مقاوم سازی دیوارهای بنایی با میلگردهای FRP نصب شده مجاور سطح(NSM)

ریحانه صباغی[۱] ، کیوان قائینی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان

Reyhaneh_s002@yahoo.com
Niayesh_20@yahoo.com

خلاصه

برای مقاوم سازی سازه های بنایی، یک جایگزین برای ورق های FRP، میلگردهای FRP با اتصال سطحی مجاور(NSM) می باشند. این مقاله سه کاربرد میلگردهای FRP را برای تقویت کردن URM توصیف، و نتایج آزمایشگاهی حاصله را گزارش می دهد. درحالت اول، FRP به صورت عمودی برای مقاومت در برابر بار خارج از صفحه (تقویت کردن خمشی)، و در حالت دوم به صورت افقی در اتصالات بنایی برای مقاومت در برابر بار درون صفحه (تقویت کردن برشی) قرار داده می شوند. در نهایت در حالت سوم ، برای گیرداری کم تیر پایه، FRP در پنجه دیوار به عنوان مهار برای افزایش ظرفیت خمشی قرار می گیرند.این نوع میلگرد باعث افزایش شکل پذیری و مقاومت می شود.

کلمات کلیدی: سازه بنایی، ورق FRP، اتصال سطحی مجاورNSM، مقاوم سازی

۱. مقدمه

یک نوع متداول ساخت و ساز در مراکز شهری برای ساختمانهای کوتاه و متوسط، دیوارهای بنایی URM می باشد که فضای محصور شده توسط اعضای قاب را پر می کنند. این دیوارها که حتی در زلزله های متوسط نیز ویران می شوند، رفتاری شکننده با شکل پذیری ناچیز از خود نشان می دهند. محدوده آسیب های آنها از ترک های نامرئی که موجب خردشدن می شوند تا ویرانی کامل ساختمان می باشد. ساختمانهای بنایی موجود برای بهبود عملکرد لرزه ای خود برای کاهش خسارت های ناشی از شکست فاجعه انگیز نیاز به مقاوم سازی شدن دارند[1,2,4]. هدف ازانجام مقاوم سازی، بالا بردن مقاومت لرزه ای سازه های بنایی به منظوراجتناب از رفتار ترد و شکننده است[2]. تکنیک های مختلفی برای مقاوم سازی پیشنهاد شده است که از جمله آنها می توان به تزریق دوغاب، مسلح کردن با فولاد، پیشتنیدگی، پوشاندن و انواع آن اشاره کرد که توسط آژانس مدیریتی فوری فدرال تعیین شده اند[1,3]. هر کدام از این روشها جرم و سختی سازه را برای تحمل بارهای لرزهای بیشتر افزایش می دهند. شکست های اخیر دیوارهای بنایی غیر مسلح (URM) توسعه تکنیک های جدیدی را برای تعمیر و مقاوم کردن دیوارها موجب شده است. امروزه کاربرد الیاف پلیمری مسلح کننده برای بالا بردن عملکرد لرزه ای سازه های بنایی به دلیل مقاومت ویژه بالا، سختی بالا و ضخامت کم در مقایسه با سایر مصالح مورد توجه قرار گرفته است. دیوارهای بنایی غیر مسلح (URM) تحت تنش های ایجاد شده توسط بارهای داخل و خارج ازصفحه مستعد شکست هستند، از این رو از پلیمرهای تقویتی FRP به عنوان تکنیک تقویت کردن (اتصال به سطح خارجی، نصب مجاور سطح) و با انواع الیاف متفاوت (کربن و شیشه) استفاده می شود[1,2,4,5]. ورق های FRP متصل شده به سطح خارجی که برای افزایش ظرفیت انعطاف پذیری و برشی بتن مسلح شده (RC) و عضوهای بنایی استفاده می شوند، به دو صورت نوارهای GFRP و نوارهای قابل ارتجاع GFRP می باشند[6]. ضخامت این ورق ها با این فرض که سختی ورق حداقل مساوی یا بیشتر از سختی محوری دیوارهای تقویت شده باشد، تعیین می گردد[1]. میلگردهای NSM FRP نصب شده مجاور سطح نیز که به دو صورت میلگرد GFRP، نوارهای GFRP ونوارهای قابل ارتجاع GFRP می باشند[6]، یک روش مورد توجه برای افزایش انعطاف پذیری و مقاومت برشی اعضای RC و عضوهای بنایی است که نسبت به استفاده از ورق های FRP خیلی مناسب تر می باشد. کاربرد میلگردهای FRP به آماده سازی سطح برای اتصال، نیاز ندارند، دارای زمان نصب کوتاه در مقایسه با ورق های FRP هستند و از لحاظ مسائل زیبایی نیز میلگردهای NSM FRP مناسب ترمی باشند، دیگر مزیت آنها سادگی اتصال این عضوها به اعضای تقویت شده مجاور، نظیر تیر و ستون می باشد[2,4,5].اساسا

