اثر فاصله بین پانل بتنی و قاب فولادی بر رفتار دیوارهای برشی مرکب

ابوالفضل عربزاده [۱]، مریم پیشوایی [۲]

(دریافت ۸۹/۱۱/۲۱، پذیرش ۹۱/۸/۱۲)

چکیده

یکی از سیستم های نوین مقاوم در برابر بارهای جانبی استفاده از دیوار برشی مرکب است که از یک ورق فولادی نازک به همراه پوششی از بتن در یک یا دو طرف ورق فولادی ساخته می شود. کاربرد این نوع دیوار بدلیل سختی ومقاومت بالا و همچنین شکل پذیری مناسب آن رو به افزایش است. تحقیقات نشان می دهد وجود یک فاصله کوچک بین قاب فولادی و پانل بتنی اثرات قابل توجهی در بهبود رفتار و شکل پذیری آن دارد. در این مقاله اثر فاصله(درز) بین پانل بتنی و قاب بر رفتار دیوار برشی مرکب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور مدلهای مختلف دیوارهای برشی مرکب با عرض دهانه ۳، ۴/۵ و ۶m و درزهای متفاوت تحت آنالیز استاتیکی غیر خطی قرار گرفته و ارتباط آن با عرض دهانه و تعداد طبقات بررسی شده است. نتایج نشان می دهد فاصله ۵۰ تا ۸۰mm بین پانل بتنی و قاب فولادی شکل پذیری و مقاومت دیوار برشی مرکب را افزایش می دهد.

کلمات کلیدی

دیوار برشی مرکب، فاصله(درز)، شکل پذیری، پانل بتنی

The Effect of Gap Between Concrete Panel and Frame on Behavior of Composite Shear Walls

Abolfazl Arabzadeh[1], Maryam Pishvaey[2]

ABSTRACT

One of the novel resistant systems to lateral loads is the use of composite shear wall, which is made up of a thin steel plate, with concrete cover on one or both sides. The utilization of this kind of wall is increasing due to its stiffness, high resistance, and also appropriate ductility. Research indicates that the existence of a gap between the steel frame and the concrete panel has deep impacts on the amelioration of wall behavior and its ductility. In this paper the influence of the gap between the concrete panel and the frame, on the behavior of the composite shear wall has been investigated. For this purpose, a nonlinear static analysis for various models of composite shear walls, with the span of 3, 4.5, and 6m, and different gaps have been done, and relationship between behavior of wall with different width and the number of stories has been studied. The results indicate that gap width of 50-80 mm between the concrete panel and the steel frame, has improved the ductility, ultimate strength of composite shear wall.

Key Word

Composite Shear wall, Gap, Ductility, Concrete Panel

۱. عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس، **arabzade@modares.ac.ir** (نویسنده مسئول)

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه تربیت مدرس، **mpishvaey@yahoo.com**

۱ – مقدمه

دیوارهای برشی مرکب نوع توسعه یافته ای از دیوار های برشی فولادی هستند که به دو طریق می توان از قابلیت شکل پذیری ناشی از کمانش در ورق فولادی دراین دیوارها استفاده کرد . یک روش استفاده از سخت کننده های فلزی و دیگری بهره گرفتن از پوشش بتنی است که از طریق برشگیرها به ورق فولادی متصل شده است که نوع دوم به دیوار برشی مرکب (کامپوزیت) معروف می باشد.

تا حدود چهل سال پیش تنها دیوار برشی بتن مسلح مورد استفاده قرار می گرفت. اما در طی چند دهه اخیر مطالعات و تحقیقات گسترده ای روی دیوارهای برشی مرکب صورت گرفته که منجر به استفاده روز افزون از این سیستم ابتکاری هم در سازه های جدید و هم برای مقاوم سازی سازه های موجود شده است. برخی از مزایای استفاده از دیوار برشی مرکب به شرح زیر است:

۱- یک دیوار برشی مرکب نسبت به دیوار برشی بتنی با ظرفیت برشی مشابه، دارای سختی برشی بیشتر به ازای ضخامت و وزن کمتر است. سطح مقطع کوچکتر به لحاظ معماری چه از نظر نما و چه از نظر سطح مفید ساختمان، بسیار مفید می باشد و وزن کمتر دیوار برشی مرکب باعث کاهش نیروهای لرزه ای و در نتیجه کوچکتر شدن ضخامت پی و دیوارها می شود.

۲- برای ساخت دیوار برشی مرکب می توان آن را در محل اجرا یا از قطعات پیش ساخته استفاده کرد. از آنجا که دیوار برشی مرکب می تواند سختی و پایداری لازم را در مدت ساخت و نصب تامین کند، امکان ساخت دیوار بتنی مسلح، مستقل از ساخت اسکلت فلزی و در خارج از شرایط کارگاهی وجود دارد که در این صورت باید به صفحه فلزی پیچ شود.

