



بررسی تاثیر نحوه اتصال ژاکت بتنی بر بهبود ظرفیت باربری ستون‌های بتنی مسلح

علیرضا میرجلیلی^۱، مجتبی دهقانی^۲، حمیدرضا امیری^۳

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، mirjalili@iauyazd.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

۳- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

چکیده

آسیب‌ها و عوامل گوناگونی چون خوردگی آرماتورها و پوسته شدن بتن، کیفیت نامناسب بتن (که منجر به کاهش مقاومت بتن می‌گردد) و ضعف در محاسبات باعث می‌شوند که عملکرد سازه‌ای اعضای بتن مسلح با گذشت زمان کاهش یابد. عملکرد سازه‌ای اعضای بتن مسلح آسیب دیده را می‌توان با راهکارهای مناسبی تا سطح عملکرد اولیه آنها بازیابی کرد و یا حتی تا سطحی فراتر از آن مقاوم سازی نمود. اتکاء سازه به ستون و نقش اساسی آن در پایداری سازه باعث تمرکز اغلب برنامه‌های مقاوم سازی در این عضو سازه‌ای شده است. یکی از متداول‌ترین روش‌های مقاوم سازی ستون‌های بتن مسلح، تکنیک روکش کردن (ژاکتینگ) می‌باشد. بر حسب نوع مصالح مصرف شده در روکش، سه روش می‌توان متصور بود که عبارتند از: روکش بتنی مسلح، روکش فولادی، روکش FRP. روکش بتنی چه در ایران و چه در سایر کشورها، همواره به عنوان یکی از اصلی‌ترین روش‌های مقاوم سازی ستون‌ها به شمار می‌رود. در این تحقیق تاثیر نوع روکش و نحوه اتصال آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و اتصال روکش بتنی با سه روش بررسی و نحوه اتصال بین هسته بتنی و روکش مقایسه می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد روکش بتنی بدون تمهیدات خاص برای اتصال بتن جدید و قدیم از کارایی چندانی در باربری برخوردار نمی‌باشد در صورتی که روکش بتنی با کاشت میلگرد یا اتصال با میلگرد خمیده تاثیر قابل توجهی در افزایش باربری و تامین پیوستگی ستون تقویت شده دارد.

کلمات کلیدی: روکش بتنی مسلح، ستون بتنی مسلح، میلگرد خمیده، کاشت میلگرد

۱- مقدمه

با پیشرفت روز افزون علوم مهندسی و به تبع آن افزایش عمر مفید سازه، نیاز به بهسازی سازه‌های موجود بیش از پیش احساس می‌شود. بسیاری از اعضای سازه‌ای قدیمی به علت ترک خوردگی بتن، زنگ زدگی میلگردها و یا سایر عوامل و آسیب‌ها نمی‌توانند ظرفیت باربری طراحی اولیه را برآورده نمایند؛ در ضمن، قوانین و آیین‌نامه‌های حاکم بر طراحی و اجرای سازه‌ها همواره در حال دگرگونی و بهبود عملکرد می‌باشند و گاه در کنترل و بررسی‌های مجدد با آیین‌نامه‌های جدید، اجزای سازه‌ای بسیاری از ساختمان‌ها و پل‌های بتنی ظرفیت باربری کافی جهت تطبیق کامل آنها با استاندارد‌های آیین‌نامه‌ای نوین را برآورده نمی‌کنند. از آنجایی که تخریب و ساخت مجدد سازه باعث تحمیل هزینه‌های اضافی گزاف می‌گردد، لذا صرفه‌جویی اقتصادی و ارتقای مقاومت لرزه‌ای دو دلیل اصلی هستند که با

عملیات بهسازی تامین می گردند. در این راستا همواره ستون به عنوان المان اصلی سازه که نقش مهمی در پایداری دارد و همچنین به عنوان المانی که محل تمرکز تنش هاست، کانون توجهات کارشناسان امرمقاوم سازی می باشد. یکی از متداول ترین روشهای مقاوم سازی ستون های بتن مسلح، تکنیکهای غلاف بندی (ژاکتینگ) می باشد. این تکنیک با توجه به مصالح مورد استفاده در آن به سه صورت مورد استفاده قرار می گیرد: روکش بتن مسلح، روکش فولادی و روکش FRP.

