مقاوم‌سازی ستون‌های بتن‌آرمه با استفاده از تکنیک غلاف‌بندی بتنی و فولادی

مسعود پوربابا
مربی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه
Email: pourbaba@iau-maragheh.ac.ir
(تاریخ دریافت مقاله: تاریخ پذیرش مقاله)

چکیده

مقاوم‌سازی سازه‌های ضعیف، که ممکن است بدلیل تغییر آیین‌نامه‌های طراحی یا ضعف در اجرای سازه‌ها بوجود آمده باشد، یا به دلیل افزایش طبقات آن نیاز به تقویت و مقاوم‌سازی داشته باشد و یا آسیب دیدن ساختمان در اثر خوردگی فولاد آن باشد، یک موضوع مهم و ضروری می‌باشد. این مقاوم‌سازی ممکن است قبل از وقوع زلزله و یا بصورت ترمیم اعضای آسیب دیده آنها بعد از زلزله صورت پذیرد. در ساختمان‌ها ستون‌ها از جمله المان‌های آسیب‌پذیر در برابر زلزله هستند. افزایش ظرفیت محوری و شکل‌پذیری ستون‌های بتن‌آرمه می‌تواند در تقویت کل سازه موثر واقع شود. در سال‌های اخیر روش‌های مختلفی برای ترمیم یا تقویت ستون‌ها ارائه شده و نظریات متعددی در مورد افزایش ظرفیت محوری آنها بیان گردیده است. یکی از این روش‌ها استفاده از غلاف‌بندی بتنی، با میلگردها یا پروفیل‌های فلزی است. همچنین استفاده از روش‌های اقتصادی و اجرایی یک امر حیاتی در مقاوم‌سازی سازه‌ها می‌باشد.

اعمال این روش مقاوم‌سازی برروی ستون‌های ضعیف یا آسیب دیده، باعث بهبود ظرفیت‌های محوری، برشی و افزایش شکل‌پذیری این ستون‌ها منجر می شود.

در این مقاله انواع ستون‌های مختلف که نیاز به مقاوم‌سازی داشتند در مقیاس کوچکتر، به تعداد ۱۲ نمونه در آزمایشگاه ساخته شده و سپس این ستون‌ها با استفاده از غلاف‌بندی، مقاوم‌سازی شده‌اند. ظرفیت نهایی محوری ستون‌ها قبل از مقاوم‌سازی (ستون‌های اولیه ضعیف) و بعد از انجام مقاوم‌سازی، توسط دستگاه پرس تعیین و با هم مقایسه شده‌اند. در نهایت مزایا و معایب روش مقاوم‌سازی با غلاف‌بندی با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: مقاوم‌سازی، غلاف‌بندی، المان‌های آسیب‌پذیر، ستون‌های ضعیف

۱- مقدمه

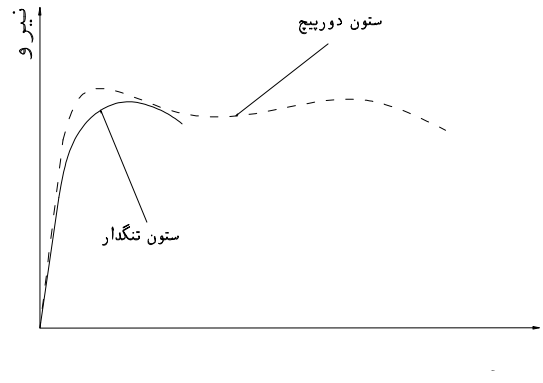
۱-۱- رفتار ستون‌های بتن مسلح

رفتار ستون‌های بتن‌مسلح از سالیان پیشین با آزمایشات گوناگونی مورد مطالعه قرار گرفته و امروزه تحت عنوان ضوابط آیین‌نامه‌ای در اختیار مهندسین قرار گرفته است. با توجه به اینکه ستون بتن مسلح از مصالح ترکیبی ساخته می‌شود، و خواص خود بتن به عنوان جزء اصلی تشکیل دهنده ستون بتن‌مسلح، تابع پارامترهای زیادی همچون نوع مصالح سنگی، سیمان، نسبت آب به سیمان، نسبت سنگ‌دانه به سیمان و ... می‌باشد، رفتار دقیق

ستون‌های بتن‌مسلح تقریبا غیرقابل پیش‌بینی است؛ با این حال، اگر اصول ساخت بتن و جزئیات آرماتوربندی آنها به خوبی رعایت گردد، می‌توان رفتار آنها را تا حدی پیش‌بینی نمود. آزمایشات انجام یافته نشان داده است که وقتی بتن و فولاد در ترکیب با یکدیگر تحت فشار قرار می‌گیرند، در مدت بارگذاری نسبت بار حمل شده توسط هر یک از این دو مصالح با گذشت زمان تغییر می‌کند. به محض اینکه ستون بارگذاری گردید، مطابق با اصول مقاومت مصالح، تنش‌ها به نسبت مدول الاستیسیته‌ی این دو مصالح تقسیم می‌گردد (n=Es/Ec)؛ یعنی تنش ایجادشده در میلگرد ستون n برابر تنش ایجادشده در بتن می‌باشد. بر اثر گذشت زمان، در اثر پدیده‌ای بنام خزش، میلگرد، تنش‌های بیشتری را تحمل می‌کند.

