

ارزیابی عددی اثر جزئیات اتصال قاب فولادی به دیوار برشی بتنی بر مقاومت نهایی و نوع شکست دیوار

ابوالفضل عربزاده^{۱*}، سجاد صف‌آرا^۲

۱. دانشیار گروه مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشگاه تربیت مدرس

*arabzade@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۳/۱۱

چکیده

برای تحمل بارهای جانبی در ساختمان‌ها، به ویژه ساختمان‌های بلند از دیوار برشی استفاده می‌شود. دیوارهای برشی انواع مختلفی دارند، از جمله دیوار برشی فولادی که قاب و دیوار، فولادی است، دیوارهای برشی بتنی که قاب و دیوار کلا بتنی است، و دیوارهای برشی مرکب که قاب و دیوار، فولادی و برای جلوگیری از کماتش ورق از یک لایه بتنی استفاده می‌شود. ولی اتفاق می‌افتد که سازه شامل یک قاب فولادی و دیوار برشی بتنی باشد. در این حالت چگونگی اتصال دیوار برشی بتنی به المان‌های مرزی فولادی بسیار حائز اهمیت است. در این مقاله دیوار برشی از نوع بتنی و اتصال آن به قاب فولادی مورد مطالعه و بررسی قرار خواهد گرفت. برای این منظور ابتدا یک سازه ۱۰ طبقه با سیستم قاب خمشی فولادی همراه با دیوار برشی بتنی در نرم افزار Etabs مدل شد، تا ابعاد تیر، ستون، دیوار و میزان آرماتورهای طولی و عرضی دیوار برشی بتنی مشخص شود. سپس یک دیوار از طبقه اول با المان‌های مرزی انتخاب شده تا در نرم افزار Abaqus در ۴ نوع مختلف قرار گیری المان مرزی و چگونگی اتصال قاب فولادی به دیوار بتنی مدل‌سازی شود و از نظر مقاومت و نوع خرابی دیوار تحت بارگذاری پوش‌آور مقایسه شوند. مدل‌های ساخته شده از این قرارند: الف- ستون مدفون در دیوار برشی بتنی؛ ب- ستون نیمه مدفون در دیوار برشی بتنی؛ ج- ستون مدفون در دیوار برشی بتنی با اتصال جوش آرماتورهای عرضی دیوار برشی به بال ستون؛ د- ستون مدفون در دیوار برشی بتنی با اتصال بولت آرماتورهای عرضی دیوار برشی در بال ستون. از نتایج تحلیل مدل‌های ساخته شده در نرم افزار آباکوس، می‌توان نتیجه گرفت؛ مدل دیوار برشی با ستون مدفون و اتصال بولت آرماتورهای عرضی، مقاومت بیشتر نسبت به سایر حالات اتصال از خود نشان داده که دلیل این امر را می‌توان، در اتصال قوی بولت، که باعث مشارکت بیشتر المان مرزی فولادی در تحمل بار لرزه‌ای می‌شود، دانست. همچنین مدل با ستون نیمه مدفون، مقاومت کمتری نسبت به سایر حالات اتصال از خود نشان داده که عدم محصور شدگی در ناحیه المان مرزی و مشارکت کمتر المان فولادی در این حالت را می‌توان علت این امر دانست.

واژگان کلیدی: دیوار برشی بتنی، قاب فولادی، اتصالات، جوش، بولت

۱- مقدمه

به منظور مقاومت در برابر نیروهای جانبی از جمله نیروهای زلزله و باد، استفاده از دیوارهای برشی بتن مسلح در تمام دنیا رایج است. دیوارهای برشی با توجه به سختی بالایی که دارند، در مقاومت سازه در برابر نیروهای جانبی نقش اساسی ایفا می کنند. دیوارهای برشی علاوه بر مقاومت کافی باید شکل پذیری کافی به منظور ممانعت از شکست ترد به ویژه در برابر نیروی بزرگ زلزله را دارا باشند. در مناطقی که حرکات زمین لرزه‌ای قوی پیش بینی می شود، این امکان وجود ندارد که دیوار سازه ای را طوری طراحی کنیم که در طول یک زلزله قوی در حالت ارتجاعی باقی بماند. بنابراین تغییر شکل های بزرگ و غیر ارتجاعی در پای دیوار رخ می دهد. در مورد بار جانبی ناشی از زلزله که ماهیت دینامیکی دارد، جذب انرژی دیوار در مقابل آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. باتوجه به واقع شدن بخش های زیادی از کشور ایران و به ویژه شهرهای پر جمعیت آن در کمربندهای زلزله خیز مهم دنیا و در نتیجه وجود امکان آسیب پذیری بالای ساختمان های موجود در این مناطق، بررسی رفتار لرزه‌ای سیستم های سازه‌ای مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. امروزه به دلایل متعدد، از جمله افزایش استهلاک انرژی و تامین مقاومت در برابر جابه‌جایی به ویژه در ساختمان های دارای سیستم قاب های خمشی با ارتفاع زیاد، دیوارهای برشی بتن مسلح و فولادی به عنوان یک سیستم مقاوم در ساختمان های بلند به کرات مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین شناخت مناسب از رفتار این سیستم سازه‌ای و درک صحیح از امتیازات و ضعف های آن می تواند کمک قابل توجهی به مهندسان سازه برای انتخاب نوع سیستم سازه‌ای مناسب برای ساختمان هایی که طراحی می کنند، محسوب شود [1].

۲- مروری بر پژوهش ها

یکی از سیستم هایی که در استاندارد ۲۸۰۰ ایران به رسمیت شناخته شده است و امروزه در برخی از شهرها به طور گسترده استفاده می شود، قاب ساختمانی فولادی به همراه دیوار برشی بتنی است. در این سیستم ها برای اتصال دیوار برشی بتنی به

ستون های فولادی عموماً از برشگیرها استفاده می شود. بحث فنی در خصوص اتصالات زیاد است. با توجه به اینکه تامین شکل پذیری اینگونه سیستم های باربر لرزه‌ای بر عهده این نوع دیوارها و به ویژه بر عهده المان های مرزی است، از این رو در مباحث لرزه‌ای بدون توجه به مقدار نیروها، یکپارچه بودن اجزای تشکیل دهنده این سوپر المان ها (دیوار + دو المان مرزی) ضروری بوده و لازم است آرماتورهای افقی به شکل مناسبی از طریق المان های مرزی مهار شوند، که در این کار پژوهشی به برخی از آن ها پرداخته می شود.

دیوارهای برشی مرکب، (CRCSW) به دیوارهای برشی بتنی گفته می شود که دو انتهای آن اعضای فولادی قرار گرفتند. این دیوارها به عنوان اعضای سازه‌ای قادرند در برابر نیروهای درون صفحه بالا ایستادگی کنند. اصول طراحی این دیوارها بر اساس آئین نامه های طراحی ویژه سازه های مرکب بتنی- فولادی در برابر زلزله است.

در پژوهشی که توسط Dan و همکاران [2] در سال ۲۰۱۱ صورت گرفت پنج نوع مختلف دیوار برشی با المان مرزی متفاوت به همراه یک نوع دیوار برشی متداول مورد آنالیز تحلیلی و آزمایشگاهی با مقیاس ۱/۳ به منظور دستیابی به رفتار غیر خطی اتصال دهنده گلمیخ های برشی که به ستون مرزی جوش داده شده و با دیوار برشی درگیر بودند، انجام شد و به این نتیجه رسیدند که حضور این اتصال دهنده برای جلوگیری از شکاف در بتن و اطمینان از پروفیل فولادی به عنوان تکیه گاه ضروری است.

