

سازگاری بین بتن اولیه و مصالح ترمیم در فرآیند ترمیم بتن

سارا آرین‌منش^۱ و محمدرضا اصفهانی^{۲*}

^۱ کارشناس ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این مقاله، مسئله سازگاری بین بتن اولیه و مصالح ترمیم در فرآیند ترمیم بتن بررسی می‌شود. بدین منظور، سه ماده ترمیم انتخاب شده و تأثیر ویژگی‌های مختلف این مواد بر سازگاری بتن اولیه و مواد ترمیم بررسی می‌گردد. به منظور شناخت خصوصیات مکانیکی مواد، آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی و خمشی بر روی مصالح ترمیم و بتن اولیه انجام شد. برای نمونه‌های مرکب نیز آزمایش‌های مقاومت پیوستگی برش مایل و خمش سه‌نقطه‌ای تیر مرکب انجام گرفت. سطح تماس دو ماده در نمونه‌های مرکب به دو روش صاف و سند بلاست شده آماده‌سازی شده و دو روش کلی برای عمل‌آوری مصالح ترمیم در نظر گرفته شده است. تأثیر پارامترهای مختلف بر سازگاری بتن اولیه و مصالح ترمیم مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این پارامترها شامل تأثیر تفاوت در مقاومت فشاری و خمشی ماده ترمیم و بتن اولیه، تأثیر مقاومت پیوستگی برش مایل، تأثیر تفاوت در روش عمل‌آوری ماده ترمیم و تأثیر بافت سطح تماس می‌باشند. بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات بر روی پارامترهای بررسی شده در این پژوهش می‌توان پارامترهای «نسبت مقاومت خمشی» در شرایط عمل‌آوری مرطوب و «مقاومت پیوستگی» در شرایط عمل‌آوری مرطوب و سطح تماس زبر را بر سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن اولیه مؤثر دانست. سایر پارامترهای مورد بررسی رابطه معنی‌داری با سازگاری از خود نشان ندادند. سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن اولیه به میزان قابل ملاحظه‌ای متأثر از روش عمل‌آوری ماده ترمیم است. مصالح ترمیم مورد بررسی در این پژوهش در شرایط عمل‌آوری ترکیبی سازگاری بهتری با بتن اولیه از خود نشان دادند. مود شکست تیر مرکب نیز تحت تأثیر روش آماده‌سازی سطح قرار دارد.

واژگان کلیدی: ترمیم بتن، سازگاری، مقاومت پیوستگی، بافت سطح تماس، روش عمل‌آوری.

۱- مقدمه

ملاط‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمر و ملاط‌های پلیمری تقسیم کرد. استفاده از هر گروه از مصالح ترمیم مستلزم رعایت شرایط خاص در مراحل اجرای ترمیم و عمل‌آوری آن می‌باشد [۲].

مصالح ترمیم بر اساس نوع کاربرد سازه اصلی، نوع بارگذاری و شرایط شیمیایی محیط نیز طبقه‌بندی شده و انتخاب مصالح ترمیم با توجه به شرایط خاص بهره‌برداری و برآورده ساختن الزامات خاص صورت می‌پذیرد [۳ و ۴].

برخی آیین‌نامه‌ها راهنمایی‌هایی در مورد انتخاب ماده ترمیم، آماده‌سازی سطح بتن اولیه و روش‌های ایجاد پیوستگی ارائه می‌کنند. اما با این وجود، هیچ روش آزمایشی در آیین‌نامه‌ها از جمله آیین‌نامه ACI یا استاندارد ASTM ارائه نشده است که با به کارگیری آن بتوان سازگاری مصالح ترمیم و بتن اولیه را قبل از انتخاب ماده ترمیم پیش‌بینی کرد. در کشور هم اکنون از مصالح زیادی برای ترمیم سازه‌ها استفاده می‌شود. لیکن مطالعاتی در مورد بررسی رفتار این مصالح در نمونه ترمیم یافته با آزمایش‌های مناسب انجام نشده است [۲].

ترمیم و نگهداری بتن از مهمترین مسائل بهره‌برداری از سازه‌های بتنی در جهان است و سالانه هزینه زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به تنوع زیاد مصالح ترمیم و گستردگی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، ضروری است روشی برای ارزیابی سازگاری بین بتن اولیه و مصالح ترمیم پیشنهاد شود.

سازگاری را می‌توان یک تعادل فیزیکی، شیمیایی و الکتروشیمیایی بین مصالح ترمیم و بتن موجود تعریف کرد. سازگار بودن تضمین می‌کند که بتن ترمیم شده می‌تواند تمام تنش‌های وارده به دلیل تغییر حجم، اثرات شیمیایی و الکتروشیمیایی را بدون کاهش تنش و آسیب در طول دوره زمانی طراحی شده تحمل کند. برای دستیابی به یک ترمیم با دوام، ضروری است عوامل مؤثر بر طراحی و انتخاب سیستم ترمیم به عنوان بخشی از یک سیستم مرکب شناسایی شوند [۱]. مصالح مورد استفاده به منظور ترمیم بتن را بر اساس مواد تشکیل دهنده می‌توان به سه گروه اصلی ملاط‌های سیمانی،

نحوه بارگذاری و موقعیت تکیه‌گاه‌ها در شکل (۱-ب) نشان داده شده است. سازگاری یا ناسازگاری مصالح ترمیم و بتن اولیه، همان طور که در شکل (۱-پ) دیده می‌شود، با مود شکست مشخص می‌گردد. اگر شکست در قسمت ترمیم شده و یا یک سوم کناری تیر (حالات ۱ و ۲) رخ دهد، مصالح ترمیم و بتن اولیه سازگار و در غیر این صورت (حالات ۳، ۴ و ۵) ناسازگارند. مقاومت پیوستگی نیز از پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر سازگاری بتن اولیه و مصالح ترمیم می‌باشد. این پارامتر به روش‌های مختلفی از قبیل آزمایش‌های کشش، شکافت، برش مستقیم و برش مایل اندازه‌گیری می‌شود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

در این پژوهش، تأثیر برخی پارامترهای مقاومتی، روش عمل‌آوری و بافت سطح تماس بر سازگاری بتن اولیه و مصالح ترمیم بررسی می‌گردد. بدین منظور سه ماده ترمیم انتخاب شده و تأثیر ویژگی‌های مختلف آن‌ها بر سازگاری بررسی شده است. آزمایش‌های مقاومت فشاری، کششی و خمشی بر روی مواد ترمیم و آزمایش‌های مقاومت پیوستگی و خمش تیر مرکب بر روی نمونه‌های مرکب تشکیل شده از بتن اولیه و مصالح ترمیم انجام شده است. مصالح ترمیم با دو روش کلی عمل‌آوری شده و سطح تماس دو ماده در نمونه‌های مرکب نیز به دو روش آماده‌سازی گردیده است [۴].

