

## بررسی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی بتن آرمه با بازشوهای برون‌محور

علی خیرالدین، سیدآرمین حسینی

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۶-۱۱-۲۲  
بازنگری: ۱۳۹۷-۰۱-۰۳  
پذیرش: ۱۳۹۷-۰۲-۲۶  
ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۰۲-۲۹

### کلمات کلیدی:

دیوار برشی  
دیوار پایه  
بازشو، برون‌محوری  
تیر رابط  
دیوارهای هم‌بسته

**خلاصه:** لرزه‌های بزرگ ثبت شده در جهان نشان می‌دهند که آسیب‌ها و مکانیزم‌های انهدام در دیوارهای سازه‌ای بتن آرمه به مجموعه‌ای از عوامل شامل الگوی نقشه در طبقات و ارتفاع، ابعاد دیوارهای سازه‌ای و بازشوها و بسیاری مواردی دیگر بستگی دارد. در دهه‌های اخیر تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی متعددی جهت بررسی رفتار دیوارهای سازه‌ای با بازشو صورت گرفته‌است. در این مقاله به بررسی تحلیلی دیوارهای برشی بتن آرمه با بازشوهای برون‌محور پرداخته شده‌است. در راستای این هدف، تغییرات در پارامترهای مختلف شامل نسبت ابعادی بازشو در پنج مرحله، هفت ساختمان بتن آرمه‌ی مختلف ده، نه، هشت، هفت، شش، پنج و چهار طبقه، سختی در تیر رابط در چهار مرحله و نسبت ابعادی بازشو با اتصال‌های ساده‌ی مفصلی در دو انتهای تیر رابط در پنج مرحله مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در نهایت به تحلیل و مقایسه‌ی جابه‌جایی نسبی و جابه‌جایی مرکز جرم طبقه‌های سازه، برش و خمش در تیرهای رابط و نیروی محوری در ستون هم‌بسته با دیوار پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که کاهش نسبت ابعادی بازشوها، از نیروی محوری در ستون هم‌بسته با دیوار کاسته می‌شود و با افزایش سختی تیر رابط، نیروهای برشی در تیر رابط افزایش می‌یابند هم‌چنین جابه‌جایی مرکز جرم و جابه‌جایی نسبی کاهش می‌یابد. مقاومت اجزای دیوارهای برشی ناشی از موقعیت قرارگیری بازشو برون‌محور در بارگذاری جهت رفت و برگشت کاملاً متفاوت می‌باشند. در مقایسه‌ی هفت ساختمان مشاهده می‌شود که کاهش نسبت ابعادی دیوار نیروی محوری در ستون هم‌بسته با دیوار و برش در تیر رابط کاهش می‌یابد.

### ۱- مقدمه

جای گذاشت که در بیشتر موارد این خسارات ساختمان‌های بنایی و غیرمسلح شامل می‌گردید و در مقابل اکثر ساختمان‌های بتن آرمه عملکرد نسبتاً خوبی را از خود نشان دادند. بررسی‌های دقیق‌تر نشان داد این ساختمان‌ها دارای دیوارهای برشی بوده و هم‌چنین درصد بالایی از آرماتورهای طولی در نواحی مرزی دیوارها قرار گرفته‌است. با این حال، این دیوارها به دلیل کمبود آرماتورهای عرضی در اجزای مرزی و هم‌چنین وجود بازشوهای نامنظم در طبقه‌ها، دارای نقص‌هایی بودند [۱].

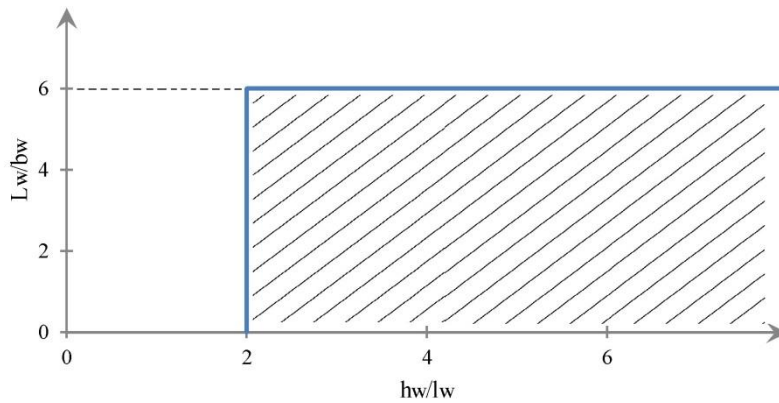
دیوارهای سازه‌ای<sup>۱</sup> (برشی) دیوارهایی هستند که برای تحمل نیروهای جانبی درون صفحه ناشی از نیروهای باد یا زلزله در ساختمان‌ها استفاده می‌شوند. با افزایش ارتفاع ساختمان‌ها، اطمینان از سختی کافی ساختمان‌ها تحت بارهای جانبی، بیشتر مورد اهمیت قرار می‌گیرد. زلزله‌ی ۱۹۸۵ شیلی تلفات و خسارات قابل‌توجهی بر

1 Structural Wall

به‌طور کلی در اعضای سازه‌ای تا حد امکان باید از ایجاد بازشو و یا

\* نویسنده‌دار مکاتبات: kheyroddin@semnan.ac.ir





شکل ۱. نمودار نسبت ابعادی دیوار پایه [۳]  
Fig. 1. Dimensional aspect ratio of wall piers

می‌باشند، که به سبب وجود بازشوها حاصل می‌شوند. آیین‌نامه بتن آمریکا<sup>۵</sup> ضوابط ابعادی دیوار پایه‌ها را در قالب جدولی بیان می‌کند، این جدول به شکل نموداری ملموس‌تر مطابق شکل ۱ مشاهده می‌شود. اجیه هاشور خورده نسبت ابعادی دیوار پایه را شامل می‌شود و  $l_w$ ،  $h_w$  و  $b_w$  به ترتیب طول، ارتفاع و ضخامت دیوار پایه می‌باشند. در تحلیل و طراحی این عضو سازه‌ای بایست حساسیت بالایی مدنظر قرار داد، زیرا با افزایش سختی تیر رابط نسبت به دیوار پایه احتمال تشکیل مفصل پلاستیک در دیوار پایه به طرز قابل توجهی افزایش می‌یابد؛ در مواردی این اعضا مشابه ستون‌های ویژه طراحی می‌شوند [۳]. در دیوارهای برشی، با افزایش سختی تیر رابط یکپارچگی عملکرد دو دیوار هم‌بسته بیشتر می‌شود، که در نهایت این اعضا به صورت یک عضو واحد عمل می‌کنند. در این وضعیت وجود بازشو به عنوان یک نقطه‌ی ضعف در سازه تلقی می‌شود [۴ و ۵].

## ۲- توصیه‌های آیین‌نامه‌ای در دیوارهای با بازشو

بر طبق آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتنی استرالیا<sup>۶</sup> و اروپا<sup>۷</sup> اگر دیوار سازه‌ای از چهار طرف مهار شده باشد و مساحت و ارتفاع بازشو به ترتیب کم‌تر از  $1/10$  و  $1/3$  مساحت و ارتفاع کل دیوار باشد می‌توان اثر بازشو را نادید گرفت، در غیر این صورت، بخش قرار گرفته بین سایر اعضا و بازشو، دارای مهارشدگی از سه طرف و بخش دیگر بین بازشوها (اگر بازشو بیشتر از یکی باشد) به صورت مهار شده در دو

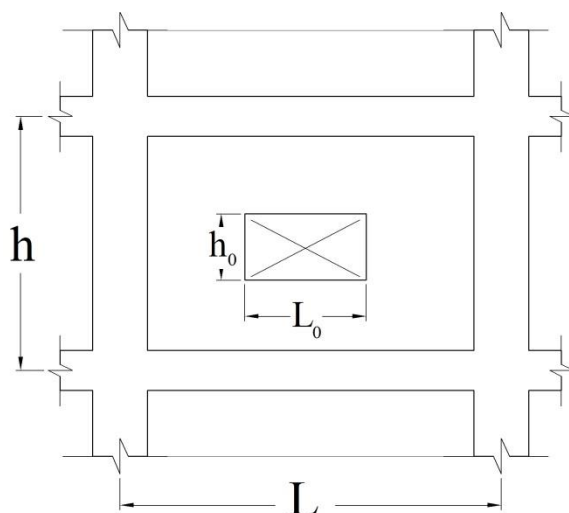
هرگونه سوراخی با اهداف غیرسازه‌ای نظیر معماری جلوگیری کرد. به عبارتی دستیابی به حداقل اثرات نامطلوب ناشی از قطع یک قسمت از عضو سازه‌ای مدنظر می‌باشد، با این حال با توجه به شرایط و نوع نیاز ممکن است بازشوهایی در اجزای سازه‌ای در نظر گرفته‌شوند. این بازشوها، به عنوان نقطه‌ی ضعف به شمار می‌آیند. سختی و ظرفیت باربری هر عضو سازه‌ای با بازشو متاثر از ابعاد و موقعیت قرارگیری بازشوها می‌باشد؛ در مواردی می‌توان بازشوهایی کوچک را نادیده گرفت در حالی که بازشوهایی بزرگ تغییرات قابل توجهی را در سیستم سازه‌ای ایجاد می‌کنند اما هیچ تعریف روشنی از آستانه اندازه بازشو وجود ندارد. در دیوارهای برشی در مواردی ممکن است این بازشوها در نواحی لبه‌ای دیوارهای سازه‌ای (بازشوهایی برون‌محور) قرار گیرند، با توجه به نوع رفتار دیوارهای برشی باریک و لاغر و نقش مهم اجزای مرزی در تحمل نیروهای فشاری و کششی حاصل از بارهای ثقلی و لرزه‌ای، این موضوع باعث بحرانی‌تر شدن اثر بازشو در دیوار می‌شود؛ در نتیجه در این حالت خاص عملکرد دیوارهای سازه‌ای و عضو حاصل شده در اثر بازشوهایی برون‌محور (عضو بین بازشو و لبه) بایست با حساسیت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد [۲].

وجود بازشوها می‌تواند باعث شکل‌گیری اعضای جدیدی به نام دیوار پایه‌ها<sup>۱</sup> و تیرهای رابط<sup>۲</sup> شود. دیوار پایه‌ها (جز عمودی دیوار<sup>۳</sup>) و تیرهای هم‌بند (جز افقی دیوار<sup>۴</sup>) به عنوان اجزایی از دیوارهای برشی

- 
- 1 Wall Pier
  - 2 Coupling Beam, Link Beam, Connecting Beam
  - 3 Vertical Wall Segment
  - 4 Horizontal Wall Segment

---

5 American Concrete Institute (ACI 318-2014)  
6 AS 3600 (Standards Australia 2009)  
7 EN 1992-1-1 (CEN 2004)



شکل ۲. دیوار سازه‌ای با بازشو

Fig. 2. Structural wall with opening

هم‌چنین مقاومت برشی هر یک از دیوار پایه‌ها به تنهایی نباید بیش از  $V_u \leq 0.83\sqrt{f_c}A_{cv}$  فرض شود.  $A_{cv}$  سطح مقطع کل دیوار و  $f_c'$  مقاومت فشاری بتن می‌باشد [۹].

