

تأثیر میانقابهای آجری بر بهبود رفتار قابهای بتنی آسیب دیده

فرزاد پارسا^۱، عبدالرضا سروقد مقدم^{۲*}

۱- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۲- استادیار پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

*تهران، صندوق پستی ۱۹۳۹۵/۳۹۱۳

moghadam@iiees.ac.ir

(دریافت مقاله: مهر ۱۳۸۵، پذیرش مقاله: خرداد ۱۳۸۶)

چکیده - در این تحقیق سه قاب بتنی آسیب دیده با مقیاس ۱/۲ با ساده‌ترین روش ممکن ترمیم شده و پس از ساخت میانقاب‌های آجری از جنس آجر فشاری در داخل آنها، تحت آزمایش شبه استاتیکی قرار گرفتند. به این ترتیب بیشترین سهم افزایش مقاومت و تغییر پاسخ دینامیکی نمونه‌ها، مربوط به میانقاب‌های ساخته شده است. در طول آزمایش با اعمال بار رفت و برگشتی فزاینده به هر یک از نمونه‌ها، پارامترهای مختلف پاسخ نظیر تغییرات سختی اولیه، تغییرات مقاومت، میزان استهلاک انرژی و نحوه گسیختگی قاب محصورکننده و میانقاب بررسی شده و در مجموع چنین نتیجه‌گیری شد که ساخت میانقاب‌های آجری در قاب‌های بتنی آسیب دیده، با افزایش سختی مؤثر و بیشینه مقاومت و استهلاک انرژی، موجب بهبود رفتار چنین قاب‌هایی می‌شود.

کلید واژگان: قاب بتنی، میانقاب مصالح بنایی، پاسخ دینامیکی، مقاومسازی.

۱- مقدمه

کشور پهناور و کهنسال ایران در طول تاریخ، شاهد نابودی شهرها و حتی بعضی از تمدنهای خود بر اثر زلزله بوده است. ابعاد فاجعه‌بار اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و سیاسی زلزله کوتاه مدت چند ثانیه‌ای، می‌تواند بر سرنوشت چند نسل تأثیر بگذارد. بنابراین بدیهی است که تأمین ایمنی لرزه‌ای ساختمانها، جزو اولویتهای تحقیقاتی کشور محسوب می‌شود [۱].

یکی از رایجترین انواع جداکننده‌های داخلی و پیرامونی در ساختمانهای بتنی و فلزی، میانقابهای مصالح بنایی است. معمولاً از این پانلها برای پوشش ساختمان و جداسازی فضاهای داخلی استفاده می‌شود و مهندسان طراح - به دلیل اینکه این اعضا نقشی در باربری تقوی سازی ندارند - تأثیر آنها را نادیده گرفته و این

المانها را غیرسازه‌ای فرض می‌کنند. اما تجربه‌های کسب شده از زلزله‌های گذشته نشان داده است که عملکرد میانقابها در مواردی موجب بهبود رفتار سازه و در برخی مواقع، موجب ضعف رفتار و افزایش تلفات انسانی شده است. به‌عنوان مثال میانقابهای ساختمان بیمارستان افلاطونیان در شهر بم عملکردی مناسب در جهت مقاومت و پایداری سازه نامناسب این ساختمان در زلزله سال ۱۳۸۲ شهر بم از خود نشان داده، اما بررسی تخریبهای ناشی از زلزله سال ۱۳۷۶ اردکول نشان داد که میانقابها در بسیاری از موارد با فرو ریختن، تلفات انسانی و خسارتهای اقتصادی فراوانی را به بار آورده‌اند [۲]. بنابراین وجود میانقابها در مواردی مفید و در برخی موارد مضر بوده است.

در کشور ما به‌تازگی تحقیقاتی در ارتباط با نوسازی و مقاومسازی لرزه‌ای ساختمانها انجام شده و روشهای

به‌عنوان مدل اصلی برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی انتخاب شد و با توجه به ضریب مقیاس انتخاب شده (۱/۲)، مشخصات، ابعاد کلی و جزئیات آرماتورگذاری نمونه‌ها به‌صورت شکل ۱ در نظر گرفته شد.

پس از این مرحله هر یک از نمونه‌ها تحت بارگذاری جانبی رفت و برگشتی و فزاینده قرار گرفت که این روند تا کاهش مقاومت نمونه ادامه داده شد. در نتیجه در بالا و پایین ستونها، مفاصل پلاستیک تشکیل شد و قابها حالت آسیب دیده پیدا کردند. لازم است ذکر شود که الگوی بارگذاری اولیه، مشابه با الگوی بار توضیح داده شده در قسمت ۴ است و بررسی نتایج حاصل از این بارگذاری در مقاله‌ای مجزا توسط نویسندگان در حال تألیف است. برای انجام آزمایشهای اصلی ابتدا نقاط آسیب دیده ترمیم شد (در ادامه روش ترمیم توضیح داده خواهد شد)، پس از آن میانقاب‌های از جنس آجر فشاری و با ضخامت ۱۰ cm در داخل قابها ساخته شد. هر چند در اتصال قاب و میانقاب از آرماتورهای برشگیر استفاده نشده، اما در تمامی نقاط، میانقاب به قاب اتصال داشته و فاصله‌ای بین آنها وجود ندارد. در نهایت کل مجموعه قاب ترمیم شده و میانقاب داخل آن مورد آزمایش قرار گرفت.