Husem و همکاران [3] در سال ۲۰۱۱ انواع مختلف اتصال دهنده ها برای اتصال دیوار برشی بتنی به قاب فولادی را آزمایش کردند. اتصال دهنده ها از قبیل گل میخ تک، گل میخ دوبل، I شکل تک، I شکل دوبل و U شکل تک بودند. نتایج آزمایش نشان داد که ظرفیت باربری گلمیخ تک از بقیه اتصال دهنده ها کمتر بوده و ظرفیت باربری پروفیل I شکل دوبل از بقیه بیشتر بوده است.

Ji و همکاران [4] در سال ۲۰۱۴ تعدادی آزمایش شبه استاتیکی برای بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای SRC (دیوار برشی بتنی با المان مرزی فولادی)، تحت نسبت نیروی محوری

در المان مرزی دیوار برشی کاهش زیادی را در ظرفیت باربری داشت، همچنین ظرفیت باربری قاب با اولویت ستون بیرونی، ستون نیمه مدفون و ستون مدفون به طور نامحسوسی افزایش یافت و به طور کلی در حالت ستون مدفون قاب بهترین عملکرد را به لحاظ ظرفیت باربری و شکل پذیری داشت.

با توجه به مطالعاتی که تاکنون صورت گرفته، مشاهده می شود که در بیشتر موارد برای رسیدن به عملکرد بهتر پروفیل فولادی در دیوار مدفون بوده و برای جلوگیری از لغزش بین بتن و پروفیل در بعضی از موارد از جوش دادن گل میخ ها به پروفیل فولادی استفاده شده است. حال، در این مقاله انواع مختلف قرارگیری پروفیل فولادی در دیوار بتنی در ناحیه المان مرزی و همچنین چگونگی اتصال این پروفیل به بتن برای جلوگیری از لغزش از طریق بولت و جوش کردن آرماتورهای عرضی مورد مطالعه قرار گرفت.

۳-مدلسازی و معرفی مدل ها

برای حل مسائل مهندسی به طور کلی می توان از سه روش استفاده نمود: ۱-روش تحلیلی ۲-روش تجربی ۳-روش عددی. برای بسیاری از مسائل مهندسی دارای هندسه و شرایط بارگذاری پیچیده حل تحلیلی وجود ندارد. پس روش تحلیلی دارای محدودیت بسیار است. روش تجربی به دلیل صرف هزینه و وقت زیاد کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. اما در روش عددی می توان مسائل با هندسه و بارگذاری پیچیده را در زمان مطلوب حل نمود. روش های عددی بسیاری برای حل مسائل وجود دارند، مانند روش المان محدود، روش تفاضل محدود و روش های بدون مش. در میان روش های موجود روش المان محدود کاربردی تر از بقیه روش ها است. از جمله نرم افزارهای المان محدودی می توان به آباکوس و انسیس اشاره داشت.

۱-۳ مشخصات مصالح

تعیین رفتار غیر خطی بتن، مهمترین مرحله در مدل سازی عددی سازه های بتن مسلح است. در این مقاله از مدل خسارت خمیری CDP (concrete damage plasticity) ، همسانگرد لوبلینر و همکاران [8] که توسط لی و فنوس [9]

زیاد انجام دادند. نتیجه حاصل از این کار: نمونه های دیوار SRC مقاومت خمشی بالاتری نسبت به دیوار RC (دیوار برشی بتنی بدون المان مرزی)، دارند. مقاومت خمشی با افزایش نسبت فولاد مدفون شده افزایش می یابد در حالی که نوع مقطع فولاد هیچ تفاوتی در مقاومت خمشی این دیوارها ایجاد نکرد.

علی مولایی منظر و همکاران [5] در سال ۲۰۱۶ ساختمان با قاب خمشی فولادی و دیوار برشی در سه مدل الف- ستون مدفون در دیوار، ب- ستون جدا از دیوار و متصل به آن و ج- ستون کاملاً جدا از دیوار به صورت ۳، ۶ و ۹ طبقه با نرم افزار Etabs طراحی کردند. آنالیز در نرم افزار Perform- 3D بر اساس تحلیل استاتیکی پوش آور صورت گرفت. آنالیز استاتیکی پوش آور نشان داد که ستون مدفون شده در دیوار از نظر مقاومت، ظرفیت، شکل پذیری، جذب انرژی و اثر متقابل بین دیوار و قاب بهتر از دو مدل دیگر بوده است.

علامه نجفی و همکاران [6] در سال ۱۳۹۴ به بررسی رفتار دیوارهای برشی بتنی با المان مرزی فولادی و تاثیر پیوستگی المان های مرزی بر مقاومت این دیوارها پرداختند. برای این منظور دیوارهای برشی بتن مسلح و دیوارهای با المان مرزی فولادی به روش استاتیکی غیر خطی تحلیل شدند. در نهایت مشاهده شد:

• ستون های مرزی فولادی مقاومت و سختی دیوار برشی را افزایش دادند. این تاثیر در مورد دیوارهایی که انتهای ستون های فولادی تا عمق موثر فونداسیون مدفون شد، و به میزان چشمگیری بالاتر از حالتی بود که ستون ها از طریق صفحه ستون و بولت به فونداسیون متصل می شدند.

• همچنین وجود لغزش بین بتن و ستون های فولادی، مقاومت و سختی دیوار را کاهش داد. اثر لغزش ستون ها در دیوارهای بلندتر اهمیت بیشتری داشت. بنابراین توصیه می شود در مورد این دیوارها جزئیات قرارگیری برشگیرها با دقت بیشتری صورت گیرد.

علی دولت آبادی و همکاران [7] در سال ۱۳۹۵ به بررسی نقش ستون های طرفین در دیوار برشی و تاثیر آن در رفتار لرزه ای سازه پرداختند و به این نتیجه رسیدند که حذف ستون

جدول ۱. مشخصات پلاستیک بتن

Ψ	m	f	γ	η
۳۸	۰,۱	۱,۱۶	۰,۶۶۶۷	۰,۰۵

Table 1. Concrete plasticity specifications

Ψ : زاویه اتساع کرنش پلاستیک، بر اثر برش، را در فرض بعد از الاستیک تعریف می‌نمایند. هنگامی که $\Psi=0$ باشد، ماده هیچگونه تغییر حجم کرنشی ندارد. در حقیقت زاویه اتساع رابطه بین حجم و برش کرنشی را بیان می‌کند.

m: این پارامتر خروج از مرکزیت سطح پتانسیل پلاستیک را که توسط Jirasek و Bazant محاسبه شده بیان می‌کند.

f: این تابع مشخصات تابع گسیختگی را بیان کرده و توسط $f = \frac{f_{bo}}{f_c}$ تعریف می‌شود. بیشتر مقالات علمی این نسبت را بین مقادیر ۱/۱۶ و ۱/۲۵ وابسته به مقاومت بتن و درجه محصورشدگی معرفی کرده‌اند.

