انتشارات هنر آبی

تهران . اتوبان شهید آبشناسان. خیابان امام حسین . بن بست امید. پلاک ۷ . تلفن: ٤٤٦١٠٩٢٨

نام کتاب: مدلسازی سازه‌های بنایی در نرم افزار ABAQUS

نویسندگان: رضا فضلی و موسی مظلوم

ناشر: انتشارات هنر آبی

سال نشر: هزار و سیصد و نود و شش

تیراژ: ۱۰۰۰ جلد

شابک: ۱-۹۵-۵۷۴۳-۶۰۰-۹۷۸

قیمت: ۲۰۰۰۰ تومان

مدلسازی سازه‌های بنایی در نرم افزار ABAQUS

تالیف

رضا فضلی **موسی مظلوم**

۱۳۹۶

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۱-۱- ساختمان های بنایی غیر مسلح ۱

۱- ۱-۲- ساختمان های بنایی کلاف دار ۳

۱-۱-۳- ساختمان های بنایی مسلح ۴

۱-۲- مروری بر روشهای مقاوم سازی دیوارهای سازه های بنایی ٦

۱-۲-۱- تقویت دیوارها با استفاده از شبکه فولادی و پوشش بتنی یا ملات ماسه سیمان ۷

۱-۲-۲- استفاده از روکش ملات مسلح ۸

۱-۲-۳- استفاده از روکش بتن مسلح ۱۵

۱-۲-۴- استفاده از روکش بتنی و هسته های بتن مسلح ۲۱

۱-۲-۵- استفاده از میلگردهای پس کشیده ۲۴

۱-۲-۶- استفاده از تسلیح خارجی ۲۶

۱-۲-۷- استفاده از روش محصور کردن با استفاده از کلاف عمودی ۲۷

۱-۲-۸- استفاده از کامپوزیت‌ها ۲۸

۱-۳- مروری بر مطالعات پیشین ۲۹

فصل دوم: دیوار بنایی

۲-۱- مقدمه ۴۱

۲-۲- معرفی پروژه ۴۲

۲-۳- مدل سازی با نرم افزار ABAQUS ۴۴

۲-۳-۱- شروع مدل سازی ۴۴

۲-۳-۲- ترسیم هندسه قسمت های مختلف مدل ۴۶

۲-۳-۳- تعریف مصالح ۴۸

۲-۳-۴- سرهم بندی اجزای مختلف مدل ۵۶

۲-۳-۵- تعریف نحوه آنالیز و خروجی های مورد نظر ۶۳

۲-۳-۶- تعریف اندرکنش بین اجزای مختلف ۷۰

۲-۳-۷- تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی ۸۴

۲-۳-۸- مش بندی اجزای مختلف مدل ۹۴

۲-۳-۹- تعریف آنالیز، تحویل مدل برای آنالیز ۹۷

۲-۳-۱۰- بررسی خروجی ها و نتایج ۹۸

فصل سوم: مقاوم سازی میانقاب بنائی با قاب بتنی مسلح بوسیله شاتکریت مسلح

۳-۱- مقدمه ۱۰۵

۳-۲- معرفی پروژه ۱۰۶

۳-۳- مدل سازی با نرم افزار ABAQUS ۱۰۶

۳-۳-۱- شروع مدل سازی ۱۰۶

۳-۳-۲- ترسیم هندسه قسمت های مختلف مدل ۱۰۸

۳-۳-۳- تعریف مصالح ۱۱۵
۳-۳-۴- سرهم بندی اجزای مختلف مدل ۱۲۶
۳-۳-۵- تعریف نحوه آنالیز و خروجی های مورد نظر ۱۳۵
۳-۳-۶- تعریف اندرکنش بین اجزای مختلف ۱۴۳
۳-۳-۷- تعریف بارها و شرایط تکیه گاهی ۱۵۰
۳-۳-۸- مش بندی اجزای مختلف مدل ۱۶۲
۳-۳-۹- تعریف آنالیز، تحویل مدل برای آنالیز ۱۶۶
۳-۳-۱۰- بررسی خروجی ها و نتایج ۱۶۷
مراجع ۱۷۱
واژه نامه ۱۷۶
فهرست موضوعی ۱۸۲

پیشگفتار

امروزه سازه‌های بنایی به دلیل در دسترس بودن مصالح، سهولت اجرا و توجیه اقتصادی قابلیت استفاده وسیعی را در کشور ما دارند. بخش عمده تلفات ناشی از زلزله، مربوط به تخریب ساختمان های آجری می‌باشد. این ساختمان‌ها با توجه به زلزله های گذشته بیشترین آسیب پذیری را در برابر بارهای لرزه‌ای دارا می باشند، علی الخصوص ساخت و سازهایی که در دهه ۶۰ و قبل از آن در داخل کشور انجام شده است، غالباً بدون توجه به ضوابط و مقررات طرح لرزه‌ای ساختمان‌ها صورت گرفته است تا اینکه در زلزله منجیل- رودبار سال ۱۳۶۹ پژوهشگران را به فکر راهکاری موثرتر در زمینه کاهش خطرات ناشی از زلزله انداخت و با تهیه و تدوین مقررات و دستورالعمل های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها بتوانند موجبات کاهش خطرات ناشی از زلزله را فراهم سازند.