در این تحقیق سه قاب با مشخصات بالا ساخته شد که یکی از آنها به‌عنوان معیار، بدون میانقاب و دو نمونه دیگر با میانقابهای آجر فشاری با ضخامت ۱۰ سانتیمتر مورد آزمایش قرار گرفتند.

لازم است ذکر شود که در یکی از نمونه‌ها طول وصله پوششی آرماتورهای ریشه تنها به اندازه طول مهار پی (۲۸ cm) در نظر گرفته شد، تا تأثیر اینگونه ضعفهای احتمالی نیز بررسی شود.

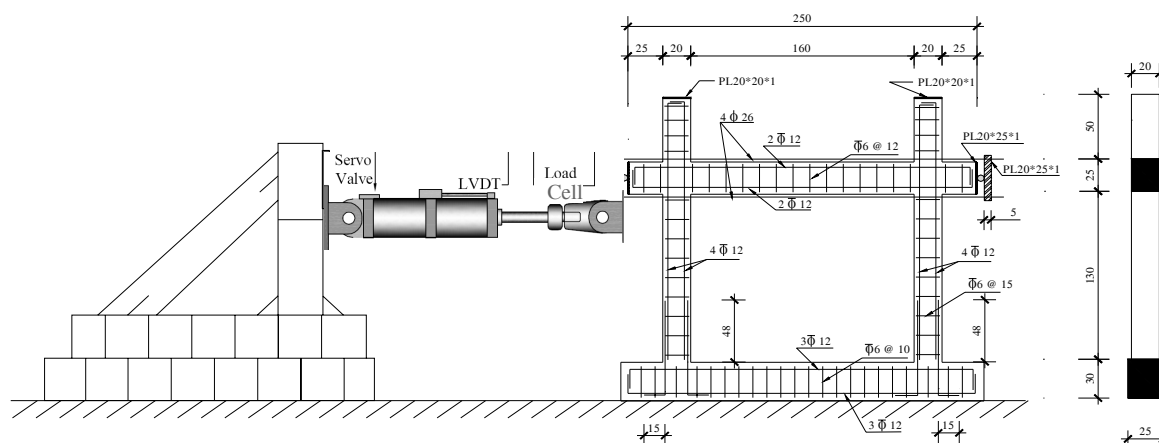
با توجه به حساسیت کار آزمایشگاهی و وابستگی زیاد نتایج به مشخصات مصالح استفاده شده برای ساخت قاب و میانقاب، علاوه بر مشخصات ارائه شده توسط کارخانه‌های سازنده، آزمایشهایی نیز برای تعیین دقیق این پارامترها انجام شد که در جدول ۱ میانگین نتایج آن ارائه شده است [۴].

جدیدی برای معادلسازی میانقابها، تخمین مقاومت و تعیین تغییر مکانهای آنها در برابر نیروهای جانبی زلزله ارائه شده است. اما متأسفانه مطالعات آزمایشگاهی چندانی در خصوص قابهای بتنی آسیب دیده و بررسی تأثیر افزودن میانقاب برای بهبود رفتار آنها انجام نشده است، لذا در این مقاله با ارائه نتایج حاصل از آزمایش چنین قابهایی، تغییرات پاسخ دینامیکی سازه بررسی شده است.

۲- مدلهای آزمایشگاهی

برای به‌دست آوردن ابعاد مقاطع و مشخصات آرماتورها، یک ساختمان چهار طبقه بتنی با سیستم قاب خمشی معمولی و با ابعاد واقعی که در هر امتداد دارای چهار دهانه باشد، در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه بررسی رفتار میانقابها در ساختمانهای موجود مدنظر است، برای طراحی این سازه از آیین‌نامه ACI-318-99 و اولین ویرایش آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) [۳] استفاده شد و در طراحی و اجرای آن، نقاط ضعف متداول اجرایی به‌طور عمدی در نظر گرفته شد تا رفتار شبیه به سازه‌های موجود باشد. این موارد عبارتند از:

- در طراحی خاموت ستونها، ضوابط شکلپذیری رعایت نشده و کمینه مقادیر آیین‌نامه به‌طور یکنواخت در طول ستونها اجرا شده است.
- علی‌رغم توصیه آیین‌نامه، هیچگونه خاموتی در ناحیه اتصال تیر به ستون به‌کار نرفته است.
- ضوابط مربوط به حداقل مقاومت خمشی ستونها (تیر ضعیف - ستون قوی) رعایت نشده است.
- وصله آرماتورها (محل اتصال میلگردهای ریشه به میلگردهای اصلی) درست در انتهای ستونها قرار دارد و هیچگونه خاموت اضافی در این نقاط طراحی نشده است (برای دیدن توضیحات بیشتر به [۴] رجوع شود).
- پس از طراحی سازه، یکی از قابهای پایین‌ترین طبقه