### ۳- عملکرد برون‌محور در برش خالص

در تحقیقات ونگ و همکاران در سال ۲۰۱۰، سه نمونه دیوار برشی به صورت سه طبقه در مقیاس ۴۰٪ همراه با بازشوی برون‌محور ساخته شده‌است. تمام نمونه‌ها برای شکست برشی طراحی شده‌اند. نسبت بازشوها در نمونه‌های L1، M1، S1 به ترتیب ۰/۳، ۰/۳۴ و ۰/۴۶ می‌باشد (شکل ۳) [۱۰].

نتایج این تحقیقات بیان می‌کند، با توجه به آن‌که نمونه‌ی L1 بزرگ‌ترین بازشورا به خود اختصاص داده‌است، حداکثر مقاومت برشی دیوار L1 در مقایسه با سایر نمونه‌ها در بارگذاری در هر دو جهت رفت و برگشت کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین می‌توان نتیجه گرفت که ظرفیت بارگذاری در جهت فشار با توجه به محل قرارگیری بازشو برون‌محور و مکانیزم انتقال برش بیشتر از بارگذاری در جهت کشش می‌باشد. در این تحقیقات مشاهده می‌شود که کاهش مقاومت در نمونه‌های S1 و M1 ناگهانی بوده در حالی که در نمونه L1 با بازشوی بزرگ‌تر نسبت به نمونه‌های دیگر کاهش تدریجی بوده‌است.

هم‌چنین در دیوارهای S1، M1 به دلیل شکست برشی در تیرهای کوتاه، انهدام تدری قبل از رسیدن به حداکثر ظرفیت بارگذاری

طرف رفتار کرده، که به عنوان دو عضو مستقل عمل می‌کنند [۶ و ۷]. استاندارد طراحی سازه‌های بتن آرمه ژاپن<sup>۱</sup>، ضریب کاهش مقاومت  $r_u$  و ضریب کاهش سختی  $r_e$  برای محاسبه مقاومت برشی و سختی برشی در دیوارهای سازه‌ای با بازشو در نظر گرفته‌است، این متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شود [۸].

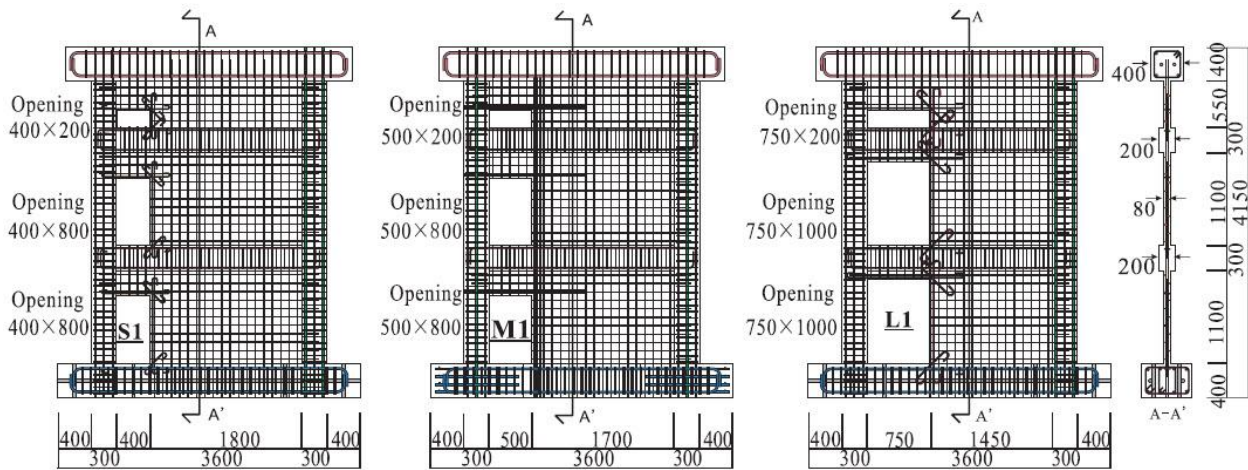
$$r_u = 1 - \eta \quad (1)$$

$$r_e = 1 - 1.25 \sqrt{\frac{h_0 l_0}{h l}} \quad (2)$$

$$\zeta = \max \left\{ \sqrt{\frac{h_0 l_0}{h l}}, \frac{l_0}{l} \right\} \quad (3)$$

نسبت بازشو  $\zeta$ ،  $L_0$  و  $h_0$  به ترتیب طول و ارتفاع بازشو،  $L$  فاصله‌ی مرکز به مرکز بین دو ستون و  $h$  فاصله‌ی مرکز به مرکز بین تیر بالایی و تیر پایینی می‌باشد (شکل ۲). لازم به ذکر است، این معادلات تا زمانی که حداکثر نسبت بازشو به ۰/۴ محدود شده باشد، معتبر می‌باشند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده‌شده، به واسطه بازشو با مساحت و ابعاد مشابه، می‌توان گفت ضرایب کاهش آیین‌نامه‌ای مستقل از شکل و موقعیت قرارگیری بازشو هستند [۳].

آیین‌نامه ACI 318-2014 مقاومت برشی اسمی برای کل دیوار و دیوار پایه‌های کنار بازشو که یک نیروی جانبی مشترک را متحمل می‌شوند، نباید بیش از مقدار  $V_u \leq 0.66\sqrt{f_c}A_{cv}$  (kg, cm) و



شکل ۳. ابعاد و الگوی آرماتورگذاری دیوارها (تمام ابعاد برحسب mm) [۱۰]

Fig. 3. Dimensions and reinforcement arrangement (dimensions in mm)

جدول ۱. مقاومت برشی (KN)

Table 1. Maximum lateral load

جهت بارگذاری کشش		جهت بارگذاری فشار		
$Q_{code}$	$Q_{exp}$	$Q_{code}$	$Q_{exp}$	
-۷۷۳ (۱/۰۸)	-۸۳۸	۷۷۳ (۱/۲۵)	۹۶۷	S1
-۶۲۶ (۱/۱۵)	-۷۲۳	۶۲۶ (۱/۴۲)	۸۸۹	M1
-۶۳۶ (۱/۰۲)	-۶۴۹	۶۶۳ (۱/۰۸)	۶۸۶	L1

\* عدد داخل پرانتز نسبت عدد آزمایشگاهی به عدد حاصل از محاسبات

نتایج آزمایشگاهی نزدیک تر می باشد.

با توجه به این موضوع که در آیین نامه برای هر دو جهت بارگذاری رفت و برگشت از ضرایب مشابه استفاده شده است و همچنین مساحت مؤثر در میدان فشاری متناظر با جهت بارگذاری رفت و برگشت در محاسبات لحاظ نشده است، به عبارتی آیین نامه هیچ گونه ملاحظاتی در مورد موقعیت قرارگیری بازشو در دیوار مدنظر ندارد، بنابراین می توان نتیجه گرفت که آیین نامه در تعیین ظرفیت دیوارهای برشی با بازشو دارای نقص هایی می باشد [۱۱].

#### ۴- مدل مورد مطالعه

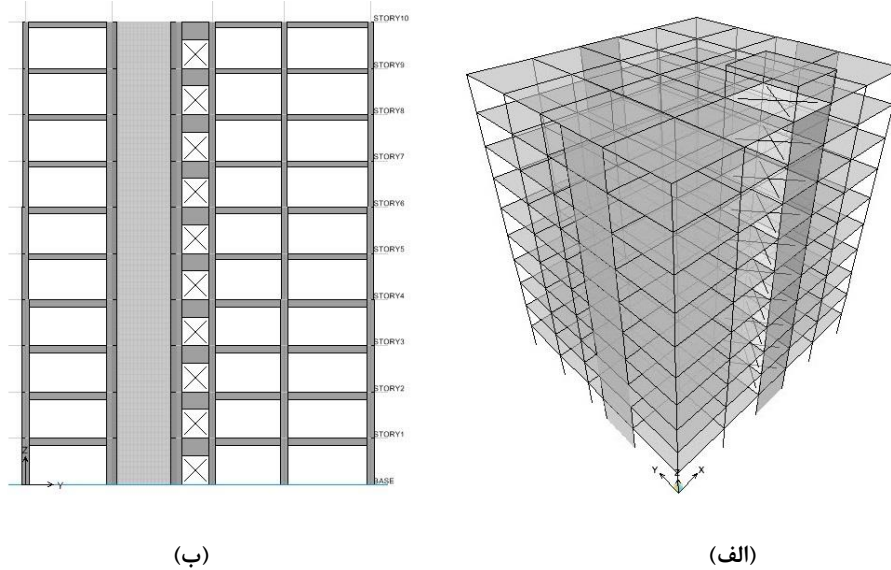
در این مقاله، در گام اول یک سازه ی ده طبقه بتن آرمه با نسبت های ابعادی بازشو طی پنج مرحله، در گام دوم تغییر در سختی تیر رابط طی چهار مرحله، گام سوم تغییر در نسبت ابعادی بازشو با

مشاهده می شود. از طرف دیگر، دیوار L1 با رفتاری شکل پذیر بعد از تسلیم خمشی در تیرهای دهانه کوتاه و در نهایت با لغزش برشی منهدم شده است.

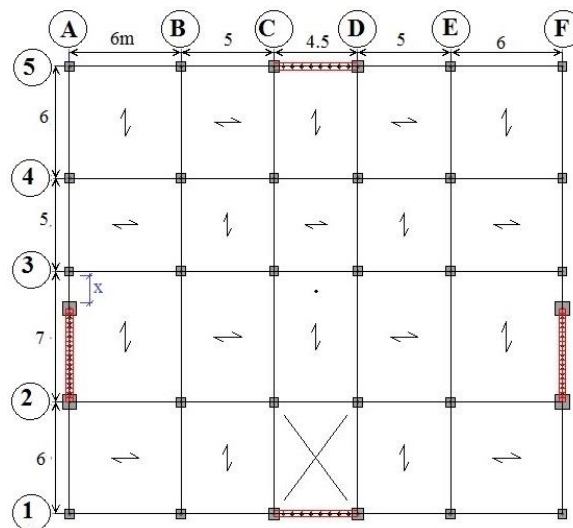
#### ۳-۱- محاسبه تقریبی مقاومت برشی و سختی

در جدول ۳ مقایسه ای بین نتایج آزمایشگاهی و روابط آیین نامه ژاپن، برای ارزیابی دقت روابط آیین نامه ای در محاسبه ی ظرفیت دیوارهای سازه ای بتن آرمه با بارگذاری در هر دو جهت صورت گرفته است.