تاثیر مثبت ایجاد روکش بتنی پیرامون یک ستون بتن مسلح در افزایش ظرفیت باربری به اثبات رسیده است. تا کنون مطالعات محدودی در خصوص بررسی شرایط اتصال روکش صورت گرفته است، که می توان به مطالعات پوربا[۱] در خصوص غلاف بندی بتنی، کیوانی[۲] در زمینه غلاف فلزی و نرماشیری[۳] در خصوص مقایسه کلی روشهای افزایش مقطعبتنی و ژاکت فولادی اشاره نمود. تران[۴] و آدام[۵] نیز در خصوص کارایی روکش بتنی و فلزی بررسی نموده اند.

در این مطالعه به بررسی تاثیر روشهای مختلف اتصال بین روکش بتنی و هسته بتنی ستون اولیه در افزایش مقاومت ستونی که تحت بار محوری خالص قرار می گیرد پرداخته شده است. روش های اتصال مورد استفاده در این بررسی عبارتند از:

- روکش کردن هسته بتنی بدون انجام تدابیر خاص بر روی هسته بتنی
- کاشت میلگرد L شکل در هسته بتنی با استفاده از چسب اپوکسی
- مضرس کردن سطح هسته بتنی با عمق ۲ تا ۳ میلیمتر
- استفاده از میلگرد خمیده برای اتصال میلگرد هسته بتنی به میلگرد روکش بتن

نتایج حاصل نشان می دهد که میزان پیوستگی غلاف و ستون اولیه از عوامل تاثیرگذار در رفتار ستون تقویت شده می باشد و در نهایت به مقایسه نتایج حاصله می پردازیم.

۲- مشخصات نمونه ها

از آنجایی که ستون به عضوی اطلاق می شود که برای تحمل بار فشاری به کار می رود و نسبت ارتفاع به حداقل بعد مقطع آن از ۳ بیشتر است در نتیجه اعضای فشاری کوتاهتر را می توان به عنوان پایه در نظر گرفت. به همین دلیل، در ساخت نمونه ها برای اینکه نسبت بزرگترین بعد به ارتفاع، ضریب ۳ داشته باشد سعی بر آن شد تا نمونه هایی با ارتفاع زیاد ساخته شود تا بعد از تقویت هسته با روکش بتنی، نسبت ارتفاع به حداقل بعد مقطع آن از ۳ بیشتر گردد. در این تحقیق، در مجموع ۱۰ نمونه بتنی به عنوان هسته بتنی ساخته شد که در دو گروه ۵ تایی مورد بررسی قرار گرفتند و تمامی نتایج ارائه شده در این بررسی، متوسط مقادیر حاصل از آزمایش نمونه های مشابه می باشد.

برای این که امکان خم کردن خاموت ها به صورت خم ۹۰ درجه فراهم گردد با احتساب یک سانتی متر پوشش بتنی از هر طرف، ابعاد خالص خاموت ها ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد و در نتیجه ابعاد نسبتا زیادی برای طول و عرض نمونه حاصل گردید که در این نمونه ها ابعاد هسته بتنی برابر با ۱۲ سانتی متر برای طول و عرض و ۸۵ سانتیمتر برای ارتفاع می باشد. از کلیه بتن های ساخته شده دو نمونه مکعبی گرفته شد. بالا بودن مقاومت نمونه های مکعبی شکسته شده و از سوی دیگر بزرگ بودن ابعاد نمونه ها مشخص کرد که بر اساس محاسبات تئوری به جک هایی با قدرت بالا برای اعمال نیروی محوری خالص نیاز است.

برای ساخت هسته بتنی از ۴ میلگرد آجدار با قطر ۱۰ میلیمتر در گوشه ها استفاده شد که این آرماتورهای طولی توسط خاموت های ساده به قطر ۵ میلیمتر احاطه گردید. برای ساخت روکش بتنی نیز از ۴ میلگرد آجدار با قطر ۸ میلیمتر در گوشه ها استفاده شد که این آرماتورهای طولی نیز مشابه هسته بتنی توسط خاموت های ساده به قطر ۵ میلیمتر احاطه گردید. فاصله خاموت ها با توجه به ۴ شرط ذکر شده برای فاصله خاموت ها انتخاب شد که حداقل حاصل از مقادیر زیر می باشد:

- ۱۶ برابر قطر کوچکترین میلگرد طولی
- ۴۸ برابر قطر خاموت
- ضلع کوچکتر مقطع ستون
- ۳۰۰ میلیمتر

بر این اساس فاصله خاموت ها برای هسته بتنی ۱۱۰ میلیمتر و برای روکش بتنی ۱۸۰ میلیمتر در نظر گرفته شد. بعد از بتن ریزی هسته بتنی، آن را به مدت ۲۸ روز در آب نگهداری کرده و بعد از خارج کردن نمونه ها و قراردادن آنها داخل قالب برای ریختن روکش بتنی، برای پرهیز از جذب آب بتن توسط هسته بتنی، هسته بتنی کاملاً مرطوب گردید.

جدول ۱ نوع و تعداد آرماتورهای مصرف شده در نمونه ها و جدول ۲ مشخصات نمونه ها را نشان می دهد.

جدول ۱. آرماتور مصرفی در نمونه ها

آرماتور عرضی	آرماتور طولی	ابعاد نمونه	
φ۵@۱۱۰	φ۱۰	۱۲۰*۱۲۰*۸۵۰	هسته بتنی
φ۵@۱۸۰	φ۸	۱۸۰*۱۸۰*۸۵۰	ژاکت بتنی

جدول ۲. مشخصات نمونه ها

ابعاد	مشخصه	تعداد	
۱۲۰*۱۲۰*۸۵۰	B ₅ , B ₆	۲	نمونه شاهد
۱۸۰*۱۸۰*۸۵۰	L ₅ , L ₆	۲	روکش بتنی
۱۸۰*۱۸۰*۸۵۰	LK ₅ , LK ₆	۲	روکش بتنی، اتصال با کاشت میلگرد
۱۸۰*۱۸۰*۸۵۰	LM ₅ , LM ₆	۲	روکش بتنی، اتصال با مضرس کردن
۱۸۰*۱۸۰*۸۵۰	LW ₅ , LW ₆	۲	روکش بتنی، اتصال با میلگرد خمیده

برای بتن ریزی روکش بتنی، روشهای مختلف اتصال بر روی نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور، یکی از نمونه ها بدون تدابیر خاص برای اتصال بین هسته بتنی و روکش بتنی ساخته شد؛ هسته بتنی داخل قالب قرار گرفته و شبکه آرماتور روکش بر روی هسته بتنی قرار داده شد. در نمونه دوم، برای برقراری اتصال بهتر، سطح هسته بتنی با شیاری به عمق ۲ تا ۳ میلیمتر مضرس گردید و در نمونه سوم، بتن هسته تا رسیدن به میلگردهای آن تخریب و شبکه آرماتور روکش بتنی با میلگرد خمیده به میلگردهای طولی هسته بتنی جوش داده شد. در نمونه چهارم، برای کاشت میلگردهای L شکل در سطح هسته، ابتدا سوراخ هایی در روی سطح هسته و در محل خاموت های روکش بتنی ایجاد شد. این سوراخ ها بر اساس توصیه شرکت سازنده چسب اپوکسی کاشت میلگرد ایجاد گردید؛ به این صورت که قطر سوراخ ۲ میلیمتر از قطر میلگرد L شکل کاشت بیشتر و عمق آن ۱۰ برابر قطر میلگرد کاشت منظور شد. در شکل ۱ نمایی از نمونه ساخته شده را نشان می دهد.



شکل ۱. نمونه های ساخته شده ستون بتنی تقویت شده با روکش بتنی

۳- نتایج آزمایشات

نمونه های ساخته شده را تحت بار محوری خالص مورد آزمایش قرار داده و میزان باربری و نحوه اتصال روکش بتنی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نتایج آزمایش بر روی نمونه های مختلف تشریح می گردد.

نمونه شاهد (B₅, B₆)

در مرحله اول، نمونه های شاهد مربوط به مجموعه روکش های بتنی تحت آزمایش محوری قرار گرفته و متوسط نیروی محوری اعمال شده بر اساس فشار روغن برابر با 950 psi (۳۸/۲۴ تن) مشخص گردید.

