاد شده توسط میراندا و همکاران [۷] به شرح زیر استفاده شده است.

$$R_{\mu} = \frac{\mu - 1}{\phi} + 1 \geq 1 \quad (4)$$

در رابطه ۴، ϕ تابعی از μ و T زمان تناوب سازه و شرایط خاک محل بوده و به صورت رابطه ۵ بیان می‌شود.

$$\phi = 1 + \frac{1}{10T - \mu T} - \frac{1}{2T} \exp[-1.5(\ln(T) - 0.6)^2] \quad (5)$$

مقاومت ذخیره‌شده در سازه، از حد اولین جاری‌شدن سازه V_s تا حد مقاومت نهائی و ایجاد سازوکار و خرابی واقعی سازه V_y ، اضافه مقاومت نامیده می‌شود. نسبت این دو نیرو ضریب اضافه مقاومت است که با R_s نشان داده شده و طبق رابطه ۶ تعریف می‌شود.

$$R_s = \frac{V_y}{V_s} \quad (6)$$

برای طراحی در روش تنش مجاز، آئین‌نامه‌های طراحی نیروی V_s را به نیروی طراحی V_w کاهش می‌دهند. این کاهش توسط ضریب تنش مجاز که طبق رابطه ۷ تعریف می‌شود، صورت می‌گیرد.

$$R_R = \frac{V_s}{V_w} \quad (7)$$

ضریب تنش مجاز در حالت طراحی به روش تنش مجاز برای سازه‌های فولادی و بتن مسلح معمولاً مقداری در حدود ۱/۴ تا ۱/۵ در نظر گرفته می‌شود. این ضریب برای طراحی به روش مقاومت نهایی برابر یک است.

۳- الگوسازی دیوار باربر

برای اطمینان از صحت روش الگوسازی و تحلیل در نرم‌افزار PERFORM-3D، ابتدا الگوی مجزایی از یک دیوار با استفاده از الگوی الیاف، ایجاد شده و نتایج تحلیل آن با نتایج الگوی آزمایشگاهی که توسط تومسن و والاس^۲ در سال ۱۹۹۵ [۸] انجام شده، مقایسه گردیده است. این آزمایش برای بررسی رفتار دیوارهای لاغر بتن مسلح که به طور همزمان تحت بار ثقلی و جانبی قرار گرفته‌اند، انجام شده است.

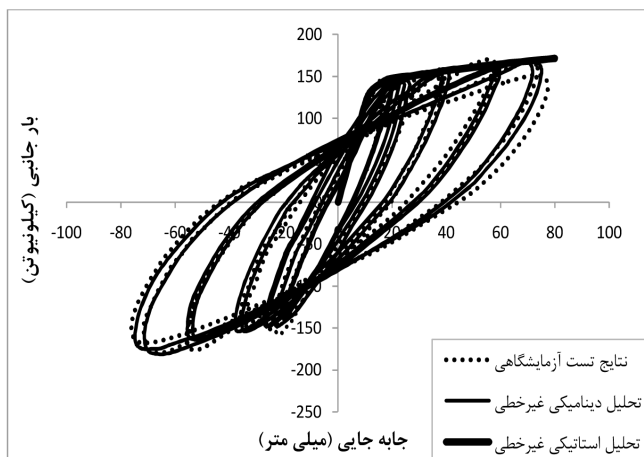
دیوار مورد بررسی در مقیاس یک‌چهارم اندازه واقعی و با مقطع مستطیلی ساخته شده است و دارای طولی معادل ۱۲۲۰، ضخامت ۱۰۲ و ارتفاع ۳۶۶۰ میلی‌متر است.

در شکل ۱ ابعاد مقطع دیوار، مشخصات میلگردهای طولی و عرضی و فاصله رعایت‌شده بین میلگردها ارائه شده است.

از سه نوع میلگرد متفاوت برای میلگردگذاری مقطع دیوار استفاده شده

¹ E. Miranda et al.