در این کتاب به مدلسازی سازه‌های بنایی با نرم افزار آباکوس پرداخته شده است. همچنین در مثال‌های ارائه شده نکات کلیدی را که حاصل ساعت‌ها کار با نرم افزار می‌باشد، ارائه گردیده است. در فصل اول، مقدمه‌ای بر سازه‌های بنایی و کارهای انجام شده و تجربیات گذشته آمده است. در فصل دوم، رفتار درون صفحه یک دیوار آجری با روش میکروی ساده شده شبیه سازی دقیق گردیده و در نهایت رفتار آن با تطابق نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی موجود، مورد بررسی عمیق قرار گرفته است. در فصل سوم، به بررسی اثر میانقاب مصالح بنایی بر پاسخ لرزه‌ای یک قاب بتنی با تحلیل پوش- آور پرداخته شده است.

امید است مجموعه حاضر مورد توجه دانشجویان، مهندسین ساختمان و اساتید محترم واقع شود. بدون تردید دیدگاه های کارشناسانه خوانندگان ما را در بهبود بخشیدن به کیفیت چاپ های بعدی این کتاب یاری خواهد کرد.

موسی مظلوم (Mazloom@srttu.edu) رضا فضلی (Rezafazli2010@yahoo.com)
عضو هیئت علمی دانشگاه شهید رجایی کارشناس ارشد زلزله

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

طبق آئین نامه طرح ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ساختمان با مصالح بنایی به ساختمانی اطلاق می‌گردد که با آجر، بلوک سیمانی و یا سنگ ساخته شده باشد و در آن تمام یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی تحمل گردد. [۱]

ساختمان های بنایی را با توجه به مصالح و روش ساخت می توان به سه قسمت عمده تقسیم بندی کرد:

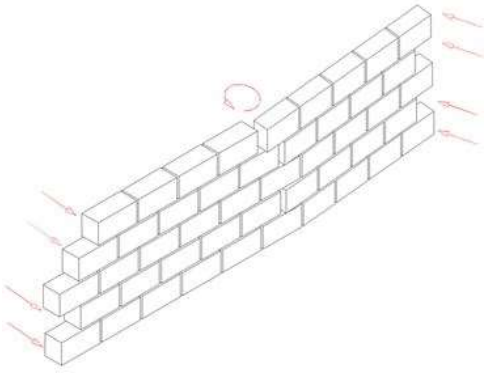
الف) ساختمان های بنایی غیر مسلح [۲]
ب) ساختمان های بنایی کلاف دار
ج) ساختمان های بنایی مسلح

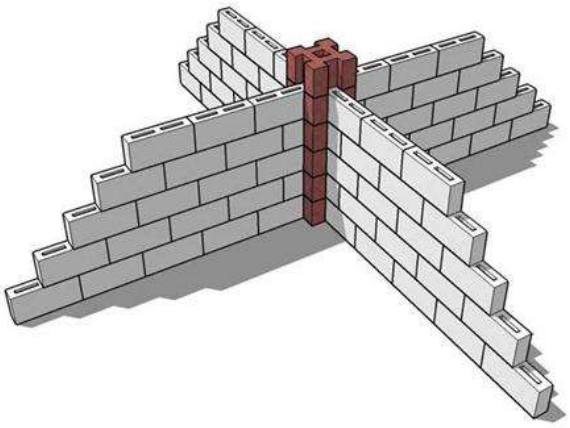
۱-۱-۱- ساختمان های بنایی غیر مسلح

این دسته متداول ترین و قدیمی ترین نوع ساختمان در کشور و سایر نقاط جهان است و با توجه به کیفیت مصالح و اجزاء خود به دو دسته شهری و روستایی تقسیم می‌گردد. مصالح عمده ای که در ساختمان های بنایی غیر مسلح در روستا مصرف می

شود خشت خام یا سنگ های رودخانه ای یا شکسته شده از معادن می باشد که با ملات گل در ساخت دیوارها به کار می رود. در ساختمان های شهری دیوارها از آجر فشاری یا بلوک سفالی یا بتنی همراه با ملات، ماسه، سیمان و سقف ها از تیر آهن و طاق ضربی یا تیرچه بلوک و گاهی نیز چوب بنا می شود. مصالح مصرفی عمدتاً دارای مقاومت فشاری مناسبی هستند. عنصر اصلی باربر در این ساختمان ها، دیوار بوده و بار سقف از طریق این دیوارها به پی منتقل می‌شود.

نقطه ضعف اصلی در این قبیل ساختمان ها نبودن اتصال مناسب بین اجزای تشکیل دهنده آنها مثل اتصال واحدهای مصالح با یکدیگر، اتصال دو دیوار و اتصال دیوار و سقف است. ساختمان های بنایی غیر مسلح دارای رفتار ترد و شکننده هستند و در برابر بارهای قائم از مقاومت کافی برخوردارند، مشکل اصلی، رفتار نامناسب آن ها در برابر زلزله و یا مواردی چون نشست نامساوی است. رفتار ساختمان های بنایی به دلیل ضعف مصالح بنایی در برابر کشش و برش موجب مشکلات در طراحی گردیده است (شکل ۱-۱).





