

مطالعه‌ی آزمایشگاهی طرح ترمیم یک‌طرفه‌ی دیوارهای مصالح بنایی

صدمه دیده در زلزله

حمیدرضا فرونجی (کارشناس ارشد)

عبدالرضا سروقدهقدم (استادیار)

پژوهشکده سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

ساختمان‌های آجری غیر مسلح از متداول‌ترین و قدیمی‌ترین نوع ساختمان در ایران هستند. در این سازه‌ها از دیوار به‌عنوان اعضاء باربر ثقیلی و جانبی زلزله استفاده می‌شود. از آنجا که در ساخت این دیوارها از مصالح شکننده استفاده می‌شود، ماهیت این ساختمان‌ها غیر شکل‌پذیر است و هنگامی که نیروی وارده از حد مقاومت عضو بیشتر شود آن عضو از باربری خارج می‌شود. این رفتار کلیه‌ی دیوارهای مصالح بنایی را که تحت اثر بار جانبی قرار گیرند شامل می‌شود.

با وقوع یک زلزله آسیب‌های زیادی به انواع سازه‌ها وارد می‌شود. این آسیب‌ها را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: ۱. اعضاء با تغییر شکل ماندگار؛ ۲. اعضاء ترک‌خورده. برای کاربرد مجدد قسمت‌های آسیب‌دیده، بازسازی اصولی‌ترین روش است. می‌توان اعضاء ترک‌خورده را با روش‌های متفاوتی ترمیم کرد تا مقاومت از دست رفته‌ی خود را به دست آورند. این موضوع از دو جنبه حائز اهمیت است: اولاً تعداد اعضاء ترک‌خورده بعد از زمین لرزه بسیار زیادند، لذا تخریب و بازسازی آنها نیاز به صرف هزینه و زمان بسیار دارد؛ ثانیاً به‌علت از دست رفتن مقاومت جانبی ناشی از ترک‌خوردگی المان‌های باربر، سازه در مقابل زمین لرزه‌ی آتی بسیار آسیب‌پذیر خواهد شد. در این تحقیق طرحی برای ترمیم یک‌طرفه‌ی دیوارهای مصالح بنایی آسیب دیده ارائه شده و رفتار آزمایشگاهی دیوار سالم و دیوار صدمه دیده‌ی مرمت شده، با مقیاس ۰/۵ تحت بارگذاری چرخه‌یی بررسی می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که این طرح باعث بازگشت درصد عمده‌یی از مشخصات از دست رفته‌ی دیوار آسیب دیده شده است.

مقدمه

از مقاومت خود را از دست داده‌اند. لذا نمی‌توانند در آینده در مقابل زلزله‌یی مشابه مقاومت کنند. بنابراین گزینه‌های مختلفی برای افزایش مقاومت آنها وجود دارد، از جمله می‌توان به بازسازی، ترمیم، اضافه‌کردن اعضاء جدید و غیره اشاره کرد روش‌های ترمیم مختلفی ارائه شده است [۱-۶]، که با توجه فنی و اقتصادی می‌توان از آنها استفاده کرد. ترمیم و به‌سازی اعضاء صدمه دیده یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها است که انجام آن در سطح وسیع مقرون به‌صرفه است ولی از آنجا که کم‌تر در باره‌ی جزئیات آن تحقیق و آزمایش شده، جایگاه خود را در بازسازی ساختمان‌ها بعد از زلزله به دست نیابورده است. زلزله‌ی مورخ ۱۳۸۲/۱۱/۵ بم، به‌علت وسعت آسیب دیدگی ساختمان‌های آجری زمینه‌ساز انجام این تحقیق شد. در این تحقیق یک روش طرح ترمیم یک‌طرفه‌ی دیوارهای مصالح بنایی صدمه دیده در زلزله به‌صورت آزمایشگاهی با مقیاس ۰/۵ تحت اثر بارگذاری جانبی چرخه‌یی مطالعه شده است.

ساختمان‌های آجری در معماری ایرانی از اهمیت خاصی برخوردارند. این ساختمان‌ها به‌علت بومی بودن مصالح و روش‌های ابتدایی ساخت طی نیم قرن اخیر به سرعت گسترش یافتند، به‌طوری که هم اکنون در صد عمده‌یی از ساختمان‌های موجود یا در حال ساخت، از این گروه‌اند. در ساخت این ساختمان‌ها از مصالح ترد استفاده می‌شود، لذا ماهیت این ساختمان‌ها شکل‌ناپذیر است. بر همین اساس، در استاندارد ۲۸۵۰ [۷] برای این ساختمان‌ها ضریب رفتار مشخص نشده است و در صورت استفاده از دیوارهای آجری مسلح ضریب رفتار ۴ پیشنهاد شده است. در این ساختمان‌ها از دیوار به‌عنوان عضو باربر ثقیلی و جانبی زلزله استفاده می‌شود. در ساختمان‌های غیر مسلح اگر نیروی وارده از مقاومت دیوار بیشتر باشد، آن عضو از باربری خارج می‌شود؛ لذا در صورت وقوع زلزله‌ی قوی آسیب‌پذیری این سازه‌ها بسیار زیاد است و به‌علت گستردگی، این نوع سازه‌ها خسارت جانی و مالی زیادی بر جا می‌گذارند. پس از وقوع زلزله، ساختمان‌های مصالح بنایی غیرمسلح آسیب‌دیده را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: ۱. ساختمان‌هایی که تغییر شکل ماندگار داده‌اند و می‌بایست بازسازی شوند؛ ۲. ساختمان‌هایی که ترک خورده‌اند و از حالت رفتار ارتجاعی خارج شده‌اند و درصدی

نحوه و فرضیات ساخت و نصب مدل

در هر کار آزمایشگاهی لازم است قبل از شروع کار و محاسبات به محدودیت‌های موجود در زمینه‌های مختلف، از جمله امکانات آزمایشگاه،

۲. آزمایشات

۲.۱.۲. آزمایش قاب فولادی به همراه میان‌قاب

۲.۱.۲.۱. جزئیات دیوار

در این آزمایش قاب فولادی به همراه میان‌قاب بررسی شد. بعد از نصب کرنش سنج‌ها می‌بایست دیوار مصالح بنایی داخل قاب چیده شود. از آنجا که عرض بال ستون ۱۲ سانتی‌متر و عرض آجرها ۱۱ سانتی‌متر است، لذا برای تأمین ضخامت رویه‌ی گچ می‌بایست عرض ستون را به‌اندازه‌ی ۳ سانتی‌متر افزایش می‌داد تا داخل آن گچ‌کاری انجام شود. در طرف دیگر دیوار یک لایه‌ی سیمان‌کاری به ضخامت ۱ سانتی‌متر انجام شد. برای اضافه کردن عرض ستون از تسمه‌ی ۵ سانتی‌متری به ضخامت ۳ میلی‌متر استفاده شد که روی لبه‌ی تیر و ستون در یک طرف قرار گرفت و از داخل جوش‌های منقطع به فواصل ۱۰ سانتی‌متر انجام شد.

