



University Of Qom

Experimental Study of the Behavior In-Plan the Brick and Stone Facade with the Nonstructural Masonry Walls under the Effect of Cyclic Loads

Ali Mohammadi¹, Mahdi Sharifi² , Mehdi Alirezaei³ 

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: mohammadi6186@gmail.com
2. Corresponding author, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: m.sharifi@qom.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Malayer, Malayer, Iran. E-mail: m.alirezaei@iau-malayer.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 09 Jan 2024

Revised 27 Jan 2024

Accepted 29 Jan 2024

Keywords:

Facade Isolation,
Seismic Performance,
Brick Facade,
Stone Facade.

ABSTRACT

Observations from past earthquakes and studies conducted by various researchers show the effect of facade on the seismic performance of the structure. Structure, veneer wall and faced need to be stable and independent in their deformation. The most important goal in the upcoming study is to investigate the effect of materials on the in-plane behavior of external walls and building facades based on the existing common implementation methods. Based on this, 3 samples of cyclic lateral loads were tested in a controlled manner under displacement and the results of their behavior in terms of form, failure patterns, cyclic curves, cover, bilinear, ductility, reduction of equivalent hardness were investigated. The results of the analyzes showed that adding a facade to the structure, depending on the type and characteristics of the facade materials, has a significant effect on increasing the initial stiffness in range of 4 to 6 time and resistance in range of 2 time. Facade isolation reduces interframe damage and also reduces facade damage and adverse interframe-frame interaction it seems that the seismic performance of the brick facade is better compared to the stone facade and has less effect on changing the seismic performance of the structure.

Cite this article: Mohammadi A, Sharifi M, Alirezaei M. Experimental Study of the Behavior In-Plan the Brick and Stone Facade with the Nonstructural Masonry Walls under the Effect of Cyclic Loads. Civil Infrastructure Researches. 2024; 10(1): 137-151. <https://doi.org/10.22091/cer.2024.10217.1533>



بررسی آزمایشگاهی رفتار داخل صفحه نمای آجری و سنگی با دیوار پشتیبان بنایی تحت اثر بارهای رفت و برگشتی

علی محمدی^۱، مهدی شریفی^{۲*}، مهدی علی رضائی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: mohammadi6186@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: m.sharifi@qom.ac.ir

۳. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: m.alirezai@iau-malayer.ac.ir

چکیده

مشاهدات حاصل از زلزله‌های گذشته، نشان‌دهنده تأثیر نما در عملکرد لرزه‌ای سازه است. فلسفه طراحی لرزه‌ای نما به گونه‌ای است که پایداری دیوار پشتیبان توسط سازه اصلی و پایداری نما توسط دیوار پشتیبان یا سازه تأمین گردیده و این سه جزء دارای حرکات مستقل از یکدیگر باشند. در حال حاضر در صنعت ساختمان به دلیل استفاده از نماهای چسبیده به دیوار پشتیبان، جداسازی حرکت نما از دیوار پشتیبان تأمین نمی‌گردد. بنابراین مهم‌ترین هدف در این تحقیق، بررسی تأثیر جنس مصالح بر رفتار داخل صفحه دیوارهای بیرونی و نما بر اساس روش‌های اجرایی متداول موجود است. بر این اساس، تعداد ۳ نمونه شامل قاب فولادی ساده به همراه دیوار پشتیبان و نما تحت اثر بارهای جانبی رفت و برگشتی و کنترل‌شونده توسط جابه‌جایی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل از رفتار آنها در قالب الگوهای شکست، منحنی‌های چرخه‌ای، پوش دوخطی، شکل‌پذیری، کاهش سختی بررسی شدند. پارامترهای مورد مطالعه در این نمونه‌ها شامل جداسازی دیوار پشتیبان از سازه و نوع مصالح نما بوده است. نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد نماهای چسبیده فاقد عملکرد لرزه‌ای متناسب با اهداف آیین‌نامه است. همچنین مشاهده شد افزودن نما به سازه بسته به نوع و ویژگی‌های مصالح نما، افزایش ۴ تا ۶ برابری در افزایش میزان سختی اولیه، افزایش مقاومت کل سازه حدود ۲ برابر و افزایش پتانسیل آسیب ساختمان را دارد. در این تحقیق عملکرد لرزه‌ای نمای آجری در مقایسه با نمای سنگی بهتر بوده و تأثیر کمتری در تغییر عملکرد لرزه‌ای سازه داشته است.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

کلیدواژه‌ها:

جداسازی نما،
عملکرد لرزه‌ای،
نمای آجری،
نمای سنگی.

استناد: محمدی علی، شریفی مهدی، علی‌رضائی مهدی. بررسی آزمایشگاهی رفتار داخل صفحه نمای آجری و سنگی با دیوار پشتیبان بنایی تحت اثر بارهای رفت و برگشتی. پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، ۱۴۰۳؛ ۱۱(۱)، ۱۳۷-۱۵۱.

<https://doi.org/10.22091/cer.2024.10217.1533>

۱- مقدمه

در این راستا مطالعات زیادی در خصوص رفتار اجزای نما و دیوار پشتیبان صورت گرفته است. نتایج این تحقیقات در راهنما و دستنامه Fema E74 و پیوست ششم آیین نامه ۲۸۰۰ ارائه شده است [۴]. در حالت کلی، پیشینه کارهای آزمایشگاهی انجام شده بر روی نما به سه دسته زیر تقسیم بندی می شوند:

(الف) دسته اول تحقیقات بر جابه جایی خارج از صفحه و درون صفحه استاتیکی تمرکز کرده اند [۵ و ۶].

(ب) دسته دوم بر روی آزمایش میز لرزان المان های نما و یا رفتار خارج صفحه تحت اثر بارهای استاتیکی تمرکز کرده اند [۷-۱۱].

(پ) دسته سوم به تجزیه و تحلیل عددی و تحلیلی نما تمرکز کرده اند [۱۲-۲۱].

مسگینلی و هاموش^۱، روکش آجری متصل به دیوار چوبی را با بار خارج از صفحه چرخه ای و داخل صفحه چرخه ای آزمایش کردند. آزمایشات نشان داد که رفتار لرزه ای نماهای آجری کاملاً وابسته به اتصال آجرها به دیوار پشتیبان است که در این آزمایش رفتار لرزه ای وابسته به فاصله مفتول ها و مقاومت مفتول ها بود [۵]. رینسکیس و لافاوا^۲، روکش آجری که با مفتول فلزی به دیوار چوبی متصل شده است را تحت بار خارج از صفحه استاتیکی آزمایش کردند. نتایج نشان داد که روکش آجری سختی خارج از صفحه قاب چوبی را افزایش می دهد. همچنین مشاهده کردند که اولین خرابی ها در مفتول های گوشه بالای روکش آجری اتفاق می افتد و شکست دیوار به صورت خارج از صفحه تقریباً در وسط ارتفاع روکش آجری می باشد. محققان در یک تحقیق آزمایشگاهی با میز لرزه پارامترهای مختلفی از جمله نوع مفتول، طریق کوبش میخ، تقویت ملات اتصال بین آجرها را مورد مطالعه قرار دادند [۲۲]. اکیل^۳ و همکاران، نشان

بازبینی آثار تخریبی زلزله های اخیر به ویژه زلزله کرمانشاه نشان می دهد در عملکرد لرزه ای مشاهده شده در اجزای ساختمان شامل اجزای سازه ای و اجزای غیرسازه ای چون دیوارهای محیطی، آسیب پذیری نماها قابل توجه بوده و حتی در سال های اخیر به دفعات اخبار تخریب های موضعی و کلی نما حتی در شرایط عادی به گوش می رسد. این آثار تخریب دلایل متعددی شامل عدم اجرای جزئیات مناسب، نوع نامناسب مصالح مصرفی در نما، مهار نامناسب، عدم جداسازی نما و غیره داشته اند. ادبیات ساخت و ساز در غالب کشورهای پیشرفته به گونه ای است که حرکت سازه، دیوارهای پیرامونی و نما، علی رغم تأمین پایداری نما توسط دیوار پیرامونی (دیوار پشتیبان) و دیوار پشتیبان توسط سازه، از یکدیگر مستقل می باشد. بنابراین برای دستیابی به این هدف، نما بر روی دیوارهای پشتیبان با جزئیات مناسب و یا سیستم نگهدارنده خود متکی است. در برخی از کشورها نظیر ایران جزئیات ساخت دیوار پشتیبان به گونه ای است که این جداسازی از سازه تأمین می گردد، ولی نما بیشتر به عنوان یک جزء چسبیده به دیوار پشتیبان منظور گردیده است. در زلزله های اخیر نظیر بم و کرمانشاه، اجزای نما منشأ ایجاد خسارت های قابل ملاحظه ای در ساختمان ها بوده اند؛ بنابراین به نظر می رسد توجه به جزئیات نما جهت بهبود شرایط عملکرد بهره برداری و لرزه ای نماها بایستی مورد توجه ویژه قرار گیرد [۱ و ۲].