۴- نمونه با روکش بتنی بدون تدابیر خاص اتصال (L₅, L₆)

در این نمونه، تقویت با روکش بتنی که هیچ گونه اتصالی بین روکش بتنی و هسته بتنی وجود ندارد صورت گرفت. این نمونه تحت بار محوری قرار گرفت و متوسط نیروی محوری اعمال شده برابر با $64/40$ تن مشخص گردید. همانطور که در شکل ۲ مشخص است نمونه تخریب شده دچار جداشدگی بتن در سطح گردید به نحوی که روکش بتنی کاملاً از هسته بتنی جدا شده و قسمت اعظم روکش بتنی نیز دچار ریزش شد و در پایان بارگذاری، تقریباً در تمام سطح نمونه و حتی در قسمت هایی که دورتر از محل اعمال نیرو بود هیچ گونه روکش بتنی وجود نداشت و روکش کاملاً جدا شده و فقط هسته بتنی و میلگرد های روکش بتنی باقی ماند.



حالتی که



۵- روکش بتنی اتصال با میلگرد خمیده (LW₅, LW₆)

در این آزمایش، نمونه تقویت شده با روکش بتنی اتصال با میلگرد خمیده تحت بار محوری قرار گرفت و متوسط نیروی محوری اعمال شده برابر با ۶۸/۴۳ تن ملاحظه گردید. در این نمونه استفاده از میلگرد جوش داده شده جهت اتصال میلگردهای روکش بتنی به هسته بتنی، باعث افزایش ۶ درصدی مقاومت نسبت به نمونه قبلی و همچنین افزایش پیوستگی بین بتن قدیم و روکش بتنی و همچنین مانع از جداشدگی زود هنگام روکش بتنی گردید، بطوریکه روکش به هیچ عنوان از هسته بتنی جدا نشده و پیوستگی خوبی بین این دو برقرار گردید. نحوه تخریب روکش بتنی نشان می دهد در این نمونه فقط در گوشه ها و آن هم در فاصله بین دو میلگرد واسط جداشدگی بتن به مقدار ناچیزی رخ داد. لذا عدم جداشدگی پوسته به دلیل عدم کماتش میلگردهای روکش و اتصال مناسب میلگردهای روکش به میلگردهای هسته بتنی است.

۶- روکش بتنی اتصال با کاشت میلگرد (LK₅, LK₆)

در این آزمایش، نمونه تقویت شده با روکش بتنی که اتصال آن با کاشت میلگرد صورت گرفته، تحت بار محوری قرار داده شد و متوسط نیروی محوری اعمال شده برابر با ۷۲/۴۵ تن مشخص گردید. در این نمونه، درگیری خوبی که بین هسته بتنی و روکش بتنی برقرار گردید سبب شد که شکست نمونه مشابه نمونه روکش بتنی اتصال با میلگرد خمیده فقط در گوشه ها رخ داده و همانطور که در شکل ۳ مشخص است هیچ گونه جداشدگی بین روکش بتنی و هسته بتنی رخ نداده است و میزان نیروی محوری قابل تحمل توسط این نمونه به دلیل کاشت میلگرد و برقراری اتصال بین بتن هسته و میلگرد روکش بتنی در تمام سطح مقطع نمونه و در نتیجه اتصال بهتر بین بتن هسته و روکش بتنی بیشتر از نمونه قبلی یعنی نمونه روکش بتنی اتصال با میلگرد خمیده می باشد.

۷- روکش بتنی (اتصال با مضرس کردن سطح) (LM₅, LM₆)

در این نمونه ها تقویت با روکش بتنی در حالتی که سطح هسته بتنی مضرس شده صورت گرفت. متوسط نیروی محوری اعمال شده بر این نمونه ها برابر با ۶۴/۴۰ تن ملاحظه گردید. در این نمونه ها، مضرس کردن سطح باعث بهبود اتصال بین روکش بتنی و هسته بتنی گردید و جداشدگی با شدت کمتری رخ داد. همانطور که در شکل ۴ مشخص است این جداشدگی تا قسمتهایی پایین تر از محل اعمال نیروی محوری اتفاق افتاد ولی مانند نمونه ای که اتصال بدون تدابیر خاص بود، در کل سطح نمونه جداشدگی اتفاق نیفتاده است.