² J. H. Thomsen and J. W. Wallace



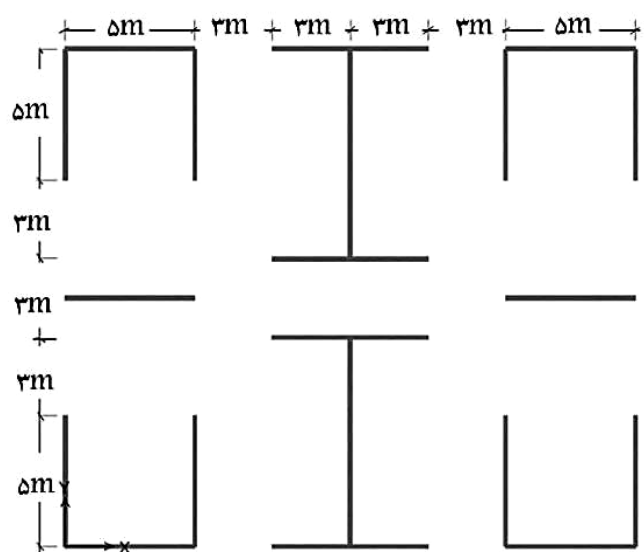
شکل ۴: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج تحلیلی بدست آمده از نرم افزار

Fig. 4. The Results of the Analysis

دیوارها در حد متوسط منظور شده است. تعداد ۲۴ دیوار سازه‌ای در پلان تعبیه شده است و ضخامت دال کف ۱۵۰ میلی‌متر و دیافراگم کف صلب در نظر گرفته شده است. برای الگوسازی از جزءهای دال و دیوار نرم‌افزار استفاده شده و تکیه‌گاه‌های پای دیوارها به صورت گیردار الگو شده است. شکل ۵، پلان عمومی طبقات نشان داده شده است.

مشخصات مصالح مصرفی و بارگذاری انجام‌شده در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند.

برای طراحی خمشی-محوری دیوارها از دو روش میلگردگذاری یکنواخت و روش جزء لبه‌ای در نرم‌افزار ETABS استفاده شده است. در ساخت الگو غیرخطی باید توجه شود که جزء انتخاب‌شده رفتار



شکل ۵: پلان سازه‌ای و نحوه جاگذاری دیوارها

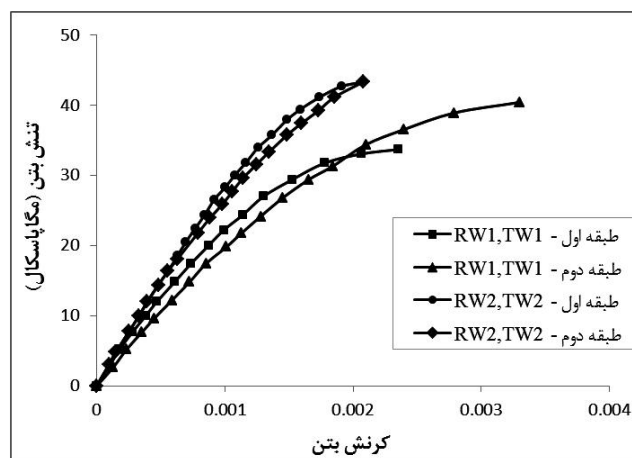
Fig. 5. Typical Floor Plan

تحلیل دینامیکی غیرخطی با خطای قابل قبولی در حدود ۵ الی ۱۰ درصد رفتار واقعی دیوار را پیش‌بینی کرده‌اند. همچنین این مقایسه نشان می‌دهد که الگوسازی مقاطع دیوار برابر به روش الیاف‌بندی از دقت بسیار بالایی برخوردار است.

۴- معرفی الگوهای مطالعاتی

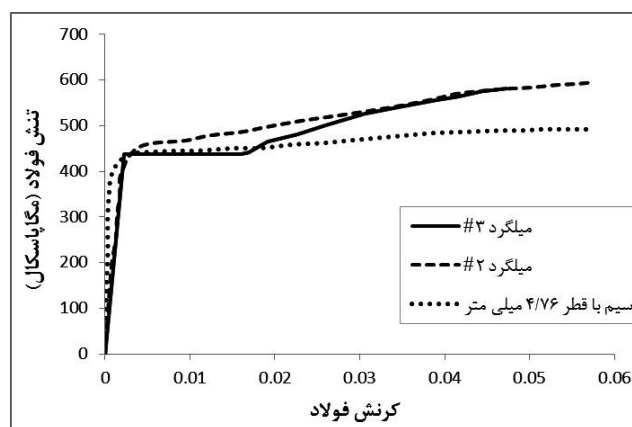
پلان پایه که برای الگوسازی مجموعه دال و دیوار بتنی درجا با تعداد طبقات مختلف استفاده شده، مربوط به ساختمانی واقعی با کاربری اداری است که طراحی آن‌ها بر اساس آیین‌نامه سازه‌های بتنی آمریکا (ACI 318-11) [۹] و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان با استفاده از نرم‌افزار ETABS انجام شده است.