γ : این پارامتر شکل انحراف صفحه تنش و همینطور زاویه محصورشدگی بتن را تعریف می‌کند. هنگامی که صفحه انحراف به شکل مثلثی نزدیک باشد، درجه محصورشدگی کمتر و هنگامی که به شکل دایره‌ای نزدیک باشد درجه محصورشدگی زیاد رادر نظر می‌گیرند.

η : در مدل‌های پیشرفته مواد رسیدن به همگرایی برای کشش و از بین بردن سختی با دشواری‌هایی همراه است. راه معمول برای غلبه بر این مشکل استفاده از معادلات در تنظیم کننده ویسکوپلاستیک است. این مقدار تانژانت سختی ماده را با استفاده از رفتار نرم‌شدگی محاسبه می‌نماید.

مقادیری که برای این کار پژوهشی انتخاب شده از نتایج تجربی (مدل درستی‌آزمایی) و مطالعات پیشین صورت گرفته، است.

برای تعیین رفتار آرماتور، مدل رفتاری دو خطی آرماتور برای استفاده در اعضای بتن مسلح آورده شده است که از روابط زیر محاسبه می‌شود [11]:

$$IF \ 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_n \quad (۳)$$

$$f_s = E_s \varepsilon_{sy}$$

$$IF \ \varepsilon_s > \varepsilon_{sy} \quad f_s = f_y + \quad (۴)$$

$$E_{sh}(\varepsilon_y - \varepsilon_{sy})$$

توسعه داده شده است و در نرم‌افزار آباکوس موجود است، استفاده شد. برای شبیه‌سازی رفتار پلاستیک بتن تحت فشار، یک مدل تنش-کرنش معادل که توسط بلاربی پذیرفته شده بود، پیشنهاد شد [10]. رابطه این مدل تنش-کرنش به صورت زیر است:

$$\sigma = \xi \sigma_0 \left[\frac{2\varepsilon}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad \varepsilon \leq \varepsilon_0 \quad (۱)$$

$$\sigma = \xi \left[1 - 0.15 \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_0}{\varepsilon_u - \varepsilon_0} \right)^2 \right] \sigma_0 \quad \varepsilon_0 < \varepsilon < \varepsilon_u \quad (۲)$$

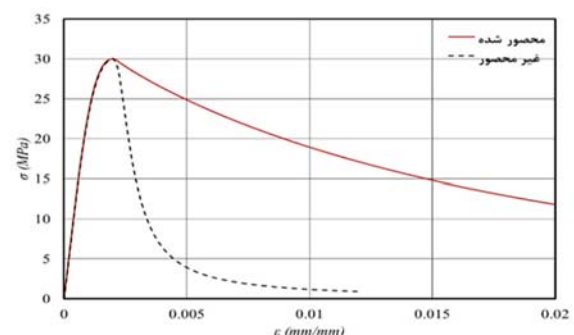
در صورتی که:

$$\xi = \frac{0.9}{\sqrt{1+400\varepsilon_1}}$$

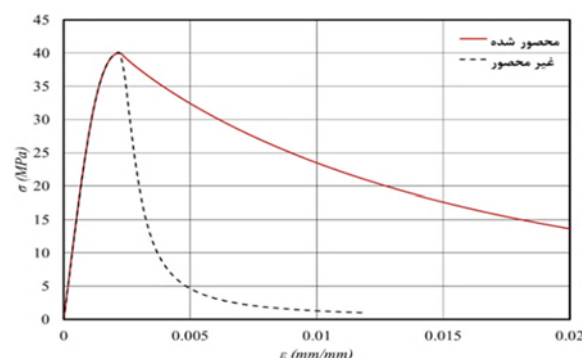
در معادلات بالا σ_0 ، مقاومت فشاری بتن استوانه‌ای، ε_0 و ε_u کرنش فشاری حداکثر و نهایی و ε_1 کرنش کششی جاری در بتن است.

شکل ۱. نمودار تنش کرنش فشاری بتن مدل بلاربی با مقاومت الف-

۳۰ Mpa و ب- ۴۰ Mpa



30 MPa (الف)



40 MPa (ب)

Fig. 1. Compressive Strain-Stress curve concrete model of Belarbi

مشخصات پلاستیک انتخاب شده بتن برای این کار پژوهشی:

Figure 10 is a stress-strain curve for I-shaped steel. The y-axis represents stress (σ) in MPa, ranging from 0 to 400. The x-axis represents strain (ϵ) in mm/mm, ranging from 0 to 0.2. The curve shows a yield plateau at approximately 260 MPa, followed by strain hardening, reaching a peak stress of about 360 MPa at a strain of 0.075, and then slightly decreasing.

۲-۳ قیدها در آباکوس

قید Embedded rejion ، مدفون شدگی آرماتورها
ویروفیل فولادی را به عنوان مهمان در بتن تعریف می کند.

قید **Coupling**، برای شبیه‌سازی اتصال بولت است. این قید بین حرکت یک سطح و حرکت یک نقطه وابستگی ایجاد می‌کند.

۳-۳ تحلیل و نوع بارگذاری

دست می آید:

$$P_u = 0.85 * A_c * F_c + A_s * F_y \quad 6$$

ضریب ۰/۸۵ از آیین نامه Euro cods گرفته شده که برای حالت مستطیلی است. در این رابطه F_c مقاومت بتن، A_c سطح مقطع عرضی بتن، F_y مقاومت فولاد و A_s سطح مقطع فولاد به کار رفته است. نیروی جانبی وارد بر دیوار به صورت جابه‌جایی کنترل اعمال شده است. بدین صورت که ابتدا یک جابه‌جایی به دیوار اعمال می‌شود و نیروی وارد بر دیوار به عنوان خروجی هست. دامنه جابه‌جایی با شیب ثابت

شکل ۲. نمودار تنش-کرنش دو خطی آرماتور

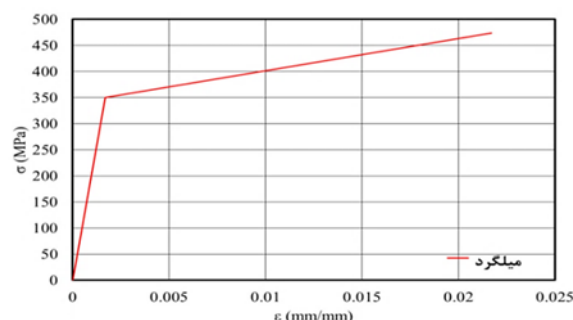


Fig. 2. Stress- Strain curve of rebar

مدل پلاستیک به کار رفته در نرم افزار آباکوس برای پروفیل فولادی از فرمول‌های زیر می‌باشد [12]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &\leq \varepsilon_y & \sigma_i &= E_s \varepsilon_i \\ &= f_y & \varepsilon_y &\leq \varepsilon_i \leq \varepsilon_{st} \sigma_i \\ &= f_y + \xi E_s (\varepsilon_i - \varepsilon_{st}) & \varepsilon_{st} &\leq \varepsilon_i \leq \sigma_i \\ \varepsilon_u & & & \\ &= f_u & \varepsilon_i &> \varepsilon_u & \sigma_i \end{aligned} \quad (5)$$

در روابط بالا σ_i و ε_i تنش و کرنش معادل فولاد هستند. f_y ، $(f_u = 1.5 f_y)$ و $E_s = 2 * 10^5 \text{ MPa}$ به ترتیب مقاومت تسلیم، مقاومت نهایی و مدول الاستیک فولاد است. ε_y ، ε_u و به ترتیب کرنش تسلیم، کرنش سخت شدگی و کرنش نهایی فولاد است که $\varepsilon_u = 12\varepsilon_y$ و $\varepsilon_{st} = \frac{0.5f_s}{\xi E_s} + \varepsilon_{st}$ ، همچنین پارامتر ξ برابر $\frac{1}{216}$ می-باشد.