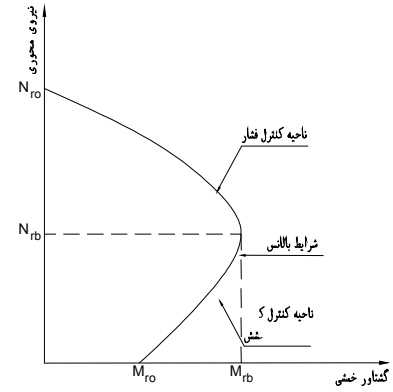
آزمایش ها نشان داده است که رفتار ستون‌های تنگ‌دار تا تنشی تقریبا معادل نصف مقاومت مشخصه‌ی بتن، رفتاری شبه خطی از خود نشان می‌دهد و بعد از آن، وارد مرحله‌ی غیرخطی شده و با افزایش بار وارده، پوشش آرماتورها کم‌کم خرد شده و با افزایش تغییرشکل‌ها، خاموت‌ها بتن شکسته‌ی هسته را محصور کرده و تا لحظه‌ای که آرماتورهای طولی کمانش نکرده‌اند، مقاومت می‌کنند. در لحظه‌ی کمانش آرماتورهای طولی، ستون ظرفیت باربری خود را از دست داده و بطور ناگهانی می‌شکند.

ستون‌های دورپیچ نیز چنین رفتاری را نشان می‌دهند، با این تفاوت که در مرحله‌ی غیرخطی که تغییرشکل‌ها بزرگتر می‌گردد، آرماتورهای دورپیچ به خوبی از انبساط عرضی ستون جلوگیری کرده و باعث می‌گردد که ستون تغییرشکل‌های بیشتری را تحمل کند؛ در واقع درمرحله‌ی جاری‌شدن، ستون به طور ناگهانی نشکسته و شکل‌پذیری بیشتری را از خود به نمایش می‌گذارد. در شکل (۱) نمونه‌ای از منحنی نیرو–تغییرشکل ستون‌های تنگ‌دار و دورپیچ نشان داده شده است.



شکل ۱– نمونه منحنی نیرو–تغییرشکل ستون‌های بتن مسلح تنگ‌دار و دورپیچ

گفتنی است که اگر نیروی محوری و گشتاور خمشی به طور هم زمان به ستون اعمال گردد، رفتار ستون پیچیده‌تر خواهد شد. حالت‌های مختلفی در ترکیب نیروی محوری و گشتاور خمشی می‌تواند رخ دهد. یکی از این حالتها این است که نیروی محوری صفر بوده و گشتاور خمشی Mro به ستون اعمال شود. در این حالت ستون فقط تحت خمش خالص می‌باشد. حالت دیگر این است که گشتاور خمشی صفر بوده و نیروی محوری Nro به آن اعمال گردد. در این حالت نیز ستون تحت فشار خالص خواهد بود. اما بین این دو حالت، بی‌نهایت حالت می‌توان یافت که نیروی محوری فشاری و گشتاور خمشی به طور هم زمان اثر گذار باشند. اندرکنش نیروی محوری فشاری و گشتاور خمشی را می‌توان با بکارگیری نموداری همانند آنچه که در شکل (۲) نشان داده شده است، مورد مطالعه قرار داد. با توجه به شکل (۲) حالتی را می‌توان یافت که در آن گشتاور خمشی برابر با Mrb و نیروی محوری فشاری برابر با Nrb می‌باشد. این حالت را حالت بینابین، متعادل و یا بالانس می‌نامند. در واقع در این حالت توزیع تغییرشکل نسبی (کرنش) در مقطع در شرایط متعادل می‌باشد؛ یعنی کرنش در بتن برابر با 0.003 = و کرنش در فولاد برابر با $\varepsilon = \varepsilon = f \quad E$ می‌باشد. اگر شرایط بارگذاری چنان باشد که قسمت اعظمی از مقطع و یا کل آن تحت تنش‌های فشاری قرار گیرند و قبل از رسیدن فولادهای تحت کشش به مرحله‌ی جاری شدن (تسلیم)، کرنش در بتن به بیشترین مقدار خود یعنی ۰/۰۰۳ برسد، ستون در ناحیه‌ای تحت عنوان "ناحیه‌ی کنترل فشار" به خرابی می‌رسد (ناحیه‌ی بالای حالت بالانس)؛ اما اگر قسمت اعظمی از مقطع تحت کشش قرار بگیرد و کرنش در بتن برابر با 0.003 = و کرنش در میلگردهای کششی بزرگتر از کرنش تسلیم برسد، خرابی در ناحیه‌ی اتفاق می‌افتد که به آن "ناحیه‌ی کنترل کشش" گفته می‌شود (ناحیه پایین حالت بالانس).