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود  $Q_{code}$  و  $Q_{exp}$  به ترتیب مقاومت برشی حاصل از نتایج آزمایشگاهی و مقاومت برشی حاصل از ضریب کاهش آیین نامه ای AIJ می باشد. نتایج به دست آمده از ضریب کاهش آیین نامه ای AIJ در جهت کشش (بارگذاری از راست به چپ) در مقایسه با بارگذاری در جهت فشار (بارگذاری از چپ به راست)، به



شکل ۴. (الف) نمای سه بعدی محاسباتی، (ب) نمای جانبی و نمایش بازشوها  
 Fig. 4. (a) Three-dimensional view of the building, and (b) elevation view of openings



شکل ۵. پلان ساختمان  
 Fig. 5. Plan view in each story

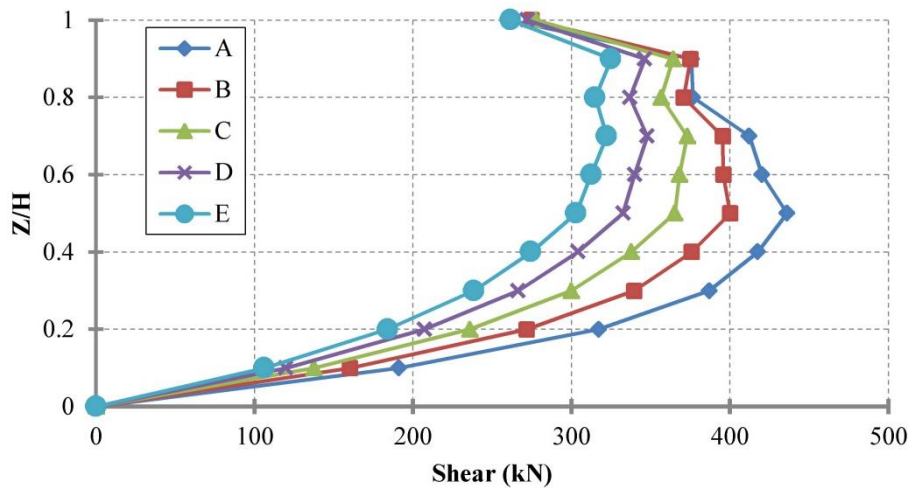
آرمه متوسط و سیستم سازه‌ای سقف از نوع تیرچه بلوک شرط‌رنجی می‌باشد (شکل ۵). زمین ساختگاه از خاک نوع I ( $T_s = 0.4$ ) مدنظر بوده و منطقه احداث آن، منطقه‌ای با خطر نسبی زیاد فرض شده‌است. طراحی سازه‌ای این مدل با استفاده از نرم‌افزار Etabs و بر طبق آیین‌نامه طراحی ACI 318-2011 و آیین‌نامه لرزه‌ای ایران استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم انجام شده‌است.

اتصالات مفصلی در تیر رابط طی پنج مرحله و در گام چهارم هفت ساختمان بتن آرمه با نسبت‌های ابعادی متفاوت دیوار مورد مطالعه قرار می‌گیرند. ارتفاع هر طبقه برابر با ۳/۲ متر، به مساحت تقریبی ۶۰۰۰ متر مربع با کاربری مسکونی مورد بررسی قرار گرفته‌است (شکل ۴). سیستم سازه‌ای باربر جانبی ساختمان مدل‌سازی شده از نوع سیستم دوگانه قاب خمشی بتن آرمه متوسط و دیوار برشی بتن

جدول ۲. حداکثر برش و خمش در تیر رابط

Table 2. Maximum shear and moment in link beams

Z/H	A, kN-m		B		C		D		E	
	برش	خمش	برش	خمش	برش	خمش	برش	خمش	برش	خمش
1	260.95	-150.55	274.90	-189.21	277.59	-223.29	272.21	-250.99	261.65	-272.21
0.9	375.6434	-181.54	375.1452	-225.48	364.0851	-262.35	346.2496	-291.049	325.0262	-312.27
0.8	376.5402	-189.02	370.9603	-229.97	356.6121	-263.85	336.983	-290.053	315.0622	-309.183
0.7	412.2113	-203.76	395.3722	-242.62	372.9531	-273.71	347.8438	-297.426	322.2363	-314.464
0.6	420.1826	-211.14	395.77	-246.01	368.1704	-273.21	339.7729	-293.341	312.4715	-307.589
0.5	435.9257	-216.62	400.1549	-247.00	365.1812	-269.67	332.4992	-285.87	302.9061	-297.13
0.4	417.4923	-209.84	375.8427	-234.15	337.78	-251.39	304.0021	-263.249	274.6083	-271.221
0.3	386.9027	-193.00	339.673	-210.64	299.8172	-222.40	266.4378	-230.069	238.5385	-234.951
0.2	317.2543	-158.23	271.8184	-168.69	235.848	-175.06	207.2515	-178.854	184.2347	-181.146
0.1	190.9105	-97.956	160.2214	-101.53	137.304	-103.42	119.8671	-104.423	106.3161	-104.921



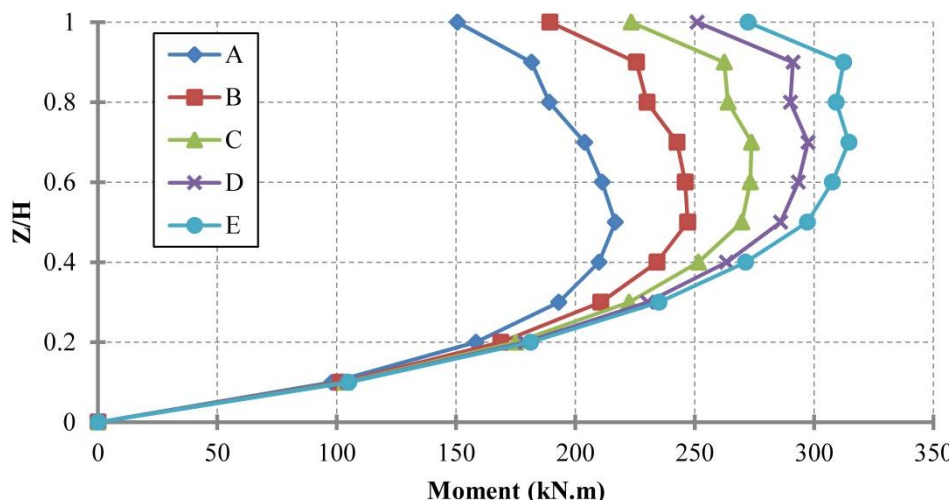
شکل ۶. منحنی تغییرات نیروی برشی تیر رابط در ارتفاع با افزایش طول بازشو

Fig. 6. Shear forces in link beams with different length

مطابق جدول ۲ با کاهش نسبت ابعادی بازشو از برش کاسته شده‌است و خمش افزایش یافته‌است، در واقع رفتار تیر رابط از وضعیت برشی به خمشی میل می‌کند، این روند مطابق شکل‌های ۶ و ۷ در طبقه‌ها مختلف و برای برش و خمش متفاوت می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود روند تغییرات برش برای حالت‌های مختلف بازشو نسبت به یکدیگر در طبقه‌ها میانی به ویژه در  $Z/H=0$  تا  $Z/H=0.5$  نسبت به سایر طبقه‌ها بیشتر می‌باشد. اما تغییرات خمش در تیر رابط در طبقه‌ها بالاتر متناسب با کاهش نسبت ابعادی بازشو نسبت به یکدیگر فاحش‌تر می‌شود (شکل ۷). هم‌چنین با کاهش نسبت ابعادی بازشو برش و خمش حداکثر در تیر

#### ۴-۱- تغییر نسبت ابعادی بازشو

در این مرحله با ثابت نگه‌داشتن تمامی پارامترهای موثر در رفتار سازه طول بازشو ( $L_0$ ) طی ۵ مرحله و در هر مرحله ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰، ۲۰۰۰ میلی‌متر تغییر می‌کند و ارتفاع بازشو برابر با ۲۷۵۰ میلی‌متر می‌باشد. نسبت ابعادی بازشو (ارتفاع بازشو به طول بازشو) به ترتیب با نام‌گذاری A, B, C, D و E برابر با  $2/7$ ،  $2/7$ ،  $1/8$ ،  $1/5$  و  $1/3$  می‌باشد. در هر مرحله کلیه‌ی جزئیات از جمله برش و خمش در تیر رابط، نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط، جابه‌جایی نسبی و جابه‌جایی کلی سازه مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌است.



شکل ۷. منحنی تغییرات لنگر خمشی تیر رابط در ارتفاع با افزایش طول بازشو  
 Fig. 7. Bending moments in link beams with different length

جدول ۳. حداکثر نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط  
 Table 3. Axial forces in wall pier by increasing link beams length

Z/H	A	B	C	D	E
1	0	0	0	0	0
0.9	6.747	8.054	8.23	7.57	6.37
0.8	20.58	21.73	20.69	18.11	14.65
0.7	32.43	32.94	30.39	25.75	19.96
0.6	47.93	46.66	41.77	34.49	25.97
0.5	61.95	58.18	50.44	40.20	28.76
0.4	78.03	70.59	59.23	45.55	30.93
0.3	90.41	78.71	63.42	46.19	28.37
0.2	101.01	84.45	65.01	44.22	23.33
0.1	106.41	85.15	61.93	38.05	14.60
0.0	101.13	76.64	50.95	25.12	0.097

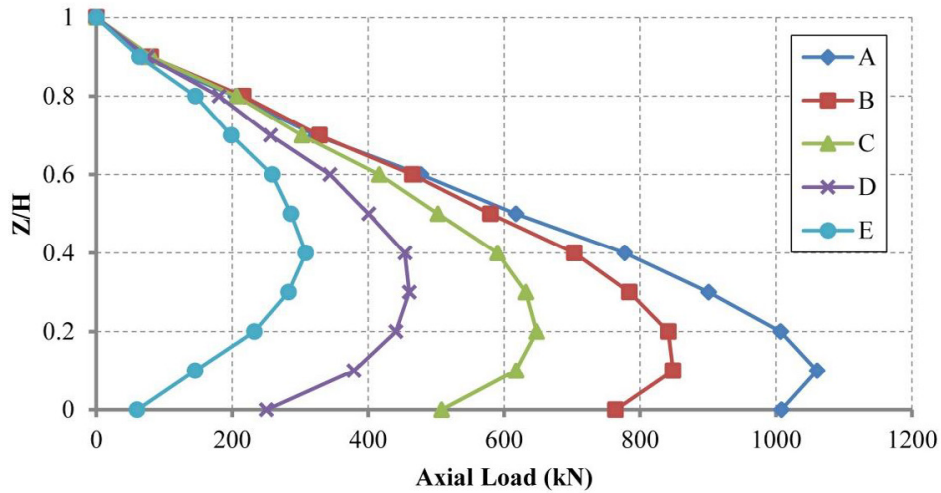
افزایش یافته‌است، روند تغییرات جابه‌جایی مرکزجرم تقریباً در تمام حالات مشابه و موازی یکدیگر بوده‌است؛ هم‌چنین از  $Z/H = 0/5$  تا  $Z/H = 1/0$  روند تغییرات جابه‌جایی تقریباً به صورت خطی می‌باشد. مطابق شکل ۱۰ روند جابه‌جایی نسبی تقریباً در تمام حالت‌ها مشابه می‌باشد؛ با افزایش نسبت  $Z/H$  این روند سیر نزولی را طی می‌کند به طوری که بعد از  $Z/H = 0/8$  دیگر افزایشی مشاهده نمی‌شود.