۲-۱- معرفی مصالح ترمیم و بتن اولیه

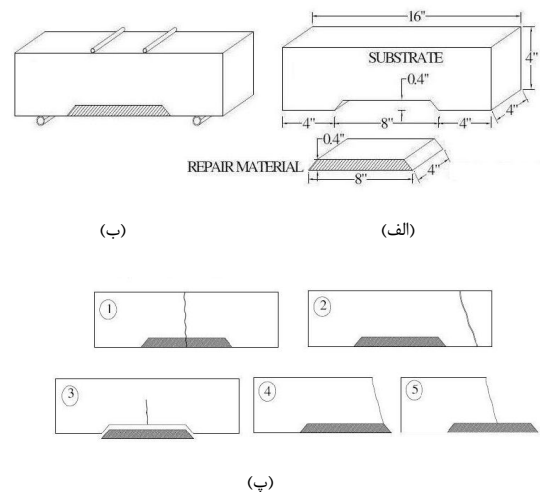
مواد ترمیم مورد استفاده در این تحقیق، دو ماده تجاری با نام‌های پلی‌تکس و ژیکاگروت بوده که توسط سازندگان صنایع شیمیایی بتن تهیه شده است. ماده سوم یک ملات بتنی ریزدانه می‌باشد که طرح اختلاط آن پس از آزمایش‌های فراوان توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است. پلی‌تکس یک ملات تعمیراتی یک جزئی پایه سیمانی و تقویت شده با الیاف پلی‌پروپیلن، لاتکس و رزین‌های پودری محلول در آب می‌باشد و جهت مصرف تنها باید به آب اضافه شود. این ماده با علامت اختصاری PT در مقاله نامیده می‌شود.

ژیکاگروت ملاتی است آماده مصرف، بدون انقباض، با انبساط کنترل شده و مقاومت فشاری بالا. این ماده ملاتی بر پایه سیمان بوده و سنگ‌دانه آن سیلیس دانه‌بندی شده است. مواد افزودنی مختلفی جهت بهینه‌سازی خصوصیات مانند سیالیت، انبساط، مقاومت مکانیکی و شیمیایی در ساخت آن به کار رفته است. این ماده با علامت اختصاری ZH در مقاله نامیده می‌شود.

عوامل مؤثر بر سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن اولیه، مشتمل بر دو دسته کلی خصوصیات مکانیکی و خصوصیات مؤثر بر دوام هستند. در تحقیقات مختلفی پارامترهای مؤثر بر سازگاری مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، ضریب خزش، ضریب انبساط حرارتی [۱]، مقاومت پیوستگی [۵-۹]، مقاومت شیمیایی [۱۰]، مقاومت فشاری [۱۱]، مقاومت خمشی [۱۲]، جمع‌شدگی [۱۳-۱۵] و غیره بر سازگاری بتن اولیه و مصالح ترمیم مؤثر تشخیص داده شده است.

تعیین سازگاری دو ماده، بر اساس روش پیشنهادی Czarnecki و همکاران [۱۶] و بر طبق جزئیات استاندارد تعیین مقاومت خمشی به روش بارگذاری سه نقطه‌ای^۱ بر اساس استاندارد ASTM C78، انجام شده است. بر اساس نتایج این آزمایش‌ها، می‌توان گفت مقاومت پیوستگی در حالتی که سطح بتن اولیه با ماسه ریز سندبلاست شده است، بیشترین همبستگی را با سازگاری دارد. جمع‌شدگی بتن نیز عامل مهم بعدی می‌باشد. پارامترهای مقاومت فشاری و خمشی مصالح ترمیم رابطه محسوسی با سازگاری ترمیم نشان نداده است.

در این پژوهش، از روشی مشابه روش پیشنهاد شده توسط Czarnecki و همکاران [۱۶] برای ارزیابی سازگاری دو ماده استفاده شده است. این روش بر پایه آزمایش خمشی سه نقطه‌ای تیر مرکب است. بر اساس این روش، تیر مرکبی با ابعاد نشان داده شده در شکل (۱-الف) ساخته شده و تحت آزمایش خمش سه نقطه‌ای قرار می‌گیرد.



شکل ۱- آزمایش سازگاری: الف) شکل کلی و ابعاد نمونه، ب) بارگذاری سه نقطه‌ای، پ) مودهای شکست تیر مرکب

۲-۴- بررسی و طبقه‌بندی آزمایش‌ها

آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش را می‌توان به دو دسته کلی آزمایش‌های خصوصیات مکانیکی بتن اولیه و مصالح ترمیم و آزمایش بر روی نمونه‌های مرکب تقسیم کرد. به منظور شناخت خصوصیات مکانیکی مواد، آزمایش مقاومت فشاری، کششی به روش شکافت و خمشی به روش بارگذاری سه نقطه‌ای بر روی مصالح ترمیم و بتن اولیه انجام گرفت. آزمایش‌های مقاومت پیوستگی به روش برش مایل و خمش سه نقطه‌ای تیر مرکب به منظور بررسی نمونه‌های مرکب تشکیل شده از بتن اولیه و ماده ترمیم انجام می‌گیرد. در جدول (۲) می‌توان این تقسیم‌بندی، روش انجام هر آزمایش و ابعاد نمونه‌ها را ملاحظه کرد. در این پژوهش بیش از ۱۷۰ آزمایش به منظور بررسی خصوصیات مختلف مصالح ترمیم، بتن اولیه و همچنین نمونه‌های مرکب انجام گرفته است.

مقاومت فشاری: مصالح ترمیم ملات‌های ریزدانه هستند. به همین دلیل آزمایش مقاومت فشاری برای این مواد به وسیله مکعب‌هایی با ابعاد $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ بر طبق استاندارد ASTM C 106 انجام گردیده است. مقاومت فشاری بتن اولیه به وسیله نمونه‌های استوانه‌ای بر طبق استاندارد ASTM C 39 در سنین ۲۸ و ۶۳ روز اندازه‌گیری گردیده است. در مجموع تعداد ۶۹ نمونه مکعبی به منظور تست مقاومت فشاری تهیه شده است.

مقاومت کششی: مقاومت کششی نمونه‌ها توسط آزمایش شکافت مطابق استاندارد ASTM C 496، به وسیله استوانه‌ای با ابعاد $76\text{mm} \times 152\text{mm}$ اندازه‌گیری شد. استوانه‌های آزمایش کششی مصالح ترمیم با دو روش مرطوب و ترکیبی عمل‌آوری شده و در سن ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفتند. مقاومت کششی بتن اولیه در سنین ۲۸ و ۶۳ روز اندازه‌گیری گردید. در مجموع تعداد ۲۴ استوانه مورد آزمایش مقاومت کششی به روش تست شکافت قرار گرفته‌اند.

مقاومت خمشی: مقاومت خمشی مصالح ترمیم و بتن اولیه، به وسیله آزمایش تیر ساده تحت بار سه نقطه‌ای بر اساس استاندارد ASTM C 78 اندازه‌گیری می‌شود. بارگذاری از قسمت فوقانی تیر و در دو نقطه که از هر تکیه‌گاه به اندازه یک سوم دهانه فاصله دارند اعمال می‌شود (شکل (۳)). تیرهای به کار رفته در این پژوهش با ابعاد $76\text{mm} \times 76\text{mm} \times 305\text{mm}$ تهیه شد. مقاومت خمشی بتن اولیه و مصالح ترمیم به ترتیب در سنین ۶۳ و ۲۸ روزگی تعیین شد. تیرهای خمشی مصالح ترمیم به دو روش عمل‌آوری مرطوب و ترکیبی عمل‌آوری شدند. در کل، تعداد ۲۱ تیر تحت تست خمشی قرار گرفته‌اند.

طرح اختلاط ملات ترمیم بتنی استفاده شده در جدول (۱) ارائه شده است. این ماده BR نامیده می‌شود. اندازه بزرگترین سنگ‌دانه به کار رفته برای ساخت این ملات $4/76$ میلی‌متر است. بتن اولیه به کار رفته در این پژوهش نیز بر اساس طرح اختلاط ارائه شده در جدول (۱) ساخته شده است. اندازه بزرگترین سنگ‌دانه به کار رفته برای ساخت بتن اولیه $9/5$ میلی‌متر است.

