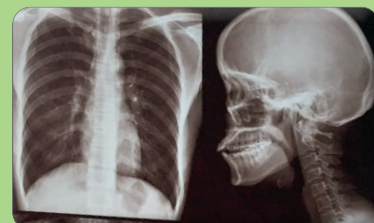


بررسی تاثیر برخی از عوامل موثر در نتایج DLS و راهکارهای کاهش خطا

ارتقا و توسعه شبکه آزمایشگاهی در سومین دهه فعالیت



بررسی اثر شرایط کاشت آرماتور با
چسب‌های شیمیایی در بتن بر میزان
مقاومت بیرون‌کشی



تفسیر فیلم رادیوگرافی با استفاده از هوش
مصنوعی و روش‌های پردازش تصویر



کاربرد فیلتراسیون در آماده‌سازی نمونه‌ها در
کروماتوگرافی (بخش اول)



مقایسه دو روش هضم اسیدی و هضم خشک
در تعیین فلزات سنگین سرب و کادمیوم به
روش جذب اتمی کوره گرافیت در برنج



واکنش زنجیره‌ای پلیمراز قطره‌ای، گامی نو در
تشخیص مولکولی

نویسندگان

کیوان ابن علی حیدری^{۱*}، بهنام ابره^۲۱. کارشناس بخش ژئوتکنیک، شرکت مهندسی مشاور
آزمونه فولاد۲. مدیر ژئوتکنیک مهندسی و آزمایشات برجا، مهندسی
مشاور آزمونه فولاد

*k1.ebh95@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

بررسی اثر شرایط کاشت آرماتور با چسب‌های شیمیایی در بتن بر میزان مقاومت بیرون کشی

واژه‌های کلیدی

کاشت آرماتور، چسب اپوکسی،
مقاومت کششی، شرایط کاشت.

چکیده

کاشت آرماتور در بتن با استفاده از چسب‌های شیمیایی، یکی از روش‌های مؤثر در بهبود و تقویت سازه‌های بتنی به ویژه در پروژه‌های مقاوم‌سازی و تقویت زیرساخت‌ها است. این پژوهش به بررسی تأثیر نوع چسب و شرایط محیطی بر مقاومت کششی آرماتورهای کاشته شده در بتن می‌پردازد. دو نوع چسب اپوکسی و اپوکسی-اکریلات به‌عنوان مواد اتصال‌دهنده انتخاب شدند و آزمایش‌ها در شرایط مختلف شامل کاشت عمودی و افقی آرماتور به صورت صحرایی (برجا) انجام شد.

هدف این پژوهش، دستیابی به درک عمیق‌تر از چگونگی تأثیرگذاری این متغیرها بر مقاومت کششی نهایی آرماتورهای کاشته شده و ارائه راهکارهای بهینه‌سازی برای افزایش کارایی آن‌ها بود. نتایج نشان داد که چسب اپوکسی به دلیل مقاومت بالاتر در برابر رطوبت و نیروهای کششی، به‌طور میانگین حدود ۲۵ درصد عملکرد بهتری نسبت به چسب اپوکسی-اکریلات از خود نشان می‌دهد. این چسب در محیط‌های مرطوب و در اثر بارهای دینامیکی و استاتیکی، قدرت چسبندگی و پایداری بیشتری داشت؛ از سوی دیگر، چسب اپوکسی-اکریلات به دلیل زمان عمل‌آوری سریع‌تر و هزینه پایین‌تر، برای پروژه‌هایی با نیاز به مقاومت متوسط و محیط‌های خشک گزینه مناسبی است. همچنین این چسب به‌منظور کاشت آرماتور نیز تأثیر قابل توجهی بر مقاومت نهایی داشت، به‌طوری که آرماتورهای عمودی مقاومت بیشتری نسبت به آرماتورهای افقی داشتند. این پژوهش همچنین به مقایسه نتایج با استانداردهای بین‌المللی ACI 355 و ASTM E488 پرداخت و نشان داد که نتایج آزمایش‌ها با این استانداردها سازگار است.

به‌طور کلی، نتایج پژوهش حاضر تأکید می‌کند که انتخاب نوع چسب و رعایت شرایط محیطی مناسب، به ویژه تمیزی سوراخ‌ها و کنترل رطوبت، از عوامل حیاتی در بهبود عملکرد نهایی آرماتورهای کاشته شده در بتن هستند. این یافته‌ها می‌توانند به‌عنوان راهنمایی برای مهندسان و متخصصان سازه در انتخاب چسب مناسب و تدوین دستورالعمل‌های بهینه‌سازی نصب در پروژه‌های ساختمانی و مقاوم‌سازی مورد استفاده قرار گیرند.