۳- در دیوار برشی مرکب، برش طبقه به وسیله عمل میدان کششی قطری ورق فولادی بعد از کمانش ناشی از فشار قطری تحمل می شود. در دیوار برشی مرکب، دیوار بتنی از کمانش قبل از تسلیم ورق فولادی جلوگیری می کند. در نتیجه ورق فولادی تا تسلیم در برش در مقابل برش طبقه مقاومت می کند که نسبت به نقطه تسلیم کششی قطری بزرگتر است.

۴- دیوار بتن مسلح در دیوار برشی مرکب نقش عایق رطوبت و صدا را نیز داشته و همچنین پوشش نسوزی را برای دیوار برشی فولادی ایجاد می کند.

تحقیقات نشان می دهد وجود یک فاصله کوچک (درز) بین قاب فولادی و پانل بتنی اثرات قابل توجهی در بهبود رفتار و شکل پذیری دیوار برشی مرکب دارد. هدف از این تحقیق بررسی اثر فاصله بین پانل بتنی و قاب بر رفتار دیوار برشی مرکب است به همین منظور مدل هایی با نسبت عرض دهانه به ارتفاع ۱ ، ۱/۵ و ۲ طراحی و در نرم افزار ABAQUS 6.8 مدلسازی شده و پس از صحت سنجی با مدل آزمایشگاهی ، با ایجاد درز های مختلف رفتار نمونه ها با معیارهای مقاومت، شکل پذیری و سختی اولیه بررسی و فاصله بهینه تعیین شده است.

۲ – تحقیقات گذشته

دو مطالعه مستقل در دانشگاه برکلی توسط آستانه و همکارانش طی سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ بر روی دیوارهای برشی فولادی معمولی و دیوارهای برشی مرکب صورت گرفته است، دو سازه ۲ طبقه با مقیاس ۱ به ۲ تحت بارهای چرخه ای قرار گرفتند، که هدف آن تعیین و تبیین توصیه های طراحی لرزه ای در این زمینه بود. مقادیری نیز برای ضریب رفتار این سیستم ها ارائه شده است. هدف اصلی این پروژه آزمایشگاهی، انجام آزمایش های بارگذاری تناوبی بر روی دیوارهای برشی مرکب بوده تا نظرات و توصیه های طراحی و مدلسازی بهبود پیدا کند. دو نمونه دیوار برشی مرکب مورد آزمایش ، دارای سیستم باربر جانبی ترکیبی بوده که در آن ها دیوار برشی مرکب در میان قاب خمشی قرار گرفته است.

تنها تفاوت میان دو نمونه دیوار پیشنهاد شده ، در این است که در یکی از نمونه ها یک درز بین دیوار بتنی و تیرها و ستون های اطراف پانل آن وجود دارد، ولی در نمونه دیگر

هیچ درزی وجود نداشته و بتن به طور مستقیم در معرض بارهای وارده از تیرها و ستونهای اطراف پانل قرار گرفته، همین تفاوت به ظاهر ساده، منجر به تفاوت قابل توجهی در عملکرد دیوار همانند شکل پذیری و کاهش آسیب پذیری شده است [۱].

علی نیا و همکاران در سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ بررسی هایی به صورت عددی بر روی رفتار دیوار های برشی فولادی نازک انجام دادند. نتایج نشان می دهد سختی پیچشی اعضای مرزی به عنوان قاب محیطی بسیار تاثیر گذار بر افزایش بار کمانشی پلاستیک است. اما این سختی پیچشی در مقاومت پس کمانش ورق فولادی تاثیر گذار نیست و افزایش سختی ورق فولادی با کمک سخت کننده ها با افزایش ورق تاثیر کمی بر روی افزایش مقاومت نهایی ورق دارد [۲,۳].

نتایج مطالعات انجام شده توسط حاتمی و صبوری (سال۲۰۰۵) نشان می دهد که نوع اتصال تیر به ستون تاثیر مهمی بر رفتار صفحات ندارد [۴].

در سال ۲۰۰۸ نیز یک سری آزمایشات بسیار متنوع و گسترده توسط حاتمی و رهایی بر روی رفتار دیوارهای برشی مرکب ساخته شده از بتن و فولاد و یا بتن و الیاف پلیمری کربن انجام گرفته است [۵].

درسال ۲۰۰۹ محقق و ایازی مطالعات گسترده آزمایشگاهی و عددی در دانشگاه تربیت مدرس بر روی رفتار دیوارهای برشی مرکب انجام داده که نتایج آن منتشر شده است [۶].