برای ساده‌سازی الگو، بازشوی دیوارها حذف شده است. ارتفاع طبقات برابر با ۳ متر و زیربنای هر طبقه در حدود ۴۱۸ متر مربع است. مجموعه مقاوم این ساختمان به صورت دیوار و دال دو طرفه بوده و شکل‌پذیری



شکل ۲: نتایج آزمایشگاهی منحنی تنش-کرنش مصالح بتنی

Fig. 2. Concrete Material Stress-Strain Relations



شکل ۳: نتایج آزمایشگاهی منحنی تنش-کرنش مصالح فولادی

Fig. 3. Steel Material Stress-Strain Relations

با جزءهای رشته‌ای نشان داده شده است.

برای بررسی نیاز یا عدم نیاز به جزء مرزی در دیوارها و طراحی آن‌ها از دو روش ارائه شده توسط آیین‌نامه (ACI 11-318) استفاده شده است. رفتار غیر خطی مصالح در نرم‌افزار با استفاده از الیاف‌بندی مقاطع و اختصاص دادن منحنی تنش-کرنش غیرخطی مصالح به الیاف‌ها تعریف شده است.

در این تحقیق برای تعریف منحنی تنش-کرنش غیرخطی الیاف‌های بتنی در ناحیه فشاری و در حالت‌های محصور شده و محصور نشده از الگو ارائه شده توسط مندر و همکاران^۲ در سال ۱۹۸۸ استفاده شده است [۱۰، ۱۱]. منحنی تنش-کرنش بتن محصور شده به الیاف‌های بتنی اجزای مرزی دیوارهای سازه‌ای و منحنی تنش-کرنش بتن محصور نشده به الیاف‌های بتنی ناحیه جان دیوارهای باربر اختصاص داده شده است.

برای الگو کردن رفتار غیرخطی الیاف‌های مربوط به میلگردها، از منحنی تنش-کرنش دو خطی استفاده شده است. مطابق با دستورالعمل بهسازی ساختمان‌های موجود، بیشینه کرنش فشاری در میلگردها به میزان ۰/۰۲ و بیشینه کرنش کششی به میزان ۰/۰۵ محدود شده است. بنابراین اجازه در نظر گرفتن کرنش‌های خارج از این محدوده (که در واقعیت منجر به تغییر شکل‌های بزرگ و پارگی میلگردها می‌گردد)، داده نشده است.

تحلیل استاتیکی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار ذکر شده و با روش توزیع بار بر اساس جرم‌ها و اشکال مودی بر روی الگوها انجام شده و منحنی‌های ظرفیت بدست آمده‌اند.

۵- منحنی‌های ظرفیت

نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی به صورت منحنی جابجایی نقطه کنترل سازه (تراز بام) به ازای مقادیر مختلف نیروی برشی پایه بدست می‌آید. این منحنی که به منحنی ظرفیت^۳ سازه معروف است، بیانگر قابلیت سازه در تحمل نیروهای جانبی ناشی از زلزله است. در شکل‌های ۷ تا ۱۰ منحنی‌های ظرفیت برای توزیع بار بر اساس جرم‌ها و اشکال مودی در دو راستای افقی و برای الگوهای مطالعاتی رسم شده‌اند.

پس از رسم منحنی‌های دو خطی ایده‌آل مربوط به هر یک از منحنی‌های ظرفیت الگوهای با و بدون جزء مرزی در الگوهای ۱۲، ۱۶ و ۲۰ طبقه، به تعیین فراسنجهای لرزه‌ای مجموعه دال و دیوار بتنی، در هر دو جهت الگوهای سه‌بعدی به شکل مجزا پرداخته شده و سپس از نتایج دو جهت میانگین گرفته شده است. در جدول‌های ۳ تا ۵، ضرایب اضافه مقاومت R_p ، شکل‌پذیری μ ، ضرایب کاهش نیرو R_{μ} و در نهایت ضرایب رفتار R بر مبنای طراحی به روش مقاومت نهایی، برای الگوهای مورد مطالعه محاسبه شده‌اند.