در صنعت ساخت و ساز، استفاده از بتن به‌عنوان یکی از مصالح اصلی در ساخت سازه‌ها امری مرسوم است. بتن به دلیل مقاومت فشاری بالای خود از دیرباز به‌عنوان ماده‌ای مناسب برای سازه‌هایی که نیاز به مقاومت فشاری دارند شناخته شده‌است؛ اما بتن به تنهایی دارای مقاومت کششی قابل توجهی نیست و برای مقابله با نیروهای کششی نیاز به تقویت دارد. این موضوع منجر به توسعه روشی به نام «کاشت آرماتور» در بتن شده‌است که به‌خصوص در پروژه‌های تقویتی و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و سازه‌های بتنی کاربرد فراوانی دارد. کاشت آرماتور در بتن نه تنها باعث افزایش مقاومت کششی سازه می‌شود، بلکه دوام و پایداری آن را نیز در شرایط مختلف بارگذاری بهبود می‌بخشد. با افزایش نیاز به سازه‌های مقاوم و قابل اتکا در برابر نیروهای مختلف، از جمله زلزله و سایر بارهای دینامیکی، روش‌های نوین کاشت آرماتور مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. این روش‌ها به‌ویژه در بهبود ساختمان‌های قدیمی و سازه‌های زیرساختی که ممکن است نیاز به تقویت داشته باشند، کاربرد دارند. یکی از این روش‌های پرکاربرد، استفاده از چسب‌های شیمیایی برای کاشت آرماتور در بتن است.

در روش کاشت آرماتور به کمک چسب‌های شیمیایی، ابتدا سوراخ‌هایی در بتن ایجاد شده و سپس آرماتورهای فولادی با استفاده از چسب‌های شیمیایی خاص در این سوراخ‌ها قرار داده می‌شوند. این چسب‌ها، به‌صورت عمومی از نوع چسب‌های اپوکسی، رزینی و یا اکریلیک هستند که هر کدام ویژگی‌های خاص خود را دارند. انتخاب نوع چسب مورد استفاده در این روش بستگی به شرایط محیطی، نوع بارگذاری و نیازهای خاص پروژه دارد. چسب‌های اپوکسی به‌عنوان یکی از پرکاربردترین چسب‌های مورد استفاده در کاشت آرماتور به دلیل قدرت چسبندگی بالا و مقاومت در برابر شرایط محیطی مختلف، به‌ویژه در محیط‌های مرطوب و خورنده، شناخته شده‌اند. چسب‌های شیمیایی مزایایی نسبت به روش‌های مکانیکی دارند. از جمله اینکه، به دلیل امکان کاشت در مکان‌های محدود و امکان تنظیم دقیق محل کاشت، انعطاف‌پذیری بالایی را برای مهندسان فراهم می‌کنند. علاوه بر این، این چسب‌ها به دلیل سرعت بالای عمل‌آوری و دسترسی راحت به آن‌ها در محل پروژه، از محبوبیت بالایی برخوردار هستند. از سوی دیگر، چسب‌های شیمیایی به دلیل مقاومت کمتر در برابر حرارت بالا و برخی مواد شیمیایی ممکن است دارای محدودیت‌هایی باشند.

پژوهش‌های پیشین در زمینه کاشت آرماتورهای چسبی در بتن به بررسی عوامل متعددی پرداخته است که بر مقاومت و عملکرد نهایی این آرماتورها تأثیرگذار هستند. مطالعات پیشین به‌طور گسترده‌ای به متغیرهای کلیدی مانند نوع چسب، شرایط محیطی، روش‌های حفاری و عملکرد طولانی مدت آرماتورها پرداخته‌اند. سوبرامانیان و کوک در سال ۲۰۰۲ میلادی دریافتند که شرایط محیطی نظیر دما، رطوبت و تمیزی سطحی سوراخ‌ها می‌تواند بر عملکرد چسب‌های اپوکسی در محیط‌های مرطوب تأثیرگذار باشد، به طوری که این نوع چسب به دلیل ویژگی‌های ضدآب بودن و مقاومت بالا، نتایج بهتری نسبت به دیگر انواع چسب‌ها ارائه می‌دهد [۱]. همچنین، الیگهواسن و کوک در سال ۲۰۰۶ میلادی در مطالعه‌ای به این نتیجه رسیدند که انتخاب چسب و رعایت شرایط نصب، تأثیر مستقیمی بر استحکام نهایی و عملکرد آرماتورهای چسبی دارد و طراحی بهینه آرماتورها می‌تواند کارایی آن‌ها را افزایش دهد [۲]. توماسکیویچ و بارلیکا در سال ۲۰۲۰ میلادی با بررسی تأثیر شکل سطحی آرماتور به این نتیجه رسیدند که آرماتورهای با سطح صاف و تمیز به دلیل توزیع یکنواخت نیرو، پیوند بهتری با چسب دارند، در حالی که ناصافی‌های سطح می‌تواند توزیع نیرو را نامتعادل کرده و پیوند را تضعیف کند [۳].