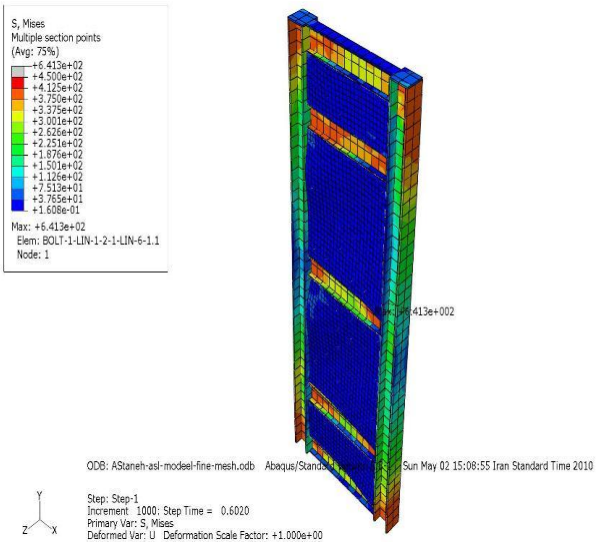
با وجود اینکه داده های تحقیقاتی با ارزشی از این نوع سیستم در دسترس بوده و ضمن اینکه تعداد زیادی از ساختمان های مهم نیز بر مبنای این سیستم سازه ای بنا شده است، اطلاعات مربوط به طراحی لرزه ای این سیستم در آیین نامه های لرزه ای موجود بسیار محدود می باشد و سوالات و ابهامات زیادی در مورد شباهتها و تفاوتهای این سیستم با دیوار برشی فولادی وجود دارد که لزوم مطالعات و تحقیقات بیشتر در این زمینه را نشان می دهد.

۳- مدلسازی عددی و صحت سنجی با نمونه‌های آزمایشگاهی

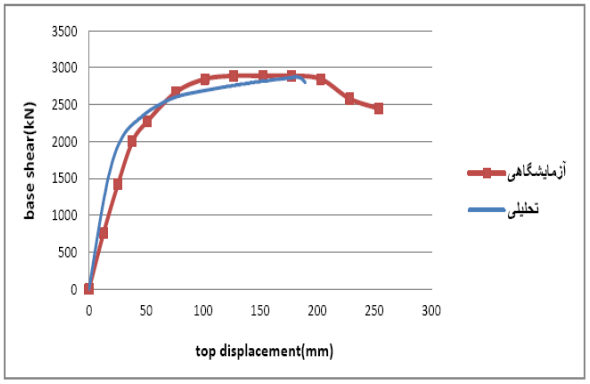
به منظور صحت سنجی مدل سازی انجام گرفته، نمونه آزمایشگاهی آستانه اصل، شکل ۱و۲ در نرم افزار ABAQUS مطابق شکل۳ مدل سازی شده و نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید که در شکل ۴ و ۵ منحنی بار- تغییر برای هر دو حالت تحلیلی و آزمایشگاهی در هر دو نمونه با درز و بدون درز نشان داده شده است. منحنی بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی مربوط به پوش حاصل از منحنی هیسترزیس این نمونه ها می باشد. انطباق این دو منحنی مبین توانایی مدل انتخاب شده و روش اجزاء محدود در بر آورد مناسب رفتار نمونه می باشد.

شکل (۱): نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی مرکب با درز آستانه اصل.

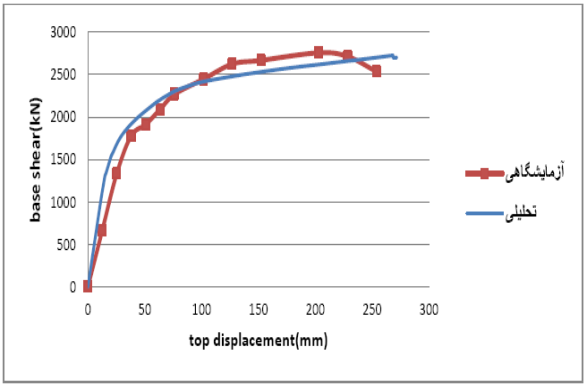
شکل (۲): نمونه آزمایشگاهی دیواربرشی مرکب بدون درز آستانه اصل.



شکل (۳): مدلسازی نرم افزاری.



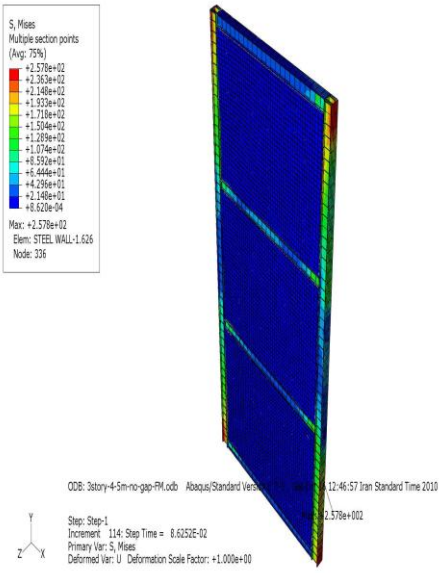
شکل (۴): مقایسه منحنی بار- تغییر مکان مدل آزمایشگاهی و مدل تحلیلی آستانه در نمونه بدون درز.



شکل (۵): مقایسه منحنی بار-تغییر مکان مدل آزمایشگاهی و مدل تحلیلی آستانه در نمونه با درز.