#### ۴-۲- افزایش سختی تیر رابط

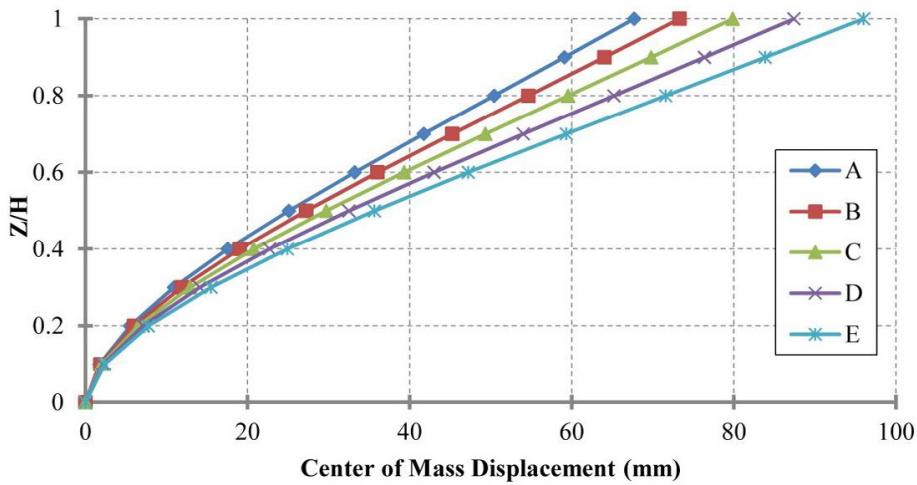
در این بخش به بررسی عملکرد سازه با تغییر در سختی تیر رابط پرداخته می‌شود. در سازه‌ی حاضر با ثابت نگه داشتن طول تیر رابط به ۱۵۰۰ میلی‌متر، ارتفاع تیر رابط در چهار مرحله ۴۵۰، ۷۰۰، ۹۵۰

رابط به طبقه‌ها بالاتر منتقل می‌شود، مطابق جدول ۲، برش حداکثر در حالت‌های A و B در نسبت  $Z/H = 0.5$ ، C و D در نسبت  $Z/H = 0.7$  و حالت E در  $Z/H = 0.9$  روی داده‌است. در مورد تغییرات در خمش تقریباً روندی مشابه تغییرات برشی مشاهده می‌شود.

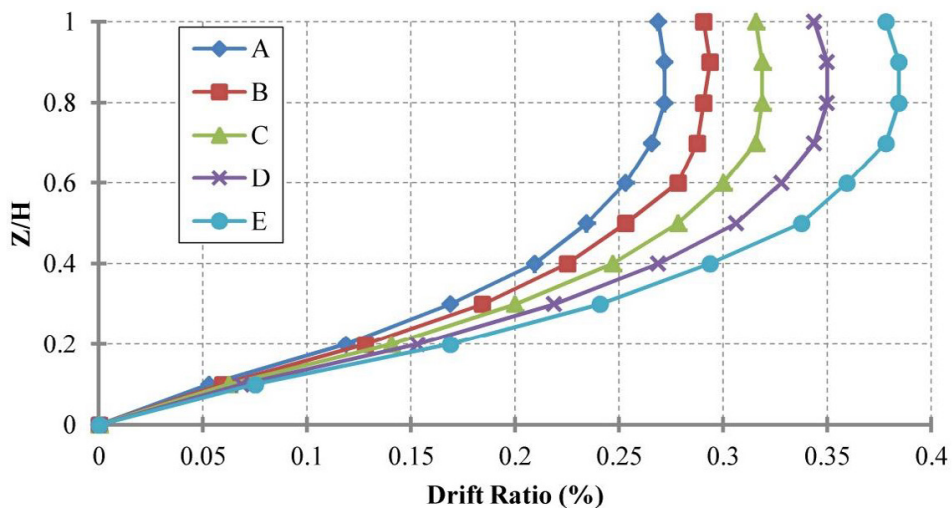
تغییرات نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط مطابق جدول ۳ و شکل ۸ با کاهش نسبت ابعادی بازشو هم‌راستا با برش تیر رابط کاهش یافته‌است. متناسب با افزایش طول بازشو حداکثر نیروی محوری به ستون‌های طبقه‌ها فوقانی منتقل می‌شود همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود در حالت A حداکثر نیروی محوری در  $Z/H = 0/1$  و در حالت E در  $Z/H = 0/4$  روی داده‌است. مطابق شکل ۹ با کاهش نسبت ابعادی بازشو جابه‌جایی مرکزجرم سازه نیز



شکل ۸. منحنی تغییرات نیروی محوری ستون متصل به تیر رابط با افزایش طول بازشو  
 Fig. 8. Axial forces in wall pier by increasing link beams length



شکل ۹. منحنی تغییرات جابه‌جایی مرکز جرم طبقه‌های سازه در ارتفاع با افزایش طول بازشو  
 Fig. 9. Center of mass displacement in each story by increasing link beams length



شکل ۱۰. نمودار جابه‌جایی نسبی طبقه‌های سازه در ارتفاع با افزایش طول بازشو  
 Fig. 10. Stories drift ratio by increasing link beams length



جدول ۴. تغییرات مرکز جرم طبقه‌ها  
Table 4. Variation in story drift

Z/H	A	B	C	D	E
1	0.06772	0.07332	0.07988	0.08744	0.09601
0.9	0.05912	0.06404	0.06979	0.07639	0.08388
0.8	0.05042	0.05465	0.05957	0.06521	0.07159
0.7	0.04175	0.04527	0.04936	0.05404	0.05932
0.6	0.03323	0.03605	0.03931	0.04303	0.04724
0.5	0.02509	0.02724	0.0297	0.03251	0.03567
0.4	0.01756	0.01905	0.02077	0.02273	0.02493
0.3	0.01094	0.01186	0.01293	0.01413	0.01549
0.2	0.00553	0.00599	0.00651	0.00711	0.00778
0.1	0.00172	0.00186	0.00201	0.00218	0.00238

هم‌چنین:

$$\frac{1}{K} = \frac{\gamma a}{\alpha^2}$$

(۶)

که مقدار  $K$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K^2 = 1 + \frac{I_1 + I_2}{a^2} \left( \frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \quad (7)$$

$a$ ، فاصله مرکز به مرکز دو عضو هم‌بسته شده؛

$I_1, I_2$  گشتاور لختی دو عضو هم‌بسته،  $A_1, A_2$  سطح مقطع

دو عضو هم‌بسته به یکدیگر می‌باشد.

در نتیجه مقدار سختی در تیر رابط برابر است با

$$K \propto H = \left[ \frac{12I_e l^2}{b^3 h l} \left( 1 + \frac{AI}{A_1 A_2 l^2} \right) H^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

بنابراین سختی در تیر رابط ( $K \propto H$ ) به ترتیب برای تیرهای با

ارتفاع  $mm450, mm700, mm950$  و  $mm1200$  برابر با  $4/758$ ،

$8/671$ ،  $10/429$  و  $131/501$  به دست می‌آید. مطابق شکل‌های ۱۱

و ۱۲ و جدول ۵ با افزایش سختی تیر رابط خمش و برش در تیر

رابط به طرز چشمگیری افزایش یافته‌است، این مقدار در  $Z/H = 0/4$ ،

و  $0/5$  به حداکثر مقدار خود می‌رسد. همان‌طور که مشاهده می‌شود

با افزایش  $K \propto H$  از  $4/758887$  به  $13/5012$  حداکثر برش و خمش

به ترتیب حدود  $27/44 \text{ ton.m}$  و  $40/60 \text{ ton.m}$  افزایش می‌یابد. در

هر حالت روند تغییرات خمش و برش در تیر رابط ابتدا تا حدود

$Z/H = 0/5$  سیر صعودی داشته و پس از آن روندی نزولی را طی

می‌کند.

۱۲۰۰ میلی‌متر به ترتیب با نسبت‌های ابعادی طول تیر به ارتفاع تیر رابط،  $3/33, 2/14, 1/58$  و  $1/25$  مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### ۴-۳- روابط حاکم بر سختی تیر رابط در تئوری محیط پیوسته<sup>۱</sup>

روش محیط پیوسته، مهم‌ترین روش در تحلیل تقریبی تیرهای رابط می‌باشد. در این روش فرض می‌شود تمامی اعضای اتصال افقی، یک محیط اتصالی پیوسته بین اعضای قائم در ارتفاع ساختمان ایجاد می‌کنند، به این وسیله ساده‌سازی انجام می‌گیرد در واقع تبدیل سازه از حالت دوبعدی به یک‌بعدی، که تمام نیروها وابسته به مختصات ارتفاعی می‌باشند. در این حالت بیان رفتار سازه به وسیله معادلات دیفرانسیل خطی امکان‌پذیر بوده و در نهایت به یک حل بسته منجر خواهد شد [۱۲].

برای تیرهای رابط پارامتر سختی براساس  $K \propto H$  تعریف می‌شود، که در معادلات ۴ تا ۸ به طور مختصر شرح داده شده‌است. این پارامتر براساس نسبت ارتفاع طبقه از مبنا به ارتفاع کل سازه ( $Z/H$ )، نیروهای حاصل شده را توزیع می‌کند [۱۲].

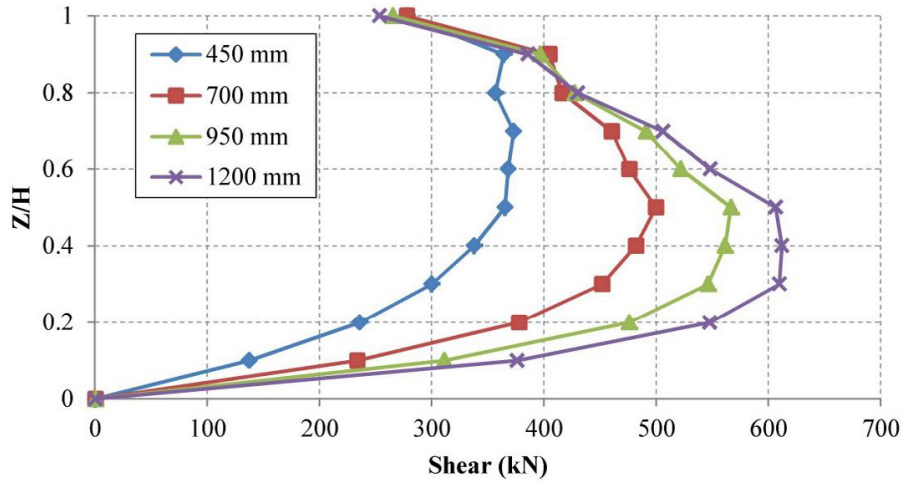
$$\frac{d^2 T}{dy^2} - \alpha^2 = -\gamma \quad (4)$$

در رابطه (۴)،  $T$  نیروی محوری بوده و  $M_e$  ممان خارجی می‌باشد.

