

بررسی تحلیلی رفتار دیوار آجری تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت

فریبیز ناطقی الهی^{*}، سروش قدس^{**}

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

(دریافت مقاله: ۸۳/۳/۴ - دریافت نسخه نهایی: ۸۵/۱/۱۶)

چکیده - یکی از روش‌های موثر برای مقاوم سازی ساختمانهای آجری اعمال شاتکریت مسلح شده با شبکه آرماتور به سطح دیوار است. برای ارزیابی رفتار دیوار آجری تقویت شده با روکش نمی‌توان از روش‌های تحلیلی مبتنی بر معادلات ساده نظریه الاستیسیته استفاده کرد، لذا به کارگیری روش‌های عددی در این زمینه اجتناب ناپذیر است. در این پژوهش برای ارزیابی رفتار دیوار آجری تقویت شده با روکش مسلح، مدلسازی دیوار آجری با استفاده از نرم افزار المان محدود ANSYS انجام گرفته است. برای اطمینان از صحت مدلسازی، از نتایج آزمون آزمایشگاهی برای کالیبراسیون مدل استفاده شده است. سپس مدل کالیبره شده برای مدلسازی دیوار تقویت شده تعیین داده و در نهایت نتایج تحلیل دیوارهای آجری ساده و نظیر تقویت شده آنها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

واژگان کلیدی : ترک خودگی، دیوار آجری، شاتکریت، شبکه آرماتور، منحنی هیسترزیس.

Analytical Assessment of the Behaviour of the Masonry Wall Strengthened by Steel Mesh and Shotcrete

F. Nateghi, and A. S. Ghods

International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

Abstract: An effective approach for strengthening masonry buildings is to apply shotcrete reinforced with mesh on the surface of the wall. It is not possible to assess the behaviour of coated walls solely using analytical approaches based on simple equations of theory of elasticity without the use of numerical methods. Unreinforced masonry wall is modelled in this study using the finite element software "ANSYS" to assess the behavior of walls strengthened with reinforced jacket. The accuracy of the model is ensured by calibrating the model against results obtained from laboratory tests. Then the calibrated model is

** - کارشناس ارشد سازه

* - استاد

generalized to model the strengthened wall and, finally, the analytical results obtained from masonry walls and strengthened walls are compared and evaluated.

Keywords: ANSYS, Masonry wall, Shotcrete, Solid65 , Steel mesh.

در برابر زلزله» است [۲]. در این آزمایش دیوار آجری غیرمسلح به کمک جک و به صورت استاتیکی تحت بار جانبی رفت و برگشتی قرار گرفته و آزمایش تا رسیدن به گسیختگی کامل دیوار آجری ادامه یافته است. با توجه به محدودیتهای آزمایشگاهی، دیوار آجری انتخابی در ابعاد واقعی با ضربه مقیاس ۱:۲ مدل شده است. شکل (۱) دیوار آزمون شده را نشان می‌دهد.

برای توزیع بار جانبی به صورت یکنواخت روی دیوار، تیر بارگذاری بتی در بالای دیوار به ارتفاع ۲۰ سانتیمتر اجرا شده است که در دو انتهای تیر صفحات فلزی با شاخک داخل تیر بتی قرار گرفته‌اند که این صفحات در بارگذاری جانبی بار جکها را به تیر بتی و نهایتاً دیوار آجری انتقال می‌دهند. فونداسیون این دیوار داخل یک عدد ناوданی نمره ۳۰۰ که با پیچ و مهره به کف صلب آزمایشگاه محکم شده اجرا شده است [۲] آجرهای استفاده شده در دیوار مدل از نوع آجرهای فشاری (گری) است. مقاومت فشاری آجرهای مصرفی در محدوده ۱۵ Mpa تا ۱۶ Mpa قرار دارد. ملات مصرفی در ساخت دیوار ملات ماسه سیمان با نسبت سیمان به ماسه ۱ به ۶ بوده که ملات مصرفی معمول در اجرای اکثر ساختمانهای بنایی است [۲]. بار قائم به کمک بستهای قورباغه‌ای و تیرهای فولادی به دیوار اعمال شده است. میزان بار قائم وارد برابر KN/M^{۴/۳۵} است. بار جانبی اعمالی به کمک جکهای فشاری و قابهای بارگذاری که مثلثی‌اند و در طرفین دیوار قرار می‌گیرند در سیکلهای مختلف رفت و برگشتی به دیوار وارد شده است. شکل (۲) رژیم بار جانبی سیکلی اعمال شده به دیوار مدل شده را نشان می‌دهد.