شکل ۲– نمونه منحنی اندرکنش نیروی محوری فشاری و گشتاور خمشی

گاهی شرایط مقطع عرضی، ارتفاع و تکیه‌گاه‌های ستون چنان است که تحت بارهای فشاری و وجود خروج از مرکزیت اتفاقی، گشتاورهای جانبی ثانوی در ستون ایجاد می‌گردد که باعث افزایش انحنای ستون می‌گردد و افزایش انحناء، دوباره باعث بیشتر شدن گشتاور خمشی شده و در نهایت این افزایش سلسله‌ای باعث شکست ستون می‌گردد. در واقع در این نوع رفتار، نه ازدیاد نیروها، بلکه نامناسب بودن شرایط هندسی و تکیه‌گاهی موجب خرابی ستون تحت نیروهای کمتر می‌شود. این حالت را ناپایداری الاستیک و این پدیده را پدیده‌ی کمانش ستون می‌نامند.

از اصول مقاومت مصالح می‌دانیم که کمانش ستون با نسبت ارتفاع آن به شعاع ژیراسیون رابطه‌ی مستقیم دارد. هر قدر این نسبت بزرگتر باشد تمایل ستون به کمانش بیشتر می‌شود. این نسبت را ضریب لاغری($\lambda = \frac{\ell_e}{r}$) نامیده می‌شود. هرچه این ضریب بزرگتر باشد، خطر کمانش افزایش می‌یابد[۱ و ۲].

۱-۲- نقاط ضعف و معایب محتمل در ستون‌های بتن مسلح

سالیانه هزاران بار، زمین‌لرزه‌هایی با شدت‌های گوناگون در نقاط مشخصی از دنیا اتفاق می‌افتد که از این زمین‌لرزه‌ها، برخی آن قدر خفیف می‌باشند که فقط دستگاه‌های لرزه‌نگار وقوع آنها را تشخیص می‌دهند و برخی نیز آن قدر شدیدند که شاید باعث ایجاد آسیب‌های مالی و جانی گردند. همان طور که بیان گردید، ستون یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین اجزای یک سازه می‌باشد. اهمیت ستون در زلزله بیشتر مورد توجه قرار گرفته و تا حدی است که اگر در زلزله ستون‌های سازه آسیب ندیده و یا کمتر آسیب بینند، سازه پایداری خود را تحت بارهای جانبی حفظ نموده و باعث می‌گردد که سرنشینان سازه فرصت لازم جهت تخلیه‌ی آن را داشته باشند؛ بدین معنی که اگر شکستی در یک ستونی از سازه رخ دهد احتمال آسیب دیدن ستون‌های بعدی نیز فراوان می‌باشد.

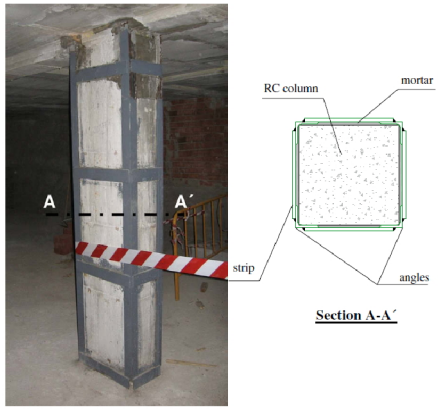
ستون بتن مسلح از اجزای مختلفی ساخته می‌شود و اگر این اجزا با اصول مناسبی گردهم آورده نشوند، ستون دچار معایبی می‌گردد که می‌توان آنها را معایب فیزیکی-اجرایی نام‌گذاری نمود. معایبی نیز می‌تواند در اثر انجام محاسبات نامناسب و یا نادرست به ستون تحمیل گردد که این گونه معایب را نیز می‌توان تحت عنوان معایب محاسباتی نام‌گذاری کرد.

تکنیک غلاف‌بندی بدلیل سادگی در اجرا و همچنین افزایش کم ابعاد مقطع ستون بسیار مورد توجه بوده و امروزه در آزمایشگاه‌های پیشرفته کشورهایی نظیر انگلستان، استرالیا، آمریکا و یونان آزمایشات متعددی جهت بررسی تأثیر اعمال این تکنیک روی ستون‌ها و حتی تیرها در حال انجام است.

۱-۳- مقاوم سازی با استفاده از پروفیل‌های فولادی

در این روش از پروفیل‌های نبشی استفاده می‌شود، به طوری که این نبشی‌ها به صورت طولی در گوشه‌ی ستون‌ها کار گذاشته شده و با بست‌های فولادی که به آنها جوش داده می‌شوند، حصاری در اطراف ستون ایجاد می‌گردد. شکل(۳) یک نمونه از این مقاوم سازی را نشان می‌دهد.

فضای خالی بین حصار و ستون توسط ملات سیمان یا اپوکسی پر می‌شود تا پیوستگی کامل بین حصار فولادی و ستون اولیه ایجاد گردد. افزودن تعدادی مسلح‌کننده تقویتی خارجی به یک سازه موجود، یکی از عمومی‌ترین روشهای افزایش مقاومت و سختی آن است. این عمل در مواردی که ستون‌ها از آرماتور برشی کافی برخوردار نیستند، اضافه شده و باعث افزایش ظرفیت باربری ستون می‌گردند[۳].



