

اثر بازشو و فواصل برش گیرها در رفتار دیوار برشی مرکب

حمیدرضا کاظمی نیاکرانی^۱، ابوالفضل عربزاده^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران- سازه، مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس.

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

arabzade@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۰/۱۸]

تاریخ دریافت: [۹۴/۱۰/۰۵]

چکیده

دیوارهای برشی سیستمی مقاوم در برابر نیروهای جانبی همچون باد و زلزله است. با توجه به شکل پذیری و مقاومت جانبی مناسبی که دیوارهای برشی فولادی دارند، این نوع دیوارها در دهه های اخیر مورد توجه مهندسین و پژوهشگران قرار گرفته اند. در صورتی که تسلیم برشی قبل از کمانش ورق جان دیوار رخ دهد، قابلیت جذب انرژی دیوار بیشتر خواهد شد. تقویت ورق جان دیوار برشی فولادی موجب تسلیم برشی قبل از کمانش ورق می شود. به منظور تقویت ورق دیوار می توان از سخت کننده های فولادی و یا لایه ای از بتن استفاده کرد. دیوار برشی فولادی که از یک یا دو لایه بتنی برای افزایش مقاومت خارج از صفحه آن استفاده شود، را دیوار برشی مرکب می گویند. با توجه به مطالعات اندکی که در زمینه این نوع دیوارها انجام گرفته است، در این مطالعه به بررسی اثر بازشو و فواصل برش گیرها در رفتار دیوار برشی مرکب پرداخته خواهد شد. ابتدا یک دیوار برشی مرکب برای ساختمان ۱۰ طبقه طراحی شده و پس از انتخاب طبقه فوقانی آن و ساخت چندین مدل اجزای محدود در نرم افزار Abaqus، به بررسی آنها پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که برخلاف دیوار برشی فولادی که بازشو در مرکز نسبت به کناره دیوار بیشتر مقاومت را کاهش می دهد، بازشو در گوشه های دیوار برشی مرکب نسبت به میانه آن باعث کاهش مقاومت می شود. همچنین با کاهش فاصله بین برش گیرها ظرفیت دیوار برشی مرکب افزایش می یابد.

واژگان کلیدی: دیوار برشی مرکب، بازشو، برش گیر، شکل پذیری، روش اجزای محدود.

۱- مقدمه

عملکرد بسیار مناسب دو ماده بتن و فولاد سبب افزایش روز

افزون استفاده از سیستمهای مرکب شده است [1].

دیوار برشی مرکب مانند دیوار برشی فولادی است که به جای سخت کننده در آن از بتن مسلح استفاده می شود و لایه بتنی مانع از کمانش ورق دیوار می شود. دیوار برشی مرکب انواع مختلفی دارد، بتن مسلح در این دیوارها می تواند از یک یا دو طرف به ورق فولادی به وسیله گل میخ یا پیچ متصل شود. دیوار برشی مرکب برای سازه هایی که دارای نیروی برشی زیادی هستند بسیار مناسب است، زیرا بتن مسلح نه تنها از کمانش ورق جلوگیری می کند، بلکه در تحمل برش نیز مشارکت می کند. همچنین لایه بتنی مجاور ورق فولادی، مقاومت دیوار در مقابل حریق را افزایش می دهد. بطور کلی

سازه های مرکب که در شاخه مهندسی عمران کاربرد دارند بیشتر از ترکیب بتن و فولاد ساخته می شوند. بتن ماده ای است که در فشار مقاومت خوبی دارد و نسبت به فولاد هزینه تولید پایین تری دارد. در مقابل آن، فولاد در کشش مقاومتی چندین برابر بتن دارد. پس ترکیب مناسب این دو ماده می تواند سبب اقتصادی تر شدن طرح در مقایسه با سیستم های رایج فولادی یا بتنی شود. دلیل اینکه دیوارهای برشی مرکب اقتصادی تر از دیوارهای برشی فولادی هستند این است که برای جلوگیری از کمانش دیوارهای برشی فولادی و استفاده از ظرفیت قبل از کمانش ورق، سخت کننده هایی مورد نیاز است، که اجرای این سخت کننده ها در مقایسه با یک لایه بتنی دشوارتر است.

می توان اینگونه بیان کرد که دیوار برشی مرکب، نسل سوم دیوارهای برشی مقاوم در برابر بارهای جانبی محسوب شده که علاوه بر افزایش مقاومت، شکل پذیری و جذب انرژی، اقتصادی و مقرون به صرفه بوده و در ساخت ساختمان های بلند مرتبه، مقاوم سازی ابنیه و نیز مخازن استفاده قرار می شود [1].

آستانه-اصل و همکاران علاوه بر دیوار برشی فولادی به بررسی دیوار برشی مرکب پرداختند [1]. هدف از انجام پژوهش ها روی دیوار برشی مرکب، مقایسه آزمایش چرخه ای دیوار برشی سنتی و جدید بود. آنها در هر دو سیستم، اتصال تیر به ستون را صلب در نظر گرفتند. تنها اختلاف دو نوع دیوار برشی مرکب در نظر گرفته شده، این بود که در سیستم جدید شکافی بین بتن و المان مرزی در نظر گرفته شده بود. نمونه های آزمایش شده یک ساختمان سه طبقه یک دهانه در مقیاس ۱:۲ بودند. درز شکافی در نمونه دیوار برشی مرکب جدید 3.175 cm در نظر گرفته شده بود [2].

مقایسه گراف نیروی برشی و تغییر شکل دو دیوار برشی مرکب سنتی و جدید می تواند یک نتیجه مهم باشد. اطلاعات با ارزش سختی، مقاومت، شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی سیستم که همگی از پارامترهای بسیار مهم طراحی هستند، از نتایج آزمایش ها تأمین شد. هر دو نمونه قادر به رسیدن به جابه جایی های بیشتر از ۴٪ بدون کاهش مقاومت بودند. همچنین هر دو قادر به رسیدن به جابه جایی درون طبقه ای حداقل ۵٪ است، وقتی که مقاومتشان در حدود هشتاد درصد بیشترین مقاومت آنها باشد [2].

حاتمی و صهری [3] نیز به مطالعه دیوارهای برشی مرکب پرداختند. نتیجه ای که از پژوهش های آنها می توان گرفت این است که در صورت استفاده از دو لایه بتنی در دو طرف ورق فولادی میزان تغییر مکان های جانبی داخل صفحه تغییر چندانی پیدا نمی کند. همچنین دیوار برشی مرکب قابلیت بیشتری در جذب انرژی و گسترش تنش های ایجاد شده به نقاط بیشتری از صفحه فولادی دارد. افزایش نسبت ضخامت پوشش بتن مسلح به ضخامت صفحه فولادی، موجب افزایش سختی و شکل پذیری دیوار برشی مرکب می شود. این افزایش سختی و شکل پذیری با توجه به ابعاد و هندسه پانل، تا حد مشخصی

صورت یافته و بیش از آن تأثیر چندانی نخواهد داشت. همچنین تغییر نسبت ضخامت پوشش بتن آرمه به صفحه فولادی در دیوار برشی مرکب، تا مقدار مشخصی توانایی افزایش سختی، شکل پذیری و جذب انرژی را خواهد داشت. ضخامت بهینه پوشش بتن آرمه با توجه به ضخامت ۷ و ۳/۵ میلی متری صفحه فولادی، ۵۰ میلی متر در حالت بارگذاری سیکلی و یکنواخت با لحاظ نمودن ۱ درصد آرماتور حجمی در یک طرف صفحه فولادی مشخص شده است [3].

علاوه بر این حاتمی و رهایی [4-5]، برای بررسی اثر گل میخ ها در رفتار دیوارهای برشی مرکب روی مدل های متعددی ارزیابی کردند. در این ارزیابی لایه بتنی به وسیله گل میخ ها به ورق فولادی متصل شده بود. آنها به این نتیجه رسیدند که گل میخ ها باعث افزایش تنش توزیع شده به گل میخ ها می شود و تنش صفحه فولادی کاهش و تنش لایه بتنی افزایش می یابد. که نشان دهنده افزایش انتقال بخشی از تنش های صفحه فولادی به لایه بتن آرمه بوده و باعث افزایش میزان جذب انرژی دیوار برشی مرکب شده است.