”در اثر اعمال بار جانبی رفت و برگشتی تا پایان سیکل شانزدهم که بار ۴ تن بر دیوار اعمال شد هیچ‌گونه ترک یا شکستگی در دیوار مشاهده نشد. در مرحله رفت سیکل هفدهم

۱- مقدمه

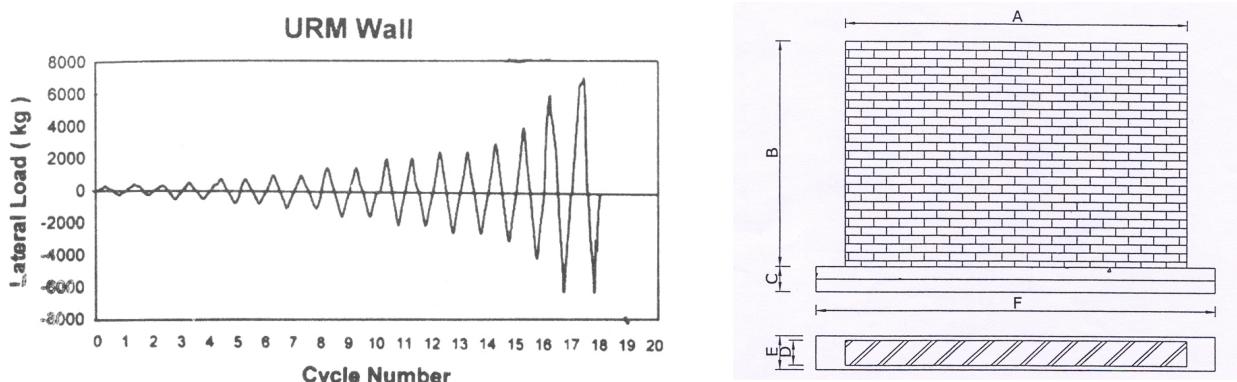
یکی از روش‌های موثر و آسان در مقاوم سازی ساختمانهای بنایی استفاده از روکش بتن مسلح به روی سطح دیوار است که عموماً به صورت بتن پاشیده به سطح دیوار اعمال می‌شود اعمال روکش بتن مسلح به دیوار باعث افزایش سختی، مقاومت و نیز بهبود مشخصات لرزه‌ای دیوار آجری می‌شود.

علی‌رغم اینکه اعمال این روش بسادگی ممکن است لیکن بررسی کمی میزان افزایش مقاومت و همچنین ارزیابی رفتار دیوار تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت با روابط تحلیلی ساده امکان‌پذیر نیست. در سالهای اخیر روش‌های عددی برای بررسی رفتار دیوارها و ساختمانهای بنایی گسترش یافته‌اند لیکن نتایج این تحلیلها زمانی قابل اعتماد است که نتایج آنها با آزمونهای آزمایشگاهی نمونه‌های مشابه تطبیق داده شود.

لذا در این پژوهش به منظور ارزیابی مقاومت دیوار آجری تقویت شده، در ابتدا مدل المان محدود دیوار آجری غیر مسلح به کمک نرم افزار المان محدود ANSYS مورد تحلیل قرار گرفته و از نتایج نمونه آزمایشگاهی متناظر با آن برای تطبیق و کالیبراسیون مدل بهره گیری شده است. در مرحله بعد مدل کالیبره شده برای بررسی رفتار دیوار تقویت شده تعیین داده شده است و در نهایت از مقایسه پارامترهای رفتاری دیوار آجری غیر مسلح و نظری تقویت شده آنها، نتیجه گیری در مورد تاثیر روکش مسلح بر رفتار دیوار آجری به عمل آمده است.

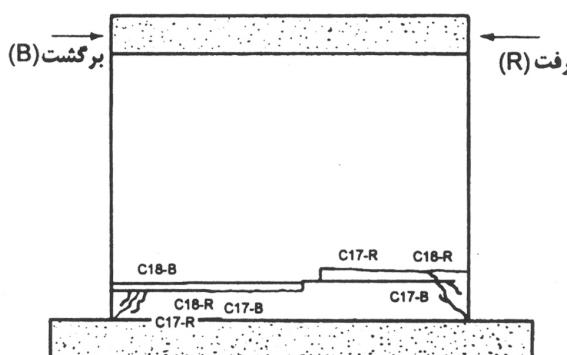
۲- آزمایش مقاومت جانبی دیوار آجری غیر مسلح

نتایج آزمایشگاهی استفاده شده در این پژوهش مربوط به گزارش آزمون دیوار آجری غیر مسلح تحت عنوان «بررسی تحریبی روش‌های مقاوم سازی ساختمانهای آجری نیم اسکلت



شکل ۲- رژیم بار جانبی سیکلی اعمال شده به دیوار مدل [۲]

شکل ۱- مشخصات هندسی نمونه اصلی و مدل آزمایشگاهی [۲]