شکل ۱ سیستم بارگذاری، ابعاد (cm) و مشخصات نمونه‌ها



شکل ۲ نحوه ترمیم اعضای قابهای پیرامونی

برای ترمیم، ابتدا بتن ترک خورده اطراف نقاط آسیب دیده برداشته و دورتادور این نقاط تور سیمی پیچیده شد و پس از آن با ملاتی پر سیمان که تا حدی درشت دانه داشت، سیمانکاری مفاصل انجام و در انتها داخل قاب، میانقابی از جنس آجر فشاری ساخته شد. به این ترتیب بیشترین سهم افزایش مقاومت نمونه‌ها مربوط به میانقابهای ساخته شده است و به راحتی می‌توان تأثیر آنها را بررسی کرد. شکل ۲ مراحل ترمیم قابها را نشان می‌دهد.

۴- بار جانبی اعمال شده به قاب ترمیم شده

هر سه نمونه ساخته شده برای این تحقیق در آزمایشگاه سازه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و

جدول ۱ میانگین مشخصات مصالح

نوع مصالح	مشخصات نمونه	مقاومت فشاری (kg/cm ²)	وزن واحد حجم (kg/m ³)
بتن	مکعب ۱۵×۱۵×۱۵	۲۱۴	۲۲۸۱
آجر فشاری	آجر تکی	۱۲۰	۲۱۰۴
دیوار آجری	سه رج آجر با ملات	۸۵	-
ملات	مکعب ۵×۵×۵	۶۸	۱۹۴۶

۳- ترمیم قابها

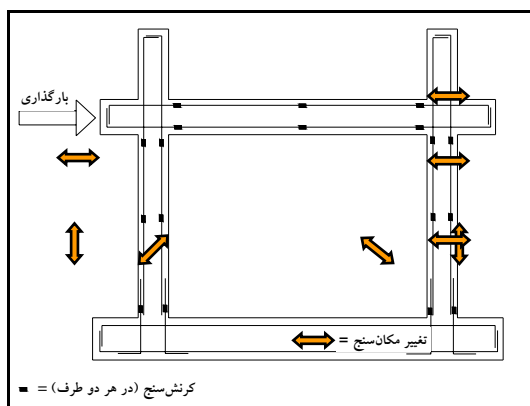
پس از ایجاد آسیب در نمونه‌های ساخته شده، لازم بود نقاط صدمه دیده ترمیم شوند تا قابها برای آزمایشهای اصلی آماده شوند. با توجه به اینکه هدف اصلی در این آزمایشها بررسی تأثیر میانقاب در بهسازی و مقاومسازی ساختمانها بود، از ساده‌ترین روش برای ترمیم قابهای پیرامونی استفاده شد.

فولادی قرار داده شد تا ضمن اعمال نیروی کاملاً محوری، مقطع تیر، آزادی دورانی داشته باشد (شکل ۱).

۵- ابزار گذاری

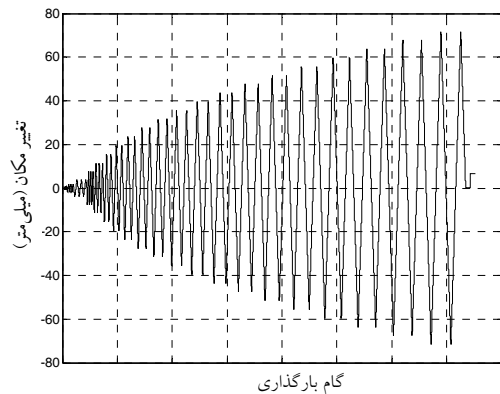
یکی از مهمترین قسمتهای هر آزمایش، برداشت اطلاعات و اندازه‌گیری تغییرات پارامترهای مختلف است. در آزمایشهای مقاومتی، مهمترین پارامترهای مورد نیاز، مقدار نیروی وارد شده به سیستم، مقدار تغییر مکان جزئی و کلی اعضا و مقدار تنش به وجود آمده در اعضا است. جکهای هیدرولیک استفاده شده، با داشتن تغییر مکان سنج و نیروسنج همواره مقدار این پارامترها را در محل اتصال جک به قاب ثبت می‌کنند.

با داشتن نیروی کل و تغییر مکان کل، به اطلاع از تغییر شکلهای و مقادیر نیرو در اجزای مختلف نیاز است، که با نصب تغییر مکان‌سنج و کرنش‌سنج می‌توان این اطلاعات را در هر نقطه‌ای اندازه گرفت. به علت اینکه در طول آزمایش، بتن به سرعت ترک می‌خورد، کرنش‌سنج‌های مورد استفاده در این آزمایشها، فقط روی آرماتورها نصب شد به طوری که در هر مقطع چهار کرنش‌سنج برای محاسبه لنگر و نیروی محوری نصب شد. تغییر مکان ستونها نیز با نصب جابه‌جایی‌سنج‌هایی در بالا، وسط و پایین ستون مقابل جک و در وسط ستون سمت جک اندازه‌گیری شد.