دستورالعمل ها و استانداردهای ساختمانی منتشر شده، در سال های اخیر توجه ویژه ای به نماها داشته اند و سعی شده است تا حد امکان ضوابط مربوط به شیوه صحیح اجرای نما در آنها گنجانده شود [۳]. لازم به ذکر است علی رغم اقدامات انجام شده، در حال حاضر ضوابط موجود در استانداردهای فعلی هنوز برای جامعه تارنمایی مبهم تداعی کرده است.

¹- McGinley and Hamoush

²- Reneckis and LaFave

³- Okail

دیوارهای بنایی بلوک توخالی با بارگذاری عرضی دهانه بلند را مورد بررسی قرار دادند [۲۶].

۱-۱- ضرورت انجام تحقیق

نتایج بررسی‌ها از شکل عجیب تخریب ساختمان‌ها در زلزله‌های اخیر، از وجود یک تهدید متفاوت حین زلزله خبر می‌دهد. بیشترین موارد تخریب و خسارت وارد شده در زلزله‌های اخیر در کشور مربوط به جدایی و ریزش نمای ساختمان‌ها و ملحقات آنها است که در مناطق شهری به عنوان یکی از شایع‌ترین اشکال خسارت تلقی می‌شود. یکی از علت‌های اصلی ریزش نمای ساختمان‌ها، رعایت نشدن ضوابط کامل در اتصال آنها به جداره ساختمان است. بنابراین نما بخش ضعیف ساختمان‌ها در شهرها هستند که به شدت در برابر ارتعاشات ناشی از زلزله آسیب‌پذیر می‌باشند [۲۰]. به عنوان مثال، فروریختن نما در زلزله، سه خطر و پیامد عمده را به همراه دارد:

- (۱) صدمات افرادی که از کنار ساختمان عبور می‌کنند به دلیل ریزش آوار،
- (۲) اختلال در عملکرد ساختمان و
- (۳) شوک روحی ناشی از صدای بلند له شدن و واژگون شدن نما [۲۷-۲۹].

بنابراین، مطالعه رفتار لرزه‌ای نماها از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا بررسی وضع موجود ساخت‌وساز و ارائه راهکارهای پیشنهادی به منظور بهبود شرایط بسیار بااهمیت است. دیوارهای نمای آجری و سنگی در گستره وسیعی از کشورها و در ساختمان‌های مختلف به منظور تأمین ویژگی‌های عملکردی چون زیبایی، حرارتی و دوام به کار برده شده‌اند [۱۶ و ۳۰]. اما در رویدادهای زلزله‌های متناوب، این نوع از سیستم‌های ساختمانی رفتار آسیب‌پذیری را از خود به نمایش گذاشته‌اند که نتیجه آن خرابی‌های زیاد، فروریزش جزئی و در نتیجه تهدیدی برای ایمنی جانی بشر بوده است.

دادند شکست در مفتول‌های موج‌دار به صورت بیرون آمدن میخ‌ها از قاب چوبی اتفاق می‌افتد و در جاهایی که مفتول‌ها پیچ شده‌اند، شکست به صورت جداسدن اتصالات ملات یا بیرون آمدن سربپیچ‌ها از ورق‌ها اتفاق می‌افتد. در این آزمایش با وجود تقویت سیم افقی در اتصال آجرهای روکش، عملکرد روکش آجری در بار خارج از صفحه لرزه‌ای بهبود نیافت [۷].

استکانچی و همکاران، به این نتیجه رسیدند که برای یک دیوار پشتی سخت، فاصله قائم مفتول‌های فلزی بر ترک‌های روکش تأثیر می‌گذارد. جداسدن روکش آجری از دیوار پشتی بعد از ترک‌های روکش اتفاق می‌افتد که بر توزیع نیرو در مفتول‌های فلزی اثر دارد [۸]. پژوهشگران، آزمایش میز لرزان را برای ساختمان یک طبقه با قاب چوبی با مقیاس کامل تحت بار دینامیکی انجام دادند [۹]. ایرامز^۴ به مطالعه عملکرد درون صفحه دیوارهای آجری پرداخته است و آزمایش‌هایی را به صورت بار فزاینده و رفت‌وبرگشتی بر روی نمونه‌های آجرکار انجام داده است. ایشان نمودار نیرو و همچنین مقاومت در برابر نیروی جانبی این نوع از دیوارها را برای دو حالت خرابی خمش درون صفحه و برش درون صفحه ارائه کرده است [۲۳]. تمازویچ^۵ به مطالعه آزمایشگاهی مقاومت برشی قطری دیوارهای آجری غیرمسلح و سپس مقایسه نتیجه حاصل از این آزمایش‌ها با روابط پیشنهاد شده در استاندارد Eurocode6 برای محاسبه مقاومت برشی دیوارهای آجری غیرمسلح وقتی که حالت شکست قطری حاکم است پرداخته است [۲۴]. تورک^۶ و همکاران نیز یک دیوار بتنی که در هر دو طرف به روکش آجری از طریق مفتول‌ها متصل است را تحت بار لرزه‌ای خارج از صفحه آزمایش کردند [۲۵]. محققان ظرفیت خمشی

⁴- Abrams

⁵- Oan and Shrive

⁶- Turek

گیرد. لازم به ذکر است بررسی عملکرد درون صفحه‌ای نما می‌تواند اطلاعات مفید بیشتری را در اختیار مهندسان قرار دهد (جدول ۱).

۲- مشخصات مصالح و نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌ها در بخش آزمایشگاه سازه دانشگاه قم ساخته و مورد آزمایش قرار گرفتند. مراحل ساخت نمونه‌ها شامل ساخت قاب فولادی، انتخاب و آزمایش مصالح، ساخت دیوار بنایی و اجرای نمای دیوار بنایی است. در ادامه جزئیات هر مرحله ارائه می‌گردد.

۲-۱- مشخصات مصالح سفال و آجر

در این آزمایش از بلوک سفالی به‌عنوان دیوار پشتیبان و نمای سنگی یا آجری استفاده شده است. جهت پذیرش سفال و آجر، آزمایشات موردنیاز شامل آزمایش تعیین ویژگی‌های بلوک سفالی، آجرنما، سنگ نما و آزمایش دانه‌بندی ماسه و مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان است.

۲-۱-۱- مشخصات مصالح دیوار پشتیبان و مصالح آجری

در این تحقیق از بلوک سفالی و آجر ۳ سانتیمتری جهت نما استفاده شده است. با توجه به استاندارد 14-ASTM-C67 لازم است جهت تعیین ویژگی‌های آجر، آزمایشاتی همچون درصد جذب آب و مقاومت فشاری آجر انجام شود [۳۵]. جهت تعیین ابعاد بلوک سفالی و آجر نما، ۱۰ عدد بلوک سفالی و آجر نما به صورت تصادفی انتخاب و ابعاد آن اندازه‌گیری شد. میانگین ابعاد آجر مصرفی ۱۹۹/۵ (طول) در ۶۳۷/۰ (عرض) در ۲۸۸/۰ (ضخامت) میلیمتر است. میانگین ابعاد بلوک مصرفی ۱۷۴/۵۳ (ارتفاع) در ۸۳/۱۳ (عرض) در ۱۷۹/۶۷ (طول) میلیمتر است. جهت تعیین درصد جذب رطوبت بلوک سفالی و آجر نما، ابتدا ۵ عدد سفال در اندازه مساوی نصف گردید. سپس نمونه‌ها در محیط آون با دمای حداقل ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها با تعیین نسبت اختلاف وزن سفال

همین موضوع سبب شده است هنگام بروز زلزله‌ای همچون زلزله کرمانشاه اگرچه تعداد زیادی از ساختمان‌ها از نظر سازه‌ای سالم باقی ماندند؛ اما نمای این ساختمان‌ها دچار ریزش شوند. علی‌رغم تحقیقات گسترده بین‌المللی انجام شده، با توجه به مطالب ذکر شده و اختلاف قابل توجه در روش‌های ساخت و شرایط خاص اقلیمی و شرایط بومی حاکم بر کشور می‌بایست نسبت به انجام تحقیقات به‌صورت مستقل و بومی اقدام نمود.