شکل ۳- نمونه‌ای از حصاربندی فولادی

۱-٤- مقاوم‌سازی با استفاده از بتن مسلح معمولی

یکی دیگر از روش‌های متداول تقویت و تعمیر ستون‌های بتن-مسلح، استفاده از بتن‌مسلح معمولی در غلافی که به دور ستون اولیه ایجاد می‌گردد، میباشد. این روش یکی از قدیمی‌ترین روش های مقاوم‌سازی است؛ اما همانطور که بیان گردید و در نمودار شکل (۲) نیز مشخص است، اگرچه این روش کاربرد گسترده‌ای در تقویت تیرها، ستون‌ها و اتصالات مربوطه را دارد، اما تحقیقات آزمایشگاهی زیادی در این مورد و یا تحقیقاتی که انواع روش‌های اجرایی را با هم مقایسه کند، انجام نشده است. شاید علت این امر، دشوارتر بودن عملیات مقاوم‌سازی با این روش در مقایسه با سایر روش‌ها باشد. ما نیز در این تحقیق از این روش برای تقویت و مقاوم‌سازی ستون‌ها استفاده نموده‌ایم، تا مزایا و معایب این روش مشخص گردد[۴ و ۶].

در اشکال (۴) الی (۷) تصاویری از تقویت ستون و تیر در یک پروژه واقعی نشان داده شده است. این تصاویر مربوط به یک

ساختمان سه طبقه در شهر تبریز می‌باشد که در سال ۱۳۷۶ مطابق با ویرایش اول آیین‌نامه‌ی زلزله ایران، استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه ACI برای طراحی سازه‌های بتن‌مسلح، طراحی و ساخته شده است. برای اینکه سازه تا حدی با ویرایش سوم آیین-نامه تطابق داشته باشد، مقاوم‌سازی به روش غلاف‌بندی بتن‌مسلح انجام گرفته است.

شکل ۴- تیرها و ستون‌های تقویت‌شده در یک ساختمان به روش غلاف‌بندی بتن مسلح

شکل ۵- نمای پایین از محل اتصال تیر به ستون، تقویت‌شده به روش غلاف‌بندی بتن مسلح

شکل ۶- نمای بالا از محل اتصال تیر به ستون، تقویت‌شده به روش غلاف‌بندی بتن مسلح

شکل ۷- عمل شاتکریت بر روی غلاف بندی فولادی انجام شده

۳- کارهای آزمایشگاهی

۳-۱- ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

ابعاد ستون‌های اولیه (ضعیف) ۱۰×۱۰×۹۰ سانتی‌متر انتخاب و ساخته شدند. دلیل انتخاب این ابعاد برای ساخت نمونه‌ها این بوده که اولاً حدالامکان این ابعاد متناسب با ابعاد واقعی ستون‌ها باشد و ثانیاً این ابعاد انتخابی (قبل و بعد از مقاوم‌سازی) طبق تعریف در حکم ستون باشد، یعنی نسبت ارتفاع به کوچک‌ترین بعد مقطع از یک مقدار مشخص کوچکتر نباشد.

طبق تعریف، ستون به یک عضو سازه‌ای قائم اطلاق می‌شود که بار محوری فشاری را با و یا بدون لنگر خمشی منتقل نماید. به طور متعارف اگر نسبت ارتفاع به کوچک‌ترین بعد مقطع یک عضو فشاری قائم کوچک‌تر از ۳ باشد، آن عضو به نام پایه یا پدستال نامیده شده، و اگر این نسبت بزرگ‌تر از ۳ باشد، آن قطعه ستون خوانده می‌شود[۲].

این نسبت (نسبت ارتفاع به کوچک‌ترین بعد مقطع) در ستون های اولیه ساخته شده برابر $9=$ — بوده و بزرگتر از مقدار حداقل عنوان شده می‌باشد. بتن تازه با ریختن در قالب شکل قالب را به خود می‌گیرد و به صورت مطلوب به دست می‌آید . آنچه که در ریختن بتن حائز اهمیت است آن است بتن حمل شده بدون آنکه دانه‌بندی آن بهم بخورد در داخل قالب قرار گیرد. حین بتن ریزی قالب‌ها، جهت تعیین مقاومت فشاری بتن استفاده شده، در قالب‌های مکعب استاندارد آزمایشگاهی، نمونه برداری صورت گرفت. شکل(۸) مراحل آماده‌سازی قالب‌ها را نشان می‌دهد.