از آجرهای فشاری و ملات ماسه و سیمان به‌صورت رایج برای دیوار چینی استفاده شد. ضخامت ملات‌ها حدود ۲ سانتی‌متر بود و دیوار با اصول کامل آجرچینی که شامل آب‌زدن آجرها قبل از مصرف و رعایت موقعیت بندهای قائم در دیوار و تراز بودن رجاها و غیره اجرا شد. در رجا آخر از آجرهای مورب که با فشار و به‌همراه ملات چیده شده‌اند استفاده شده است.

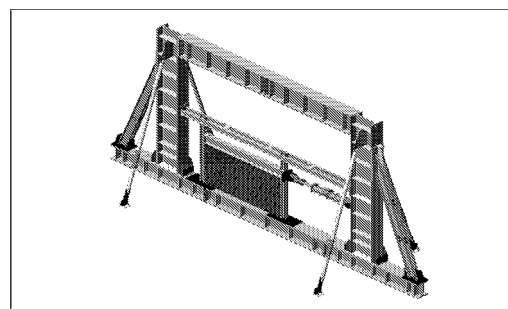
بعد از اتمام مراحل سفت‌کاری می‌بایست دو طرف دیوار اندود رویه شود. بنابراین در یک طرف همان‌طور که گفته شده به ضخامت ۱ سانتی‌متر سیمان‌کاری، و در طرف دیگر به ضخامت حدود ۳ سانتی‌متر گچ‌کاری انجام گرفت. سپس مدت ۱۵ روز این دیوار مرطوب شد و در نهایت طرف سیمان‌کاری شده آب آهک زده شد تا مسیر ترک‌خوردگی روی سطح سیمان‌کاری در هنگام آزمایش مشخص شود.

۲.۱.۲.۲. روش آزمایش

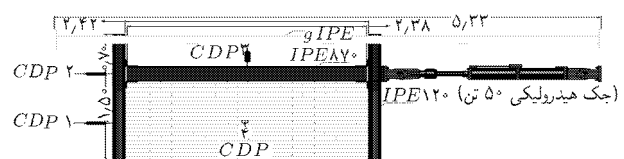
پس از آماده کردن و کنترل تجهیزات ثبت مقادیر، بارگذاری روی نمونه شروع شد. از آنجا که بین دیوار و قاب خلاصی و لقی وجود نداشت میزان بار سریعاً افزایش یافت. در گام اول با تغییر مکان ۰/۴ سانتی‌متر، نیروی ۱۲ تن اعمال شد که در گام‌های بعدی این نیرو به ۲۲ و ۲۶ تن رسید و ثابت ماند. بعد از شکست دیوار در تغییر مکان ۲۸ میلی‌متر دستور توقف آزمایش داده شد. اما برای بررسی بیشتر در مورد اثر تخریب، بارگذاری بعد از وقفه‌ی اندک آغاز شد و در نهایت تغییر مکان ۴۴ میلی‌متر به سازه اعمال شد. روند ایجاد ترک ابتدا در گوشه‌ها متمرکز بود و سپس به وسط و قطرها گسترش یافت. نمایی از ایجاد ترک در شکل ۳ آمده است. به‌علت تغییر شکل زیاد در این آزمایش اتصالات مجدداً خسارت دید و برخی از جوش‌ها شکست، اما در حین آزمایش نقصی به وجود نیامد.

مصالح، زمان و غیره، توجه خاصی شود تا با برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های لازم هنگام اجرا مشکلات کم‌تر و اجرای دقیق و سریع‌تری داشته باشیم. در این مطالعه، سعی شد تا قبل از انجام آزمایشات، محدودیت‌های اجرایی آن بررسی، و مدل‌سازی براساس این محدودیت‌ها انجام شود. با توجه به بررسی محدودیت‌ها و شناخت آنها، یک قاب دوطرفه‌ی فولادی با اتصالات مفصلی با مقیاس ۰/۵ مدل‌سازی شد، که در آن از مقاطع IPB ۱۲۰ برای ستون‌ها، و از مقطع IPE۲۷۰ برای تیر، و از مقاطع IPE۱۴۰ برای سازه‌ی نگه‌دارنده خارج از صفحه استفاده شده است. با قرارگیری آکس ستون و تیر در یک راستا میان‌قاب موردنظر به‌صورت دیوار ۱۰ سانتی‌متری در داخل قاب اجرا شد و اتصالات نیز که می‌بایست مفصلی اجرا می‌شدند با دو نشی در بالا و پایین تیر و جوشکاری جان ستون به پلیت کف اجرا شدند. مدل‌سازی دیوار یکی دیگر از مسائل مهم در این آزمایشات بود. براساس استاندارد ۲۸۰۰ [۱] دیوار سازه‌ی می‌بایست حداقل ۲۰ سانتی‌متر ضخامت داشته باشد، ولی در این قاب به‌علت مقیاس ۰/۵ ضخامت دیوار به ۱۰ سانتی‌متر محدود شد. سپس عمل‌آوری دیوار از طریق مرطوب نگه‌داشتن آن انجام شد. نمایی از نمونه‌ی مورد آزمایش، در قاب عکس‌العمل در شکل ۱ ملاحظه می‌شود.

محل‌های مورد نیاز اندازه‌گیری و مشخصات ابعادی که در هر دو آزمایش ثابت‌اند در شکل ۲ نشان داده شده است در مجموع از ۴ عدد تغییر مکان سنج مدل CDP استفاده شده است. تاریخچه‌ی بارگذاری با سرعت بارگذاری ۴mm/s، با گام‌های ۴mm، ۸mm، ۱۲mm، ۱۶mm، ۲۰mm، ۲۸mm، ۳۶mm، ۴۴mm... و تکرار دوبار در هر گام که توسط جک هیدرولیکی به‌صورت رفت و برگشتی اعمال شد.

