

بررسی تاثیر اندازه ملات بر رفتار چرخه ای دیوار برشی آجری در قاب فولادی سرد نورد شده با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی

محمد رضا جواهری تفتی

عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، ایران.
javaheri@taftiau.ac.ir

محمدعلی اسمعیلی تفتی

سازه، واحد میبد دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، ایران.
esmaeli@iauyazd.ac.ir

احمدعلی فلاح

عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، واحد میبد دانشگاه آزاد اسلامی، میبد، ایران.
aafab@gmail.com

چکیده

یکی از سیستم های نوین ساختمانی سیستم قاب سبک فولادی سرد نورد شده (LSF) است. در این تحقیق سعی شده است تا قدمی در راستای کاربردی کردن و بومی سازی این سیستم برداشته شود. به همین منظور در این مقاله به بررسی تاثیر اندازه ملات مصرفی در نصب آجر در دیوارهای برشی آجری در قاب فولادی سرد نورد شده پرداخته شده است. تعداد ۴ عدد دیوار برشی آجری در قاب فولادی سبک سرد نورد شده در ۲ نوع کاملاً یکسان ولی با تغییر ضخامت در ملات پشت آجرها ساخته شده و نمونه ها تحت پروتکل بارگذاری ASTM قرار گرفته است. مقاومت نهایی و ضریب رفتار هر یک از نمونه ها با دو روش یانگ و پاولی محاسبه گردیده است. نتایج نشان می دهد که تغییر ضخامت ملات، تاثیرچندانی روی ضریب رفتار نمونه ها نداشته است. ضخامت ملات بیشترین تاثیر در مقاومت نمونه ها داشته است به نحوی که نمونه با ضخامت ملات ۵۰ میلی متر نسبت به نمونه با ضخامت ملات ۲۵ میلی متر مقاومت چشمگیری را کسب نموده است. همچنین با یک برآورد ریالی، مشخص شد هزینه ساخت دیوار با ضخامت ملات ۵۰ میلیمتر نسبت به هزینه ساخت دیوار با ضخامت ملات ۲۵ میلیمتر قدری کمتر است.

واژه های کلیدی: ضخامت ملات، مقاومت نهایی و ضریب رفتار دیوار برشی آجری، قاب فولادی سبک سرد نورد شده.

Investigation of the effect of mortar size on the cyclic behavior of a brick shear wall in a cold-formed steel frame using experimental studies

Mohammad Ali Esmaeili Tafti, Mohammad Reza Javaheri Tafti*, Ahmad Ali Fallah

Abstract:

One of the new construction systems is the cold-formed light steel framing system (LSF). In this research, it has been tried to take a step towards the application and localization of this system. Therefore, in this article, the effect of the size of the mortar used in the installation of bricks in brick shear walls in cold-formed steel frame has been investigated. 4 brick shear walls in cold-formed light steel frame in 2 types are completely identical but with a change in thickness in the mortar behind the bricks have been fabricated and tested. To reduce possible errors during fabrication and testing of any kind, two specimens have been constructed exactly the same and the specimens are subjected to the ASTM loading protocol and the ultimate strength and coefficient of behavior of each specimen has been calculated by Yang and Powell methods. The results show that the change in mortar thickness did not have much effect on the coefficient of behavior of the specimens. Mortar thickness has the greatest effect on the strength of specimens so that the specimen with a mortar thickness of 50 mm has a significant resistance compared to the specimen with a mortar thickness of 25 mm. Also, with a Rial estimate, it was found that the cost of building a wall with a mortar thickness of 50 mm is slightly lower than the cost of building a wall with a mortar thickness of 25 mm.

Keywords: Mortar thickness, ultimate strength and coefficient of behavior of brick shear wall, cold-formed light steel frame

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

تاریخ آخرین اصلاحات: ۱۴۰۰/۱۱/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۶

سیستم ساخت قاب سبک فولادی (LSF)، یکی از سیستم‌های فن‌آوری نوین ساختمانی است. این سیستم اغلب در کشورهای توسعه یافته مورد استفاده قرار می‌گیرد. عموماً از این سیستم در ساختمان‌هایی با ارتفاع کم استفاده می‌شود. روش ساخت این سیستم شباهت زیادی به روش ساخت ساختمان‌های چوبی دارد. اسکلت این نوع سازه از ترکیب نیمرخ‌های فولادی تهیه شده از ورق گالوانیزه، با نورد سرد ساخته می‌شود. مقاطع مصرفی در این سیستم اغلب به شکل C و U می‌باشند که عمدتاً با اتصالات پیچی به یکدیگر متصل می‌شوند. هر دیوار از تعدادی اجزای عمودی C شکل (وادار)، که در بالا و پایین به اجزای افقی U شکل (رانز) متصل شده‌اند، تشکیل می‌شود. سرعت اجرا در سازه‌های LSF نسبت به سازه‌های بتنی و فلزی زیاد می‌باشد. در سازه‌های LSF به دلیل سبکی وزن، نیروی زلزله ایجاد شده در سازه نسبت به سازه‌های معمولی کمتر است. اتلاف و مصرف انرژی در این سازه نیز کمتر می‌باشد زیرا می‌توان در بین قابهای فولادی ساخته شده عایق حرارتی مناسب قرار داد و از سوی دیگر برای تهیه مقاطع فولادی احتیاج به نورد گرم فولاد نیست. سهولت تعمیر و بازسازی این سازه‌ها از مزایای دیگر آن‌ها به شمار می‌آید که باعث گردیده تا این نوع سیستم ساخت و ساز در مقایسه با سایر روش‌های ساخت مقرون به صرفه باشد. از معایب این نوع سیستم سازه ای می‌توان به پایداری کم آن‌ها در برابر نیروهای جانبی به ویژه نیروهای ایجاد شده توسط زلزله و باد اشاره نمود. همچنین در این نوع سیستم سازه ای محدودیت در اندازه دهانه و تعداد طبقات وجود دارد. برای تامین پایداری جانبی سازه‌های فولادی سرد نورد شده از دیوارهای برشی استفاده می‌شود. یک دیوار برشی در ساختمان‌هایی که از فولاد سرد نورد شده ساخته شده‌اند متشکل از قاب‌های فولادی سرد نورد شده است که در این قاب‌ها اعضای قائم وادار^۲ و اعضای افقی رانز^۳ نامیده می‌شوند که این اعضا با استفاده از پیچ یا پرچ به هم متصل می‌شوند. برای مقابله با نیروهای افقی ناشی از باد و یا زلزله نیز عمدتاً از تسمه‌های فولادی به عنوان مهاربند تسمه‌ای در داخل قاب یا پوشش‌های صفحه‌ای از جنس فولاد، چوب، گچ، سیمان و غیره بر روی قاب و یا ترکیبی از مهاربندها و صفحات استفاده می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

تحقیقات زیادی در خصوص بررسی رفتار دیوارهای برشی مقاوم در برابر نیروهای جانبی توسط محققین انجام شده است که در این بررسی‌ها عمدتاً دیوارهایی با مقیاس کامل ساخته شده و در آزمایشگاه تحت بار چرخه ای قرار گرفته‌اند. مقاومت برشی نهایی و ضریب رفتار هر یک از دیوارها محاسبه گردیده است. نتایج برخی از این تحقیقات در دستورالعمل‌های مربوط به سازه‌های فولادی سرد نورد شده

1- Lightweight Steel Framing

2- Stud

3- Terak

کشورهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به چند مورد از تحقیقات انجام شده اشاره می‌شود:

سیدرضا آیت‌اللهی و همکاران عملکرد پانل‌های دیوار برشی فولاد سرد شده (GFS) با پوشش گچبرگ تحت بار ترکیبی جانبی و ثقلی را مورد بررسی قرار داده که نتایج نشان می‌دهد که پانل‌های ساخته شده تحت بار ثقلی می‌توانند مقاومت برشی، جذب انرژی و سختی بیشتری را داشته باشند، اما شکل پذیری کمتری را دارند. علاوه بر این، وقتی از استاد‌های دوپل برای نمونه‌ها استفاده شود، اثر افزایش بار گران‌تر بیشتر قابل توجه است. مقادیر ضریب رفتار همچنین نشان می‌دهد که روش اندازه‌گیری فاکتور R می‌تواند نتایج را به طور نسبی تحت تأثیر قرار دهد [۱]. مرتضوی و همکاران در یک بررسی رفتار لرزه‌ای دیوارهای فولادی مرکب از قاب سرد نورد شده و گرم نورد شده را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که برای بهبود عملکرد لرزه‌ای این دیوارها نحوه اتصال پانل‌ها به یکدیگر و همچنین تقویت محل اتصال از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد [۲]. فنگ و همکاران در خصوص عملکرد لرزه‌ای تعدادی دیوار برشی CFS با روکش صفحات فولادی و گچی بررسی‌هایی را انجام داده و به این نتیجه رسیده‌اند که نسبت ضخامت صفحات تشکیل دهنده قاب به ضخامت صفحات فلزی پوششی تعیین کننده حالت خرابی و نوع خرابی می‌باشد و همچنین در این نوع دیوارها مقاومت برشی افزایش می‌یابد اما شکل پذیر آنها کم می‌شود [۳]. جواهری تفتی و همکاران یک بررسی آزمایشگاهی بر روی قابهای فولادی سرد نورد با پوشش ورق فولادی را به انجام رساندند. این بررسی بر روی تعداد ۲۴ عدد قاب فولادی با فولاد سرد نورد شده، با پوشش ورق در مقیاس واقعی تحت بارگذاری چرخه ای و با پیکربندی متفاوت در مقاطع و پیچ‌ها بود. مواردی همچون: ظرفیت بار جانبی ماکزیمم، رفتار بار-تغییر شکل و نیز برآورد منطقی از ضریب اصلاح پاسخ لرزه‌ای (ضریب رفتار) R و مدهای شکست سیستم موارد اصلی بودند که در مطالعه مذکور مورد مطالعه قرار گرفتند. در نهایت با مقایسه ضرایب R بدست آمده و با توجه به اینکه مقدار R تمام پانل‌های تست شده بین ۶/۷ تا ۸/۲ و اکثر آنها دارای R بیشتر از ۷ بودند، آنها توصیه نمودند که مقدار R ارائه شده در آئین نامه ی AISI از ۶/۵ به ۷ افزایش پیدا کند [۴]. رونق و زینلیان مدل اجزا محدود با استفاده از نرم افزار Ansys برای تجزیه و تحلیل دیوار با قاب فولادی سرد نورد شده با مهاربند زانویی و با برکت‌هایی به همراه دیوار برشی ارائه دادند. در این مطالعه اثرات جابه‌جایی‌های موضعی اولیه، مشخصات غیر خطی مصالح، تنش پسماند و سوراخ کاری مقاطع مورد توجه قرار گرفت. هر چند که نتیجه گرفتند که اثر تنش پسماند و سوراخ کاری مقاطع اندک است. دقت نتایج به دست آمده و مقایسه نتایج دیوارهای سرد نورد شده با مهاربندهای زانویی و دیوارهای برشی با طولهای مختلف برکت، طول بهینه مهاربندها و طول بهینه قسمت‌های زانویی مهاربندها را نتیجه می‌دهد. به علاوه آنها دریافتند اگرچه دیوارهای فولادی سرد نورد شده با مهاربندهای زانویی دارای تغییر مکان نسبی

