



Seismic behavior of coupled steel plate shear wall

A. R. Rahai¹, N. Valizadeh^{1*}, A. Shokooifar²

¹Department of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

²Department of civil engineering, Azad University of Qazvin, Qazvin, Iran.

Review History:

Received: Feb. 17, 2013

Revised: Dec. 11, 2014

Accepted: Jan. 11, 2016

Available Online: Jul. 02, 2019

Keywords:

Steel shear walls

coupled walls

coupling beam

Degree of coupling

plastic strength. .

ABSTRACT: Coupled steel plate shear wall (CSPSW) is an efficient system to withstand lateral forces, especially in regions with high risk of earthquakes. This system consists of two steel plate shear walls are linked together with coupling beams at the floor levels. In this article to study the CSPSW behavior, two parameters have been investigated. One is the degree of the coupling, which presents the level of interactions between the two piers and the other is the plastic strength of the coupled steel plate shear wall. Several CSPSW models have been prepared which differ in the terms of the length and the characteristics of the coupled beam and the height of the CSPSW. These models have been analyzed using nonlinear static method. The numerical study of Borello and Fahnstock is used to verify the finite element method. The numerical results proves that the variation of the coupled beam length, by considering a constant stiffness for them, cause to change the performance of the coupling beam significantly. Moreover, increasing the coupling beam stiffness increases the coupling capability, as well as an increase of the base shear of CSPSW..

1- Introduction:

The Coupled steel plate shear wall (CSPSW) is a lateral force resisting system that is excellent for energy dissipation purposes in the seismic regions. The efficiency of the CSPSW system is highly depends on the coupling beam properties. Post- buckling resistance due to formation of the diagonal tensile field is the main parameter of the lateral strength of the SPSW system. Limited number of researches focused on the CSPSW systems.

Li et al. studied the role of the coupling beams in the CSPSW through an especial test program. Their experiments were planed for a 40% scale C-SPSW specimen as a representative of the first two floors of a C-SPSW system in a real six stories building. The Li et al presented a design method to form the plastic hinges at a predetermined point at the bottom quarter height of the column [1].

Borello and Fahnstock made too many efforts to investigate the code provisions efficiency for designing the CSPSW systems. Their research was a part of a multi institution NEESR project on steel plate shear walls. A numerical study was carried out on a typical six-stories building to evaluate the code provisions [2].

The main reference of the current study is the Borello and Fahnstock researches at the National Science Foundation. The established the main purpose of the investigation on the

determination of the degree of coupling as a representative for the percentage of the interaction of two piers of SPSW. They performed too many nonlinear analyses on thirty two SPSW-WC structures. Their comprehensive parametric studies prove that take attention to degree of coupling parameter can increase the material efficiency and lessen the structural member's weight impressively [3].

In the current study, several numerical models have been prepared to investigate the effects of the length and stiffness of the coupling beams on the seismic behavior of the CSPSW systems using ABAQUS software. The degree of coupling of the piers and plastic strength of steel shear wall were considered as the two main criteria for evaluation of the numerical results.

2- Finite element (FE) method verification

The numerical results of the Borello and Fahnstock study were utilized to validate the FE method of this study [2].

2- 1- Numerical models Features

The yield strength of the steel plates by considering the interaction of the frame and steel plates was assumed to be 248 MPa; this value was considered to be less than that of strength yield for frames to complete the self-denying action of steel plates. The yield strength of the frames was assumed to be 345 MPa. The modulus of elasticity and the poissons ration were determined MPa and 0.3, respectively.

*Corresponding author's email: nasim_vz@yahoo.com



Table 1. Members dimensions in the verification model

Element	Shape
EVBE	W14x145
IVBE	W14x132
HBE	W18x50
CB	W18x65
Web Plate	PL3352x3557x1/6(mm)

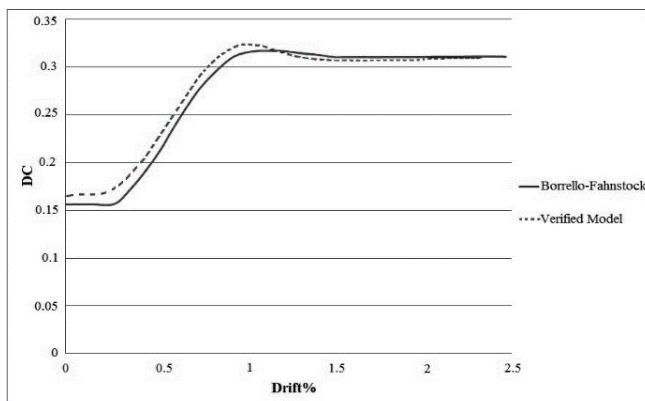


Fig. 1. The variation of the coupling degree versus roof drift of the verification model

W14x257 and W14x283 were considered for internal and external columns, respectively. W 18x50 was utilized for horizontal boundary elements. The coupling beam sections were considered as a variable in the numerical models. W18x65, W18x97 and W18x175 were utilized for coupling beams.

3. Results and discussion

The numerical models comprised of six specimens categorized in one story and four stories models. Three different coupling beam sections were utilized for each group of models.

The numerical results of the models with the W18x65 section for coupling beam shows a 50% reduction in lateral drift and 25 percent increase in base shear bearing capacity. The results are slightly different for the models comprised of the W18x97 section for coupling beams. The numerical results demonstrated a 30 percent increase for base shear bearing capacity and 50 percent reduction for lateral drift. The later parameter variation is increased for the models with four stories height to 60 percent.

These results were improved for models with W18x175 section of coupling beams. An average 45 percent and 60 percent increase were observed for base shear bearing capacity and lateral drifts, respectively.

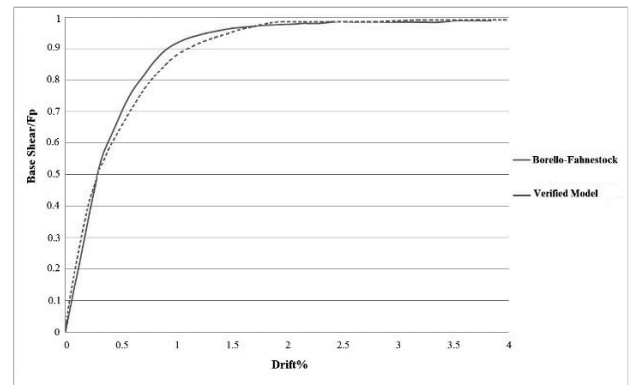


Fig. 2. The normalized base shear variations versus roof drift of the verification model

The variation of the coupling degree of the CSPSW system is revealed the negative effect of increasing the coupling beam length. The length of coupling beams induces more significant effects in one story models. An average 37 and 30 percent reduction were determined for one story and four stories models, respectively.

A 22.5 percent increase of base shear bearing capacity was calculated for replacing the section W18x65 of the coupling beams with W18x175 section.

4. Conclusions

The present study investigated the efficiency of the CSPSW systems in the seismic regions. the main parameters of this numerical study are the plastic strength of the steel plate and coupling degree of the coupled system. The following conclusions were drawn from this study:

The coupling beam length variation has a considerable negative effect on the coupling degree.

The coupling beam length has no significant effect on the lateral stiffness and base shear bearing capacity.

The effect of the coupling beam stiffness is more noticeable in one story models.

Regarding the higher coupling degree and the coupling beam stiffness leads to a considerable reduction to flexural displacements.

Adding the coupling beam to the steel plate shear wall system improves the performance criteria of the SPSW system and reduces the flexural displacements.

References

- [1] Li, Chao-Hsien, et al. "Cyclic test of a coupled steel plate shear wall substructure." *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 41.9 (2012): 1277-1299.
- [2] Borello, D. J., and L. A. Fahnstock. "Design and testing of coupled steel plate shear walls." *Structures Congress* 2011. 2011.
- [3] Borello, Daniel J., and Larry A. Fahnstock. "Behavior and mechanisms of steel plate shear walls with coupling." *Journal of Constructional Steel Research* 74 (2012): 8-16.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

A. R. Rahai, N. Valizadeh , A. Shokoohfar, *Seismic behavior of coupled steel plate shear wall* , *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(12) (2022) 1191-1194.