جدول ۱- طرح اختلاط پیشنهادی برای ملات ترمیم بتنی (BR) و بتن اولیه (برای یک متر مکعب)

مصالح	ماده ترمیم بتنی (BR)	بتن اولیه
نسبت آب به سیمان	0.400	0.352
آب اختلاط	200 kg	176 kg
سیمان پرتلند تیپ II	500 kg	500 kg
سنگ‌دانه	1784 kg	1789 kg
فوق روان‌کننده	250 ml / 100 kg	2.00 kg

۲-۲- روش عمل‌آوری مصالح ترمیم

در این پژوهش، دو روش عمل‌آوری برای مصالح ترمیم در نظر گرفته شد. عمل‌آوری ترکیبی: ۷ روز عمل‌آوری در آب، ۲۱ روز عمل‌آوری در هوای آزاد و عمل‌آوری مرطوب: ۲۸ روز عمل‌آوری در آب.

۲-۳- روش آماده‌سازی سطح تماس در نمونه‌های مرکب

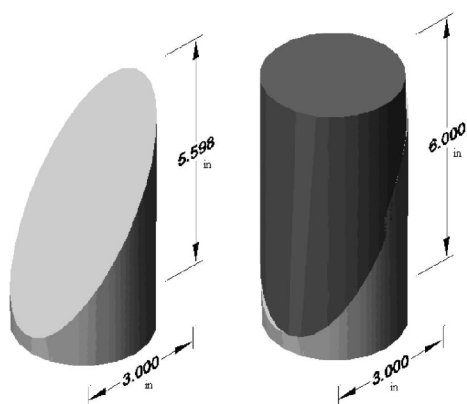
به منظور بررسی تأثیر بافت سطح تماس بر سازگاری بتن اولیه و ماده ترمیم، از دو روش آماده‌سازی سطح تماس استفاده گردیده است. نیمی از نمونه‌ها با سطح صاف و صیقلی مورد ترمیم قرار گرفتند و نیمی دیگر به وسیله سندبلاست سطح تماس زبری ایجاد شد. در شکل (۲) سطوح تماس صاف و زبر مقایسه شده‌اند.



شکل ۲- مقایسه سطوح صاف و سندبلاست شده: الف) سطح صاف، ب) سطح سندبلاست شده

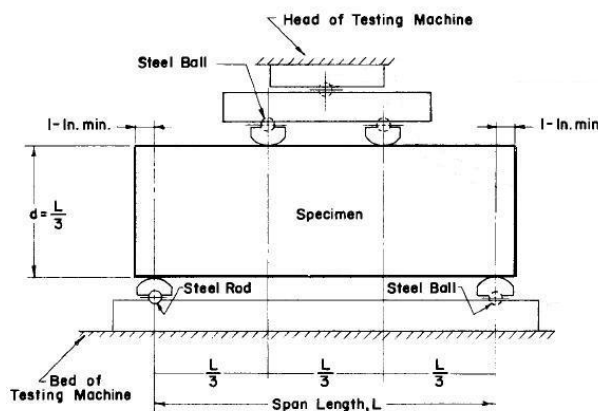
جدول ۲- برنامه آزمایشگاهی

نوع نمونه	نوع آزمایش	تعداد نمونه‌ها	روش انجام آزمایش		ابعاد نمونه (میلی‌متر)	
			ماده ترمیم	بتن اولیه	ماده ترمیم	بتن اولیه
آزمایشات مواد ترمیم / بتن اولیه	مقاومت فشاری	۶۹	ASTM C 106	ASTM C 39	۵۰×۵۰×۵۰ مکعب	۱۲۵×۷۶ استوانه
	مقاومت کششی (به روش تست شکافت)	۲۴	ASTM C 496		استوانه ۷۶×۱۵۲	
	مقاومت خمشی	۲۱	ASTM C 78		تیر ساده ۷۶×۷۶×۳۰۵	
آزمایشات نمونه‌های مرکب	مقاومت پیوستگی (به روش برش مایل)	۳۶	ASTM C 882		مطابق جزئیات شکل (۳)	
	خمش سه‌نقطه‌ای تیر مرکب (سازگاری)	۲۴	Czarnecki و همکاران [۱۶] و ASTM C 78		مطابق جزئیات شکل (۴)	



شکل ۴- ابعاد نمونه استوانه مرکب برای آزمایش مقاومت

پیوستگی برش مایل



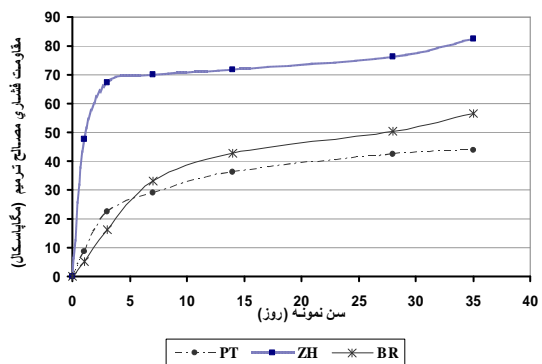
شکل ۳- جزئیات دستگاه آزمایش خمشی بتن به وسیله

بارگذاری سه‌نقطه‌ای بر اساس ASTM C 78

پس از گذشت ۲۸ روز از انجام ترمیم، استوانه‌های مرکب تحت فشار قرار گرفتند. مقاومت پیوستگی بین بتن اولیه و ماده ترمیم به صورت ماکزیمم بار محوری تحمل شده تقسیم بر مساحت سطح مایل محاسبه می‌گردد. مساحت سطح بیضوی مایل در استوانه با ابعاد ذکر شده در شکل (۴) برابر با ۹۱۱۶ میلی‌متر مربع می‌باشد. در مجموع، تعداد ۳۶ استوانه مرکب مورد آزمایش مقاومت پیوستگی به روش برش مایل قرار گرفته‌اند.

مقاومت خمشی تیر مرکب: جزئیات انجام این آزمایش مشابه آزمایش مقاومت خمشی براساس استاندارد ASTM C 78 می‌باشد. طول دهانه تیر، سه برابر عمق تیر در نظر گرفته شده و بار از دو نقطه در قسمت فوقانی تیر که از تکیه‌گاه‌ها به اندازه یک سوم دهانه فاصله دارند به تیر وارد می‌شود. این نحوه بارگذاری به ایجاد لنگر خمشی یکنواخت در یک سوم میانی دهانه منجر می‌شود. به منظور بررسی سازگاری دو ماده، از قالب‌های تیر خمشی با ابعاد ۷۶mm×۷۶mm×۳۰۵mm

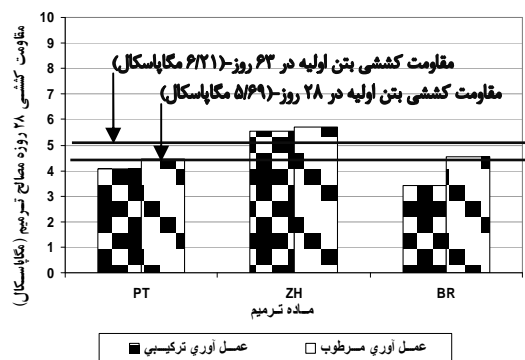
مقاومت پیوستگی: مقاومت پیوستگی بین بتن اولیه و مصالح ترمیم به روش «مقاومت پیوستگی برش مایل» بر اساس روش پیشنهادی در استاندارد ASTM C 882 تعیین می‌شود. در این روش ملات ترمیم بر روی یک سطح مایل با زاویه ۳۰ درجه به بتن اولیه چسبانده می‌شود. بدین منظور بایستی استوانه‌هایی از بتن اولیه به قطر ۷۶ و ارتفاع ۱۵۲ میلی‌متر با سطح مایل مطابق جزئیات شکل (۴) تهیه شود. به منظور بررسی تأثیر بافت سطح تماس بر پیوستگی، در این پژوهش دو حالت صاف و سنبلاست شده برای سطح تماس بتن اولیه و ماده ترمیم در نظر گرفته شد. پس از آماده سازی سطح، سطوح پرداخت شده به مدت ۷ روز در هوای آزاد قرار گرفته و خشک شدند. سپس استوانه‌های برش خورده مجدداً درون قالب قرار گرفته و قالب با ملات ترمیم پر شد. روش عمل‌آوری مواد ترمیم نیز مطابق سایر آزمایش‌ها دو روش مرطوب و ترکیبی بوده است.