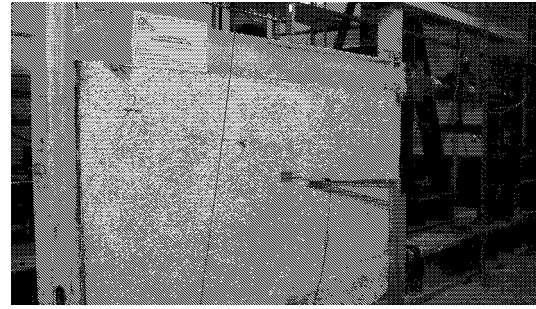


شکل ۱. نمای کلی قاب عکس‌العمل و نمونه‌ی مورد آزمایش.



شکل ۲. نمایی از موقعیت اندازه‌گیری‌ها و ابعاد نمونه.

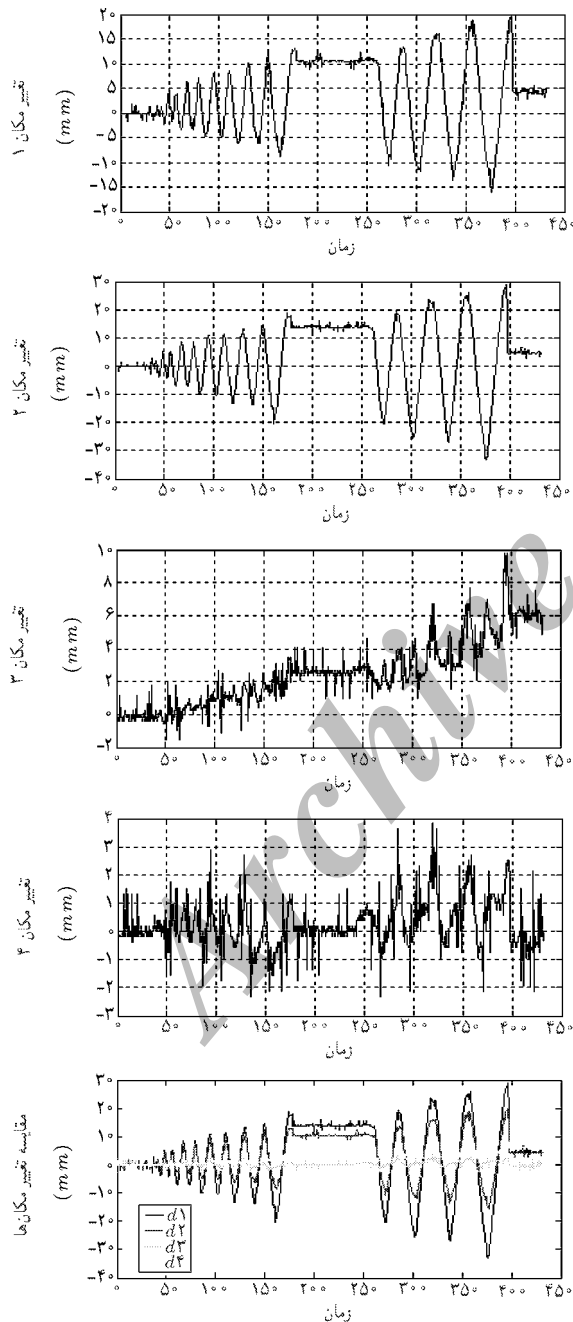
و از طرف دیوار به تیر وارد شده است. مجموع منحنی‌های تغییر مکان روی یک نمودار نیز ارائه شده است. ترک‌خوردگی نمونه‌ی مورد آزمایش به صورت همزمان در گوشه‌ها و اقطار دیوار رخ داد، اما در انتهای بارگذاری بیشتر ترک‌ها و شکستگی در گوشه‌ها اتفاق افتاد. همچنین تغییر شکل ماندگار در قاب و شکستگی جوش اتصالات مشاهده شد. نمایی از نمونه‌ی مورد آزمایش در شکل ۶ ملاحظه می‌شود.



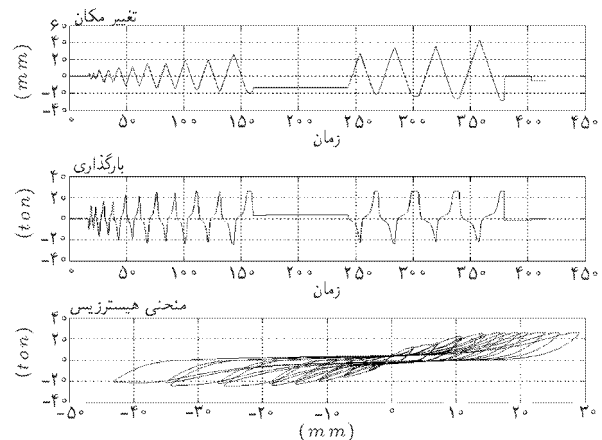
شکل ۳. نمایی از روند ترک‌خوردگی.

۳.۱.۲. تفسیر نتایج

خروجی‌های دریافتی از تجهیزات اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت و تبدیل به منحنی شد (شکل ۴) و مقادیر جابه‌جایی و بارگذاری جک در منحنی‌های جداگانه ترسیم شده. سپس مقادیر تغییر مکان - بار با یکدیگر ترکیب و منحنی هیستریزس ترسیم شده. سرعت بارگذاری 4 mm/s و حداکثر تغییر مکان 44 میلی‌متر در مدت زمان 350 ثانیه به ثبت رسیده است. ملاحظه می‌شود که نیرو بعد از افزایش تا 26 تن تقریباً ثابت ماند. به علت وقفه‌یی که در انتهای بار فشاری به قاب صورت گرفته این نمودار بریدگی‌هایی در نوک دارد و حرکت دیوار و قاب در جهت افقی باعث تغییر شکل منحنی‌های بارگذاری شده است. یکی دیگر از اطلاعات ثبت شده مربوط به تغییر مکان‌سنج‌های نصب شده است که منحنی‌ها و ترکیب آنها در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود حداکثر تغییر مکان مربوط به $CDP-2$ 34 میلی‌متر است؛ البته $CDP-1$ نیز تغییر شکل مشابه $CDP-2$ با حداکثر جابه‌جایی 20 میلی‌متر را ثبت کرده است و کم‌ترین تغییر مکان مربوط به $CDP-4$ است که مربوط به تغییر مکان خارج از صفحه و برابر $3-4$ میلی‌متر در هر طرف است و $CDP-3$ که تغییر مکان تیر را نشان می‌دهد حداکثر 10 میلی‌متر تغییر مکان داشته است که نشان می‌دهد نیروی فشاری رو به بالا



شکل ۵. منحنی‌های مربوط به تغییر مکان‌سنج‌ها.



شکل ۴. منحنی اطلاعات خروجی جک.