DOI: [10.22060/ceej.2019.8504.4183](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.8504.4183)





بررسی رفتار دیوار برشی فولادی کوپله تحت بارهای جانبی

علیرضا رهایی^۱، نسیم ولی زاده^۱، احمد شکوه فر^{۲*}

۱- دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

۲- گروه مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، ایران.

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۲۹

بازنگری: ۱۳۹۳/۰۸/۲۱

پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۱

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷

کلمات کلیدی:

دیوار برشی فولادی

دیوارهای کوپله

تیر همبند

ضریب یکپارچگی

مقاومت پلاستیک دیوار برشی فولادی

کوپله

خلاصه: دیوار برشی فولادی کوپله یک سیستم کارآمد برای مقابله با نیروهای جانبی به ویژه در مناطق با لرزه‌خیزی بالا می‌باشد. این سیستم در واقع از دو پایه دیوار که هر کدام از آن‌ها یک دیوار برشی فولادی ویژه می‌باشند و در تراز طبقات به وسیله تیرهای همبند به یکدیگر متصل‌اند، تشکیل شده است. در این مقاله دو پارامتر ضریب یکپارچگی که شاخصی برای میزان اندرکنش بین دو پایه دیوار است و مقاومت پلاستیک دیوار برشی فولادی کوپله مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ۱۲ مدل دیوار برشی فولادی کوپله انتخاب شده است که پارامترهای متغیراتی طول و مشخصات هندسی تیر همبند و ارتفاع دیوار برشی فولادی کوپله می‌باشند. این مدل‌ها با استفاده از روش‌های عددی و تحلیل استاتیکی غیرخطی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصله از مدل عددی اعتبارسنجی شده‌ی Borrello & Fahnstock استفاده شده است. نتایج حاصل از مطالعات عددی نشان می‌دهد که تغییر طول تیرهای همبند یا سختی یکسان تأثیر چشمگیری در میزان ضریب یکپارچگی دارد. علاوه بر این افزایش سختی تیرهای همبند نیز باعث افزایش ضریب یکپارچگی و هم‌چنین افزایش میزان برش پایه دیوار برشی فولادی کوپله می‌شود.

۱- مقدمه

شکل‌پذیری قابل توجه‌ای را فراهم می‌کند. ابعاد و اندازه‌های المان‌های مرزی براساس طراحی بر مبنای ظرفیت تعیین شده‌اند؛ به گونه‌ای که تا تسلیم و جاری شدن کامل ورق‌ها جان الاستیک باقی بمانند. به دیوار برشی فولادی کوپله تنها در تحقیقات محدودی اشاره شده است. در سال ۲۰۰۴ پروفسور آستانه‌اصل و دکتر ژائو نمونه دو طبقه با نسبت ارتفاع به دهانه ۱/۵ و نمونه سه طبقه با نسبت ارتفاع به دهانه ۱ از دیوار برشی فولادی کوپله در مقیاس ۱/۲ را تحت بارگذاری سیکی مورد آزمایش قرار دادند. آنها در نمونه‌های دیوار برشی کوپله مورد آزمایش برای ستون‌های خارجی از تیوپ‌های استوانه‌ای فولادی که با بتن پر شده بودند و با اتصال گیردار ویژه به تیرهای افقی متصل شده بودند، استفاده کردند. به دلیل تقارن، نمونه‌های مورد آزمایش نصف سیستم مدل اصلی در نظر گرفته شدند و برای مدل‌سازی شرایط مرزی از تکیه‌گاه غلتکی در انتهای تیرهای همبند که از وسط قطع شده بودند، استفاده شد. نتایج حاصل از آزمایش بیانگر آن بود که هر دو نمونه رفتار کاملاً شکل‌پذیری از خود نشان دادند و توانستند تعداد سیکل‌های زیادی را در حالت پلاستیک تحمل نمایند.

دیوار برشی فولادی کوپله یک سیستم کارآمد برای مقابله با نیروهای جانبی به ویژه در مناطق با لرزه‌خیزی بالا می‌باشد. این سیستم در واقع از دو پایه دیوار که هر کدام از آن‌ها یک دیوار برشی فولادی ویژه می‌باشند و در تراز طبقات به وسیله تیرهای همبند به یکدیگر متصل‌اند، تشکیل شده است. همانند دیوارهای برشی فولادی در دیوار برشی فولادی کوپله نیز هر پایه دیوار متشکل از یک قاب فولادی با یک ورق فولادی لاغر پرکننده می‌باشد. تیرها و ستون‌های احاطه‌کننده این ورق فولادی به ترتیب المان‌های مرزی افقی (HBE) و المان‌های مرزی قائم (VBE) نامیده می‌شوند. معمولاً صفحه فولادی جان لاغر و سخت نشده است و مقاومت فشاری آن قابل صرفه‌نظر کردن است [۱]. نیروی جانبی از طریق ایجاد میدان کششی قطری در ورق جان در اثر مقاومت پس‌کمانشی تحمل می‌شود. مکانیزم تسلیم و جاری شدن ورق جان مقدار قابل ملاحظه‌ای از انرژی را جذب کرده و

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ahmad.shokoohfar@qiau.ac.ir



با تعداد طبقات و طول و سختی متفاوت تیر همبند با استفاده از نرم‌افزار OpenSees مدل‌سازی شد. در نتایج بدست آمده مشاهده شد که کوپله کردن دیوار برشی فولادی باعث کاهش میزان مصالح مصرفی می‌شود [۶]. در این مقاله نمونه‌هایی از دیوار برشی فولادی کوپله یک طبقه و چهار طبقه با طول و سختی متفاوت تیر همبند با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شده و تأثیر تغییر این پارامترها بر میزان ضریب یکپارچگی که شاخصی برای میزان اندرکنش بین دو پایه دیوار است و مقاومت پلاستیک دیوار برشی فولادی کوپله مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- رفتار سیستم دیوار برشی فولادی کوپله

در حالتی که دو پایه دیوار با تیر همبندی به یکدیگر متصل شوند که اتصال دو انتهای المان مفصلی باشد، تحت اثر بارهای جانبی این المان تنها نیروی محوری را انتقال می‌دهد و هر یک از دو پایه دیوار در برابر بارهای جانبی به صورت مستقل مقاومت می‌کنند.

در این حالت سیستم دیوار برشی فولادی در برابر ممان واژگونی ناشی از نیروهای جانبی از طریق دو مکانیزم مقاومت می‌کند:

ممان هر یک از اعضای مرزی قائم $(\sum M_{VBE})$ و کوپل تشکیل شده به وسیله نیروی محوری در اعضای قائم که در اثر ورق‌های جان و اعضای مرزی افقی ایجاد می‌شود $(\sum M_{PIER})$.

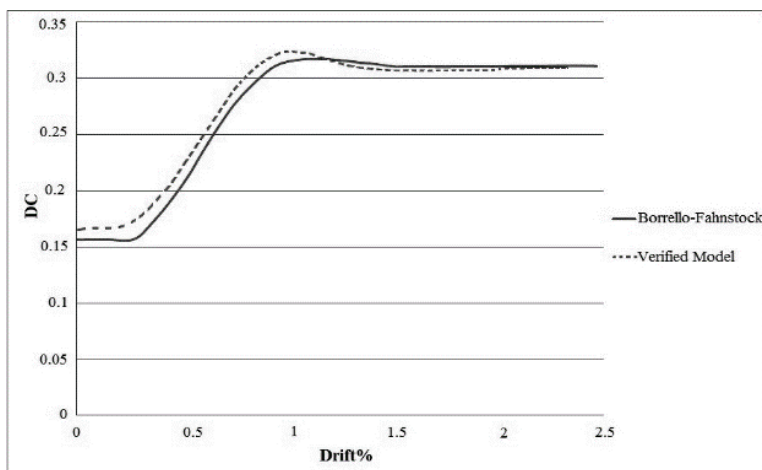
در حالتی که دو پایه دیوار برشی فولادی با المانی که دو انتهای آن گیردار است به یکدیگر متصل شوند، به صورت یکپارچه عمل می‌کنند. در این حالت سیستم دیوار برشی فولادی علاوه بر دو مکانیزم قبلی مکانیزم دیگری را نیز برای مقابله با ممان واژگونی دارا می‌باشد که عبارت است از کوپل تشکیل شده توسط نیروی محوری خالص هر پایه دیوار (M_{COUP}) .