برای رسیدن به اهداف تحقیق بر این اساس، تعداد ۳ نمونه شامل قاب به همراه دیوار پشتیبان و نما تحت اثر بارهای جانبی رفت و برگشتی و به صورت کنترل شده تحت جابه‌جایی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل از رفتار آنها در قالب الگوهای شکست، منحنی‌های چرخه‌ای، پوش، دوخطی، شکل‌پذیری، کاهش سختی معادل مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد مطالعه در این نمونه‌ها شامل جداسازی دیوار پشتیبان از سازه، نوع مصالح نما (نمای سنگی یا نمای آجری) می‌باشد. نمونه‌ها با مقیاس یک‌به‌دو مورد ارزیابی قرار گرفته است. آزمایش اصلی شامل ۲ دو نمونه FCSW^۷ (قاب+ دیوار سفالی+ وال پست) و نمای سنگ (چسبیده به دیوار و قاب) و FCBW^۸ (قاب+ دیوار سفالی+ وال پست) و نمای آجری (چسبیده به دیوار و قاب) با توجه به شرایط اجرای فعلی در کشور مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. علاوه بر نمونه‌های فوق، قاب فولادی تنها بدون دیوار پشتیبان و نما با هدف تعیین سهم قاب در مقاومت و سختی در این نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفته است. نمونه‌ها تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی می‌باشند. در این آزمایش‌ها، سعی گردیده است که تمامی ویژگی‌های مهم پاسخ سازه، مانند سختی، استحکام، حالت‌های ترک و شکست نما و ظرفیت‌های انرژی تلف‌شده بررسی شوند. نمونه‌ها به‌گونه‌ای بارگذاری شده‌اند که رفتار درون صفحه آن‌ها مورد بررسی قرار

^۷- Frame, Clay wall, Stone, Wall post

^۸- Frame, Clay wall, Brick, Wall post

در دو حالت تر و خشک به وزن خشک، میانگین نتایج، بیانگر جذب رطوبت ۱۷ درصد برای بلوک سفال‌ها است.

جدول ۱- نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه مورد آزمایش	دیوار پشتیبان	مصالح نما	نحوه اتصال نما به پشتیبان
F	قاب فولادی بدون نما و دیوار پشتیبان جهت محاسبه سهم قاب در نتایج	-	-
FCSW	مصالح بنایی (سفال)	سنگ	چسبیده به نما،
FCBW	مصالح بنایی (سفال)	آجر	چسبیده به نما

محوری، میانگین مقاومت فشاری نهایی آجرها ۳/۲۲ مگاپاسکال و مدول الاستیسیته میانگین نمونه‌ها ۱۹۴۰۰ مگاپاسکال به‌دست آمده است. آزمایش مقاومت خمشی برای سنگ نما بر روی ۵ نمونه انجام شد. با توجه به نتایج آزمایشات خمشی میانگین مقاومت خمشی نمونه‌ها ۵/۱۴ نیوتن بر میلی‌متر مربع به‌دست آمده است.

۲-۱-۲- مشخصات ملات ماسه سیمان

در این تحقیق سعی شده است از ملات ماسه سیمان منطبق با شرایط حاکم بر ساخت‌وساز کشور استفاده گردد؛ بنابراین از طرح اختلاط با نسبت ۵ حجم ماسه و ۱ حجم سیمان استفاده گردید. برای ساخت ملات از ماسه با حداکثر قطر دانه ۴ میلی‌متر استفاده شد. برای تعیین مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان و همچنین تعیین منحنی تنش- کرنش فشاری آن، سه نمونه استوانه‌ای به ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر و قطر ۱۰۰ میلی‌متر با طرح اختلاط ۵ حجم ماسه و ۱ حجم سیمان ساخته شد. نمونه‌ها بعد از ۲۸ روز نگهداری در داخل حوضچه آب و شرایط آزمایشگاهی تحت بارگذاری فشاری قرار گرفت. دستگاه مورد استفاده چک با ظرفیت ۲۰۰ تن است. همچنین از سیمان تیپ ۲ شرکت سیمان تهران استفاده شده است. برای تعیین مدول الاستیسیته ملات ماسه سیمان ۳ نمونه استوانه‌ای با ارتفاع ۲۰۰ و قطر ۱۰۰ میلی‌متر با طرح اختلاط ۵ حجم ماسه و یک حجم سیمان ساخته شد. این آزمون مطابق استاندارد ASTM C469 14 که برای تعیین مدول الاستیسیته مصالح بتنی است

برای تعیین مقاومت فشاری بلوک سفالی و آجرنما از ۵ نمونه بلوک سفالی و آجرنما کامل، استفاده شده است. این نمونه‌ها ابتدا در آون خشک شد. نحوه آماده‌سازی و انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری آجر و بلوک سفالی بدین شرح است که برای تماس مستقیم دو سطح با فک‌های دستگاه لازم است سطوح آجر و یا بلوک سفالی ساب زده شود و یا اینکه با ملات سیمان سطوح در تماس مسطح شود. در این تحقیق جهت توزیع مناسب نیروی جک، ضمن ساب زدن سطوح آجر و بلوک سفالی از دو عدد ورق فیبری نیز استفاده شد. میانگین نتایج بیانگر مقاومت فشاری سفال ۵/۴۰ مگاپاسکال است. همچنین میانگین نتایج بیانگر مقاومت فشاری ۱۸/۴۵ مگاپاسکال برای آجر است.

برای تعیین مدول الاستیسیته آجر، ۴ نمونه استوانه‌ای با کرگیری از آجر تهیه گردید. این آزمون مطابق استاندارد ASTM C469 که برای تعیین مدول الاستیسیته مصالح بتنی است انجام شد [۳۲]. مطابق این استاندارد، لازم است نسبت ارتفاع به قطر نمونه‌های کرگیری شده بیشتر از ۱/۵ باشد. پس از کرگیری از نمونه و جهت آماده‌سازی سطوح فوقانی و تحتانی، آنها از دستگاه برش سنگ استفاده شد تا سطوح نمونه مسطح گردد. حداکثر سرعت بارگذاری مطابق ASTM C469 14 برابر یک میلی‌متر بر دقیقه است. در این آزمایش جهت افزایش داده‌ها بارگذاری به روش کنترل تغییرمکان و با سرعت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه از طریق جک ۱۰۰ تنی به نمونه اعمال گردید. با توجه به نتایج آزمایشات فشاری

۲-۲-۲- جزئیات نمونه FCSW

پس از اجرای دیوار بلوک سفالی در داخل قاب فولادی، برای مهار جانبی دیوار از وال پست استفاده شد. سپس به اجرای سنگ تراورتن به ابعاد ۴۰ سانتیمتر در طول که به وسیله سیم اسکوپ شده است، اقدام شد. جهت تبعیت از فرهنگ ساخت و ساز جاری و همچنین مشابهت با شرایط اجرایی، در این نمونه، نما علاوه بر اتصال با دیوار پشتیبان، بر روی قاب فولادی نیز متصل در نظر گرفته شده است. دیوار بلوک سفالی از داخل اندود گچ شد. لازم به توضیح است که نمونه FCSW همانند نمونه‌های رایج مورد استفاده در شرایط اجرای فعلی در کشور است. شکل ۱- ب نمایی از نمونه FCSW است.

۳-۲-۲- جزئیات نمونه FCBW

پس از اجرای دیوار بلوک سفالی در داخل قاب فولادی، برای مهار جانبی دیوار از وال پست استفاده شد. سپس به اجرای آجر عرض ۳ سانتیمتر، اقدام شد. نما اجرای قاب فولادی را نیز همپوشانی نمود. دیوار بلوک سفالی از داخل اندود گچ شد. لازم به توضیح است که نمونه FCBW همانند نمونه‌های رایج مورد استفاده در شرایط اجرای فعلی در کشور است. شکل ۱- پ، نمایی از نمونه FCBW را نشان می‌دهد.

۳- چیدمان آزمایش و روش انجام آن

چیدمان آزمایش‌ها شامل استقرار جک اعمال نیروی جانبی، طراحی نوع و موقعیت تجهیزات برداشت و ثبت داده‌ها است. با توجه به نوع آزمایش نیاز به بارهای جانبی رفت و برگشتی است.

۱-۳- تجهیزات آزمایش و ابزار اندازه‌گیری

برای انجام آزمایش، ابتدا قاب ساخته شده با استفاده از جرثقیل ۵ تنی موجود در آزمایشگاه به محل مورد نظر انتقال می‌یابد و سپس تجهیزاتی که برای مهار کردن نمونه بر روی ست آپ قرار گرفته و تمامی پیچ‌های آن بسته شدند.