شکست (مثل شکست گسستگی نوار، کمانش لبه و اتصال لبه به وتر) در گروه متوسط دیوارهای مهار بندی شده اتفاق افتاد. محققان باور داشتند که می توان از این حالت‌های شکست نامطلوب با طراحی درست جلوگیری کرد چون اجازه نمی دهند کلاف ها به تسلیم شدگی برسند. به علاوه آنها نتیجه گرفتند که عملکرد نرم دیوارهای CFS که در بعضی آیین نامه ها با فاکتور $R=4$ منعکس شده است قابل اعتماد نیست و برای دیوارهای متوسط و سنگین فاکتور $R=3$ در نظر گرفته شود [۹]. فلوپ و دیونا ۳ دیوار با مهاربند تسمه ضربدری X در دو طرف با ابعاد دیوار $۲/۴ \times ۳/۶$ متر را تحت بارگذاری یکنواخت و چرخه ای (رفت و برگشتی) مورد آزمایش قرار دادند. در کناره ها از استاد دوپل استفاده شده است با این که با استفاده از پروفیل U شکلی در ترک ها به منظور دستیابی به ظرفیت و صلبیت بالاتر، گوشه ها بیشتر مهار شده بودند ولی در حین بارگذاری کمانش موضعی ترک پایینی همراه با تمرکز کامل خرابی در گوشه های پانل مشاهده گردید. دیوارهای آزمایشی شده شامل دیوارهای بدون پوشش و دیوارهای همراه با مهاربند تسمه و پوششی دیوار همراه با بازشو بوده اند. نتایج نشان داد که مقاومت برشی پانلهای دیوار هم از نظر استحکام هم از نظر ظرفیت تحمل بار بسیار مهم است و به طور مؤثر می تواند در برابر بارهای جانبی مقاومت کنند. تقویت در گوشه ها نیز بسیار مهم می باشد. نتایج این مطالعه نشان داد علیرغم افزایش طول پلاستیک در مهاربندها، این موضوع نمی تواند بیانگر شکل پذیر بودن دیوارها با مهاربند تسمه ضربدری باشد چرا که خرابی در گوشه ها جابه جایی نسبی دیوارها را افزایش داده است [۱۰]. راجرز و زات بر روی نیازهای لرزه ای برای استانداردهای طراحی و تبیین فاکتور R (ضریب رفتار) مطالعه کردند و براساس نتایج آزمایشات محققان دیگر بر روی نمونه های دیوارهای برشی فولاد سرد نورد شده مقدار اولیه $R=2$ برای استفاده در آیین نامه ملی ساختمان کانادا برای طراحی سازه های فولاد سرد شده در یک طبقه ارائه کردند [۱۱]. گاد و همکارانش عملکرد لرزه ای دیوارهای CFS را با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دادند. روند کار آزمایشگاهی شامل آزمایش با بارگذاری چرخه ای روی دیوار هایی با مهاربند تسمه ای در دو حالت که یکی با صفحات گچی و دیگری بدون صفحات گچی می باشد. آزمایش میز لرزان روی یک سازه سه بعدی یک طبقه CFS به شکل BOX به ابعاد $۲/۴ \times ۲/۴ \times ۲/۴$ متر می باشد. نتایج نشان داد در دیوار بدون صفحات گچی قبل از تسلیم شدن مهاربند خرابی از یک پیچ شروع شده و با بیرون پریدگی دیگر پیچ ها ادامه پیدا کرده است. آزمایش های مشابهی هم برای دیوار با اتصالات استاد جوشی تکرار گردید که به دلیل پارگی مهاربند تسمه ای آزمایش متوقف گردید. ایشان به این نتیجه رسیدند که نوع اتصال (پرج یا جوش) تأثیری روی پاسخ جانبی دیوار با مهاربند تسمه ضربدری ندارد. در تمامی آزمایشات خرابی در اتصالات مهار بند به دیوار یا پارگی گچ برگ در اطراف پیچ ها مشاهده شد [۱۲]. سرت و همکارانش عملکرد جانبی دیوارهای CFS با مهاربند تسمه ای در ابعاد $۲/۴ \times ۲/۴$ متر را تحت بارگذاری یکنواخت

نسبتاً بالایی می باشد؛ اما تفاوت آنها به اندازه مقاومت دیوارهای سرد نورد شده با مهاربندهای بالا نیست. هم چنین استفاده از مهاربندهای زانویی در نواحی با لرزه خیزی پایین مجاز است. آنها مقدار $R=3$ برای دیوارهای سرد نورد شده با مهاربندی زانویی را پیشنهاد کردند [۵]. یو و شن بر روی دیوارهای فولادی سرد نورد شده با ابعاد $(۱/۸ \times ۲/۴)$ با پوشش ورق های فلزی مطالعاتی انجام دادند. آزمایشات شامل ۱۹ دیوار CFS همراه با پوشش هایی می باشد که تغییرات هر دیوار بر روی جزئیات استاداها و مهاربندها بوده است که تحت بارگذاری یکنواخت و چرخه ای قرار گرفته اند و هدف به بدست آوردن مقاومت برشی اسمی مناسب برای مطالعات CFS بوده است. برای آزمایشات چرخه ای در هر دو طرف کنار استاد از Hold-down استفاده شده است. آنها به این نتیجه رسیدند که عضوهای دیوار که ضخیم تر می باشند می توانند به جلوگیری از شکست در داخل استاد در صورت نصب نشدن مهاربند تسمه ای کمک کنند بر اساس نتایج آزمایشات، مقاومت برشی اسمی برای بارهای لرزه ای که در گذشته انجام گردیده بود برای طراحی تایید گردید [۶]. رونق و مقیمی تعداد ۹ عدد دیوار با قاب فولادی سرد نورد شده در مقیاس کامل با چهار سیستم باند بندی نواری مختلف تحت بارگذاری چرخه ای به همراه چارچوب های قاب فولادی سرد نورد شده با صفحات گچی را بررسی کردند. آنها سعی کردند با تسلیم کردن نوارها به شکست دیوارها دست یابند چون این یک حالت شکست نرم مطلوب برای دیوارهای نواری CFS است. آنها گزارش دادند که پوشش صفحه گچی تنها قابل اطمینان نیست خصوصاً وقتی فشار بارهای عمودی وجود داشته باشد. به علاوه آنها از براکت در چهار گوشه دیوارها جاییکه وترها به لبه ها متصل شده اند استفاده کردند و نشان دادند که این کار خصوصیات عملکرد جانبی دیوارها مانند: مقاومت و سختی را نسبت به موقعی که از ستونهای تکی یا دوتائی به عنوان وتر استفاده شده را بهبود می بخشد [۷]. یو و همکارانش بر روی وضعیت دیوارهای برشی مشابه CFS با تمرکز بر روی مهار بندی با صفحات فلزی مطالعه کرده اند. در این آزمایشات از بارگذاری های یکنواخت و چرخه ای در دیوارهای به اندازه های $(۱/۲ \times ۲/۴)$ با پوشش ورق فلزی استفاده شده است. یو به این نتیجه رسید که پوشش با ورقهای فلزی نمی تواند به طور قابل توجهی باعث افزایش مقاومت برشی، دیوارهای برشی CFS گردد [۸]. راجرز و ال خرات بصورت تجربی رفتار غیر ارتجاعی تعداد ۱۶ دیوار برشی با قاب فولادی سرد نورد شده، با مهار بندی کلافی X با ابعاد ۲ متر در ۲ متر را مطالعه کردند. برای این منظور آنها سه نوع مختلف مهاربندی کلافی X که به بخشهای وتر ستون دوتایی تحت یک رژیم بارگذاری چرخه ای جوش داده شده بود آزمایش کردند. فاکتور اصلی که مشاهده شد و از یک نوع به نوع دیگر تفاوت می کرد سطح مقطع عرضی بود. از این رو آنها نمونه ها را به دیوارهای مهاربندی کلافی سبک، متوسط و سنگین تقسیم کردند. با افزایش انحراف جانبی، مقاومت برشی به خاطر شکست موضعی در محل نگهدارنده کاهش یافت. اگر چه حالت شکست اصلی در گروه سنگین، شکست نگهدارنده بود، انواع دیگر