ضریب یکپارچگی یک معیار ساده برای تعیین میزان اندرکنش دو پایه دیوار است که می‌تواند به صورت مستقیم برای مقایسه‌ی سازه‌هایی با ارتفاع و هندسه‌ی متفاوت مورد استفاده قرار گیرد.

مقدار ضریب یکپارچگی برابر است با نسبت لنگر واژگونی تحمل شده به وسیله مکانیزم کوپله به لنگر واژگونی تحمل شده در کل سیستم [۷-۸].

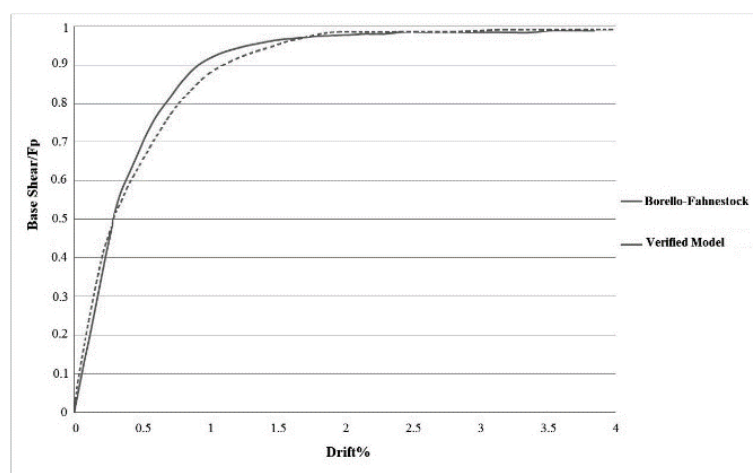
$$DC = \frac{M_{COUP}}{M_{TOTAL}} = \frac{(M_{COUP})}{\sum M_{VBE} + \sum M_{PIER} + M_{COUP}} \quad (1)$$

همچنین مشاهده شد که رفتار کلی سیستم دیوار برشی به رفتار تیرورق‌ها تحت برش بسیار نزدیک می‌باشد. در هر دو نمونه شکست در سیستم در قسمت تیر همبند بالایی رخ داده و اعضای تحمل‌کننده بارهای ثقلی تقریباً الاستیک باقی مانده و اعضای که در برابر بارهای جانبی مقاومت می‌کردند تسلیم شده و به جذب انرژی پرداخته‌اند [۲]. در سال ۲۰۰۸ چویی و پارک حالتی از دیوار برشی فولادی که بازسوی بزرگی در وسط آن وجود دارد را در نظر گرفته و تحت عنوان دیوار برشی فولادی کوپله نام‌گذاری کردند. در این تحقیق به جای استفاده از ستون‌های داخلی، از صفحات فولادی به ضخامت ۱۲ میلی‌متر و عرض ۱۰۰ میلی‌متر که به لبه آزاد ورق فولادی پرکننده دیوار جوش شده بودند، استفاده شد. مقایسه نتایج حاصل از دیوار برشی فولادی همبند با دیوار برشی فولادی ساده بدون بازسوی نشان داد که دیوار برشی فولادی همبند دارای سختی و مقاومت اولیه کمتری نسبت به دیوار برشی فولادی بدون بازسوی می‌باشد ولی در کل ظرفیت تغییرمکان نهایی آن برابر با حالت بدون بازسوی می‌باشد. همچنین با توجه به منحنی جذب انرژی تجمعی نمونه‌ها مشاهده شد که جذب انرژی تجمعی نمونه همبند ۷۳ درصد نمونه بدون بازسوی می‌باشد [۳]. تسای و همکارانش در سال ۲۰۱۱ تحقیقی را برای بررسی رفتار لرزه‌ای و طراحی دیوار برشی فولادی کوپله انجام دادند. آن‌ها ابتدا یک نمونه شش طبقه دیوار برشی فولادی کوپله را طراحی نموده، سپس ۲٫۵ طبقه‌ی اول از این نمونه شش طبقه در مقیاس ۰٫۴٪ نمونه اولیه را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که نمونه دیوار برشی فولادی کوپله به میزان بسیار خوبی رفتار شکل‌پذیر از خود نشان می‌دهد و در طول آزمایش بارگذاری سیکلی به میزان قابل توجهی انرژی هیستریزس را کاهش داده و جذب می‌کند. بر اساس نتایج بدست آمده پیشنهاد شد که نیاز دورانی تیر همبند در پایین‌ترین سطح یک دیوار برشی فولادی کوپله برابر دریافت طراحی طبقه تخمین زده شود [۴]. مطالعه دیگر در این زمینه در سال ۲۰۱۱ در دانشگاه ایلینویز توسط بورلو و فن استوک انجام شده است. این مطالعات شامل دو بخش مدل‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار OpenSees و مدل‌های آزمایشگاهی می‌باشد. در این مطالعات ابتدا یک متدولوژی طراحی بر مبنای ظرفیت برای دیوارهای برشی بیان شده است و برای صحت‌سنجی این متدولوژی نمونه‌های ۶ طبقه طراحی شدند؛ سپس مدل‌های آزمایشگاهی ۳ طبقه در مقیاس بزرگ مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج بدست آمده نشان داد که افزایش ضریب یکپارچگی باعث انتقال حداکثر مقدار دریافت به طبقات پایین‌تر می‌شود [۵]. در ادامه تحقیقات صورت گرفته توسط بورلو و فن استوک ۳۲ نمونه دیوار برشی فولادی کوپله



شکل ۱. نمودار تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر دررفت بام مدل اعتبارسنجی شده

Fig. 1. Graph of integration coefficient versus drift roof validation of the validated model



شکل ۲. نمودار تغییرات برش پایه نرمالایز شده در برابر دررفت بام مدل اعتبارسنجی شده

Fig. 2. Diagram of normalized base shear changes against the validated model drift roof

شده است. بورلو و فن استوک مدل عددی خود را از یک دیوار برشی فولادی کوپله یک طبقه با استفاده از نرم افزار OpenSees ساختند. مدل نواری برای دیوارها با استفاده از المان خربایی الاستیک- کاملاً پلاستیک با شیب α که بر مبنای رفتار میدان کششی حاصل می شود، ایجاد شد. المان های مرزی، المان های تیر-ستون غیرخطی با مقاطع فیبری بر اساس مدل ترکیبی OpenSees Steel02 می باشند. غیرخطی هندسی و غیرخطی بودن مصالح در مدل سازی در نظر گرفته شد. نیروی جانبی نیز به صورت مساوی میان ۴ اتصال تیر-ستون طبقه توزیع شد. نتایج حاصل از مدل ساخته شده با فرضیات در نظر گرفته شده و نتایج مدل بورلو و فن استوک در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده اند.

۳- مدل ها و فرضیات محاسباتی:

۳-۱- المان های مورد استفاده در مدل سازی

در این مطالعه از المان های پوسته ای ۴ گره ای (S4R) برای مدل سازی تیر همبند، تیرها، ستون ها و صفحه فولادی استفاده شده است.

۳-۲- اعتبارسنجی

به منظور ارزیابی دقت مدل سازی و صحت نتایج حاصل از مدل ها، مدل سازی انجام شده توسط بورلو و فن استوک [۵] مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مدل عددی خود با استفاده از مدل سازی آزمایشگاهی صحت سنجی

جدول ۱. ابعاد المانهای استفاده شده در مدل اعتبارسنجی

Table 1. Dimensions of the elements used in the validation model

Element	Shape
EVBE	W14x145
IVBE	W14x132
HBE	W18x50
CB	W18x65
Web Plate	PL3352x3557x1/6(mm)

جدول ۲. تنش تسلیم فولاد مصرفی در مدلها

Table 2. yield stress of consumed steel in models

Element	VBE	HBE	CB	Shape
F_y	$F_y = 345 \text{ MPa}$		$F_{yw} = 248 \text{ MPa}$	

ترتیب از مقاطع W14x283 و W14x257 و برای تیرها (HBE) از W18x50 استفاده شده است. طولهای ۱/۵ متر و ۳ متر در تیرهای همبند بکار گرفته شده‌اند. برای تیر همبند در مدل‌های مختلف از مقاطع W18x175، W18x97، W18x65 و استفاده شده است.