از سوی دیگر، نیل‌فروش و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی عملکرد طولانی مدت آرماتورهای چسبی پرداخته و تأکید کردند که شرایط محیطی نظیر رطوبت و تغییرات دمایی به مرور زمان باعث کاهش قدرت چسبندگی و پیوند بین آرماتور و بتن در طول دوره سرویس می‌شود [۴]. اوپادیا و کومار (۲۰۱۵) در پژوهش خود مدلی ریاضی برای پیش‌بینی ظرفیت بیرون کشیدن آرماتورهای چسبی ارائه و نشان دادند که انتخاب چسب مناسب و رعایت شرایط نصب به کاهش خطر بیرون کشیدن آرماتور کمک می‌کند [۵]. چن و همکاران (۲۰۲۲) نیز در بررسی عملکرد تاندون‌های کابلی به این نتیجه رسیدند که ترک‌های موجود در ساختار بتنی و شرایط خاص ساختمانی می‌تواند ظرفیت باربری نهایی کابل را به شدت کاهش دهد. به‌طور کلی، یافته‌های این مطالعات تأکید می‌کنند که عوامل مهمی مانند شرایط محیطی، نوع چسب و رعایت دستورالعمل‌های نصب، به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر بر مقاومت و پایداری آرماتورهای چسبی در بتن شناخته می‌شوند [۶]. این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که استفاده از چسب‌های اپوکسی در محیط‌های مرطوب و بارهای سنگین مناسب است، در حالی که چسب‌های اپوکسی-اکریلات برای شرایط خشک مناسب‌ترند.

و شیمیایی برجسته، نسبت به سایر انواع چسب‌ها برای پروژه‌های حساس و بزرگ مناسب‌تر هستند.

♦ **روش آماده‌سازی و نصب:** تمیزی و آماده‌سازی سطح بتن و سوراخ‌هایی که در آن آرماتور کاشته می‌شود، یکی از مهم‌ترین مراحل در کاشت آرماتور است. هرگونه آلودگی یا گردوغبار می‌تواند به شدت پیوند چسب به بتن را تضعیف کند. بنابراین، رعایت دستورالعمل‌های مربوط به تمیزی سطح و تزریق صحیح چسب نقش اساسی در دستیابی به یک اتصال قوی ایفا می‌کند.

■ روش پژوهش

■ طراحی آزمایش

برای بررسی تأثیر نوع چسب و روش‌های مختلف کاشت بر مقاومت کششی آرماتورهای کاشته شده در بتن، این پژوهش از یک طراحی آزمایشی غیر سیستماتیک بهره گرفته است. بدین صورت که داده‌های مورد بررسی ناشی از آزمایش‌های ارجاع شده به مهندسین مشاور آرمونه فولاد در طول ۵ سال گذشته جمع‌آوری شد. سپس از نظر نوع چسب مورد استفاده و نوع کاشت (عمودی یا افقی)، داده‌ها دسته‌بندی شدند. بدیهی است که پژوهشگران این تحقیق کنترلی از نظر شرایط کاشت نظیر تمیز کردن چال حفر شده برای کاشت نداشته و صرفاً براساس اطلاعات موجود و تهیه بانک اطلاعاتی بیش از ۱۰۰ آزمایش کشش میلگرد در پروژه‌های مختلف تحلیل و بررسی صورت گرفته است. در این راستا، دو نوع چسب شیمیایی (اپوکسی و اپوکسی-اکریلات) مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، آزمایش‌ها شامل کاشت آرماتور در شرایط افقی و عمودی انجام شد تا تأثیر آن به‌منظور کاشت بر مقاومت کششی نهایی بررسی شود. برای به‌دست آوردن داده‌های دقیق و مقایسه‌پذیر، آزمایش‌ها روی نمونه‌هایی با ابعاد مختلف و در شرایط محیطی مختلف انجام شده است. لذا نتایج براساس طول کاشت و قطر آرماتور نرمالایز شده تا با یکدیگر مقایسه‌پذیر باشند.

■ آماده‌سازی سوراخ‌ها برای کاشت آرماتور

چال‌های حفر شده در بتن به‌طور عمومی به دو روش ایجاد می‌شوند:

♦ **استفاده از دریل چکشی:** این روش برای ایجاد سوراخ‌هایی با قطر ۲۰ میلی‌متر و به عمق ۱۵۰ میلی‌متر استفاده می‌شود. از این روش به دلیل سرعت بالای حفر و مناسب بودن برای بتن‌های معمولی استفاده شد.

♦ **استفاده از دریل مغزه‌گیری:** برای بتن خودتراکم از این روش استفاده می‌شود تا سوراخ‌هایی صاف‌تر و بدون ترک‌خوردگی ایجاد شود.

بعد از ایجاد سوراخ‌ها، تمیزی آن‌ها باید با استفاده از یک برس فلزی و هوای فشرده انجام شد تا هرگونه گرد و غبار و آلودگی از سطح داخلی سوراخ‌ها پاک شود. تمیزی سوراخ‌ها در این آزمایش‌ها یکی از عواملی است که در کنترل پژوهشگران این تحقیق نبود، لذا فرض بر آن است که دستگاه نظارت حاضر در پروژه‌های عمرانی این شرایط را کنترل نموده‌اند.