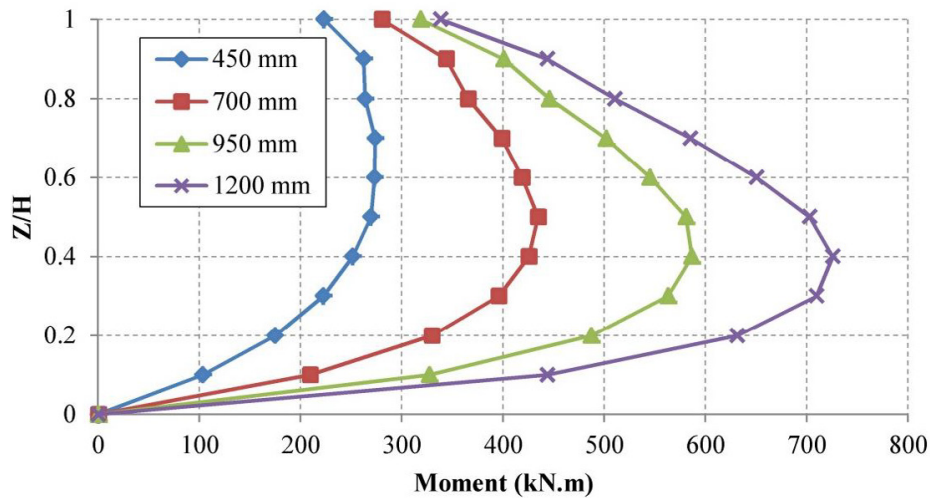
مقدار  $\alpha^2$  نیز از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$\alpha^2 = \frac{12I_b}{C^3 h} \left[ \frac{\alpha^2}{I_1 + I_2} + \left( \frac{1}{A_1} + \frac{1}{A_2} \right) \right] \quad (5)$$

$C$  طول دهانه آزاد تیرها



شکل ۱۱. منحنی تغییرات نیروی برشی در تیر رابط در ارتفاع متناسب با افزایش سختی تیر رابط  
 Fig. 11. Shear forces in link beams by increasing link beams height



شکل ۱۲. منحنی تغییرات خمش در تیر رابط در ارتفاع متناسب با افزایش سختی تیر رابط  
 Fig. 12. Bending moments in link beams with different height

جدول ۵. حداکثر برش و خمش در تیر رابط

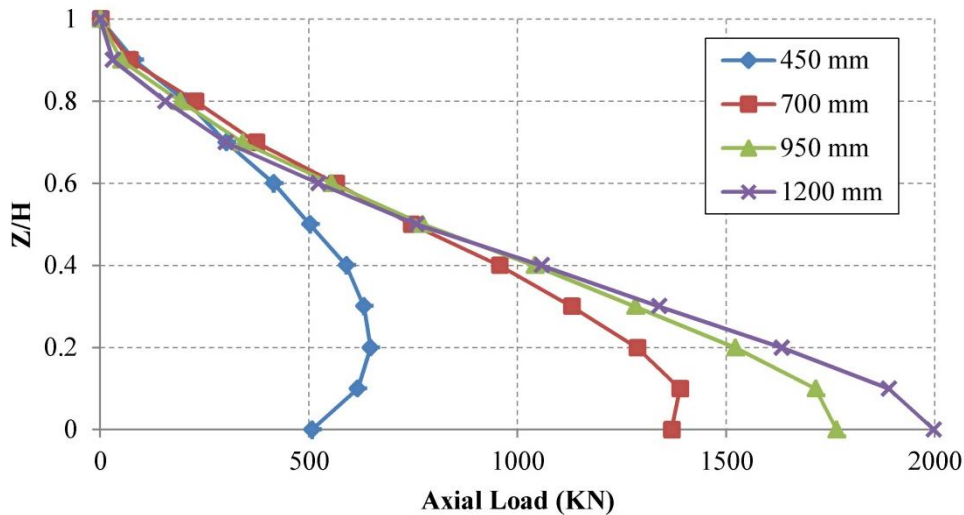
Table 5. Maximum shear and moment in link beams by increasing link beams height

Z/H	450 mm		700 mm		950 mm		1200 mm	
	برش	خمش	برش	خمش	برش	خمش	برش	خمش
1	27.86	-22.41	27.86	-28.12	26.66	-32.00	25.43	-33.94
0.9	36.54	-26.33	40.62	-34.52	39.82	-40.24	38.73	-44.58
0.8	35.79	-26.48	41.81	-36.69	42.90	-44.76	43.16	-51.23
0.7	<u>37.43</u>	<u>-27.47</u>	46.22	-40.02	49.26	-50.37	50.79	-58.77
0.6	36.95	-27.42	47.75	-42.04	52.37	-54.72	55.01	-65.28
0.5	36.65	-27.06	<u>50.15</u>	<u>-43.62</u>	<u>56.86</u>	-58.30	60.87	-70.56
0.4	33.90	-25.23	48.35	-42.68	56.35	<u>-58.88</u>	<u>61.43</u>	<u>-72.83</u>
0.3	30.09	-22.33	45.36	-39.73	54.81	-56.49	61.19	-71.23
0.2	23.67	-17.57	37.88	-33.11	47.75	-48.92	55.00	-63.39
0.1	13.78	-10.38	23.46	-21.01	31.24	-32.85	37.73	-44.53

جدول ۶. تغییرات نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط

Table 6. Axial forces in wall pier by increasing link beams height

Z/H	450 mm	700 mm	950 mm	1200 mm
1	8.23	7.10	5.029	3.05
0.9	20.69	22.86	19.34	15.69
0.8	30.39	37.52	34.30	30.22
0.7	41.77	56.69	55.71	52.48
0.6	50.44	74.90	77.55	76.12
0.5	59.23	96.03	104.43	106.17
0.4	63.42	113.36	128.61	134.41
0.3	65.01	129.12	152.78	164
0.2	61.93	139.39	172.04	189.64
0.1	50.95	137.39	177.09	200.47



شکل ۱۳. منحنی تغییرات نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط متناسب با افزایش سختی تیر رابط

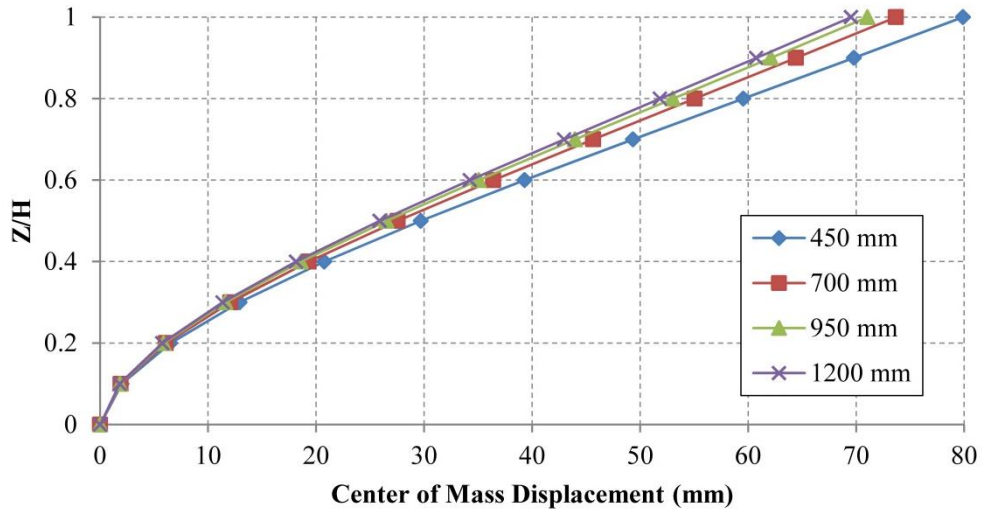
Fig. 13. Axial forces in wall pier by increasing link beams height

همچنین روندی مشابه در مورد جابه‌جایی مرکز جرم طبقه‌ها صدق می‌کند، همان‌طور که در شکل ۱۴ و جدول ۱۰ مشاهده می‌شود خطوط نمودار تقریباً بر یکدیگر منطبق می‌باشند.

با افزایش سختی در تیر رابط یکپارچگی عملکرد بین ستون و دیوار متصل به تیر نیز افزایش می‌یابد، به عبارتی سه عضو سازه‌ای تیر رابط، ستون و دیوار متصل به تیر رابط به عنوان یک عضو مستقل و یکپارچه عمل می‌کنند که در این حالت ضعف وجود بازشو در دیوار سازه‌ای بیشتر قابل توجه می‌باشد. مطابق شکل ۱۶ با بارگذاری در جهت رفت ستون متصل به تیر رابط در ناحیه فشاری و بارگذاری در جهت برگشت در ناحیه کششی قرار می‌گیرد.

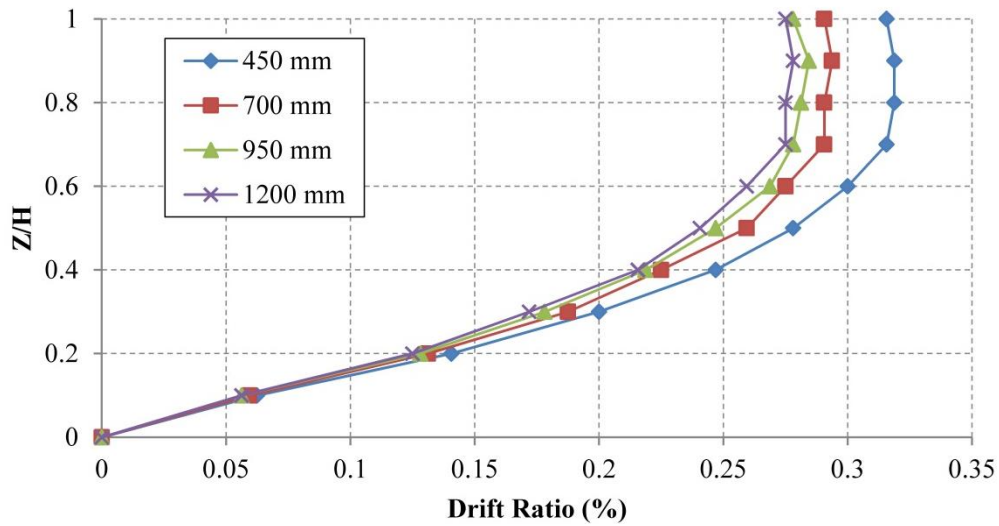
مطابق جدول ۶ و شکل ۱۳ با افزایش سختی نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط در مواردی تا ۴ برابر نیز افزایش یافته‌است. در هر حالت این روند در ابتدا تا حدود  $Z/H = 0.2$  افزایش یافته و پس از آن روندی نزولی را طی می‌کند، به طوری که در  $Z/H = 0.8$  اختلاف در سختی تیر رابط با نسبت‌های ابعادی مختلف به حداقل مقدار خود می‌رسد و پس از  $Z/H = 0.9$  خطوط نمودار تقریباً بر یکدیگر منطبق می‌شوند.