۴- ارزیابی نتایج تحلیل مدلها

برای بررسی تأثیر تغییرات پارامتر طول تیر همبند در رفتار سیستم، نمودار تغییرات برش پایه در برابر تغییرمکان و نمودار تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر دریافت برای مدل‌هایی با سختی یکسان تیر همبند و طولهای ۱/۵ متر و ۳ متر ترسیم شدند.

نتایج حاصل از مدل‌های ۱ طبقه و ۴ طبقه با مقطع تیر همبند W18x65 نشان می‌دهد که کوپله کردن دیوار برشی فولادی سبب می‌شود که میزان برش پایه تحمل شده توسط سیستم در حدود ۲۵٪ افزایش یابد. همچنین مشاهده می‌شود که کوپله کردن سیستم در این حالت باعث کاهش ۵۰ درصدی در میزان تغییرمکان جانبی سیستم می‌شود.

نتایج حاصل از مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x97 نشان می‌دهد که کوپله کردن دیوار برشی فولادی سبب می‌شود که میزان برش پایه سیستم در مدل ۱ طبقه در حدود ۳۰٪ و در مدل ۴ طبقه در حدود ۳۵٪ افزایش یابد. همچنین مشاهده می‌شود که کوپله کردن سیستم در این حالت در مدل ۱ طبقه و مدل ۴ طبقه به ترتیب باعث ۵۰٪ و ۶۰٪ کاهش در میزان تغییرمکان جانبی سیستم می‌شود.

نتایج حاصل از مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x175 نشان می‌دهد که کوپله کردن دیوار برشی فولادی سبب می‌شود که میزان برش پایه تحمل شده توسط سیستم در مدل ۱ طبقه در حدود ۴۰٪ و در مدل ۴ طبقه با تیر همبندهایی به طول ۱/۵ متر و ۳ متر به ترتیب در حدود ۵۰٪ و ۴۵٪ افزایش یابد. همچنین مشاهده می‌شود که کوپله کردن سیستم در این حالت در مدل ۱ طبقه و مدل ۴ طبقه به ترتیب باعث ۶۰٪ و ۶۵٪ کاهش در میزان تغییرمکان جانبی سیستم می‌شود.

در مدل‌های ۱ طبقه با مقطع تیر همبند W18x65 با افزایش طول

۳-۳ ویژگی‌های مصالح

در مدل‌ها دو نوع فولاد با تنش تسلیم مختلف بکار رفته است. برای صفحه‌های فولادی با در نظر گرفتن اثر اندرکنش ورق فولادی و قاب، از فولاد با تنش تسلیم پایین تر استفاده شده است تا صفحه فولادی قبل از قاب اطراف شروع به تسلیم و جذب انرژی نماید. رفتار فولاد الاستو پلاستیک فرض شده است. مدول الاستیسیته و ضریب پواسون به ترتیب برابر با $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ و $0/3$ در نظر گرفته شده است.

۳-۴ بارگذاری و شرایط مرزی

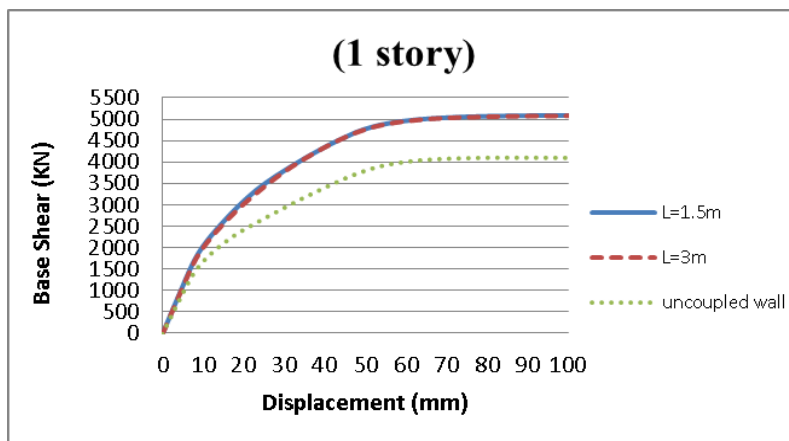
نیروی جانبی به صورت مساوی به ۴ نقطه محل اتصال المان‌های مرزی قائم به المان‌های مرزی افقی وارد شد. آنالیز انجام شده در نرم‌افزار ABAQUS تحت کنترل تغییرمکان با معیار کنترل تغییرمکان در تراز بالایی قاب می‌باشد و جهت اعمال بار جانبی از آنالیز Static-Riks استفاده شده است.

شرایط مرزی به صورت قیدهای مکانی در تمام گره‌های تراز پایه ستون‌ها در نظر گرفته شد به طوری که تمامی آزادی انتقالی و دورانی محدود شده‌اند. همچنین برای جلوگیری از کماتش خارج از صفحه، تغییرمکان خارج از صفحه‌ی قاب‌ها نیز مقید شده‌اند.

۳-۵ مشخصات هندسی مدلها

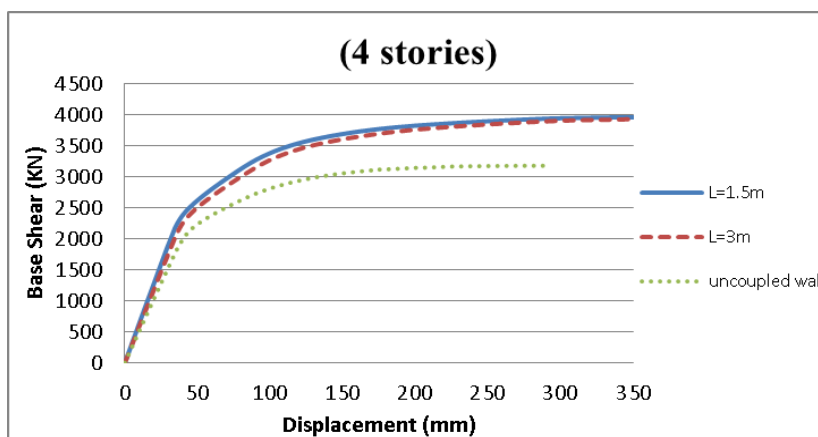
در این مقاله تأثیر تغییر پارامترهایی چون طول و سختی تیر همبند بر میزان ضریب یکپارچگی و برش تحمل شده در مدل‌های یک طبقه و چهار طبقه دیوار برشی فولادی کوپله مورد بررسی قرار گرفته است.

در همه مدل‌ها ارتفاع طبقات برابر با ۴ متر، طول تیر هر دهانه برابر با ۳ متر و ضخامت صفحه فولادی برابر با ۱/۶ میلی متر در نظر گرفته شده است. برای ستون‌های خارجی (EVBE) و ستون‌های داخلی (IVBE) به



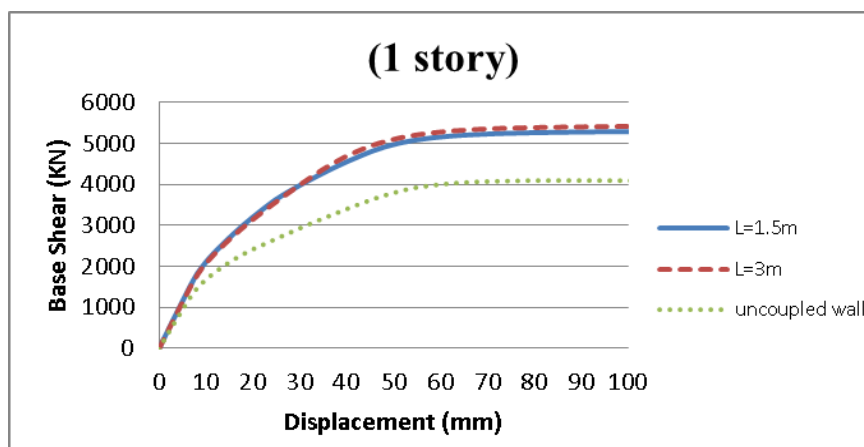
شکل ۳. تغییرات برش پایه در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x65