شکل ۱-۱: دیوار بنایی غیر مسلح [۲]

۱- ۱-۲- ساختمان های بنایی کلاف دار

این سیستم دارای کلاف های قائم بتنی مسلح در فواصل منظم است که به وسیله کلاف های افقی بتنی مسلح به هم متصل می‌شوند، این کلاف ها دور تا دور دیوارهای آجری یا بلوکی تعبیه شده و باعث عملکرد یکپارچه آن ها می شوند. کلاف ها جزء عناصر سازه ای غیر باربر هستند که برای ایجاد کشش، یکپارچگی و انسجام ساختمان به کار می روند. کلاف ها باید در تمام گوشه ها و محل تقاطع دیوارهای سازه ها قرار بگیرد. استفاده از اجزای بتنی ، فولادی و یا چوبی به صورت کلاف های افقی یا قائم در میان دیوار موجب افزایش نسبی مقاومت دیوار می گردد. استفاده از این نوع ساختمان ها در آئین نامه های طرح لرزه ای برای مناطق لرزه خیز مورد تأکید است. آئین نامه ۲۸۰۰ ایران لزوم اجرای کلاف افقی روی دیوارها را ضروری می داند. همچنین اجرای کلاف بندی قائم هم در آئین نامه توصیه شده است، این کلاف ها در گوشه های دیوار به فاصله حداکثر ۵ متر اجرا می‌شود. [۲]

شکل ۱-۲: دیوار بنایی با کلاف قائم و افقی [۲]

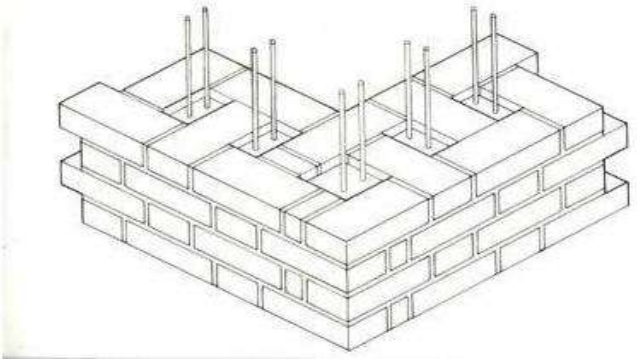
۱-۱-۳- ساختمان های بنایی مسلح

ساختمان های بنایی کلاف دار هرچند دارای عناصری هستند که موجب افزایش مقاومت می شوند اما زمانی می توان سازه را کاملاً مسلح دانست که دارای سیستم لرزه بر با دو ویژگی کاملاً ایستا و قابل محاسبه باشد. سیستم کاملاً ایستا آن است که در کلیه حالت های اصلی شکست دارای عناصر تسلیح باشد، مثلاً دیوارهای برشی دو حالت اصلی شکست را دارند؛ خمشی و برشی که عناصر تسلیح خمش میلگردهای قائم و عناصر تسلیح برش میلگردهای افقی هستند و با کلاف های تحتانی و فوقانی نمی توان مانع شکست خمشی شد. میلگردهای قائم برای تحمل تنش های خمشی و میلگردهای افقی برای تحمل تنش های برشی مورد استفاده قرار می گیرد. در ساختمان های بنایی مسلح، قرار دادن فولاد در نواحی مورد نیاز مشکل است. از طرفی این میلگردها باید

توسط دوغاب یا بتن محصور شوند، به طوری که نتیجه کار یک مجموعه مرکب را به وجود آورد. طبق آئین نامه UBC، مصالح بنایی مسلح به مصالحی اطلاق می شود که سطح مقطع تسلیح چه در حالت افقی و چه در حالت قائم بیشتر از ۰/۰۰۰۷ سطح مقطع کل باشد. در ضمن مجموعه میلگردهای افقی و قائم بیشتر از ۰/۰۰۲ سطح مقطع مربوطه باشد.

روش دیگر در اجرای ساختمان های بنایی مسلح استفاده از بلوک های تو خالی است. در این روش دیوارها از یک ردیف قطعات بنایی تو خالی تشکیل می شوند. میلگردها افقی و قائم در حفره های آن ها قرار می گیرد و حفره ها باید حین بالا رفتن از ملات پر شود. [۳]

در بررسی هایی که در مورد عملکرد ساختمان های بنایی مسلح و غیر مسلح در زلزله های گذشته انجام شده است دیده شده که ساختمان های بنایی مسلح که درست اجرا شده بودند رفتار مناسب نشان داده و شکل پذیری قابل قبولی داشته اند. این ساختمان ها در بیشتر موارد فقط دچار خسارت جزئی شده اند.



شکل ۱-۳: دیوار بنایی مسلح [۳]

۱-۲- مروری بر روشهای مقاوم سازی دیوارهای سازه های بنایی

از مهمترین نکات مربوط به مقاوم سازی این است که قبل از آن ساختمانی که قرار است تقویت شود، ارزیابی یا شناسایی گردد. تقویت و تسلیح ساختمانهای بنایی می تواند احتمال تلفات و خسارت درآینده و در کل، استعداد خرابی آن را کاهش دهد، بنابر این احتمال خرابی این ساختمانها فقط تا یک حد معینی کاهش می یابد. واضح است که اهمیت لرزهخیزی منطقه، مقدار و حدود تسلیح را تعیین می کند. در مقاوم سازی ساختمانهای بنایی تقویت دیوارهای باربر به تنهایی کافی نمی باشد و باید ساختمان به گونهای مقاوم سازی شود که وقتی در معرض زلزله قرار گرفت هیچ جزئی از آن فرو نریزد. این مسأله ما را ملزم می کند که در کار تقویت، قسمتهای مختلف ساختمان به یکدیگر متصل شوند، و تقویت همه جانبه مدنظر قرار گیرد.[۴]

بر اساس مطالعات و آزمایشهای گوناگون انجام شده بر روی آنالیز خسارت، روش‌های تکنیکی مختلفی برای ترمیم ساختمان‌های بنایی موجود مورد بررسی قرار گرفته است. بمنظور گسترش استفاده و دامنه کاربرد این روش‌ها، باید تکنیک‌های پیشنهادی در عین حال ساده و اقتصادی نیز باشند. بعلاوه در مورد ساختمان‌های تاریخی و سنتی این روش‌ها باید شرایط و محدودیت‌های حفظ و نگهداری آثار و ابنیه فرهنگی را نیز برآورده سازد. [۵]