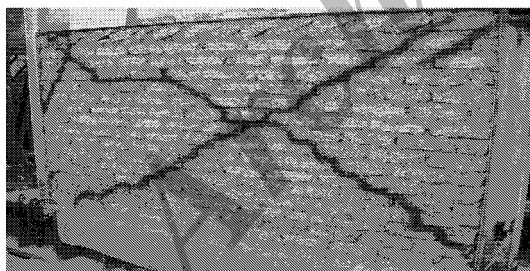
جدول ۱. نتایج به دست آمده از اطلاعات خروجی جک.

آزمایش	حلقه	شیب بارگذاری درجه	شیب باربرداری درجه	شیب کل حلقه درجه	انرژی جذب شده ژول (N/m^2)	بارگذاری فشاری (تن)	بارگذاری کششی (تن)	تغییر مکان فشاری (میلی متر)	تغییر مکان کششی (میلی متر)
آزمایش قاب فولادی به همراه میان قاب مصالح بنایی	۱	۸۸٫۲۶	۸۷٫۴۱	۸۸٫۰۷	۳۱۰۰	۱۲٫۱۴	۱۰٫۵	۳٫۴	۳٫۵۱
	۲	۸۷٫۰۹	۸۷٫۲۳	۸۷٫۸	۲۶۳۰	۱۱٫۲۵	۱۰٫۲	۳٫۴۵	۳٫۵
	۳	۸۶٫۷۷	۸۵٫۶۱	۸۷٫۱۱	۱۰۶۲۰	۱۶٫۳۵	۱۶٫۵	۷٫۲۶	۷٫۳۵
	۴	۸۴٫۸۲	۸۵٫۰۹	۸۶٫۴	۸۶۲۰	۱۵٫۸۵	۱۵٫۴	۷٫۳	۷٫۴
	۵	۸۵٫۳۲	۸۵٫۳۱	۸۶٫۳۵	۱۷۷۰۰	۲۲٫۴۵	۲۰٫۴۲	۱۰٫۷	۱۱٫۱
	۶	۸۳٫۹۵	۸۴٫۶۱	۸۵٫۶	۱۴۲۰۰	۲۱٫۱	۱۹٫۱۳	۱۱٫۰۵	۱۱٫۲۵
	۷	۸۴٫۴	۸۴٫۶۱	۸۵٫۵۸	۲۴۰۰۰	۲۴٫۷	۲۳	۱۴٫۲	۱۴٫۷۵
	۸	۸۲٫۶۷	۸۳٫۷	۸۴٫۶۸	۲۰۴۳۰	۲۴	۲۱٫۴	۱۴٫۵۶	۱۵
	۹	۸۲٫۹۷	۸۳٫۷۴	۸۴٫۶۷	۲۹۰۰۰	۲۵٫۷۵	۲۴٫۱	۱۶٫۷	۱۸٫۴۵
	۱۰	۸۱٫۰۳	۸۲٫۷۵	۸۳٫۶۵	۲۶۰۰۰	۲۵٫۵	۲۲٫۳	۱۷٫۶	۱۹
	۱۱	۸۱٫۰۷	۷۵٫۲۵	۷۹٫۸۷	۴۴۰۰۰	۲۵٫۹	۲۴٫۹	۱۹٫۷	۲۵٫۵
	۱۲	۷۷٫۸۱	۸۱٫۵۳	۸۲٫۱	۳۶۵۰۰	۲۵٫۸	۲۲٫۵	۲۱	۲۶٫۸
	۱۳	۷۷٫۸	۸۰٫۱۸	۸۱٫۴۷	۵۴۳۰۰	۲۵٫۸	۲۴٫۴	۲۳٫۴	۳۳٫۹
	۱۴	۷۳٫۱۸	۷۹٫۱۳	۷۹٫۶	۴۵۷۰۰	۲۵٫۸	۲۱٫۶	۲۶٫۱۳	۳۴٫۹
	۱۵	۷۲	۷۶٫۵۱	۷۸٫۲	۶۸۰۰۰	۲۵٫۷۵	۲۲	۲۹٫۱۲	۴۳
نهایی	-	-	-	۸۵٫۰۱	۴۰۷۰۰۰	-	-	-	-

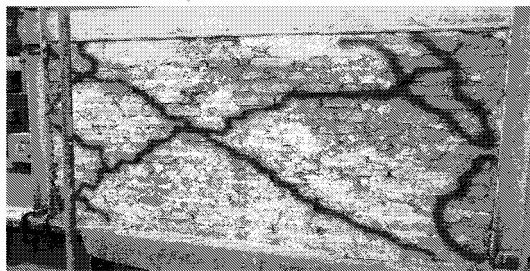
به دیوار انجام گرفت و سپس مسیر ترک خوردگی با رنگ مشخص شد. نمایی از مسیر ترک‌ها در دو طرف دیوار در شکل ۷ ملاحظه می‌شود. اندود گچ روی دیوار به ضخامت ۳ سانتی‌متر می‌بایست به خوبی تراشیده و تمیز شود زیرا اجرای طرح به‌سازی در این سطح انجام خواهد شد. وجود هر نوع گچ یا خاک و لقی مصالح روی این سطح باعث عدم چسبندگی مصالح تقویت سیمانی روی آن می‌شود. بعد از آماده شدن



شکل ۶. نمایی از موقعیت ترک‌ها بعد از آزمایش.



(الف)



(ب)

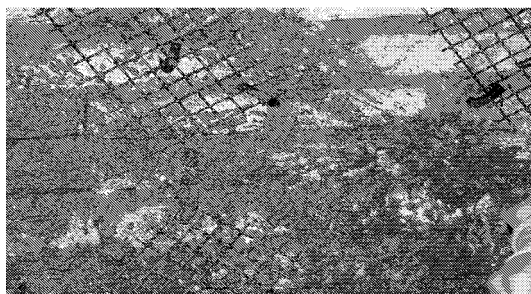
شکل ۷. نمایی از مسیر ترک‌ها در دو طرف دیوار.

یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد مطالعه، منحنی‌های هیستریزس است، لذا در جدول ۱ خصوصیات هیستریزس و نتایج حاصل از بررسی آنها مقایسه شده است. در این جدول اطلاعاتی از قبیل شیب حلقه‌ها هنگام باربرداری و بارگذاری، مقدار بارگذاری فشاری و کششی، انرژی جذب‌شده توسط هر حلقه، حداکثر نیروی اعمالی و تغییر مکان در هر حلقه، و در نهایت انرژی کل جذب شده ارائه شده است.