به منظور بررسی بیشتر دیوار برشی مرکب، عربزاده و ایازی [6-7]، به مطالعه آزمایشگاهی دیوار نامبرده و مقایسه سیستم قاب خمشی، دیوار برشی فولادی و مرکب پرداختند. آنها چندین مدل دیوار برشی مرکب در آزمایشگاه سازه دانشگاه تربیت مدرس ساخته و بررسی کردند. آزمایش های آنها شامل دیوارهای یک طبقه با مقیاس ۱/۴ و سه طبقه با مقیاس ۱/۳ بود. نتایجی که از آزمایش های عربزاده و ایازی می توان گرفت این است که با اضافه شدن ورق فولادی به عنوان دیوار برشی به قاب صلب، همه پارامترهای سیستم لرزه ای بهبود می یابد. سختی دیوار برشی مرکب به ویژه قبل از تسلیم ورق، به علت وجود بتن بیشتر از سختی دیوار برشی فولادی است.

همچنین نیروی برشی ماکزیمم و تا حدودی شکل پذیری آن کمی بیشتر از دیوار برشی فولادی است. به عنوان یک نتیجه کلی، می توان اینگونه بیان کرد که رفتار لرزه ای دیوار برشی مرکب از دیوار برشی فولادی بهتر و نسبت به قاب خمشی بسیار بهتر است. با مقایسه نمودار چرخه ای مربوط به دیوار

نوع دیوار برشی سنتی بود که بتن به المانهای مرزی متصل بود. عربزاده و کاظمی نیا [13] در مطالعه‌ای به مقایسه رفتار دیوار برشی فولادی و مرکب پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که در دیوار برشی فولادی منطقه بحرانی برای ایجاد گشودگی در مرکز دیوار بوده، در حالی که در دیوار برشی مرکب منطقه بحرانی برخلاف دیوار برشی فولادی، در گوشه‌های دیوار است.

با توجه به مطالعاتی که در بالا به آنها اشاره شد، می‌توان دریافت که مطالعاتی که در گذشته روی دیوار برشی مرکب انجام گرفته در مقابل اهمیت موضوع بسیار ناچیز است و همچنین در مطالعات پیشین به بررسی اثر بازشو در رفتار دیوار برشی مرکب جدید پرداخته نشده است. در نتیجه در این مقاله به مطالعه و بررسی پارامتریک دیوار برشی مرکب پرداخته می‌شود.

۲- معادلات حاکم بر صفحات

در دیوارهای برشی فولادی ویژه که از یک ورق نازک به عنوان ورق جان دیوار استفاده می‌شود، به دلیل سختی خارج از صفحه کم، ورق قبل از تسلیم برشی کمانش می‌کند. اما در دیوارهای برشی مرکب به دلیل وجود بتن به عنوان سخت‌کننده، در صورتی که فاصله برش‌گیرها به اندازه کافی کم باشد، قبل از کمانش کلی، ورق به تسلیم برشی می‌رسد. در ادامه روابط مربوطه ارائه شده است.

به منظور ساده‌سازی مسأله، فرض می‌شود که هر کدام از زیرپانل‌های دیوار برشی مرکب تحت تنش برشی خالص قرار می‌گیرند. با در نظر گرفتن یک المان که تحت تنش برشی خالص قرار گرفته است، مقدار تنش‌های اصلی آن مطابق شکل زیر τ و $-\tau$ است.

شکل ۱. تنش‌های اصلی المان تحت برش خالص

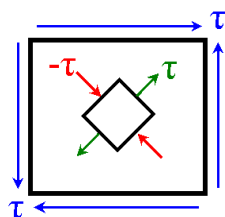


Fig. 1. Principal stress under pure shear stress

برشی مرکب و دیوار برشی فولادی مشاهده می‌شود که نمودار مربوط به دیوار برشی مرکب پایدارتر و انرژی بیشتری مستهلک می‌کند. مقدار انرژی مستهلک شده در دیوار برشی مرکب ۲۵٪ بیشتر از دیوار برشی فولادی و ۱۳۰٪ بیشتر از قاب خمشی می‌باشد. در طول بارگذاری، سختی قاب کاهش چشم‌گیری داشته است که به علت کمانش ستون‌ها است. مقاومت نهایی دیوار برشی مرکب نیز ۸٪ بیشتر از دیوار برشی فولادی است [6-7].

در دیوارهای برشی مرکب به دلیل وجود بتن مجاور ورق فولادی، کمانش به صورت یک طرفه می‌باشد با این تفاوت که کمانش در دیوارهای برشی فولادی به صورت دو طرفه است. در این زمینه، پژوهشگران مختلفی مطالعات مفیدی انجام دادند که لازم است به صورت مختصر به آنها اشاره شود.

هدایتی و همکاران [8]، ضرایب کمانشی یک طرفه ورق‌های تحت نیروهای برشی و لنگر خمشی با برش‌گیرهای متفاوت را بدست آوردند. آنها از روش رایلی-ریتز و به کار بردن چند جمله‌ای‌ها در هر دو جهت برای کمانش یک طرفه ورق استفاده کردند. آنها در مسأله خود اثر بتن و پیچ‌ها را نیز لحاظ کردند.

اسمیت و همکاران [9-10]، ضرایب کمانشی یک طرفه و دو طرفه در حالت ترکیبی از نیروها، به کمک روش‌های انرژی و مطالعات آزمایشگاهی به دست آوردند. نتایج مطالعات آنها نشان می‌دهد که ضرایب کمانش یک طرفه و دو طرفه برای ورق‌های مربعی شکل با هم یکسان هستند، اما برای نسبت‌های بیشتر (ورق مستطیلی) مقادیر کمانش یک طرفه بیشتر از دو طرفه است. اختلاف این دو بیشتر در ورق‌هایی است که تنش برشی بر تنش محوری حاکم است.

عربزاده و احمدی طالشان به بررسی عددی دیوارهای برشی مرکب پرداختند. آنها آثار فاصله بین گل‌میخ‌ها را در رفتار دیوار برشی مرکب بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با کاهش فاصله بین گل‌میخ‌ها انرژی جذب شده بیشتر می‌شود [11].

پوربافرانی [12] به مطالعه موقعیت و شکل بازشو در رفتار دیوار برشی مرکب پرداخت. مدل‌های در نظر گرفته ایشان از

می آید.

$$\frac{t}{S} \geq 0.261 \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \text{or} \quad \frac{S}{t} \leq 3.82 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (V)$$

در رابطه فوق S ، E و F_y به ترتیب فاصله برش گیرها، ضخامت، مدول الاستیسیته و تنش تسلیم ورق است.

۲-۱- ضوابط آیین نامه AISC در مورد دیوار برشی مرکب

دیوار برشی مرکب ویژه در آیین نامه AISC [15] به این صورت بیان شده است که صفحه ی فولادی با پوشش بتن مسلح از یک یا دو طرف تقویت شود و از کمانش ورق جلوگیری کند. آیین نامه نامبرده مقاومت برشی و همچنین مقاومت برشی اسمی دیوار را به صورت زیر بیان کرده است:

$$V_n = 0.6 F_y \times t_w L \quad (8)$$

$$V_a = \frac{V_n}{\Omega} \quad (\Omega = 1.67) \quad (9)$$

لازم به یادآوری است که $0.6 F_y$ همان تنش برشی تسلیم

$$\text{ورق است} \left[\tau_y = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \approx 0.6 F_y \right]. \text{ در رابطه فوق } L \text{ و } t_w \text{ به}$$

ترتیب معرف طول دهانه و ضخامت ورق جان است.

آیین نامه مذکور کمینه ممان اینرسی المان های قائم دیوار را به صورت زیر پیشنهاد می کند:

$$I_c \geq \frac{0.0031 t_w h^4}{L} \quad (10)$$

همچنین کمینه ممان اینرسی المان های افقی بر حسب اختلاف ضخامت طبقه پایین و بالای آن به صورت زیر بیان شده است:

$$I_b \geq \frac{0.0031 \Delta t_w L^4}{h} \quad (11)$$

۳- مدل های اجزای محدود و مشخصات مصالح

در این پژوهش برای مدل سازی اجزای محدود دیوارهای برشی مرکب، نرم افزار Abaqus استفاده شده است [16]. برای مدل سازی ورق فولادی جان از المان پوسته سه بعدی (S4R) استفاده شده است. این المان توانایی بررسی رفتار هر دو پوسته

با توجه به معیار تسلیم فون مایزس مقدار تنش برشی بحرانی (تسلیم) المان فوق به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] = F_y^2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} [(2\tau)^2 + (\tau)^2 + (\tau)^2] = F_y^2 \quad (2)$$

$$\tau_{yield} = \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

رابطه (۳) مقدار تنش برشی تسلیم ورق را نشان می دهد. نتایج تاکاناشی و همکاران [14]، نیز نشان داد که استفاده از سخت کننده در دیوارهای برشی فولادی باعث افزایش مقاومت شده بود و مقاومت برشی $V_y = \frac{AF_y}{\sqrt{3}}$ به دست آوردند که برگرفته از رابطه (۳) است.