شکل۸- آماده سازی قالب‌ها

۳-۲- متراکم کردن بتن

حین بتن‌ریزی باید با وسیله مناسب و با توجه به نوع بتن آن را متراکم کرد. هنگام ارتعاش بتن، اصطکاک بین دانه‌های درشت کم شده و به خاصیت سیالیت بتن افزوده می‌شود و بتن تحت اثر وزن به سهولت در قالب جا گرفته و حباب‌های هوا از آن خارج می‌شود. این عمل باید چنان انجام شود که هوای محبوس داخل بتن تماماً خارج شده و بتن یکپارچه کلیه زوایای قالب را پر نماید. تراکم بتن می‌تواند به صورت لرزاندن باشد بدین صورت که با این روش تا حد امکان هوای محبوس به بیرون از بتن رانده می‌شود. اگر این هوای اضافی خارج نشود تاثیراتی از قبیل کاهش مقاومت بتن، افزایش نفوذپذیری بتن و در نهایت کرمو و بد منظره شدن بتن منجر می‌شود. در عوض بتن کاملاً فشرده دارای چگالی بیشتر، مستحکم، نفوذناپذیر و بادوام خواهد بود. در این طرح به دلیل محدود بودن ابعاد قالب، از میله فولادی برای تراکم بتن استفاده شده است.

۳-۳- نگهداری بتن

مواد چسباننده برای اینکه بتواند بطور مداوم آبگیری کند باید دائما به صورت مرطوب نگهداری شود. مساله قالب‌برداری خیلی مهم است کم دقتی در این مورد موجب خسارت می‌شود. بتن بعد از اینکه ساخته شد در نتیجه آبگیری مداوم ماده چسباننده به موازات سفت شدنش کسب مقاومت می‌کند. در هوای گرم تهیه و حمل نمونه‌های آزمایش باید با دقت صورت گیرد. درجه حرارت هوا، سرعت باد، میزان کاهش اسلامپ در موقع تخلیه و اجرای بتن باید ثبت شود. عمده‌ترین خاصیتی که از بتن سخت شده انتظار می‌رود، آن است که مقاومت فشاری مطلوبی از خود نشان دهد. و بدیهی است که پذیرش بتن در کارگاه بر اساس نتایج آزمایش فشاری نمونه‌های برداشته شده از بتن مصرفی صورت می‌گیرد، مقصود از نمونه‌برداری از بتن، تهیه دو نمونه از آن است که آزمایش فشاری آنها بر حسب نوع سیمان مصرفی معمولاً در سن ۲۸ روزه یا هر سن معین شده دیگری انجام می‌گیرد. متوسط مقاومت‌های فشاری بدست آمده به عنوان نتیجه نهایی آزمایش منظور می‌شود [۱].

بعد از اینکه چهار نمونه ستون اولیه به همراه دو نمونه مکعبی آزمایشگاهی را از قالب بیرون آورده می شوند باید شروع به آبپاشی روزانه شود اگر این کار مقدور نباشد به دلیل حجم کم نمونه آنها را در بشکه‌ای پر از آب قرار داده می شود که در شکل(۹) نشان داده شده است.

شکل ۹- نگهداری نمونه‌ها در داخل آب

با رعایت مطالب یاد شده ۱۶ نمونه ستون به ابعاد ۹۰×۱۰×۱۰ ساخته شد. چون این گروه از نمونه‌ها در این طرح به عنوان ستون‌های اولیه ضعیف به کار برده می‌شدند، به همین جهت مسلح نشدند.

زمانی که آخرین گروه نمونه‌ها یعنی چهار نمونه آخر به سن ۲۸ روزه رسیدند یعنی زمانی که بتوانند به بیش از نود درصد مقاومت نهایی دست یابند، ساخت قالب‌های سری دوم آغاز شد.

ابعاد قالب‌های سری دوم، ۱۵×۱۵×۹۰ سانتی‌متر انتخاب و تهیه شدند. یعنی ۲/۵ سانتی‌متر از هر طرف بزرگ‌تر شدند. این بزرگ شدگی به دلیل انجام مقاوم سازی شامل آرماتوربندی (غلافبندی) و بتن ریزی بود. نسبت ارتفاع به کوچک‌ترین بعد مقطع، در این ستون‌ها (مقاوم‌سازی شده) برابر $6 =$ — بوده و بزرگتر از مقدار حداقل عنوان شده در بند ۳-۱ بوده و المان ما ستون تلقی می‌شود.

۳-٤- غلاف‌بندی یا آرماتورگذاری ستون‌های ضعیف و تقویت ستون‌ها

شکل ۱۰- ستون‌های اولیه آزمایشگاهی قبل از مقاوم‌سازی

همانطور که می‌دانیم آسیب‌دیدگی ستون‌ها در مراحل و نقاط مختلفی به چشم می‌خورند، بسته به درجه آسیب‌دیدگی، راهکارهای مختلف مقاوم‌سازی را می‌توان اعمال کرد و به کار بردن جاکت، از جمله این راهکارها هستند[۵ و ۱۰].

جاکت‌های بتن‌آرمه زمانی به کار می‌روند که ستون‌ها دچار آسیب دیدگی جدی و یا مقاومت لرزه‌ای ناکافی باشند. بسته به شرایط محلی موجود، جاکت‌ها دور تا دور ستون‌ها و یا فقط در یک یا چند ضلع ستون اجرا می‌شوند. در حالت‌هایی که اجرای جاکت بتن‌آرمه فقط به ارتفاع خالص طبقه محدود شود مقاومت محوری و برشی ستون افزایش می‌یابد ولی مقاومت خمشی در اتصالات افزایش پیدا نمی‌کند[۹ و ۱۳].