روش‌ها و تکنیکهای ترمیم و بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای بنایی در مقابل زلزله بصورت زیر خلاصه می شوند:

الف) روشهای تکنیکی برای بهسازی لرزه ای عناصر سازهای چون فونداسیونها، دیوارها و ستونهای بنایی

ب) روشهای تکنیکی در اتصال دیوارها و درگیر کردن و صلب نمودن کفها

پ) روشهای تکنیکی برای بهبود طرح سازه ای

ت) روشهای تکنیکی برای افزایش پایداری المانهای سازه‌ای و المانهای غیر سازه ای

یکی از روشهای مقاوم سازی ساختمانهای بنایی موجود در برابر بار جانبی، افزایش مقاومت دیوارهای باربر است. دیوارهای باربر در ابتدای ساخت بنا برای تحمل بارهای ثقلی در نظر گرفته شده اند و مقاومت و شکل پذیری کمی در برابر بار جانبی از خود نشان می دهند، به همین دلیل در تقویت این دیوارها سعی بر این است که با اضافه کردن المانهای جدید و یا بکارگیری روشهایی جهت افزایش مقاومت آنها، تحمل سازه در برابر بار جانبی افزایش یابد. در این قسمت چند روش مقاوم سازی دیوارهای آجری تشریح می گردد و تاریخچه تحقیقات آنها نیز آورده شده است. [۵]

۱-۲-۱- تقویت دیوارها با استفاده از شبکه فولادی و پوشش بتنی یا ملات ماسه سیمان

در ساختمانهای بنایی غیر مسلح، دیوارها نقش اساسی در رفتار لرزه‌ای سیستم سازه ای ایفا می کنند. در دیوارهای ساختمانهای مصالح بنایی که به علت استفاده از ملات ضعیف، المانهای بنایی با مقاومت کم و هم چنین، اجرای نامناسب مقاومت لرزه‌ای کافی را ندارند. یکی از راهکارهای مناسب تقویت این قبیل دیوارها، برای افزایش مقاومت، استفاده از شبکه فلزی و ملات ماسه سیمان یا بتن فروسیمان است.

در این روش دیوار آجری تقویت شده در برابر بارهای جانبی مقاومت خوبی از خود نشان می دهد و روکشهای بتن مسلح اضافه شده به همراه دیوار آجری همانند یک دیوار برشی عمل می کنند. یعنی مقاومت آن را در برابر بارهای صفحه ای افزایش می دهد و تا حدود قابل توجهی شکل پذیری آنرا بهبود می‌بخشد.

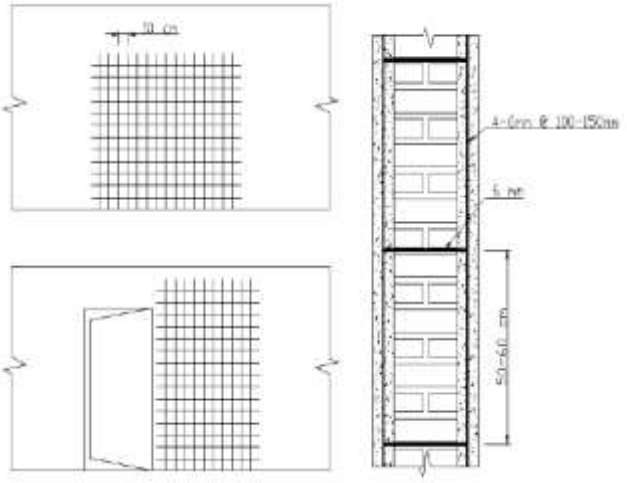
۱-۲-۲- استفاده از روکش ملات مسلح

استفاده از یک روکش نازک ملات سیمان بر روی میلگردهای پر مقاومت که به صورت قطری یا عمودی و افقی روی دیوار نصب شده اند به عنوان یکی از روشهای مقاوم سازی مطرح می باشد. مراحل اجرای شبکه فلزی و ملات ماسه سیمان در دیوارهای سنگی، آجری و بلوک سیمانی به شرح زیر است:

ابتدا اندود قبلی دیوار و ملات بین بندهای واحد بنایی ۱۰ تا ۱۵ میلیمتر برداشته می شود، سپس ترک های دیوار در صورت وجود، با دوغاب تزریق می شود و سطح دیوار تمیز و مرطوب شده و سپس روی آن مخلوط سیمان پاشیده می شود. بعد ۱۰ تا ۱۵میلیمتر اندود سیمان، شبکه میلگردها در هر دو طرف دیوار نصب می شود. در دیوارهای سنگی، این شبکه، از میلگردهای با قطر حداقل ۲ میلیمتر به فاصله حدود ۵۰ میلیمتر در جهت قائم و افقی تشکیل می شود که با تنگهایی به قطر ۶ میلیمتر در دو طرف دیوار به هم بسته می شوند. این تنگها در سوراخهایی در فواصل ۳۰ تا ۴۰ سانتیمتر از یکدیگر، شبکه های دو سمت دیوار را بهم متصل می کند. تعداد این تنگها برای جلوگیری از طبله کردن اندود سیمان روی دیوار، بسیار مهم است. پس از نصب شبکه و تنگها، لایه دوم اندود سیمان با ضخامت ۳۰ تا ۴۵ میلیمتر بر روی دیوار پاشیده می شود، به طوریکه ضخامت نهایی اندود ۵۰ میلیمتر شود. [۲]