۴. مدلسازی نمونه ها

برای بررسی اثر درز بین پانل بتنی و قاب پیرامونی ۳ دیوار مرکب ۳ طبقه با عرض دهانه ۳ ، ۴/۵ و ۶m و ارتفاع طبقات ۳m باضخامت ورق ۳m و ضخامت پانل بتنی ۴۰mm و مشخصات مقاطع و فولاد و بتن مطابق جداول ۱، ۲ و ۳ مدلسازی شد. در هر دیوار فاصله(درز)های مختلفی از ۵ تا ۱۰۰mm ایجاد شد و این نمونه ها تحت بار گذاری استاتیکی افزاینده غیر خطی قرار گرفتند. در مدل با دهانه ۳m برای بررسی اثر افزایش طبقات علاوه بر مدل ۳ طبقه مدل ۵ طبقه نیز با درزهای مختلف مورد تحلیل قرار گرفت.



شکل (۶): مدلسازی نمونه با دهانه ۴/۵m

در مدلسازی از المان Solid برای تیر و ستون و پوشش بتنی و از المان Shell برای ورق فولادی و Beam برای بولت ها استفاده شده است. استفاده از المان Solid امکان مدلسازی دقیق تماس آن با قاب اطراف و مشاهده تغییر شکل واقعی آن بعد از تحلیل را میسر می سازد. درجات آزادی تیر پایه در تمام جهات مقید شده است.

جدول (۱): مقاطع تیر و ستون

مقطع تیرفوقانی	۲۴IPE۲
مقطع تیر	۲۰IPE۲
مقطع ستون	۲۷IPE۲

جدول (۲): مشخصات بتن مصرفی

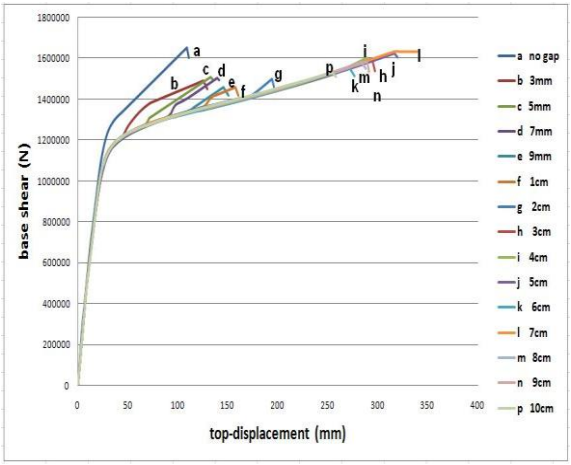
مقاومت کششی	مقاومت فشاری
۲/۵	۲۵
مدول ارتجاعی	ضریب پواسون
۲۶۰۰۰	۰/۲

جدول (۳): مشخصات فولاد مصرفی

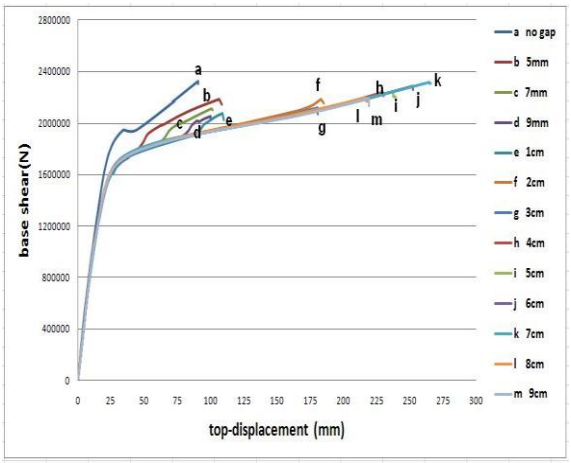
مشخصات	مقاومت نهایی kN/mm^2	مقاومت جاری شدن kN/mm^2	مدول ارتجاعی	ضریب پواسون
تیر ستون ورق	۴۰۰	۲۴۰	۲۱۰۰۰۰	۰/۳
بولت	۱۰۰۰	۹۰۰	۲۱۰۰۰۰	۰/۳
میلگرد	۵۰۰	۳۵۰	۲۱۰۰۰۰	۰/۳

۵. نتایج

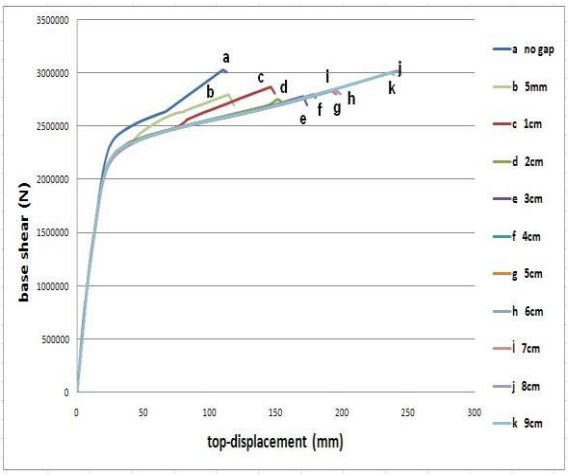
در دیوار با عرض دهانه ۳m و ارتفاع ۳m علاوه بر نمونه بدون درز نمونه هایی با درزهای مختلفی از ۵ تا ۱۰۰mm بین پوشش بتنی و ورق فولادی مدلسازی شد. منحنی رفتاری هر یک از مدلها در ادامه نشان داده شده است.