در حالت‌های معمول که جاکت دور تا دور مقطع ستون اجرا می‌شود، گاهی عملکرد مرکب بتن قدیم و بتن جدید، منحصراً به دلیل پیوستگی طبیعی بین دو ماده صورت می‌گیرد. این پیوستگی را می‌توان با زبر کردن سطوح قدیمی و یا جوش دادن یک سری آرماتور خمیده بین آرماتورهای جدید و قدیم تحکیم کرد. هنگامی که ستون کاملاً آسیب‌دیده و یا آن که ارتفاع آن زیاد باشد و در نتیجه خطر کمانه کردن آرماتورهای جدید وجود داشته باشد، ایجاد اتصال فوق ضروری است [۱۱ و ۱۲].

نتایج پژوهش‌هایی که در گذشته انجام شده است، نشان می‌دهد که با ایجاد محصور شدگی خارجی در نواحی بحرانی و یا کل سطح خارجی ستون، می‌توان مقاومت و شکل‌پذیری آن را به طور چشمگیری افزایش داد.

بر اساس تحقیقاتی که توسط یک محقق ژاپنی انجام شده است، جاکت فلزی- بتنی را می‌توان به عنوان یک گزینه موثر برای مقاوم‌سازی ستون های بتن‌آرمه با مقاومت برشی کم به کار برد. در این پژوهش‌ها معلوم شده است که با ایجاد جاکت‌های فلزی بتنی به دور ستون‌های آسیب‌دیده و آسیب ندیده ، عملکرد لرزه‌ای آنها به طرز قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

از مزایای این راهکار تقویتی می‌توان به در دسترس بودن مواد لازم در کشورهای در حال توسعه، عدم نیاز به نیروی کار ماهر، ارزانی و مناسب بودن آن برای عملیات تقویت و ترمیم اشاره کرد.

اجرای جاکت‌های فوق بر روی اتصالات آسیب دیده، سریعترین روش برای تقویت آنهاست اما این کار عموماً مشکل است زیرا باید برای تمام اعضایی که وارد اتصال می‌شوند جاکت اجراء کرد. زبر کردن سطوح قدیمی از جمله مواردی است که باید قبل از اجرای جاکت صورت پذیرد. [۱۴].

در ادامه کار شروع به جاکت گذاری(آرماتوربندی) ستون‌ها می شود و تمامی ۸ ستون مورد نظر مقاوم سازی می شوند که شکل های (۱۱ و ۱۲) مراحل پیشرفت کار را نشان می‌دهند.

شکل ۱۱- تصویر مربوط به مراحل غلاف‌بندی

لازم به ذکر است که برای جاکت‌گذاری(آرماتوربندی) ستون‌ها از 10 4 آرماتور طولی استفاده می شود و دلیل این انتخاب رعایت ضوابط حداقل و حداکثر فولاد طولی ستون طبق آیین‌نامه-های ACI318 و آبا می‌باشد. حداقل و حداکثر فولاد طولی ستون در این آیین‌نامه‌ها بترتیب برابر ۱ و ۶ درصد سطح مقطع ناخالص بتن ذکر شده است. منظور از سطح مقطع ناخالص بتن، سطح مقطع بتن بدون توجه به مساحت اشغال شده توسط فولادهای طولی است. که در اینجا مساحت آرماتورهای طولی 10 4 برابر $3.14\ cm^2$ می‌باشد و در نتیجه:

$$0.01 \qquad = \frac{\cdot}{\times} = 0.014 \qquad 0.06$$

لذا ضوابط آیین‌نامه رعایت گردیده است. [۷و۸]

حداقل قطر میلگرد خاموت و فاصله تنگ‌ها در ستون مطابق ضوابط آیین‌نامه ACI318 می‌باشد. ACI318 حداقل قطر تنگ در اعضاء فشاری را برابر ۱۰ میلیمتر ذکر کرده است. همچنین فاصله قائم تنگ در عضو فشاری نباید از ۱۶ برابر قطر میلگرد طولی، ۴۸ برابر قطر میلگرد عرضی و کوچک‌ترین بعد ستون،

بیشتر باشد، یعنی حداکثر فاصله تنگ در ستون (S_{max}) به صورت زیر محدود می‌گردد [۲ و ۷].

{16 =

{16 =

=

{16, =

با توجه به اینکه در خاموت گذاری از 10@10cm استفاده شده است، لذا کلیه ضوابط فوق در آرماتورگذاری برای مقاوم سازی نمونه‌ها بطور کامل رعایت شده است.