در دیوارهای آجری و بلوک سیمانی، این شبکه (مش) از آرماتور با قطر ۴ میلیمتر به فواصل ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در جهت قائم و افقی تشکیل می شود که با تنگهای فولادی به قطر ۶ میلیمتر در دو طرف دیوار به هم بسته می شوند. این تنگها در سوراخهایی به تعداد ۴ تا ۶ عدد در هر متر مربع دیوار قرار می گیرند. این شبکه، علاوه بر ترمیم ترکهای موجود دیوار از نظر اجرا، ساده و باعث افزایش مقاومت برشی و افزایش قدرت حمل بار قائم دیوار می شود. پس از آنکه شبکه میلگردها به تنگها

اتصال داده شد، لایه دوم اندود سیمان با همان ضخامت بر روی آن پاشیده می شود. ضخامت نهایی اندود به ۲۵ تا ۳۰ میلیمتر خواهد رسید. [۲]



شکل ۱-۴ : بهسازی و تقویت دیوار بنایی آجری با اندود سیمان مسلح [۱]

اثرات اندود سیمان مسلح و یا اندود بتن مسلح بر روی مقاومت جانبی آنها، هم در آزمایشگاه و هم در محل مورد آزمایش قرار گرفته که در بخش بعدی بعضی از این تاریخچه تحقیقات آورده شده است. با اندودکاری دوطرف دیوار، مقاومت برشی دیوار افزایش می یابد. به سادگی می توان نسبتی بین مقاومت جانبی دیوار اولیه و دیوار مقاوم شده بیان نمود (ضریب افزایش مقاومت جانبی). تأثیر اندود کردن دیوار بر روی مقاومت جانبی، تناسب معکوس با کیفیت دیوار اولیه دارد. اندود کردن دیوار ضعیف اثر مطلوب و مناسبی دارد. حال آنکه اندود کردن دیوار با کیفیت اولیه خوب، تاثیر چندانی ندارد. [۵]

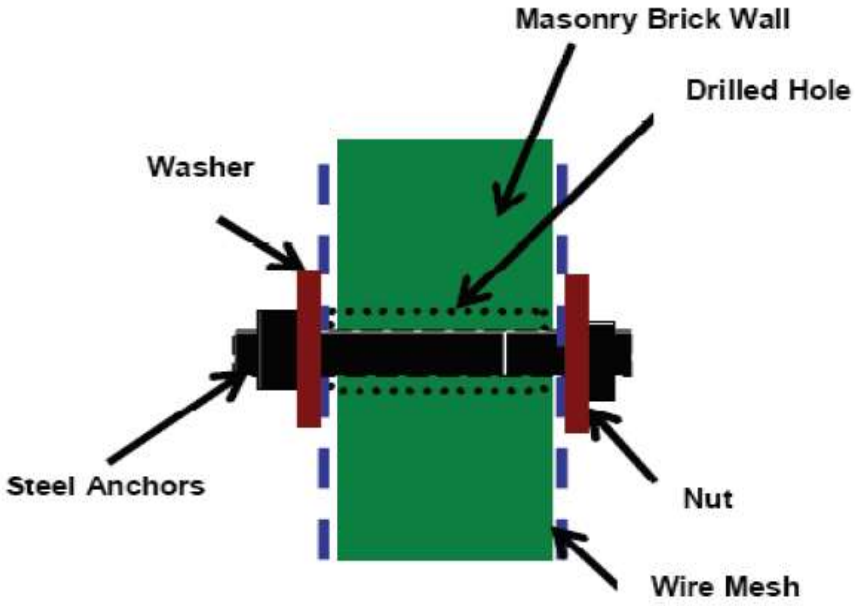
چسبندگی بین شبکه فولادی و دیوار آجری تا حد زیادی بستگی به مهارهای بکار رفته در سیستم دارد در این حیطه سابرا و همکاران (۲۰۰۵) در یک مطالعه آزمایشگاهی ۱۴ پانل بنایی ساختند. [۶]

در این بررسی دو نوع دیوار آجری با اندازه های ۶۰*۱۲۰*۲۵۰ میلیمتر مورد بررسی قرار گرفت، که آجرها دارای دو نوع مقاومت فشاری میانگین ۴/۶ مگا پاسکال و ۷/۲مگا پاسکال بودند. مش های فولادی با بازشوهای ۱۹ میلیمترمربع بافته شده، بعنوان مشهای فولادی مسلح کننده دیوار بکار رفتند. قطرمیلگردها ۱/۹ میلیمتر بوده و تنش تسلیم آن ۳۸۰ مگاپاسکال می باشد. برای روکش ملات مسلح دو طرح اختلاط مختلف در نظر گرفته شده است. در طرح اختلاط نوع ۱ که مقاومت فشاری آن۲۰ مگاپاسگال می باشد نسبت سیمان : ماسه : آب ، بترتیب ۱ : ۳/۲۶ : ۰/۶ می باشد و در طرح اختلاط نوع ۲ که مقاومت آن ۴۰ مگاپاسکال می باشد نسبت سیمان : ماسه : آب ، بترتیب ۱ : ۲: ۰/۴ می باشد که در شکل ۲-۲ آورده شده است.