■ انواع چسب‌های شیمیایی مورد استفاده در کاشت آرماتور

چسب‌های شیمیایی مورد استفاده در کاشت آرماتور شامل انواع مختلفی از مواد شیمیایی هستند که هر کدام دارای خواص ویژه‌ای بوده و برای کاربردهای خاصی مناسب هستند. در ادامه به بررسی سه نوع چسب شیمیایی رایج در کاشت آرماتور پرداخته می‌شود:

♦ **چسب‌های اپوکسی:** چسب‌های اپوکسی به دلیل ویژگی‌هایی چون مقاومت بالا در برابر رطوبت، حرارت و مواد شیمیایی، به‌طور گسترده‌ای در کاشت آرماتور مورد استفاده قرار می‌گیرند. این چسب‌ها از دو جز تشکیل شده‌اند: رزین و سخت‌کننده که پس از مخلوط شدن، یک پیوند قوی بین آرماتور و بتن ایجاد می‌کنند. چسب‌های اپوکسی علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی برجسته، قادر به تحمل نیروهای دینامیکی و لرزه‌ای نیز هستند، به‌ویژه در محیط‌هایی که نیاز به دوام و استحکام بالا دارند.

♦ **چسب‌های پلی‌استر و اکریلات:** این چسب‌ها به‌طور معمول در پروژه‌هایی با مقیاس کوچک‌تر و شرایط بارگذاری سبک‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که این چسب‌ها مقاومت کمتری نسبت به اپوکسی دارند، برای محیط‌های غیرخورنده و بدون رطوبت مناسب‌تر هستند. این چسب‌ها در پروژه‌هایی با نیازهای زمانی سریع نیز استفاده می‌شوند زیرا سرعت عمل‌آوری آن‌ها نسبت به اپوکسی بیشتر است.

♦ **چسب‌های رزینی:** چسب‌های رزینی از انواع قدیمی‌تر چسب‌های کاشت آرماتور هستند که هنوز هم در برخی پروژه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این چسب‌ها به دلیل ساختار شیمیایی ساده و قابلیت چسبندگی به انواع سطوح، به‌ویژه در بتن‌های سبک و پروژه‌های کوچک، به‌کار می‌روند. چسب‌های رزینی در مقابل رطوبت و شرایط خورنده مقاومت کمتری دارند؛ بنابراین، استفاده از آن‌ها در محیط‌های باز و مرطوب کمتر توصیه می‌شود.

■ عوامل مؤثر بر عملکرد کاشت آرماتور در بتن

عملکرد نهایی آرماتور کاشته شده به عوامل مختلفی بستگی دارد که به‌عنوان عوامل اساسی در طراحی و اجرای این روش مطرح هستند. از جمله این عوامل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

♦ **شرایط محیطی:** رطوبت، دما و نوع محیط (خورنده یا غیرخورنده) از جمله عوامل مهمی هستند که می‌توانند بر عملکرد چسب و استحکام نهایی آرماتور تأثیرگذار باشند. چسب‌های اپوکسی به‌طور معمول در محیط‌های مرطوب و خورنده عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند و این امر در کاشت آرماتورهایی که در تماس با مواد خورنده قرار دارند اهمیت بسیاری دارد.

♦ **نوع و کیفیت چسب:** نوع چسب و مواد تشکیل‌دهنده آن بر مقاومت نهایی و مدت زمان پایداری اتصال آرماتور تأثیر می‌گذارند. چسب‌های اپوکسی به دلیل ویژگی‌های مکانیکی

■ مواد مورد استفاده

♦ **آرماتور فولادی:** برای تمام آزمایش‌ها از آرماتورهای فولادی از نوع AIII با قطر ۱۲ تا ۲۸ میلی‌متر و طول کاشت ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر استفاده شده است. لذا نتایج براساس طول کاشت و قطر آرماتور نرمالیز شده تا با یکدیگر مقایسه پذیر باشند.

♦ **چسب اپوکسی:** این چسب به دلیل مقاومت بالا در برابر نیروهای دینامیکی و رطوبت مورد استفاده قرار می‌گیرد. چسب اپوکسی به‌طور معمول برای پروژه‌هایی که نیاز به مقاومت بالا دارند توصیه می‌شود و زمان عمل‌آوری آن نیز به‌طور معمول بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت است.

♦ **چسب اپوکسی-اکریلات:** این چسب به‌عنوان گزینه‌ای با عمل‌آوری سریع‌تر نسبت به اپوکسی انتخاب می‌شود. از این چسب برای آزمایش‌های محیطی خشک و سبک‌تر استفاده می‌شود.