جانبی مورد مطالعه قرار دادند. آنها هشت نمونه را مورد آزمایش قرار دادند و هر قالب شامل سه استاد میانی و استاد های دابل در طرفین بوده است. از میان هشت نمونه، سه نمونه به صورت مهاربند تسمه ای یک طرفه و چهار نمونه به صورت مهاربند تسمه ای یک طرفه همراه با صفحات گچی (گچ برگ) در دو طرف و یک نمونه به صورت مهاربند تسمه ای در دو طرف همراه با صفحات گچی در دو طرف مورد آزمایش قرار گرفتند. برای اتصال مهاربند به دیوار از گاست پلیت هایی استفاده کردند. نتایج بدین گونه بود که دیوارهای با مهاربند یک طرفه در تغییر مکان جانبی ۲٪ دچار خرابی شده در حالی که این عدد برای دیوارهای با مهاربند یک طرفه و گچ برگ در دو طرف معادل ۱۷٪ بوده است چرا که نوع شکست از نقص و خرابی گچ برگ متأثر می گردید. آنها به این نتیجه رسیدند که نقش و سهم استاد در مقاومت برشی در مقایسه با صفحات گچبرگی قابل چشم پوشی است و اثر مهاربندها در سختی جانبی دیوارهای با مهاربند تسمه ای و صفحات گچبرگ اندک می باشد. با این وجود تسمه ها باعث کاهش شکل پذیری و افزایش حدود ۲۰٪ در مقاومت برشی سیستم می شوند. در این پژوهش نشان داده شد که تأثیر صفحات گچی (گچ برگ) بر عملکرد جانبی سیستم بسیار زیاد می باشد. در مورد نمونه ها همراه با مهاربند تسمه ای در دو طرف به همراه صفحات گچی همین واکنش و پاسخ مشاهده گردید (مقاومت برشی بالاتر تغییر شکل جانبی نهایی کمتر) [۱۳]. آدام و همکارانش عملکرد پنج دیوار برشی قاب فولادی سرد نورد شده در ابعاد $2/4 \times 2/4$ متر با مهاربند ضربدری تسمه ای و صفحات گچی با پشت به پشت در استاد در کناره های انتهایی را تحت بارگذاری چرخه ای مورد بررسی قرار دادند. آزمایشها نشان داد با افزایش سطح مقطع مهاربند ضربدری ظرفیت باربری پائل افزایش و تغییر مکان آن کاهش می یابد. کماتش در قسمت گوشه ی بالایی استاد منجر به کاهش شدید ظرفیت باربری می گردد. با این حال جلوگیری از کماتش و شکست اتصال در مرحله طراحی در اتلاف انرژی به خصوص در سیکل اول هر دامنه جابجایی می تواند مؤثر باشد. نتایج نشان داد که دیوارها در جهت کششی (در تقابل با جهت مخالف و یا جهت فشار) در اولین چرخه بارگذاری مقاومت بیشتری از خود نشان می دهند. حداکثر انحراف جانبی در این مطالعه کمتر از ۲/۱٪ است (به جز برای یک آزمایش که جابجایی ۴/۱٪ بوده است) که بسیار کمتر از انحراف جانبی مجاز در آیین نامه های طراحی می باشد [۱۴]. پرستش و همکاران عملکرد قاب فولادی سرد نورد شده پر شده با بتن سبک پلی استایری تحت بار جانبی مورد بررسی قرار داده اند. در این تحقیق تعدادی قاب فولادی سرد نورد شده با اتصالات نیمه صلب بدون بادبند، همراه با بادبند و بدون بادبند پر شده با بتن سبک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با انجام تست آزمایشگاهی دریافتند قاب پر شده با بتن سبک بدون بادبند نسبت به سیستم مهاربندی شده با تسمه فولادی، حدوداً مقدار عددی R را ۳۵ درصد افزایش می دهد [۱۵]. سیدی بیرجندی و خسروی در این پژوهش، سعی بر جبران کاستی ها و حلاء های تحقیقاتی موجود در مورد رفتار لرزه ای قاب

مهاربندی شده با فولاد سرد نورد شده با استفاده از تحلیل های دینامیکی غیر خطی را نمودند. ابتدا مدل نرم افزاری ABAQUS یک قاب مهاربندی سرد نورد شده به همراه دیوار برشی سرد نورد شده را مورد بررسی قرار داده و سپس نتایج تحلیل استاتیکی آن را با نتایج موجود و مربوط به نمونه های آزمایشگاهی مقایسه و صحت مدل سازی بررسی گردید، سپس مدل سازی نهایی انجام شده و در نهایت رفتار لرزه ای با کمک روش های تحلیل دینامیکی غیر خطی مورد ارزیابی قرار می گیرد. آنها به این نتیجه رسیدند که سیستم مهاربندی V شکل همراه دیوار برشی نتیجه مطلوبی را ارائه می دهد [۱۶]. امیرحسین پور و جواهری تفتی تعداد ۱۲ عدد قاب فولادی سرد نورد شده پر شده با بتن سبک لیکا در مقیاس کامل، تحت بارگذاری چرخه ای قرار داده و با رسم منحنی هیستریزس هر نمونه، مقاومت نهایی، ضریب رفتار و مدهای خرابی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. بر اساس این مطالعه ی آزمایشگاهی قاب فولادی سرد نورد شده با استاد دابل منجر به بیشترین مقاومت نهایی و ضریب رفتار گردید [۱۷]. نیاری و همکاران در مقاله خود رفتار دیوارهای برشی با قاب فولادی سرد نورد شده با پوشش فولادی تحت بارگذاری جانبی چرخه ای به صورت آزمایشگاهی را مورد مطالعه و بررسی قرار داده و تأثیر ضخامت پوشش فولادی و یکطرفه یا دو طرفه بودن پوشش فولادی در رفتار جانبی دیوارهای برشی CFS مورد بررسی قرار گرفته و مدهای خرابی حاصل از نتایج آزمایشات و مقاومت برشی نمونه های آزمایشی به تفصیل شرح داده شده است. با توجه به نتایج آزمایشات انجام شده، موده های گسیختگی پانلهای دیوار برشی با پوشش فولادی شامل کماتشهای برشی پوشش فولادی، بیرون کشیدگی پیچهای اتصال پوشش به قاب پیرامونی و جدا شدگی ورق پوشش فولادی از قاب پیرامونی است [۱۸]. احمدی فرد و جواهری تفتی تعداد ۲ عدد قاب فولادی سرد نورد در مقیاس کامل و تحت بارگذاری رفت و برگشتی را جهت بررسی پارامترهایی همچون رفتار هیستریزس، مقاومت نهایی، ضریب رفتار و مدهای خرابی، مورد بررسی قرار داده و بر اساس مطالعه ی آن ها بیشترین مقدار ضریب رفتار برای قاب دارای استاد کناری و میانی تک با پوشش ورق به صورت دو طرفه برابر با ۷/۵ بدست آمد. همچنین مشخص گردید که بالاترین مقاومت نهایی نیز در قاب مذکور و برابر با ۲۲/۳ کیلو نیوتن می باشد [۱۹]. موحد الاصل و جواهری تفتی مطالعات آزمایشگاهی در خصوص تأثیر ضخامت ورق پوشش بر مقاومت نهایی و ضریب رفتار دیوار فولادی نازک با مهاربند یکطرفه را انجام دادند. این آزمایش بر روی ۲ دیوار با پوشش ورق به صورت یک طرفه صورت پذیرفت. بر اساس مطالعه ی آن ها بالاترین ضریب رفتار برای قاب دارای استاد های کناری و میانی تک همراه با پوشش یک طرفه برابر با ۷/۸ بدست آمد. همچنین برآورد شد که بیشترین مقاومت نهایی نیز از آن قاب ذکر شده در بالا و برابر با ۱۵/۴ کیلو نیوتن می باشد [۲۰].

با توجه به بررسی پیشینه تحقیقات صورت گرفته در خصوص دیوارهای برشی ساخته شده با قاب فولادی سرد نورد شده و برای

گالوانیزه بر اساس استاندارد ASTM A1003 می باشد [۲۱]. فولاد استفاده شده در ساخت مقاطع از نوع st340H است. شکل مقاطع مصرفی از نوع C و U به مانند شکل (۱) می باشد که جزئیات آن ها در جداول (۱) و (۲) موجود است.



شکل (۱) مقاطع مصرفی در قابهای فولادی

بومی سازی این شیوه ساخت و ساز نوین در این تحقیق رفتار لرزه ای دیوار برشی آجری در قاب فولادی سرد نورد شده برای اولین بار در آزمایشگاه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و پارامترهایی همچون ضریب رفتار و مقاومت نهایی دیوارها با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بدست آمده است که می تواند مورد استفاده طراحان این نوع سازه قرار گیرد.

۳- مصالح و آزمایش

۳-۱ مواد و مصالح مصرفی

در این تحقیق برای ساخت دیوارهای برشی از مقاطع فولادی سرد نورد شده، یونولیت، تور فلزی (تور مرغی)، سیمان، ماسه، آجر، گچ برگ، سرامیک و پیچ خودکار استفاده شده است که در ادامه به ویژگی برخی از این مصالح اشاره می شود:

مقاطع فولادی: مقاطع فولادی از نورد سرد صفحات فولادی

جدول (۱) مشخصات فولادهای مصرفی

مشخصه فولاد	مقاومت تسلیم (MPa)	مقاومت نهائی کششی (MPa)	افزایش طول در ۵۰ میلیمتر
ST340H	۳۴۰	-	۳%

جدول (۲) جزئیات مقاطع مصرفی در قابهای فولادی

نوع مقطع	عمق جان (mm)	عرض بال (mm)	طول لبه (mm)	ضخامت (mm)
استاد (C)	۹۰	۳۵	۱۰	۰/۹
ترک (U)	۹۰	۳۵	---	۰/۹

یونولیت: از این صفحات برای پر کردن فضای بین ملات ماسه سیمان و گچ برگ در داخل قاب و تنظیم ضخامت ملات ماسه سیمان استفاده شده است همچنین این صفحات عایق صوت و حرارت نیز می باشند شکل (۲). یونولیت مصرفی دارای دانسیته ۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و از ضخامت های ۴۰ و ۶۵ میلیمتر در این تحقیق استفاده شده است.