شکل ۱-۵: روند انجام تقویت دیوار آجری با ملات سیمانی مسلح [۶]

برای محکم کردن شبکه فولادی به دیوارهای بنایی، از مهار فولادی به قطر ۸,۵ میلیمتر قبل از پوشش سیمانی استفاده کردند. مقاومت نهایی مهارها ۷۰۰ مگاپاسکال و مقاومت برشی آن ۳۸۰ مگاپاسکال می‌باشد.

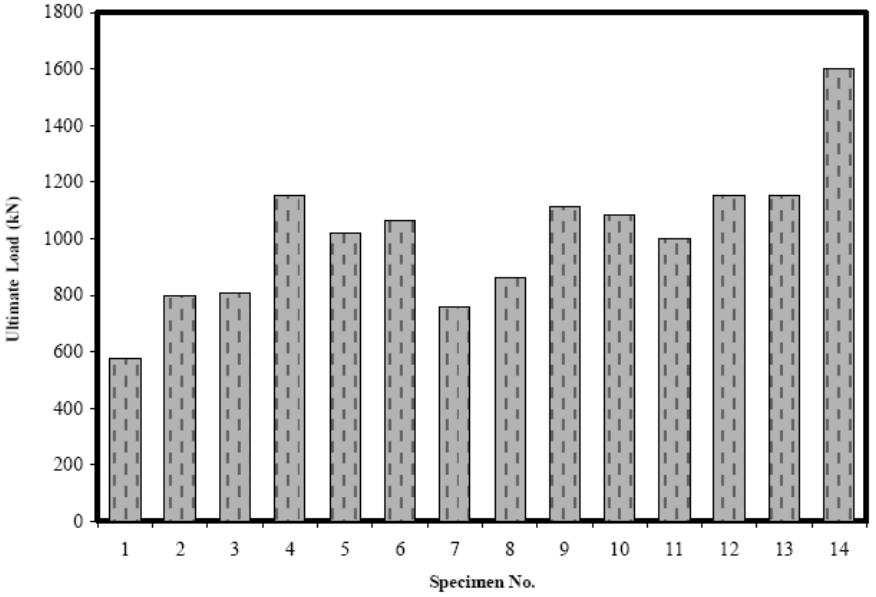
همچنین مکان مهارهای فولادی بکار رفته در این مطالعه آزمایشگاهی به فاصله ۴۰۰میلیمتر و ۲۰۰ میلیمتر در راستای قائم و افقی از یکدیگر بوده است. این مهارها به کمک واشرهای متصل شده به آنها شبکه فولادی را محکم ساخته اند که در شکل ۲-۳ جزییات اتصال آورده شده است.



شکل ۱-۶ : جزئیات اتصال مهار به شبکه فولادی [۶]

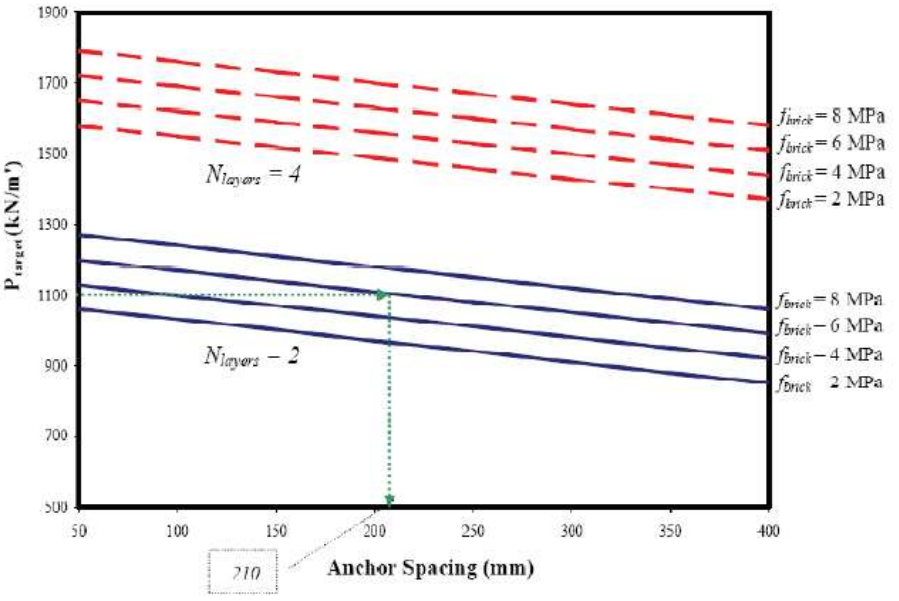
بعد از محکم کردن شبکه فولادی، پوشش سیمانی به ضخامت ۲۰ میلیمتر بر روی شبکه فولادی دو طرف دیوار پاشیده می شود. اگرچه ارتباط عملکرد مهارها با لغزش

پوشش سیمانی و دیوار آجری قابل توجه است، می توان این نتیجه را گرفت که مهارهای متصل کننده پوشش سیمانی و شبکه فولادی فاکتور اصلی در پیوستگی کل دیوار تقویت شده می باشد. بنابراین تخمین فاصله مناسب برای این تکنیک مقاوم سازی باید بیان گردد. بعد انجام آزمایش، مقدار بار نهایی ثبت شده در شکل زیر آورده شده است.



شکل ۱-۷: مقدار بار نهایی ثبت شده برای نمونه ها [۶]

سابرا و همکاران بعد انجام مطالعات لازم نمودار شکل ۱-۸ را برای انتخاب فاصله مناسب مهارها پیشنهاد کردند.