شکل ۴ محل و تعداد ابزارهای اندازه‌گیری نصب شده بر روی نمونه‌ها

مهندسی زلزله مورد آزمایش قرار گرفتند. به هر یک از نمونه‌ها در امتداد تیر فوقانی بار رفت و برگشتی فزاینده‌ای با روش کنترل تغییر مکان اعمال شد. در تمامی نمونه‌ها پس از اعمال هر دو سیکل با مقدار ثابت، جابه‌جایی افزایش داده می‌شود که مقدار این افزایش در طول آزمایش ثابت است. شکل ۳ تاریخچه بارگذاری اعمال شده به نمونه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۳ تاریخچه بارگذاری نمونه‌ها

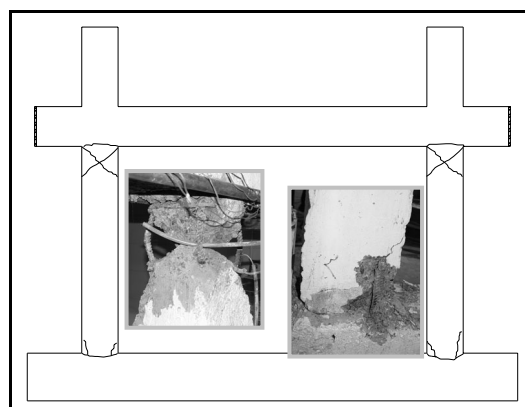
برای اعمال نیرو به قابها از جک هیدرولیک ۵۰ton با قابلیت اعمال ۱۵cm حرکت رفت و برگشتی استفاده شد، همچنین تیر فوقانی نمونه‌ها به صورت کنسول ساخته شد تا فشار ناشی از اعمال نیروی جک کمترین تأثیر را بر رفتار قاب اصلی داشته باشد. برای اعمال کشش از سیستمی استفاده شد که در آن دو پلیت در دو طرف نمونه توسط چهار بولت با مقاومت بالا به یکدیگر متصل شده بودند. بنابراین نیروی فشاری جک به‌طور مستقیم توسط صفحه انتهایی به قسمت کنسولی تیر وارد خواهد شد؛ اما نیروی کششی توسط بولتهای رابط به صفحه انتهایی دیگر تیر منتقل شده و مجدداً با اعمال فشار در تیر کنسولی مقابل، حرکت برگشتی را ایجاد می‌کند. به این ترتیب بدون ایجاد کشش غیرواقعی در بتن، حرکتی رفت و برگشتی ایجاد خواهد شد. به‌علاوه برای ایجاد آزادی دورانی، بین پلیت انتهایی تیر و صفحه جک یا صفحه سیستم کششی، استوانه‌هایی

۶- نتایج آزمایشها

نتایج ارائه شده در این بند، حاصل بررسی رفتار درون صفحه قابهای دارای میانقاب است و مهار خارج از صفحه میانقاب، به عنوان فرض اولیه این آزمایشها در نظر گرفته شده است.

۶-۱- روند گسیختگی

در قابهای ترمیم شده، به علت اینکه ترکها و آسیبهای ایجاد شده در قاب فقط با ملات ماسه سیمان ترمیم شده، اولین ترکها معمولاً در نقاطی که قبلاً آسیب دیده اند، تشکیل می شود. در آزمایش قاب بدون میانقاب، شروع گسیختگی با ایجاد ترکهای خمشی در بالا و پایین ستونها (در محل ترکهای قبلی) همراه بود پس از آن با افزایش جابه جایی، این ترکها قطورتر شده و به تدریج در بالای ستونها ترکهای برشی نیز به وجود آمد. این ترکها در هر دو جهت ایجاد شد و پس از مدتی با تشکیل مفصل پلاستیک در این نقاط، پوشش بتن و حتی بتن مغزه ستونها نیز تخریب شد. در پایین ستونها نیز، ترکهای خمشی در محل قطع آرماتورهای اصلی، موجب جدایی پی و ستونها شد و رفتاری تقریباً مشابه اتصال نیمه مفصلی در این نقاط مشاهده شد. البته با افزایش جابه جایی اعمال شده، پوشش بتن در نقاط پایین ستون فرو ریخته و حتی در بعضی از آرماتورهای ریشه، کماتش مشاهده شد. شکل ۵ الگوی ترک خوردگی را در چنین قابهایی نشان می دهد.