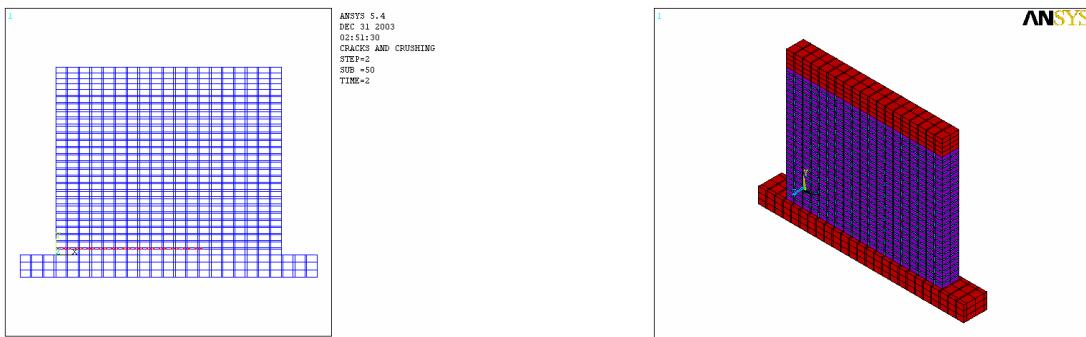


شکل ۳ - ترکهای ایجاد شده در دیوار آجری [۲]

۳- مدل تحلیلی دیوار آجری

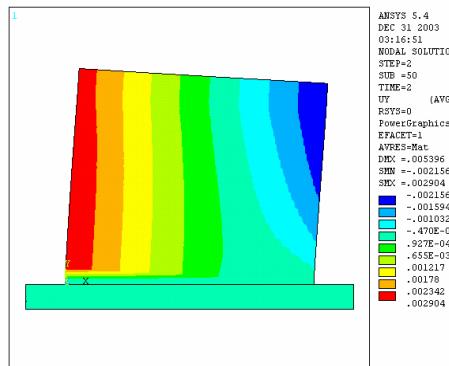
با توجه به نتایج آزمایش فوق می‌توان مدل المان محدود این دیوار آجری را ساخت و از نتایج این آزمایش برای کالیبراسیون نتایج استفاده کرد. مدلسازی رایانه‌ای دیوار آجری با استفاده از نرم‌افزار ANSYS5.4 و المان SOLID65 انجام شد. از آنجایی که تنها المانی که در برنامه ANSYS توپانایی مدلسازی ترک را دارد المان SOLID65 است، می‌توان آنرا برای مدل کردن دیوارها و ساختمنهای آجری به کاربرد. این المان رفتاری ترد داشته و در اثر کشش ترک خورده و در فشار خرد می‌شود. درواقع این المان قابلیت مدلسازی مصالح بتی را دارد و در سه جهت دلخواه می‌توان برای آن آرماتورگذاری تعریف کرد [۱]. با توجه به اینکه رفتار اجزای آجری (ملات و آجر) تا حدود زیادی نزدیک به رفتار مصالح بتی است می‌توان دیوار آجری را به کمک این المان مدل کرد.

بار جانبی آتن به دیوار اعمال شد که باعث بروز ترک خمشی و تغییر مکان ناگهانی در دیوار شد که تا ۲/۳ طول دیوار ادامه یافت. در مرحله برگشت سیکل هفدهم نیز بار جانبی ۶ تن وارد شد که باعث بروز ترک در جهت مخالف شد که دقیقاً در امتداد ترک ایجاد شده در مرحله قبل قرار گرفت. در مرحله رفت سیکل هجدهم بار ۷/۱ تن به دیوار اعمال شد که در این مرحله از بارگذاری ترکهای سیکل قبلی از هم باز شده و قسمت فوقانی دیوار حول محور قائم دوران کرد. در این مرحله خردشده‌گی در ناحیه فشاری دیوار ایجاد شد. در مرحله برگشت سیکل هجدهم ترک افقی جدید در ناحیه کششی دیوار ایجاد شد. این ترک تا حدود ۱/۵ سانتیمتر باز شده و سرانجام با ادامه بارگذاری اتصال مربوط به بارگذاری قائم بریده شده و کار عملاً به اتمام رسید [۴]. شکل (۳) ترکهای ایجاد شده در دیوار را نشان می‌دهد.



شکل ۵- ترک ایجاد شده در دیوار (بار جانبی رفت KN 60) [۴]

شکل ۴- مدل المان محدود دیوار آجری غیر مسلح [۴]



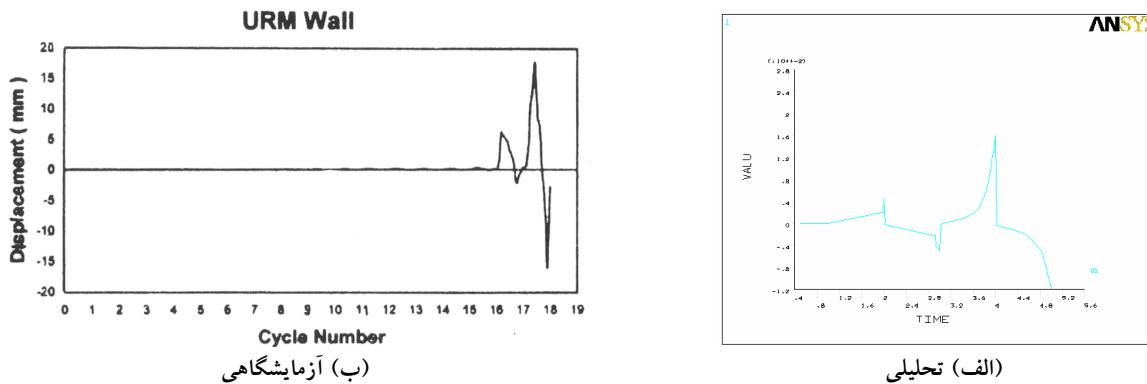
شکل ۶- کانتور جابه جایی قائم در دیوار (بار جانبی KN 60) [۴]