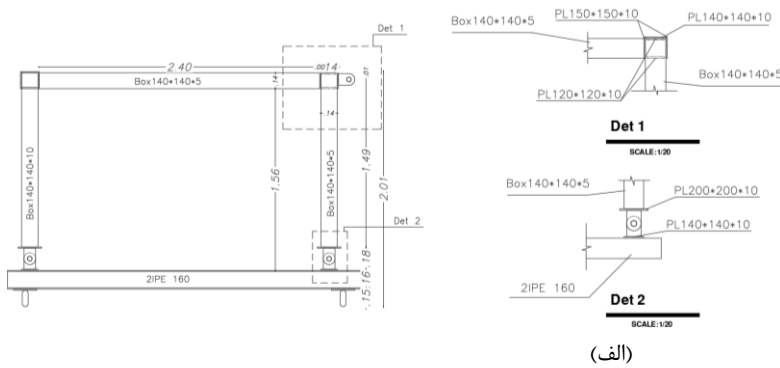
انجام شد. بارگذاری براساس کنترل تغییرمکان و با سرعت ۲۰ میلیمتر بر دقیقه اعمال گردید. با توجه به نتایج این آزمایش، متوسط مقاومت نهایی فشاری ملات ۹/۱۵ مگاپاسکال است. میانگین مدول الاستیسیته ملات ماسه سیمان ۶۴۵۶۸ مگاپاسکال است.

۲-۲- ابعاد هندسی نمونه‌ها

۱-۲-۲- قاب فولادی نمونه F

یک قاب فولادی به عنوان قاب سازه‌ای که در آن دیوار پشتیبان ساخته و نما بر روی دیوار پشتیبان قرار می‌گیرد، در نظر گرفته شده است. همچنین این قاب عملاً جهت انتقال بار جک به مجموعه قاب، دیوار و نما استفاده می‌گردد (شکل ۱- الف). طراحی این المان به نحوی انجام شد که با ایجاد مفصل هیچ‌گونه باربری جانبی نداشته و تمام نیرو را به دیوار انتقال دهد. این فریم از $10 \times 140 \times 140$ Box ساخته شده است. در محل اتصال به Setup به یکدیگر به صورت مفصلی عمل می‌نماید.

ابعاد دیوار پشتیبان در آزمایشگاه با مقیاس یک به دو با ارتفاع ۱۵۶۰، عرض ۲۴۰۰ و ضخامت ۱۱۰ میلیمتر در نظر گرفته شد. در این تحقیق بلوک سفالی بدون مقیاس و با ابعاد واقعی استفاده شده‌اند. با توجه به آنکه مطالعه نمونه‌ها در مقیاس سازه‌ای است، مقیاس آجرها تأثیری بر منحنی رفتاری نمونه‌ها نخواهد گذاشت [۳۳]. بلوک سفالی به نحوی چیده شده است که درز قائم آنها در یک امتداد نباشد. سفال چینی و ساخت نمونه‌ها توسط یک گروه و استادکار بنا انجام شد (دلیل آن لحاظ کردن تأثیر یکسان نیروی انسانی در کیفیت و مقاومت نمونه‌ها و نزدیک بودن به شرایط ساخت ساختمان‌های بنایی کشور است). ضخامت لایه ملات درز افقی و قائم بین ۱۰ تا ۱۵ میلیمتر اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج آزمایش، مصالح ملات ماسه سیمان با نسبت وزنی ۱ (سیمان) به ۵ (ماسه) ساخته شد. سیمان مورد استفاده تیپ II تهران است. برای توزیع بار ثقلی ناشی از جک افقی در بالای دیوار از قاب فولادی استفاده شد.



(الف)



(پ)

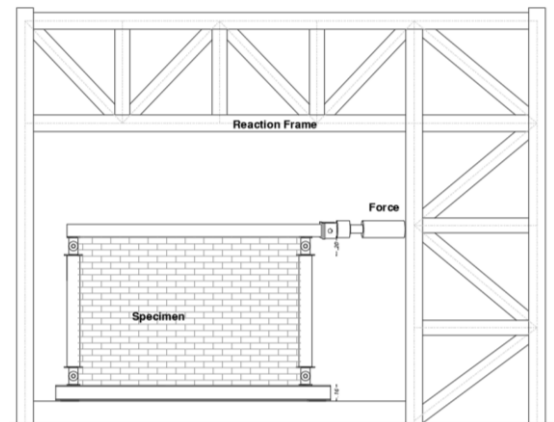


(ب)

شکل ۱- نمایی از نمونه‌های مورد آزمایش، (الف) نمونه F، (ب) نمونه FCSW و (پ) نمونه FCBW

بارگذاری جانبی نمونه‌ها به صورت استاتیکی رفت‌وبرگشتی چرخه‌ای و توسط جک هیدرولیکی ۳۰۰ کیلونیوتنی در تراز تیرفوقانی قاب به نمونه‌ها اعمال شد. جک قابلیت حرکت رفت‌وبرگشتی برابر ۲۰۰ میلی‌متر و فرکانس اعمال نیرو حداکثر معادل ۱۱ هرتز را دارا می‌باشد. بر روی جک یک سنسور موقعیت، یک نیروسنج و یک شیر فرمان نصب شد. جک توسط یک کنترل‌کننده PID8 K7500، کنترل گردید. کنترل‌کننده‌های مذکور، قابلیت ایجاد الگوهای بارگذاری را به صورت رفت‌وبرگشتی دارا می‌باشد. برای اعمال نیروی کششی به نمونه‌ها، از چهار میله فلزی توپر و پرمقاومت از جنس CK60 همراه با دو صفحه بارگذاری به ضخامت ۲۵ میلی‌متر که به بال خارجی دو ستون در بخش فوقانی قاب جوش شده بودند، استفاده شد. برای انجام بارگذاری استاتیکی رفت‌وبرگشتی در این تحقیق، از روش کنترل جابه‌جایی استفاده گردید. برای استخراج دستورالعمل بارگذاری از الگوی بارگذاری پیشنهادی آیین‌نامه FEMA 461 استفاده شد [۳۴]. اگرچه دستورالعمل‌های دیگری نیز توسط آیین‌نامه‌های

بعد از حصول اطمینان از ثبات قاب و اجرای دیوار و نمای نمونه‌ها در قاب آزمایشگاه، برای بار جانبی جک توسط میله مخصوص بارگذاری (پین) به کلاهک بارگذاری متصل شد. سپس تغییرمکان‌سنج‌ها در جای مخصوص خود قرار گرفت. کابل‌های مخصوص دستگاه ثبت اطلاعات به تغییرمکان‌سنج‌ها و بارسنج‌ها متصل و نمونه جهت بارگذاری آماده گردید. در شکل ۲، نمایی شماتیک از چیدمان آزمایش نشان داده شده است.



شکل ۲- نمایی از چیدمان آزمایش

۲-۳- دستورالعمل بارگذاری

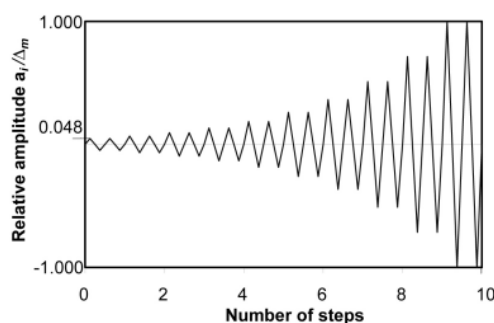
تغییر شکل نسبی ۱ درصد جداشدگی نما از دیوار پشتیبان و در نمونه آجری در تغییر شکل نسبی ۱/۲ درصد جداشدگی از دیوار پشتیبان آغار گردید. در نمونه سنگی در تغییر شکل نسبی ۱/۸ درصد و نمونه آجری در تغییر شکل نسبی ۲/۰ درصد جداشدگی و فروریختن نما از دیوار پشتیبان حادث گردید. این مقدار تغییر شکل نسبی نسبت به تغییر شکل مورد انتظار سازه فاصله معناداری دارد. در ادامه در قسمت‌های گوشه وال پست‌ها در تغییر شکل‌ها حدود ۲ درصد منجر به خوردشدگی دیوار گردیده است (جدول ۲).