شکل (۳) تور سیمی

ملات ماسه سیمان: برای نصب آجرها بر روی دیوار برشی از ملات ماسه سیمان با نسبت ۵ به ۱ استفاده شده است. سیمان مصرفی از نوع معمولی و مطابق استاندارد ASTM C150 [۲۲] است. همچنین از ماسه (۰-۵) برای ساخت ملات استفاده شده که با تهیه نمونه های مکعبی از ملات مورد استفاده و انجام تست آزمایشگاهی مشخصات ملات مصرفی به شرح جدول (۳) بدست آمده است.



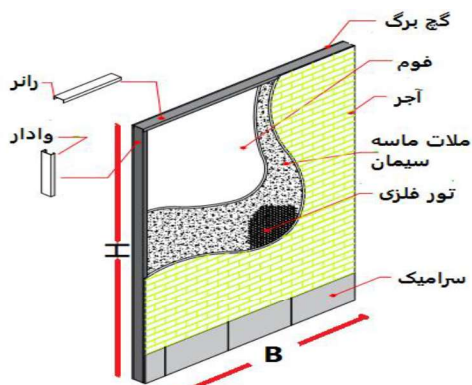
شکل (۲) صفحات یونولیت

تور سیمی (تور مرغی): شبکه فلزی از سیم فولادی گالوانیزه می باشد که در این تحقیق از تور سیمی با قطر سوراخ ۱۹ میلیمتر، ضخامت مفتول فلزی ۰/۴ میلیمتر و عرض ۱۲۰۰ میلیمتر برای تقویت مقاومت کششی ملات ماسه سیمان استفاده شده است شکل (۳).

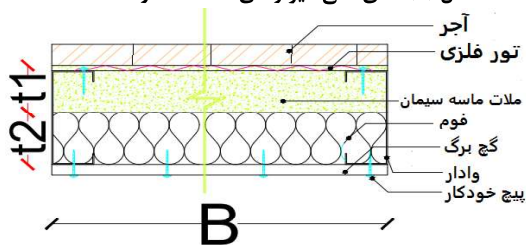
جدول (۳) مشخصات ملات ماسه سیمان

نسبت ماسه به سیمان ۱ به ۵				
وزن حجمی (kg/cm ³)	مقاومت متوسط کششی (kg/cm ²)	مقاومت متوسط فشاری (kg/cm ²)	ابعاد (cm)	تعداد نمونه
۲۲۲۱	۶۲/۳	۵۲۷/۷	۵*۵*۵	۱۰

های A1، A2، ۲۵ میلیمتر و در نمونه های B1، B2، ۵۰ میلیمتر می باشد.



شکل (۶) نمای کلی دیوارهای A1، A2، B1 و B2



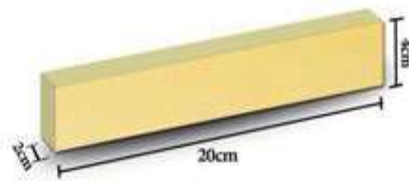
شکل (۷) مقطع دیوارهای A1، A2 و B1، B2

مشخصات دیوارها در جدول (۴) درج گردیده است. در این جدول t_1 ضخامت ملات پشت آجر و t_2 ضخامت فوم مصرفی در دیوار است. در شکل (۸) نمونه ای از دیوارهای ساخته شده به صورت کامل نشان داده شده است.



شکل (۸) نمای کلی دیوار در حال ساخت

آجر: از آجر برای پوشش نمای بیرونی دیوارهای برشی استفاده شده است. این آجرها از نوع پلاک با ابعاد $۲۰ \times ۴۰ \times ۲۰$ میلیمتر به مانند شکل (۴) می باشند. با انجام تست آزمایشگاهی بر روی ۲۰ عدد از آجر مقاومت فشاری متوسط ۹۵ کیلوگرم بر سانتی مترمربع بدست آمده است.



شکل (۴) آجر نما

گچ برگ: صفحاتی از جنس گچ می باشند که با صفحات کاغذی در یک طرف یا طرفین و لبه های طولی پوشانده شده اند ضخامت گچ برگ مورد استفاده ۱۰ میلیمتر می باشد.

پیچ: از نوع خودکار و اشتر دار شکل (۵) می باشد که برای اتصال قطعات فولادی به یکدیگر و نصب تور سیمی بر روی قاب مورد استفاده قرار گرفته اند. برای متصل نمودن صفحات گچی به قاب فولادی نیز از پیچ مخصوص نصب گچ برگ استفاده شده که مطابق با استاندارد ASTM C1513 می باشند [۲۳].



شکل (۵) شکل پیچ مصرفی

سرامیک: برای افزایش دوام بیشتر آجر نما در پائین دیوارها و هم چنین خلق ظاهری زیباتر در دیوارهای برشی سرامیک به ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلی متر در طول دیوار نصب گردید.

۲-۳ مشخصات نمونه ها:

در این بررسی تعداد ۴ دیوار برشی در ۲ پیکربندی A و B به شرح زیر ساخته شد:

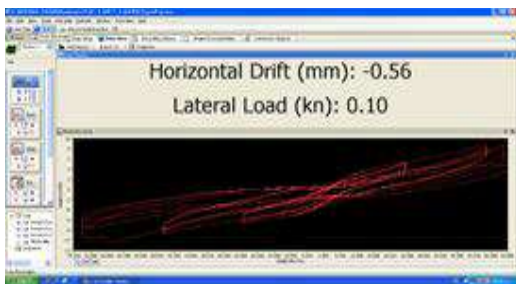
دیوارهای برشی A1، A2 و B1، B2: قاب های فولادی به ابعاد ۲۴۰۰×۱۲۰۰ میلیمتر از فولاد سرد نورد شده ساخته شد این دیوارها مطابق جزئیات نشان داده شده در تصاویر (۶) و (۷) و با استفاده از ملات ماسه سیمان، گچ برگ، تور سیمی، آجر نما، سرامیک، ورقه های یونولیت و پیچ خودکار دیوارهای برشی ساخته شده اند. تفاوت دیوارهای A1، A2 با دیوارهای B1، B2 در ضخامت ملات پشت آجر و ضخامت یونولیت می باشد. مجموع ضخامت ملات و یونولیت ۹۰ میلیمتر ثابت است. ضخامت ملات پشت آجرها در نمونه

جدول (۴) مشخصات دیوارها

دیوار برشی	H(mm)	B(mm)	t1(mm)	t2(mm)
A1,A2	۲۴۰۰	۱۲۰۰	۲۵	۶۵
B1,B2	۲۴۰۰	۱۲۰۰	۵۰	۴۰

۳-۳ تجهیزات و ابزار آزمایش

دستگاه تست لرزه ای دیوار برشی فولادی سرد نورد شده در مرکز تحقیقات سازه و زلزله دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت در شکل (۹) نشان داده شده است. دیوارها پس از ساخت و عمل آوری به نحو مناسبی در چهار گوشه به تیرهای بالا و پائین متصل شده اند. به نحوی که امکان جابجایی در آنها وجود ندارد شکل (۱۰). با ایجاد حرکت افقی در تیر پائین توسط یک عدد جک هیدرولیکی بار جانبی به دیوارها وارد می گردد. یک مبدل سنجش جابجایی های افقی و یک لودسیل برای اندازه گیری نیرو در دستگاه موجود می باشد. نیروهای ایجاد شده به وسیله حرکت افقی تیر پائین و جابجایی های صورت گرفته در حین آزمایش به نرم افزار مربوطه منتقل می گردد. توسط نرم افزار منحنی بار - تغییر مکان برای هر نمونه در نمایشگر نشان داده می شود شکل (۱۱). خروجی نرم افزار به صورت فایل نت پد بوده و برای آنالیز های بعدی نظیر رسم منحنی هیستریزس و منحنی پوش آور می توان از آن ها استفاده کرد.



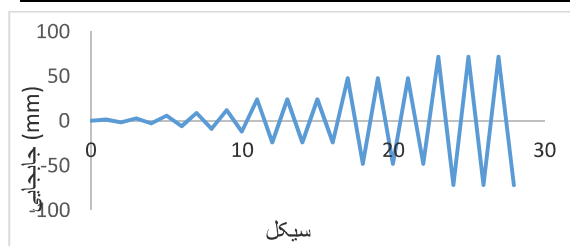
شکل (۱۱) تصویر صفحه نمایشگر دستگاه تست

۳-۴ رژیم بارگذاری

رژیم بارگذاری چرخه ای در این تحقیق، بر اساس روش B در استاندارد ASTM 2126 [۲۴] می باشد. در جدول (۵) و شکل (۱۲) مقادیر جابجایی و تعداد سیکل های بارگذاری موجود است. لازم به ذکر است با توجه به محدودیت های آزمایشگاهی حداکثر جابجایی ها در تست ها ۷۲ میلیمتر بوده که بیشتر از جابجایی مجاز ۶۰ میلیمتر است.

جدول (۵) تغییر مکان متناظر با سیکل بارگذاری

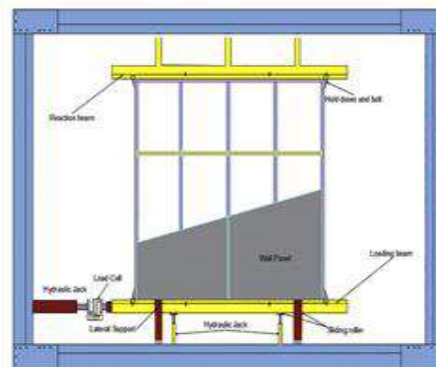
گام	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
درصد جابه جایی مطابق ASTM	۱/۲۵	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰	۲۰	۴۰	۶۰
درصد جابه جایی در این تحقیق	۲/۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۴۰	۸۰	۱۲۰
جابه جایی در هر سیکل (mm)	۱/۵	۳	۶	۹	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲
تعداد سیکل	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳



شکل (۱۲) پروتکل بارگذاری چرخه ای

۴- نتایج آزمون

پس از نصب دیوارها و رعایت شرایط کاملا یکسان در نحوه اتصال، اعمال نیرو و ثبت اطلاعات، نسبت به ثبت و درج مودهای خرابی در سیکل های مختلف رفت و برگشت اقدام گردید. برای شناسایی بهتر ترک های احتمالی در بخش آجر و ملات، از اندود پاششی آهک غلیظ شده استفاده گردید. وضعیت آسیب و خرابی های اتفاق افتاده برای هر دیوار به شرح زیر توضیح داده می شود:



شکل (۹) دستگاه تست لرزه ای



شکل (۱۰) نصب دیوار B2 بر روی دستگاه بارگذاری

۴-۱ مودهای شکست

دیوار برشی A1: در هنگام بارگذاری این دیوار تا تغییر مکان ۲۴ میلیمتر فقط صداهای خفیفی به گوش می رسید سایر وضعیت خرابی ها در سیکل های مختلف بارگذاری در جدول (۶) موجود می باشد. شکل های (۱۳) و (۱۴) و (۱۵) خرابی های بوجود آمده را نشان می دهند. هیچگونه خرابی در سمت آجر مشاهده نگردیده است.