شکل ۷- روند کسب مقاومت فشاری مصالح ترمیم

۳-۲- مقاومت کششی

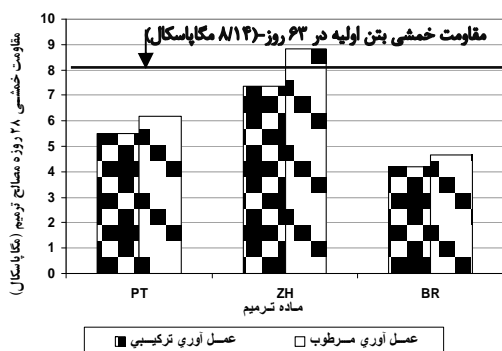
در شکل (۸) مقاومت کششی ۲۸ روزه مصالح ترمیم مشاهده می‌شود. این مقادیر میانگین مقاومت کششی سه نمونه هستند.



شکل ۸- مقاومت کششی ۲۸ روزه مصالح ترمیم در مقایسه با بتن اولیه

۳-۳- مقاومت خمشی

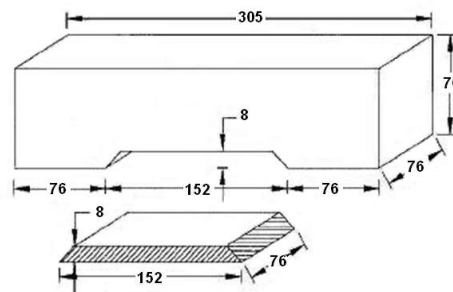
در شکل (۹)، مقاومت خمشی ۲۸ روزه مصالح ترمیم در روش‌های عمل‌آوری مختلف مشاهده می‌شود. همان‌طور که انتظار می‌رود کلیه مصالح ترمیم در عمل‌آوری مرطوب مقاومت خمشی بیشتری نسبت به عمل‌آوری ترکیبی از خود نشان داده‌اند.



شکل ۹- مقاومت خمشی ۲۸ روزه مصالح ترمیم در مقایسه با بتن اولیه

استفاده شده است. برای ایجاد تورفتگی در کف قالب‌ها، قطعات چوبی دوزنقه شکل با ابعاد نشان داده شده در شکل (۵) ساخته شده و در کف قالب‌ها قرار داده شد. به منظور بررسی تأثیر بافت سطح تماس بر سازگاری دو ماده، در تیرهای مرکب نیز مشابه استوانه‌های مرکب از دو روش آماده‌سازی سطح تماس بتن اولیه و مصالح ترمیم استفاده گردیده است.

پس از گذشت ۲۸ روز از انجام ترمیم، نمونه‌ها تحت آزمایش خمشی سه‌نقطه‌ای قرار گرفتند. در این آزمایش علاوه بر مقاومت خمشی تیر مرکب، مود شکست نیز مورد توجه قرار می‌گیرد تا بر اساس پیشنهاد Czarniecki و همکاران [۱۶]، سازگاری یا ناسازگاری دو ماده مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش در مجموع تعداد ۲۴ تیر مرکب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

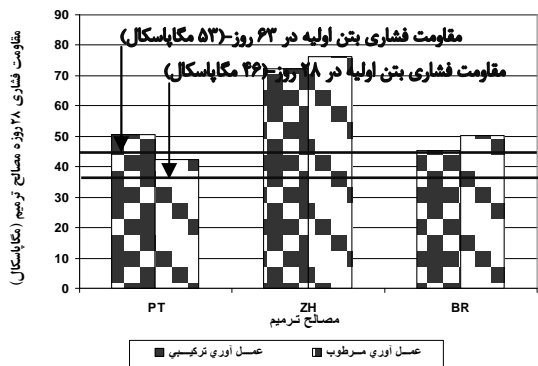


شکل ۵- ابعاد تیرها و قسمت تو رفته تحتانی بر حسب میلی‌متر

۳- نتایج آزمایشگاهی

۳-۱- مقاومت فشاری

در شکل (۶) می‌توان مقاومت فشاری مصالح ترمیم در شرایط مختلف عمل‌آوری را در مقایسه با مقاومت فشاری بتن اولیه مشاهده کرد. در شکل (۷)، روند کسب مقاومت فشاری مصالح ترمیم در شرایط عمل‌آوری مرطوب مشاهده می‌شود. این مقادیر میانگین مقاومت فشاری سه نمونه هستند.



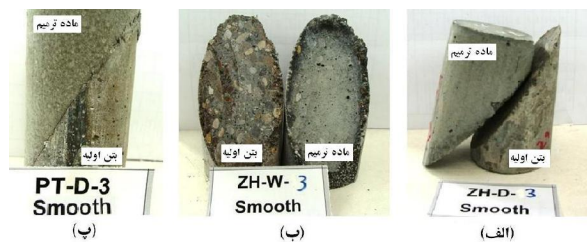
شکل ۶- مقاومت فشاری ۲۸ روزه مصالح ترمیم در مقایسه با مقاومت فشاری بتن اولیه

۳-۴- مقاومت پیوستگی برش مایل

همان طور که توضیح داده شد، برای اندازه‌گیری مقاومت پیوستگی برش مایل، استوانه‌های مرکبی مطابق با اندازه‌های مشخص شده در شکل (۴) ساخته و به دو روش مرطوب و ترکیبی عمل‌آوری گردید. سطح تماس دو ماده نیز قبل از اعمال ماده ترمیم به دو صورت صاف و سنبلاست شده آماده گردید. پس از شکستن استوانه‌های مرکب تحت بار فشاری، سه مود کلی شکست مشاهده شد:

مود ۱: شکست در سطح تماس دو ماده. استوانه‌هایی که با این مود دچار گسیختگی شدند، بدون آسیب دیدگی در بتن اولیه و یا ماده ترمیم، از محل اتصال جدا شدند. شکل (۱۰) نمونه‌هایی که به صورت فوق شکسته‌اند را نشان می‌دهد. جدایش در برخی موارد به صورت کامل بوده و استوانه به دو قسمت تقسیم شده است (شکل (۱۰-الف) و (۱۰-ب)). در بقیه موارد، شکست با ایجاد ترک در سطح اتصال بدون دوتکه شدن نمونه رخ داده است (شکل (۱۰-پ)).