۴-۲- رفتار چرخه‌ای نمونه‌ها

۴-۲-۱- نمونه F

در شکل ۴- الف، نمایی از تغییرات نیرو-تغییر مکان (دریفت) برای نمونه F نشان داده شده است. حداکثر نیروی ثبت شده برای این نمونه برابر با ۲۲ کیلونیوتن در فشار در تغییر مکان ۱۸/۲ میلیمتر (جهت بارگذاری از چپ به راست) و ۲۰ کیلونیوتن در کشش در تغییر مکان ۱۸/۲ میلیمتر (جهت بارگذاری از راست به چپ) است. میانگین حداکثر بارگذاری برابر با ۲۱ کیلونیوتن در میانگین تغییر مکان ۱۸/۲ میلیمتر است. با توجه به منحنی نیرو-تغییر مکان نمونه FCS سختی و مقاومت سازه (یا المان) تقریباً ثابت مانده است، اما به دلیل اینکه اثرات باریک‌شدگی در آن وجود دارد، قابلیت جذب انرژی هم کاهش یافته است. پدیده باریک‌شدگی منحنی در سازه‌ها، گاهی اوقات به دلیل ضعف اتصالات و نرم شدن آن‌ها اتفاق می‌افتد. رفتار قاب در کشش تا محدوده تغییر مکان ۱۷/۹ میلیمتر در کشش و تا محدوده ۱۷/۸ میلیمتر در فشار در محدوده الاستیک بوده است. شکل ۵- الف، نمایی از نمودار انرژی تلف شده در هر تغییر مکان برای نمونه F را نشان می‌دهد.

دیگر مانند ATC-24 و SAC1997 پیشنهاد شده است، ولی از آنجاکه اکثر محققین در مطالعات مربوط به قاب‌های میانپنر فولادی از الگوی بارگذاری آیین‌نامه FEMA 461 استفاده کرده‌اند، الگوی بارگذاری جانبی مطابق استاندارد FEMA 461 در نظر گرفته شد. دو پارامتر تأثیرگذار در این آزمایش موجود می‌باشد: پارامتر اول، میزان افزایش تغییر مکان و پارامتر دوم، تعداد تکرار در هر سطح تغییر مکان است. حداقل دو سیکل در هر سطح تغییر مکان در نظر گرفته شده است. شکل ۳، یک نمودار مفهومی از تاریخچه بارگذاری توصیه شده را نشان می‌دهد. تاریخچه بارگذاری شامل چرخه‌های مکرر دامنه‌های تغییر شکل افزایش گام به گام است. دو سیکل در هر دامنه باید تکمیل شود.



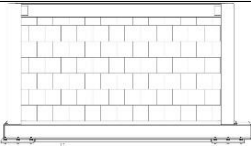
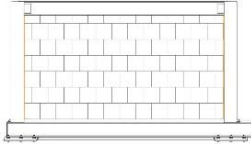
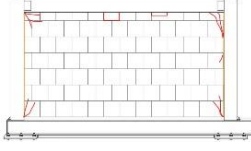
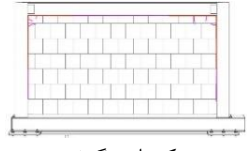
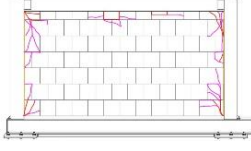
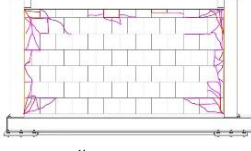
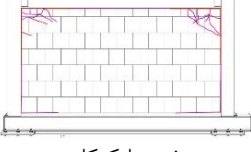
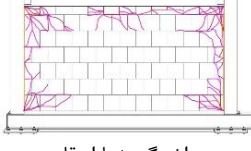
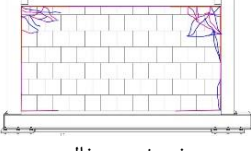
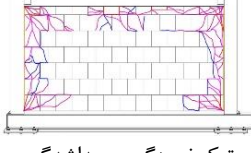
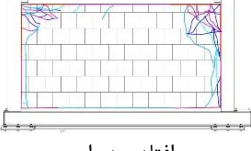
شکل ۳- نمایی از دستورالعمل بارگذاری [۳۸]

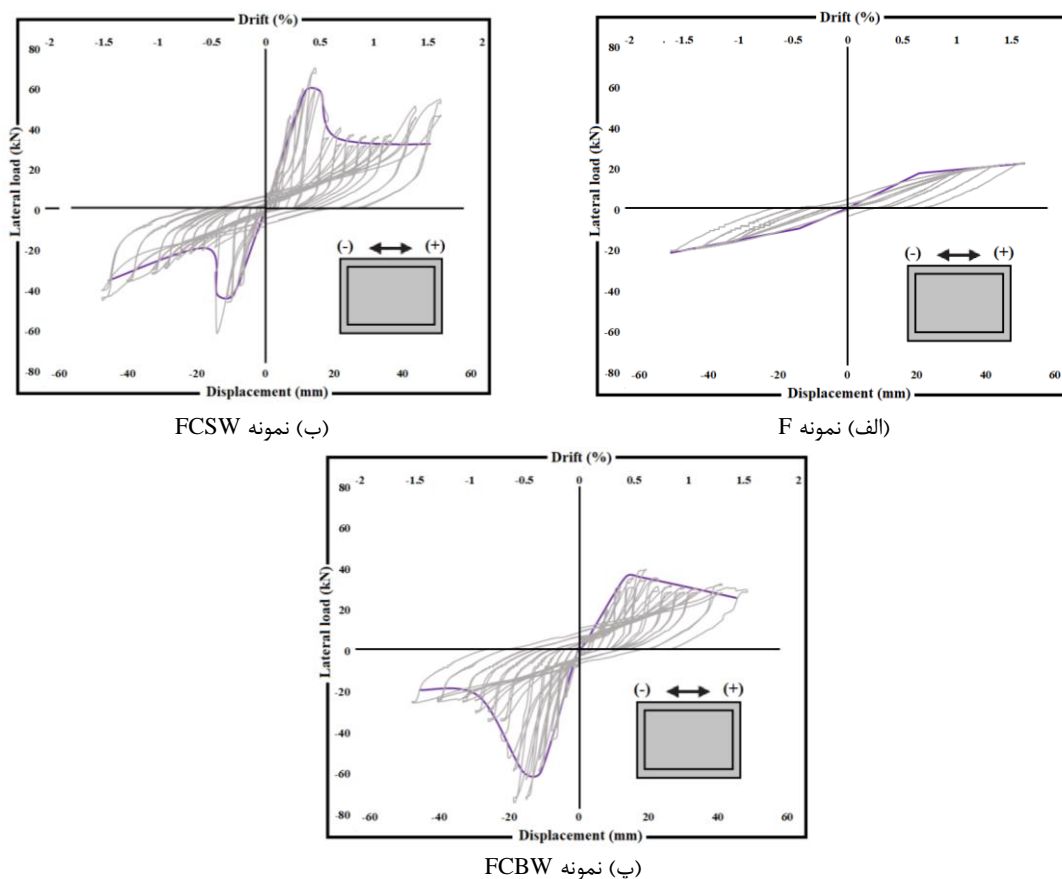
۴- بحث و بررسی نتایج

۴-۱- مدهای شکست

در این قسمت مدهای شکست و نحوه ترک‌خوردگی نمونه‌ها ارائه خواهد شد که برای تحلیل، بررسی و تفسیر منحنی‌ها استفاده می‌شوند. نمونه‌های FCSW و FCBW رفتار مشابهی را در طول آزمایش‌های درون صفحه از خود نشان دادند. در هر دو نمونه، شروع ترک‌خوردگی در نما در تغییر شکل نسبی ۰/۴ درصد از گوشه‌ها رخ داده است. در ادامه آزمایش، در تغییر شکل نسبی ۰/۶ درصد ترک‌خوردگی‌های نما در سطوح بیشتری گسترده گردید. تقریباً در نمونه با نمای سنگی در

جدول ۲- نمایی شماتیک از خسارات‌های وارده به نمونه‌ها

FCBW	FCSW	نمونه تغییر شکل جانبی (درصد)
 <p>بدون تغییر</p>	 <p>بدون تغییر</p>	۰/۴
 <p>ترک در گوشه‌ها</p>	 <p>ترک در گوشه‌ها</p>	۰/۶
 <p>جداشدگی از ستون فلزی</p>	 <p>ترک‌ها در گوشه</p>	۱
 <p>خردشدن سفال</p>	 <p>ترک‌ها در گوشه</p>	۱/۲
 <p>خردشدن سفال</p>	 <p>گسترش ترک‌های دیوار</p>	۱/۴
 <p>ریختن سفال و آجرنما</p>	 <p>ریختن نازک کاری</p>	۱/۸
 <p>جداشدگی نما از قاب</p>	 <p>خردشدن سفال</p>	۲
 <p>ترک خوردگی و جداشدگی</p>	 <p>ریزش سفال‌ها</p>	۲/۴
 <p>جداشدگی کامل قاب از دیوار</p>	 <p>افتادن دیوار</p>	۲/۸



نمونه FCSW (ب)

نمونه F (الف)

نمونه FCBW (پ)

شکل ۴- تغییرات چرخه‌ای نیرو- تغییر مکان و پوش دسته منحنی نمونه‌ها

فولادی حادث گردیده و این جدایی در مراحل بعدی به سمت میانه دیوار پشتیان پیشروی کرده است. در این حالت، زوال سختی و مقاومت مصالح مشاهده می‌شود. به علت زوال سختی، منحنی هیستریزس جمع شده و پدیده جمع‌شدگی رخ می‌دهد. بنابراین با زوال سختی و مقاومت در سیکل‌های متعدد، سطح زیر منحنی هیستریزس کاهش یافته و توان اتلاف انرژی عضو پایین می‌آید. در اکثر مصالح سازه‌ای شاهد چنین رفتاری می‌باشیم. شکل ۵- ب، نمایی از نمودار انرژی تلف شده در هر تغییر مکان برای نمونه FCSW را نشان می‌دهد.