Fig. 3. Basic shear changes in models with W18x65 connecting beam cross section



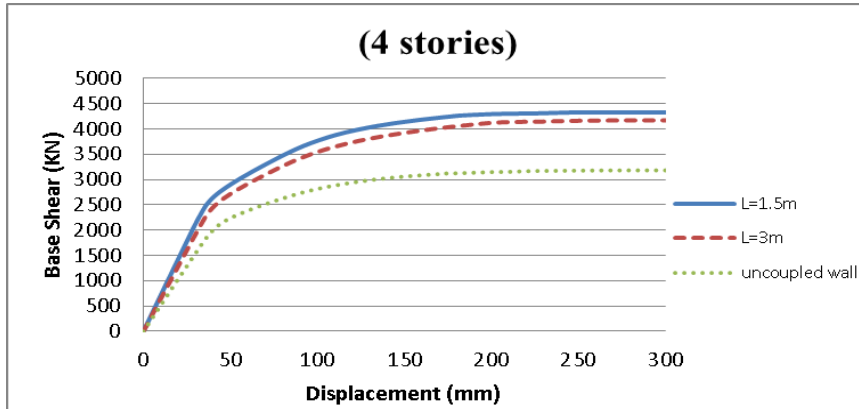
شکل ۴. تغییرات برش پایه در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x65

Fig. 4. Basic shear changes in models with W18x65 connecting beam cross section



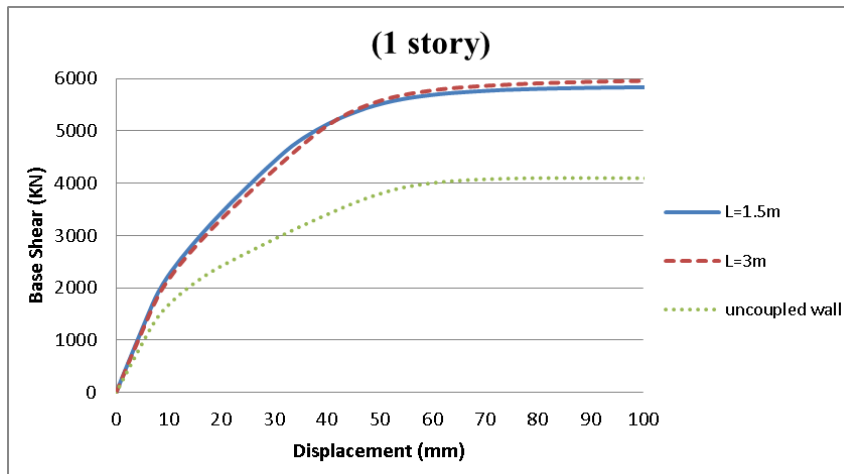
شکل ۵. تغییرات برش پایه در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x97

Fig. 5. Basic shear changes in models with W18x97 beam cross section



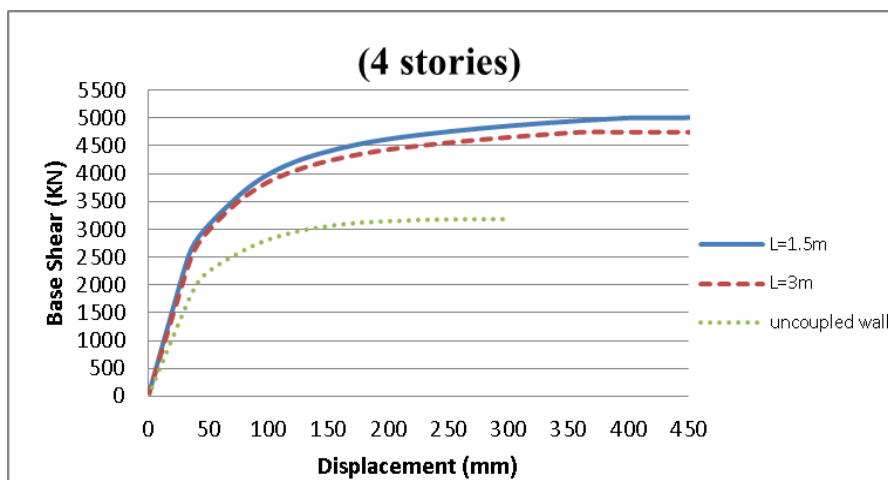
شکل ۶. تغییرات برش پایه در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x97

Fig. 6. Basic shear changes in models with W18x97 beam cross section



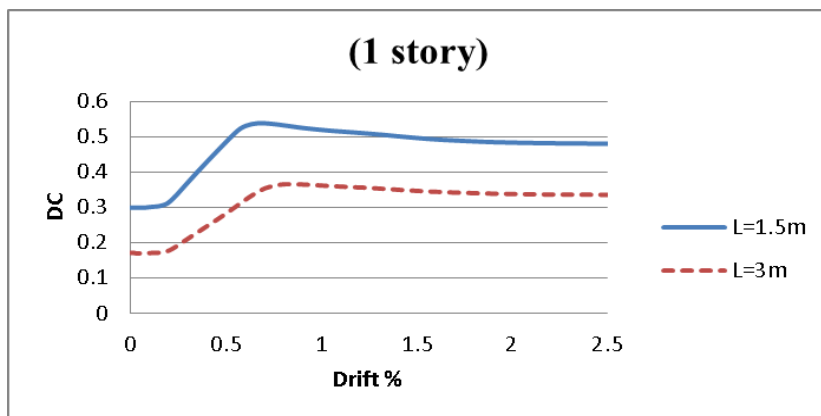
شکل ۷. تغییرات برش پایه در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x175

Fig. 7. Basic shear changes in models with W18x175 connecting beam cross section



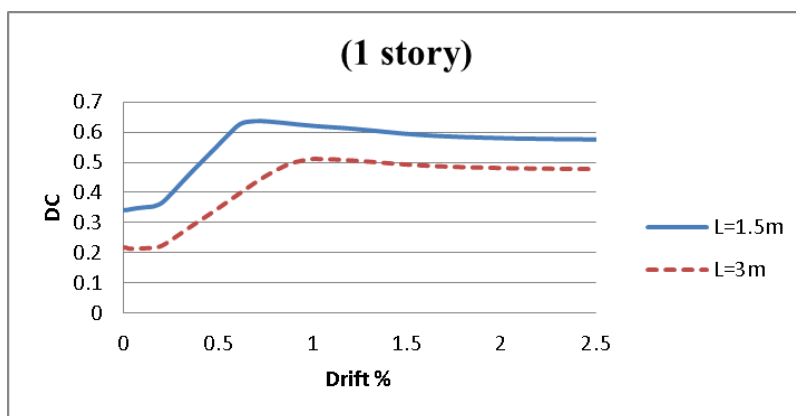
شکل ۸. تغییرات برش پایه در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x175

Fig. 8. Basic shear changes in models with W18x175 connecting beam cross section



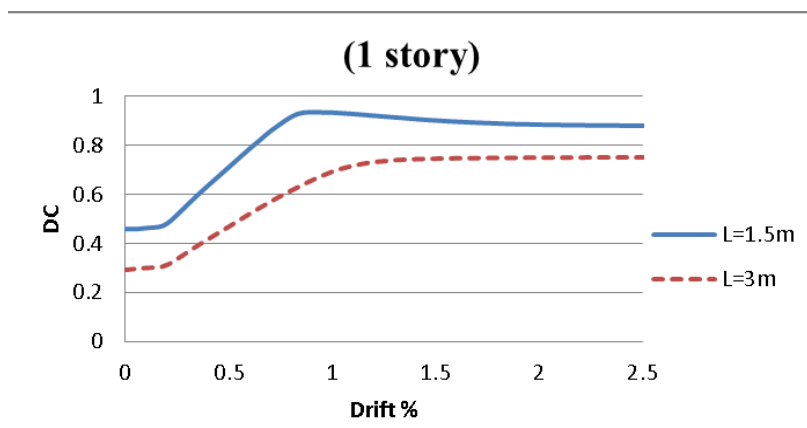
شکل ۹. تغییرات ضریب یکپارچگی در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x65