وجود برش گیر در دیوار برشی مرکب موجب تسلیم برشی قبل از کمانش کلی ورق جان می شود. با وجود برش گیرها ورق جان به زیرپانل هایی تقسیم می شود که ابعاد کوچکتری دارند. هر چه ابعاد زیرپانل ها کوچکتر باشد، به عبارت دیگر هر چه فاصله برش گیرها کمتر باشد، زیرپانل دیرتر کمانش خواهد کرد [6]. در ادامه بازه نسبت فاصله برش گیرها به ضخامت ورق، به منظور تعیین کمانش و یا تسلیم برشی ورق به دست آمده است.

با فرض لبه ساده برای ورق، مقدار تنش برشی کمانشی برابر:

$$\tau_{cr} = \frac{9.35 \times \pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{S} \right)^2 \quad (4)$$

مقاومت برشی ورق مطابق رابطه (۳) که در مرجع [14] نیز آورده شده است، بدست می آید. به منظور اینکه کمانش بعد از تسلیم برشی اتفاق افتد باید مقاومت کمانشی ورق بیشتر از مقاومت برشی آن باشد. بنابراین:

$$\tau_{cr} \geq \tau_y \quad [11] \quad (5)$$

با جایگذاری روابط (۳ و ۴) در رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$\frac{9.35 \times \pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t}{S} \right)^2 \geq \frac{F_y}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

پس از ساده کردن رابطه (۶) رابطه ساده زیر بدست

شکل ۳. عدم تداخل ورق فولادی در لایه بتنی پس از کمایش ورق

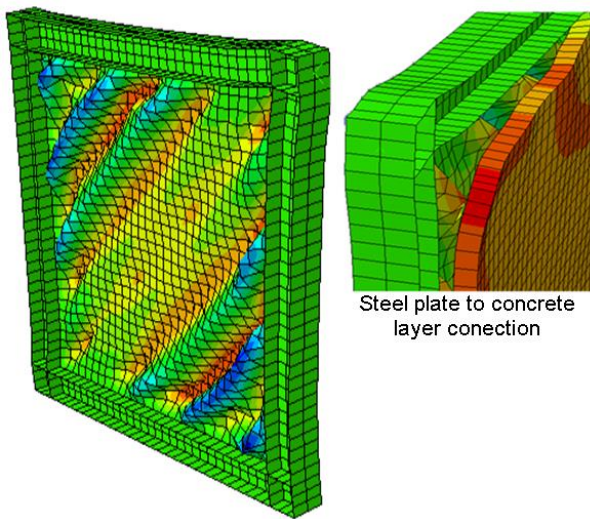


Fig. 3. Non-interference of steel plate in the concrete layer after buckling

۳-۱- چگونگی طراحی مدل دیوار برشی مرکب

به منظور بررسی پارامترهای مختلف در دیوار برشی، در ابتدا دیوار برشی مرکب مطابق ضوابط آیین‌نامه AISC طراحی شده و پس از آن به مطالعه پارامتریک طبقه انتهایی ساختمان مدنظر پرداخته شده است.

مدل در نظر گرفته شده، یک ساختمان ۱۰ طبقه است که پس از طراحی سازه، بالاترین طبقه انتخاب، و بررسی‌ها روی آن بخش انجام گرفته است. ارتفاع طبقات ساختمان مربوطه ۳ و ارتفاع کلی آن ۳۰ متر است. ساختمان مطالعه شده جزء ساختمان‌ها با درجه اهمیت زیاد (گروه ۲) در نظر گرفته شده است. همچنین فرض شده است که ساختمان روی زمین نوع II قرار گرفته باشد. بار مرده و زنده اعمالی بر کف‌ها ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. یکی از معیارهای توقف آنالیزهای غیرخطی، ضوابط آیین‌نامه‌ای در مورد محدودیت جابه‌جایی نسبی طبقات است. در این مقاله معیار توقف تحلیل‌ها، بیشینه جابه‌جایی نسبی مدل‌ها در نظر گرفته شده است که این جابه‌جایی بر حسب دوره تناوب به مقادیر زیر محدود می‌شود.

$$\begin{cases} T < 0.7 \text{ sec} \rightarrow 0.025 H \\ T \geq 0.7 \text{ sec} \rightarrow 0.020 H \end{cases} \quad (12)$$

در رابطه فوق T زمان تناوب و H ارتفاع مدل است. همچنین دوره تناوب براساس رابطه تجربی زیر بدست می‌آید:

ضخیم و نازک را دارد. علاوه بر ورق جان دیوار برشی فولادی، المان‌های مرزی و ورق‌های پیوستگی نیز به وسیله المان فوق‌الذکر مدل‌سازی شده‌اند. همچنین برای پوشش بتنی، المان‌های سه‌بعدی آجری (C3D8R) در نظر گرفته شده که در آن آرماتورهای طولی و عرضی به صورت جداگانه در یک لایه تعریف و سپس به روش جاسازی المان (Embedded Element) در محل‌های مورد نظر داخل پوشش بتنی قرار داده شده‌اند.

المان S4R، دارای ۶ درجه آزادی است که سه درجه آن درجه آزادی انتقالی و سه درجه دیگر درجه آزادی چرخشی است. در حالی که المان C3D8R، ۳ درجه آزادی (سه درجه انتقالی) دارد. بنابراین به منظور سازگاری ورق فولادی و دیوار بتنی از یک المان تماسی (Contact) استفاده شد. لایه میانی بین ورق فولادی و پانل بتن مسلح به وسیله المان تماسی بدون اصطکاک و بدون اجازه نفوذ ورق فولادی به بتن، مدل شده است. به عبارت دیگر، اندرکنش بین ورق فولادی و لایه بتنی به صورت Hard Contact و بدون اصطکاک منظور شده است. همچنین، این ویژگی المان تماسی برای لایه میانی بین لبه‌های بتن مسلح و المان‌های مرزی در نظر گرفته شده است.

برای اتصال بتن و ورق فولادی در محلی که برش‌گیر قرار می‌گیرد، از متصل کردن نقطه بتن و ورق فولادی انجام گرفته است. بدین منظور ورق فولادی و لایه بتنی به گونه‌ای تقسیم‌بندی شده‌اند که در محل برش‌گیر نقطه مشترک داشته باشند. شکل‌های زیر دیوار برشی مرکب تقسیم‌بندی شده برای ۱۶ برش‌گیر و همچنین کمایش ورق یک نمونه از دیوار، برای نمایش عدم تداخل ورق در بتن را نشان می‌دهند.

شکل ۲. دیوار برشی مرکب مدل شده در نرم‌افزار اجزای محدود

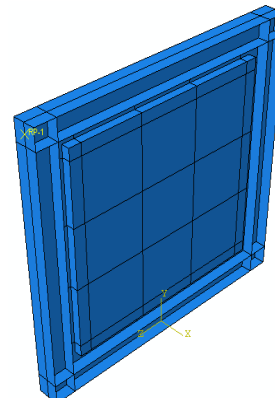


Fig. 2. Composite shear wall is modeled in finite element software

مراحل طراحی آن در بخش قبل ارائه شد، انتخاب شده و در نرم افزار اجزای محدود Abaqus مدل و تحلیل شده است. مدل در نظر گرفته شده به این صورت است که یک قاب یک دهانه و یک طبقه که طول دهانه آن (داخل به داخل ستون ها) ۳ متر و ارتفاع آن نیز (داخل به داخل تیرها) ۳ متر در نظر گرفته شده است. نتیجه طراحی دیوار برشی مرکب مطالعه شده در طبقه آخر (طبقه مدنظر برای بررسی) بدین صورت است که ضخامت ورق جان ۲ میلی متر و ابعاد تیر و ستون آن IPB280 بدست آمده است. همچنین ضخامت بتن مورد استفاده که در یک طرف ورق قرار گرفته است، برابر ۱۰۰ میلی متر است. با توجه به مزایای دیوار برشی مرکب جدید آستانه و همکاران [2] نسبت به دیوار سنتی معرفی شده، در این مقاله دیوار برشی جدید بررسی شده است. بنابراین فاصله بین لایه بتنی با قاب فولادی، ۱۵۰ میلی متر در نظر گرفته شده است.

لازم به یادآوری است که برای جلوگیری از کماتش موضعی بال ستون در محل اتصال تیر به ستون، در راستای بال تیر، ورق پیوستگی در نظر گرفته شده است.