گستردۀ، نیروی وزن نیز با اعمال شتاب قائم برابر $\frac{m}{s^2} = ۹/۸۱$ به مدل وارد شد. برای اعمال بار جانبی به تیر بارگذاری در مدل، بار متمرکز روی گره‌های انتهایی تیر بارگذاری پخش شد. برای انطباق مدل رایانه‌ای و آزمایشگاهی بارها به صورت مرحله‌ای و مطابق با بارهای وارد شده در آزمون به مدل رایانه‌ای اعمال شد. لازم به ذکر است دیوار در اثربارگذاری جانبی ترک خورده و تحلیل غیرخطی شد، لذا بار به جهت همگرایی تحلیل به صورت تدریجی و در چندین زیر مرحله وارد شد. بررسی نتایج تحلیل مسئله در مراحل مختلف بارگذاری نشان از انطباق نسبتاً مناسب نتایج تحلیل با نتایج آزمایش داد. برای مثال به موارد ذیل می‌توان اشاره کرد:

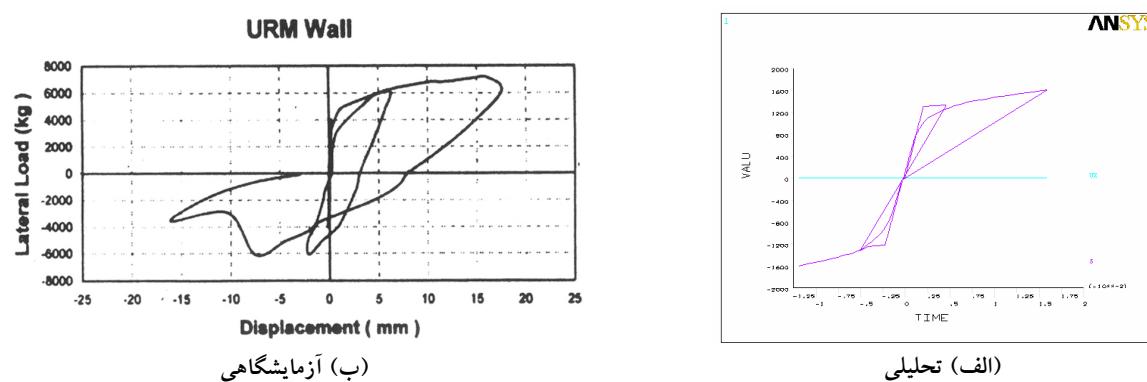
- ۱- نمودار جابه جایی افقی تحلیلی و آزمایشگاهی انتهای دیوار در شکل (۷) ترسیم شده است. (لازم به ذکر است در شکل ۷-الف نمودار جابه جایی تحلیلی انتهای دیوار به دلیل جابه جایی بسیار کم دیوار در محدوده الاستیک (قبل ترک) و به لحاظ محدودیت در حافظه رایانه تنها در

از آنجایی که هدف، ساخت مدل ناهمگن است، هم آجرها و هم ملات با استفاده از این المان، لیکن با درنظر گرفتن خصوصیات مقاومتی متفاوت برای هر یک مدل شدند.

بعاد آجرهای درنظر گرفته شده در مدل رایانه‌ای $20 \times 11 \times 5\text{cm}$ و ضخامت لایه‌های افقی و قائم ملات نیز برابر $1/5\text{cm}$ مظور شد. برای تطابق بیشتر مدل تحلیلی و نمونه آزمایشگاهی به لحاظ هندسی به صورت یک‌در میان در ردیف‌های متوالی دیوار، ردیف افقی دیوار با یک آجر نیمه آغاز شد. برای توزیع یکنواخت بار قائم و بار جانبی روی دیوار، مشابه نمونه آزمایشگاهی تیر بارگذاری به مقطع $17/5 \times 20\text{cm}$ و همچنین فونداسیون بتنی به ابعاد $270 \times 30 \times 20\text{cm}$ مدلسازی شد. برای مدلسازی تیر و فونداسیون نیز از المان SOLID65 لیکن با مقاومت کششی و فشاری بالاتر استفاده شد. شکل (۴) دیوار مدلسازی شده را نشان می‌دهد. بار قائم وارد بر مدل عبارت است از بار گستردۀ خطی $M/KN = ۲۴/۳$ در تراز بالای تیرگذاری به صورت یکنواخت به آن وارد شد. علاوه بر این بار



شکل ۷- جابجایی افقی انتهای دیوار آجری [۴]