Fig. 9. Integration coefficient changes in models with W18x65 connecting beam cross section



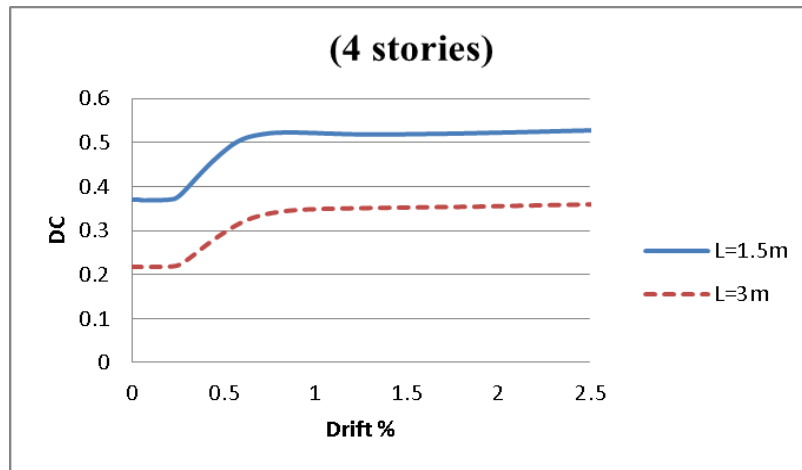
شکل ۱۰. تغییرات ضریب یکپارچگی در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x97

Fig. 10. Integration coefficient changes in models with W18x97 beam cross section



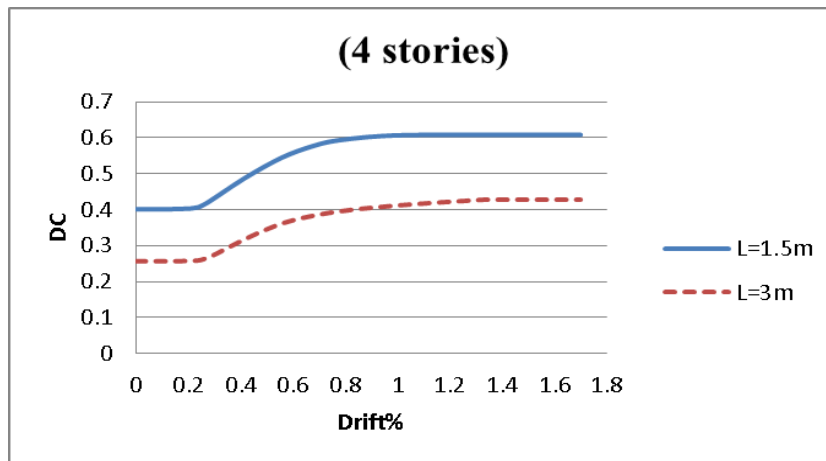
شکل ۱۱. تغییرات ضریب یکپارچگی در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x175

Fig. 11. Integrity coefficient changes in models with W18x175 coupling beam cross section



شکل ۱۲. تغییرات ضریب یکپارچگی در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x65

Fig. 12. Integration coefficient changes in models with W18x65 connecting beam cross section



شکل ۱۳. تغییرات ضریب یکپارچگی در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x97

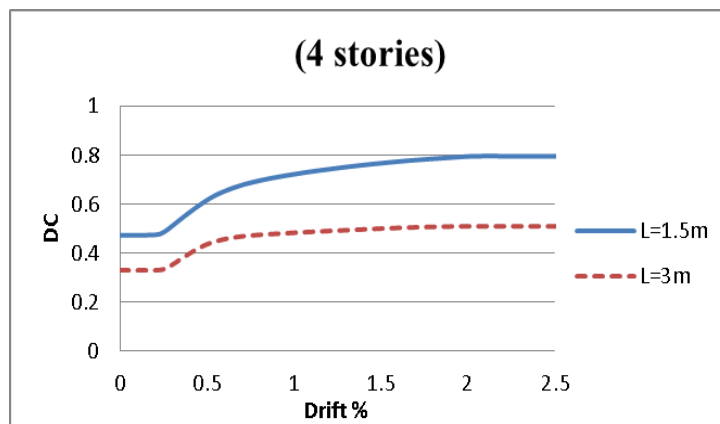
Fig. 13. Integration coefficient changes in models with W18x97 beam cross section

کاهش یابد. نتایج حاصله نشان می‌دهند که در تغییر میزان ضریب یکپارچگی با طول تیر همبند اثرات منفی غالب بوده و افزایش طول تیر همبند سبب کاهش میزان ضریب یکپارچگی می‌شود. برای بررسی تاثیر تغییرات پارامتر سختی تیر همبند در رفتار سیستم، نمودار تغییرات برش پایه در برابر تغییر مکان و نمودار تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر دررفت برای مدل‌های ۱/۵ متری و ۳ متری ترسیم شدند. نتایج حاصل از مدل‌های ۱ طبقه و ۴ طبقه با طول تیر همبند ثابت نشان می‌دهد که با افزایش سختی تیر همبند میزان برش پایه در ناحیه خطی

تیر همبند میزان ضریب یکپارچگی در حدود ۴۷٪ و در مدل ۱ طبقه با مقطع تیر همبند W18x97 و W18x175 ضریب یکپارچگی در حدود ۲۵٪ کاهش می‌یابد.

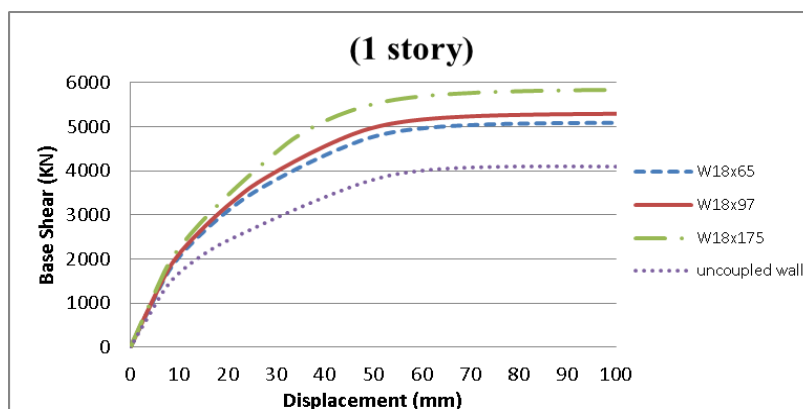
در مدل‌های ۴ طبقه با افزایش طول تیر همبند میزان ضریب یکپارچگی به طور متوسط در حدود ۳۰٪ کاهش می‌یابد.

تغییر طول تیر همبند دارای اثرات کاهش و افزایش بر میزان ضریب یکپارچگی سختی جانبی و برش پایه تحمل شده سیستم می‌باشد. افزایش طول تیر همبند از یک سو سبب می‌شود که بازوی لنگر کوپله افزایش یابد ولی از سوی دیگر میزان نیروی محوری حاصل از کوپله کردن دو دیوار



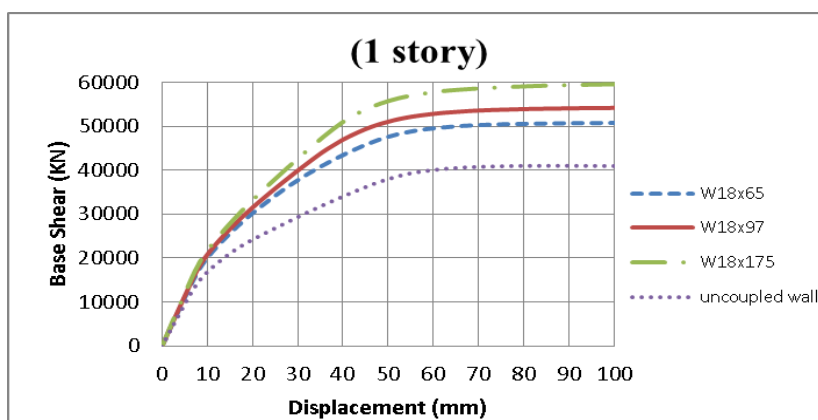
شکل ۱۴. تغییرات ضریب یکپارچگی در مدل‌ها با مقطع تیر همبند W18x175