برای ارزیابی پارامتر فاصله آرماتورهای عرضی، فاصله آرماتورهای حالات مذکور در بالا از 250mm به 350mm افزایش داده شده است.

*نسبت ابعاد هندسی

با توجه به این که تمامی مدل‌های اولیه با نسبت طول به ارتفاع ۱/۶۷ مدل‌سازی شدند، برای ارزیابی پارامتر هندسی، چهار حالت ذکر شده بالا در دو نسبت طول به ارتفاع ۱ و ۰/۶ نیز مدل‌سازی شده‌اند.

۳-۵ نامگذاری مدل‌ها

برای نامگذاری مدل‌ها از یک سری حروف و اعداد استفاده شده است که در ادامه ذکر می‌شود، که هر کدام از حروف‌ها و اعداد بیانگر چه متغیری هستند. حرف p که در ابتدای تمامی مدل‌ها آمده است، معرف حالت الاستو-پلاستیک کامل است. عبارت RCSW، مختصر شده عبارت Reinforced Concrete Shear Wall و عددی که بعد از این عبارت می‌آید بیانگر نسبت طول به ارتفاع دیوار برشی است، که شامل اعداد ۱/۶۷، ۱ و ۰/۶ است. حروف A و B برای دو حالت ستون مدفون و ستون نیمه مدفون در دیوار برشی بتنی، هست. عدد بعد از حرف A و B که به صورت اندیس آمده است، برای نشان دادن نوع اتصال ستون به دیوار است، که شامل اعداد ۰، ۱، و ۲ می‌شوند، به ترتیب بیانگر حالت متداول آرماتورگذاری (آرماتورهای عرضی بدون اتصال)، حالت جوش شده و حالت بولت شده آرماتورهای عرضی به بال ستون را نشان می‌دهند. عدد بعدی معرف مقاومت بتن به کار رفته است، که اعداد ۳۰ MPa و ۴۰ MPa هستند. عدد آخر به فاصله بین آرماتورهای عرضی دیوار مربوط می‌شود، که دو فاصله 250mm و ۳50mm را نشان می‌دهند.

۴- اعتبارسنجی مدل‌سازی

برای درستی‌آزمایی از نمونه آزمایشگاهی Liao و همکاران [13] که در سال ۲۰۱۲ تحت آزمایش قرار گرفت استفاده شده است. در این مقاله به مدل‌سازی سه بعدی

(RAMP) افزایش داده شده تا به جابه‌جایی که مد نظر می‌باشد یعنی نقطه جابه‌جایی متناظر با $0.85 P_{max}$ جایی که ناپایداری در دیوار اتفاق می‌افتد، برسد. چگونگی وارد شدن بار در تمامی مدل‌ها مشابه با بارگذاری مدل درستی‌آزمایی شده است بدین صورت که ابتدا بار قائم بر نمونه وارد شده و در مرحله بعدی سازه تحت بار جانبی قرار می‌گیرد. در قسمت بارگذاری هیسترسیز نیز بارگذاری با اعمال جابه‌جایی صورت گرفته که الگوی جابه‌جایی رفت و برگشتی از آیین نامه atc24 گرفته شده است.

۳-۴ مدل‌های بررسی شده

در ابتدا مشخصات یک دیوار برشی بتنی با المان مرزی فولادی انتخاب شده و سپس دیوار برشی با مشخص بودن ابعاد هندسی، نوع المان مرزی و تعداد آرماتورهای طولی و عرضی در نرم‌افزار آباکوس در چهار نوع مختلف قرارگیری ستون و اتصال آن با دیوار برشی مدل‌سازی شده، و همچنین برای ارزیابی، پارامترهای مقاومت بتن، تاثیر فاصله آرماتورهای عرضی، تغییر شکل بارگذاری و نسبت طول به ارتفاع دیوار، نمونه‌های دیگر نیز مدل‌سازی شدند، مدل‌های بررسی شده به شرح زیر هستند:

-حالت اول: دیوار برشی بتنی با ستون مدفون در دیوار با آرماتورگذاری متداول

-حالت دوم: دیوار برشی بتنی با ستون نیمه مدفون در دیوار (نصف پروفیل در داخل دیوار قرار می‌گیرد)

-حالت سوم: دیوار برشی بتنی با ستون مدفون در دیوار و اتصال جوش آرماتورهای عرضی دیوار به بال ستون

-حالت چهارم: دیوار برشی بتنی با ستون مدفون در دیوار و اتصال بولت آرماتورهای عرضی دیوار به بال ستون

*تاثیر پارامتر مقاومت بتن

برای ارزیابی پارامتر مقاومت بتن، مقاومت بتن حالات ذکر شده در بالا از ۳۰ MPa به ۴۰ MPa افزایش داده شده است.

*تاثیر پارامتر فاصله آرماتورهای عرضی

در شکل (۶) نمودار هیستریسیس نیرو - جابه‌جایی تغییر مکان بالای دیوار مدل آزمایشگاهی (Measured) با نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی مدل المان محدود (نمودار پوش‌آور آبی رنگ مثلثی، present work) که از نیروی برش پایه بر حسب تغییر مکان افقی دیوار به دست آمده، مشاهده می‌شود که مدل المان محدود می‌تواند با دقت بالا و تقریب مناسبی مشخصات نمونه آزمایشگاهی را مدل کند. نمودار predicted مربوط به پیش‌بینی خود مقاله است.

شکل ۶. مقایسه نتایج نرم افزار با داده‌های آزمایشگاهی

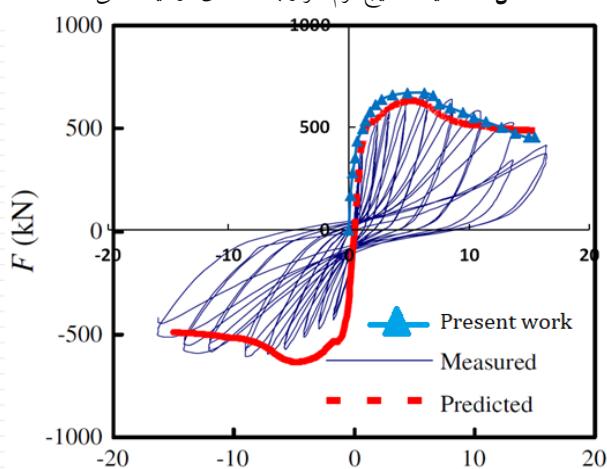


Fig. 6. Comparisons between finite element and experimental result

۵- انجام تحلیل و بررسی نتایج

با توجه به معرفی نمونه‌ها در قسمت‌های قبل، به مدل‌سازی حالات مختلف اتصال پرداخته شده است.