۳-۳- مشخصات مصالح

مشخصات مصالح در نظر گرفته شده برای بخش های مختلف مدل اجزای محدود در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات قاب و ورق فولادی در مدل اجزای محدود

	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Strain at Ultimate (%)	E (GPa)
Frame	240	370	15	210
Plate	240	370	15	210

Table 1. Properties of frame and steel plate in finite element model

جدول ۲. مشخصات لایه بتنی در مدل اجزای محدود

	F_c (MPa)	ν	E (GPa)
Concrete	25	0.2	23.5

Table 2. Properties of concrete layer in finite element model

۴- درستی آزمایشی مدل های اجزاء محدود

در این بخش برای اطمینان از درستی مدل المان محدود و توانایی آن برای تخمین صحیح رفتار واقعی دیوار برشی،

$$T = 0.05H^{\frac{3}{4}} \quad (13)$$

در نمونه های مطالعه شده H برابر ارتفاع ورق بعلاوه ارتفاع تیرهای فوقانی و تحتانی که برابر ۳/۵۶ متر می شود. بنابراین دوره تناوب با توجه به رابطه (۱۳) برابر ۰/۱۳ ثانیه است. از آنجایی که دوره تناوب کمتر از ۰/۷ ثانیه است، بنابراین آنالیزهای غیرخطی در جابه جایی زیر متوقف می شوند.

$$d = 0.025H = 0.025 \times 356$$

$$d = 8.9 \text{ cm} = 89 \text{ mm} \quad \underline{USE : 100 \text{ mm}} \quad (14)$$

در زیر پلان در نظر گرفته شده برای ساختمان مطالعه شده به همراه دیوارهای برشی مرکب آن نشان داده شده است. دیوار برشی مرکب انتخابی با بیضی قرمز رنگ مشخص شده است.

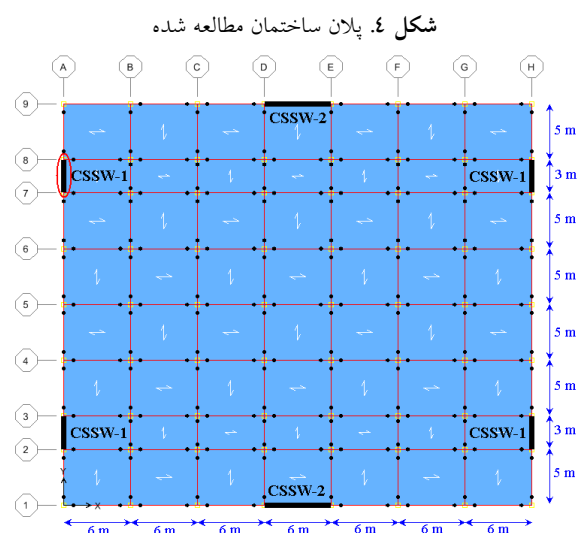


Fig. 4. Building plan of case study

با توجه به مشخصات سازه و بارهای اعمالی بر کف هر کدام از طبقات، نیروی برشی هر طبقه بدست آمده و با توجه به روابط موجود در آیین نامه AISC ضخامت ورق جان هر کدام از طبقات به دست می آید. پس از نهایی شدن ضخامت ورق هر کدام از طبقات، با توجه به روابط (۱۰ و ۱۱) ابعاد تیر و ستون به دست می آید. به منظور اختصار، از ارائه جزئیات طراحی چشم پوشی شده است.

۳-۲- هندسه کلی مدل اجزای محدود

به منظور بررسی پارامترهای مختلف، طبقه آخر سازه که

شکل زیر نشان دهنده اختلاف نمودار نیرو-جابجایی مدل ساخته شده در این مقاله و نتایج نمونه آزمایشگاهی لابل است.

شکل ۶. مقایسه نتایج مقاله حاضر با مدل آزمایشگاهی لابل [17]

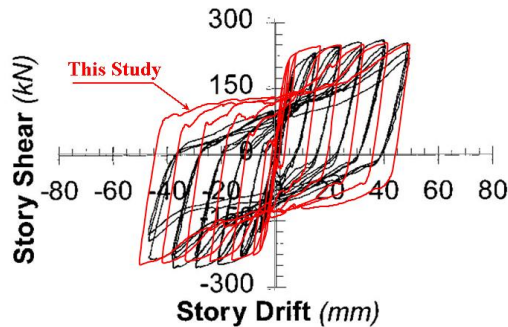


Fig. 6 Comparison of the results between this study and Lubell's experimental model [17]

۴-۲- مقایسه با نمونه آزمایشگاهی ولی زاده

از آنجایی که موضوع این مقاله در مورد اثر بازشو بر رفتار دیوار است، در نتیجه در این بخش لزوم درستی آزمای یک نمونه دیوار برشی دارای بازشو احساس می شود. مهمترین موردی که از مدل سازی دیوار برشی با بازشو مد نظر است، پینچینگ و به اصطلاح له شدگی است. بنابراین در ادامه یکی از نمونه های مورد آزمایش ولی زاده و همکاران [18] انتخاب و مدل سازی آن در نرم افزار انجام گرفته است. در این مقاله مدل SPW4 که ورق جان آن ۰/۷ میلی متر و قاب آن مفصلی است، در نظر گرفته شده و مدل سازی آن انجام گرفته است. قابل ذکر است که قطر سوراخ دایره ای آن ۲۵۰ میلی متر بوده که در مرکز ورق می باشد. در ادامه به مقایسه نتایج مطالعه حاضر و مدل آزمایشگاهی نامبرده پرداخته شده است.

شکل ۷. تغییر شکل و تنش ایجاد شده در اثر اعمال بار

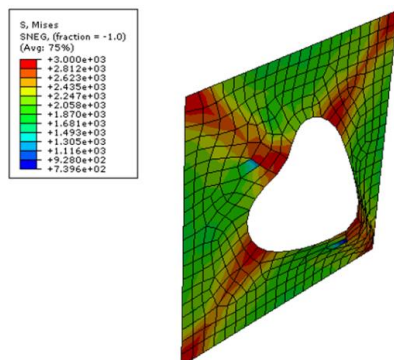


Fig. 7. Deformation and stress caused by loading

چندین مدل دیوار برشی در نرم افزار Abaqus مدل و تحلیل شده اند و نتایج آنها با نتایج آزمایش های انجام گرفته در پژوهش های گذشته، مقایسه شده است. در ادامه مقایسه های انجام گرفته ارائه شده است.

۴-۱- مقایسه با نمونه آزمایشگاهی لابل

لابل و همکارانش [17] در سال ۲۰۰۰ دو نمونه دیوار برشی فولادی سخت نشده یک طبقه و یک نمونه چهار طبقه را تحت بار چرخه ای قرار دادند و نتایج برش پایه-تغییر مکان هر کدام از آنها را استخراج کردند. در این پژوهش نمونه یک طبقه SPSW2 که تفاوت آن با مدل دیگر این است که تیر بالایی آن از دو پرفیل ۸×۷۵ تشکیل شده است، انتخاب و در نرم افزار Abaqus مدل شده است. مشخصات دیوار برشی مذکور در مقاله مربوطه ارائه شده است. شکل زیر تغییر شکل و تنش ایجاد شده در اثر اعمال بار در بالای دیوار مدل شده در نرم افزار Abaqus را نشان می دهد.

با توجه به نتایج مربوط به نمونه آزمایشگاهی و نتایج حاصل از نمونه ساخته شده، مشاهده می شود نتایج، اختلاف اندکی با هم دارند که این دال بر درستی مدل سازی در نرم افزار Abaqus است. شایان ذکر است، اختلاف اندک بین نتایج عددی و آزمایشگاهی بیشتر ناشی از لقی تکیه گاه مدل، جک ها و لودسل ها در آزمایشگاه است. همچنین در مدل عددی تکیه گاه صلب در نظر گرفته شده است که در آزمایشگاه انعطاف پذیرتر است.

شکل ۵. تغییر شکل و تنش ایجاد شده در اثر اعمال بار

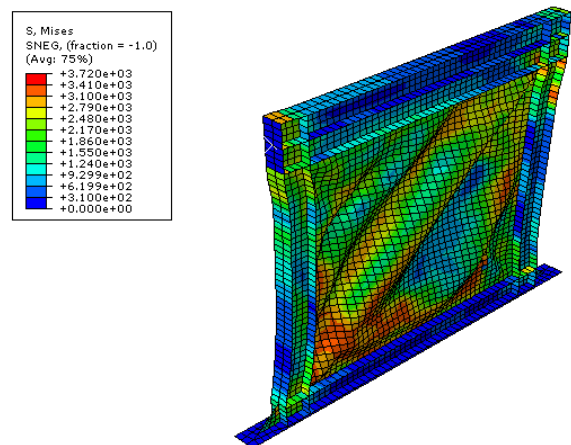


Fig. 5. Deformation and stress caused by loading

با توجه به نمودار فوق مشاهده می شود نتایج نسبت به هم تطابق دارند و اختلاف موجود به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی در مورد مشخصات مصالح بکار رفته در مدل آزمایشگاهی است.