شکل ۸- مقایسه منحنی هیسترزیس دیوار آجری [۴]

۴- بررسی مقاومت دیوار تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت

با توجه به انطباق مناسب نتایج تحلیل مدل المان محدود و نتایج آزمون دیوار آجری در آزمایشگاه می‌توان این مدل را برای دیوارهای تقویت شده با مش و شاتکریت تعیین داد و از نتایج بدست آمده از تحلیل آنها ارزیابی قابل اطمینانی از رفتار و مقاومت دیوارها به دست آورد. بدین منظور در ادامه این بحث مدل تحلیلی یک دیوار آجری غیر مسلح در حالت‌های مختلف (با بازشو و بدون بازشو) مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد مدل‌های تقویت شده متاناظر این دیوار نیز ساخته شد و نتایج پس از تحلیل با هم مقایسه شدند.

دیوار آجری انتخابی به طول ۳m و ارتفاع ۲m و ضخامت ۲۲cm است. برای اعمال بار قائم و جانبی به دیوار تیر بارگذاری

محدوده پلاستیک رفتار دیوار ترسیم شده است. جابه‌جایی افقی در آزمون و تحلیل قبل از وقوع ترک کم بوده که پس از وقوع ترک به طور ناگهانی افزایش می‌یابد (در هر دو مورد حدود ۵ mm)، همچنین میزان جابه‌جایی نهایی در هر دو مورد حدود ۱۵ mm است. همچنین بار وقوع ترک در دو مورد حدود ۶۰ KN و بار نهایی حدود ۷۰ KN است.

- در شکل (۸) تطابق منحنی هیسترزیس تحلیلی و

آزمایشگاهی را می‌توان ملاحظه کرد.

- مکانیزم وقوع ترکها و گسترش آنها در مدل و آزمون شبیه یکدیگر بوده و منشا ترکها در هر دو خمی است. شکل (۵) ترک خورده‌گی دیوار در اثر بار ۶۰ KN را نشان می‌دهد که (دایره‌های قرمز رنگ در شکل نشان دهنده ترکها در جهت اصلی ۱ هستند) [۳]. کانتور جابه‌جایی قائم دیوار نیز در شکل (۶) آورده شده است.

جدول ۱- مقاومت حد ترک و گسیختگی نهایی در مدلها

دیوار آجری	وضعیت	بار جانبی در لحظه ترک اول	مقاومت نهایی	نسبت مقاومت حد نهایی به مقاومت ترک خوردگی
بدون بازشو	بدون تقویت	۵۸ KN رفت	۷۲ KN رفت	۱/۲
	تقویت شده	۱۰۸ KN رفت	۳۰۵ KN رفت	۲/۸
	میزان افزایش	۱/۹	۴/۲	
بازشو به شکل پنجه	بدون تقویت	۴۲/۵ KN رفت	۶۷ KN رفت	۱/۶
	تقویت شده	۶۴ KN رفت	۲۰۰ KN برگشت	۱/۳
	میزان افزایش	۱/۵	۳/۰	
بازشو به شکل در	بدون تقویت	۴۲/۵ KN رفت	۵۷ KN رفت	۱/۳
	تقویت شده	۷۰ KN رفت	۲۰۰ KN برگشت	۲/۶
	میزان افزایش	۱/۵	۳/۵	

المانهای بنایی به خوبی متصل شده‌اند به گونه‌ای که در اثر اعمال بار جانبی و قائم، روکش از دیوار جدا نشده و کمانش نمی‌کند و کل مقطع به صورت یکپارچه عمل می‌کند. ضمناً فرض شد که آرماتورهای قائم روکش داخل فونداسیون ادامه یافته‌اند به گونه‌ای که طول مهاری مناسب آرماتورهای قائم تامین شده و این آرماتورها در پای دیوار می‌توانند به ظرفیت پلاستیک کامل خود برسند.
بار جانبی نیز مشابه حالت قبل به گره‌های جانبی تیر بازگذاری به صورت رفت و برگشتی اعمال شد. مقدار بار جانبی از مقدار حداقل که باعث وقوع اولین ترک در دیوار شود آغاز شد و تا مقداری که باعث گسیختگی کامل دیوارها شود (بسته به مقاومت هر دیوار) به صورت مرحله‌ای افزایش یافت.