همان‌طور که در منحنی‌های ظرفیت نیز مشاهده می‌شود، با افزایش

جدول ۱: مشخصات مصالح مصرفی

Table 1. Material Properties

دال و دیوار بتنی (مگا پاسکال)	جزء سازه‌ای
$2/1 \times 10^5$	E_s
۴۰۰	F_y
$2/5 \times 10^4$	E_c
۲۸	f'_c

جدول ۲: بارگذاری موجود بر حسب کیلو نیوتن بر متر مربع

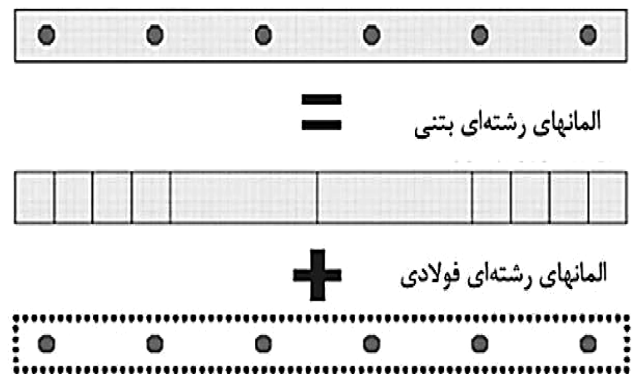
Table 2. Loading (kN/m²)

تراز	(بار مرده (بدون احتساب مقاطع بتنی دال و دیوار	بار زنده
بام	۳	۱/۵
طبقات	۳/۵	۲/۵

غیرخطی عضو را تا حد امکان مشابه با واقعیت شبیه‌سازی کند. در بیشتر نرم‌افزارهای کاربردی مانند SAP و ETABS، جزء مجزایی برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی دیوارهای برشی وجود نداشته و از معادل‌سازی آن با جزءهای قابی استفاده می‌شود که این روش‌ها برای مجموعه دال و دیوار، عمدتاً با مشکلات بسیاری همراه است و نتایج مناسبی را دربر نخواهد داشت. بر این اساس، در این تحقیق برای الگوسازی و تحلیل غیرخطی دیوارهای برشی از جزءهای دیوار برشی نرم‌افزار PERFORM-3D استفاده شده است. این جزء، مقطع دیوار را به صورت مجموعه‌ای از جزءهای رشته‌ای^۱ در نظر می‌گیرد و با این روش تحلیل غیرخطی دیوار را به صورت مستقیم ممکن می‌سازد. در شکل ۶، نمونه‌ای از معادل کردن مقطع دیوار برشی بتنی