■ آزمایش کشش آرماتور

آزمایش‌های کشش به‌صورت کشش محوری روی نمونه‌ها انجام شد (شکل (۱)). در این آزمایش، آرماتور کاشته شده به کمک دستگاه کشش به‌طور پیوسته کشیده می‌شود تا به نقطه شکست برسد. دستگاه کشش به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که بتواند بارگذاری محوری را به‌طور یکنواخت اعمال کند. داده‌های مربوط به نیرو و جابه‌جایی با استفاده از حسگرهای دقیق ثبت و ذخیره شدند. مقاومت کششی نهایی با توجه به نیرویی که موجب شکست نمونه می‌شود، محاسبه شد. همچنین، نوع شکست (شکست چسب، شکست آرماتور یا شکست بتن) در هر آزمایش مشخص شد. این اطلاعات برای ارزیابی چگونگی عملکرد چسب‌ها در شرایط مختلف کاشت مورد استفاده قرار گرفت.



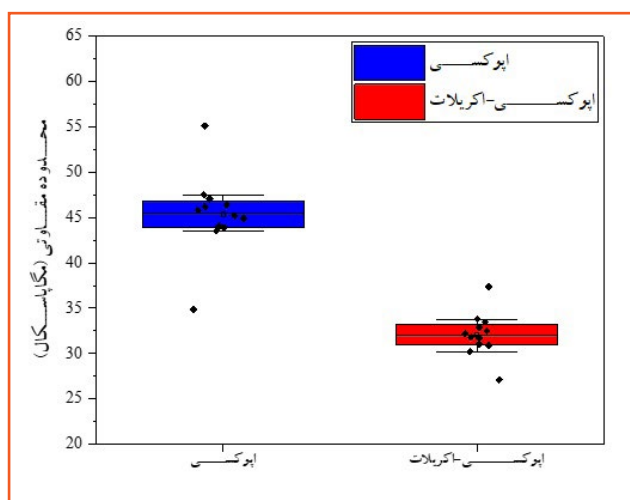
شکل (۱): نمایی از آزمایش بیرون کشی آرماتور در محل با استفاده از سیستم هیدرولیک. (الف): کاشت عمودی و (ب): کاشت افقی.

■ نتایج و بحث

■ مقایسه مقاومت کششی نهایی آرماتورها با چسب اپوکسی و اپوکسی-اکریلات

یکی از اهداف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر نوع چسب بر مقاومت کششی آرماتورهای کاشته شده بود. نتایج آزمایش‌های کشش نشان دادند که آرماتورهای کاشته شده با چسب اپوکسی

به‌طور میانگین ۳۰ درصد مقاومت کششی بیشتری نسبت به آرماتورهای کاشته شده با چسب اپوکسی-اکریلات داشتند. این یافته می‌تواند به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی چسب اپوکسی نسبت داده شود که به‌طور معمول در برابر نیروهای کششی و خمشی استحکام بالاتری از خود نشان می‌دهد. این نتیجه با یافته‌های پژوهش‌های قبلی که استفاده از چسب‌های اپوکسی را به دلیل چسبندگی بالا و مقاومت مناسب در برابر رطوبت و مواد خوردنده توصیه می‌کنند، هم‌خوانی دارد. به نظر می‌رسد که چسب اپوکسی، به دلیل خواص پیوند شیمیایی قوی و زمان عمل‌آوری مناسب، می‌تواند به‌طور مؤثری بارهای کششی را از آرماتور به بتن انتقال دهد و در نتیجه مقاومت نهایی بالاتری را فراهم آورد. در شکل (۲) مقاومت کششی نهایی آرماتورها با چسب اپوکسی و اپوکسی-اکریلات برای ۱۰۰ آزمایش نشان داده شده است.



شکل (۲): مقایسه میان تأثیر نوع چسب بر مقاومت بیرون کشی آرماتورها.

■ تأثیر جهت کاشت بر مقاومت کششی نهایی

آزمایش‌ها نشان دادند که جهت کاشت آرماتور نیز بر مقاومت کششی تأثیر دارد. آرماتورهای کاشته شده در جهت عمودی به‌طور متوسط ۱۰ درصد مقاومت کششی بیشتری نسبت به آرماتورهای افقی از خود نشان دادند. این موضوع می‌تواند به چگونگی توزیع بار در طول آرماتور و ویژگی‌های فیزیکی بتن اطراف آن مرتبط باشد. در کاشت عمودی، نیروی کششی به‌صورت یکنواخت‌تری در طول آرماتور توزیع می‌شود و از تأثیر نیروهای جانبی و تنش‌های نامتقارن جلوگیری می‌کند. همچنین در کاشت عمودی چسب بهتر در فضای اطراف آرماتور توزیع می‌شود. اما در کاشت افقی به دلیل اثر نیروی گرانش و چنانچه حجم چسب کافی نباشد، چسب به‌طور یکنواخت در سرتاسر محیط آرماتور و چال حفاری شده پخش نمی‌شود. در شکل (۳) مقاومت کششی نهایی آرماتورها با چسب اپوکسی و اپوکسی-اکریلات در دو جهت افقی و عمودی برای ۱۰۰ آزمایش نشان داده شده است.

■ تحلیل نوع گسیختگی‌ها

در این بخش، تحلیل شکست‌های مشاهده شده در نمونه‌های آزمایشی مورد بحث قرار گرفته است. شکست‌ها به سه دسته اصلی تقسیم شدند: گسیختگی و ایجاد ترک در سطح چسب، گسیختگی و ایجاد ترک در بتن و گسیختگی و ایجاد ترک در فولاد آرماتور.