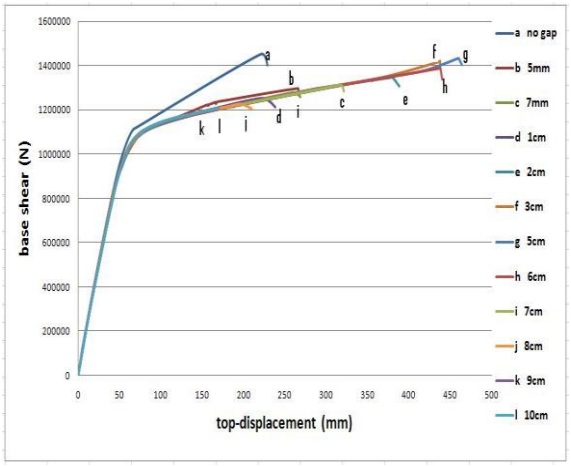
شکل (۷): منحنی بار- تغییرمکان نمونه بادهانه ۳m – ۳ طبقه با درزهای مختلف



شکل (۹): منحنی بار- تغییرمکان نمونه بادهانه ۴/۵m – ۳ طبقه با درزهای مختلف

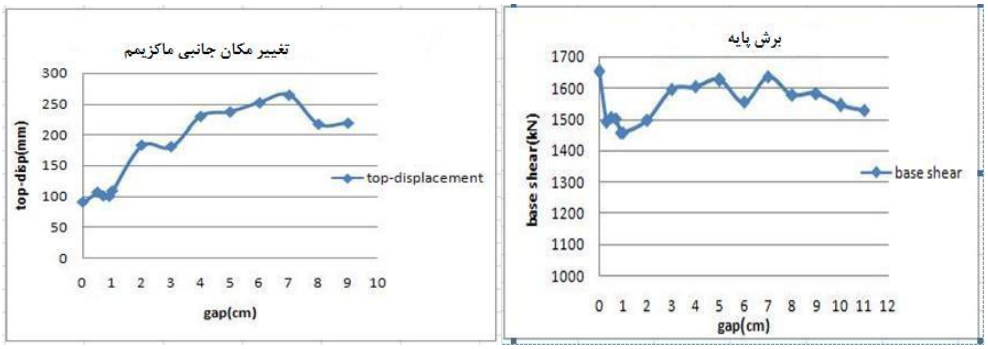


شکل (۹): منحنی بار- تغییرمکان نمونه بادهانه ۶m – ۳ طبقه با درزهای مختلف

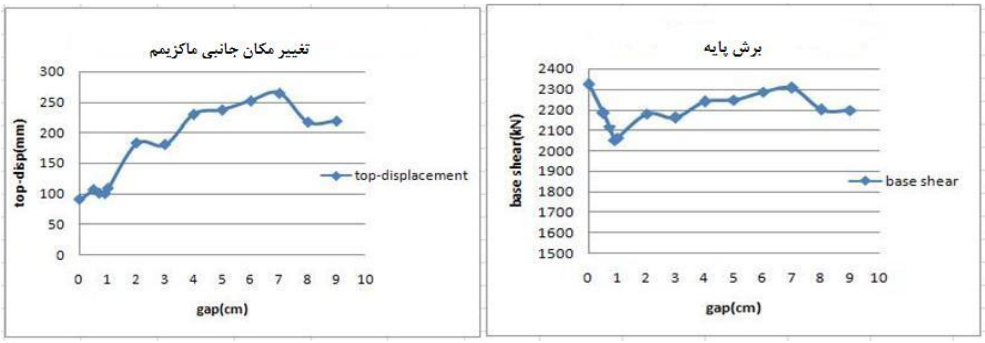


شکل (۱۰): منحنی بار-تغییرمکان نمونه بادهانه ۳m – ۵ طبقه با درزهای مختلف

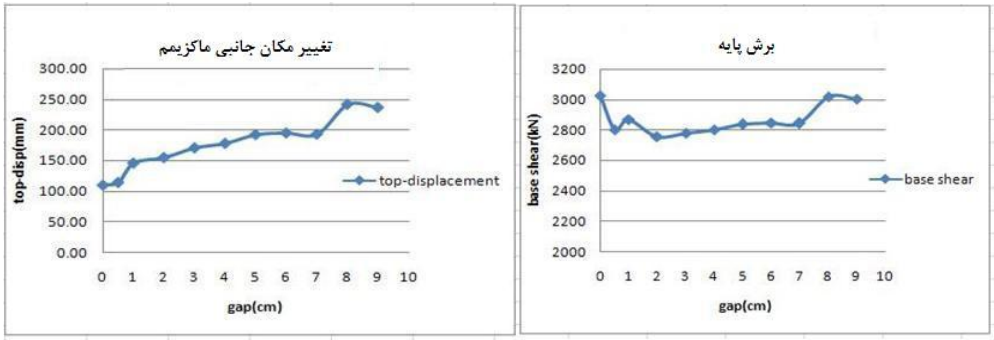
در اشکال ۱۱ الی۱۴ ماکزیمم تغییر مکان جـانبی و نیـروی برشی پایه به ازای درزهای مختلف در مدلهای به دهانه ۳ ، ۴/۵ ، ۶m و مدلهای ۵ طبقه مقایسه شده است.