۴-۲-۳- نمونه FCBW

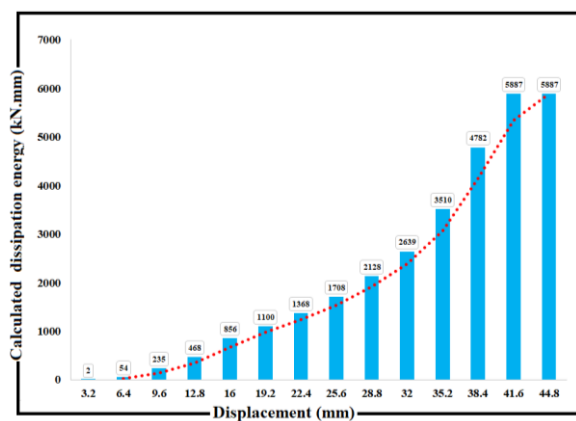
در شکل ۴- پ، نمایی از تغییرات نیرو- تغییر مکان (دریفت) برای نمونه FCBW نشان داده شده است. حداکثر نیروی ثبت شده برای این نمونه برابر است با ۳۵ کیلونیوتن در فشار در تغییر مکان ۱۴ میلی‌متر (جهت بارگذاری از چپ به راست) و ۶۰ کیلونیوتن در کشش در

۴-۲-۲- نمونه FCSW

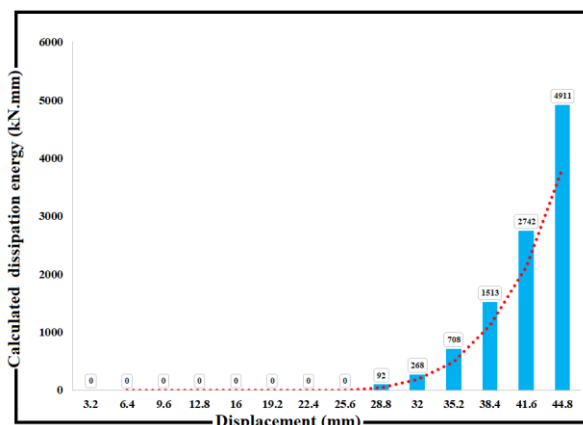
در شکل ۴- ب، نمایی از تغییرات نیرو- تغییر مکان (دریفت) برای نمونه FCSW نشان داده شده است. حداکثر نیروی ثبت شده برای این نمونه برابر است با ۵۸ کیلونیوتن در فشار در تغییر مکان ۱۸/۲ میلی‌متر (جهت بارگذاری از چپ به راست) و ۴۳ کیلونیوتن در کشش در تغییر مکان ۱۵/۴۰ میلی‌متر (جهت بارگذاری از راست به چپ) است. میانگین حداکثر بارگذاری برابر است با ۵۰/۵۰ کیلونیوتن در میانگین تغییر مکان ۱۶/۸۰ میلی‌متر است. با توجه به منحنی نیرو- تغییر مکان نمونه FCSW دارای رفتار برشی است. پدیده لاغری در این نمونه به دلیل باز بسته شدن ترک‌ها مشاهده شد. رفتار دیوار در کشش تا محدوده تغییر مکان ۱۴ میلی‌متر در کشش و تا محدوده ۱۴/۲ میلی‌متر در فشار در محدوده الاستیک بوده و از این تغییر مکان‌ها به بعد وارد ترک‌خوردگی و گسیختگی موضعی مؤثر شده است. عملاً در این تغییر شکل، جداسازی مساحت قابل توجهی نما از قاب‌های

تغییرمکان ۱۶/۸ میلیمتر (جهت بارگذاری از راست به

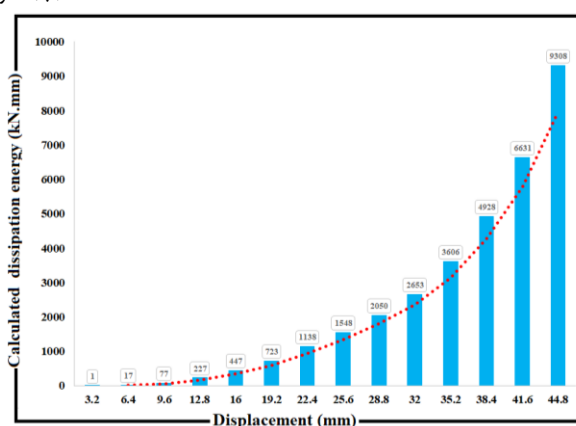
چپ) است.



فCSW نمونه (ب)



F نمونه (الف)



FCBW نمونه (پ)

شکل ۵- نمودار انرژی تلف شده در هر تغییرمکان

مقاومت مصالح می‌باشیم. به علت زوال سختی، منحنی هیستریزیس جمع شده و پدیده جمع‌شدگی رخ می‌دهد. بنابراین با زوال سختی و مقاومت در سیکل‌های متعدد، سطح زیر منحنی هیستریزیس کاهش یافته و توان اتلاف انرژی عضو پایین می‌آید. شکل ۵- پ، نمایی از نمودار انرژی تلف شده در هر تغییرمکان برای نمونه FCBW را نشان می‌دهد.

۴-۳- مقایسه منحنی پوش نمونه‌ها

در این قسمت، منحنی پوش نمودارهای چرخه‌ای نمونه‌ها با یکدیگر مقایسه می‌شوند (شکل ۶). نمونه FCSW بیشترین تغییرمکان را نسبت به سایر نمونه‌ها داراست و نمونه FCS بیشترین میزان تحمل نیرو را داشته است.

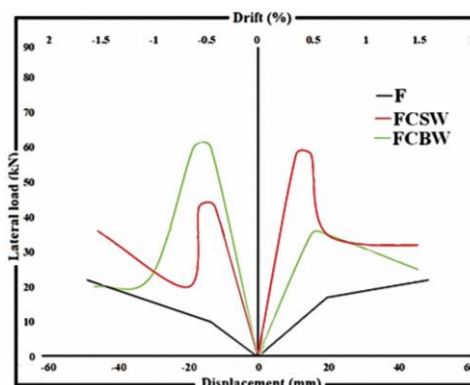
میانگین حداکثر بارگذاری برابر است با ۴۷/۵ کیلونیوتن در میانگین تغییرمکان ۱۵/۴ میلیمتر است. با توجه به منحنی نیرو- تغییرمکان نمونه FCBW دارای رفتار برشی است. پدیده لاغری در این نمونه به دلیل باز بسته شدن ترک‌ها مشاهده شد. رفتار دیوار در کشش تا محدوده تغییرمکان ۱۴ میلیمتر در کشش و تا محدوده ۱۲/۳۲ میلیمتر در فشار در محدوده الاستیک بوده و از این تغییرمکان‌ها به بعد وارد ترک‌خوردگی و گسیختگی موضعی مؤثر شده است. نحوه و میزان افت مقاومت در این نمونه نسبت به نمونه FCSW با روندی تدریجی به‌گونه‌ای شکل گرفته است که این رفتار به دلیل ابعاد کوچک‌تر نمای آجری نسبت به نمای سنگی می‌باشد که قابلیت تحمل تغییرشکل‌های جانبی همراه با سازه را امکان‌پذیرتر می‌سازد. در این حالت، شاهد زوال سختی و

در شکل ۸-ب، منحنی ایده‌آل نیرو- تغییرمکان نمونه FCSW نشان داده شده است. به واسطه تقریب دوخطی مقاومت تسلیم در قسمت مثبت منحنی برابر با ۵۴ کیلونیوتن در تغییرمکان ۸ میلی‌متر و در قسمت منفی منحنی برابر با ۴۰ کیلونیوتن و در تغییرمکان ۹ میلی‌متر به دست آمده است. سختی مؤثر در قسمت مثبت منحنی برابر با ۳/۶۵ کیلونیوتن بر میلی‌متر و در قسمت منفی منحنی برابر با ۲/۷۰ کیلونیوتن بر میلی‌متر است.