شکل ۱-۸ : گراف پیشنهادی برای فاصله مهارها [۶]

پراول (۱۹۸۵) و همکاران نیز مطالعاتی را روی پانل های بنایی که با اندودهای سیمانی مسلح(فروسیمان) تقویت شده بودند، انجام دادند. این اندود سیمان مسلح شامل سیمان مقاومت بالا و شبکه های فولادی می شد. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مقاومت و شکل پذیری دیوار مسلح شده با فروسیمان در مقایسه با دیوار معمولی تقریباً دو برابر شده است. [۷]

اندود شاتکریت می تواند مطابق شکل ۱- ۹ روی دیوار آجری و شبکه فولادی پاشیده می شود. ضخامت شاتکریت می تواند با توجه به نیاز لرزه ای ساختمان بدست آید، اما حداقل این ضخامت باید ۴۰ میلیمتر باشد.

شکل ۱-۹: استفاده از شاتکریت برای آزمایش نمونه ها [۷]

کان و همکاران (۱۹۸۲) هر وجه دیوار بلوک بتنی را با یک لایه پلاستر سیمان به ضخامت ۲/۵ سانتیمتر و شبکه میلگردگذاری شده به قطر ۶ میلیمتر و به فواصل مرکز به مرکز ۱۵ سانتیمتر، چه در جهت قائم و چه در جهت افقی مورد آزمایش قرار دادند. لایه های ساندویچی با خاموتهایی به قطر ۶ میلیمتر با عبور از دیوار به یکدیگر متصل شده اند. فاصله مرکز به مرکز این خاموتها ۵ سانتیمتر در هر جهت بوده است. مقاومت درون صفحه دیوارها دو برابر دیوار تقویت نشده بدست آورده شده است. [۸]

با هدف بررسی اثر تسلیح توسط روکش ملات مسلح در رفتار میانقاب قاب فلزی، مقدم و همکاران ۲۰۰۶ مطالعه ای آزمایشگاهی انجام دادند. به این صورت که میانقاب یک قاب فلزی را توسط شبکه میلگرد به قطر ۴ میلیمتر و فاصله ۴ سانتیمتر از هم و روکشی از ملات به ضخامت ۲/۵ سانتی متر به صورت دو طرفه تقویت کردند.

۱-۲-۳- استفاده از روکش بتن مسلح

با توجه به روش اشاره شده در بالا بجای اندود سیمان می توان از اندود بتن مسلح نیز استفاده نمود(Shotcrete). در این حالت ضخامت اندود به ۸۰ تا ۱۰۰ میلیمتر افزایش پیدا می کند. [۵]

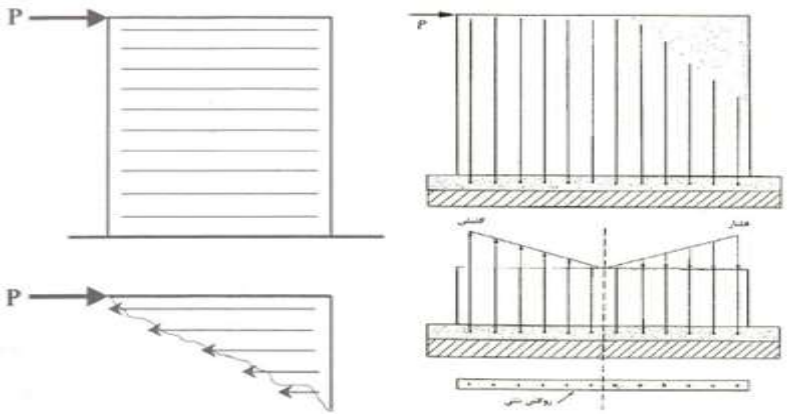
در این روش ابتدا کلیه اندودهای دیوار آجری برداشته می شود، سپس شبکه ای از آرماتور تهیه شده و در یک طرف یا طرفین دیوار قرار داده می شوند. نمره و فاصله آرماتور در این شبکه ها بسته به مقدار تقویت مورد نیاز متفاوت بوده و قابل محاسبه می باشد. شبکه های مذکور باید توسط بست هایی در دیوار محکم شوند تا در هنگام بتن پاشی از آن جدا نگردند.

استفاده از این روش در تقویت سازه های بتنی و آجری نتایج مفیدی را در بر داشته است و تجربه نشان می دهد که بتن پاشیده شده به خوبی لای درزهای دیوار آجری را پر کرده و اتصال و چسبندگی مناسبی را فراهم می کند. برای ایجاد چسبندگی بیشتر بین بتن و آجر می توان در چند نقطه از دیوار آجرها را بیرون آورد و هنگام بتن پاشی این فضاهای خالی را پر کرد. انجام چنین کاری تا حدود زیادی پیوستگی بتن و دیوار را تقویت می‌کند. [۴]

همانطور که اشاره شد دیوار تقویت شده به روش فوق مقاومت خوبی در برابر نیروی جانبی از خود نشان خواهد داد، اما این دیوار اگر در اتصال به پی تقویت نشود، در برابر نیروی جانبی ناشی از زلزله از محل خود بلند شده و پدیده واژگونی یا لغزش رخ خواهد داد. از اینرو باید نیرویی که توسط دیوار تحمل می شود به نحو مناسبی به شالوده منتقل گردد. [۴]

در ساختمانهای آجری دیوارهای برشی آجری عناصر اصلی برای مقاومت لرزه‌ای هستند. این دیوارها معمولا دچار شکست خمشی و برشی می شوند. در تقویت این