مود ۲: شکست در سطح تماس دو ماده و ماده ترمیم. در این حالت ماده ترمیم گسیخته شده و همزمان در سطح تماس دو ماده نیز جدایش دیده می‌شود. شکست ماده ترمیم می‌تواند به صورت خرد شدگی کامل (شکل (۱۱-الف)) و یا ایجاد ترک‌های ریز (شکل (۱۱-ب) و (۱۱-پ)) باشد.

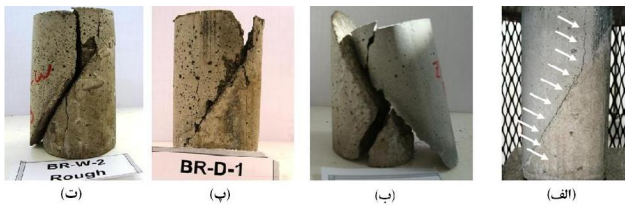


شکل ۱۰- استوانه‌های مرکب با شکست در سطح تماس دو ماده (مود ۱)



شکل ۱۱- استوانه‌های مرکب با شکست در سطح تماس دو ماده و ماده ترمیم (مود ۲)

مود ۳: شکست ترکیبی در سطح تماس، بتن اولیه و ماده ترمیم. در این حالت، در عین حال که نمونه از سطح تماس دچار جدایش شده است، هر دو ماده بتن اولیه و ماده ترمیم نیز دچار گسیختگی شده‌اند. نکته قابل توجه درباره این حالت، ماده ترمیم پلی‌تکس است. در نمونه‌هایی که ماده ترمیم به کاررفته پلی‌تکس بوده و شکست آن به صورت ترک در هر دو ماده و سطح تماس رخ داده است، خردشدگی رخ نداده و تنها ترک‌هایی پیش رونده در بتن اولیه و ماده ترمیم مشاهده شده است. این ترک‌ها توسط ترکی که منطبق بر سطح تماس است به هم متصل می‌شوند (شکل (۱۲-الف)). در سایر مواد ترمیم، شکست در این مود با خردشدگی هر دو ماده همراه است (شکل (۱۲-ب)، (۱۲-پ) و (۱۲-ت)).



شکل ۱۲- استوانه‌های مرکب با شکست در سطح تماس، ماده ترمیم و بتن اولیه (مود ۳)

در جداول (۳) و (۴)، مقاومت فشاری و کششی مصالح ترمیم، مقاومت پیوستگی بتن اولیه و مصالح ترمیم، و مود شکست استوانه مرکب در حالت عمل‌آوری مرطوب و ترکیبی مشاهده می‌شود. نسبت مقاومت به صورت مقاومت ماده ترمیم تقسیم بر مقاومت بتن اولیه در نظر گرفته شده است.

۳-۵- تحلیل سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن اولیه با

استفاده از تیر مرکب تحت بار سه‌نقطه‌ای

همان طور که توضیح داده شد، در این پژوهش به منظور بررسی سازگاری یا ناسازگاری مواد ترمیم و بتن اولیه، تیر ساده‌ای با قسمت تو رفته در زیر، مطابق شکل (۵) ساخته شد. در هر آزمایش، قسمت تو رفته با یک نوع ماده ترمیم پر شده و به دو روش عمل‌آوری گردید. پس از گذشت ۲۸ روز از اعمال مواد ترمیم، نمونه‌ها تحت بارگذاری سه‌نقطه‌ای قرار گرفتند و مقاومت خمشی تیر مرکب اندازه‌گیری گردید. پس از رسیدن تیر مرکب به مقاومت خمشی نهایی، سازگاری یا ناسازگاری مصالح ترمیم و بتن اولیه با توجه به مود شکست تیر مشخص می‌گردد. پس از

در این تحقیق پارامترهای مؤثر بر سازگاری ترمیم که مورد بررسی قرار گرفته‌اند عبارتند از: تفاوت در مقاومت (مقاومت فشاری و خمشی)، مقاومت پیوستگی برش مایل، تفاوت در روش عمل‌آوری ماده ترمیم و بافت سطح تماس.

جدول ۳- مقاومت پیوستگی مصالح ترمیم و بتن اولیه و مود

شکست استوانه مرکب در حالت عمل‌آوری ترکیبی

ماده ترمیم	سطح تماس صاف		سطح تماس زبر	
	مقاومت پیوستگی (مگاپاسکال)	مود شکست استوانه مرکب	مقاومت پیوستگی (مگاپاسکال)	مود شکست استوانه مرکب
PT	۹/۱۰	سطح تماس و ماده ترمیم	۸/۶۶	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه
ZH	۵/۰۲	سطح تماس	۱۲/۷۲	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه
BR	۱۱/۷۲	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه	۱۰/۸۴	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه

جدول ۴- مقاومت پیوستگی مصالح ترمیم و بتن اولیه و مود

شکست استوانه مرکب در حالت عمل‌آوری ترکیبی

ماده ترمیم	سطح تماس صاف		سطح تماس زبر	
	مقاومت پیوستگی (مگاپاسکال)	مود شکست استوانه مرکب	مقاومت پیوستگی (مگاپاسکال)	مود شکست استوانه مرکب
PT	۹/۳۳	سطح تماس	۶/۷۲	سطح تماس و ماده ترمیم
ZH	۳/۶۳	سطح تماس	۱۲/۰۱	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه
BR	۱۱/۳۹	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه	۱۷/۱۵	سطح تماس و ماده ترمیم و بتن اولیه

۴- تحلیل نتایج

۴-۱- تحلیل نتایج حاصل از تست مقاومت پیوستگی

۴-۱-۱- تأثیر تفاوت در مقاومت بر مقاومت پیوستگی

برش مایل

در جداول (۳) و (۴)، می‌توان نسبت مقاومت فشاری، کششی و مقاومت پیوستگی برش مایل در شرایط عمل‌آوری و بافت سطح مختلف را مشاهده کرد. با هدف افزایش تعداد داده‌های مورد بررسی برای نتیجه‌گیری و افزایش دقت در محاسبه همبستگی مقاومت پیوستگی برش مایل و پارامترهای مورد بررسی، از مجموع داده‌های گزارش شده توسط Pattnaik [۱۱] در شرایط آزمایش کاملاً یکسان از نظر بافت سطح تماس و شرایط عمل‌آوری و داده‌های به دست آمده در این پژوهش استفاده می‌گردد. در شکل (۱۴) می‌توان رابطه مقاومت پیوستگی و نسبت مقاومت فشاری و کششی در حالت عمل‌آوری مرطوب و سطح تماس زبر را مشاهده کرد.

شکستن نمونه‌ها، سه مود کلی شکست برای تیرهای مرکب به کاررفته در این پژوهش مشاهده گردید:

مود ۱: شکست در یک سوم میانی دهانه بدون جداسازی در ماده ترمیم رخ داده است. این حالت شکست که بیشترین فراوانی را در بین نمونه‌های آزمایش شده به خود اختصاص داده است، نشان دهنده رفتار سازگار دو ماده است (شکل (۱۳) - الف).

مود ۲: در این حالت، نیمی از ماده ترمیم کاملاً از بتن اولیه جدا گردیده است. این مود شکست در تمام نمونه‌های تیر ترمیم شده با ماده ترمیم ZH با سطح تماس صاف که در شرایط ترکیبی عمل‌آوری شده است مشاهده گردیده است. براساس پیشنهاد Czarneki و همکاران [۱۶]، این مود شکست ناسازگار فرض می‌شود (شکل (۱۳) - ب).