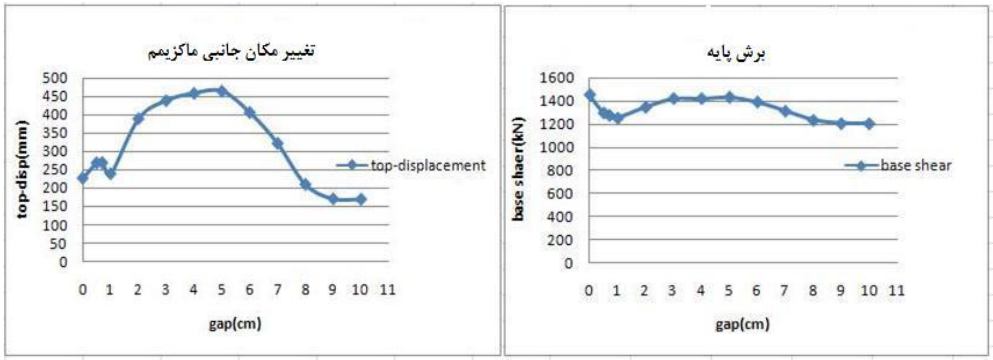
شکل (۱۱): تاثیر درز بین پانل بتنی و قاب بر تغییر مکان جانبی و برش پایه در مدل با دهانه ۳m – ۳طبقه



شکل (۱۲): تاثیر درز بین پانل بتنی و قاب بر تغییر مکان جانبی و برش پایه در مدل با دهانه ۴/۵m – ۳طبقه

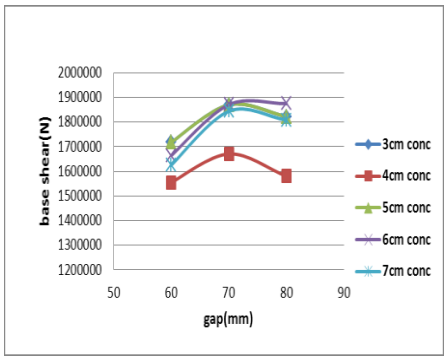


شکل (۱۳): تاثیر درز بین پانل بتنی و قاب بر تغییر مکان جانبی و برش پایه در مدل با دهانه ۶m – ۳طبقه

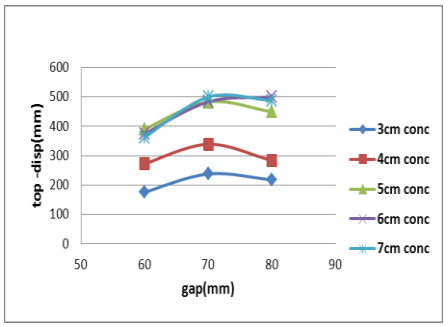


شکل (۱۴):تاثیر درز بین پانل بتنی و قاب بر تغییر مکان جانبی و برش پایه در مدل با دهانه ۳m – ۵طبقه

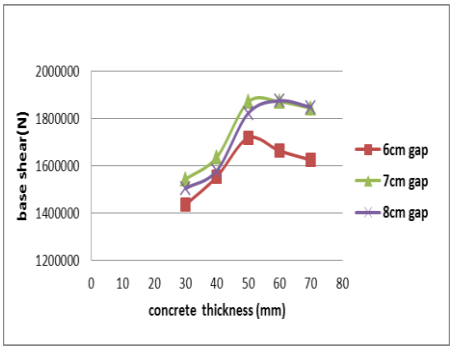
در دیـوار ۳ طبقـه بـا عـرض دهانـه ۳m از بـین درزهـای مختلف، درز ۷۰mm دارای بیشترین تغییر شـکل جـانبی و مقاومت بود. پس از این مرحله برای بررسی اثـر ضـخامت پوشش بتنی ، در مدلهای بعدی ضخامت پوشـش بتنـی بـه ۳۰ ، ۵۰ ، ۶۰ و ۷۰mm تغییر داده شد و با ایجـاد درزهـای ۶۰ و ۸۰mm تحلیـل ادامـه یافـت . در شـکل ۱۵ و ۱۶ مقاومت ماکزیمم و تغییرمکان به ازای درزهای مختلف بین پانل بتنـی و قـاب فـولادی و در شـکل ۱۷ و ۱۸ مقاومـت ماکزیمم و تغییرمکان به ازای ضخامت هـای مختلـف بـتن نشان داده شده است.