۱-۵ مدل‌سازی دیوار برشی با نسبت ابعادی ۱/۶۷ در حالات مختلف اتصال

در این حالت دیوار برشی به طول ۵m و ارتفاع ۳m به همراه ستون‌های فولادی انتهایی دیوار که به طور کامل در دیوار قرار گرفته‌اند، مدل‌سازی شده که در شکل (۷) نشان داده شده است. میلگردهای عرضی در این حالت تا انتهای دیوار و پشت ستون فولادی ادامه می‌یابند. مدل تحت بارهای اعمال شده، که در قسمت‌های قبل توضیح داده شده است، قرار گرفته و نتایج تحلیل در ادامه آورده شده است.

قاب دیوار برشی بتنی تحت بار قائم و جانبی پرداخته می‌شود. در این مدل‌سازی مطابق مقاله مرجع دیوار برشی SRC-S-1 به عنوان مدل اصلی برای درستی آزمایشی انتخاب شده است. همچنین نوع بارگذاری در نظر گرفته شده برای مدل در دو بخش شامل بار قائم و جانبی است. بارگذاری مدل مانند الگو بارگذاری شرایط آزمایشگاه از نوع بار قائم و افقی به مدل اعمال شده است. به این صورت که ابتدا با محوری ثابت به دیوار وارد شده و در مرحله بعدی بارگذاری جانبی در تراز طبقه اعمال می‌شود. در شکل (۴ و ۵) بارگذاری وارد بر مدل آزمایشگاهی و مدل المان محدودی مشاهده می‌شود.

شکل ۴. بارگذاری وارد بر مدل آزمایشگاهی [13]

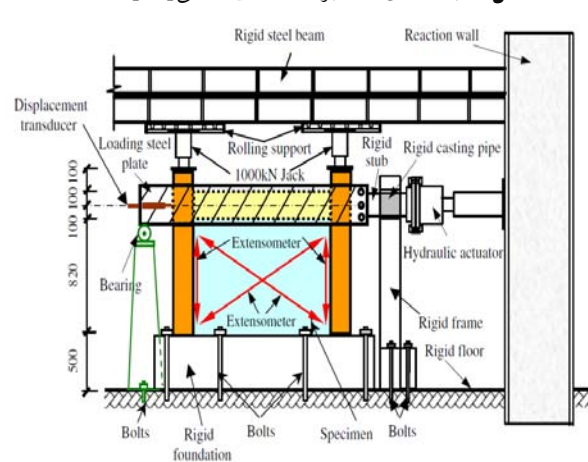


Fig. 4. Loading of experimental model [13]

شکل ۵. بارگذاری وارد بر مدل اجزا محدودی

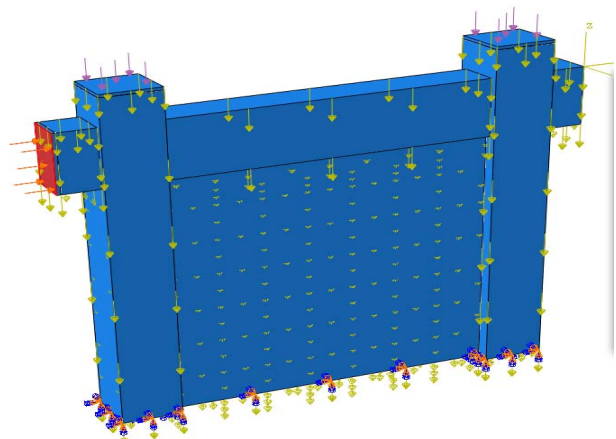


Fig. 5. Loading of finite element model

در شکل (۹) نمودار نیرو جابه‌جایی مربوط به ۴ حالت مختلف اتصال مشاهده می‌شود. آنچه از نمودار نیرو-جابه‌جایی نمونه در شرایط الاستوپلاستیک بدست می‌آید مواردی چون سختی، تسلیم و ناپایداری است. در تشریح نتایج کلی که در شکل آورده شده، می‌توان گفت؛ رفتار ارتجاعی دیوار در ابتدای بارگذاری (جابه‌جایی کنترل) به صورت خطی است. با نمایان شدن اولین ترک‌ها در ناحیه کششی، توازن جدید بین نیروها ایجاد شده و رفتار دیوار به سوی غیر خطی شدن میل پیدا می‌کند. در این مرحله با شروع کشش در میلگردها شیب منحنی نیرو-جابه‌جایی به سمت صفر میل کرده و با از بین رفتن مقاومت اجزاء، تغییر شکل کاملاً پلاستیک ایجاد می‌شود. این تغییر شکل با بروز خرابی کامل بتن ناحیه فشاری و کمایش و تسلیم آرماتورها و ستون فولادی همراه خواهد شد.

در ادامه در رابطه با مقایسه نمونه‌ها از نمودار، مدل دیوار برشی بتنی با ستون نیمه مدفون (حالت دوم) نسبت به بقیه حالت‌ها، مقاومت کمتری از خود نشان داده است، که به دلیل عدم وجود شرایط محصور شدگی در ناحیه المان مرزی و بیرون بودن نیمی از ستون است. این نوع از قرارگیری المان‌ها باعث می‌شود ستون فولادی به تنهایی تحت لنگر خمشی و نیروی محوری قرار بگیرد و دیوار سهمی در تحمل لنگر خمشی ایجاد شده نداشته باشد. دو حالت ستون مدفون و ستون مدفون با آرماتورهای عرضی جوش شده (حالت اول و سوم)، نیروی تقریباً برابری را تحمل کرده و پاسخ یکسانی داشتند. در حالت چهارم که اتصال آرماتور عرضی با بال ستون به صورت بولت است، مشاهده می‌شود که از سایر نمونه‌ها پاسخ بهتری داشته و قادر به تحمل نیروی بیشتری بوده است. دلیل این امر ناشی از اتصال قوی بولت است که قادر به درگیر کردن بیشتر ستون فولادی در تحمل نیرو و لنگر خمشی ایجاد شده می‌شود که باعث می‌شود بتن دیرتر به خرابی برسد.

شکل ۷. مدلسازی دیوار برشی بتنی با ستون مدفون در دیوار با نسبت ابعادی ۱/۶۷

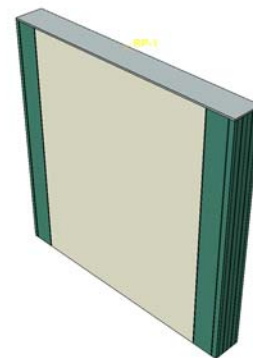


Fig. 7. Modeling of Buried column in concrete shear wall with 1.67 ratio

با توجه به شکل (۸) دیوار در معرض بارگذاری جانبی در راستای طولی، و خرابی فشاری را نشان می‌دهد. با بررسی دقیق‌تر و با توجه به دیاگرام توزیع تنش در سازه دیوار برشی، گسترش خرابی از قسمت پایین سمت راست دیوار (پنجه)، به صورت قطری ادامه می‌یابد تا به بالای دیوار برسد. وقوع این حالت از خرابی به دلیل طول زیاد دیوار نسبت به ارتفاع آن است، که در یک حالت کاملاً برشی قرار می‌گیرد. یک ناحیه از خرابی دیوار که در شکل نیز مشهود است، ناحیه تماس پروفیل فولادی و بتن است، که نشان دهنده تنش بالای بین فولاد و بتن در این قسمت است. مقادیر این تمرکز تنش در ناحیه انتقال تنش‌های برشی از دیوار به ستون قابل توجه است. به نظر می‌رسد، این تمرکز تنش، به دلیل اتصال ناهمگن ستون فولادی و بتن جداره دیوار باشد.