مود ۳: در این حالت، شکست همراه با جداسازی از گوشه مواد ترمیم (خارج از یک سوم میانی) می‌باشد. ماده ترمیم در سطح اتصال مایل از بتن اولیه جدا می‌گردد. این مود شکست نیز ناسازگار فرض می‌شود (شکل (۱۳) - پ).

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر تفاوت در مقاومت بر سازگاری، از نسبت مقاومت خمشی و فشاری (که به صورت مقاومت مصالح ترمیم تقسیم بر مقاومت بتن اولیه تعریف می‌شود) استفاده می‌شود. در تیرهای مرکب که تحت خمش قرار گرفته‌اند، پارامتر نسبت مقطع مرکب به صورت مقاومت خمشی مقطع مرکب تقسیم بر مقاومت خمشی بتن اولیه تعریف شده و مورد بررسی قرار می‌گیرد.



(الف)



(ب)



(پ)

شکل ۱۳- مودهای شکست تیر مرکب:

الف) شکست تیر مرکب در وسط دهانه (مود ۱)،

ب) شکست تیر مرکب همراه با جداسازی ماده ترمیم (مود ۲)،

پ) شکست تیر مرکب در گوشه مواد ترمیم (مود ۳)

جدول ۵- نتایج حاصل از کلیه آزمایشات در حالت عمل آوری مرطوب

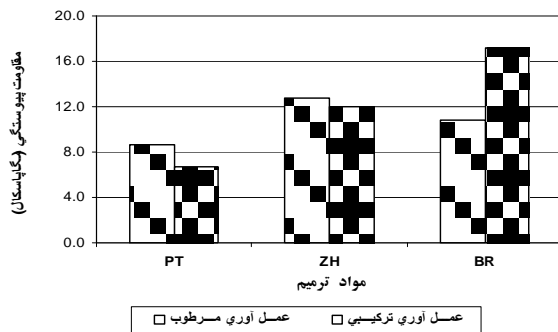
ماده ترمیم	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)	نسبت مقاومت فشاری	نسبت مقاومت کششی	نسبت مقاومت خمشی	مقاومت پیوستگی (مگاپاسکال)		مقاومت خمشی مقطع مرکب (مگاپاسکال)		نسبت مقطع مرکب		مود شکست تیر مرکب	
							سطح صاف	سطح زبر	سطح صاف	سطح زبر	سطح صاف	سطح زبر	سطح صاف	سطح زبر
PT	۴۲/۳۰	۴/۴۸	۶/۱۹	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۷۶	۹/۱۰	۸/۶۶	۵/۸۷	۵/۴۱	۰/۷۲	۰/۷۶	مود ۱ (سازگار)	مود ۱ (سازگار)
ZH	۷۶/۲۵	۵/۷۲	۸/۸۳	۱/۴۴	۰/۹۲	۱/۰۸	۵/۰۲	۱۲/۷۲	۵/۰۷	۵/۴۱	۰/۶۲	۰/۶۷	مود ۳ (ناسازگار)	مود ۱ (سازگار)
BR	۵۰/۴۰	۴/۵۳	۴/۶۷	۰/۹۵	۰/۷۳	۰/۵۷	۱۱/۷۲	۱۰/۸۴	۵/۰۱	۴/۶۹	۰/۶۲	۰/۵۸	مود ۱ (سازگار)	مود ۱ (سازگار)

جدول ۶- نتایج حاصل از کلیه آزمایشات در حالت عمل آوری ترکیبی

ماده ترمیم	مقاومت فشاری (مگاپاسکال)	مقاومت کششی (مگاپاسکال)	مقاومت خمشی (مگاپاسکال)	نسبت مقاومت فشاری	نسبت مقاومت کششی	نسبت مقاومت خمشی	مقاومت پیوستگی (مگاپاسکال)		مقاومت خمشی مقطع مرکب (مگاپاسکال)		نسبت مقطع مرکب		مود شکست تیر مرکب	
							سطح صاف	سطح زبر	سطح صاف	سطح زبر	سطح صاف	سطح زبر	سطح صاف	سطح زبر
PT	۵۰/۶۰	۴/۰۸	۵/۴۹	۰/۹۵	۰/۶۶	۰/۶۷	۹/۳۳	۶/۷۲	۷/۷۳	۷/۲۰	۰/۹۵	۰/۸۸	مود ۱ (سازگار)	مود ۱ (سازگار)
ZH	۷۲/۲۰	۵/۵۲	۷/۳۶	۱/۳۶	۰/۸۹	۰/۹۰	۳/۶۳	۱۲/۰۱	۵/۰۷	۶/۵۶	۰/۶۲	۰/۸۱	مود ۲ (ناسازگار)	مود ۱ (سازگار)
BR	۴۵/۳۰	۳/۴۴	۴/۲۱	۰/۸۵	۰/۵۵	۰/۵۲	۱۱/۳۹	۱۷/۱۵	۷/۶۳	۷/۵۵	۰/۹۵	۰/۹۳	مود ۱ (سازگار)	مود ۱ (سازگار)

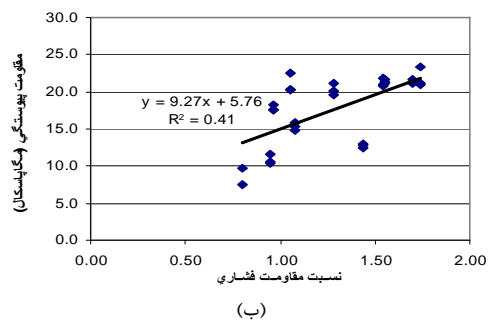
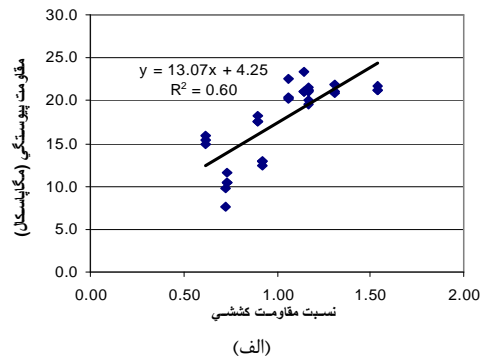
۴-۱-۲- تأثیر تفاوت در روش عمل آوری بر مقاومت پیوستگی برش مایل

در شکل‌های (۱۵) و (۱۶)، رابطه مقاومت پیوستگی و روش عمل آوری ماده ترمیم در شرایط بافت سطح تماس صاف و زبر برای سه ماده ترمیم استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است. با توجه به این دو شکل ملاحظه می‌شود در تمام مواد ترمیم، مقدار نسبت مقاومت فشاری، نسبت مقاومت کششی و همچنین مقاومت پیوستگی در عمل آوری مرطوب بیشتر از این مقادیر در عمل آوری ترکیبی است. موارد استثناء ماده ترمیم PT با سطح تماس صاف و BR با سطح تماس زبر است که مقاومت پیوستگی در عمل آوری ترکیبی، مقداری بیشتر از عمل آوری مرطوب دارد.