جدول (۶) وضعیت خرابی دیوار A1

وضعیت ایجاد شده	جابجایی (mm)
ایجاد صداهای ضعیف و گاه قوی تر در هنگام بارگذاری	تا سه سیکل ±۲۴
باز شدگی کلاف از قاب	+۴۸
توسعه باز شدگی کلاف از قاب	+۴۸
بازشدگی بین ملات و قاب	-۴۸
جدا شدگی گچ برگ در سمت راست و پیچیدگی استاد سمت چپ	+۷۲
کمانش کلی کلاف و کاهش مقاومت شدید	-۷۲



شکل (۱۵) خرابی در دیوار A1 پیچیدگی استاد کناری

دیوار برشی A2: در این دیوار و در سیکل سوم تغییر مکان +۲۴ میلیمتر صدای بلند به همراه تغییر مکان ناگهانی را شاهد بودیم که در پی آن کاهش مقاومت جزئی نیز رخ داد. سایر وضعیت خرابی ها در سیکل های مختلف بارگذاری در جدول (۷) موجود است. شکل های (۱۶) و (۱۷) نشان دهنده خرابی ایجاد شده در دیوار A2 می باشند. هیچگونه خرابی در سمت آجر مشاهده نشد.

جدول (۷) وضعیت خرابی دیوار A2

وضعیت ایجاد شده	جابجایی (mm)
ایجاد صداهای ضعیف و گاه قوی تر در هنگام بارگذاری	تا دو سیکل ±۲۴
صدای ناگهانی با کاهش جزئی مقاومت تقریباً ۱۰۰ کیلو گرم	-۲۴
ترک قطری در گوشه بالای کلاف افت مقاومت تقریباً ۲۰۰ کیلو گرم	+ ۴۸
بازشدگی جزئی کلاف و افت شدید مقاومت	+۷۲
کاهش شدید مقاومت	+۷۲



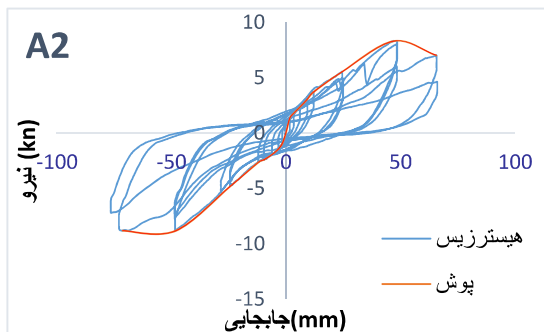
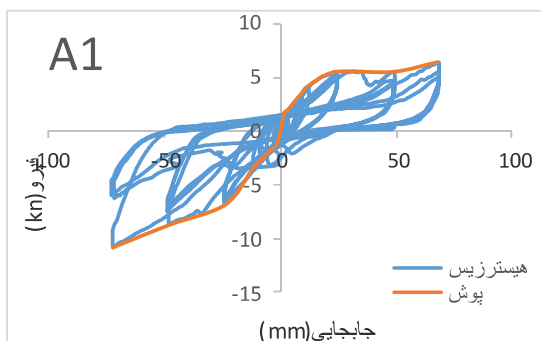
شکل (۱۳) خرابی در دیوار A1



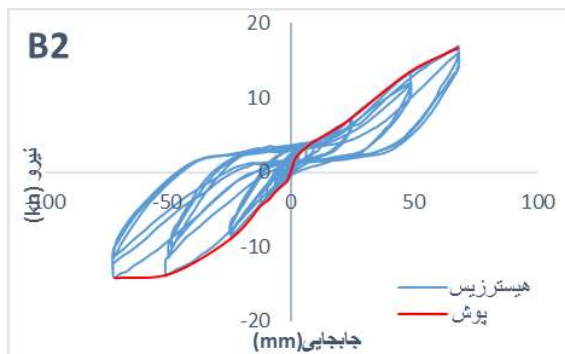
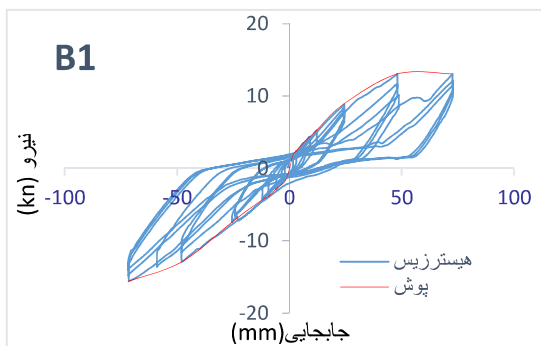
شکل (۱۶) مود خرابی در دیوار A2



شکل (۱۴) خرابی در دیوار A1



شکل (۱۸) نمودار هیستریزیس و پوش مماس بر منحنی برای نمونه‌های A1, A2



شکل (۱۹) نمودار هیستریزیس و پوش مماس بر منحنی برای نمونه‌های B1, B2



شکل (۱۷) مود خرابی در دیوار A2

دیوارهای برشی B1 : این دیوار که با ضخامت ۵۰ میلیمتر ملات در پشت آجرها اجرا شده بود تا سیکل ۴۸+ میلیمتر هیچ اتفاقی رخ نداد. در سیکل ۷۲+ میلیمتر تنها صداهای خفیف در هنگام تغییر مکان شنیده شد لیکن هیچگونه ترک یا خرابی مشاهده نگردید.

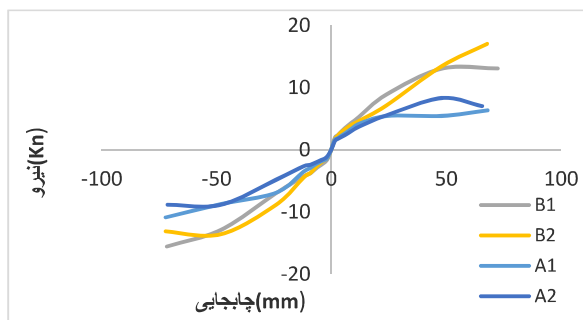
دیوارهای برشی B2 : در این دیوار که کاملا مشابه دیوار برشی B1 می باشد در سیکل ۴۸+ میلیمتر اتفاق خاصی رخ نداد و فقط در سیکل ۷۲+ میلیمتر صداهای خفیفی شنیده شد و در نهایت هیچ ترک و خرابی رخ نداد. دلیل این امر سختی بالای دیوارهای نوع B نسبت به دیوارهای نوع A می باشد. لیکن از گرافهای هیستریزیس این دیوارها مشخص است که دیوارها وارد ناحیه پلاستیک شده و ترک خوردگی در ملات های پشت آجر بوجود آمده است که این ترک ها روی آجرهای نما مشاهده نگردیده است.

۴-۲ منحنی نیرو - تغییر شکل

پس از ثبت نتایج آزمایش ، شامل نیرو و تغییر مکان در لحظه های مختلف بارگذاری ، خروجی تغییر مکان - نیرو در قالب فایل نت پد، در طی ۴ آزمایش برای هر دیوار برشی استخراج گردید. با استفاده از نرم افزار اکسل، منحنی هیستریزیس و پوش مماس بر منحنی هیستریزیس برای هر کدام از نمونه‌ها مطابق شکل های (۱۸) تا (۱۹) رسم گردید است. برای درک بهتر رفتار دیوارها نمودار مقایسه‌ای پوش مماس بر منحنی‌های هیستریزیس در شکل (۲۰) نشان داده شده است.

۴-۳ مقاومت نهایی نمونه ها:

با انجام آزمایش مقادیر نیرو - جابجایی اندازه گیری می شود و با استفاده از این اطلاعات ، حداکثر مقاومت برشی دیوارها ناشی از جابجایی های انجام شده مشخص می گردد. با توجه به ماهیت چرخه ای بودن بارگذاری ، مقاومت برشی در سیکل های با جابجایی های مثبت و منفی به طور جداگانه برداشت می گردد. مقاومت نهایی دیوارهای برشی و جابجایی متناظر با آن ها در سیکل های با جابجایی های \pm از نتایج آزمایش استخراج گردید و نتایج آن در جدول (۸) و شکل (۲۱) گنجانده شده است.



شکل (۲۰) پوش ماس بر منحنی برای نمونه ها

جدول (۸) مقادیر مقاومت برشی ماکزیمم در جابجایی های متناظر

دیوار	ماکزیمم مقاومت برشی در جابجایی + (KN)	جابجایی متناظر با ماکزیمم مقاومت برشی (mm)	ماکزیمم مقاومت برشی در جابجایی - (KN)	جابجایی متناظر با ماکزیمم مقاومت برشی (mm)	میانگین مقاومت برشی (KN)	مقاومت نهایی برشی (KN)
A1	۶/۳	۶۸/۱	۱۰/۹	۷۲/۷	۸/۶	۸/۵۵
A2	۸/۳	۴۷/۱	۸/۸	۷۱/۲	۸/۵	
B1	۱۳/۱	۷۲/۵	۱۵/۶	۷۱/۵	۱۴/۳	۱۴/۸
B2	۱۷	۶۷/۸	۱۳/۶	۴۶/۷	۱۵/۳	

R_R ضریب نامعینی و R_F ضریب میرایی می باشد.