میلگردهای FRP شامل شیشه و کربن هستند و به صورت مقاطع عرضی مدور و مستطیلی با یک سطح صاف یا پرداخت شده توسط اندود ماسه می باشند، زیرا این اندود ماسه به اتصال بهتر بین ماسه و چسب کمک می کند.چسب مورد استفاده در این روش ۲ نوع خمیر سیمانی اصلاح شده توسط الیاف لاستیکی و چسب اپوکسی می باشد.میلگردها به دو صورت افقی و عمودی در این دو چسب قرار می گیرند[4,5].

۲. تقویت انعطاف پذیری

میلگردهای FRP برای تقویت کردن و بهبود ظرفیت انعطاف پذیری دیوارهای URM استفاده می شوند. در این تکنیک، یعنی تقویت کردن توسط میلگردهای FRP لازم است شکاف هایی در بالای دیوار برای قرار دادن میلگردها ایجاد گردد، سپس سوراخ هایی برای پمپاژ کردن دوغاب ریزی حفرشود. کاربرد موفق NSM برای بهبود بخشیدن ظرفیت عضوهای RC منجر به گسترش کاربرد بالقوه آنها برای مقاوم سازی دیوارهای URM شده است[2,5].

۲-۱. روش مقاوم ساختن

تکنیک NSM شامل نصب میلگردهای FRP در شکاف های تعبیه شده در سطح دیوار است. مزیت این روش عدم نیاز به ماسه پاشی و بتونه کردن است روش مقاوم ساختن را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- ایجاد شیارهایی به عرض تقریبا ۱/۵ برابر قطر میلگرد و تمیز کردن سطح
۲- کاربرد چسب جای داده شده(شکل۱-الف)
۳- قرار دادن میلگردها در شیار(شکل۱- ب)
۴- پرداخت کردن

بسته به نوع چسب جای داده شده یک دستگاه تزریق ملات یا یک دستگاه تزریق چسب مورد استفاده قرار می گیرد. تزریق ها می تواند دستی ، توسط هوا یا نیروی الکتریکی انجام شود[2].

برای واحدهای بنایی توخالی، باید دقت شود که عمق شیار از ضخامت قشر دیوار بنایی تجاوز نکند تا منجر به شکست شود[5].

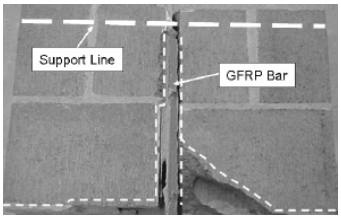
(ب) **(الف)**

شکل ۱ - نصب میلگردهای NSM FRP

۲-۲ نتایج آزمایش

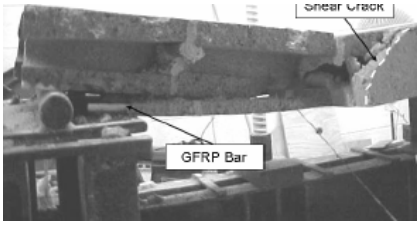
عرض ۶۰ سانتی متر و ارتفاع ۱۱۳ سانتی متر تحت شرایط تکیه گاهی ساده و تحت بار خارج از صفحه انجام شده است، مشاهده شده است که:

دیوار۱ (تقویت شده با میلگرد GFRP در فواصل ۶۰ سانتیمتری) به دلیل پاره شدن مصالح جای داده شده شکسته شد. ترک های نرم اولیه در اتصالات ملات ایجاد می شوند و تنش های کششی توسط FRP در اتصالات ملات گرفته می شوند و در نتیجه ترک ها در واحدهای بنایی در جهات ۴۵ درجه توسعه می یابند. (شکل ۲)



شکل ۲– شکست در دیوار ۱

این ترک در امتداد چسب اپوکسی ادامه می یابد و در نتیجه ارتباط دیوار پاره، و دیوارمی شکند. دیوارهای۲ (تقویت شده با ۲ میلگرد GFRP درفواصل ۳۰ سانتیمتری) ودیوار۳(تقویت شده با ۳ میلگرد در فواصل ۲۰ سانتیمتری) به علت شکست برشی می شکنند.(شکل۳)



شکل ۳ – شکست برشی دیوار ۳

مشابه دیوار ۱ ترک ها در اتصالات ملات در ماکزیمم ناحیه خمشی شروع می شوند. در مرحله نهایی بعضی گسیختگی های میلگرد های FRP مشاهده می شود، با افزایش FRP ترک خوردن اولیه به تاخیر افتاده و عرض ترک ها کمتر می شود.

طبق استاندارد بنایی (msjc,1999) مقاومت اسمی یک عضو URM به صورت ۰/ ۱۵ton - m می تواند محاسبه شود که در بازه ۴، ۱۰ و ۱۴ برابر ظرفیت دیوار بنایی برای دیوارهای ۱و۲و۳ به ترتیب، بدست آمده است. دیوار s1 (تقویت شده با ورق های FRP) که به دلیل پارگی ورقه های FRP شکسته می شود رفتار مشابهی مانند دیوار ۱ از خود نشان می دهد. مقدار تقویت این دیوار معادل با دیوار ۱ در حالت سختی محوری است. در این آزمایش ترانسدوسرهای دیفرانسیلی متغیر خطی (LVDTs) برای ثبت کرنش ها در سطوح مختلف بار بر روی میلگردهای GFRP نصب می شوند[2].

۳. تقویت برشی

تقویت برشی شامل

۱- برش زدن بخشی از دیوار توسط دستگاه سنگ سنباده

۲- ۲- پر کردن اتصالات با چسب اپوکسی یا سیمان(شکل۴-الف)

۳- قرار دادن میلگردها در اتصال (شکل۴-ب)

۴- مقاوم سازی

(الف) **(ب)**

شکل ۴ – مقاوم سازی با بند کشی مجدد سازه ای

در این تکنیک قطر میلگردهای FRP توسط محل اتصال ملات محدود شده است و معمولا بیشتر از $\frac{75}{80}$ سانتی متر نمی باشد. برای تضمین رفتار مناسب بین چسب و دیوار بنایی گرد و غبار باید از شکاف ها، توسط دستگاه بلوور هوا قبل از پر کردن اتصالات رانده شود. یک نوار چسب برای جلوگیری از پس زدن چسب در نهایت استفاده می شود.اتصال دیوار بنایی به صورت عمودی توسط نصب میلگردهای FRPممکن می شود