۵- نتایج

در این بخش به نتایج مدل های مختلف دیوار برشی مرکب پرداخته شده است. در ابتدا به مقایسه نتایج مربوط به دیوار برشی مرکب، فولادی و قاب خمشی پرداخته می شود. سپس اثر تعداد برش گیرها در رفتار دیوار برشی مرکب بررسی شده، در ادامه به بررسی موقعیت و شکل بازشو پرداخته شده است. در انتها نتایج دیوار برشی مرکب با بازشو، با چینش مختلفی از برش گیرها ارائه خواهد شد.

۵-۱- مقایسه دیوار برشی مرکب، فولادی و قاب خمشی

برای مقایسه نتایج مدل های اجزای محدود دیوار برشی مرکب، فولادی و قاب خمشی، المان های مرزی هر سه مدل و همچنین بار اعمالی به آنها یکسان در نظر گرفته شده است. به این صورت که ابتدا قاب خمشی ساخته و با اضافه کردن ورق جان در میان قاب خمشی، دیوار برشی فولادی ساخته شده است. سپس برای تشکیل دیوار برشی مرکب، لایه بتنی به ضخامت ۱۰ سانتی متر در یک طرف ورق فولادی اضافه شده است. لازم به گفتن است، برای اتصال ورق فولادی به لایه بتنی از ۹ برشگیر استفاده شده است. نمودار برش پایه - تغییر مکان برای سه حالت قاب خمشی، دیوار برشی فولادی و مرکب استخراج و در شکل زیر نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۱۰) مشاهده می شود که در یک جابه جایی ثابت، مقدار برش پایه در حالت دیوار برشی فولادی ۱۲۰٪ بیشتر از قاب خمشی است و در حالت دیوار برشی مرکب مقدار برش پایه تقریباً ۲۳٪ بیشتر از دیوار برشی فولادی و ۱۷۰٪ بیشتر از قاب خمشی است که این نشان دهنده بیشتر بودن سختی دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی فولادی و قاب خمشی است. با توجه به چاق تر بودن نمودار مربوط به دیوار برشی مرکب نسبت به دو سیستم دیگر، می توان نتیجه

شکل ۸. مقایسه نتایج مقاله حاضر با مدل آزمایشگاهی ولیزاده [18]

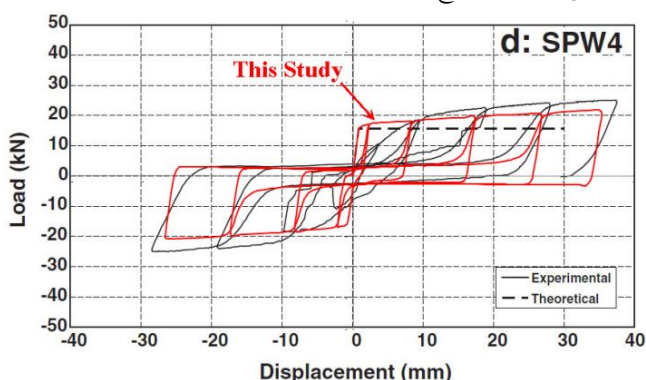


Fig. 8. Comparison of the results between this study and Valizadeh's experimental model [18]

با توجه به نتایج مربوط به نمونه آزمایشگاهی و نتایج حاصل از نمونه ساخته شده در نرم افزار، مشاهده می شود نتایج، اختلاف ناچیزی با هم دارند و نرم افزار Abaqus قادر به در نظر گرفتن له شدگی در مدل ها است.

۴-۳- مقایسه با نمونه آزمایشگاهی آستانه اصل

به دلیل مطالعه رفتار دیوار برشی مرکب در این مقاله، نمونه آزمایشگاهی آستانه اصل و همکاران [1] که مربوط به دیوار برشی مرکب است، در نرم افزار Abaqus مدل سازی شده است و به مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی پرداخته شده است. شکل (۹) مقایسه نتایج مدل عددی ساخته شده در نرم افزار و مدل آزمایشگاهی نامبرده را نشان می دهد.

شکل ۹. مقایسه نتایج مقاله حاضر با مدل آزمایشگاهی آستانه اصل و همکاران [1]

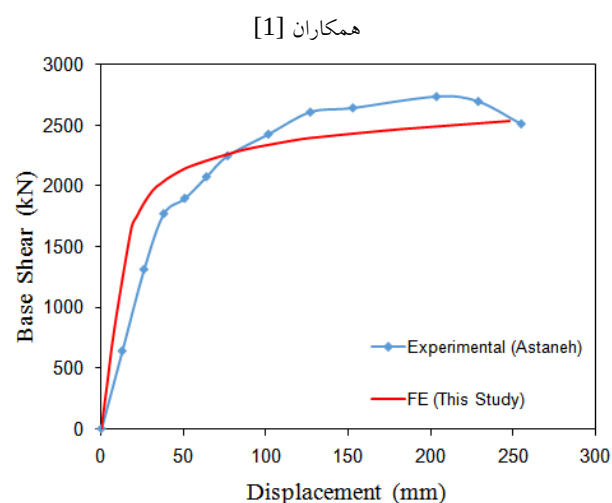


Fig. 9. Comparison of the results between this study and Aastaneh's experimental model [1]

مقاومت و جذب انرژی دیوار می‌شود. برش گیرها نقش مهمی در افزایش مقاومت دیوار برشی مرکب ایفا می‌کنند. بدین منظور در این بخش به اثر فاصله آنها بر مقاومت دیوار برشی مرکب با ضخامت ورق جان مختلف پرداخته شده است. بدین منظور ۸ مدل اجزای محدود در نظر گرفته شده است که مدل اول مربوط به دیوار برشی فولادی بوده و هفت مدل بعدی دارای فواصل برش گیر ۲۴۰۰، ۱۲۰۰، ۸۰۰، ۶۰۰، ۴۸۰، ۴۰۰ و ۳۰۰ است. مدل‌های فوق برای ۴ ضخامت مختلف ۲، ۳، ۴ و ۵ میلی‌متر ورق جان دیوار برشی مرکب انجام گرفته است که در نهایت ۳۲ مدل بررسی شده است. شکل زیر در ادامه نتایج مربوط به ضخامت‌های مختلف جان آورده شده است.

شکل ۱۱. تغییرات نیرو-جابجایی مدل‌ها (ورق جان ۲ میلی‌متر)

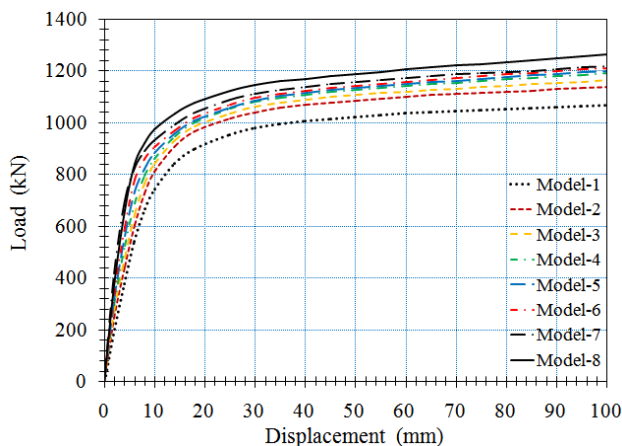


Fig. 11. Shear force-displacement curves of FE models (plate thickness=2mm)

شکل ۱۲. تغییرات نیرو-جابجایی مدل‌ها (ورق جان ۳ میلی‌متر)

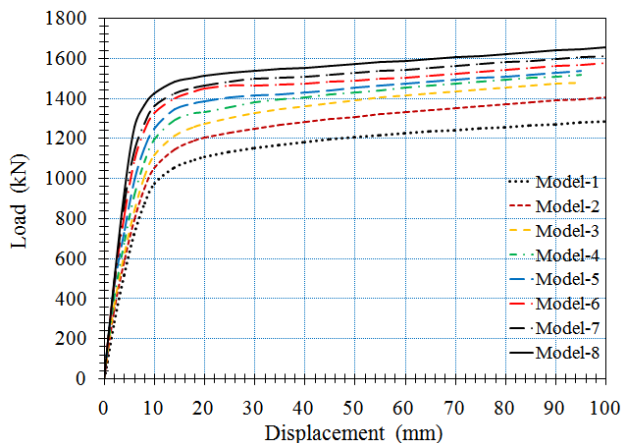


Fig. 12. Shear force-displacement curves of FE models (plate thickness=3mm)

گرفت که انرژی جذب شده به وسیله آن از دو سیستم دیگر خیلی بیشتر بوده که معرف شکل‌پذیری زیاد دیوار برشی مرکب سیستم می‌باشد. ناگفته نماند که دیوار برشی فولادی نیز نسبت به قاب خمشی از شکل‌پذیری بیشتری برخوردار است.