۲.۲. آزمایش طرح به‌سازی دیوار مصالح بنایی به صورت یک‌طرفه

۱.۱.۲. جزئیات دیوار

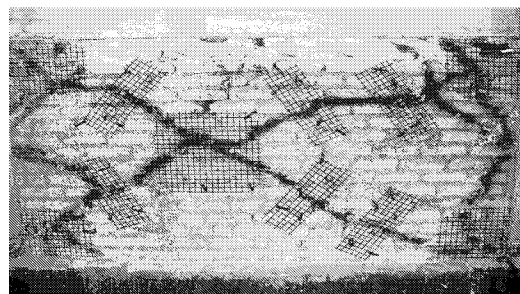
با استفاده از دیوار ترک خورده در آزمایش قبلی اجرای طرح به‌سازی با فرض دسترسی به سطح دیوار از یک طرف، و با تراشیدن نازک‌کاری دیوار در دو طرف آغاز شد. این کار با نهایت دقت و با کم‌ترین آسیب



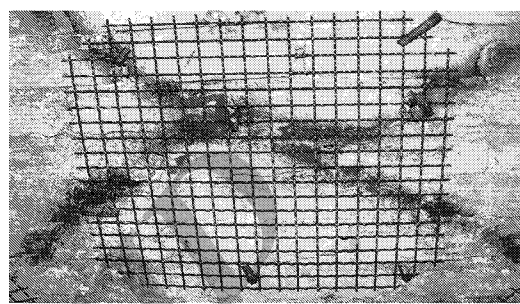
شکل ۹. نمایی از اجرای لایه‌ی اول سیمان‌کاری.



شکل ۱۰. نمایی از طرز تهیه ملات.



(الف)



(ب)

شکل ۸. نمایی از موقعیت نصب شبکه‌ی فلزی.

دیوار فوق مرطوب شد. سپس برای مشخص شدن موقعیت ترک‌ها در هنگام آزمایش، دو طرف دیوار آب آهک زده شد و پس از خشک شدن موقعیت شبکه‌های فلزی روی دیوار ترسیم شد.

۲.۱.۲. روش آزمایش

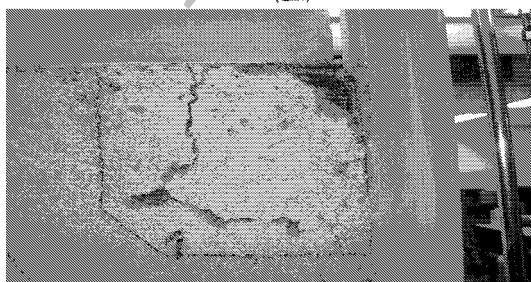
پس از انجام کنترل‌های مجدد و آماده‌بودن تجهیزات ثبت مقادیر، بارگذاری روی نمونه، همانند آزمایش قبل شروع شد. با افزایش بارگذاری ابتدا ترک‌هایی در گوشه‌های پایین دیوار اتصال ۳ و ۴، و سپس در

سطح دیوار شبکه‌ی فلزی به قطر ۴ میلی‌متر با ابعاد 50×50 سانتی‌متر برای وسط دیوار به تعداد یک عدد و 40×40 سانتی‌متر برای گوشه‌های دیوار به تعداد چهار عدد، و 20×40 سانتی‌متر برای مسیر ترک‌ها به تعداد شش عدد آماده شد. سپس با تقسیم فواصل مسیر ترک‌ها، قطعات شبکه در جای خود نصب شد.

این شبکه‌ها توسط میخ سرکج به طول 10 الی 12 سانتی‌متر و قطر 8 الی 12 میلی‌متر در فواصل حداکثر 20 سانتی‌متر به دیوار متصل شد. موقعیت نصب شبکه‌ی فلزی در شکل ۸ ملاحظه می‌شود. شبکه‌ی فلزی با فاصله‌ی حدود 2 سانتی‌متر از دیوار توسط میخ‌های سرکج به صورت مورب در بند عمودی بین دو آجر کوبیده شد. بعد از نصب تمام شبکه‌های فلزی در جای خود می‌بایست پوشش بتنی به ضخامت 3 سانتی‌متر انجام می‌دادیم. برای این منظور به جای شاتکریت از روش ساده‌ی سیمان‌کاری با دست استفاده شد. برای افزایش کارایی این روش می‌بایست در چند لایه سیمان‌کاری انجام گیرد که مهم‌ترین لایه پوشش اولیه است. لازم است با استفاده از ملات روان همراه با ضربات کوبنده‌ی ملات، مصالح ریز دانه‌ی ملات به داخل خلل و فرج دیوار وارد شود (شکل ۹). ضمناً از ریزش مصالح این لایه در لایه‌های بعدی استفاده شد. ملات مصرفی از ترکیب گروت ۲۱۸ - سیمان - ماسه به نسبت $5/1 - 1 - 6$ همراه با آب تهیه شد و از گروت ۲۱۸ برای روان‌سازی ملات و افزایش مقاومت استفاده شد (شکل ۱۰). به‌طوریکه روان‌کننده‌ی موجود در گروت با کم‌ترین آب، ملات روانی به‌وجود آورد. بعد از اتمام سیمان‌کاری روی شبکه‌ها، طرف دیگر دیوار نیز به ضخامت 1 سانتی‌متر سیمان‌کاری، و حدود 20 روز



(الف)



(ب)

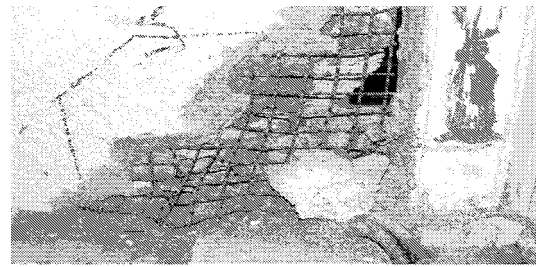
شکل ۱۱. نمایی از اتصال ۱ حین آزمایش.

است و ترک قطری ایجاد شده در مسیر ترک قبلی نیست (شکل ۱۵).