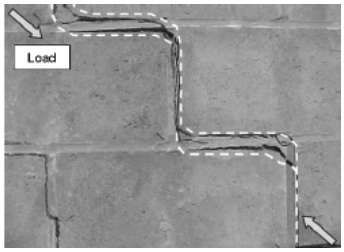
۳–۱. نتایج آزمایش

ازآزمایشی که برای بررسی تقویت برشی دیوارها روی ۴ نمونه با ابعاد ۴۰ ×۲۰×۱۵از بلوک بتنی تحت بارگذاری در امتداد قطری انجام شده است، مشاهده شده است که دیوار ۱، که به عنوان نمونه کنترل می باشد با جداشدن ملات از دیوار به صورت ترد می شکند. شکست در نمونه های مقاوم شده متفاوت است و به ۲ فاز جدا می شود. LVDTs در طول قطر دیوار برای آگاهی از تغییر شکل ها قرار داده می شوند.

۱- فاز در صفحه

۲- فاز خارج از صفحه

فاز در صفحه: هنگامی که مقاومت کششی بنایی غالب شده باشد، دیوار در امتداد قطری ترک می خورد و در امتداد اتصالات ملات ادامه می یابد. این ترک توسط جدا شدن واحدهای بنایی در وجه پشتی ایجاد می شود سپس در طول ضخامت دیوار تا جداشدن چسب اپوکسی از واحدهای بنایی انتقال داده می شود. در این نقطه، ترک های برشی عریض تر می شوند و میلگردهای GFRP قادر به تحمل تنش های کششی نیستند هنگامی که ترک دوم در فاصله بلوک و چسب اپوکسی توسعه می یابد، شکست رخ می دهد. شکست دیوارهای ۲و۳ (تقویت شده با میلگردهای GFRP، 2# در هر اتصال افقی) در این فاز اتفاق می افتد(شکل ۵). بازده ماکزیمم در ظرفیت برشی حدود ۸۰ در صد مقدار ثبت شده در دیوارهای ۲و۳ تقویت شده با میلگردهایGFRP در هر اتصال است.



شکل ۵ – گسیختگی در فاصله بین بلوک و چسب

فاز خارج از صفحه: این فاز تنها در دیوارهای مقاوم شده توسط چسب اپوکسی مشاهده می شود. دراین فاز توانایی دیوار مورد قبول واقع شده است و دیوار(دیوار ۲) در امتداد وجه مقاوم شده بعد از شکست کج می شود.دیوارهای تقویت شده پایداری بعد از شکست را از خود نشان می دهند، این حقیقت در ساختمانهای واقعی خطر صدمات جانی به دلیل ویرانی کلی یا بخشی از دیوار

تحت بارهای خارج از صفحه را کاهش می دهد. این اتفاق در حالت دیوار با چسب سیمانی که تحت بار خارج از صفحه قرار می گیرد مشاهده نشده است و دیوار بعد از شکست راست می ماند، بنابراین چسب سیمانی بهتر از چسب اپوکسی، به دلیل سختی پایین دیوار مقاوم شده، رفتار می کند.

شکست در دیوارهای ۴(تقویت شده با میلگردهای GFRP، #2 در هر اتصال افقی ثانویه معادل با نصف میزان تقویت شدگی نمونه های دیگر) و دیوارS۲ (تقویت شده با ۴ ورق GFRP به عرض ۱۰ سانتیمتر به صورت افقی و متصل به سطح خارجی) به دلیل برش لغزنده در امتداد اتصال غیر تقویت شده رخ می دهد. این مکانیزم شکست به صورت معمولی به صورت مهاربند زانویی یا اتصال لغزنده شناخته می شود. در دیوار S۲ افزایش بیش از حد ظرفیت برشی، به دلیل ورق های افقی قرار گرفته در لایه های بنایی ثبت شده است. اگر کرنش های تولید شده توسط بار در صفحه قطری به عنوان کرنش های اصلی در نظر گرفته شود کرنش ماکزیمم برشی به صورت زیر بیان می شود.

$$\gamma = \varepsilon_0 + \varepsilon_{90}$$

ε_0وε_{90} کرنش های وابسته به قطرهای دیوار هستند.