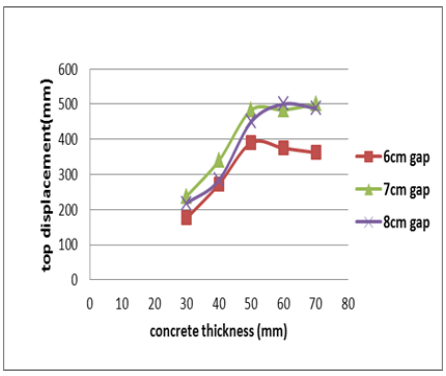
شکل (۱۵): منحنی مقاومت ماکزیمم به ازای درزهای مختلف



شکل (۱۶): منحنی تغییرمکان ماکزیمم به ازای درزهای مختلف



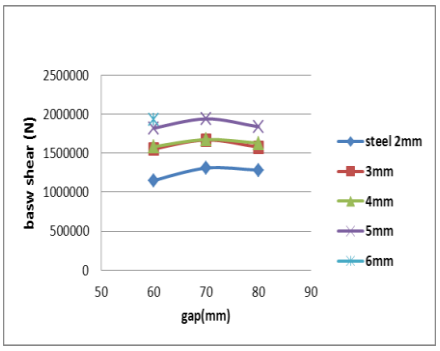
شکل (۱۷): منحنی مقاومت ماکزیمم به ازای ضخامت‌های مختلف بتن



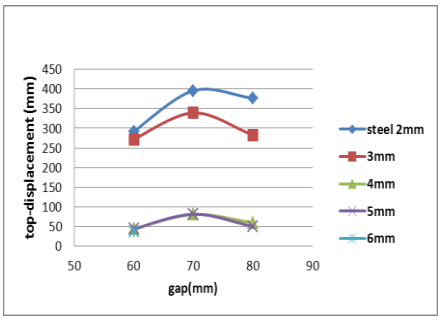
شکل (۱۸): منحنی تغییرمکان ماکزیمم به ازای ضخامت‌های مختلف بتن

همانطور که مشاهده می شود مـدل دارای درز ۷۰mm بـه ازای ضخامت های مختلف بتن همچنان بیشترین مقاومـت و تغییـر شـکل جـانبی را داراسـت. در ادامـه مـدلهای بـا ضخامت ۲ ، ۴ و ۵mm ورق فـولادی مـورد تحلیـل قـرار گرفت.

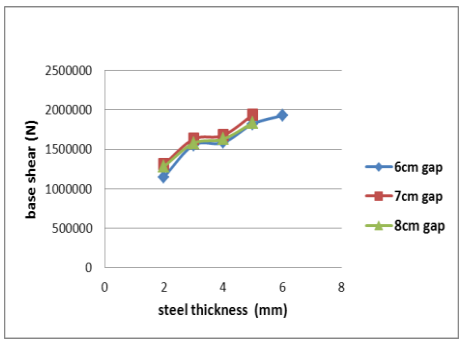
در شکل ۱۹ و ۲۰ تغییرمکان و مقاومت مـاکزیمم بـه ازای درزهای مختلف بین پانل بتنی و قاب فـولادی و در شـکل ۲۱ و ۲۲ تغییرمکـــان و مقاومـــت مـــاکزیمم بـــه ازای ضخامت‌های مختلف ورق فولادی در این نمونه هـا نشـان داده شده است.



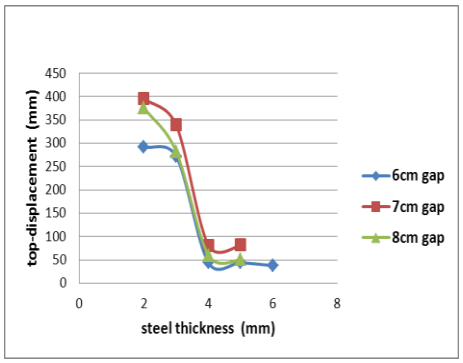
شکل (۱۹): منحنی مقاومت ماکزیمم به ازای درزهای مختلف



شکل (۲۰): منحنی تغییرمکان ماکزیمم به ازای درزهای مختلف

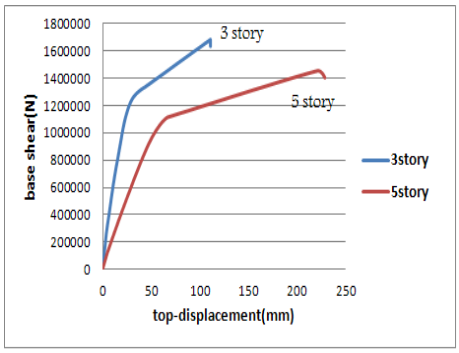


شکل (۲۱): منحنی مقاومت ماکزیمم به ازای ضخامت‌های مختلف ورق فولادی



شکل (۲۲): منحنی تغییرمکان ماکزیمم به ازای ضخامت‌های مختلف ورق فولادی

در شکل ۲۳ منحنی رفتار مدل ۳ طبقه و ۵ طبقه مقایسه شده است.



شکل (۲۳): مقایسه رفتار مدل ۳ طبقه و۵ طبقه

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر درز بین پانل بتنی و قاب بر رفتار دیوار برشی مرکب مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت و نتایج زیر بدست آمد:

۱- وجود یک درز ۳۰ تا ۸۰mm بین قاب فولادی و پانل بتنی در دیوار برشی مرکب اثرات قابل توجهی در بهبود رفتار وافزایش شکل پذیری و کاهش خسارت پوشش بتنی دارد که کاهش کمی در مقاومت کلی دیوار در مقابل آن قابل چشم پوشی است.