دیوارها باید از این دو نوع شکست جلوگیری کرد. بدین جهت از آرماتورهای قائم و افقی در روکش بتنی استفاده می گردد. میلگردهای قائم روکش بتنی مانع از شکست خمشی دیوار تقویت شده گردیده و رفتار آن را مشابه رفتار دیوار بتن مسلح می سازد. این میلگردها از یک طرف در روکش بتنی و از طرف دیگر در شالوده مهار شده اند، تنشهای کششی حاصل از نیروی جانبی را تحمل می نمایند. با مشاهدات انواع تخریب دیوارهای آجری، در زلزله های گذشته، در آن دیوارهایی که نسبت طول به ارتفاعشان نزدیک به یک و از یک بیشتر است، یعنی نسبتا طویل هستند، شکست غالب برشی است، یعنی ترکهای مورب برشی موجب گسیختگی دیوار می شوند. بر اثر نیروی جانبی ترکهای قطری ایجاد شده که تنشهای کششی اصلی دارای دو مولفه قائم و افقی خواهند بود. مؤلفه افقی تلاش دارد تا دو قسمت بالای ترک و پایین ترک را از یکدیگر دور سازد. به همین جهت برای مقابله با نیروهای ناشی از این تنش ها باید از میلگردهای افقی استفاده کرد. بنابراین این میلگردها تحت اثر نیروی کششی واقع می شوند. [۴]

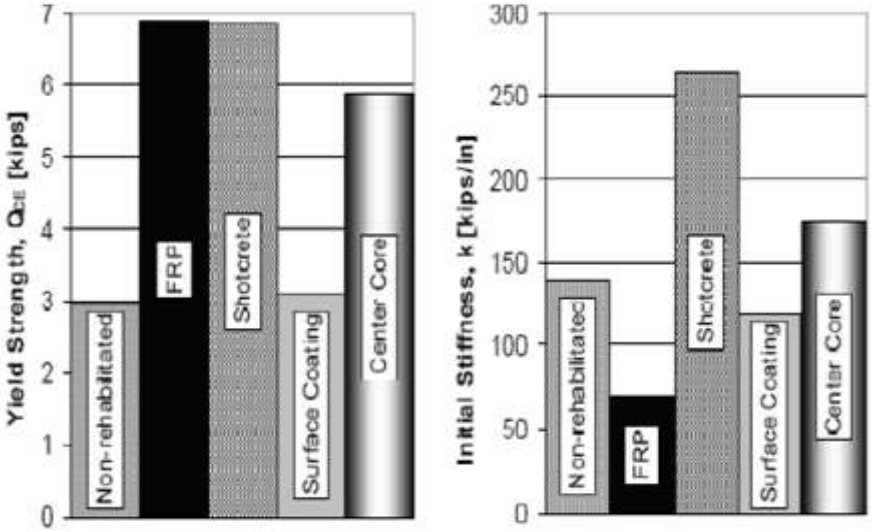


شکل۱-۱۰ : تاثیر میلگرد قائم و افقی در شکست خمشی و برشی [۴]

کان (۱۹۸۴) در یک آزمایش کشش قطری که از شاتکریت یکطرفه به ضخامت ۹۰میلیمتر استفاده کرده بود، ظرفیت باربری نهایی دیوار غیرمسلح برابر افزایش پیدا کرده بود و نشان داد هرگونه عملیات سطحی تأثیر مهمی روی ترکها و ظرفیت باربری نهایی دیوار ندارد بلکه این عملیات روی تغییر شکل غیر الاستیک دیوار تأثیر گذار است. همچنین توصیه کرد که قبل شاتکریت سطح دیوار با آب مرطوب شود و برای بهبود چسبندگی بین دیوار و شاتکریت بهتر است از چسب های اپوکسی استفاده کرد.[۱۰]

آبرامز و همکارانش (۲۰۰۱) طی یک بررسی آزمایشگاهی که بر روی ۸ نمونه دیوار برشی غیرمسلح انجام دادند، بعضی از نمونه ها را با تکنیکهای مختلفی تقویت کردند. ۳ تا از نمونه ها تقویت نشده بودند و هرکدام با نیروی فشاری متفاوتی مورد آزمایش قرار گرفتند. این عمل بررسی جزئیات اثر تنشهای محوری روی دیوارهای بنایی غیرمسلح را بیان می کند. برای اینکه بتوان اثر روشهای مختلف مقاوم سازی را با یکدیگر مقایسه کرد در نمونه های تقویت شده از تنشهای یکسان استفاده شده است. نمونه تقویت نشده ای که دارای تنش محوری مشابه نمونه های تقویت شده بود، به عنوان نمونه مبنا (F ۱) قرار گرفت تا سایر نمونه ها با آن مقایسه شوند. [۱۱]

۵ نمونه باقیمانده با چهار روش تقویت گردیدند، که هر روش تغییراتی را نسبت به نمونه مبنا بهمراه داشته است. نمونه های مقاوم شده شامل: FRP ، شاتکریت، ملات مسلح و دو نمونه تقویت شده با هسته بتنی که دارای دو اندازه مختلف میلگرد بودند. بعد از تست کردن نمونه ها، در شکل ۱-۱۱ سختی اولیه و مقاومت ثبت شده هر نمونه در کنار یکدیگر آورده شده است.



شکل ۱-۱۱ : مقاومت و سختی نمونه های تقویت شده [۱۱]

در این بررسی مشخصات نمونه ۴F که با شاتکریتی به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر(۴ اینچ) و میلگردهای $\varphi_{۲}$ با فاصله ۵۰ میلیمتر(۲ اینچ) از دیوار تقویت شده بود در شکل ۱-۱۲ آورده شده است. [۱۱]