مطابق شکل ۱۵ با افزایش سختی تیر رابط جابه‌جایی نسبی سازه کاهش یافته‌است. در هر حالت ابتدا این روند تا  $Z/H = 0.8$  افزایش یافته و پس از آن تغییرات جابه‌جایی نسبی تقریباً ثابت می‌شود.



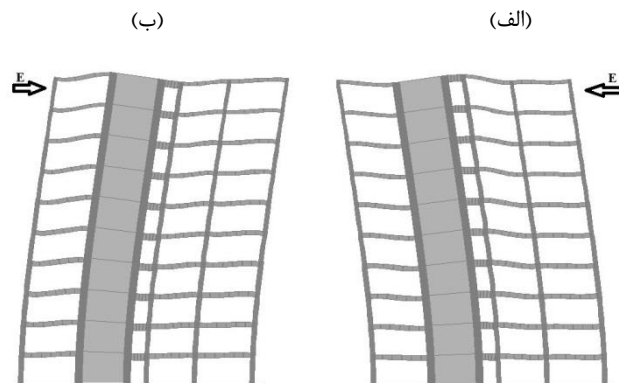
شکل ۱۴. منحنی تغییرات مرکز جرم سازه متناسب با افزایش سختی تیر رابط

Fig. 14. Center of mass displacement in each story by increasing link beams height



شکل ۱۵. منحنی تغییرات جابه‌جایی نسبی متناسب با افزایش سختی تیر رابط

Fig. 15. Stories drift ratio by increasing link beams height



شکل ۱۶. نیروی زلزله جهت برگشت، Pull (الف). نیروی زلزله جهت رفت، Push (ب)

Fig. 16. Lateral loading directions: (a) Push, (b) Pull

جدول ۷. تغییرات مرکز جرم طبقه‌ها

Table 7. Center of mass displacement in each story by increasing link beams height

Z/H	450 mm	700	950	1200
1	0.07988	0.07368	0.07104	0.06953
0.9	0.06979	0.06442	0.0621	0.06075
0.8	0.05957	0.05504	0.05303	0.05185
0.7	0.04936	0.04566	0.04398	0.04297
0.6	0.03931	0.03641	0.03506	0.03424
0.5	0.0297	0.02756	0.02653	0.0259
0.4	0.02077	0.01932	0.01861	0.01816
0.3	0.01293	0.01206	0.01163	0.01135
0.2	0.00651	0.00611	0.0059	0.00576
0.1	0.00201	0.00191	0.00185	0.00181

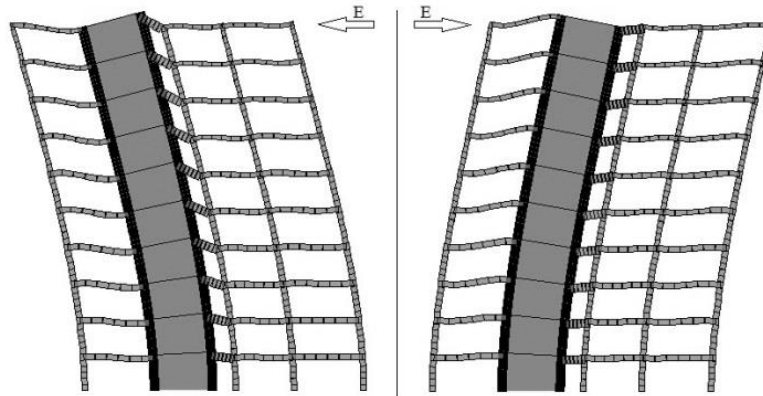
جدول ۸. نسبت تنش در ستون‌های متصل به تیر رابط

Table 8. Axial load ratio in wall pier

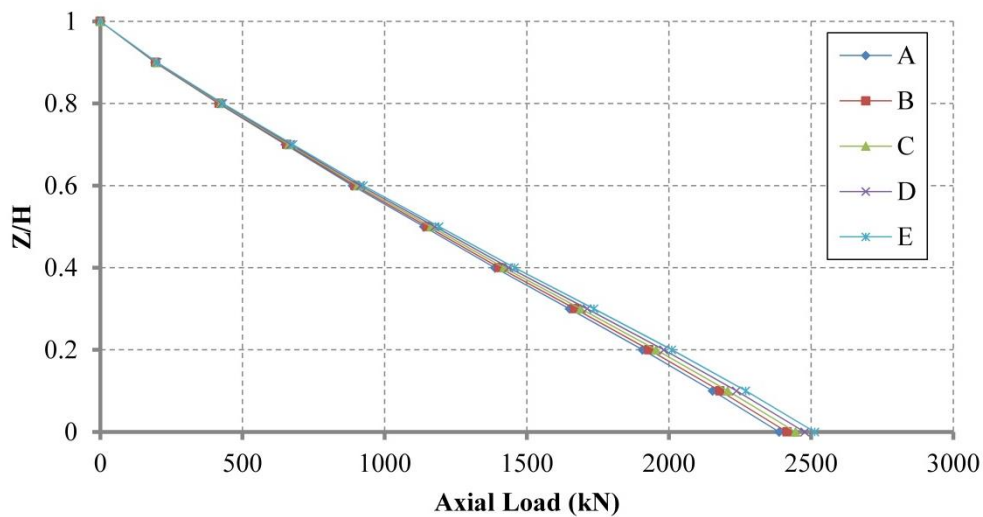
Z/H	120 cm		90 cm	
	Push	Pull	Push	Pull
1	0.133	0.476	0.159	0.585
0.9	0.191	0.501	0.218	0.614
0.8	0.289	0.624	0.321	0.74
0.7	0.417	0.786	0.445	0.9
0.6	0.558	0.936	0.582	1.04
0.5	0.578	0.685	0.594	0.739
0.4	0.694	0.76	0.7	0.769
0.3	0.805	0.818	0.797	0.82
0.2	0.918	0.835	0.888	0.804
0.1	1.02	0.742	0.979	0.676

فشاری می‌شود. در حالی که در بارگذاری جانبی در جهت برگشت ستون مورد نظر تحت نیروهای کششی قرار می‌گیرد و همچنین با وجود نیروهای فشاری ناشی از بارهای ثقلی، بسته به شرایط تا حدودی عملکرد یکدیگر را خنثی می‌کنند در نتیجه در این حالت وجود بارهای ثقلی به عنوان یک نقطه قوت تلقی می‌شود، با توجه به کاهش بارهای ثقلی با افزایش نسبت Z/H همان‌طور که در جدول ۱۱ مشاهده می‌شود نسبت تنش روند کاهشی کندتری نسبت به بارگذاری در جهت مقابل دارد. البته به این موضوع باید توجه داشت که با افزایش نسبت Z/H نیروهای فشاری و کششی ناشی از بارهای جانبی نیز کاهش می‌یابند. به عنوان مثال در تیر رابط با عمق ۱۲۰۰

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود نسبت تنش با افزایش نسبت Z/H در هر دو جهت بارگذاری رفت و برگشت کاهش یافته‌است. در  $Z/H=0/1$  نسبت تنش در جهت کشش کمتر از جهت برگشت می‌باشد، روند کاهش نسبت تنش با افزایش Z/H در جهت بارگذاری رفت نسبت به برگشت فاحش‌تر می‌باشد. دلیل این موضوع وجود بارهای ثقلی سازه می‌باشد، با توجه به این موضوع که در جهت رفت تحت اثر بار جانبی، ستون مورد نظر تحت فشار قرار می‌گیرد در این حالت وجود بارهای ثقلی باعث تشدید نیروهای فشاری در ستون می‌شود؛ هم‌راستا با افزایش نسبت Z/H بارهای ثقلی وارده نیز کاهش می‌یابند که این موضوع باعث کاهش قابل توجهی در نیروهای



شکل ۱۷. تغییرشکل جانبی سازه در اثر نیروی رفت و برگشتی زلزله با اتصالات مفصلی در تیر رابط  
 Fig. 17. Deformations in structural members - link beams with simple connections



شکل ۱۸. منحنی تغییرات نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط در وضعیت اتصال مفصلی تیر رابط  
 Fig. 18. Axial force in wall piers - link beam with simple connections

۹ مشاهده می‌شود در هر حالت برش و خمش در تیر رابط تقریباً ثابت بود و تغییرات محسوسی مشاهده نمی‌شود، همچنین نسبت به نتایج حاصل شده در مراحل قبل به طرز قابل توجهی کاهش یافته و در مقابل جابه‌جایی نسبی و جابه‌جایی مرکز جرم به شدت افزایش یافته‌است به طوری که حداقل جابه‌جایی نسبی در این مرحله تقریباً برابر با حداکثر جابه‌جایی نسبی مشاهده در بخش‌های قبل می‌باشد (شکل ۱۸).

رفتار ستون‌ها با ایجاد مفاصل خمشی در محل اتصال تیر رابط به ستون و دیوار سازه‌ای کاملاً متفاوت می‌باشد، به طوری که ستون‌ها در هر دو جهت بارگذاری، تحت کشش قرار می‌گیرند (جدول ۱۰). درک

میلی‌متر نسبت تنش در  $Z/H = 0/1$  برای بارگذاری جانبی در جهت رفت برابر با  $1/02$  بیشتر از بارگذاری در جهت برگشت برابر با  $0/742$  می‌باشد؛ و در  $Z/H = 1$  نسبت تنش برای بارگذاری جهت رفت برابر با  $0/133$  کمتر از بارگذاری جهت برگشت برابر با  $0/476$  می‌باشد.