۵- بررسی تأثیر روکش در مقاومت و رفتار دیوار آجری

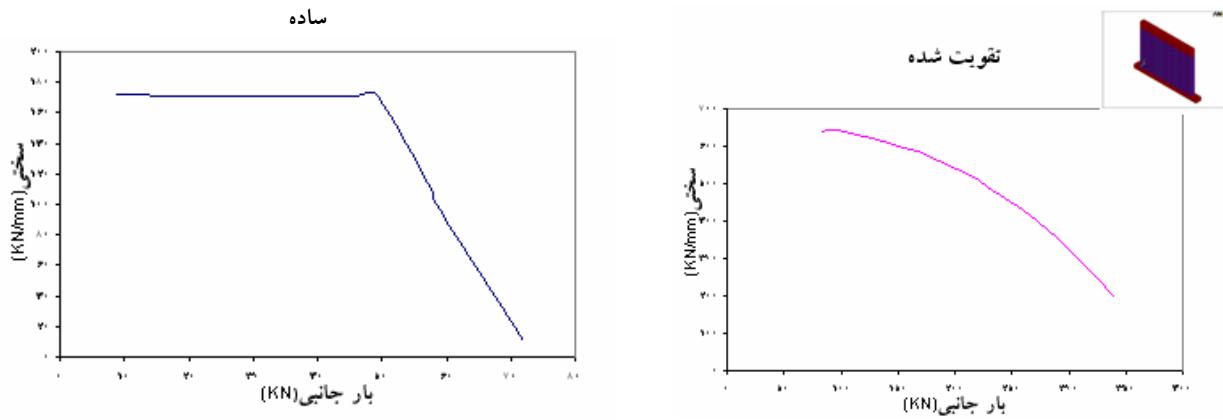
نتایج تحلیل نشان می‌دهد اضافه شدن روکش تأثیرات مهمی در مقاومت و سختی دیوارها دارد که به‌طور مختصر می‌توان موارد زیر را جمع بندی کرد :

۱-۵- ترک خوردگی و مقاومت نهایی

دیوارهای تقویت شده در مقایسه با دیوارهای ساده در بار جانبی بالاتری ترک خورده اولین ترکها نیز در المانهای شاتکریت ظاهر شدند. جدول (۱) نشان دهنده مقاومت حد الاستیک (ترک) و مقاومت در لحظه گسیختگی است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در اثر اعمال روکش میزان مقاومت

به مقطع $۲۲ \times ۳۰\text{cm}$ در بالای دیوار مدلسازی شد. بار قائم وارد به دیوار نیز برابر $\text{KN/m} ۲۴/۵$ در نظر گرفته شد. برای بررسی اثر بازشو در دیوار آجری و همچنین تأثیر تقویت دیوار در این حالت، مدل دیوار با بازشو نیز مورد بررسی قرار گرفت. در مورد اول بازشو به صورت پنجه و به ابعاد $۱۱۰ \times ۸۰\text{cm}$ و در مرحله بعد دیوار آجری با بازشو به صورت درب به ابعاد $۹۰ \times ۱۴۰\text{cm}$ در بخش میانی دیوار به صورت متقاضن در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه وجود بازشو باعث ایجاد ترک و تغییر شکلهای زیاد دیوار در محل بازشو به علت بار قائم خواهد شد لذا تیر نعل درگاهی بتن در بالای پنجه و درب مدلسازی شد.

در مرحله بعد دیوار آجری تقویت شده مدلسازی شد. با توجه به اینکه شاتکریت به همراه مس استفاده شده برای مدلسازی بتن مسلح ایجاد می‌کنند لذا المان استفاده شده برای مدلسازی شاتکریت نیز المان SOLID65 است. المانهای شاتکریت در مقایسه با المانهای بنایی، صلابت همچنین مقاومت کششی و فشاری بالاتری دارند. المانهای روکش در دو طرف دیوار و به ضخامت ۵ cm در هر طرف منظور شد. شبکه آرماتور مصرفی در بتن تقویت دیوار به صورت آرماتورهای به قطر 8 mm در ۱۰ cm در نظر گرفته شد ($\Phi 8 @ 10\text{cm}$). مقدار آرماتور به صورت درصد حجمی به المان SOLID65 داده می‌شود، لذا درصد آرماتور المانهای شاتکریت برابر (1%) به دست می‌آید که در جهت افقی و قائم اعمال شد.
در مدلسازی شاتکریت فرض می‌شود که المانهای بتن به



شکل ۹- مقایسه منحنی تغیرات سختی دیوارهای تقویت شده و تقویت نشده با بار جانبی [۴]

شده به صورت گرماست و به هر میزان که منحنی هیسترزیس چاق‌تر باشد این انرژی تلف شده بیشتر خواهد بود [۲]. لذا برای بررسی میزان جذب انرژی دیوار روش شده و دیوار بدون روکش، منحنی هیسترزیس دیوارها ترسیم شده است شکل (۹).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دیوار آجری ساده میزان جذب انرژی در محدوده رفتار الاستیک بسیار کم و برابر صفر است. بعد از ترک خوردنگی سطح زیر منحنی به یکباره افزایش یافته که نشانگر جذب و اتلاف انرژی زیاد است اما باید توجه کرد که روند جذب انرژی بالا تنها در یک یا دو سیکل ادامه می‌یابد و در سیکلهای بعدی متوقف می‌شود.

در مدل تقویت شده اگرچه دیوار پس از بوجود آمدن ترکها و قوع تغییر شکل پلاستیک ظرفیت باربری خود را از دست نداده و می‌تواند بار جانبی تا بیش از دو برابر مقاومت حد ترک خوردنگی را تحمل کند، لیکن میزان تغییر شکل جانبی و در نتیجه شکل پذیری دیوار به‌علت بالا بودن سختی و ترد بودن رفتار دیوار روکش شده کم است. همان‌گونه که در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود سطح زیر منحنی‌های هیسترزیس دیوار آجری تقویت شده بسیار کم بوده که نشان دهنده ظرفیت اتلاف انرژی پایین آن است.