شکل ۸. خرابی فشاری بتن در مدل دیوار برشی بتنی با ستون مدفون با نسبت ابعادی ۱/۶۷

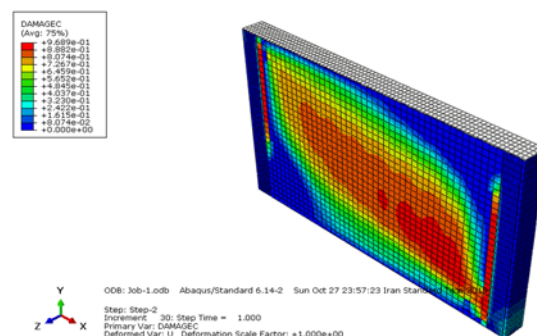
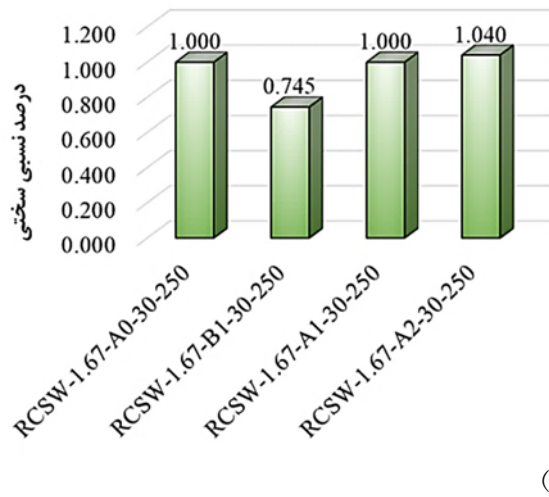
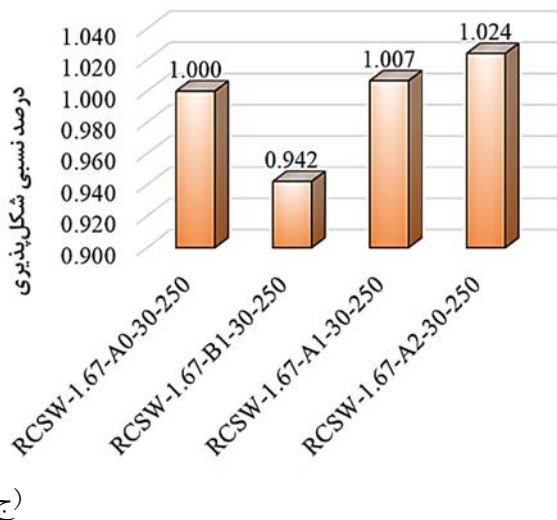


Fig. 8. Concrete compressive damage in modeling of Buried column in concrete shear wall with 1.67 ratio



(ب)



(ج)

Fig. 10. Realitive comparison of different connections model with 1.67 ratio

۲-۵ مدل سازی حالات مختلف اتصال دیوار برشی به المان مرزی با نسبت ابعادی ۱/۶۷ و بتن با مقاومت 40 MPa

در این قسمت برای سنجیدن میزان تاثیر پارامتر مقاومت بتن f_c ، مقاومت بتن را از ۳۰ MPa به ۴۰ MPa تغییر داده شده است. همان گونه که در شکل (۱۱) مشاهده می شود، در این شرایط نیز، حالت دیوار برشی با ستون نیمه مدفون مقاومت کمتری نسبت به سایر نمونه ها و حالت ستون مدفون با اتصال بولت بیشترین مقاومت را نسبت به سایر نمونه ها داشته اند.

شکل ۹. نمودار نیرو-جابجایی برای مقایسه ۴ حالت مختلف اتصال با نسبت ابعادی ۱/۶۷

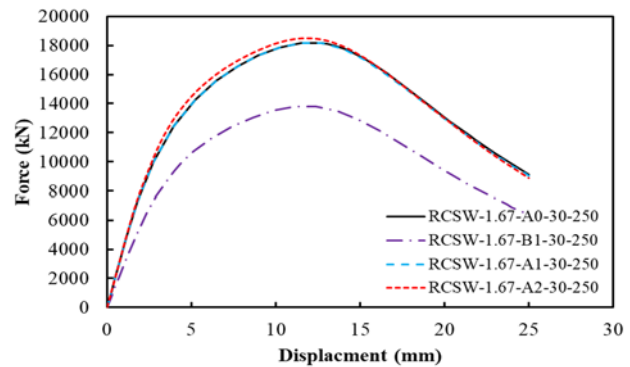
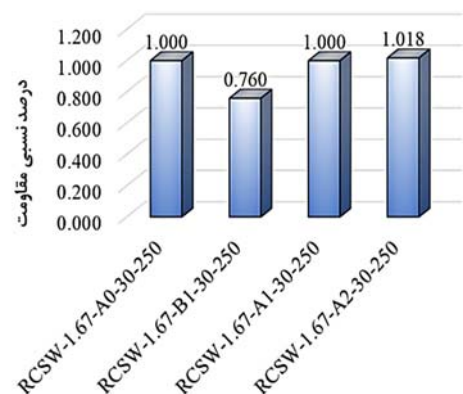


Fig. 9. Push over curve for comparison of different connections model with 1.67 ratio

در ادامه برای مقایسه انواع حالت های اتصال، پارامترهای مقاومت، سختی و شکل پذیری طبق نمودارهای ستونی شکل (۱۰) بررسی می شوند. در این حالت برای سنجش نمونه ها با یکدیگر، نمونه حالت اول با مقیاس ۱ در نظر گرفته شده و بقیه حالت ها نسبت به این نمونه سنجیده می شوند. مدل با ستون نیمه مدفون (حالت دوم)، با کاهش مقاومت، سختی و شکل پذیری به ترتیب برابر با ۲۴٪، ۲۵٫۵٪ و ۵٫۸٪، ضعیف ترین حالت اتصال است. مدل با اتصال جوش (حالت سوم) با نتایجی تقریباً برابر با حالت اول مقاومت، سختی و شکل پذیری مشابهی دارد. مدل با اتصال بولت (حالت چهارم)، با افزایش مقاومت، سختی و شکل پذیری به ترتیب برابر با ۱٫۸٪، ۴٪ و ۲٫۴٪، بهترین جواب را در بین مدل ها داشته است.