۳.۱.۲. تفسیر نتایج

خروجی‌های دریافتی از تجهیزات اندازه‌گیری مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۶) و تبدیل به منحنی شد؛ مقادیر جابه‌جایی و بارگذاری جک در منحنی‌های جداگانه ترسیم شده است. سپس مقادیر تغییر مکان - بار با یکدیگر ترکیب و منحنی هیستریزس ترسیم شد. سرعت بارگذاری 4 mm/s و حداکثر تغییر مکان 52 میلی‌متر در مدت زمان 470 ثانیه به ثبت رسیده است. حداکثر نیروی فشاری برابر 28 تن در چرخه‌ی 11 و حداکثر نیرو کششی برابر $18/8$ تن در چرخه‌ی 5 به‌وجود آمده است. تأثیر شکست نبشی در اتصال 1 و کماتش ستون در اتصال 3 و اثر آن در جابه‌جایی دیوار را می‌توان در منحنی‌های به دست آمده مشاهده کرد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، حداکثر تغییر مکان مربوط به $CDP-2$ با 23 میلی‌متر در فشار است. البته $CDP-1$ نیز تغییر



(الف)

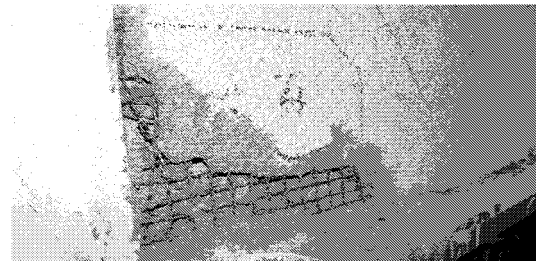


(ب)

شکل ۱۲. نمایی از اتصال ۳ حین آزمایش.

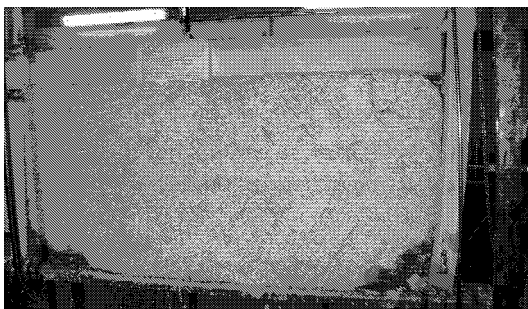


(الف)

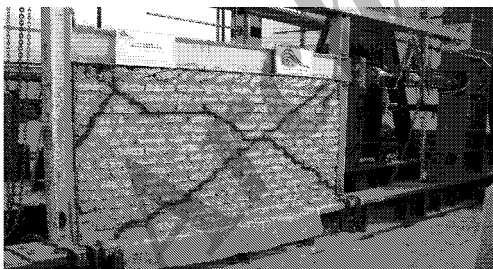


(ب)

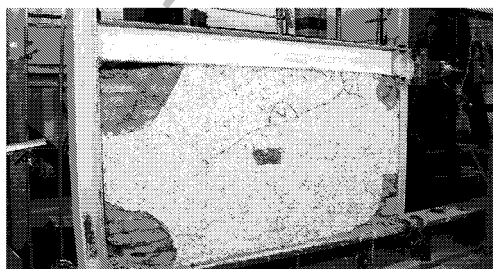
شکل ۱۳. نمایی از اتصال ۴ حین آزمایش.



شکل ۱۴. نمایی از دیوار به‌سازی شده بعد از آزمایش.



(الف)



(ب)

شکل ۱۵. نمایی از موقعیت ترک پشت دیوار، قبل و بعد از طرح به‌سازی.

گوشه‌ی بالا اتصال 1 پدیدار شد و سپس گسترش یافت تا اینکه در چرخه‌ی ششم بارگذاری، نبشی پایین اتصال 1 دچار شکستگی شد. در شکل 11 اتصال 1 در حالت متفاوت نشان داده شده است. همچنین اتصال 3 دچار تخریب زیادی شد و باعث کماتش ستون در آن قسمت شد. در شکل 12 حالت متفاوت این اتصال ملاحظه می‌شود. اتصال 4 نیز همچنانکه در شکل 13 ملاحظه می‌شود تخریب شده است. با اعمال تغییر مکان مینا، آزمایش پایان یافت. در این زمان دیوار در طرف به‌سازی شده فقط در سه گوشه ترک خوردگی داشت و ترک به‌صورت قطری، یا در مسیر ترک‌های قبلی مطابق شکل 14 دیده نمی‌شود. در طرف دیگر دیوار ملاحظه می‌شود که ترک در گوشه‌ها متمرکز

شکل مشابه ۲-CDP با حداکثر جابه‌جایی ۲۰ میلی‌متر را ثبت کرده است و کم‌ترین تغییر مکان مربوط به ۴-CDP است که مربوط به تغییر مکان خارج از صفحه برابر ۱ میلی‌متر در هر طرف است؛ اما ملاحظه می‌شود که دیوار حدود ۱ میلی‌متر جابه‌جایی ماندگار دارد. نیروی فشاری رو به بالا از طرف دیوار به تیر وارد شده است که توسط ۳-CDP ثبت شده است. مجموع منحنی‌های تغییر مکان روی یک نمودار نیز ارائه شده است.

دیگر اطلاعات ثبت شده مربوط به تغییر مکان‌سنج‌ها است که منحنی‌ها و ترکیب آنها در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

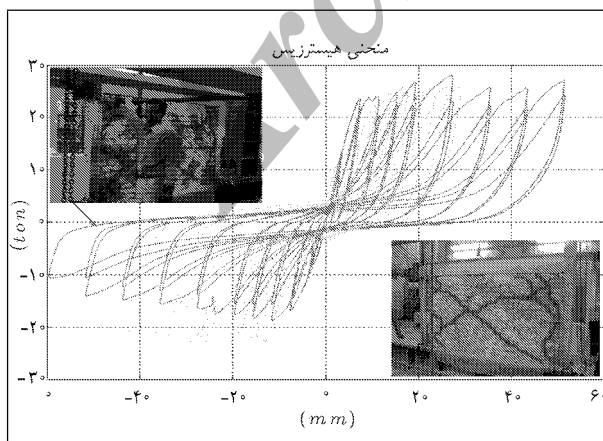
یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد مطالعه، منحنی‌های هیستریزس است؛ لذا در جدول ۲ به بررسی خصوصیات هیستریزس و مقایسه‌ی آنها می‌پردازیم. در این جدول اطلاعاتی از قبیل شیب حلقه‌ها هنگام باربرداری و بارگذاری، مقدار بارگذاری فشاری و کششی و همچنین انرژی جذب شده توسط هر حلقه و نیز حداکثر نیروی اعمالی و تغییر مکان در هر حلقه و در نهایت انرژی کل جذب شده ارائه شده است.