^۱ Fiber Elements

قطعه‌ی واقعی دیوار

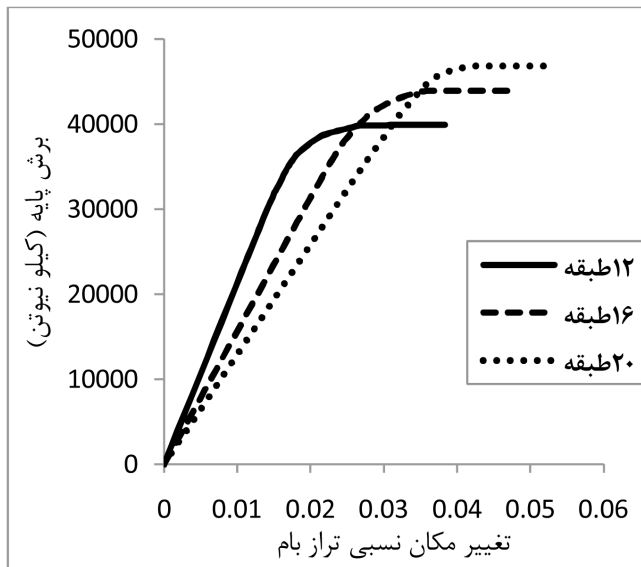


شکل ۶: الیاف‌بندی مقطع دیوار در نرم‌افزار

Fig. 6. Fiber Elements

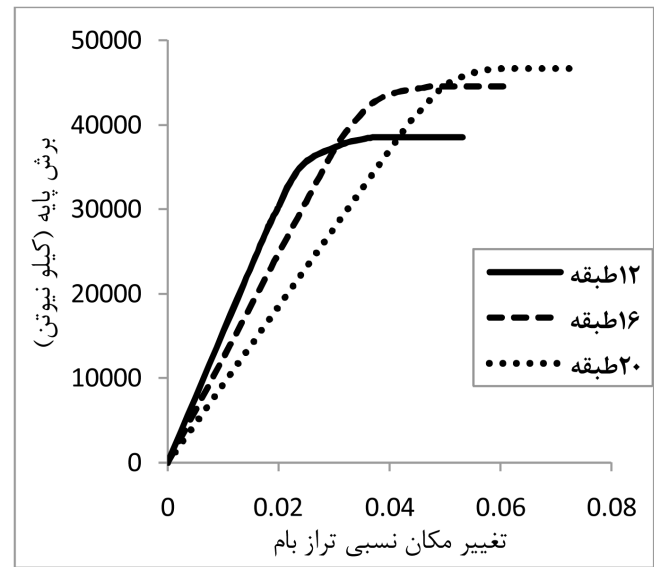
^۲ J. B. Mander et al.

^۳ Capacity Curve



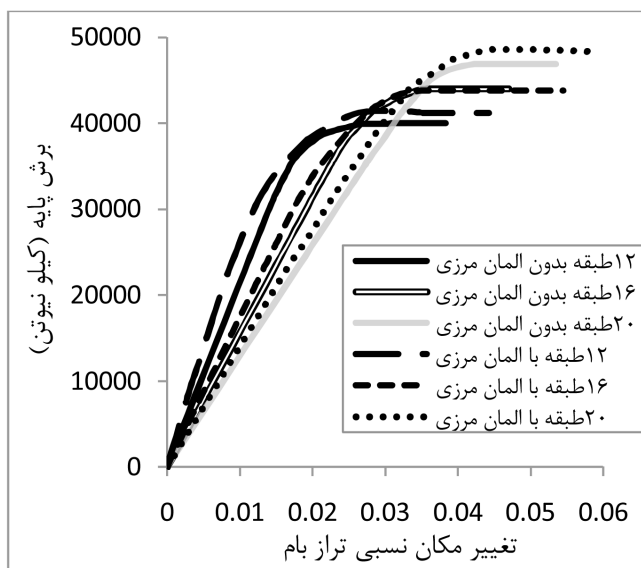
شکل ۸: منحنی ظرفیت الگوهای بدون جزء مرزی در راستای Y

Fig. 8. Capacity curve of models without boundary element in Y direction



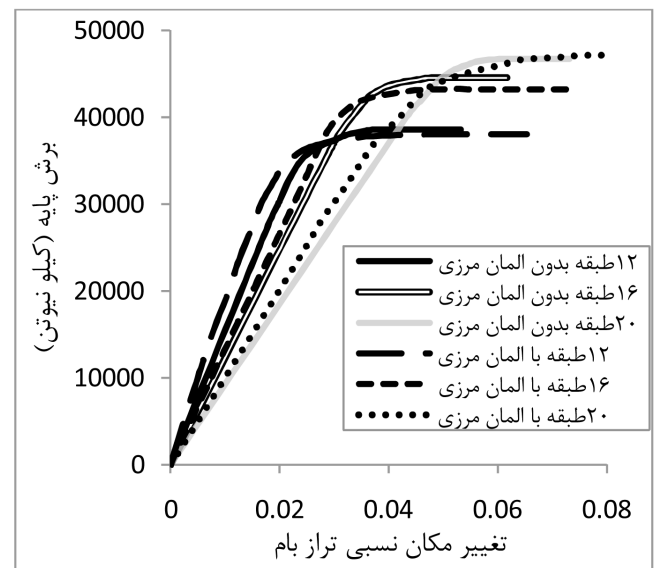
شکل ۷: منحنی ظرفیت الگوهای بدون جزء مرزی در راستای X

Fig. 7. Capacity curve of models without boundary element in X direction



شکل ۱۰: مقایسه منحنی ظرفیت الگوها با و بدون جزء مرزی در راستای Y

Fig. 10. The capacity curve of models in Y direction



شکل ۹: مقایسه منحنی ظرفیت الگوها با و بدون جزء مرزی در راستای X

Fig. 9. The capacity curve of models in X direction

۱۰ درصد در مقدار برش پایه‌ها داشته است.