شکل ۱۰. مقایسه نسبی الف-مقاومت، ب-سختی و ج-شکل پذیری ۴ حالت اتصال با نسبت ابعادی ۱/۶۷ به وسیله نمودارهای ستون



(الف)

شکل ۱۱- نمودار نیرو-جابجایی برای مقایسه ۴ حالت مختلف اتصال با نسبت ابعادی ۱٫۶۷ و بتن با مقاومت ۴۰ MPa

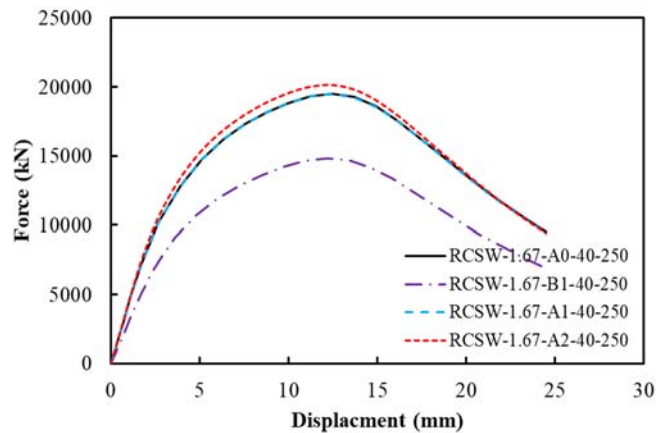


Fig. 11. Push over curve for comparison of different connections model with 1.67 ratio and 40 MPa strength of concrete

۳-۵ مدل سازی حالات مختلف اتصال دیوار برشی بتنی به المان مرزی فولادی با نسبت ابعادی ۱٫۶۷ به فاصله آرماتور عرضی 350mm

در این قسمت به ارزیابی تاثیر پارامتر فاصله آرماتورهای عرضی دیوار در مدل های با نسبت ابعادی ۱٫۶۷ پرداخته شده است. تمامی ابعاد و مصالح به کار رفته مانند قسمت اول است، با این تفاوت که فاصله آرماتورهای عرضی از 250mm به 350mm تغییر یافته است. نتایج حاصل از تحلیل این قسمت در شکل (۱۲) آمده است. همان گونه که مشاهده می شود نمودار مربوط به حالت دیوار برشی با ستون نیمه مدفون با اختلاف زیاد عملکردی ضعیفتری در تحمل نیرو را داشته است. در حالتی که آرماتورها به بال ستون بولت شده بودند، عملکرد بهتری نسبت به سایر حالات داشته اند.

شکل ۱۲. نمودار نیرو-جابجایی برای مقایسه ۴ حالت مختلف اتصال با نسبت ابعادی ۱٫۶۷ و فاصله آرماتورهای عرضی 350 mm

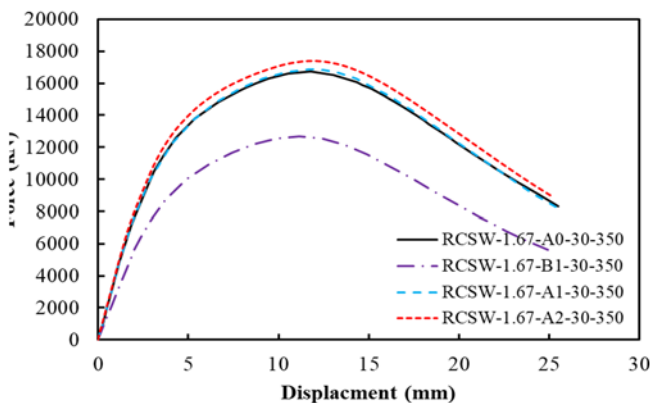


Fig. 12. Push over curve for comparison of different connections model with 1.67 ratio and 350 mm spacing of transverse rebar

۵-۵ مدل سازی دیوار برشی بتنی با المان مرزی فولادی با نسبت ابعادی ۱ در حالات مختلف اتصال

ابعاد دیواری که در اینجا مدل سازی می شوند با طول و ارتفاع 3m هستند. نتایج حاصل در شکل (۱۴) آمده است. در این قسمت سه اتصال با ستون مدفون عملکرد یکسانی داشتند و تاثیر اتصال آرماتور عرضی به بال ستون در افزایش مقاومت به چشم نمی آید، چون از حالت برشی بودن دیوار کاسته شده و آرماتورهای عرضی که نقش اساسی در برش را ایفا می کنند تاثیرشان کمتر شده است.

شکل ۱۳. نمودار نیرو-جابجایی برای مقایسه ۴ حالت مختلف اتصال با نسبت ابعادی ۱

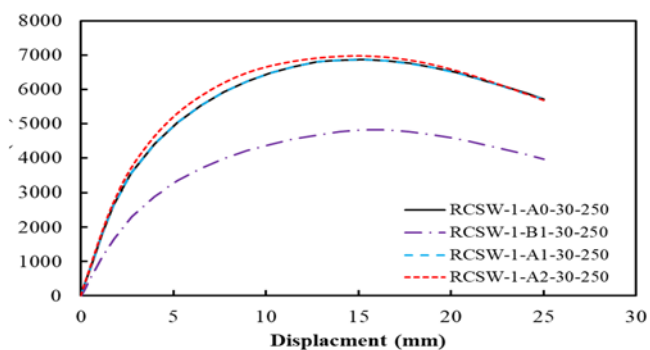


Fig. 13. Push over curve for comparison of different connections model with 1 ratio

ستون، در این حالت ستون به تنهایی در برابر لنگر وارده مقاومت می‌کند و عملکرد مختلطی با دیوار ندارد.

مدل دیوار برشی با ستون مدفون که اتصال آرماتورهای عرضی با بال ستون به صورت بولت بوده، در تمامی حالات از سایر نمونه‌ها پاسخ بهتری داشته و قادر به تحمل نیروی بیشتری بوده است. این امر ناشی از اتصال قوی بولت است که قادر به درگیر کردن بیشتر ستون فولادی در تحمل نیرو و لنگر بوده که باعث می‌شود عملکرد مختلط ستون و دیوار در تحمل نیروها بیشتر شود.

با افزایش مقاومت بتن از 30 MPa به 40 MPa ، مقاومت نمونه در حالت اتصال بولت نسبت به حالت اول (ستون مدفون در دیوار و بدون اتصال)، افزایش بیشتری داشته است. (افزایش مقاومت، به میزان دو برابر بتن در حالت 30 MPa رخ داده است). وقتی مقاومت بتن بیشتر شود، خرابی بتن دیرتر اتفاق افتاده و آرماتورهای عرضی دیرتر از رده خارج می‌شوند (کمانش آرماتورهای عرضی دیرتر اتفاق افتاده)، در نتیجه اتصال بولت، در این حالت نقش بیشتری ایفا می‌کند.

با افزایش فاصله آرماتورها از 250 mm به 350 mm ، مقاومت نمونه‌ها از $5/8$ تا 8% ، سختی نمونه‌ها از 1 تا 8.1% و شکل پذیری نمونه‌ها از $1/3$ تا 6.3% کاهش داشته اند. از این مقایسه می‌توان به تاثیر ناچیز آرماتورهای عرضی در افزایش یا کاهش سختی کل نمونه اشاره داشت. چون تغییر در سختی نمونه بیشتر تحت تاثیر ابعاد هندسی قرار می‌گیرد.

دیوار برشی با نسبت ابعادی $1/67$ (دیوار در حالت برشی)، با شکل پذیری کمتر نسبت به نمونه با نسبت ابعادی $0/6$ (دیوار در حالت خمشی)، توانسته مقاومتی در حدود 3 برابر بیشتر از این حالت تجربه کند.

با علم بر اینکه تاثیر این اتصالات در بهبود مقاومت به صورت ناچیز بوده است و همچنین با توجه به مشکلات اجرایی و هزینه بالای اتصال جوش و بولت، پیشنهاد می‌شود در کارهای اجرایی استفاده از این اتصالات چشم‌پوشی شود.