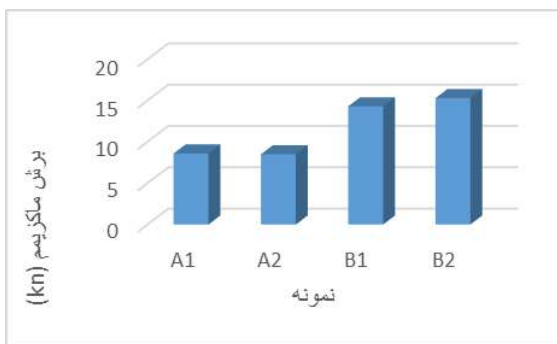
تعیین مقادیر R_S و R_μ یکی از اهداف مهم این تحقیق به شمار می آید. با توجه به تحقیقات صورت گرفته بر ترو ۱۹۸۶ و وینگر ۱۹۹۰ [۲۶] می توان مقدار $R_R = 1$ و مقدار R_F را براساس اطلاعات ارائه شده توسط UBC1994 [۲۷] برای درصدهای میرایی ۵ درصد برابر عدد یک در نظر گرفت . مقدار R_S را می توان از روش های آزمایشگاهی و تحلیلی همچون روش تحلیل استاتیکی غیرخطی از رابطه (۵-۲) بدست آورد.

$$R_S = \frac{V_y}{V_d} \quad (۵-۲)$$

در رابطه (۵-۲) V_d نیروی برش پایه طرح بر اساس آیین نامه و V_y نیروی برش تسلیم سازه می باشد. در این تحقیق V_d برابر نیروی برش در تشکیل اولین مفصل پلاستیک (V_g) در نظر گرفته شده و V_y نیز از دو خطی کردن منحنی پوش آور با روش های یانگ و پرسیتلی پاولی بدست می آید. مقدار R_μ نیز از رابطه (۵-۳) محاسبه می شود:

$$R_\mu = \frac{V_g}{V_y} \quad (۵-۳)$$

در این رابطه مقدار V_g نیروی برش مربوط به حالت تغییر شکل الاستیک سازه می باشد که پس از دو خطی کردن منحنی پوش آور با روش های فوق الذکر و با مساوی قرار دادن سطح زیر نمودار دو خطی با سطح زیر نمودار تغییر شکل الاستیک سازه، بدست می آید. رفتار کلی سازه تحت بار در شکل (۲۲) نشان داده شده است که با انجام آزمایش بر روی نمونه ها و رسم منحنی پوش آور و دو خطی نمودن آن ها می توان به پارامترهای مورد نظر برای محاسبه مقادیر R_S و R_μ دست یافت.



شکل (۲۱) نمودار میله ای مقاومت برشی حداکثر دیوارها

۵- محاسبات

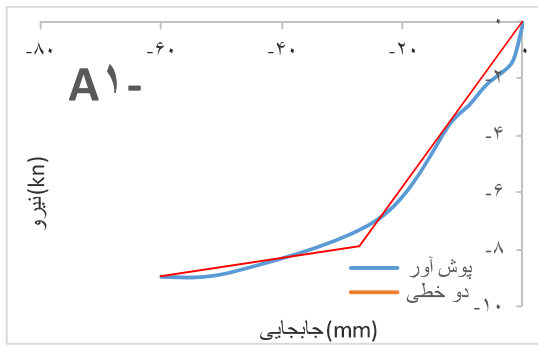
۵-۱ میانی محاسبه ضریب رفتار

طراحان سازه ها برای ایجاد طرحی ایمن و اقتصادی تا جای ممکن نیروی زلزله را کاهش می دهند به نحوی که سازه در زلزله های کوچک و متوسط آسیب سازه ای نبیند و در زلزله های بزرگ سازه بتواند پایداری خود را حفظ نماید. در بسیاری از آئین نامه ها برای کاهش نیروی زلزله از پارامتری به نام ضریب رفتار استفاده می شود. با بررسی های آزمایشگاهی و انجام محاسبات روابط متفاوتی را برای محاسبه ی ضریب رفتار پیشنهاد شده است. در این تحقیق برای محاسبه ی ضریب رفتار از نتایج تحقیقات بعمل آمده در دانشگاه برکلی [۲۵] استفاده گردیده است رابطه (۵-۱).

$$R = R_S R_\mu R_R R_F \quad (۵-۱)$$

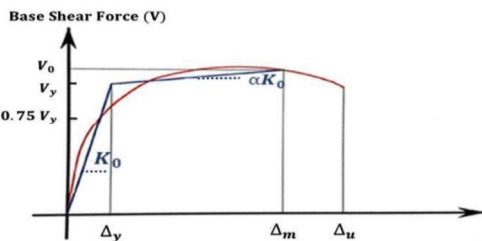
در این رابطه:

R_S ضریب اضافه مقاومت ، R_μ ضریب ناشی از شکل پذیری،



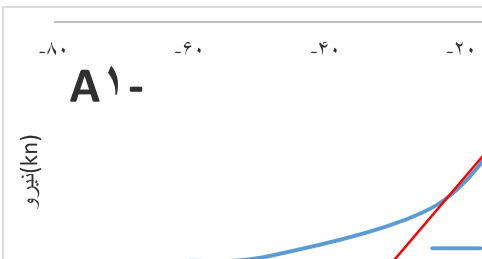
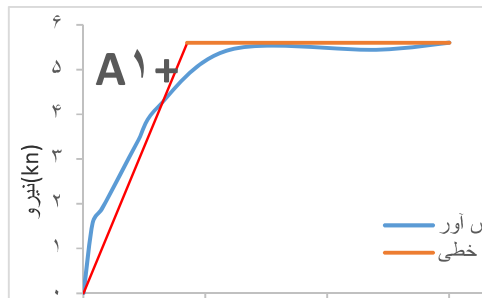
شکل (۲۴) روش دوخطی کردن نمونه A1 به روش یانگ

ب - روش پریستلی پاولی : این روش توسط پریستلی و پائولی [۲۹] بیان گردید روش پریستلی پاولی توسط شورای فناوری کاربرد (ATC) [۳۰] به کار گرفته می‌شود. در این روش یک مقدار برای V_y (مقاومت تسلیم سازه) فرض شده، سپس از مبدأ به نقطه $0.75V_y$ روی منحنی تغییرمکان - نیروی برش پایه وصل نموده و تا خط V_y ادامه داده می‌شود. از محل تقاطع این دو خط منحنی مذکور افقی فرض می‌شود. در شکل (۲۵) نحوه دو خطی کردن به روش پریستلی پاولی نشان داده شده است.

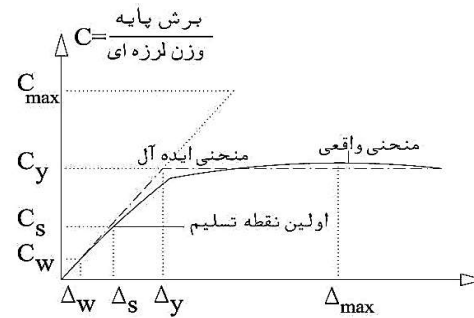


شکل (۲۵) روش دوخطی کردن به روش پریستلی پاولی

نمودار دو خطی نمونه A1 به روش پاولی در شکل (۲۶) به نمایش گذاشته شده است.



شکل (۲۶) روش دوخطی کردن به روش پریستلی پاولی



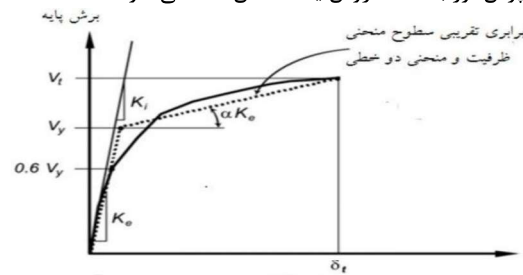
شکل (۲۲) رفتار کلی یک سازه

۵-۲ روش‌های دو خطی کردن منحنی پوش آور برای

محاسبه پارامترهای ضریب رفتار:

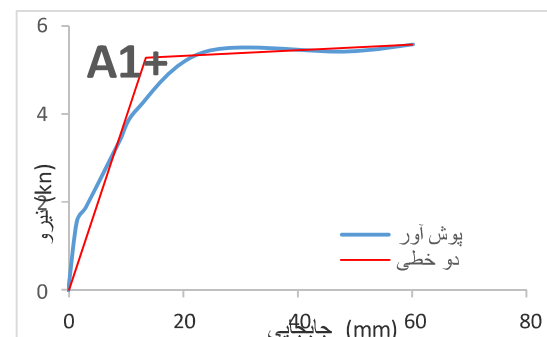
در این بررسی انجام گرفته برای دو خطی کردن منحنی پوش آور از دو روش زیر استفاده می‌شود.

الف - روش یانگ: این روش توسط یانگ بیان شد که در حال حاضر توسط نشریه FEMA [۲۸] مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش یک مقدار برای V_y (مقاومت تسلیم سازه) فرض شده، سپس از مبدأ به نقطه $0.6V_y$ روی منحنی تغییرمکان - نیروی برش پایه وصل نموده و تا V_y ادامه داده می‌شود. سپس محل محل مذکور خطی امتداد داده تا منحنی را در نقطه Δ_T قطع نماید. تغییر مکان هدف که در این تحقیق ۶۰ میلی متر در نظر گرفته شده است. V_T برش متناظر باتغییر مکان هدف می باشد. این عمل آنقدر تکرار می شود تا مساحت زیر منحنی ظرفیت برابر مساحت زیر نمودار دو خطی گردد. در شکل (۲۳) نحوه دوخطی کردن نمودار پوش آور به کمک روش یانگ نشان داده می‌شود.