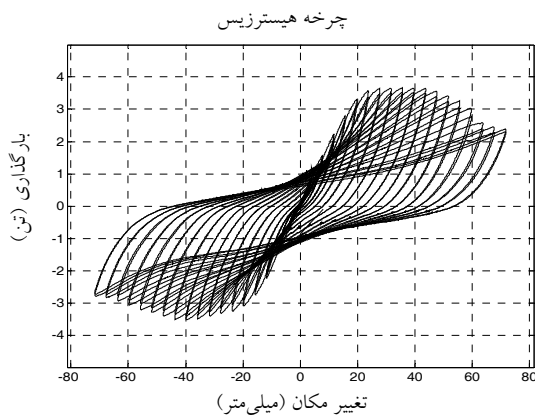
شکل ۵ الگوی ترک خوردگی در قابهای بدون میانقاب

در نمونه های دارای میانقاب نیز، به علت ترمیمی بودن قاب، ابتدا ترکهایی در بالا و پایین ستون در محل شکستهای ترمیم شده ایجاد شد. پس از آن ترکهای مرزی در ناحیه اتصال قاب و میانقاب به وجود آمد و با گذشت زمان این ترکها بیشتر شده و ترکهای خمشی جدیدی نیز در قسمتهای بالایی ستونها ایجاد شد. سپس میانقاب دچار شکست کنج شد که با توجه به ضعیف بودن اتصالات تیر و ستون، رفتاری کاملاً منطقی است.

پس از شکست کنج و باز شدن ترکهای قاب، در میانقاب ترکهای قطری تشکیل شد که در ادامه آزمایش، ضخامت این ترکها افزایش یافته و دیوار به صورت ضربدری به چند ناحیه تقسیم شد. جابه جایی بیشتر نمونه در مراحل بعدی موجب شد که ترکهای برشی جدیدی در قسمت فوقانی ستونها به وجود آید و مشابه با نمونه ترمیم شده قبلی، در این نقاط مفصل پلاستیک ایجاد شده و پوشش بتن و مغزه بتن تخریب شود. تخریب پوشش بتن در قسمتهای پایین ستونها نیز مشاهده شد؛ اما در این نقاط علی رغم کماتش آرماتورها و حتی شکست میلگرد در یکی از نقاط، به دلیل وجود دو گروه از آرماتورهای اصلی و ریشه، هیچگونه ترک برشی ایجاد نشد (شکل ۶).

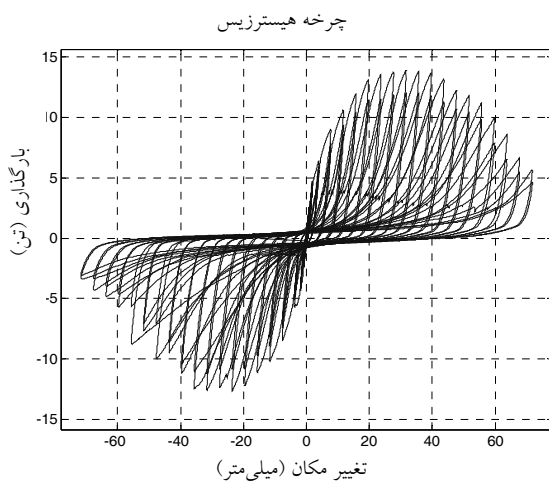


شکل ۶ نحوه شکست قابهای دارای میانقاب آجری



شکل ۷ منحنی رفتاری قاب بدون میانقاب

در نمونه دارای میانقاب که آرماتورهای ریشه طول مهاري کافي داشتند، منحنی رفتاری مطابق شکل ۸ به دست می آید. در این نمونه بیشینه نیروی قابل تحمل توسط مجموعه قاب ترمیم شده و میانقاب، در حدود 14 ton است. البته در این مورد نیز از ابتدا کاهش سختی دیده می شود و مقاومت پس از افزایش نسبی تا جابه جایی ۲ سانتیمتر، با رسیدن به جابه جایی ۴ سانتیمتر افت می کند. در این نمونه با تخریب میانقاب، کاهش سختی و مقاومت ناشی از تکرار حلقه های مشابه کاهش می یابد اما در انتهای آزمایش همچنان این تفاوت مشاهده می شود.



شکل ۸ منحنی رفتاری قاب با میانقاب آجر فشاری (با طول مهاري کافي در وصله آرماتورها)

همان گونه که در قسمتهای قبلی توضیح داده شد، در یکی از نمونه ها برای بررسی نقایص سازه های موجود، به طور عمدی طول مهاري ریشه ها کمتر از مقدار مجاز در نظر گرفته شد. در این نمونه با اعمال جابه جایی، ابتدا نقاط آسیب دیده به صورت خمشی ترک خوردند و پس از آن قاب و میانقاب با ترکهای مرزی از یکدیگر جدا شده و در کنجهای، سیمان و گچ روی میانقاب ترک برداشت اما شکست کنج دیده نشد. پس از این مرحله با اعمال جابه جایی بیشتر، آرماتورهای اصلی ستون از کنار آرماتورهای ریشه سر خورد و ستون سمت چک در نقطه اتصال به پی، دچار گسیختگی شد و پس از آن، جابه جایی فقط موجب بلند شدن ستون شد و آسیبی در میانقاب ایجاد نشد.