۲- در نمونه های با عرض دهانه ۳m و ۴/۵m مدل با درز ۷۰mm با توجه به ضخامت های مختلف پوشش بتنی و ورق فولادی دارای بیشترین مقاومت و تغییرشکل جانبی است. با افزایش عرض دهانه به ۶m این درز بهینه به ۸۰ mm می رسد.

۳- در دیوار برشی مرکب بدون درز افزایش ضخامت پوشش بتنی باعث افزایش سختی دیوار می شود ولی در دیوار با درز بدلیل عدم برخورد پوشش بتنی و قاب سختی تغییر چندانی نمی کند.

۴- دیوار برشی مرکب با ضخامت پوشش بتنی ۵۰mm دارای مقاومت و شکل پذیری بهتری نسبت به سایر مدلهاست.

۵- افزایش ضخامت ورق فولادی باعث افزایش ظرفیت کلی دیوار می شود ولی ضخامت بیش از ۴mm شکل پذیری را کاهش می دهد.

۶- در مدلهای با درزهای مختلف سختی اولیه تغییرات کمتری نسبت به مقاومت و شکل پذیری دارد که با توجه به جابجایی کم بین پانل بتنی و قاب در مراحل اولیه منطقی می باشد.

۷- افزایش درز بیش از ۸۰mm بین پانل بتنی و قاب موجب کاهش مقاومت پانل بتنی و افزایش سطح بدون پشتیبان ورق فولادی و تمرکز تنش می شود که باعث کاهش مقاومت دیوار برشی مرکب می شود.

۸- با افزایش تعداد طبقات در نمونه با عرض دهانه ۳m از ۳ طبقه به ۵ طبقه درز بهینه از ۷۰mm به ۵۰mm کاهش یافته است.

۹- مقاومت و سختی اولیه مدل ۵ طبقه نسبت به مدل ۳ طبقه به دلیل افزایش نیروی خمشی کاهش یافته، ولی شکل پذیری آن افزایش یافته است.

مراجع

1. Astaneh-Asl A., (2002) "Seismic Behavior and Design of Composite Steel Plate Shear Walls", Steel TIPS Report, Structural Steel Educational Council, Moraga, California..
2. Alinia MM. A study into optimization of stiffeners in plates subjected to in-plane shear loads. Thin-Walled Structures 2005.
3. Alinia MM, Dastfan M. Effect of surrounding members on shear buckling of panels. Thin-Walled Structures 2004
4. Hatami, F.& Sabouri, S., Behavior of Steel Plate Shear Walls in Earthquake Due to Change of Rigidity of the Internal Storey Beams. Amirkabir Journal, Vol. 15, No 60-2, Civil Engineering, Tehran, IRAN, Fall & Winter 2004-2005.
5. Hatami, F, Rahai , A. Performance Evaluation and Optimization of Composite Shear Wall. Ph.D. Dissertation, Amirkabir University of Technology, January 2008
6. Arabzadeh A, Soltani M, Ayazi A. Experimental investigation of composite shear walls under shear loadings. Journal of Thin -Walled Structures , **49**(2011) 842–54.
7. Arabzadeh A, Moharrami H, Ayazi A. Local elastic buckling coefficients of steel platesin composite steel plate shear wall. *Journal of Scientia Iranica A*, No.1, **18**(2011**)** 9-15.

۸. عربزاده،ا. و ایازی،ا. ، (۱۳۸۸) ، "بررسی کمانش ارتجاعی صفحات فولادی بکار رفته در دیوارهای برشی مرکب با استفاده از روش رایلی-ریتز" ،هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران ،۲۱-۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸ ،شیراز ،ایران.

۹. جهانپور،ع. و محرمی،ح. ، (۱۳۸۶) ، " رفتار لرزه ای دیوارهای برشی فولادی تقویت شده با صفحات کامپوزیتی پلیمری" ،سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۱۰. ایازی،ا. و احمدی طالشیان،ح. و عربزاده،ا.(۱۳۸۹) ،"تاثیر تعداد و نحوه قرار گیری بولت ها بر رفتار دیوار برشی مرکب"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۴-۱۶ اردیبهشت ۱۳۸۹، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۱۱. رهایی، علیرضا؛ حاتمی، فرزاد. (۱۳۸۴) ،" اثر صلبیت تیر میانی و تغییرات ضخامت پوشش بتنی در دیوارهای برشی با هسته فولادی"، مجموعه مقالات اولین همایش بین المللی مقاومسازی لرزه ای، تهران.

۱۲. حاتمی، فرزاد؛ صهری، مجیدرضا. اثر تغییرات ضخامت ورق فولادی بر رفتار دیوار برشی مرکب، نشریه انجمن سازه های فولادی ایران. سال چهارم، شماره چهارم، پاییز ۸۷ .