شکل ۱۰. مقایسه قاب خمشی، دیوار برشی فولادی و مرکب

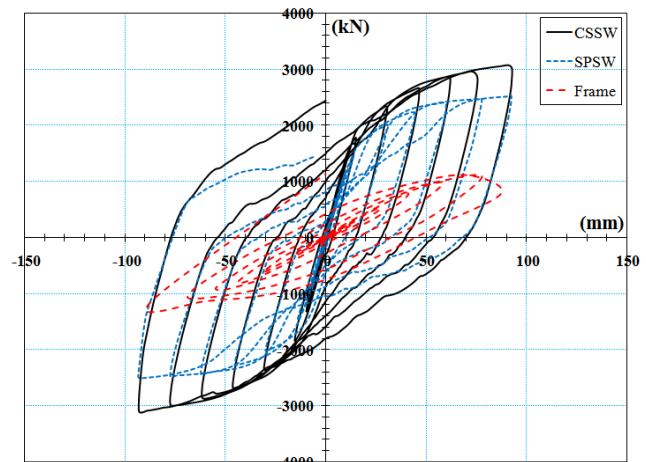


Fig. 10. Comparison of moment frames, steel shear wall and composite shear wall

به دلیل عدم وجود ورق فولادی در قاب خمشی تنها، مقدار سختی آن در کلیه سیکل‌های بارگذاری از سختی دیوار برشی فولادی و مرکب کمتر می‌باشد. اما با مقایسه نمودار دیوار برشی فولادی و مرکب مشاهده می‌شود به دلیل وجود ورق فولادی یکسان، دارای سختی یکسانی است. ناگفته نماند که لایه بتنی به المان‌های مرزی متصل نیست به همین دلیل در سختی دیوار اثری ندارد. به دلیل وجود لایه بتنی و تبدیل کماتش کلی ورق به کماتش جزئی پانل‌های کوچک دیوار برشی مرکب، مقاومت دیوار برشی مرکب بیشتر از دیوار برشی فولادی است و همین امر باعث چاق‌تر شدن نمودار و جذب انرژی بیشتر دیوار برشی مرکب شده است.

۵-۲- اثر تعداد برش گیرها در رفتار دیوار برشی مرکب

برش گیرها نقش اتصال ورق فولادی به لایه بتنی را دارند و باعث می‌شوند ورق فولادی دیرتر کماتش کند. در صورتی که فاصله برش گیرها به اندازه کافی کم باشد، در آن صورت تسلیم برشی قبل از کماتش ورق اتفاق می‌افتد که باعث افزایش

شکل ۱۵. ظرفیت بر حسب نسبت ضخامت به فاصله برش گیرها

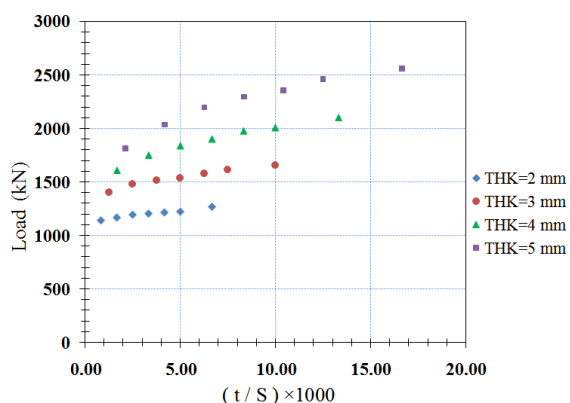


Fig. 15. Wall capacity in ratio of thickness to studs distance

۳-۵- اثر موقعیت بازشو در رفتار دیوار برشی مرکب

در این بخش به بررسی اثر موقعیت بازشو در مقاومت دیوار برشی مرکب پرداخته می شود. به منظور بررسی اثر بازشو ۷ مدل دیوار برشی مرکب با بازشوها در مکان های مختلف بررسی شده است. البته برای مقایسه نتایج، مدل ۱ دیوار برشی مرکب بدون بازشو است. شماره مدل ها بر حسب موقعیت بازشو در شکل زیر نشان داده شده اند.

شکل ۱۶. موقعیت بازشو در دیوار

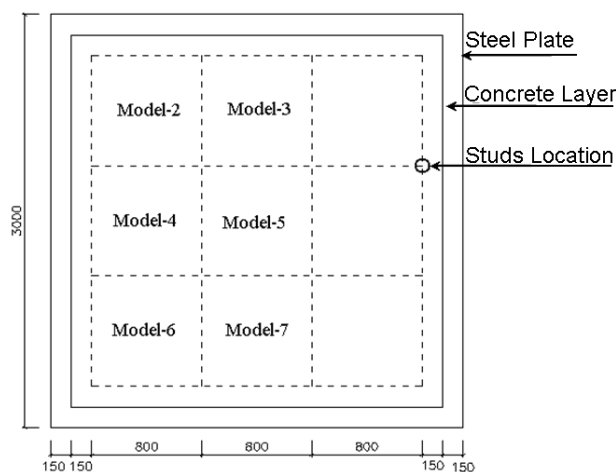


Fig. 16. Wall opening position

لازم است یادآوری شود که Model-1 مربوط به دیوار برشی مرکب بدون بازشو است. در ادامه برای بررسی اثر موقعیت در مقاومت دیوار برشی مرکب، مدل ۱ به همراه مدل های ۲ الی ۷ که دارای بازشو به ابعاد ۷۰۰×۷۰۰ میلی متر است، با هم مقایسه می شوند.

شکل ۱۳. تغییرات نیرو-جابجایی مدل ها (ورق جان ۴ میلی متر)

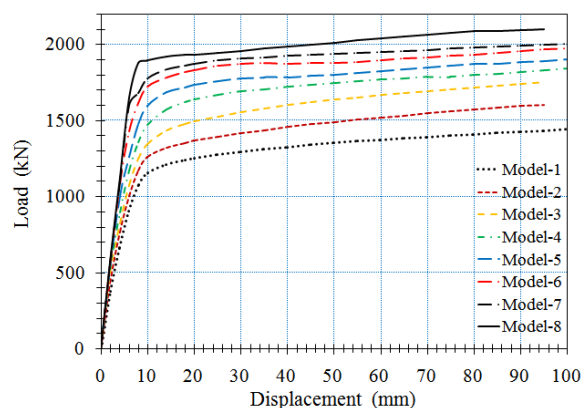


Fig. 13. Shear force-displacement curves of FE models (plate thickness=4mm)

شکل ۱۴. تغییرات نیرو-جابجایی مدل ها (ورق جان ۵ میلی متر)

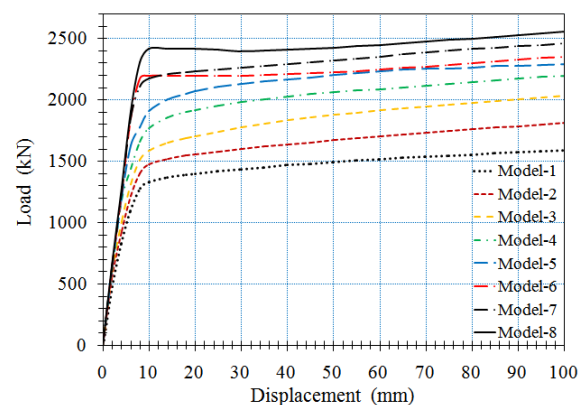


Fig. 14. Shear force-displacement curves of FE models (plate thickness=5mm)

با توجه به نمودارهای فوق مشاهده می شود که با کاهش فاصله بین برش گیرها همواره برای هر چهار ضخامت بررسی شده، مقاومت دیوار افزایش می یابد. همچنین می توان دریافت که افزایش ضخامت دیوار برشی مرکب باعث افزایش ظرفیت دیوار برشی مرکب می شود.

با مقایسه شکل های (۱۱ و ۱۴) مشاهده می شود با افزایش ۲/۵ برابری ضخامت ورق دیوار مقاومت تقریباً ۲ برابر می شود. در ادامه نمودار ترکیبی حالات دیوار برای ضخامت های ۲، ۳، ۴، و ۵ سانتی متری ارائه شده است.

با توجه به شکل (۱۵) مشاهده می شود مقاومت دیوار برشی نسبت به متغیر t/S رابطه خطی دارد. براساس نمودار فوق می توان مقاومت دیوار برشی مرکب را بر حسب ضخامت و فواصل مختلف براحتی به دست آورد.