۳. نتیجه‌گیری

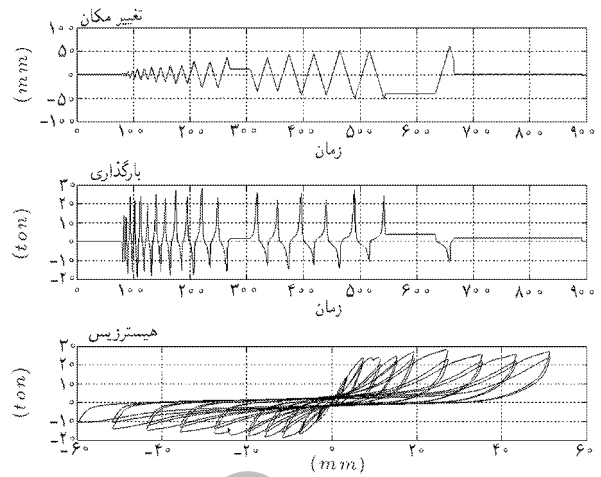
۱.۳. مقایسه آزمایشات

پس از انجام آزمایشات و به دست آوردن خروجی هر آزمایش، نتایج حاصل از آنها مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه‌ی منحنی هیستریزس دو آزمایش در شکل ۱۸ ملاحظه می‌شود.

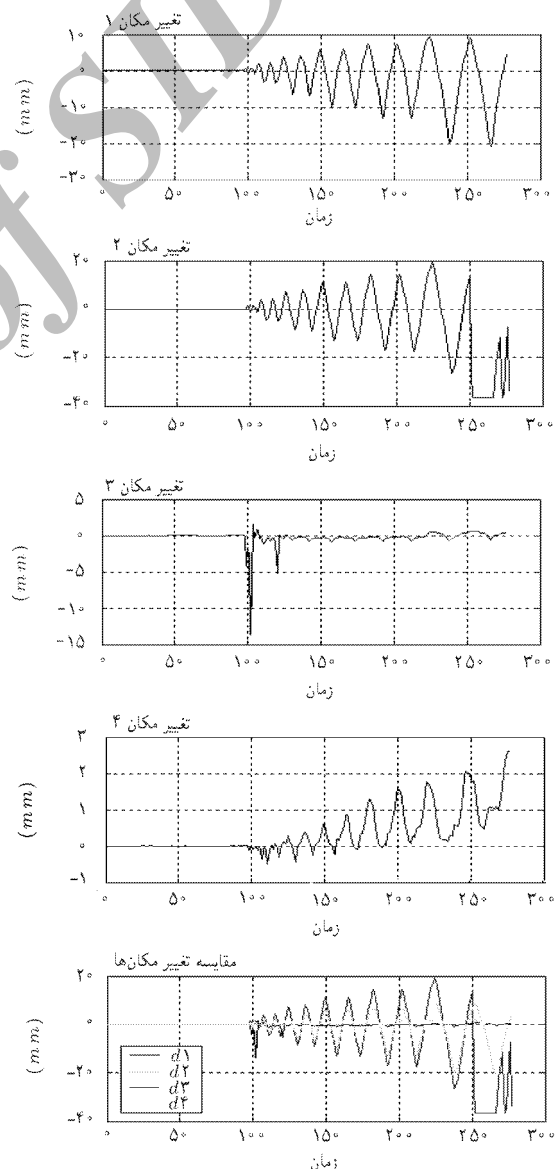
همچنین برای مقایسه‌ی عددی خصوصیات این دو آزمایش، پارامترهای مشترک آنها در حلقه‌ی ۱۲ به صورت درصدی از آزمایش قاب فولادی به همراه میان‌قاب مصالح بنایی در جدول ۳ درج شد.



شکل ۱۸. مقایسه‌ی منحنی هیستریزس دو آزمایش؛ الف) قاب فولادی به همراه میان‌قاب مصالح بنایی؛ ب) قاب فولادی به همراه طرح به‌سازی میان‌قاب صدمه دیده در الف.



شکل ۱۶. منحنی اطلاعات خروجی جک.



شکل ۱۷. منحنی‌های مربوط به تغییر مکان‌سنج‌ها.

جدول ۲. نتایج به دست آمده از اطلاعات خروجی جک.

آزمایش	حلقه	شیب بارگذاری	شیب باربرداری	شیب کل حلقه	انرژی جذب شده (ژول (N/m ²))	بارگذاری فشاری (تن)	بارگذاری کششی (تن)	تغییر مکان فشاری (میلی‌متر)	تغییر مکان کششی (میلی‌متر)
آزمایش قاب فولادی به‌همراه طرح به‌سازی دیوار مصالح بنایی صدمه‌دیده در آزمایش قبل	۱	۸۸٫۸۶	۸۸٫۱۳	۸۸٫۱۴	۱۸۴۷	۱۳٫۷	۱۰٫۶	۳٫۶	۳٫۷
۲	۸۸٫۹۱	۸۷٫۴۷	۸۷٫۸۷	۱۳۶۵	۱۳	۱۰	۳٫۶	۳٫۶	۳٫۷
۳	۸۸٫۴۷	۸۷٫۳	۸۷٫۵۸	۸۸۹۰	۲۳٫۷	۱۶٫۹	۷٫۴	۷٫۶	۷٫۶
۴	۸۸٫۴۴	۸۶٫۷	۸۷٫۱	۶۲۷۰	۲۱٫۷	۱۵٫۷	۷٫۴	۷٫۶	۷٫۶
۵	۸۷٫۴۵	۸۶٫۲	۸۶٫۲۷	۱۹۵۸۰	۲۳٫۹	۱۸٫۸	۱۱٫۵	۱۱٫۶	۱۱٫۶
۶	۸۶٫۹۵	۸۴٫۸۴	۸۴٫۸۸	۱۲۲۶۰	۲۰٫۴	۱۵٫۷	۱۱٫۵	۱۱٫۶	۱۱٫۶
۷	۸۶٫۵	۸۴٫۴۲	۸۴٫۳۲	۲۲۱۳۰	۲۴٫۸	۱۸٫۴	۱۵٫۴	۱۵٫۶	۱۵٫۶
۸	۸۵٫۹۵	۸۲٫۹۵	۸۳٫۱۴	۱۷۷۵۰	۲۲٫۷	۱۵٫۷	۱۵٫۴	۱۵٫۶	۱۵٫۶
۹	۸۵٫۶۵	۸۰٫۹	۸۲٫۷۲	۲۹۷۰۰	۲۷	۱۷٫۷	۱۹٫۴	۱۹٫۶	۱۹٫۶
۱۰	۸۴٫۷۹	۷۹٫۳۴	۸۱٫۰۴	۲۳۱۵۰	۲۳٫۷	۱۵٫۵	۱۹٫۴	۱۹٫۶	۱۹٫۶
۱۱	۸۳٫۷۸	۷۴٫۸۵	۷۹٫۵۸	۵۳۳۰۰	۲۸	۱۷٫۴	۲۷٫۴	۲۷٫۶	۲۷٫۶
۱۲	۸۱٫۸۲	۷۶٫۶	۷۵٫۴۴	۳۴۷۰۰	۲۳٫۳	۱۳٫۹	۲۷٫۴	۲۷٫۶	۲۷٫۶
۱۳	۸۰٫۸۴	۶۷٫۸۷	۷۱٫۷۶	۵۱۹۸۰	۲۵٫۸	۱۵٫۷	۳۵٫۴	۳۵٫۶	۳۵٫۶
۱۴	۷۸٫۱۱	۶۷٫۴۶	۶۸٫۷۵	۴۳۴۰۰	۲۲٫۲	۱۳	۳۵٫۵	۳۵٫۶	۳۵٫۶
۱۵	۷۸٫۱۹	۶۰٫۰۶	۶۸٫۲۲	۶۶۰۰۰	۲۵٫۷	۱۴٫۸	۴۳٫۴	۴۳٫۷	۴۳٫۷
۱۶	۷۴٫۶۴	۶۰٫۱۷	۶۱٫۹۴	۴۸۷۰۰	۲۲٫۲	۱۲٫۳	۴۳٫۵	۴۳٫۷	۴۳٫۷
۱۷	۷۶٫۱۶	۵۰	۶۲٫۶۷	۶۸۲۰۰	۲۷٫۲	۱۴	۵۱٫۵	۵۱٫۷	۵۱٫۷
۱۸	۵۸٫۷۴	-	۴۶٫۱۴	۵۲۵۰۰	۲۴٫۳	۱۰٫۵	۵۱٫۵	۵۱٫۷	۵۱٫۷
۱۹	-	-	-	۲۸۷۰۰	-	-	۱۰٫۶	۵۱٫۷	۵۱٫۷
نهایی	-	-	-	۵۹۸۲۰۰	-	-	-	-	-