۴-۴-۳- نمونه FCBW

در شکل ۸-پ، منحنی ایده‌آل نیرو- تغییرمکان نمونه FCBW نشان داده شده است. به واسطه تقریب دوخطی مقاومت تسلیم در قسمت مثبت منحنی برابر با ۳۱ کیلونیوتن در تغییرمکان ۱۱ میلی‌متر و در قسمت منفی منحنی برابر با ۵۷ کیلونیوتن و در تغییرمکان ۱۰ میلی‌متر به دست آمده است. سختی مؤثر در قسمت مثبت منحنی برابر با ۱/۲۵ کیلونیوتن بر میلی‌متر و در قسمت منفی منحنی برابر با ۳/۳۰ کیلونیوتن بر میلی‌متر است.

در حالت کلی، مقایسه رفتار چرخه‌ای و نمودارهای پوش برای هر دو نمونه FCSW و FCBW با نمونه F نشان می‌دهد، سختی اولیه و مقاومت اولیه نمونه‌های دیوار و نمای چسبیده به آن به دلیل مشارکت نما افزایش می‌یابد. در مراحل بعدی، مقاومت اصطکاکی بین نما و دیوار پشتیبان، یارای تحمل تنش‌ها و تغییرشکل‌های وارده نبوده، و به تدریج از محل اتصال نما به قاب (در محل تیر و ستون) شروع به جدا شدن از مجموعه می‌کند و به تبع آن مقاومت و سختی مجموعه کاهش می‌یابد. این زوال تا زمان جدا شدن نمای در کل سطح ادامه می‌یابد. شایان ذکر است، طبق مشاهدات صورت گرفته، به دلیل چسبیدن نما به دیوار پشتیبان، اثرات اصطکاکی و تغییرشکل‌های برشی همزمان به دیوار پشتیبان نیز منتقل گردیده و ترک‌های جزئی قطری در دیوارهای پشتیبان دیده می‌شود. در واقع این چسبندگی منجر به درگیر شدن دیوار پشتیبان با حرکت‌های جانبی و تحت آسیب دیدگی قرار گرفتن آن نیز می‌شود.



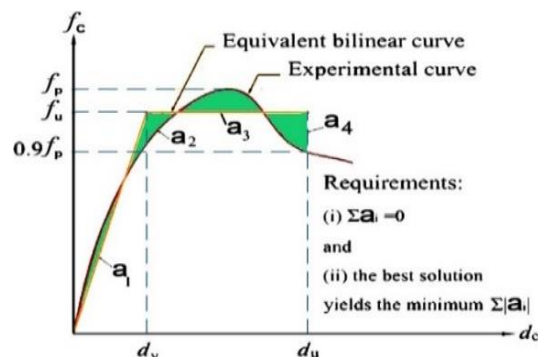
شکل ۶- منحنی پوش نمودارهای چرخه‌ای نمونه‌ها

۴-۴-۴- منحنی دوخطی مساحت نمونه‌ها

بر اساس منحنی دوخطی مساحت معادل (شکل ۷)، مشخصات چرخه‌ای مختلف مانند مقاومت حداکثر، جابه‌جایی نهایی، مقاومت تسلیم، جابه‌جایی تسلیم، شکل‌پذیری، مقاومت مؤثر برای هر نمونه محاسبه می‌شود [۳۵].

۴-۴-۱- نمونه F

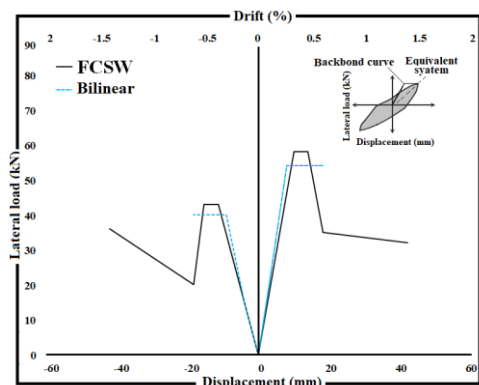
در شکل ۸-الف، منحنی ایده‌آل نیرو- تغییرمکان نمونه F نشان داده شده است. به واسطه تقریب دوخطی مقاومت تسلیم در قسمت مثبت منحنی برابر با ۱۹ کیلونیوتن در تغییرمکان ۱۸/۲ میلی‌متر و در قسمت منفی منحنی برابر با ۱۷/۵ کیلونیوتن و در تغییرمکان ۲۲/۵ میلی‌متر به دست آمده است. سختی مؤثر در قسمت مثبت منحنی برابر با ۰/۵۸ کیلونیوتن بر میلی‌متر و در قسمت منفی منحنی برابر با ۰/۴۹ کیلونیوتن بر میلی‌متر است.



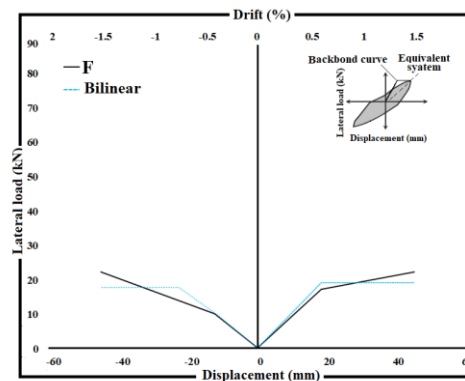
شکل ۷- تعریف منحنی دوخطی معادل برای ارزیابی نسبت

شکل‌پذیری [۲۳]

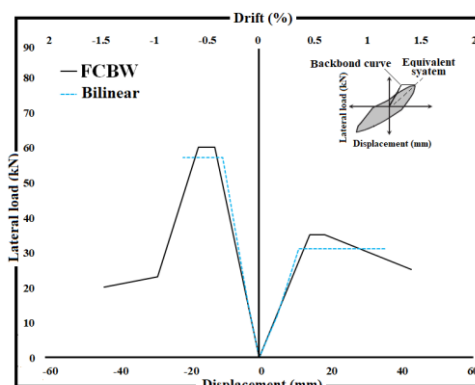
۴-۴-۲- نمونه FCSW



فCSW نمونه (ب)



F نمونه (الف)



FCBW نمونه (پ)

شکل ۸- منحنی ایده‌آل نیرو- تغییر مکان نمونه‌ها

۴- نتیجه‌گیری

بارگذاری و دلیل عمده وقوع ترک و شکست در نما می‌باشد.

(پ) وجود نمای چسبیده نسبت به قاب ساده باعث افزایش حدود ۲ برابری مقاومت بیشینه در هر دو نما می‌گردد.

(ت) نمای سنگی باعث افزایش سختی اولیه ۶ برابری و نمای آجری باعث افزایش سختی اولیه حدود ۴ برابری نسبت به قاب بدون نما می‌شود.

(ث) افت مقاومت ناشی از جداسازی نما از دیوار پشتیبان در نمای سنگی، آبی و در نمای آجری، تدریجی است. این مسئله به دلیل تفاوت در ابعاد نماست. در واقع نماهای سنگی ریزش‌های ناگهانی و آبی بیشتری را در زلزله تجربه می‌نمایند.

(ج) علی‌رغم رعایت جزئیات مناسب نگهدارنده‌های دیوار در این نمونه‌ها، در تغییر شکل‌های جانبی ۲ درصد باعث ایجاد تنش در دیوارها و نهایتاً این

مهم‌ترین هدف در این مطالعه، بررسی تأثیر مصالح در رفتار دیوارهای بیرونی و نماهای ساختمانی براساس روش‌های اجرایی متداول موجود است. بر این اساس تعداد سه عدد نمونه بارهای جانبی رفت‌وبرگشتی و به‌صورت جابه‌جایی کنترل مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصل از رفتار آنها در قالب، الگوهای شکست، منحنی‌های چرخه‌ای پوش، دوخطی، شکل‌پذیری، کاهش سختی معادل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق مبتنی بر روش‌های آزمایشگاهی است. نتایج به‌دست آمده به شرح زیر است:

(الف) جزئیات اجرایی متداول، پاسخگوی رفتار لرزه‌ای قابل انتظار از سازه، دیوار پشتیبان و نما نمی‌باشد.