۶- ضرایب رفتار ارائه شده در آیین‌نامه‌های مختلف

برای دیوارهای باربر بتنی در تمام آیین‌نامه‌ها، مقادیری به عنوان ضریب رفتار ارائه شده است. در این تحقیق برای مقایسه ضرایب رفتار بدست آمده

تعداد طبقات سختی اولیه (شیب اولیه منحنی ظرفیت) کاهش یافته و ظرفیت باربری جانبی (مساحت زیر منحنی ظرفیت) افزایش می‌یابد.

همچنین از منحنی‌های ظرفیت مشخص است که در الگوهای مطالعاتی وجود جزء مرزی در دیوارها سبب افزایش ۱۰ تا ۴۰ درصدی در مقدار جابجایی جانبی نقطه کنترل سازه (تراز بام) شده و تأثیر کمی در حدود ۵ تا

جدول ۳: خلاصه نتایج مربوط به محاسبه ضرایب رفتار برای الگوهای ۱۲ طبقه

Table 3. Calculated reduction factors for 12-story models

R	R_{μ}	μ	R_R	R_s	جهت اعمال الگوی بار	نوع الگوسازی
۴/۹	۲/۷۵	۲/۶۵	۱	۱/۷۸	X	
۳/۴۷	۲/۳۹	۲/۳۱	۱	۱/۴۵	Y	دیوار بدون جزء مرزی
۴/۱۶	۲/۵۷	۲/۴۸	۱	۱/۶۲	Ave	
۶/۲۷	۳/۰۶	۲/۹۶	۱	۲/۰۵	X	
۴/۶۷	۲/۶۱	۲/۵۲	۱	۱/۷۹	Y	دیوار با جزء مرزی
۵/۴۵	۲/۸۴	۲/۷۴	۱	۱/۹۲	Ave	

۱۲ طبقه

جدول ۴: خلاصه نتایج مربوط به محاسبه ضرایب رفتار برای الگوهای ۱۶ طبقه

Table 4. Calculated reduction factors for 16-story models

R	R_{μ}	μ	R_R	R_s	جهت اعمال الگوی بار	نوع الگوسازی
۴/۷۳	۳/۲۴	۲/۷۸	۱	۱/۴۶	X	
۳/۵۵	۲/۸۲	۲/۴۴	۱	۱/۲۶	Y	دیوار بدون جزء مرزی
۴/۱۲	۳/۰۳	۲/۶۱	۱	۱/۳۶	Ave	
۶/۳۸	۳/۴۱	۲/۹۲	۱	۱/۸۷	X	
۵/۲۹	۳/۱۱	۲/۶۷	۱	۱/۷	Y	دیوار با جزء مرزی
۵/۸۳	۳/۲۶	۲/۸	۱	۱/۷۹	Ave	

۱۶ طبقه

جدول ۵: خلاصه نتایج مربوط به محاسبه ضرایب رفتار برای الگوهای ۲۰ طبقه

Table 5. Calculated reduction factors for 20-story models

R	R_{μ}	μ	R_R	R_s	جهت اعمال الگوی بار	نوع الگوسازی
۲/۹	۲/۱۵	۱/۸۷	۱	۱/۳۵	X	
۲/۴۴	۱/۹۵	۱/۷۲	۱	۱/۲۵	Y	دیوار بدون جزء مرزی
۲/۶۷	۲/۰۵	۱/۸	۱	۱/۳	Ave	
۳/۹۵	۲/۵۸	۲/۱۶	۱	۱/۵۳	X	
۲/۸۹	۲/۱۹	۱/۹۲	۱	۱/۳۲	Y	دیوار با جزء مرزی
۳/۴۲	۲/۳۹	۲/۰۴	۱	۱/۴۳	Ave	