شکل (۲۳) روش دوخطی کردن به روش یانگ

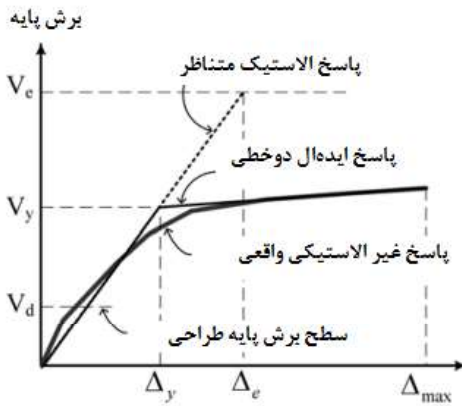
نمودار دو خطی نمونه A1 به روش یانگ در شکل (۲۴) به نمایش گذاشته شده است.



۳-۵ نحوه تعیین پارامترهای لازم برای محاسبه R:

با دو خطی نمودن منحنی پوش آور و مساوی قرار دادن سطح زیر نمودار دو خطی با سطح زیر نمودار منحنی الاستیک شکل (۲۷) می توان پارامترهای لازم برای محاسبه R را بدست آورد. لازم بذکر است در این تحقیق برای انجام محاسبات ماکزیمم جابجایی را برابر با ۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است که برابر با تغییر شکل مجاز در این نوع سیستم سازه ای می باشد.

با توجه به محاسبات انجام شده با دو روش یانگ و پاولی بر روی نتایج آزمایشگاهی فاکتورهای لازم برای محاسبه R بدست آمده و مقادیر R نیز محاسبه شده است. در جداول (۹) و (۱۰) نتایج این محاسبات آمده و همچنین نمودار میله ای مقایسه ای نیز در شکل (۲۸) رسم شده است.



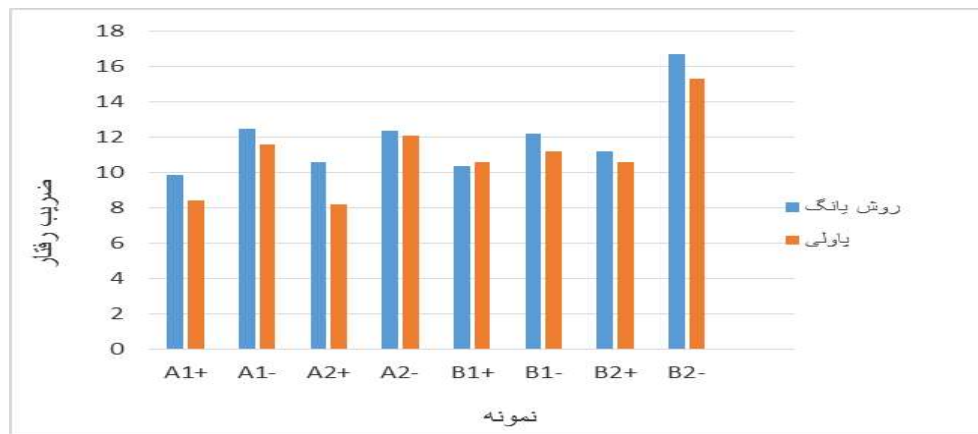
شکل (۲۷) منحنی دو خطی و منحنی الاستیک معادل

جدول (۹) مقادیر R و پارامترهای آن با استفاده از منحنی پوش آور و دو خطی نمودن به روش یانگ

Ru	R_{avg}	R	R_f	R_μ	Ve(KN)	Δ_t (mm)	V_f (KN)	$(mm)\Delta_y$	Vy(KN)	Vs(KN)	دیوار	پیکربندی
۱۱/۳	۱۱/۲	۹/۹	۳/۵	۲/۸	۱۵	۶۰	۵/۶	۱۳/۵	۵/۳	۱/۵	A1+	A
		۱۲/۵	۶/۶	۱/۹	۱۵/۳	۶۰	۸/۹	۲۷	۷/۹	۱/۲	A1-	
	۱۱/۵	۱۰/۶	۵/۶	۱/۹	۱۳/۶	۶۰	۷/۶	۲۶	۷/۳	۱/۳	A2+	
		۱۲/۴	۹/۶	۱/۳	۱۱/۵	۶۰	۹/۱	۴۵	۹	۰/۹۴	A2-	
۱۲/۷	۱۱/۴	۱۰/۴	۸	۱/۳	۱۹/۲	۶۰	۱۱/۲	۴۲	۱۵/۲	۱/۹	B1+	B
		۱۲/۲	۸/۱	۱/۵	۱۶/۷	۶۰	۱۳/۱	۳۹	۱۱/۴	۱/۴	B1-	
	۱۴	۱۱/۲	۱۰/۲	۱/۱	۱۷/۳	۶۰	۱۴/۱	۵۵	۱۶/۳	۱/۶	B2+	
		۱۶/۷	۹/۸	۱/۷	۲۰/۳	۶۰	۱۴/۲	۳۱	۱۱/۸	۱/۲	B2-	

جدول (۱۰) نتایج محاسبات مقادیر R و پارامترهای آن با استفاده از منحنی پوش آور و دو خطی نمودن به روش پاولی

Ru	R_{avg}	R	R_f	R_μ	Ve(KN)	Δ_t (mm)	V_f (KN)	$(mm)\Delta_y$	Vy(KN)	Vs(KN)	دیوار	پیکربندی
۱۰/۱	۱۰	۸/۴	۳/۵	۲/۴	۱۳/۶	۶۰	۵/۶	۱۶/۷	۵/۶	۱/۶	A1+	A
		۱۱/۶	۶/۸	۱/۷	۱۵/۳	۶۰	۸/۹	۳۰	۸/۹	۱/۲	A1-	
	۱۰/۲	۸/۲	۵/۸	۱/۴	۱۲/۱	۶۰	۷/۶	۳۴	۷/۶	۱/۳	A2+	
		۱۲/۱	۱۰/۱	۱/۲	۱۱/۲	۶۰	۹/۱	۴۸	۹/۱	۰/۹	A2-	
۱۱/۹	۱۰/۹	۱۰/۶	۵/۹	۱/۸	۱۹/۷	۶۰	۱۱/۲	۲۹/۵	۱۱/۲	۱/۹	B1+	B
		۱۱/۲	۹/۴	۱/۲	۱۶/۲	۶۰	۱۳/۱	۴۷/۵	۱۳/۱	۱/۴	B1-	
	۱۲/۹	۱۰/۶	۸/۸	۱/۲	۱۷/۲	۶۰	۱۴/۱	۴۸	۱۴/۱	۱/۶	B2+	
		۱۵/۳	۱۱/۸	۱/۳	۱۹/۱	۶۰	۱۴/۲	۴۲	۱۴/۲	۱/۲	B2-	



شکل (۲۸) نمودار میله ای مقایسه ای مقادیر R به روش پاولی و یانگ

۴-۵ سطح زیر نمودار نیرو - جابجایی

مساحت محصور در چرخه منحنی هیستریزس همان انرژی مستهلک شده در سیستم دیوار برشی در برابر بارهای چرخه‌ای محسوس می‌گردد که این مقادیر در جدول (۱۱) آورده شده است.

جدول (۱۱) انرژی مستهلک شده

Aave	A کل	A(KN-mm)	دیوار	پیکربندی
۶۶۸/۷۵	۶۸۳/۱	۲۸۹/۳	A1+	A
		۳۹۳/۸	A1-	
	۶۵۴/۴	۳۲۶/۸	A2+	
		۳۲۷/۶	A2-	
۱۰۱۴/۱	۹۸۵/۷	۵۰۹	B1+	B
		۴۷۶/۷	B1-	
	۱۰۴۲/۵	۵۰۲/۹	B2+	
		۵۳۹/۶	B2-	

۵-۵ ارزیابی اقتصادی:

مصالح مصرفی برای ساخت دیوار برشی آجری در قاب فولادی سرد نورد شده در جدول (۱۲) گنجانده شده است. در این جدول هزینه نهایی تهیه مصالح، نصب آجر و قاب فولادی با توجه به هزینه‌های انجام شده موجود است. این هزینه‌ها به ریال و برای ساخت دیوار به ابعاد $۱/۲ \times ۲/۴$ می‌باشد. با توجه به جدول هزینه سیمان و ماسه و یونولیت در دو نوع دیوار تیپ A و B متفاوت است اما در سایر موارد هزینه‌ها یکسان می‌باشد. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود جمع هزینه‌ها تقریباً یکسان است زیرا در دیوارهای نوع A ضخامت ملات ۲۵ میلی‌متر می‌باشد که هزینه سیمان و ماسه این دیوار نسبت به دیوارهای نوع B کمتر است اما ضخامت یونولیت در این نوع دیوار بیشتر از دیوارهای نوع B بوده و هزینه یونولیت مصرفی بیشتر است. در کل دیوار تیپ B نسبت به دیوار تیپ A ارزاتر می‌باشد.