◆ گسیختگی و ایجاد ترک در سطح چسب:

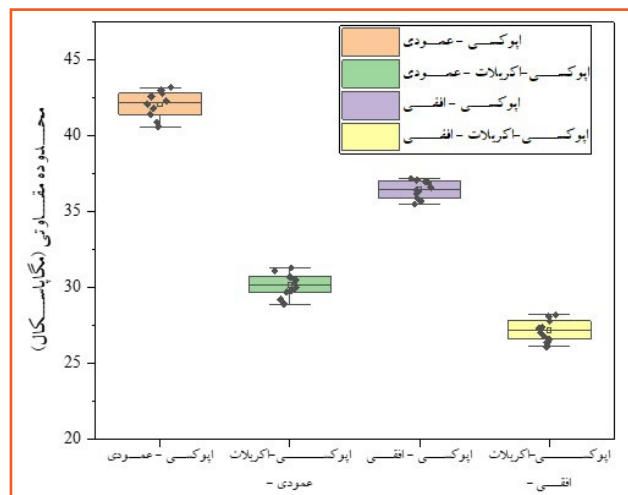
مشاهدات پژوهشگران این تحقیق نشان می‌دهد که بیشترین نوع شکست‌ها در این آزمایش‌ها در سطح چسب به وجود آمده که به دلیل تنش‌های کششی بالا و عدم توانایی چسب در حفظ پیوند خود با بتن است. این نوع شکست‌ها به خصوص در نمونه‌هایی که از چسب اپوکسی-اکریلات استفاده کرده بودند، بیشتر مشاهده شد و دلیل آن نیز احتمالاً به ضعف چسبندگی این چسب در شرایط بارگذاری سنگین برمی‌گردد. همان‌طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود، در چسب اپوکسی-اکریلات ترک بین چسب و فولاد ایجاد شده و حتی فرت نبوده تا ترک به داخل ماده چسب ورود کند یا ترک‌هایی در آن ایجاد شود. بنابراین، ایجاد و رشد ترک در باند بین فولاد و چسب رخ داده که نتیجه نامطلوبی است. اما در شکل (۴-ب) ترک ایجاد شده در خود ماده چسب است که حالت مطلوب‌تری نسبت به حالت قبل به شمار می‌رود.



شکل (۴): نمایی از ترک سطحی ایجاد شده در (الف): اپوکسی-اکریلات و (ب): رزین اپوکسی.

◆ گسیختگی و ایجاد ترک در بتن:

در برخی نمونه‌ها، شکست بتن اطراف آرماتور مشاهده شد و به‌طور معمول در نمونه‌هایی رخ داد که از چسب‌های اپوکسی استفاده شده بود. این امر به دلیل استحکام بالای چسب اپوکسی است که منجر به انتقال کامل نیروی کششی به بتن شده و موجب شکست بتن در نزدیکی آرماتور شده است. این یافته نشان می‌دهد که در شرایط بارگذاری شدید، استفاده از چسب‌های قوی‌تر ممکن است به بتن آسیب وارد کند؛ اما در کل مطلوب‌ترین حالت گسیختگی این حالت است، چرا که نشان می‌دهد چسب استفاده شده مقاومت کششی بیشتری نسبت به بتن داشته و باند بین چسب با فولاد و چسب با بتن نیز استحکام کافی دارند. شکل (۵) نمایی از ترک و گسیختگی گوه‌ای در سطح بتن را نشان می‌دهد.



شکل (۳): مقایسه میان تاثیر نوع چسب و جهت کاشت بر مقاومت بیرون کشی آرماتورها.

■ مقایسه نتایج با استانداردهای موجود

در این بخش، نتایج پژوهش با استانداردهای موجود از جمله استانداردهای ASTM E488 و ACI 355 مقایسه شده است. استانداردهای ASTM و ACI به‌عنوان مراجع بین‌المللی برای ارزیابی عملکرد چسب‌های شیمیایی در کاشت آرماتور شناخته می‌شوند و توصیه‌هایی در خصوص آماده‌سازی سوراخ‌ها، دمای محیط و انتخاب چسب مناسب ارائه می‌دهند. مطابق با این استانداردها، استفاده از چسب‌های اپوکسی برای محیط‌های رطوبتی و بارگذاری‌های سنگین توصیه می‌شود و نتایج این پژوهش نیز به خوبی با این استانداردها هماهنگ است.

◆ مقایسه با استاندارد ACI 355:

استاندارد ACI 355 به بررسی مقاومت چسب‌ها در شرایط مختلف محیطی و بارگذاری پرداخته و توصیه‌هایی در خصوص استفاده از چسب‌های شیمیایی ارائه داده است. نتایج این پژوهش نشان دادند که استفاده از چسب اپوکسی در محیط‌های مرطوب و بارهای کششی بالا، به دلیل استحکام بالای این چسب، مناسب‌تر است. این یافته با توصیه‌های استاندارد ACI 355 در خصوص استفاده از چسب‌های مقاوم در برابر رطوبت و شرایط محیطی سخت تطابق دارد [۷].