مشاهده می شود که دیوارهای مقاوم شده با سیستم های اتصال ضعیف (چسب سیمانی+ میلگردهای FRP آغشته شده به ماسه، سطح میله های FRP + چسب اپوکسی) بعد از شکست مستقیم می مانند[2,4].

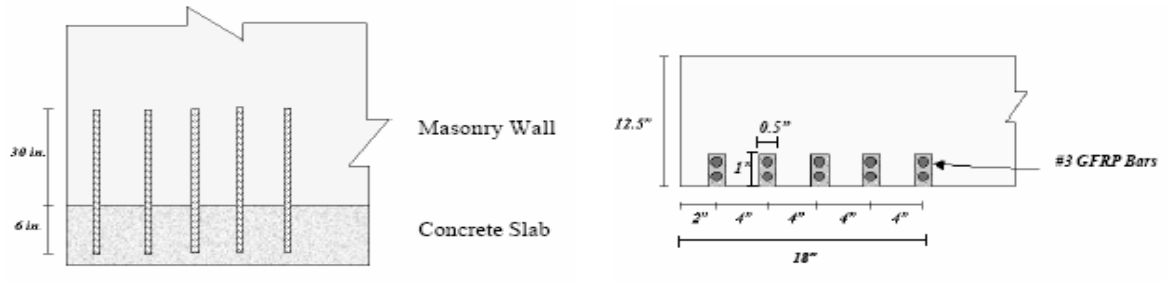
۴. بهبود بخشیدن گیرداری

برای انجام این آزمایش از ۳ نمونه دیوار بنایی مسلح شده توسط فولادبا ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ سانتیمترو ضخامت ۳۱ سانتیمترکه از رس ساخته شده است استفاده می شود. این دیوارها به صورت افقی و عمودی توسط میلگردهای فولادی #3 ، که در فواصل ۱۵سانتیمتر در مرکز و در اتصال بین لایه ها قرار می گیرند، مسلح شده اند. بعد از بررسی مشاهده شد که میلگردهای فولادی به صورت نامنظم قرار گرفته یا مقدارآنهاکاهش میابد (شکل۶). این مطلب ارزیابی ظرفیت واقعی اعضا را مشکل می کند.

شکل ۶ – توزیع نا منظم فولاد

در دیوار۱ که به عنوان نمونه کنترل برای تعیین ظرفیت خمشی تحت بارگذاری در صفحه انتخاب شده بود، مشاهده شد که ظرفیت دیوار به دلیل رشد ترک کاهش می یابد. طول ترک هنگامی که آزمایش به پایان رسید، تقریبا $\frac{2}{3}$ طول پایه بود و در مرحله نهایی هیچ لغزشی مشاهده نگردید.نتایج حاصله مشخص نمود که ظرفیت خمشی بدست امده از دیوار ۱ در مقایسه با آزمایشات انجام شده کمتر است و این به دلیل کاهش میلگردهای عمودی تقویت کننده ای است که از دیوار بیرون کشیده شده است و باعث کاهش گیرداری می گردد. در دیوار ۲ که با ۳ نوار GFRP به عرض ۲۵ سانتیمتر به صورت عمودی متصل به سطح خارجی و ۶ میلگرد GFRP ،#3 در فواصل ۲۵ سانتیمترتقویت شده است، مانند دیوار ۱ ترک خمشی در پای دیوارمشاهده می شود و این ترک در نهایت منجر به شکست دیوار می شود. طرح تقویت کردن دیوار ۳ مشابه دیوار ۲ است که اضافه بر آن ۱۰ میلگرد GFRP NSM ،#3 به طول ۹۰ سانتیمتر در ۴۵ سانتیمتر اول، نیز در پنجه دیوار قرار داده می شود(شکل۷). در این دیوار ترک های قابل دیدن در طول پایه دیوار ایجاد می شود و منجر به شکست دیوار می گردد. باز شدن ترک افقی در وجه تقویت شده توسط میلگردهای GFRP کنترل می شود. قبل از نصب کردن میلگردهای GFRP سوراخها در دال RC و شیارها با چسب اپوکسی پر می شوند. قیدهای اضافی با هدف افزایش دادن ظرفیت خمشی دیوار در برابر شکست برشی دیوار طبق محاسبات استفاده شده است.