۸- مقایسه نتایج

در جدول ۲، مقاومت فشاری نمونه های مورد آزمایش، با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۳. مقاومت فشاری نمونه ها و مقایسه میزان افزایش مقاومت

نمونه	نیروی محوری F(ton)	درصد افزایش مقاومت نسبت به شاهد	درصد افزایش نسبت به نمونه قبلی	درصد افزایش مقاومت نسبت به روکش ساده
نمونه شاهد (B ₅ , B ₆)	۳۸/۲۴	----	----	----
نمونه با روکش بتنی (L ₅ , L ₆)	۶۴/۴۰	۶۸	۶۸	----
روکش بتنی (اتصال با مضرس کردن سطح) (LM ₅ , LM ₆)	۶۴/۴۰	۶۸	۰	۰
روکش بتنی اتصال با میلگرد خمیده (LW ₅ , LW ₆)	۶۷/۴۳	۷۹	۶	۶
روکش بتنی اتصال با کاشت میلگرد (LK ₅ , LK ₆)	۷۲/۴۵	۸۹	۶	۱۲

۹- نتیجه گیری

نتایج آزمایشات صورت گرفته در این تحقیق، به طور خلاصه به شرح زیر است:

استفاده از روکش بتنی به دلیل افزایش سطح مقطع باربری باعث افزایش قابل توجه مقاومت ها نسبت به نمونه شاهد می گردد. در این نمونه ها، نمونه ای که در آن روکش بتنی بدون تدابیر خاص اتصال ریخته شده بود و هیچگونه تماسی در سطح بتن قدیم و جدید وجود نداشت دچار جداسدگی کامل روکش بتنی گردید بطوری که همزمان با تغییر شکل آرماتور های روکش بتنی، بتن از سطح هسته بتنی کاملاً جدا شد.

استفاده از کاشت میلگرد در اتصال بین روکش و هسته بتنی باعث افزایش چشمگیر مقاومت نمونه گردید و مانع از جداسدگی روکش شد به نحوی که همانند اتصال با میلگرد خمیده فقط در ناحیه گوشه روکش ستون بتن از هسته جدا گردید.

استفاده از میلگرد خمیده در اتصال روکش و هسته بتنی تاثیر بسزایی داشت و باعث افزایش پیوستگی روکش بتنی گردید بطوریکه همانند کاشت میلگرد، جداشدگی فقط در ناحیه گوشه نمونه ها رخ داد و هیچ گونه جداشدگی در سطح بتن قدیم و جدید اتفاق نیافتاد.

با توجه به نتایج آزمایشات مذکور، روکش بتنی با کاشت میلگرد یا میلگرد خمیده نسبت به روکش بتنی بدون تدابیر خاص و همچنین روکش فولادی به شرطی که در باربری سهم نباشد از کارایی بیشتری برخوردار است.

مهمترین نتیجه حاصل از این آزمایشات عبارت است از اینکه جداشدگی روکش از هسته در اثر جداشدگی آرماتورهای روکش می باشد که بتن همراه خود را نیز دچار جداشدگی می کند به همین دلیل زمانی که با اتصال مناسب بتوان آرماتور روکش را به هسته متصل نگه داشت، مقاومت بیشتر و عدم جداشدگی روکش را به همراه دارد.

مراجع

پوربابا م، پناه پورح، صدیقی ممان م. ۱۳۹۱. مقایسه آزمایشگاهی انواع روشهای مقاوم سازی ستون های بتن آرمه با استفاده از تکنیک غلاف بندی بتنی. چهارمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران

کیوانی ع، سبزی ز. ۱۳۸۶. بررسی رفتار ستون های دایره ای بتونی تقویت شده با ژاکت فولادی. سومین کنگره ملی مهندسی عمران،

نرماشیری ک، صادقی ع، هاشمی م. ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه روشهای افزایش مقطع بتنی و ژاکت فولادی برای مقاوم سازی ستون های بتن مسلح. اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته علوم محیطی

Teran A, Ruiz J. 1992. Reinforced concrete jacketing of existing structures. Tenth World conference of Earthquake Engineering. Rotterdam, Netherland

Jose M. Adam, Salvador Ivorra , Francisco J. Pallarés , Ester Giménez , Pedro A. Calderón. 2009. Axially loaded RC columns strengthened by steel caging. Finite element modelling . Construction and Building Materials, 23