◆ مقایسه با استاندارد ASTM E488:

استاندارد ASTM E488 به ارزیابی روش‌های آزمایشگاهی و عوامل لازم برای سنجش استحکام چسب‌های شیمیایی می‌پردازد. در این پژوهش نیز با رعایت روش‌های این استاندارد، آزمایش‌ها انجام شد. استفاده از دستگاه کشش مطابق با دستورالعمل‌های ASTM و همچنین رعایت روش‌های پاکسازی سوراخ‌ها برای بهبود پیوند بین چسب و بتن، نتایج قابل اعتمادی را فراهم کرد. مشاهدات تجربی پژوهشگران نشان می‌دهد که تمیزی سوراخ و رعایت استانداردهای تزریق چسب مطابق با ASTM در عمل، منجر به افزایش مقاومت نهایی می‌شود [۸].

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به بررسی اثرات نوع چسب و شرایط مختلف محیطی بر مقاومت کششی آرماتورهای کاشته شده در بتن پرداخت. در این مطالعه، دو نوع چسب اپوکسی و اپوکسی-اکریلات به عنوان مواد اتصال دهنده به کار گرفته شدند و نمونه‌ها در شرایطی همچون جهت کاشت مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که نوع چسب و جهت نصب تأثیر عمده‌ای بر مقاومت کششی نهایی آرماتورهای کاشته شده دارد.

یکی از یافته‌های اصلی این پژوهش تأثیر مثبت استفاده از چسب اپوکسی بر مقاومت کششی بود. این چسب به دلیل استحکام و مقاومت بالا در برابر رطوبت، عملکرد بهتری نسبت به چسب اپوکسی-اکریلات داشت. از آنجا که چسب اپوکسی به خوبی به بتن می‌چسبد و در شرایط رطوبتی نیز کارایی بالایی از خود نشان می‌دهد، به عنوان گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای ساختمانی و مقاوم‌سازی در محیط‌های مختلف شناخته شد.

علاوه بر این، تأثیر جهت کاشت نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که آرماتورهای کاشته شده در جهت عمودی نسبت به آرماتورهای افقی مقاومت کششی بیشتری دارند. این امر می‌تواند به توزیع یکنواخت‌تر نیرو در طول آرماتور مرتبط باشد که از تمرکز تنش و نیروهای جانبی می‌کاهد. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که برای دستیابی به بهترین عملکرد آرماتورهای کاشته شده در بتن، انتخاب چسب مناسب و رعایت استانداردهای مربوط به تمیزی سوراخ‌ها و شرایط محیطی نصب بسیار مهم است. این پژوهش می‌تواند به مهندسان و متخصصان سازه کمک کند تا با در نظر گرفتن شرایط مختلف محیطی و نوع بارگذاری، تصمیمات آگاهانه‌تری برای انتخاب مواد و روش‌های بهینه نصب اتخاذ کنند. با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از چسب‌های اپوکسی در پروژه‌هایی که نیاز به مقاومت و دوام بالا دارند، توصیه می‌شود.



شکل (۵): نمایشی از ترک و گسیختگی گوه‌ای شکل در سطح بتن.

◆ گسیختگی و ایجاد ترک در فولاد آرماتور:

کمترین تعداد شکست‌ها در سطح آرماتور مشاهده شد که نشان می‌دهد فولاد مورد استفاده توانایی تحمل بارهای کششی اعمال شده را داشته است. این نوع شکست‌ها به طور عمده در بارهای بسیار بالا و در شرایطی که چسب و بتن هر دو به طور کامل نیروی کششی را تحمل کرده بودند، رخ داده‌اند. همچنین در برخی موارد، به دلیل وجود ریز ترک‌ها در ساختار فولاد، مقاومت کششی میلگرد مورد آزمایش از میزان مورد انتظار کمتر است. در شکل (۶) تصویر یک نمونه گسیختگی در فلز آرماتور مشاهده می‌شود.



شکل (۶): (الف): نمایشی از گسیختگی ایجاد شده در فولاد و (ب): نمای فولاد سالم با همان شرایط کاشت و ترک ایجاد شده در بتن.