۴-۴ تغییر نسبت ابعادی بازشو همراه با اتصالات مفصلی در تیر رابط

در این مرحله، مشابه بخش ۴-۱ عمل کرده با این تفاوت که اتصالات تیر رابط به دیوار و ستون مجاور خود به صورت گیردار نبوده بلکه به صورت مفاصل خمشی عمل می‌کنند. همان‌طور که در جدول

جدول ۹. جزئیات برش و خمش در تیر رابط

Table 9. Moment and shear force in link beams with simple connections

حداکثر برش Ton	حداکثر ممان Ton.m	Z/H	L	حالت
0.34079	0.07668	1	1000 mm	A
0.23920	0.05382	0.1 -0.9		
0.43545	0.11128	1	1250 mm	B
0.30565	0.07811	0.1 -0.9		
0.53012	0.16492	1	1500 mm	C
0.37209	0.11576	0.1 -0.9		
0.62478	0.25772	1	1750 mm	D
0.43854	0.18089	0.1 -0.9		
0.71944	0.34174	1	2000 mm	E
0.50498	0.23986	0.1 -0.9		

جدول ۱۰. جزئیات نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط

Table 10. Axial load in wall piers – link beam with simple connections

Z/H	A	B	C	D	E
1	-19.33	-19.52	-19.72	-19.93	-20.15
0.9	-41.68	-42.05	-42.44	-42.86	-43.31
0.8	-65.31	-65.92	-66.58	-67.28	-68.03
0.7	-89.02	-89.90	-90.82	-91.82	-92.90
0.6	-114.18	-115.38	-116.67	-118.07	-119.57
0.5	-139.26	-140.79	-142.44	-144.23	-146.17
0.4	-165.59	-167.51	-169.6	-171.85	-174.31
0.3	-191.38	-193.66	-196.14	-198.82	-201.75
0.2	-216.16	-218.73	-221.51	-224.54	-227.83
0.1	-239.65	-242.41	-245.40	-248.65	-252.19

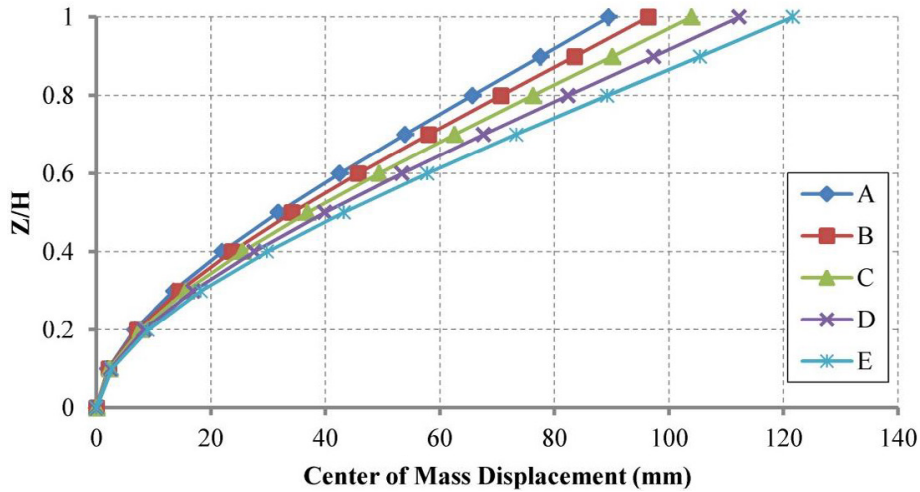
اختلاف در جابه‌جایی نسبی سازه در نسبت‌های ابعادی مختلف بازشو فاحش‌تر می‌شود.

بررسی هفت ساختمان با نسبت‌های ابعادی متغیر دیوار در این مرحله جهت عمومیت بخشیدن به مراحل قبل، رفتار سازه‌ی شکل ۴ و ۵ با کاهش ارتفاع دیوار برشی هم‌راستا با کاهش تعداد طبقه‌ها طی هفت مرحله از ده طبقه تا چهار طبقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و وضعیت نیروی محوری در ستون هم‌بسته با دیوار برشی و نیروی برشی در تیر رابط مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این سازه ارتفاع و طول تیر رابط به ترتیب برابر با ۴۵۰ میلی‌متر و ۱۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

در شکل ۲۱ و ۲۲ وضعیت تغییرات نیروی محوری تحت نیروهای

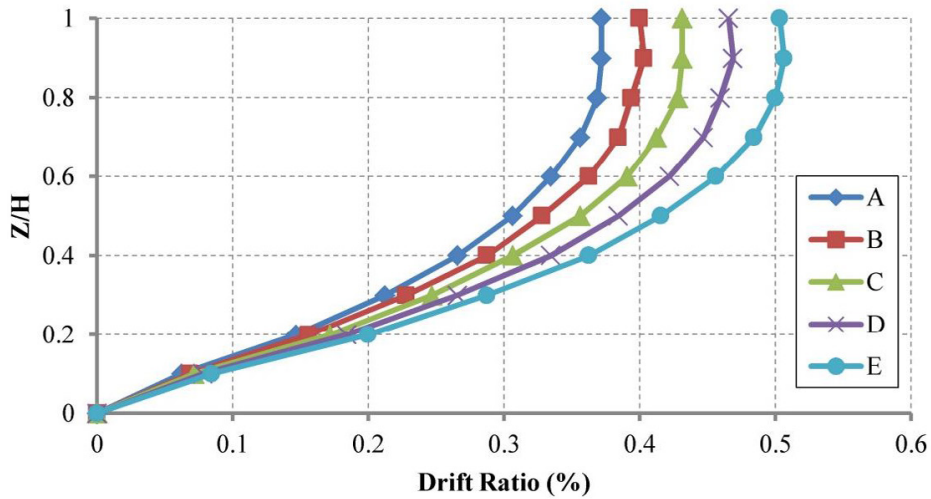
بهتر از نحوه ایجاد کشش در سازه را می‌توان از وضعیت تغییرشکل یافته سازه تحت بارهای رفت و برگشتی زلزله مطابق شکل ۱۷ مشاهده کرد.

به طور کلی همان‌طور که از جدول ۱۰ پیداست، در این حالت، افزایش طول بازشو تغییرات محسوسی در نیروی محوری ستون ایجاد نمی‌کند؛ همان‌طور که در شکل ۱۷ ب مشاهده می‌شود نمودار تغییرات نیروی محوری در ستون تقریباً بر یکدیگر منطبق می‌باشند. مطابق شکل‌های ۱۹ و ۲۰ با ایجاد مفاصل خمشی در تیر رابط جابه‌جایی نسبی و جابه‌جایی مرکزجرم سازه نسبت به اتصالات گیردار در تیر رابط افزایش یافته‌است. به طور متوسط تقریباً در تمام نسبت‌های ابعادی بازشو در  $Z/H = 0/1$  و  $Z/H = 1$  به ترتیب ۱۵٪ و ۳۰٪ افزایش مشاهده می‌شود (جدول ۱۱). با افزایش نسبت  $Z/H$



شکل ۱۹. منحنی جابه‌جایی مرکز جرم سازه در وضعیت اتصال مفصلی تیر رابط

Fig. 19. Center of mass displacement in each story – link beam with simple connections



شکل ۲۰. منحنی تغییرات جابه‌جایی نسبی در سازه با اتصالات مفصلی در تیر رابط

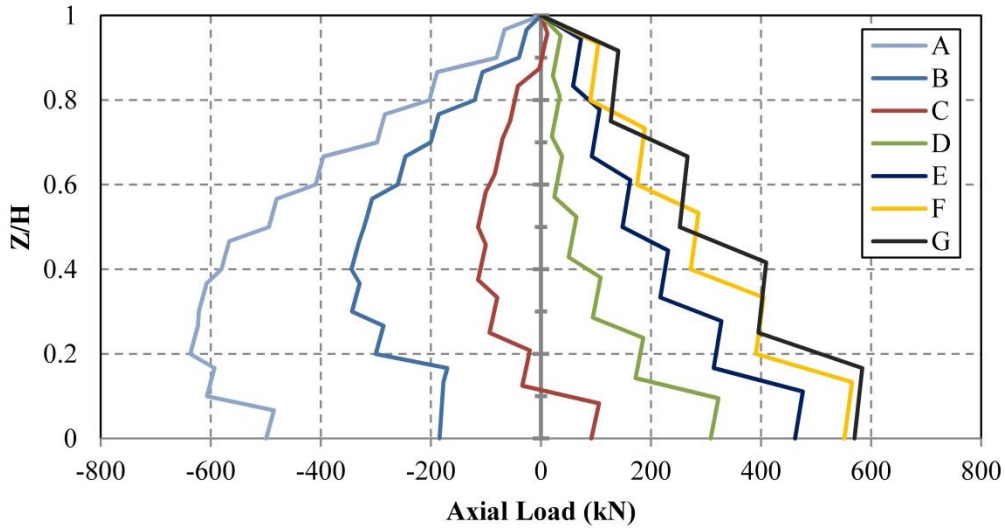
Fig. 20. Stories drift ratio – link beam with simple connections

جدول ۱۱. جزئیات جابه‌جایی مرکز جرم طبقه‌ها

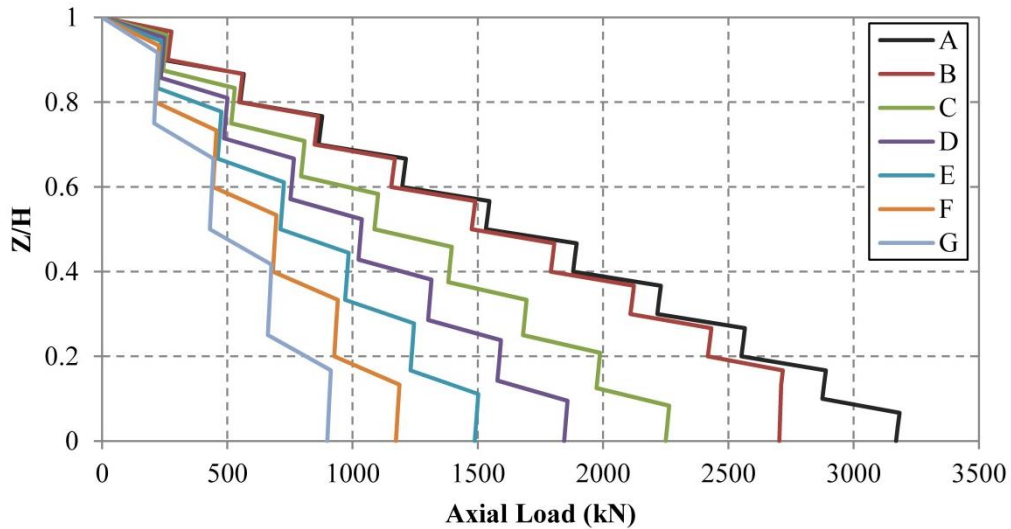
Table 11. Center of mass displacement in each story – link beam with simple connections

Z/H	A	B	C	D	E
1	0.08953	0.09636	0.10393	0.11232	0.12164
0.9	0.07763	0.08355	0.09012	0.0974	0.10549
0.8	0.0657	0.07072	0.07628	0.08245	0.08931
0.7	0.05394	0.05806	0.06263	0.0677	0.07335
0.6	0.04254	0.04579	0.04939	0.05339	0.05785
0.5	0.0318	0.03422	0.03691	0.03991	0.04325
0.4	0.02198	0.02366	0.02551	0.02758	0.02989
0.3	0.0135	0.01452	0.01566	0.01693	0.01835
0.2	0.0067	0.0072	0.00775	0.00837	0.00907
0.1	0.00202	0.00217	0.00233	0.0025	0.0027





شکل ۲۱. نمودار بارگذاری در جهت برگشت (Pull)  
 Fig. 21. Axial load in wall piers in pull loading direction