جدول ۳. مقایسه‌ی عددی نتایج حاصل از دو آزمایش انجام شده نسبت به یکدیگر (نسبی).

پارامترها	قاب فولادی به‌همراه میان‌قاب مصالح بنایی	قاب فولادی به‌همراه طرح به‌سازی میان‌قاب صدمه‌دیده در آزمایش قبلی
شیب بارگذاری	۱	۱٫۰۴۵
شیب باربرداری	۱	۰٫۹۴
شیب کل حلقه	۱	۰٫۹۲
سرعت کاهش سختی در طول آزمایش	۱	۱٫۰۸
انرژی جذب شده	۱	۰٫۹۸۳
بارگذاری فشاری	۱	۰٫۹۰۳
بارگذاری کششی	۱	۰٫۶۲

۲.۳. تحلیل و نتایج آزمایشات

• بارگذاری فشاری در آزمایش قاب فولادی به‌همراه طرح به‌سازی میان‌قاب صدمه‌دیده در آزمایش قبلی، اندکی نسبت به آزمایش ابتدایی قاب فولادی به‌همراه میان‌قاب مصالح بنایی افزایش نشان می‌دهد. اما در بارگذاری کششی به‌علت تغییر شکل اتصال ۱ در آزمایش قاب فولادی به‌همراه طرح به‌سازی میان‌قاب صدمه‌دیده در آزمایش قبلی، نسبت به آزمایش ابتدایی قاب فولادی به‌همراه میان‌قاب مصالح بنایی، افت ۶ درصدی ملاحظه می‌شود.

• در آزمایش قاب فولادی به‌همراه طرح به‌سازی میان‌قاب صدمه‌دیده در آزمایش قبلی، شیب کل منحنی هیستریزس به‌علت تغییر شکل اتصال ۱ حدود ۸ درصد افت یا به‌عبارتی نسبت به آزمایش ابتدایی قاب فولادی به‌همراه میان‌قاب مصالح بنایی نرم‌تر عمل کرده است.

• سرعت کاهش سختی در طول آزمایش قاب فولادی به‌همراه طرح

فولادی به همراه میان قاب مصالح بنایی مستهلک کرده است.

۳.۳. جمع بندی کلی استفاده از این روش به سازی در پایان می توان گفت طرح به سازی مورد استفاده بیش از ۹۰ درصد خصوصیات از دست رفته ی یک دیوار ترک خورده را بازگردانده است در حالی که در اجرای این طرح از مصالح معمولی و امکانات ابتدایی و با کم ترین ضخامت و حداقل مصالح و در نهایت به صورت یک طرفه روی دیوار صدمه دیده اجرا شده است. با استفاده از تجربیات به دست آمده از این آزمایش می توان طرح به سازی فوق را در سطح کاربردی مورد استفاده قرار داد.

به سازی میان قاب صدمه دیده در آزمایش قبلی، نسبت به آزمایش ابتدایی قاب فولادی به همراه میان قاب مصالح بنایی حدود ۸ درصد سریع تر بوده است به عبارتی دیگر سرعت زوال دیوار به سازی شده افزایش نشان می دهد.

• میزان جذب انرژی از مهم ترین پارامترهای هر آزمایش است که برابر است با سطح زیر منحنی هیستریزس. همان طور که ملاحظه می شود آزمایش قاب فولادی به همراه طرح به سازی میان قاب صدمه دیده در آزمایش قبلی، انرژی کمتری نسبت به آزمایش ابتدایی قاب

منابع

۱. مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی. «استاندارد طرح ساختمان ها در برابر زلزله موسوم به استاندارد ۲۸۰۰» نشریه شماره ۸۲، بهمن ۱۳۶۶.
2. Ministry of Urban Development and Housing (MUDH), Government of Afghanistan & United Nations Center for Regional Development (UN-CRD), Disaster Management Planning Hyogo Office, "Guidelines for Earthquake Resistant Design, Construction, and Retrofitting of Building in AFGHANISTAN", (June 2003).
3. El-Dakhkhni, Wael W; Hamid, Ahmad A; El-gaaly, Mohamed. "Seismic Retrofit Of Masonry Infill Walls Using Advanced Composites", 13 WCEE: 13th World Conference on Earthquake

Engineering Conference Proceedings (2004).

4. Moghaddam, H.A. "Lateral load behavior of masonry infilled steel frames with repair and retrofit", *Journal of Structural Engineering* (New York, N.Y.). **130**(1), pp. 56-63 (Jan 2004).
5. Mercer, J. C. Cross, W. B. "Simple, Low-Cost Retrofit Procedures for Historic Unreinforced Masonry Buildings", *Structural Engineering World Wide 1998* [computer file]; pp. Paper T126-5 (1998).
6. Yao, C. "Aseismic problem on retrofit of brick masonry building beside street", *Earthquake Resistant Engineering*, No. 2, pp. 40-42 (1994).