شکل ۱۲- تصویر مربوط به اتمام غلاف‌بندی

۳-۵- آماده‌سازی نمونه برای آزمایش

بعد از اتمام آرماتوربندی کلیه ستون‌های مورد آزمایش بتن‌ریزی مربوط به مقاوم‌سازی انجام می شود. همچنین ۲ نمونه آزمایشگاهی جهت تعیین مقاومت فشاری بتن برداشت می شود. لازم به ذکر است که در تهیه این بتن، از دانه‌بندی ریزتری استفاده شده، به طوری که بتن بدست آمده، نسبت به بتن‌های قبلی کمی ریزدانه‌تر می باشد تا به دلیل فضای کم بتن‌ریزی دچار مشکل نشود. در ادامه مطالب تصویرهایی از روند کاری یاد شده، شامل شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ ارائه شده است.

تصویر۱۳- تصویر مربوط به قالب‌های سری دوم

شکل۱۴- تصویر مربوط به نگهداری بتن در محل دقیق خود

شکل ۱۵- تصویر مربوط به بتن‌ریزی مقاوم‌سازی

٤- تعیین نیروی نهایی ستون‌ها در آزمایشگاه

بعد از اینکه آخرین سری از نمونه‌های مقاوم‌سازی شده تهیه گردید و عمل آوری بتن تکمیل گردید، آنها را به همراه نمونه‌های مکعبی استاندارد به آزمایشگاه انتقال داده، تا توسط پرسنل آزمایشگاه تعیین مقاومت گردند و نتایج آنها معلوم شود. ولی قبل از آزمایش، نمونه‌ها را توسط گوگرد کپینگ می گردد.

شکل۱۶- کپینگ کردن نمونه‌ها توسط گوگرد

با توجه به ارتفاع نمونه‌های تهیه شده، دستگاه تعیین مقاومت فشاری باید مونتاژ می‌شد، که این‌کار نیز توسط پرسنل مجرب

آزمایشگاه صورت می پذیرد. بعد از این‌کار ابتدا ستون‌های اولیه ضعیف را در دستگاه پرس قرار داده و تعیین مقاومت می شوند، سپس مقاومت نمونه‌های مقاوم‌سازی شده تعیین می شود که نتایج این قسمت در بندهای بعدی بیان شده است. در شکل‌های ۱۷ تا ۱۸ روند کار قابل مشاهده است.

شکل ۱۷- مونتاژ دستگاه پرس

شکل ۱۸- قراردادن نمونه‌ها در دستگاه پرس

حداکثر نیروی محوری قابل تحمل ستون های اولیه در جدول شماره ۱. تعیین شده است

جدول ۱- نیروی متحمله ستون‌های اولیه قبل از تقویت

شماره نمونه‌ها	نیروی متحمله ستون‌های اولیه قبل از تقویت (ton)
نمونه اول	۳۲/۹۰
نمونه دوم	۳۰/۳۰
نمونه سوم	۳۳/ ۵۰
نمونه چهارم	۲۸/۵۰
نمونه پنجم	۳۴/۲۰
نمونه ششم	۳۰/۸۰

نتایج حداکثر مقاومت محوری ستون‌ها بعد از انجام غلاف‌بندی بتنی (ستون‌های مقاوم‌سازی شده) طبق جدول ۲ بدست آمده است:

جدول۲- نیروی متحمله ستون‌های مقاوم‌سازی شده با غلاف‌بندی بتنی

شماره نمونه‌ها	نیروی متحمله ستون‌های مقاوم‌سازی شده با غلاف‌بندی بتنی (ton)
نمونه اول	۴۰/۱۴
نمونه دوم	۳۴/۸۵
نمونه سوم	۴۱/۵۴
نمونه چهارم	۳۵/۶۲
نمونه پنجم	۴۰/۸۰
نمونه ششم	۴۴/۹۳

لازم به ذکر است از ۸ نمونه ستون مقاوم‌سازی شده، ۶ عدد تعیین مقاومت شده و ۲ عدد به عنوان نمونه شاهد نگهداری شدند. متوسط نیروهای متحمله ستون‌های اولیه قبل از غلاف‌بندی به صورت زیر می‌باشد:

$$P = \frac{\qquad}{\qquad} = 31.70 \text{ ton}$$

متوسط نیروهای متحمله ستون‌ها بعد از غلاف‌بندی به صورت زیر می‌باشد:

$$P = \frac{\qquad}{\qquad} = 39.65 \text{ ton}$$

نسبت متوسط نیروی ستون‌های غلاف‌بندی شده به متوسط نیروی ستونهای قبل از غلاف‌بندی برابر $= \frac{\qquad}{\qquad} = 1.251$ می‌باشد که جمعاً افزایش ۲۵/۱ درصدی را نشان می دهد.

۵- نتیجه‌گیری

بعد از آزمایش روی نمونه‌ها، مطالعات بر روی نتایج آزمایشات صورت گرفته و نتایج زیر بدست آمده است:

۱- انجام مقاوم‌سازی با روش غلاف‌بندی بتنی، روشی ساده، اجرایی و با هزینه‌های پایین قابل اجرا است.

۲- بر خلاف مدل‌سازی‌های کامپیوتری انجام شده در سازه‌ها جهت مقاوم‌سازی که افزایش قابل‌توجهی در نیروهای فشاری المان‌های مقاوم‌سازی شده را نشان می‌دهند، انجام آزمایشات عملی در این طرح گویای افزایش حدود ۲۵ درصدی نیروهای محوری می‌باشند.