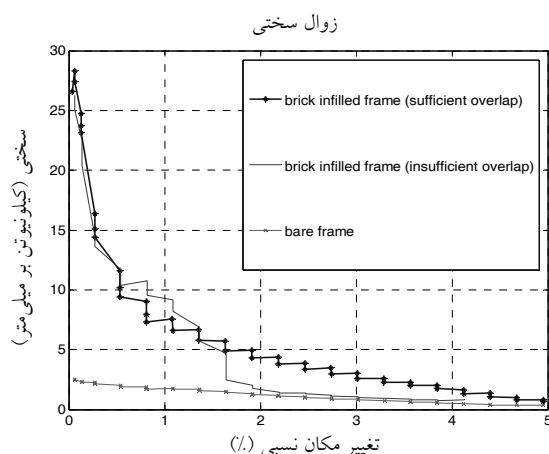
لذا مشاهده می شود که ناکافی بودن طول مهاري آرماتورهای ریشه، موجب گسیختگی زود هنگام ستونها، حتی قبل از تخریب میانقاب خواهد شد.

۶-۲- چرخه های هیستریزس

یکی از مهمترین نتایج حاصل از آزمایش قابهای ترمیم شده دارای میانقاب، منحنی رفتاری آنها است. در واقع این منحنی نشان دهنده پاسخ کلی نمونه به جابه جایی جانبی اعمال شده و بیانگر تغییرات مقاومت، سختی و استهلاك انرژی در قابها است. در این قسمت به بررسی تغییرات چرخه های هیستریزس هر یک از نمونه ها می پردازیم.

در قابهای ترمیم شده بدون میانقاب، همان گونه که در شکل ۷ دیده می شود، بیشینه نیروی قابل تحمل در حدود $3/5 \text{ ton}$ است. در این نمونه سختی اولیه نسبت به سایر نمونه ها کمتر بوده و از ابتدا کاهش سختی دیده می شود. افت مقاومت نیز پس از رسیدن به جابه جایی ۴ سانتیمتر روی داده است. در ضمن با خسارت دیدن قاب، کاهش سختی و مقاومت ناشی از تکرار حلقه های مشابه کاهش یافته و بیشینه مقدار این حلقه ها به یکدیگر نزدیک شده است.

بودن سختی اولیه سازه موجب جذب بیشتر نیروی زلزله می شود که از این لحاظ نیز، افزایش آن چندان مناسب نیست [۵]. در این قسمت برای مقایسه، منحنی تغییرات سختی تمامی نمونه ها نسبت به میزان جابه جایی نسبی اعمال شده به آنها روی یک شکل ترسیم شده است (شکل ۱۰).



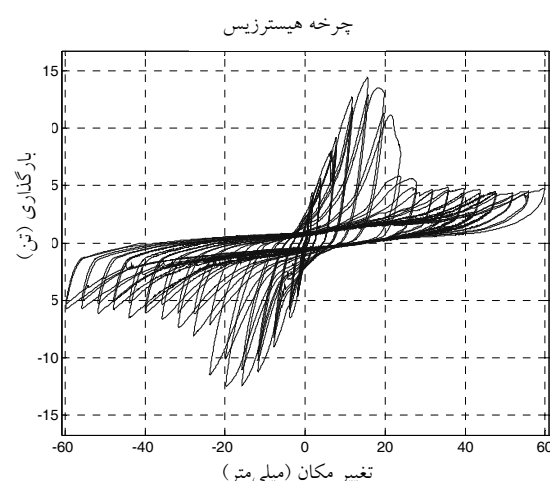
شکل ۱۰ منحنی تغییرات سختی در نمونه های مختلف

با توجه به شکل ۱۰، سختی اولیه در قاب ترمیم شده دارای میانقاب $28/28 \text{ KN/mm}$ بوده و سختی مؤثر آن برابر $4/37 \text{ KN/mm}$ است؛ در حالی که سختی در قاب خالی ترمیم شده در حدود $2/5 \text{ KN/mm}$ است. بنابراین استفاده از میانقاب آجر فشاری برای مقاوم سازی قابهای آسیب دیده، باعث شده سختی اولیه ۱۱ برابر و سختی مؤثر ۴ برابر سختی قاب آسیب دیده خالی شود.

۶-۴- مقاومت

در بارگذاری چرخه ای، پوش منحنیهای نیرو- تغییر مکان، نشان دهنده مقاومت نمونه در برابر جابه جایی اعمال شده است. به همین دلیل برای مقایسه بهتر مقاومت قابهای دارای میانقاب و بدون میانقاب، پوش منحنیهای هیستریزس آنها را به دست آورده و منحنی تمامی نمونه ها را برحسب درصد جابه جایی نسبی اعمال شده به آنها در نمودار شکل ۱۱ ترسیم کردیم.