۲۰ طبقه

دلیل این که مقادیر بدست آمده برای ضرایب رفتار در این تحقیق بر مبنای روش مقاومت نهایی بوده است، ضرایب رفتار آیین نامه‌هایی که بر مبنای روش تنش مجاز هستند، در حدود ۲۸ تا ۳۴ درصد کاهش داده شده‌اند تا بتوان ضرایب رفتار بدست آمده در این تحقیق و مقادیر ارائه شده در

با مقادیر آیین نامه‌ای، از مقادیر ضرایب رفتار ارائه شده در آیین نامه‌های UBC-97 [۱۲]، NEHRP 2003 [۱۳] و ASCE7 2010 [۱۴] و آیین نامه ۲۸۰۰ ایران [۱۵] استفاده شده است و مقادیر آن‌ها در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶: مقادیر ارائه شده برای ضرایب رفتار در آیین نامه های مختلف بر مبنای طراحی به روش مقاومت نهایی

Table 6. Response Reduction Factors for Concrete Bearing Wall Systems

R	مجموعه مقاوم در برابر نیروهای جانبی	آیین نامه	مجموعه سازه
۴/۵	دیوارهای برشی بتنی	UBC-97	
۵	دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه	NEHRP-2003	
۴	دیوارهای برشی بتن مسلح معمولی		
۵	دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه	ASCE7-2010	مجموعه دیوارهای باربر
۴	دیوارهای برشی بتن مسلح معمولی		
۵	دیوارهای برشی بتن مسلح ویژه	آیین نامه ۲۸۰۰ ایران	
۴	دیوارهای برشی بتن مسلح متوسط		
۳/۵	دیوارهای برشی بتن مسلح معمولی		

است. در اکثر این آیین نامه ها، ضریب رفتار فقط بر حسب نوع مجموعه سازه ای ارائه می شود؛ در صورتی که این ضریب به عوامل مختلفی از جمله دوره تناوبی سازه وابسته است. آیین نامه ها برای یک نوع مجموعه سازه ای، ضریب رفتار واحدی را برای تمامی محدوده دوره های تناوبی ارائه می دهند که این موضوع، نمی تواند ضریب اطمینان کافی را داشته باشد.

ضرایب رفتار محاسبه شده برای الگوهای مورد مطالعه تا ارتفاعی در حدود ۵۰ متر مقادیر قابل قبول و نزدیک به یکدیگر را نشان می دهند. اما در ارتفاع های بیشتر، روند کاهشی این ضرایب افزایش می یابد.

با مقایسه ضرایب رفتار بدست آمده و مقادیر ارائه شده در آیین نامه های مختلف، مشخص شد که مقادیر بدست آمده برای الگوهای ۱۲ و ۱۶ طبقه قابل قبول بوده است. اما این مقدار برای الگو ۲۰ طبقه کمتر از مقادیر آیین نامه ای بدست آمده است که علت آن با توجه به منحنی های ظرفیت بدست آمده، مربوط به رفتار این الگو اغلب در محدوده خطی است. به این ترتیب، به نظر می رسد که استفاده از ضرایب رفتار آیین نامه های موجود، برای سازه های با مجموعه دیوار باربر بتنی تا ارتفاعی در حدود ۵۰ متر قابل قبول باشند.

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، می توان گفت که به علت کاهش روند شکل پذیری این سازه ها در ارتفاع های بیشتر، ارتفاع بهینه برای این مجموعه سازه ای در حدود ۵۰ متر است که این مقدار، با مقدار ارائه شده در استاندارد ۲۸۰۰ ایران [۱۵] نیز تطابق مناسبی را دارد.

مراجع

- [1] P., Unnikrishna, C. V., Parthasarathy; Ultimate Strength and Design of Concrete Walls, *Building and Environment*, pp. 25-29, Pergamon Press, Britain, 1977.
- [2] S. W., Han, Y. H., Oh, L. H., Lee; Seismic Behaviour of Structural Walls with Specific Details, *Magazine of*

آیین نامه ها را به صورت مستقیم با یکدیگر مقایسه نمود.