۳- عدم اتصال کامل بین بتن قبلی (قبل از مقاوم‌سازی) و بتن جدید (بعد از مقاوم‌سازی) از عوامل کاهش مقاومت نهایی نیروی محوری نهایی (P_0) در ستون‌های مقاوم‌سازی شده به روش غلاف‌بندی می‌باشد.

۴- شکست ستون‌های مقاوم‌سازی نشده به صورت ترد بوده ولی شکست ستون‌های مقاوم‌سازی شده به کمک افزودن بتن مسلح اضافی به آن تقویت گردیده و نه فقط سخت‌تر و مقاوم‌تر از ستون اولیه می‌باشد بلکه به دلیل اصلاح جزئیات آرماتوربندی آن، شکل‌پذیرتر نیز می‌گردد. لازم به ذکر است که امکانات کافی جهت اندازه‌گیری دقیق این تغییرشکل‌ها وجود نداشت که اندازه گیری دقیق این تغییرشکل‌ها به کارهای آتی پیشنهاد می‌گردد.

٦- منابع

۱- دیلمقانی، صمد، تکنولوژی بتن، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، (۱۳۷۵).

۲- مستوفی‌نژاد، داود، سازه‌های بتن‌آرمه، جلد اول، چاپ پنجم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، (۱۳۸۶).

۳- رهایی، علیرضا، نعمتی، سعید، ارزیابی عملکرد و روش-های مقاوم‌سازی، چاپ دوم، انتشارات فدک، ایساتیس، تهران، (۱۳۸۶).

۴- اسحقی نژاد، مهدی، پوربابا، مسعود، زیرک کار، سهراب، اثر تکنیک غلاف‌بندی فولادی در ترمیم و تقویت ستون‌های بتن‌آرمه جهت افزایش ظرفیت محوری، اولین کنفرانس بین-المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای ایران، تبریز، (۱۳۷۸).

۵-پوربابا، مسعود، فلاح اصغری، جلال، کیانی، امیر، روش-های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها، سومین کنفرانس بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای ایران، تبریز، ص. ۱۹۴، (۱۳۸۹).

۶- پوربابا، مسعود، اسحقی نژاد، مهدی، ۲۴-۲۳ آبان ، افزایش مقاومت برشی ستون‌های بتن‌آرمه با کمک غلاف-بندی فولادی، نخستین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران، شبستر، (۱۳۸۹).

7. ACI 318 – 05 , Building Code Requirements for structural Concrete and Commentary – ACI 318 – 05 , American Concrete Institute , Farming Hills , MI , USA 2005.

8- European Committee for Standardisation (CEN). European (draft) Standard EN 1992-1-1: Eurocode 2; Design of concrete structures Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, (2004).

9- ATC 40. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Applied Technology Council, Vol. 1, California, USA, (1996).

10- Takeuti AR, Hanai JB. Strength and ductility of reinforced concrete columns strengthened with high-performance concrete jackets. (1999).

11- CEB-FIB. Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings. Bulletin no. 24, Task Group 7.1; (2003).

12- Giménez E, Adam JM, Ivorra S, Moragues JJ, Calderón PA. Full-scale testing of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips. Adv Struct Eng; 12(2):169–81.(2009).

13- Pantelides, C. P., Yan, Z., Confinement model of concrete with externally bonded FRP jackets or post tensioned FRP shells, Journal of Structural Engineering, Vol. 133 (9), pp 1288-1296. (2007).

14- Kumutha, R., Vaidoyanathan, R. And Palanichamy, M. S., Behavior of reinforced concrete rectangular columns strengthened using GFRP, Elsevier: Cement & Concrete Composites 29, pp 609-615. (2007).

Retrofitting of Reinforced Concrete Columns Using Steel and Concrete Jacketing Technique

M. Pourbaba
Depatment of Civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Abstract:

Retrofitting structures is an important issue. Structural weakness may be due to changes in design codes or defects in implementation. Adding structural floors to the existing structures may also lead to the need for strengthening and retrofitting. Retrofitting is possible before the earthquake or may take place as rehabilitation of damaged members after earthquake. Elements such as columns in buildings are vulnerable to earthquakes. Increasing the ductility and load bearing capacity of reinforced concrete columns can be effective in strengthening the entire structure. In recent years several methods for repairing or strengthening the columns have been presented and several theories have been proposed about increasing their load bearing capacity. One of these methods is using reinforced concrete or steel profile jacketing technique. Retrofitting methods also should be applicable and cost effective. This method of retrofitting on weak or damaged columns improves the axial and shear load bearing capacity and increases the ductility.

In this research 12 column specimens in small scales were prepared in laboratory and retrofitted using jacketing technique. Load bearing capacity of the specimens before and after retrofitting were calculated and compared. Finally advantages and disadvantages of this method were investigated using experimental test results.

Keywords:

retrofitting, jacketing technique, damaged elements, weak columns