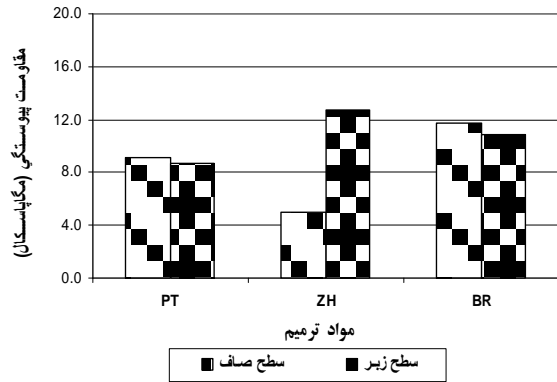


شکل ۱۵- رابطه مقاومت پیوستگی و شرایط عمل آوری در سطح تماس صاف

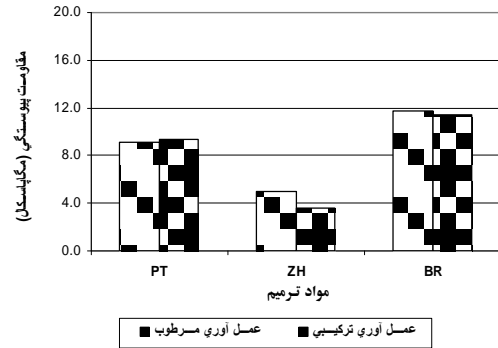
داده‌های استفاده شده در شکل‌های (۱۴-الف و ب)، مجموع داده‌های آزمایشگاهی پژوهش حاضر و داده‌های گزارش شده توسط Pattnaik [۱۱] می‌باشد. با توجه به شکل (۱۴) مشاهده می‌شود با افزایش نسبت مقاومت فشاری، مقاومت پیوستگی با ضریب همبستگی ۰/۴۱ افزایش می‌یابد. این مقدار برای نسبت مقاومت کششی به ۰/۶۰ می‌رسد.



شکل ۱۴- رابطه مقاومت پیوستگی و نسبت مقاومت فشاری و کششی در حالت عمل آوری مرطوب و سطح تماس زبر



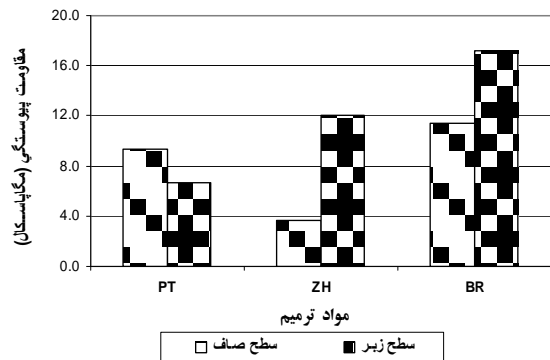
شکل ۱۸- رابطه مقاومت پیوستگی و بافت سطح در شرایط عمل آوری ترکیبی



شکل ۱۶- رابطه مقاومت پیوستگی و شرایط عمل آوری در سطح تماس زبر

۴-۱-۳- تأثیر تفاوت در بافت سطح بر مقاومت پیوستگی برش مایل

با توجه به جداول (۳) و (۴) ملاحظه می‌شود در تمام موارد، بجز ماده ترمیم PT در هر دو حالت عمل آوری و ماده ترمیم BR در عمل آوری مرطوب، مقاومت پیوستگی سطوح زبر بیشتر از مقاومت پیوستگی نمونه‌های متناظر با سطح صاف بوده است. در بین مواد ترمیم استفاده شده در این پژوهش، ماده ترمیم ZH بیشترین حساسیت را نسبت به روش عمل آوری سطح از خود نشان داد، به طوری که در عمل آوری مرطوب مقاومت پیوستگی نمونه استوانه‌ای مرکب با سطح تماس زبر ۲/۵ برابر مقاومت پیوستگی نمونه با سطح تماس صاف بوده است. این نسبت در عمل آوری ترکیبی حدود ۳/۳ برابر می‌باشد. بیشترین مقاومت پیوستگی برای ماده ترمیم BR در حالت سطح زبر و عمل آوری ترکیبی به میزان ۱۷/۷۶ مگاپاسکال ثبت گردید. در شکل‌های (۱۷) و (۱۸)، رابطه مقاومت پیوستگی و بافت سطح تماس در شرایط عمل آوری مرطوب و ترکیبی برای مواد ترمیم استفاده شده در این پژوهش ارائه شده است.



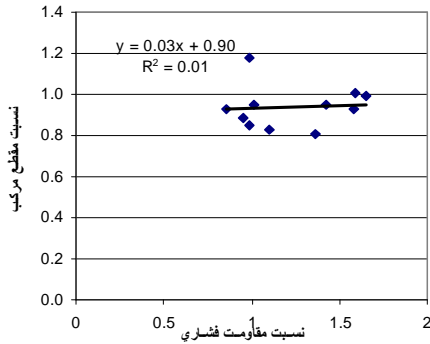
شکل ۱۷- رابطه مقاومت پیوستگی و بافت سطح در شرایط عمل آوری مرطوب

۴-۲-۲- تحلیل نتایج حاصل از تست سازگاری

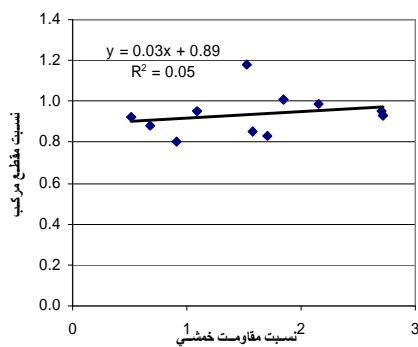
۴-۲-۱- تأثیر تفاوت در مقاومت بر سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن اولیه

جداول (۵) و (۶)، نتایج آزمایشات انجام شده در نمونه‌های با سطح تماس صاف و زبر در روش‌های عمل آوری مرطوب و ترکیبی را نشان می‌دهد. مقاومت فشاری، کششی، خمشی، پیوستگی، نسبت مقاومت‌ها، همچنین مقاومت خمشی مقطع مرکب و نسبت مقطع مرکب (مقاومت خمشی مقطع مرکب تقسیم بر مقاومت خمشی بتن اولیه) در هر حالت عمل آوری و پرداخت سطح نیز محاسبه و ارائه شده‌اند.

با توجه به جداول (۵) و (۶) ملاحظه می‌شود در تمام موارد، مقاومت خمشی مصالح ترمیم در حالت عمل آوری مرطوب کمتر از مقدار مشابه در عمل آوری ترکیبی است. اما مقاومت خمشی مقطع مرکب در حالت عمل آوری ترکیبی بیشتر از مقدار مشابه در عمل آوری مرطوب می‌باشد. این مطلب درباره هر دو سطح صاف و زبر صدق می‌کند. در سطح تماس صاف، ماده ترمیم ZH در هر دو حالت عمل آوری مرطوب و ترکیبی دارای مقاومت خمشی مقطع مرکب معادل ۵/۰۷ مگاپاسکال بوده و از نظر مود شکست حالت ناسازگار داشته است. نسبت مقطع مرکب در تمام تست‌ها کمتر از یک است. بیشترین نسبت مقطع مرکب مربوط به ماده ترمیم BR در حالت عمل آوری ترکیبی است (۰/۹۴) در حالت سطح صاف و ۰/۹۳ در حالت سطح زبر). با توجه به جداول ۵ و ۶ مشاهده می‌شود نسبت مقطع مرکب در تمام تست‌ها کمتر از یک می‌باشد. بیشترین نسبت مقطع مرکب مربوط به ماده ترمیم BR در عمل آوری ترکیبی است (۰/۹۴) در حالت سطح صاف و ۰/۹۳ در حالت سطح زبر).