Fig. 14. Integrity coefficient changes in models with W18x175 coupling beam cross section



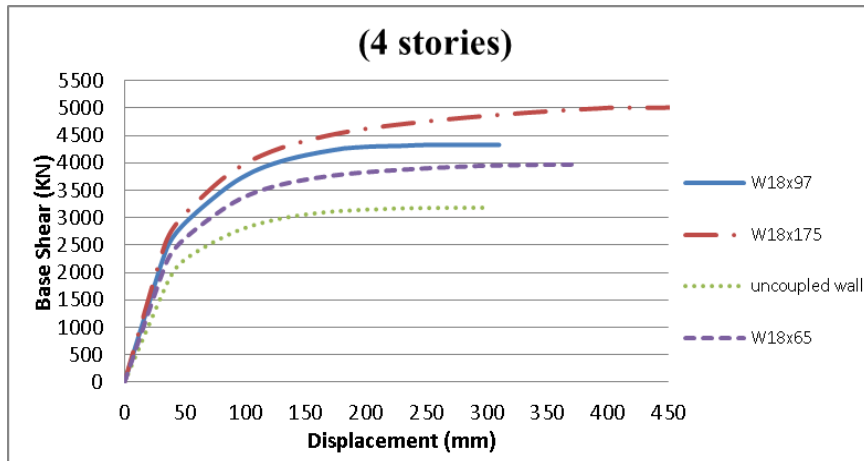
شکل ۱۵. تغییرات برش پایه در برابر تغییر مکان در مدل‌ها با طول ۱/۵ متر

Fig. 15. Basic shear changes against displacement in models with a length of 1.5 meters



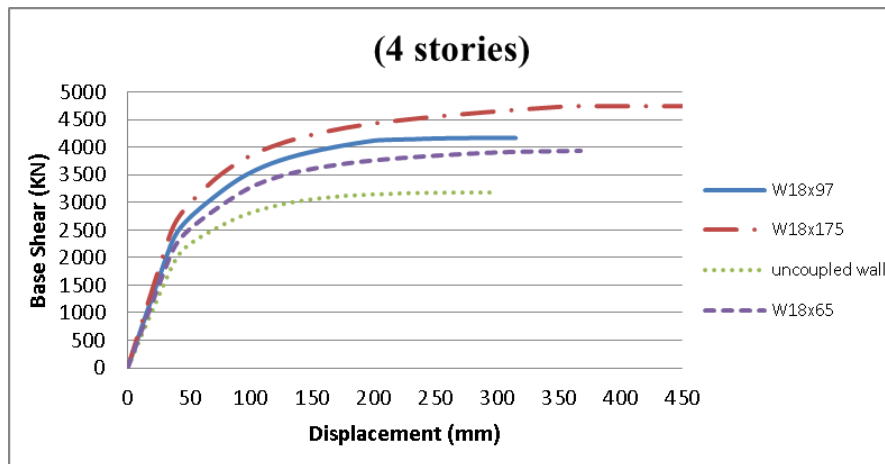
شکل ۱۶. تغییرات برش پایه در برابر تغییر مکان در مدل‌ها با طول ۳ متر

Fig. 16. Changes in the base shear versus displacement in models with a length of 3 meters



شکل ۱۷. تغییرات برش پایه در برابر تغییر مکان در مدل‌ها با طول ۱/۵ متر

Fig. 17. Changes in the base shear versus displacement in models with a length of 1.5 m

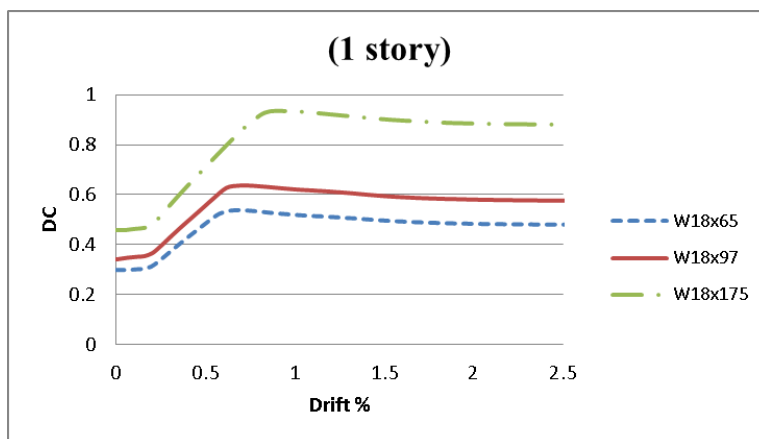


شکل ۱۸. تغییرات برش پایه در برابر تغییر مکان در مدل‌ها با طول ۱/۵ متر

Fig. 18. Basic shear changes against displacement in models with a length of 1.5 meters

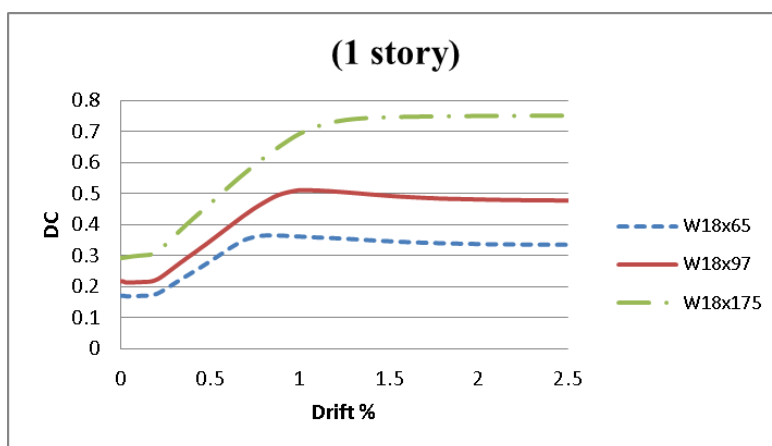
تغییر مکان‌های خمشی سیستم به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. نمودارهای فوق نشان می‌دهند که افزایش سختی تیر همبند سبب می‌شود ضریب یکپارچگی که معرف و معیاری برای پیوسته عمل کردن دو پایه دیوار تشکیل دهنده سیستم دیوار برشی فولادی کوپله است، افزایش یابد. همچنین مشاهده می‌شود که در مدل‌ها با سختی بیشتر تیر همبند حداکثر مقدار ضریب یکپارچگی در مقادیر بزرگتری از دریفت نسبت به مدل‌ها با سختی کمتر می‌باشد.

تقریباً ثابت باقی می‌ماند ولی با افزایش تغییر مکان و ورود سیستم به ناحیه غیرخطی، افزایش سختی تیر همبند سبب افزایش میزان برش پایه سیستم می‌شود. تأثیر افزایش سختی بر افزایش میزان برش پایه در مدل‌های ۴ طبقه بیشتر از مدل‌های ۱ طبقه است، به طوری با تغییر مقطع تیر همبند از W18x65 به W18x175 میزان برش پایه در مدل ۱ طبقه ۱۵٪ و در مدل ۴ طبقه ۱/۵ متری و ۳ متری به ترتیب ۲۵٪ و ۲۰٪ افزایش می‌یابد. از دیدگاه دیگر می‌توان گفت که با کوپله کردن سیستم دیوار برشی فولادی و افزایش میزان کوپله بودن سیستم با افزایش سختی تیر همبند،



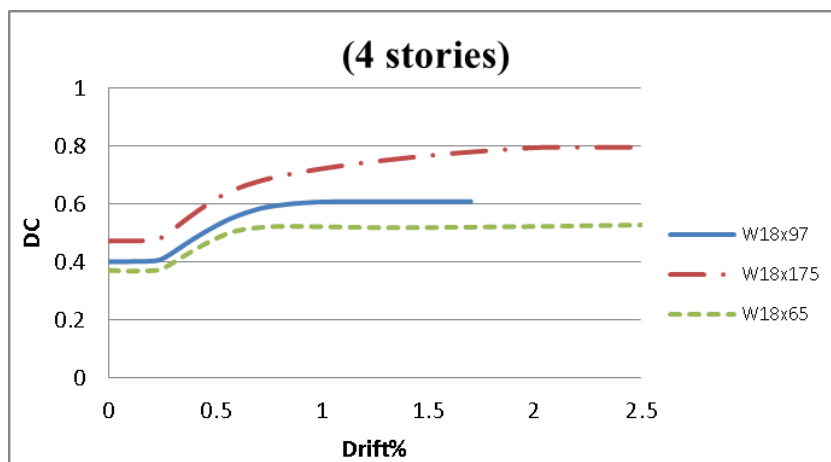
شکل ۱۹. تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر تغییر مکان در مدلها با طول ۱/۵ متر