(ب) اتصال و چسبیدن نما به دیوار پشتیبان، به معنای مشارکت نما و سازه در مراحل اولیه

نتایج آن قابلیت تعمیم پیدا خواهد کرد. پیشنهاد می‌شود این تحقیقات با ساخت نمونه‌ها با تعداد دهانه و طبقه بیشتر، نوع دیوار پشتیبان متفاوت، جزئیات جداسازی دیوار پشتیبان با میلگرد بستر، تأثیرات اثرات متقابل مصالح مختلف، تغییرات محیطی نظیر دما، رطوبت، تابش مستقیم، تابش یک‌طرفه، مطالعه اثرات طولانی مدت و خستگی مصالح و همچنین ارائه جزئیات و راهکارهای عملی برای رفع مسائل و مشکلات اجرایی نماهای متداول صورت گیرد.

تنش‌ها در دیوار باعث ایجاد ترک‌های قطری در نما می‌شوند و مؤلفه عمود بر سطح آن باعث تخریب نما می‌گردد.
(چ) نتایج حاصل از این آزمایش‌ها بیانگر تغییرات سختی و مقاومت سازه براساس نوع نما و نیز تأثیر قابل توجه آن در رفتار دینامیکی سازه تحت بارهای جانبی است.
نتایج حاصله در این تحقیق با انجام آزمایشات بیشتر با تنوع و تعداد نمونه‌های بیشتر، دقیق‌تر شده و

References

- [1] Building and House Research Center (BHRC), Preliminary Report for Kermanshah-Sarpolezahab 96/08/21 Seismic Report, 2018. [In Persian]
- [2] Tabeshpour MR, Noorifard A. Behavior of building with eccentrically braced frame and infill wall in the Sarpol-E Zahab earthquake. Civil Infrastructure Researches. 2020 Aug 22; 6(1): 29-40. doi: 10.22091/cer.2020.5409.1201 [In Persian]
- [3] American Society of Civil Engineers. ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. 2016.
- [4] Federal Emergency and Management Agency, FEMA E74, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage-Practical Guide. 2012.
- [5] McGinley WM, Hamoush S. Seismic masonry veneer: quazi-static testing of wood stud backed clay masonry veneer walls. In Structures Congress 2008: Crossing Borders. 2008 1-10. doi: 10.1061/41016(314)220
- [6] Reneckis D, LaFave JM. Out-of-plane seismic performance and detailing of brick veneer walls. Journal of structural engineering. 2010 Jul; 136(7): 781-794. doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.000016
- [7] Okail HO, Shing PB, Klingner RE, McGinley WM. Performance of clay masonry veneer in wood-stud walls subjected to out-of-plane seismic loads. Earthquake engineering & structural dynamics. 2010 Nov; 39(14): 1585-1609. doi: 10.1002/eqe.999
- [8] Estekanchi HE, Alembagheri M. Seismic analysis of steel liquid storage tanks by endurance time method. Thin-Walled Structures. 2012 Jan 1; 50(1): 14-23. doi: 10.1016/j.tws.2011.08.015
- [9] Okail HO, Shing PB, McGinley WM, Klingner RE, Jo S, McLean DI. Shaking-table tests of a full-scale single-story masonry veneer wood-frame structure. Earthquake engineering & structural dynamics. 2011 Apr 25; 40(5): 509-530. doi: 10.1002/eqe.1045
- [10] Turek M, Ventura CE, Kuan S. In-plane shake-table testing of GFRP-strengthened concrete masonry walls. Earthquake Spectra. 2007 Feb; 23(1): 223-237. doi: 10.1193/1.2429564
- [11] Ardito R, Taliervo A. Flexural capacity of long-span transversely loaded hollow block masonry walls. Construction and Building Materials. 2019 Sep 30; 220: 489-502. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.042
- [12] Desai N, McGinley WM. A study of the out-of-plane performance of brick veneer wall systems in medium rise buildings under seismic loads. Engineering Structures. 2013 Mar 1; 48: 683-694. doi: 10.1016/j.engstruct.2012.12.006
- [13] Toubia EA, Lintz JM. In-Plane Loading of Brick Veneer over Wood Shear Walls. The Masonry Society Journal. 2013; 31(1).
- [14] Marziale SA, Toubia EA. Analysis of brick veneer on concrete masonry wall subjected to in-plane loads. In Structures 2015 Jun 1; 2: 1-7. doi: 10.1016/j.istruc.2014.11.001
- [15] Minaie E, Moon FL, Hamid AA. Nonlinear finite element modeling of reinforced masonry shear walls for bidirectional loading response. Finite Elements in Analysis and Design. 2014 Jul 1; 84: 44-53. doi: 10.1016/j.finel.2014.02.001
- [16] Pereira C, Silva A, de Brito J, Silvestre JD. Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders. Construction and Building Materials. 2020 Jul 20; 249: 118743. doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.118743
- [17] Qing Y, Wang CL, Meng S, Zeng B. Experimental study on the seismic performance of precast concrete columns with thread-bolt combination couplers. Engineering Structures. 2022 Jan 15; 251: 113461. doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2021.113461

- [18] Wang P, Milani G, Li S. A novel Lower Bound Limit Analysis model with hexahedron elements for the failure analysis of laboratory and thin infill masonry walls in two-way bending. *Engineering Structures*. 2022 Aug 15; 265: 114449. doi: **10.1016/J.ENGSTRUCT.2022.114449**
- [19] Hejazi M, Hoseyni M, Çiftçi A. In-plane cyclic behaviour of half-timbered walls with fired brick infill. *Journal of Building Engineering*. 2022 Aug 15; 54: 104580. doi: **10.1016/J.JOBE.2022.104580**
- [20] Khalili MR, Baghmisheh AG, Estekanchi HE. Seismic damage and life cycle cost assessment of unanchored brick masonry veneers. *Engineering Structures*. 2022 Jun 1; 260: 114187. doi: **10.1016/J.ENGSTRUCT.2022.114187**
- [21] Bauer EL, Souza AL. Failure patterns associated with facade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation. *Construction and Building Materials*. 2022 Sep 12; 347: 128563. doi: **10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128563**
- [22] Reneckis D, LaFave JM. Seismic fragility assessment of residential anchored brick veneer walls. In 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering 2010.
- [23] Abrams DP. Strength and behavior of unreinforced masonry elements. 10th World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain. 1992; 3475-3480.
- [24] Oan AF, Shrive NG. A simple design model for the diagonal shear of partially grouted concrete masonry panels. In 9th Int. Mason Conf. 2014; 1-11.
- [25] Turek M, Ventura CE, Kuan S. In-plane shake-table testing of GFRP-strengthened concrete masonry walls. *Earthquake Spectra*. 2007 Feb; 23(1): 223-237. doi: **10.1193/1.2429564**
- [26] Ardito R, Talierecio A. Flexural capacity of long-span transversely loaded hollow block masonry walls. *Construction and Building Materials*. 2019 Sep 30; 220: 489-502. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2019.06.042**
- [27] Vicente RS, Rodrigues H, Varum H, Costa A, Mendes da Silva JA. Performance of masonry enclosure walls: lessons learned from recent earthquakes. *Earthquake engineering and engineering vibration*. 2012 Mar; 11: 23-34. doi: **10.1007/s11803-012-0095-3**
- [28] D'Ayala DF, Paganoni S. Assessment and analysis of damage in L'Aquila historic city centre after 6th April 2009. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2011 Feb; 9: 81-104. doi: **10.1007/s10518-010-9224-4**
- [29] Magenes G, Penna A, Rota M, Galasco A, Senaldi I. Shaking table test of a full scale stone masonry building with stiffened floor and roof diaphragms. 15th WCEE (electronic source). 2012 Sep.
- [30] Neto N, de Brito J. Validation of an inspection and diagnosis system for anomalies in natural stone cladding (NSC). *Construction and Building Materials*. 2012 May 1; 30: 224-236. doi: **10.1016/j.conbuildmat.2011.12.032**
- [31] ASTM C-67. Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile. ASTM International. 2019.
- [32] ASTM C469-02. American Society for Testing and Materials: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM Standard Book 2002.
- [33] Shabdin M, Khajeh Ahmad Attari N, Zargarani M. Experimental study on seismic behavior of unreinforced masonry (URM) brick walls strengthened in the boundaries with shotcrete. *Journal of Earthquake Engineering*. 2021 Jun 7; 25(7): 1381-1407. doi: **10.1080/13632469.2019.1577763**
- [34] FEMA 461. Interim Protocols For Determining Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components Through Laboratory Testing. 2007.
- [35] Shokrzadeh MR, Nateghi-Alahi F. Evaluation of hybrid NSM-CFRP technical bars and FRP sheets for seismic rehabilitation of a concrete bridge pier. *Bridge Structures*. 2022 Jan 1; 18(3-4): 75-88. doi: **10.3233/BRS-290180**