۷- نتیجه گیری

همان طور که در منحنی های ظرفیت مشاهده شد، با افزایش تعداد طبقات سختی اولیه کاهش یافته و ظرفیت باربری جانبی افزایش می یابد. کاهش سختی اولیه در سازه های با تعداد طبقات بالاتر نشان دهنده افزایش زمان تناوب اصلی مود اول ارتعاشی با افزایش ارتفاع برای این سازه ها است. از منحنی های ظرفیت مشخص است که در الگوهای مطالعاتی وجود جزء مرزی در دیوارها سبب افزایش تقریباً ۱۰ تا ۴۰ درصدی در مقدار جابجایی جانبی نقطه کنترل سازه (تراز بام) شده و تأثیر حدود ۵ تا ۱۰ درصدی در مقدار برش پایه ها دارد. بنابراین وجود جزء مرزی در دیوارها سبب افزایش ظرفیت باربری جانبی الگوهای مورد مطالعه شده است. همچنین با محاسبات انجام شده مشخص شد که میزان شکل پذیری الگوهای مطالعاتی در صورت وجود جزء مرزی، افزایش کمی می یابند که علت این امر، ضخامت زیاد دیوارها در طبقات است.

عموماً میزان شکل پذیری در سازه های بتنی با بالا رفتن تعداد طبقات افزایش می یابد. زیرا سازه با افزایش ارتفاع، عملکرد نرم تری را از خود نشان می دهد. اما در این نوع مجموعه ها، بالا رفتن ضخامت دیوارها در ارتفاع های بالاتر و در نتیجه ایجاد سختی بیشتر در پای ساختمان و همچنین افزایش بار محوری موجود در طبقه اول با افزایش تعداد طبقات، از پتانسیل شکل پذیری این ساختمان ها کاسته است. مقادیر شکل پذیری بدست آمده برای راستای Y الگوها نیز کمتر از راستای X هستند که علت آن، بالاتر بودن چگالی دیوارهای باربر در راستای Y و قوی تر و سخت تر بودن الگوها در این راستا است.

برای سازه های دیوار باربر بتنی با در نظرگیری شکل پذیری متوسط دیوارها، ضریب رفتاری توسط آیین نامه های موجود در حدود ۴ ارائه شده

- Concrete Knowledge*, Farmington Hills, 2011.
- [10] J. B., Mander, M. J. N., Priestley, R., Park; Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826, 1998.
- [11] J. B., Mander, M. J. N., Priestley, R., Park; Observed Stress-Strain Model of Confined Concrete, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 114, No. 8, pp. 1827-1849, 1988.
- [12] UBC, Uniform Building Code, *Structural Engineering Design Provisions, UBC-97*, Vol. 2, USA, 1997.
- [13] NEHRP, National Earthquake Hazards Education Program, Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings and other Structures, *Building Seismic Safety Council*, Washington DC, 2003.
- [14] ASCE, American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Building and other Structures, Structural Engineering Institute, *ASCE/SEI 7-10*, USA, 2010.
- [15] Standard 2800, Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, *Institute of Standard and Industrial Research of Iran*, 3rd Edition, 2005.
- Concrete Research*, Vol. 54, No. 5, pp. 333-345, 2002.
- [3] Y. H., Chaia, J. D., Anderson; Seismic Response of Perforated Lightweight Aggregate Concrete Wall Panels or Low-Rise Modular Classrooms, *Engineering Structures*, Vol. 27, No. 4, pp. 593-604, 2005.
- [4] C. H., Hyun, S., Choi, K. R., Choi, H. M., Shin J. H., Park; Seismic Response Evaluation of an RC Bearing Wall by Displacement-Based Approach, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 2649, Canada, 2004.
- [5] Perform 3D V5.0.0, Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structure, *Computer and Structures Inc.*, Berkeley CA, 2011.
- [6] ATC-19, Applied Technology Council, Structural Response Modification Factors, *California Seismic Safety Commission*, Redwood City, California, 1995.
- [7] E., Miranda, M., Eeri, V., Bertero; Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design, *Earthquake Spectra*, Vol. 10, No. 2, pp. 357-379, 1994.
- [8] J. H., Thomsen, J. W., Wallace; Displacement Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls- Experimental Verification, *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 4, pp. 618-630, 2004.
- [9] ACI, American Concrete Institute, Building Code Requirement for Structural Concrete, *Advancing*

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



Please cite this article using:

A. R., Rahai, S. H., Rashedi, "Evaluation of Ductility of Bearing Concrete Wall Systems with Regard to their Boundary Element". *Amirkabir J. Civil Eng.*, 49(1) (2017) 13-21.

DOI: 10.22060/ceej.2017.10468.4896