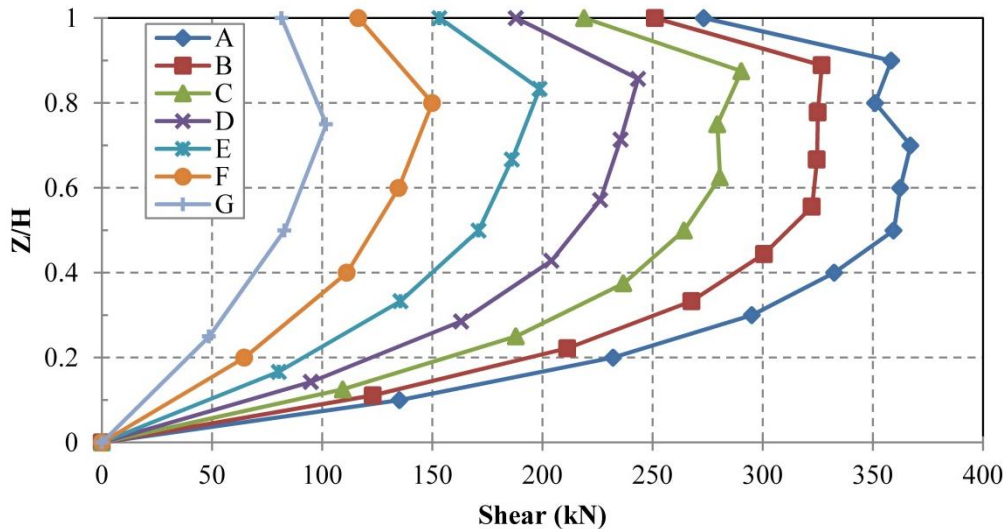


شکل ۲۲. نمودار بارگذاری در جهت رفت (Push)  
 Fig. 22. Axial load in wall piers in push loading direction

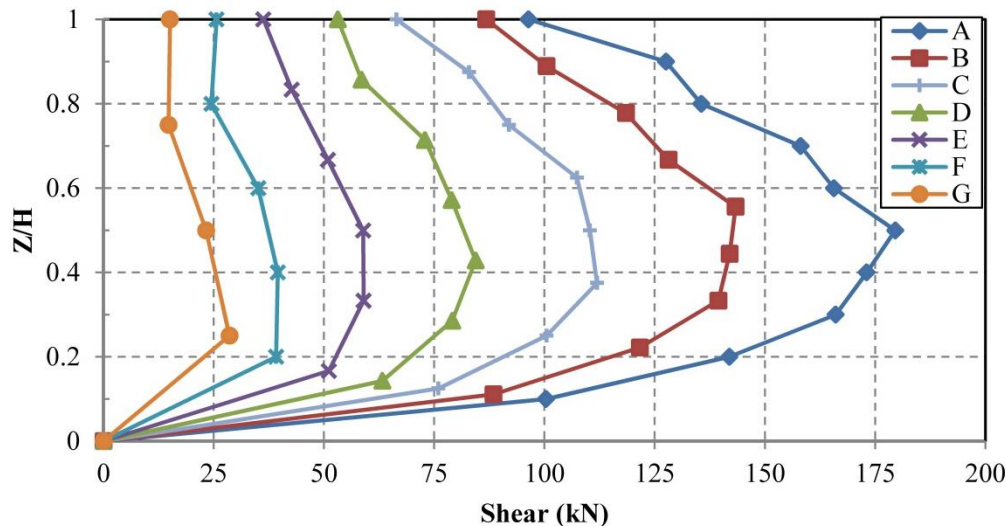
نسبت ابعادی دیوار نیروی محوری به سمت کشش میل می‌کند. در حالت‌های A، B و C نیروی محوری در ستون متصل به تیر رابط تحت کشش قرار گرفته‌است، در حالت‌های D، E، F و G نیروی محوری ستون در تمام ارتفاع به صورت فشاری می‌باشد. از مقایسه‌ی این دو نمودار می‌توان دریافت حداکثر نیروی محوری فشاری در جهت رفت حدود پنج برابر نیروی محوری فشاری در جهت برگشت می‌باشد. همچنین در هر دو جهت بارگذاری حداکثر فشار و کشش در بیشترین نسبت ابعادی وضعیت A رخ داده‌است.

جانبی و ثقلی در هر دو جهت بارگذاری رفت و برگشت مطابق شکل ۱۶ مشاهده می‌شود. حالت‌های A، B، C، D، E، F و G براساس نسبت ارتفاع دیوار به طول دیوار ( $h_w/l_w$ ) تعریف شده‌است و به ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۱/۲۶، ۱/۶۸، ۲/۱۰، ۲/۵۳، ۲/۹۵، ۳/۳۷، ۳/۸، ۴/۲۱ و ۰/۴۲ می‌باشد.

مطابق شکل ۲۱ و ۲۲ نیروی محوری در جهت رفت کاملاً فشاری بوده‌است و با افزایش نسبت ابعادی دیوار به بر میزان این نیرو افزایش یافته می‌شود. در حالی که در جهت بارگذاری برگشت، با افزایش



شکل ۲۳. نمودار نیروی برشی در تیر رابط در بارگذاری جهت برگشت  
 Fig. 23. Shear forces in link beams in pull loading direction



شکل ۲۴. نمودار نیروی برشی در تیر رابط در بارگذاری جهت رفت  
 Fig. 24. Shear forces in link beams in push loading direction

#### ۵- نتیجه گیری

در مقاله‌ی حاضر، اثر برون‌محوری بازشو در دیوارهای برشی بتن آرمه تحت شرایط متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته‌است. این تغییرات شامل تغییر نسبت ابعادی بازشو در پنج مرحله، تغییرات نسبت ابعادی تیر رابط در چهار مرحله، تغییرات نسبت ابعادی بازشو با اتصالات مفصلی در تیر رابط در پنج مرحله و هم‌چنین بررسی هفت ساختمان با ارتفاع‌های مختلف برای بررسی دیوارهای با نسبت‌های ابعادی مختلف می‌باشد. پیرو مطالعات صورت گرفته نتایج زیر حاصل شده‌است:

در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ به ترتیب حداکثر برش در تیر رابط در هر دو جهت برگشت و رفت در تراز ارتفاع دیوار نشان داده شده‌است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نیروی‌های برشی در تیر رابط در جهت منفی بیشتر از جهت مثبت می‌باشند. در هر دو جهت بارگذاری با کاهش نسبت ابعادی دیوار از میزان برش در تیر رابط کاسته می‌شود. مطابق شکل ۲۳ و ۲۴ در جهت بارگذاری برگشت حداکثر نیروی برشی در تراز ارتفاعی ۰/۷ تا ۰/۹ و در بارگذاری جهت برگشت رفت حداکثر برش در تراز ارتفاعی ۰/۲۳ تا ۰/۵ روی داده‌است.

- [2] Popescu.C, Sas.G, Sabău.C and Blanksvård. T., 2016. "Effect of Cut-Out Openings on the Axial Strength of Concrete Walls" *J Struct Eng*.
- [3] Kheyroddin. A, Hosseini. S.A., 2017, "A survey and study of structural requirements and structural behavior of wall piers in RC structural walls". *10th National Congress on Civil Engineering*. (In persian)
- [4] Moehle.J., 2014, *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*, , 1st ed., McGraw-Hill Education.
- [5] Kheyroddin. A, Emami. E, 2018, *Shear walls design based on ACI 318-14*, 1st ed., Vol. 3, Semnan University.
- [6] CEN (European Committee for Standardization), 2004, *Design of concrete structures—Part 1-1: General rules and rules for buildings*, EN1992-1-1, Euro code 2, Brussels, Belgium.
- [7] As 3600, 2009, *Standards Australia, Concrete Structures*. Sydney Australia.
- [8] Architecture Institute of Japan (AIJ), 2004, *Guidelines for Performance Evaluation of Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings*. Architecture Institute of Japan: Tokyo, Japan.
- [9] ACI Committee 318, 2014. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI318-14)*, Amrician Concrete Institute.
- [10] Wang.J, Sakashita.M, Kono, S and Tanaka, H., 2010, Shear Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls with Eccentric Openings Under Cyclic Loading: Experimental Study, *Struct Des Tall Spec Build*.
- [11] Hosseini. S. A, 2018, "Experimental and analytical behavior of reinforced concrete shear walls with non-standard opening under cyclic loading", MS Thesis, Faculty of Civil Engineering, Semnan University.
- [12] Stanford Smith, B. and Coull, A., 1991 "Tall Building Structures, Analysis and Design", *John Wiley & Sons, Inc.*

(۱) مقاومت برشی دیوارهای سازه‌ای با توجه به مکان بازشو برون‌محور در بارگذاری در جهت کشش و فشار متفاوت می‌باشد. عموماً مقاومت برشی بزرگتری در بارگذاری فشاری از سمت بازشو نسبت به بارگذاری در جهت عکس مشاهده می‌شود. زیرا در این حالت وجود بازشوه‌های برون‌محور در آرایش میدان فشاری در بتن مؤثرتر می‌باشند؛ این موضوع سبب می‌شود که نیروی محوری در ستون هم‌بسته با دیوار در دو جهت بارگذاری رفت و برگشت متفاوت باشد.

(۲) شکل‌گیری مفاصل پلاستیک در تیر رابط باعث ایجاد نیروی‌های محوری کششی و یا تا حدودی کاهش در نیروی محوری فشاری می‌شود که با توجه به حضور بارهای ثقلی و رفتار رفت و برگشتی سازه در زلزله، ممکن است بارهای ضربه‌ای را در ستون متصل به تیر رابط ایجاد نماید. بنابراین جهت کنترل این موضوع تا حد امکان باید از ایجاد مفاصل خمشی در تیر رابط اجتناب شود و یا مفاصل خمشی به گونه‌ای مدنظر باشند تا از ایجاد کشش قابل توجه در ستون هم‌بسته با دیوار جلوگیری شود.

(۳) افزایش سختی و کاهش نسبت ابعادی (طول به ارتفاع) در تیر رابط سبب کاهش جابه‌جایی‌های جانبی در ساختمان می‌شود. همچنین نیروهای برشی در تیر رابط تقریباً تا دو برابر افزایش یافته‌است. در این راستا در هر مرحله با افزایش سختی تیر رابط، حداکثر برش در تیر رابط به ترازهای ارتفاعی پایین‌تر منتقل می‌شود و نیروی محوری در ستون هم‌بسته با دیوار تا چهار برابر افزایش مشاهده می‌شود.

(۴) با کاهش تعداد طبقه‌ها و تغییر در نسبت ابعادی دیوار، نیرو در ستون‌های هم‌بسته با دیوار در بارگذاری جهت برگشت از حالت کششی به سمت فشاری میل می‌کند. همچنین در این جهت بارگذاری نیروهای برشی در تیر رابط حدود دو برابر جهت برگشت می‌باشند.

## مراجع

- [1] Ghosh S. K., Reconnaissance Team Report, 2012, *Observations from the February 27, 2010, Earthquake in Chile*.

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. Kheyroddin, S.A. Hosseini, *Seismic Performance of Reinforced Concrete Shear Walls with Eccentric Openings*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 51(5) (2019) 1077-1096.

DOI: [10.22060/ceej.2018.13994.5549](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.13994.5549)