اما همان گونه که پیشتر توضیح داده شد، در نمونه ای که در آن طول وصله آرماتورهای ریشه کوتاهتر از مقدار آیین نامه در نظر گرفته شده بود، در هنگام آزمایش، ستون سمت بار، قبل از آسیب دیدن میانقاب دچار گسیختگی شد و رفتار مرکب قاب و میانقاب، تا مرحله ایجاد ترکهای مرزی پیش رفت (شکل ۹).



شکل ۹ منحنی رفتاری قاب با میانقاب آجر فشاری (با طول مهاری ناکافی در وصله آرماتورها)

مشاهده می شود که در این حالت، بیشینه نیروی قابل تحمل به حدود 14 ton می رسد که به سرعت پس از رسیدن به جابه جایی ۲ سانتیمتر افت می کند (لحظه گسیختگی ستون). سختی نیز مشابه سایر نمونه ها به تدریج دچار کاهش می شود. در این نمونه نیز با افزایش جابه جایی، کاهش سختی و مقاومت ناشی از تکرار حلقه های مشابه کمتر می شود.

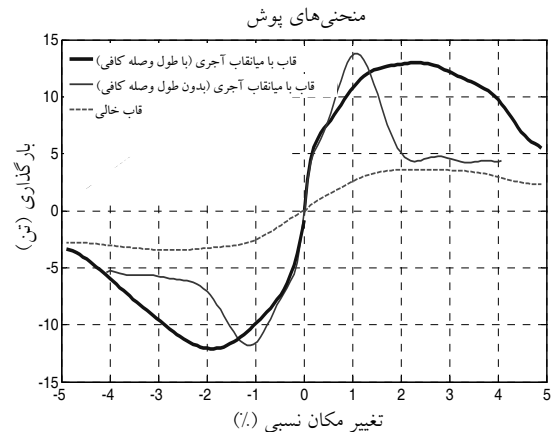
۶-۳- سختی

سختی یکی از کمیتهای مهمی است که در رفتار لرزه ای ساختمانها و اعضای سازه ای تأثیر به سزایی دارد. با افزایش این پارامتر، جابه جایی کمتر خواهد شد، اما همیشه سختی بالا مطلوب نبوده و برای جذب و استهلاک انرژی در سازه لازم است سختی در محدوده معینی تغییر کند تا با انعطاف پذیری سازه، شکل پذیری حاصل شود. همچنین بالا

با توجه به شکل ۱۲، میانقابهای ساخته شده از آجر فشاری، اتلاف انرژی بیشتری دارند به طوری که در جابه‌جایی نسبی ۰.۵٪ اتلاف انرژی آنها در حدود 64 KN.m است اما اتلاف انرژی قاب خالی ترمیم شده در این جابه‌جایی برابر 42 KN.m است. به بیان دیگر، در جابه‌جایی نسبی ۰.۵٪ اتلاف انرژی قابهای دارای میانقاب آجر فشاری، $1/4$ برابر قاب بتنی ترمیم شده و در جابه‌جایی نسبی $2/7$ ٪ اتلاف انرژی قاب دارای میانقاب آجر فشاری، $2/5$ برابر قاب بتنی ترمیم شده است. لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که در جابه‌جایی نسبی کمتر، میزان اتلاف انرژی قابهای دارای میانقاب نسبت به قابهای خالی بیشتر است و با افزایش جابه‌جایی نسبی، مقدار این تفاوت کمتر می‌شود. علت این پدیده را می‌توان تخریب سریعتر میانقاب نسبت به قاب پیرامونی دانست زیرا بیشتر اتلاف انرژی در قابهای دارای میانقاب، ناشی از اصطکاک داخلی ترکهای میانقاب است. به بیان دیگر در حین اعمال جابه‌جایی کم به نمونه‌های دارای میانقاب، ترک خوردگی میانقابها باعث افزایش اتلاف انرژی در چنین نمونه‌هایی نسبت به قابهای خالی می‌شود اما با افزایش جابه‌جایی، به علت تخریب میانقابها، سهم آنها در اتلاف انرژی کمتر شده و بیشتر اتلاف انرژی ناشی از تخریب قاب است. در نتیجه تفاوت انرژی تلف شده در قابهای دارای میانقاب و بدون میانقاب کاهش می‌یابد.