با توجه به نتایج آزمایشگاهی موجود در مرجع [6]، مشاهده می‌شود جابه‌جایی‌های خارج از صفحه در پانل‌های اطراف دیوار بیشتر از مرکز آن است. شکل ارائه شده در مرجع [6] در ادامه آورده شده است.

شکل ۱۹. تغییر شکل خارج از صفحه مدل دیوار برشی مرکب بدون بازشو [6]



Fig. 19. Out of plane deformation of composite shear wall model without opening [6]

همان‌گونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود پانل‌های اطراف کماتش کرده‌اند ولی پانل‌های میانی چندان تغییر نکرده‌اند و آهک روی آنها نریخته است ولی آهک‌های پانل‌های محیطی ریخته‌اند. دلیل اینکه پانل‌های محیطی بیشترین جابه‌جایی خارج از صفحه را دارند این است که برش طبقه به وسیله قابی که از پانل‌های محیطی تشکیل می‌شود به پانل‌های میانی منتقل می‌شود. از آنجایی که هر چه به مرکز نزدیکتر می‌شویم جابه‌جایی افقی کمتر می‌شود در نتیجه کمتر تغییر شکل خارج از صفحه دارند.

۵-۴- اثر موقعیت برشگیرها

در این بخش به بررسی موقعیت برش‌گیرها در رفتار دیوار برشی مرکب پرداخته شده است. بدین منظور شش مدل اجزای محدود سامان‌دهی شده است به گونه‌ای که سه مدل اول به ترتیب، دیوار برشی فولادی و مرکب بدون بازشو و دیوار برشی فولادی با بازشو است. این سه مدل برای مقایسه نتایج آورده شده‌اند. علاوه بر این مدل‌ها، مدل‌های مطالعه شده با موقعیت مختلف برش‌گیرها مطابق شکل‌های ذیل در نظر گرفته شده‌اند.

شکل ۱۷. اثر موقعیت بازشو در مقاومت دیوار برشی مرکب

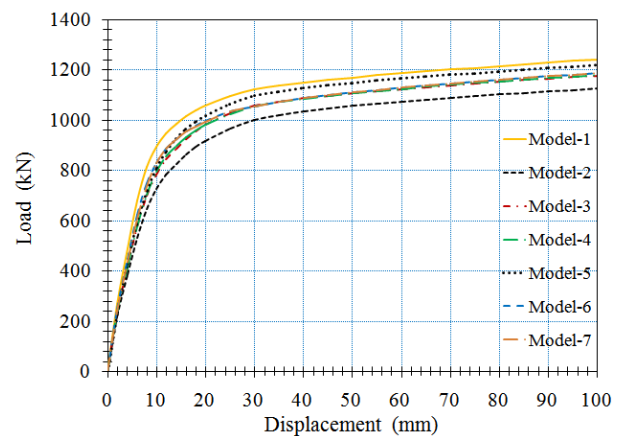


Fig. 17. The effect of opening position in composite shear wall strength

با توجه به نمودار فوق مشاهده می‌شود با ایجاد بازشو همواره مقاومت دیوار برشی مرکب کاهش می‌یابد. بین دیوارهای برشی مرکب دارای بازشو، مدل ۲ و مدل ۵ به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقاومت است. بقیه مدل‌ها دارای مقاومت نسبتاً برابری هستند. این تغییرات بر خلاف دیوار برشی فولادی است. به عبارت دیگر مقاومت دیوار برشی فولادی که دارای بازشو در مرکز دیوار، کمتر از دیواری است که دارای بازشو در گوشه آن است. دلیل این امر این است که در دیوار برشی فولادی، جابه‌جایی خارج از صفحه که باعث ایجاد تنش‌های غشایی می‌شود، در مرکز دیوار بیشتر بوده اما این جابه‌جایی در دیوار برشی مرکب در کناره‌ها بیشتر است. شکل زیر به وضوح این پدیده را نشان می‌دهد.

شکل ۱۸. تغییر شکل خارج از صفحه دیوار برشی مرکب

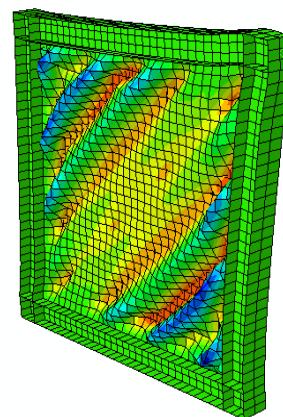


Fig. 18. Out of plane deformation of composite shear wall

بنابراین می توان نتیجه گرفت که در دیوارهای برشی مرکب هر چه برش گیرها به محیط خارجی نزدیکتر شوند اثر بیشتری در افزایش مقاومت دیوار دارند. این امر به دلیل مؤثر بودن پانل های محیطی نسبت به پانل های میانی است که در بخش قبل به آن اشاره شده است.

شکل ۲۱. تأثیر موقعیت برش گیرها در مقاومت دیوار برشی مرکب

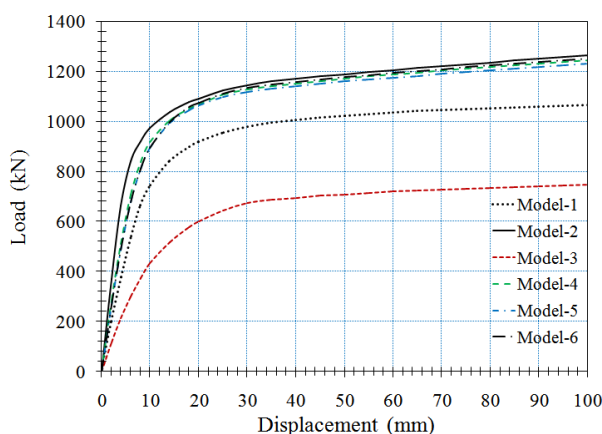


Fig. 21. The effect of studs position in composite shear wall strength

۶- نتیجه گیری

در این مقاله معادلات حاکم بر مسأله و ضوابط آیین نامه AISI در مورد طراحی دیوار برشی مرکب شرح داده شد. در ادامه روند طراحی دیوار برشی نامبرده بطور مختصر ارائه شد. پس از انتخاب یک طبقه از مدل دیوار برشی طراحی شده یک ساختمان ۱۰ طبقه، به مطالعه پارامتریک دیوار مذکور پرداخته شد. به منظور کنترل نتایج نرم افزار Abaqus از نتایج مراجع [1-17-18] استفاده شده است. اختلاف بین نتایج مطالعه حاضر و نتایج مراجع نامبرده بسیار اندک است. خلاصه نتایج بدست آمده در ذیل ارائه شده است.

۱- با مقایسه رفتار دیوار برشی مرکب، فولادی و قاب خمشی نتیجه ای که گرفته شد بدین صورت بود که انرژی جذب شده به وسیله دیوار برشی مرکب خیلی بیشتر از سیستم دیوار برشی فولادی و قاب خمشی بوده است. همچنین شکل پذیری دیوار برشی مرکب بیشتر از دو سیستم دیگر بود. علاوه بر این مشاهده شد که مقدار برش پایه در حالت دیوار برشی فولادی حدوداً ۱۲۰٪ بیشتر از قاب خمشی، و در حالت

شکل ۲۰. مدل های مختلف بمنظور بررسی موقعیت برش گیرها

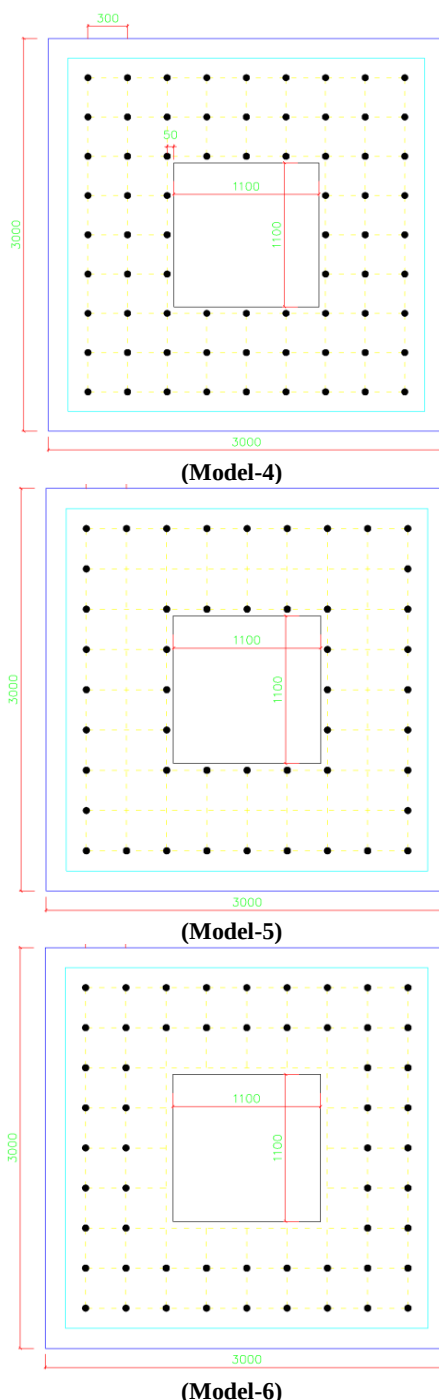


Fig. 20. Different models to evaluate the studs position

مدل های ۴، ۵ و ۶ سه دیوار برشی مرکب با بازشو یکسان است که موقعیت برش گیرهای متفاوتی دارند. نتایج غیرخطی شش مدل نامبرده در نمودار زیر نشان داده شده اند. مشاهده می شود بیشترین ظرفیت مربوط به Model-2 یعنی دیوار برشی مرکب بدون بازشو بوده و بعد از آن به ترتیب بیشترین ظرفیت مربوط به مدل های ۶، ۴، ۵، ۱ و ۳ است.