علت کم بودن میزان شکل پذیری و جذب انرژی دیوار درصد نسبتاً بالای آرماتور انتخابی برای المانهای شاتکریت (۱٪) است. از آنجایی که شکل پذیری بتن کم بوده و ماده‌ای ترد محسوب می‌شود در مقاطع بتن مسلح، آرماتورهای فولادی

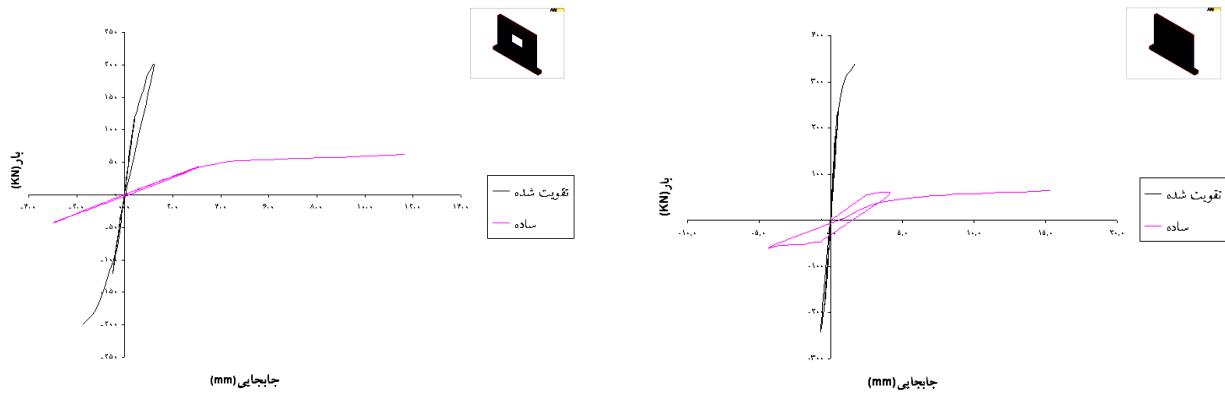
حد ترک $1/5$ تا $1/9$ برابر و مقاومت نهایی $3/2$ تا $4/2$ برابر می‌شود. همچنین ستون انتهایی جدول (۱) نشان دهنده نسبت مقاومت در حد نهایی به مقاومت ترک خوردنگی است. ملاحظه می‌شود که نسبت مقاومت حد نهایی به مقاومت حد الاستیک در دیوارهای تقویت شده نسبت به دیوارهای ساده تا 3 برابر بیشتر است. این مطلب بدین معناست که دیوارهای روکش شده پس از ترک خوردنگی و تغییر شکلهای پلاستیک ظرفیت باربری خود را از دست نمی‌دهند یا به عبارت دیگر همانند دیوارهای تقویت شده وقوع ترک مساوی با انهدام کامل دیوار نیست.

۲-۵- سختی

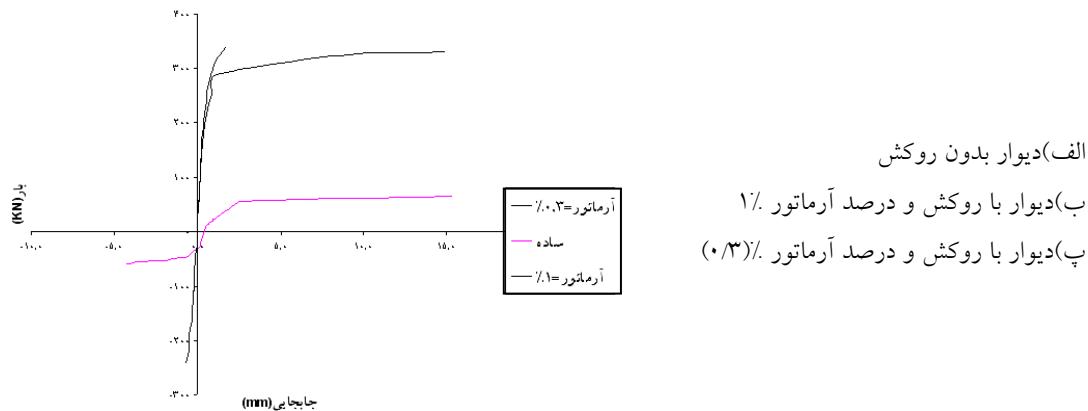
در اثر اعمال روکش سختی دیوار به طور مشخصی افزایش می‌یابد. شکل (۹) تغییرات سختی دیوار آجری تقویت شده و بدون تقویت را با بار جانبی نشان می‌دهند. با ایجاد روکش سختی جانبی دیوار تقریباً تا 6 برابر افزایش یافت. نکته دیگر تغییرات سختی با بار جانبی است همان‌طور که ملاحظه می‌شود دیوار آجری بدون تقویت بلا فاصله پس از بوجود آمدن ترک و تغییر شکلهای پلاستیک سختی خود را از دست می‌دهد (منحنی با شیب تندی سقوط می‌کند). لیکن در نمونه تقویت شده شیب منحنی ملایمتر بوده و سختی با روند کندتری کاهش می‌یابد.