۵-۶ مدل‌سازی دیوار برشی بتنی با المان مرزی فولادی با نسبت ابعادی $0/6$ در حالات مختلف اتصال

ابعاد مدل‌هایی که در اینجا مدل‌سازی می‌شوند، با طول 3m و ارتفاع 5m هستند. نتایج حاصل از تحیل در این قسمت در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود. در این حالت نیز دیوار با ستون نیمه مدفون مقاومت کمتری را از خود نشان داده است. سه حالت دیگر اتصال مقاومت تقریباً یکسانی را تحمل کرده‌اند. چون دیوار با این نسبت ابعادی در حالت کاملاً خمشی قرار گرفته است.

شکل ۱۴. نمودار نیرو-جابجایی برای مقایسه ۴ حالت مختلف اتصال با نسبت ابعادی $0/6$

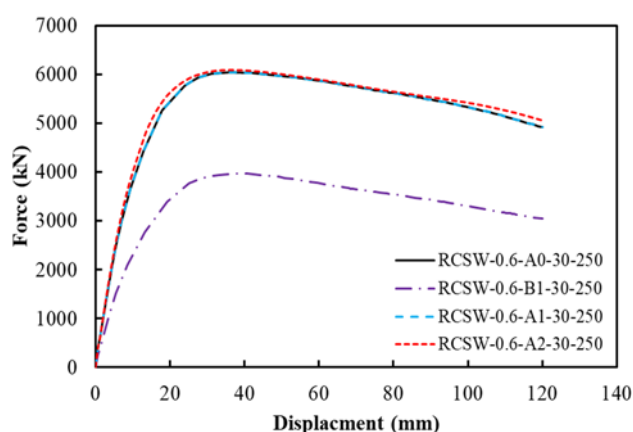


Fig. 14. Push over curve for comparison of different connections model with 0.6 ratio

۶- نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش، بررسی جزئیات اتصال دیوار برشی بتنی به قاب فولادی بوده است. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدودی آباکوس، یک قاب دیوار برشی بتنی با المان مرزی فولادی مدل‌سازی شد و پارامترهای مختلفی که انتظار می‌رفت نقشی در رفتار ناحیه اتصال داشته باشند، تحت بارگذاری قرار گرفته و نتایج به دست آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

در تمامی موارد مقایسه، مدل دیوار برشی بتنی با ستون نیمه مدفون (حالت دوم) نسبت به بقیه حالت‌ها، مقاومت کمتری از خود نشان داده است، به دلیل عدم وجود شرایط محصور شدگی در ناحیه المان مرزی و بیرون بودن نیمی از

۷-مراجع

- [7] A. Dovlat Abadi, "Evaluation of the effects of boundary elements of reinforced concrete shear wall on the global ductility of steel frames," Hakim Sabzevari University, 2016.
- [8] J. Lubliner, J. Oliver, S. Oliver, and E. Onate, "A PLASTIC-DAMAGE MODEL FOR CONCRETE," vol. 25, no. 3, pp. 299–326, 1987.
- [9] J. Lee and G. L. Fenves, "Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structure," Eng. Mech., vol. 124, no. 8, pp. 892–900, 1998.
- [10] A. Belaebi, Li. Zhang, T. c. Hsu "Constitutive laws of reinforced concrete membrane elements" Eleventh world conference on earthquake engineering.
- [11] Xue-Mei Zhao, Yu-Fei Wu "analyses of plastic hinge in reinforced concrete beams under monotonic loading" Engineering Structures, vol. 34, , pp. 466–482, 2011.
- [12] Fa. xing Ding, Zhe Li "Composite action of hexagonal concrete-filled steel tubular stub columns under axial loading" Thin-walled structure, vol. 107, , pp. 502–513, 2016
- [13] F. Liao, L. Han, and Z. Tao, "Performance of reinforced concrete shear walls with steel reinforced concrete boundary columns," Eng. Struct., vol. 44, pp. 186–209, 2012
- [1] H. Esmaili, A. Kheyroddin, and H. Naderpour, "SEISMIC BEHAVIOR OF STEEL MOMENT RESISTING FRAMES ASSOCIATED WITH RC SHEAR WALLS," *Trans. Civ. Eng.*, vol. 37, no. C, pp. 395–407, 2013.
- [2] D. Dan, A. Fabian, and V. Stoian, "Theoretical and experimental study on composite steel – concrete shear walls with vertical steel encased profiles," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, no. 5, pp. 800–813, 2011.
- [3] M. H. S. Pul, E. Yozgat, and S. E. Gorkem, "Fracture of connections between steel and reinforced concrete shear walls under the cyclic," *Trans. Civ. Eng.*, vol. 36, pp. 97–102, 2011.
- [4] X. Ji and X. Lu, "Seismic behavior and modeling of steel reinforced concrete (SRC) walls," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 44, no. 6, pp. 955–972, 2014.
- [5] A. Molaei and H. Aghabarati, "Evaluation of the Effect of Connection between RC Shear Wall and Steel Moment Frame on Seismic Performance and Reduction Factor in Dual Systems," *Struct. Eng. Geotech.*, vol. 6, no. 2, pp. 31–39, 2016.
- [6] S. M. Allameh Najafi, "Behavior assessment of concrete shear walls with steel boundary element," Qom Faculty of Engineering, 2015.

Evaluating numerically the effects of concrete shear wall connecting to the steel frame on estimate strength and mode of failure

Abolfazl Arabzadeh¹, sajjad safara²

1. Associate Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2. M. Sc. in Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

*arabzade@modares.ac.ir

Abstract

Due to the earthquake prone region in Iran and the need of strengthen structures against lateral loads which one of the important elements used in the structure are the shear walls. The use of concrete shear wall structural system, due to the hardness and maximum resistance, high energy absorption and the building movement control are suitable system against the lateral load of the building. If the shear wall and boundary elements are homogeneous, in other words they are similar, the problems are much less, but it happens that such structures are not made of one, for example, the type of the shear wall is concrete and the type of the boundary elements are steel or the opposite. One of the uses of concrete shear wall is its simultaneous use with steel frame, which consists of shear wall, boundary columns and level-level beams. The way of connecting these walls to boundary are very important. Therefore, knowing the behavior of these structures is important. In this research, the shear wall of the concrete type and its connection to steel frame will be studied and investigated. For this purpose, first a 10-floor structure along with a steel frame system with concrete shear wall was modeled in Etabs software, in order to determine the beam dimensions, columns, wall and the amount of the longitudinal and transverse reinforcements of the concrete shear wall. Then, a wall from the first floor is selected with boundary elements to be modeled in Abaquse software in 4 different types of boundary elements and how to connect the steel frame to the concrete wall and compare the resistance and the type of the wall failure under pushover load. The models which are made are as following: A_ Buried column in concrete shear wall. B_ Half-buried column in concrete shear wall. C_ Buried column in concrete shear wall by attaching the welding of transverse shear wall reinforcement to the column flange. D_ Buried column in concrete shear wall by connecting bolt shear wall transverse reinforcement to the column flange. From the results of the analysis, can be concluded; the shear wall model with buried column and bolt connection of transverse reinforcement are shown that have more resistance than other models of connection, that the reason for this can be found in strong bolt connection, which makes the steel border element more involved in the tolerance of the seismic loads. Also, the model with the half-buried columns showed less resistance than the other models of connection, where the unconfinement in the boundary elements zone and less participation of the steel element in this condition can be known for this reason.

Keywords: concrete shear wall, steel frame, connection, weld, bolt