Fig. 19. Changes in the integration coefficient against displacement in models with a length of 1.5 meters



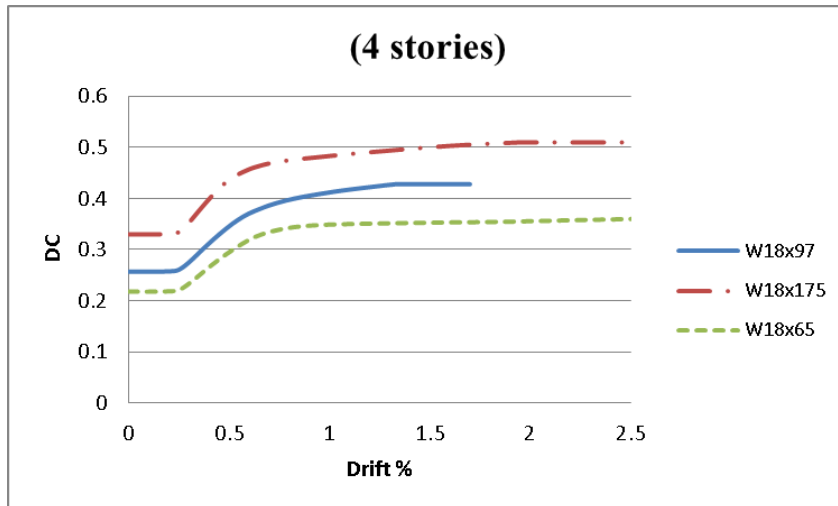
شکل ۲۰. تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر تغییر مکان در مدلها با طول ۳ متر

Fig. 20. Changes in the integration coefficient against displacement in models with a length of 3 meters



شکل ۲۱. تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر تغییر مکان در مدلها با طول ۱/۵ متر

Fig. 21. Changes in the integration coefficient against displacement in models with a length of 1.5 meters



شکل ۲۲. تغییرات ضریب یکپارچگی در برابر تغییر مکان در مدلها با طول ۳ متر

Fig. 22. Changes in the integration coefficient against displacement in models with a length of 3 meters

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله رفتار دیوار برشی فولادی کوپله با توجه به مشخصات هندسی تیر همبند مورد بررسی قرار گرفت. هدف از اتصال دو دیوار برشی فولادی بوسیله تیرهای همبند به یکدیگر و تشکیل دیوار برشی فولادی کوپله، افزایش سختی خمشی سیستم و جلوگیری از تغییر مکان‌های بزرگ خمشی می‌باشد. با وجود آن که دیوار برشی فولادی کوپله به عنوان یک سیستم کارآمد و مؤثر در تحمل بارهای جانبی شناخته شده است، تنها مطالعات محدودی بر روی رفتار لرزه‌ای و عملکرد دیوار برشی فولادی کوپله صورت گرفته است و در ضوابط آیین‌نامه‌های کنونی دستورالعملی برای طراحی این دیوارها وجود ندارد و رابطه بین رفتار کلی و جزئی آن‌ها نیز به خوبی شناخته شده نیست. در مطالعه پیش رو سعی شد تا با بررسی پارامترهای مهمی چون ضریب یکپارچگی، میزان برش پایه و تغییر مکان‌های خمشی در دیوار برشی فولادی کوپله، شناخت بیشتری از رفتار این نوع دیوار برشی ایجاد شود و امکان تدوین ضوابط آیین‌نامه‌ای برای طراحی آن و اجازه کاربرد گسترده این سیستم‌ها در آینده فراهم شود. شایان ذکر است که نتایج بدست آمده، برای مدل‌هایی از دیوار برشی فولادی یک و چهار طبقه با مشخصات ذکر شده در مقاله فوق می‌باشند. برای قضاوت‌های دقیق‌تر بهتر است با اعمال تغییرات در مشخصات دیوارها و تعداد طبقات، بررسی‌های بیشتری به عمل آید.

نتایج بدست آمده از این تحقیق و بررسی عبارتند از:

- تغییر طول تیرهای همبند با سختی یکسان تأثیر چشمگیری در میزان ضریب یکپارچگی دارد. افزایش طول تیر همبند در مدل‌های ۱ طبقه باعث کاهش ۲۵ تا ۵۰ درصد و در مدل‌های ۴ طبقه باعث کاهش ۳۰ درصد میزان ضریب یکپارچگی می‌شود.
- تغییر طول تیرهای همبند با سختی یکسان تأثیر چندانی در میزان سختی جانبی و برش پایه سیستم دیوار برشی فولادی کوپله ندارد.
- افزایش سختی تیرهای همبند سبب افزایش میزان ضریب یکپارچگی می‌شود.
- افزایش سختی تیرهای همبند سبب افزایش میزان برش پایه دیوار برشی فولادی کوپله می‌شود. تأثیر افزایش سختی بر افزایش میزان برش پایه در مدل‌های ۴ طبقه بیشتر از مدل‌های ۱ طبقه است.
- با افزایش سختی تیر همبند و افزایش میزان کوپله بودن، تغییر مکان‌های خمشی سیستم به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.
- کوپله کردن دیوار برشی فولادی سبب می‌شود تغییر مکان‌های خمشی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یابند. مشاهده می‌شود که کوپله کردن سیستم در مدل ۱ طبقه و مدل ۴ طبقه به ترتیب باعث کاهش ۵۰ و ۶۰ درصد در میزان تغییر مکان جانبی سیستم می‌شود.
- در سیستم دیوار برشی فولادی کوپله افزایش سختی تیرهای همبند باعث کاهش تغییر مکان‌های جانبی می‌شود.

منابع

- Engineering and Construction, p. p. 582-589, 2011.
- [5] Borello, D.J.; Fahnestock, L.A.; “Design and Testing of Coupled Steel Plate Shear Walls”, Journal of Constructional steel Research, p. p. 736-747, Nov. 2011..
- [6] Borello, D.J.; Fahnestock, L.A.; “Behavior and Mechanisms of Steel Plate Shear Walls with Coupling”, Journal of Constructional steel Research, Dec. 2011.
- [7] Canadian Standards Association. Design of Concrete Structures (A23.3). Canadian Portland Cement Association, Ontario, Canada, 1994.
- [8] Harries, K.A.; Moulton, J.D.; Redwood, R.G.; Cook, W.D.; “Parametric Study of Coupled Wall Behavior Implications for The Design of Coupling Beams”, Journal of Structural Engineering, Vol. 130, 2004.
- [1] Sabelli, R.; Brunneau, M.; AISC Design Guide 20-Steel Plate Shear Walls, American Institute of Steel Construction, 2006.
- [2] Zhao, Q.; Astaneh-Asl, A.; “Cyclic Behavior of an Innovative Steel Shear Wall System”, Proc. Of the 13th World Conf. On Earthquake Engineering, Canada, paper No.2576, 2004.
- [3] Choi, I.; Park, H.; “Cyclic Test For Framed Steel Plate walls With Various Infill Plate Details”, The 14th World Conf. On Earthquake Engineering, Beijing, China, Oct. 2008.
- [4] Li, C.H.; TSAI, K.C.; CHANG, J.T.; LIN, C.H.; “Cyclic Test of Coupled Steel Plate Shear Wall Substructure”, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

A. R. Rahai, N. Valizadeh, A. Shokoohfar, Investigation of coupled steel plate shear wall behavior under lateral loading , Amirkabir J. Civil Eng., 53(12) (2022) 5589-5602.

DOI: 10.22060/ceej.2019.8504.4183