۳- منحنی هیسترزیس

سطح زیر منحنی هیسترزیس نشان دهنده مقدار انرژی تلف



شکل ۱۰- مقایسه منحنی هیسترزیس دیوارهای آجری تقویت شده و تقویت نشده [۴]



شکل ۱۱- پوش منحنیهای هیسترزیس [۴]

بدون بازشو با درصد آرماتورهای افقی و قائم برابر ($0/3\%$) تحلیل شد. در این حالت آرماتورهای کششی به حد تسلیم خود رسیده و تغییر مکان نهایی انتهای دیوار در لحظه قبل گسیختگی برابر 8mm به دست آمد. شکل (۱۱) پوش منحنی هیسترزیس دیوار در این حالت را در مقایسه با دیوار بدون روکش و دیوار روکش شده با درصد آرماتور 1 درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کاهش میزان آرماتورها به ($0/3\%$) نه تنها مقاومت دیوار را کاهش نمی‌دهد بلکه باعث می‌شود میزان تغییر شکلهای نهایی چند برابر شده و سطح زیر منحنی هیسترزیس افزایش یابد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به منظور عملکرد شکل پذیر دیوار تقویت شده باید درصد آرماتور المانهای شاتکریت را کاهش داد به گونه‌ای که در اثر اعمال بار جانبی رفت و برگشتی به حد تسلیم خود برسند.

علاوه بر فراهم نمودن مقاومت کششی، عامل اصلی افزایش شکل پذیری نیز محسوب می‌گردد زیرا آرماتورها در کشش تسلیم شده و قبل از رسیدن به حد گسیختگی تغییر شکلهای زیاد تحمل می‌کنند. بالا رفتن درصد آرماتور در مقاطع بتی باعث می‌شود تا آرماتورها که عامل اصلی شکل پذیری در مقاطع بتن مسلح‌اند در مقاومت گسیختگی بتن به حد تسلیم خود نرسیده و لذا مقطع به صورت ترد دچار شکست شود. با بررسی جدول خروجی المان میزان تنفس آرماتورها را می‌توان به دست آورد. ملاحظه شد که در دیوارهای آجری روکش شده میزان تنفس حداکثر آرماتورهای قائم در المانهای روکش به $0/6\text{Fy}$ و کمتر محدود می‌شود و آرماتورها هنوز به تنفس تسلیم نهایی خود نرسیده‌اند. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که درصد آرماتور انتخابی 1% در المانهای روکش زیاد است. برای بررسی این مورد، مدل دیوار آجری تقویت شده

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نتایج ذیل پس از بررسی تحلیلها و محاسبات و نمودارها به دست آمده است:

- ۴- روند کاهش سختی در دیوار روکش دار نسبت به دیوار بدون روکش کندر است.
- ۵- میزان آرماتور روکش بتی نقش تعیین کننده‌ای در شکل پذیری و ظرفیت اتلاف انرژی دیوارهای تقویت شده دارد. برای افزایش میزان شکل پذیری و جذب انرژی باید میزان آرماتور در المانهای روکش محدود شود. پیشنهاد می‌شود درصد آرماتور حداقل توصیه شده برای مقاطع خمسی ($14/F_y$) در روکشهای بتی قرار داده شود.

- ۱- ایجاد روکش بتی مسلح در دیوار آجری تحلیل شده مقاومت حد الاستیک را به طور متوسط $1/6$ برابر و مقاومت حد نهایی را $3/2$ تا $4/2$ برابر افزایش داد.
- ۲- دیوار آجری روکش دار برخلاف دیوارهای آجری ساده بعد از وقوع ترک مقاومت خود را از دست نداده و تا 3 برابر نیروی حد ترک خوردگی بار تحمل کرد.
- ۳- سختی دیوار روکش دار 6 برابر نسبت به دیوار بدون

مراجع

1. SAS IP Inc.; ANSYS Theory Manual; Edited by kohnke, Peter; 8th edition; 1997.
2. تسنیمی، ع، بررسی تجربی روش‌های مقاوم سازی ساختمانهای آجری نیم اسکلت در با بر زلزله (گزارش مرحله اول)، چ، ۱، تهران: کمیته فرعی-تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین، ۱۳۸۰.
3. SAS IP Inc.;ANSYS Element Manual, 9th Edition; 1997
4. قدس، س، "مقام سازی دیوارهای آجری تقویت شده با شبکه آرماتور و شاتکریت"، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد سازه، تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران، زمستان ۱۳۸۲. زیر نظر دکتر فریبرز ناطقی الهی.