جدول (۱۲) هزینه ساخت یک عدد دیوار آجری به ابعاد $۲/۴ \times ۱/۲$

متر در قاب فولادی سرد نورد شده

شماره	مصالح مصرفی	قیمت به ریال (دیوار تیپ A)	قیمت به ریال (دیوار تیپ B)
۱	گچ برگ	۶۴۰۰۰۰	۶۴۰۰۰۰
۲	استاد	۱۶۸۰۰۰۰	۱۶۸۰۰۰۰
۳	رانر	۷۴۴۰۰۰	۷۴۴۰۰۰
۴	پیچ فولادی	۱۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰
۵	آجر پلاک	۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰
۶	سرامیک	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰
۷	سیمان	۱۶۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰
۸	ماسه	۷۶۰۰۰	۱۵۲۰۰۰
۹	فوم	۸۵۰۰۰۰	۵۲۰۰۰۰
۱۰	دستمزد	۶۰۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰
	جمع کل	۱۰۹۰۰۰۰۰	۱۰۸۰۶۰۰۰

۶- نتیجه گیری

مزایای بیشمار استفاده از سیستم سازه ای قاب سبک فولادی سرد نورد شده بر همگان روشن است. لیکن با توجه به برخی محدودیت‌ها، این سیستم هنوز در کشور ما رایج نگردیده است. از مهمترین موارد عدم استقبال عمومی از این سیستم سازه‌ای، عدم هماهنگی نمای بیرونی این سازه با سازه‌های موجود در شهرها و روستاها می‌باشد. مهمترین گام برای گسترش و ترویج استفاده عموم مردم از این نوع سیستم سازه ای مفید و نسبتاً ارزان، بومی سازی آن می‌باشد. در همین راستا در دو پیکربندی متفاوت A و B و برای هرکدام دو نمونه با اندیس‌های ۱ و ۲ دیوارهای برشی آجری در قاب فولادی سرد نورد شده ساخته شده است. با ساخت دیوارهای برشی و عمل آوری آن‌ها، نمونه‌ها تحت بارگذاری چرخه‌ای براساس پروتکل بارگذاری ASTM-2126B قرار گرفته‌اند. با استفاده از خروجی بدست آمده از بارگذاری و محاسبات انجام شده در فصل قبل و تحلیل این نتایج، در خصوص دیوار برشی آجری در قاب فولادی سرد نورد شده، نتایج به شرح زیر بدست آمده است:

۱- میانگین مقاومت برشی در دیوارهای B1 و B2، $۱۴/۸$ کیلونیوتن است که در مقایسه با میانگین مقاومت برشی در دیوارهای A1 و A2 که $۸/۶$ کیلونیوتن می‌باشد که شاهد افزایش مقاومت برشی به میزان ۷۲ درصد در نمونه‌های B نسبت به نمونه‌های A هستیم.

۲- میانگین ضریب رفتار محاسبه شده از دو روش در نمونه ی B1 و B2 ($۱۲/۳$) است که در مقایسه با نمونه‌های A1 و A2 که ($۱۰/۷$) می‌باشد که این ارقام رشد ۱۵ درصدی ضریب رفتار در نمونه‌های B نسبت به A را نشان می‌دهند.

۳- با محاسبه ضریب رفتار با دو روش یانگ و پاولی مقدار ضریب رفتار بدست آمده از دو روش تفاوت چندانی را با هم ندارند شکل (۲۷). بنابراین با اطمینان کافی می‌توان ضرایب رفتار سازه‌های مشابه را با یکی از این دو روش محاسبه کرد.

۴- با توجه به جدول (۱۱) مشخص می‌گردد جذب انرژی در دیوارهای B ($۱۰۱۴/۱$) نسبت به دیوارهای A ($۶۶۸/۸$) حدوداً ۵۲ درصد بیشتر می‌باشد که این موضوع عملکرد بهتر دیوارهای B نسبت به دیوارهای A است.

۵- با توجه به جدول (۱۲) و مقایسه ارزیابی اقتصادی ساخت دیوارهای A و B توان به این مهم دست یافت که اجرای دیوار آجری در قاب فولادی سرد نورد شده با ضخامت ملات ماسه سیمان به ضخامت ۵۰ میلی‌متر پشت آجر نما می‌تواند مفید و مقرون به صرفه باشد.

عدد ۵۰ میلی‌متر یک عدد مشخصی است که عمدتاً نصب کنندگان آجر، سنگ، سرامیک و کاشی در نماهای ساختمان از آن بهره می‌برند. برای ادامه تحقیق و بهینه سازی ضخامت

13- Zhao ., Y; Rogers., C.A.; "Preliminary R-values for seismic design of steel stud shear wall. In: Sixteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures", p. 468-82, 2002, (USA).

14- Adham, S.A.; Avanesian, V.; Hart, G.C.; Anderson, R.W.; Elmlinger, J.; Gregory, J.; "shear wall resistance of l19 ghtgauge steel stud wall systems. Earthquake Spectra"; 6:1-14, 1990.

۱۵- پرستش، حسین؛ رضاییان پاکیزه، محمد؛ "عملکرد قاب فولادی سرد نورد شده با بتن سبک پلی استایرنی تحت بار جانبی"، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، ۲۰۱۸.

۱۶- سیدی بیرجندی، سید رضا؛ خسروی، حسین؛ "بررسی رفتار لرزه‌ای قابهای مهاربندی شده همراه با دیوار برشی فولادی سرد نورد شده با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی"، سومین کنفرانس ملی مهندسی مکانیک - عمران، مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی اسفراین، مهرماه، ۱۳۹۶.

۱۷- حسین پور، امیرحسین؛ جواهری تفتی، محمدرضا؛ "بررسی رفتار چرخه ایی دیوارهای برشی پر شده با بتن سبک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت، (۱۳۹۵).

۱۸- اسماعیلی نیازی، شیرین؛ عابدی، کریم؛ قندی، الهام؛ "مطالعه آزمایشگاهی رفتار دیوارهای برشی فولادی سرد نورد شده با پوشش فولادی تحت بارگذاری جانبی چرخه ای"، هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین المللی سازه و فولاد، تهران، ۱۳۹۵.

19- Ahmadi, F.; Javaheri, T.; M.R.; Ronagh, H.R.; "have performed laboratory studies which deals with how doubling up the side studs can affect on behavior coefficient and ultimate strength of cold formed thin steel walls". Paper presented at the First National Conference of building milesils and new tecmlologies in the construction industiy, Islamic Azad University MEYBOD, http://www.civilica.com/Paper-MTMAYBOD01-MTMAYBOD01_065.html, (2013).

20 - Movahed.; Javaheri T, M.R.; Ronagh, H.R.; " have studied the effects of Structural members on behavior coefficient Changes and ultimate strength of cold formed steel frames with unilateral bracing by using laboratory tests. First Nationak Conference on Seismology and Earthquake Engineering", Islamic Azad University MEYBOD, http://www.civilica.com/paper-MYBODIAU01_MYBODIAU01_061.html, (2013).

21- ASTM A1003.; "Standard Spesification for Steel Sheet, Carbon, Metalic and nonmetallic Coated for Cold-Formed Framing Members.

22- ASTM C1513 .; "Standard Spesification for Steel Tapping Screws for Cold-Formed Steel Framing Connections.

23- ASTM C1513-10.; Standard Specification for Steel

ملاط پشت آجر نما می توان ضخامت های بیشتر و یا کمتر از ۵۰ میلیمتر را مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

مراجع

1- Ayatollahi, S.R.; Usefi, N.; Ronagh, H.R.; Izadina, M.; Javaheri, M.R.; "Performance of gypsum sheathed CFS panels under combined lateral and gravity loading", Journal of Constructional Steel Research 170, 2020.

2- Mortazavi, M.; Sharafi, P.; Ronagh, H.R.; Samali, B.; Kildashti, K.; "Lateral behaviour of hybrid cold-formed and hot-rolled steel wall systems: Experimental investigation" Journal of Constructional Steel Research 147, 422-432, 2018.

3- Ruo-qiang, F; Peng-hui, X; "Seismic Performance Investigation of Cold-Formed Steel Framed Shear Walls with Steel Sheathing, 2016.

4- Javaheri T, M.R.; Ronagh, H.R.; Behnamfar, F.; Memarzadeh, P.; "An experimental investigation on the seismic behavior of cold-formed steel walls sheathed by thin steel plates", Thin-Walled Structures, 80(0):66-79, doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tws.2014>.

5- Zeynalian, M.; Ronagh, H.R.; "A numerical study on seismic characteristics of knee-braced cold-formed steel shear walls", Thin-walled structures, 49:1517-1525, 2011.

6- Yu, C.; Chen, Y.; "Detailing recommendations for 1.83 m wide cold-formed steel wall, with steel sheathing Journal of Constructional Steel Research", 2010.

7- Moghimi, H.; Ronagh, H.R.; "Better connection details for strap-braced CFS stud walls in seismic regions", Thin-Walled Structures, 47: 122-35, 2009.

8- Yu, C.; "shear resistance of cold-formed steel framed shear Wall assemblies with 0.027, 0.030, 0.033-inch sheet steel sheathing" In: The 19th international specialty conference on cold-formed steel structures, 2008.

9- Al-Kharat, M.; Rogers, C.A.; "inelastic performance of cold-formed steel strap braced walls Journal of Constructional Steel Research, 63:460-4, 2007.

10- Fulop L.A.; Dubna, D.; "Performance of wall-stud cold-formed shear panels under monotonic and cyclic loading-Part I: Experimental research", Thin-Walled Structures, 42:321-38, 2004.

11- Zhao ., Y; Rogers., C.A.; "Preliminary R-values for seismic design of steel stud shear wall. In: Sixteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures", p. 468-82, 2002, (USA).

12- Gad, E.F.; Duffield, C.F.; Hutchinson, G.L.; Mansell, D.S.; Stark, G.; "Lateral performance of cold-formed steel-framed domestic structures. Engineering Structures", 21:83-95, 1999.

Tapping Screws for Cold-Formed Steel Framing Connections

24- E2126-07 A-;" Standard test methods for cyclic (reversed) load test for shear resistance of walls for buildings", p. 13, 2007,(USA).

25- Structural response modification factor (Applied Technology Council "NO. 19, 1995.

26- Whittaker, A.S.; C.M. Uang.; Bertero,V.V.; " Earthquake Simulation Tests and Associated Studies of a 0.3-Scale Model of a Six-Story Eccentrically Braced Steel Structure", Report No, UCB/EERC-87/02, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, CA, June, 1987.

27- UBC, "Uniform Building Code", International Conference of Building Officials, Whittier, CA, (1994).

28- FEMA-356.;" Pre standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings", Building Seismic Safety Council; 2000,(USA).

29- Paulay, T.; Priestley, M.N.;"Seismic Design of Rein forced Concrete and Masonry Build-ings", 1992.

30- ATC.;"Structural Response Modification Factors, ATC-19 "Report, Applied Tecnology Council"l, Redwood City California ,(1995).