۶-۶- زمان تناوب

برای مقایسه صحیح تغییرات زمان تناوب سازه بر اثر وجود میانقابها، باید تأثیر ناشی از افزایش جرم و سختی در کل سازه بررسی شود. یعنی لازم است با تحلیل سازه چنددهانه و چندطبقه و دانستن تعداد دهانه‌هایی که با میانقاب پر خواهند شد، تغییر زمان تناوب بررسی شود. لذا اعدادی که در جدول ۲ به عنوان درصد تغییرات زمان تناوب ارائه شده، فقط برای قاب یک‌دهانه و یک‌طبقه

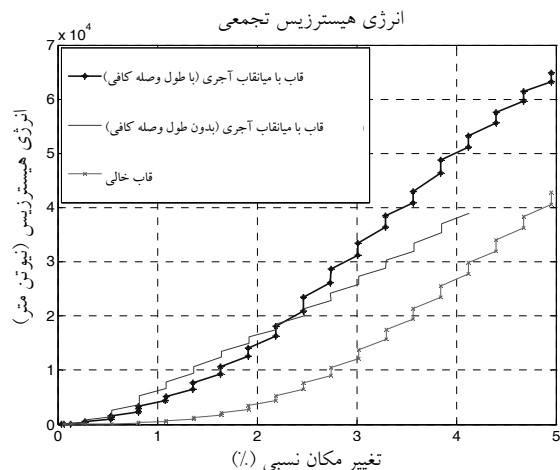


شکل ۱۱ پوش منحنی هیستریزیس در نمونه‌های مختلف

با مقایسه مقاومت نمونه‌های مختلف، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که وجود میانقاب ساخته شده از آجر فشاری، باعث می‌شود که مقاومت در قابهای ترمیم شده در این مطالعه $3/5$ برابر قاب خالی شود.

۶-۵- استهلاک انرژی

برای مقایسه میزان استهلاک انرژی در نمونه‌های دارای میانقاب و بدون میانقاب، منحنی انرژی هیستریزیس جمع‌ی آنها برحسب درصد جابه‌جایی اعمال شده در نمودار شکل ۱۲ ترسیم شده است.



شکل ۱۲ منحنی انرژی هیستریزیس جمع‌ی در نمونه‌های مختلف

۴- زمان تناوب اصلی در قابهای ترمیم شده دارای میانقاب آجر فشاری، در حدود ۳۴٪ زمان تناوب قابهای خالی ترمیم شده به دست می آید.

۵- در قابهای ترمیم شده، وجود میانقابهای آجری باعث توزیع یکنواخت تر لنگر خمشی در ستونها شده و از تمرکز خسارت در مقاطع فوقانی ستونها جلوگیری می کند.

۸- منابع

- [۱] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود؛ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله؛ ۱۳۸۱.
- [۲] نیکزاد خشایار، هاشم منیری امیر سپهر؛ (آثار مطلوب و نامطلوب میانقابهای آجری بر روی رفتار لرزه‌ای قابهای بتنی)؛ پژوهشنامه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله؛ سال ششم؛ شماره دوم؛ ۱۳۷۶؛ صفحه ۱۹-۱۴.
- [۳] آئین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله؛ استاندارد ۲۸۰۰؛ ویرایش اول؛ انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، ۱۳۶۶.
- [۴] پارسا فرزاد؛ آزمایش عملکرد قاب بتنی با میانقاب مصالح بنایی تحت بارگذاری چرخه‌ای؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ با راهنمایی دکتر عبدالرضا سروقد مقدم؛ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۵؛ صفحه ۹۰-۸۳.
- [۵] تسنیمی عباسعلی؛ رفتار دیوارهای آجری مندرج در استاندارد ۲۸۰۰؛ نشریه: گ - ۴۰۴؛ انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۳.

صحیح بوده و نمی توان آنها را به ساختمانهای چندطبقه تعمیم داد. همچنین لازم است ذکر شود که در محاسبه زمان تناوب، از سختی اولیه نمونه‌ها استفاده شده است.

جدول ۲ تغییرات زمان تناوب در نمونه‌های مختلف

آزمایش	زمان تناوب (S)	$T_{infilled} / T_{bare}$
قاب بدون میانقاب	۰/۰۸۹	
قاب با میانقاب آجر فشاری	۰/۰۳۱	٪ ۳۴

۷- نتایج

جمع‌بندی و نتایج ارائه شده در این قسمت، فقط برای نمونه‌های آزمایش شده در این تحقیق بیان شده و در صورت تعمیم نتایج باید به فرضیات طراحی و اجرایی نمونه‌ها مانند تأثیر کاهش مقیاس، مهار خارج از صفحه و سایر پارامترهای مشابه توجه شود.

۱- اضافه کردن میانقابهای ساخته شده از آجر فشاری در قابهای ترمیم شده، موجب افزایش سختی آنها می‌شود. این افزایش برای سختی اولیه در حدود ۱۱ برابر قاب ترمیم شده خالی و برای سختی مؤثر حدود ۴/۳ برابر سختی مؤثر قابهای ترمیم شده بدون میانقاب قابل مشاهده است.

۲- میانقابهای ساخته شده از آجر فشاری موجب ۳/۵ برابر شدن بیشینه مقاومت قابهای ترمیم شده می‌شوند. همچنین روند افزایش و کاهش مقاومت در چنین قابهایی بسیار ملایم است.

۳- وجود میانقاب آجری باعث ۲/۵ برابر شدن استهلاک انرژی در جابه‌جایی نسبی ۲/۵٪ و ۱/۵ برابر شدن استهلاک انرژی در جابه‌جایی نسبی ۵٪ می‌شود.