دیوارهای بنایی در صفحه و به صورت طره ای با چرخش آزاد و حرکت آزاد در بالا و گیردار شده در پایین تحت بارگذاری قرار می گیرند. LVDTs برای ثبت جابجایی در بالای دیوار قرار داده می شود. [2]



(ب) نما در ارتفاع **(الف) نما در پلان**

شکل ۷ – میلگردهای GFRP، #3 در پای دیوار ۳

۵. نتیجه گیری

نتایج آزمایشگاهی کاربردهای متفاوت میلگردهای NSM FRP و پتانسیل های سازگار آنها را برای مقاوم ساختن سازه های بنایی نشان می دهد. نتایج بدست آمده به صورت زیر است:

۱- دیوارهای بنایی تقویت شده با NSM FRP عملکرد مشابهی با ورق های FRP از خود نشان می دهند.

۲- افزایش ظرفیت برشی توسط بند کشی مجدد سازه با FRP درحدود ۳۰ تا ۸۰ درصد ممکن است افزایش یابد، که این افزایش نباید به دیوارهای ساخته شده با آجرهای رسی که ویژگی های متفاوت دیوار بنایی(مقاومت فشاری) و هندسه دیوار (تعداد لایه ها و پوسته دیوار) را دارند، تعمیم داده شود.

۳- کاربرد NSM FRP برای بهبود گیرداری، افزایش بیش از ۱۰۰ درصد در ظرفیت خمشی در صفحه را می تواند فراهم کند.

۴- برای تقویت خمشی محدوده تنظیم شده بین ۴و ۱۴ برابر ظرفیت دیوار بنایی اصلی مشخص شده است.

۵- میلگردهای FRP مدور صاف برای مقاوم ساختن برشی و میلگردهای FRP مستطیلی برای تقویت انعطاف پذیری مناسب هستند.

۶- استفاده از خمیر سیمانی به مانند چسب اپوکسی با بکارگیری مقادیر زیادی از میلگردهای FRP مقاومت را افزایش می دهد ولی بر خلاف آن، تاثیری در شکل پذیری نمی گذارد وسختی به صورت تدریجی کاهش می یابد. ارزانتر بودن خمیر سیمانی برای مقاوم سازی دیوار بنایی مناسب تر است.

۶. مراجع

1. El-Dakhakhni, w.w., Hamid, A.A., Hakam, Z.H.R. and Elgaaly, M., (2006), "Hazard Mitigation and Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using Composites," International Journal for Composite Structures in Engineering, 73, 458-477

2. Tumialan, J.G. and Namboorimadathli, S.M., " Strengthening of Masonry With Near Surface Mounted FRP Bars," University of Missouri- Rolla, Rolla, Mo

3. Corradi, M., Tedeschi, C., Binda, L. and Borri, A. (2008), " Experimental evaluation of shear compression strength of masonry wall before and after reinforcement: Deep repointing," International Journal for Construction and Building Materials, 22, 463–472

4. Turco, V., Secondin, S., Morbin, A., Valluzzi, M.R. and Modena, C., (2006), "Flexural and Shear Strengthening of Un-Reinforced Masonry With FRP Bars," International Journal for Composite Science and Technology, 66, 289-296

5. file:///I:/GoStructural_com%20-%20Strengthening%20walls%20with%20FRP%20bars.htm.

6. El-Hacha, R. and Rizkalla, S.H., (2003), " Durability of Various FRP Strengthening Techniques," Natural Science andEngineering Council of CANADA (NSERC)