مرجع

- [1] Subramanian, N., & Cook, R. A. (2002). Installation, behaviour and design of bonded anchors. *Indian Concrete Journal*, 76(1), 47-56.
- [2] Eligehausen, R., & Cook, R. A. (2006). Behavior and design of adhesive bonded anchors. *ACI Structural Journal*, 103(6), 822.
- [3] Barylka, A., & Tomaszewicz, D. (2020). Influence of surface shape of glued anchors on their load capacity. *Modern Engineering*, (2), 78-82.
- [4] Nilforoush, R., Nilsson, M., Söderlind, G., & Elfgren, L. (2016). Long-term performance of adhesive bonded anchors. *ACI Structural Journal*, 113(2), 251-261.
- [5] Upadhyaya, P., & Kumar, S. (2015). Pull-out capacity of adhesive anchors: An analytical solution. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 60, 54-62.
- [6] Chen, J., Liu, P., Liu, L., Zeng, B., Zhao, H., Zhang, C., ... & Li, D. (2022). Anchorage performance of a modified cable anchor subjected to different joint opening conditions. *Construction and Building Materials*, 336, 127558.
- [7] Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete (ACI 355.4-20) and Commentary – Inch-Pound Units (IN-LB)
- [8] ASTM, E488M-15, Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements

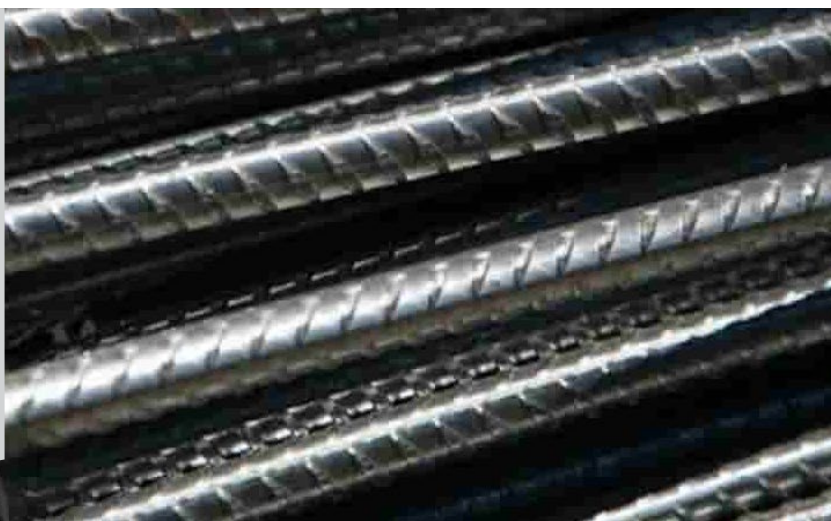
Authors

Kivan Ebn-Ali Heidari^{1*}Behnam Ebrah²

*k1.ebh95@gmail.com

1. Geotechnical Engineer,
Azmouneh Foulad Consulting
Engineers Company

2. Geotechnical Engineering
and In-Situ Testing Manager,
Azmouneh Foulad Consulting
Engineers Company



Investigation of the Effect of Reinforcement Installation Conditions Using Chemical Adhesives in Concrete on Pull-Out Resistance

Abstract

The installation of reinforcement in concrete using chemical adhesives is one of the most effective methods for enhancing and strengthening concrete structures, particularly in retrofitting and infrastructure reinforcement projects. This study investigates the influence of adhesive type and environmental conditions on the tensile strength of embedded reinforcement in concrete. Two types of adhesives, epoxy and epoxy-acrylate, were selected as bonding agents, and tests were conducted under various conditions, including vertical and horizontal reinforcement installations in field (in-situ) settings. The primary objective of this research is to gain a deeper understanding of how these variables affect the ultimate tensile strength of embedded reinforcement and to propose optimization strategies for improving their performance.

The results indicated that epoxy adhesive, due to its higher resistance to moisture and tensile forces, demonstrated an average of 25% better performance compared to epoxy-acrylate adhesive. Epoxy adhesive exhibited superior bonding strength and stability in humid environments and under both dynamic and static loads. On the other hand, epoxy-acrylate adhesive, with its faster curing time and lower cost, proved to be a suitable option for projects requiring moderate strength and in dry environments. Additionally, the orientation of reinforcement installation significantly influenced the ultimate strength, with vertically installed reinforcement showing higher resistance compared to horizontally installed reinforcement.

This study also compared the experimental results with international standards ACI 355 and ASTM E488, confirming that the findings are consistent with these standards. Overall, the results emphasize that the selection of adhesive type and adherence to appropriate environmental conditions, particularly hole cleanliness and moisture control, are critical factors in enhancing the performance of embedded reinforcement in concrete. These findings can serve as a guide for engineers and structural specialists in selecting suitable adhesives and developing optimized installation guidelines for construction and retrofitting projects.

Keywords

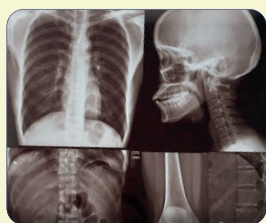
Reinforcement installation, epoxy adhesive, tensile strength, installation conditions



Investigation of Key Factors Affecting DLS Results and Error Reduction Strategies



Investigation of the Effect of Reinforcement Installation Conditions Using Chemical Adhesives in Concrete on Pull-Out Resistance



Radiographic Film Interpretation Using Artificial Intelligence and Image Processing Techniques



Sample preparation on filtration in chromatography (Part 1)



Comparison of Acid Digestion and Dry Ashing Methods for Determination of Lead and Cadmium Heavy Metals in Rice by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry



Droplet Polymerase Chain Reaction; A New Step in Molecular Diagnosis