Composite Shear Wall under Seismic Loading. *Sharif Journal* (In Persian).

[6] Ayazi A. 1389 Theoretical and Experimental Study of Factors Affecting on Seismic Behavior of Composite Shear Walls. PhD Thesis, *Tarbiyat Modares University* (In Persian).

[7] Arabzadeh A., M. Soltani, Ayazi A. 2011 Experimental investigation of composite shear walls under shear loadings. *Thin-Walled Structures Journal*, 49, 842-854.

[8] Hedayati P. 1384 One-Sided Buckling of Steel Plate Bolted to Concrete. MS Thesis, *Esfahan University of Technology* (In Persian).

[9] Smith ST., Bradford MA., Oehlers DJ. 1999 Local Buckling of Side-Plated Reinforced Concrete Beams. I: Theoretical Study. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 125(6), pp. 323-339.

[10] Smith ST., Bradford MA., Oehlers DJ. 1999 Local Buckling of Side-Plated Reinforced Concrete Beams. II: Experimental Study. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 125(6), 635-643.

[11] Ahmadi H. 1389 The Behavior of the Composite Shear Walls due to the Thickness and Spacing Studs. MS Thesis, *Tarbiyat Modares University* (In Persian).

[12] Porbaferani R. 1393 The Effect of the Position and Shape of Openings in the Behavior of Composite Shear walls. MS Thesis, *Ferdosi Mashhad University* (In Persian).

[13] Kazemi Nia Korrani H., Arabzadeh A. 1395 The Effect of Openings in the Behavior of Composite Shear walls. *International Conference on Civil Engineering* (In Persian).

[14] Tahanashi Y., Tanemoto T., Tagaki M. 1973 Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Barcing under Alternative Horizontal Load. Preliminary Report, IABSE, Symp, on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-Defined Repeated Loads, Lisbon, Portugal.

[15] AISC 2005 Seismic Provisions for Structural Steel Building. *American Institute of Steel Construction, INC.*, Chicago.

[16] ABAQUS/Standard theory manual, Version 6.13-1. Hibbitt, Karlsson, Sorenson, Inc, (HKS); 2013.

[17] Lubell A., Prion H., Ventura C., Rezai M. 2000 Unstiffened Steel Plate Shear Wall Performance Under Cyclic Loading. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 126, (4), 453-460.

[18] Valizadeh H. et al. 2011 Experimental investigation on cyclic behavior of perforated steel plate shear walls. *Journal of Constructional Steel Research*, 70, 308-316.

[19] Alinia M. M. 1379 Plates and Shells Theory. *Ashiyani* (In Persian).

دیوار برشی مرکب مقدار برش پایه تقریباً ۲۳٪ بیشتر از دیوار برشی فولادی و ۱۷۰٪ بیشتر از قاب خمشی است.

۲- بررسی اثر تعداد برش گیرها نشان داد که با کاهش فاصله بین برش گیرها، مقاومت دیوار برشی مرکب افزایش می یابد. همچنین مشاهده شد که مقاومت دیوار برشی نسبت به متغیر t/S رابطه خطی دارد. در انتها نموداری ارائه شد که می توان به وسیله آن مقاومت دیوار برشی مرکب را برحسب نسبت ضخامت به فواصل برش گیرها، بدست آورد.

۳- اثر موقعیت بازشو در رفتار دیوار برشی مرکب نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که با ایجاد بازشو همواره مقاومت دیوار برشی مرکب کاهش می یابد. بازشو در کناره ها و گوشه ها بیشتر باعث کاهش مقاومت می شود. این امر بر خلاف دیوار برشی فولادی است. در دیوار برشی فولادی با بازشو در مرکز دارای مقاومت کمتری نسبت به دیواری می باشد که دارای بازشو در گوشه آن است. بدین دلیل که در دیوار برشی فولادی، جابه جایی خارج از صفحه که باعث ایجاد تنش های غشایی می شود، در مرکز دیوار بیشتر بوده اما این جابه جایی در دیوار برشی مرکب در کناره ها بیشتر است.

۴- در انتهای این مقاله به بررسی موقعیت برش گیرها در رفتار دیوار برشی مرکب پرداخته شد. نتایج این بخش نشان داد که هر چه برش گیرها به محیط خارجی نزدیکتر شوند، مقاومت دیوار برشی مرکب بیشتر می شود.

References

۷- مراجع

- [1] Astaneh-Asl A. 2001 Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls, Steel TIPS Report. *Structural Steel Educational Council*, Moraga.
- [2] Zhao Q., Astaneh-Asl A. 2004 Cyclic Behavior of Traditional and Innovative Composite Shear Walls. *J Struct Eng ASCE*.
- [3] Hatami F., Sahri M. 1387 Study of Thickness Changes of Plate on Composite Shear Walls Behavior. *Jornal of Structure and Steel* (In Persian).
- [4] Rahai A., Hatami F. 2009 Evaluation of composite shear wall behavior under cyclic loadings. *Journal of Constructional Steel Research*, 65, 1528-1537.
- [5] Hatami F., Rahai A. 1387 The Behavior of the

The Effect of Opening and Stud Spacing on Composite Shear Wall Behavior

H. R. Kazemi Nia Korrani¹, A.I Arabzadeh^{2*}.

1. Ph.D. Student, Structural Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University.

2. Assoc. Prof., Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University.

arabzade@modares.ac.ir

Abstract:

Shear walls are resistant to lateral forces such as wind and earthquake. In recent decades, steel shear walls were regarded because of proper ductility and high strength. If the shear yielding occurs before buckling of web plate of wall, the wall will absorb more energy. Reinforcing steel plate shear wall would cause the occurrence of shear yielding before buckling. In order to strengthen the wall, steel stiffeners or one layer of concrete can be used. Steel shear walls with a layer of concrete are called composite shear wall which have increased out of plane strength. Composite shear walls consist of a thin steel plate, two columns and two horizontal floor beams with one or two concrete layers. Considering the few studies that have been carried out on this type of walls, in this study, the effect of opening and stud spacing will be discussed in the behavior of the composite shear wall. Firstly, a 10-story building with composite shear wall is designed. Thereafter, upper floor is selected and finite element models of this floor are modeled with ABAQUS. The models have one bay and one story with clear span and clear height of 3 m. Beams and columns are from IPB280 and the thickness of web plate and concrete layer are 2 and 100 mm, respectively. It should be mentioned that to prevent local buckling of column flange at the beam-column connection, in line with beam flange, continuity plate is considered. To be ensured about the accuracy of the finite element model and ability of ABAQUS to estimate the actual behavior of shear walls accurately, several shear walls were modeled and analyzed, and their results were compared with the results of available tests in the previous studies (Lubell's test and Valizadeh's experimental model). Results show that there is little difference between the experimental results and finite element results. So by taking a little difference, it can be concluded that the finite element results are acceptable.

In order to compare the results of finite element models of composite and steel shear walls with steel moment frame, boundary elements are considered to be similar with the loads in all three models. Comparing the results, it is obvious that, on a constant displacement, the base shear in the steel shear wall is about 120% more than moment frame. Also, base shear in composite shear wall is 23% more than steel shear wall.

Considering the results, it is evident that by reducing the distance between the studs, wall strength increases. Also, increasing web plate thickness may cause the increases in the capacity of the composite shear walls. Presence of opening has always been a reason to decrease the resistance of composite shear walls. Opening at the sides and corners further reduces the resistance. This is unlike steel shear walls. At the end of this paper, effect of the stud positions on the composite shear wall behavior is investigated. Results indicated that the specimen with studs closer to the external environment, will increase the resistance of composite shear wall.

Keywords: Composite Shear Wall, Opening, Stud, Ductility, Finite Element Method.