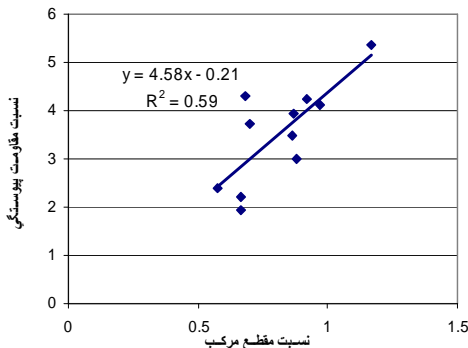
شکل ۲۱- رابطه نسبت مقاومت فشاری با نسبت مقطع مرکب در شرایط عمل آوری ترکیبی (مجموع داده‌های آزمایشگاهی)



شکل ۲۲- رابطه نسبت مقاومت خمشی با نسبت مقطع مرکب در شرایط عمل آوری ترکیبی (مجموع داده‌های آزمایشگاهی)

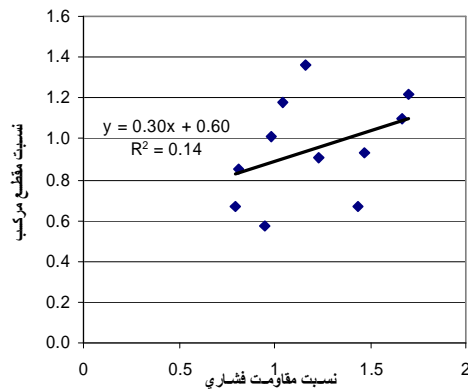
۴-۲-۲- تأثیر مقاومت پیوستگی بر سازگاری

در این قسمت، تأثیر مقاومت پیوستگی در حالت سطح تماس زبر و عمل آوری مرطوب مورد بررسی آماری قرار می‌گیرد. برای بی‌بعد کردن پارامتر مقاومت پیوستگی به منظور مقایسه با سایر مقادیر، از «نسبت مقاومت پیوستگی» که به صورت مقاومت پیوستگی مقطع مرکب تقسیم بر مقاومت کششی ماده ترمیم شده است، استفاده می‌گردد. در شکل (۲۳)، رابطه نسبت مقطع مرکب با نسبت مقاومت پیوستگی نشان داده شده است.

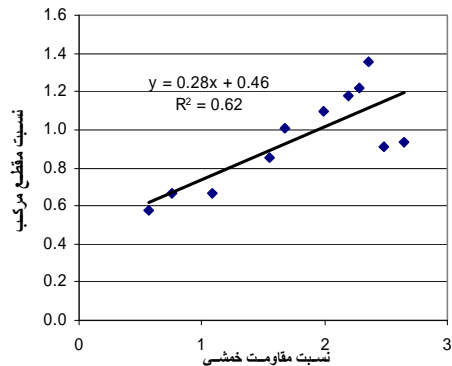


شکل ۲۳- رابطه نسبت مقطع مرکب و نسبت مقاومت پیوستگی در حالت عمل آوری مرطوب (مجموع داده‌های آزمایشگاهی)

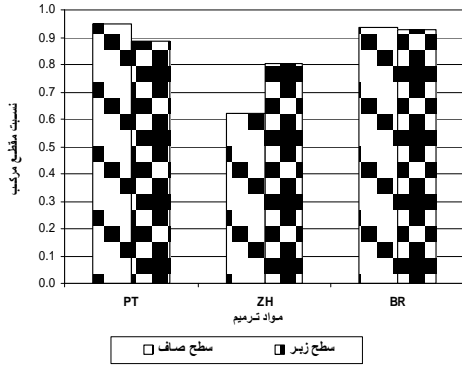
در شکل‌های (۱۹) تا (۲۲) می‌توان رابطه نسبت مقاومت فشاری و خمشی با نسبت مقطع مرکب را برای نمونه‌های عمل آوری شده تحت شرایط مختلف عمل آوری مشاهده کرد. داده‌های استفاده شده در این نمودارها، مجموع داده‌های آزمایشگاهی موجود حاصل از این پژوهش و تحقیقات Pattnaik [۱۱] در دو حالت عمل آوری مرطوب و ترکیبی می‌باشد. با توجه به شکل (۱۹) مشاهده می‌شود در حالت عمل آوری مرطوب، نسبت مقاومت فشاری و نسبت مقطع مرکب با ضریب همبستگی ۰/۱۴ دارای رابطه مستقیم می‌باشند. ضریب همبستگی در رابطه نسبت مقاومت خمشی و نسبت مقطع مرکب در این حالت عمل آوری به ۰/۶۲ می‌رسد و نشان دهنده بیشترین وابستگی بین یک پارامتر و نسبت مقطع مرکب می‌باشد (شکل (۲۰)). در عمل آوری ترکیبی، نسبت مقاومت فشاری و خمشی با نسبت مقطع مرکب تقریباً رابطه‌ای ندارد. برای مقاومت فشاری (شکل (۲۱)) ضریب همبستگی ۰/۰۱ و برای مقاومت خمشی (شکل (۲۲)) و ضریب همبستگی ۰/۰۵ است.



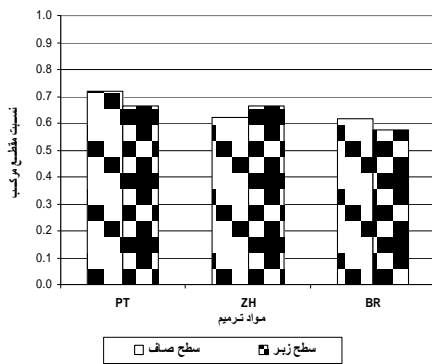
شکل ۱۹- رابطه نسبت مقاومت فشاری با نسبت مقطع مرکب در شرایط عمل آوری مرطوب (مجموع داده‌های آزمایشگاهی)



شکل ۲۰- رابطه نسبت مقاومت خمشی با نسبت مقطع مرکب در شرایط عمل آوری مرطوب (مجموع داده‌های آزمایشگاهی)



شکل ۲۴- نسبت مقطع مرکب تیرهای خمشی در شرایط عمل آوری مرطوب



شکل ۲۵- نسبت مقطع مرکب تیرهای خمشی در شرایط عمل آوری ترکیبی

پارامتر نسبت مقاومت (فشاری و خمشی) تنها در حالت عمل آوری مرطوب بر نسبت مقطع مرکب موثر تشخیص داده شد و در حالت عمل آوری ترکیبی رابطه معناداری بین نسبت مقاومت و نسبت مقطع مرکب مشاهده نگردید.

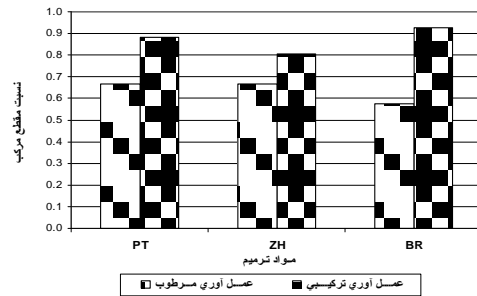
۴-۳- همبستگی کلی خصوصیات مصالح ترمیم و نسبت مقطع مرکب

در شکل (۲۸)، ضریب همبستگی تک تک ویژگی‌های مصالح ترمیم و سازگاری آمده است. همان طور که در شکل مشاهده می‌شود، شیوه عمل آوری بر همبستگی مقاومت خمشی و سازگاری تأثیر قابل توجه داشته است. ضریب همبستگی در عمل آوری مرطوب ۰/۶۲ و در عمل آوری ترکیبی ۰/۱۰۵ است. دومین پارامتر موثر بر سازگاری، مقاومت پیوستگی دو ماده با سطح تماس زبر با ضریب همبستگی ۰/۵۹ می‌باشد.

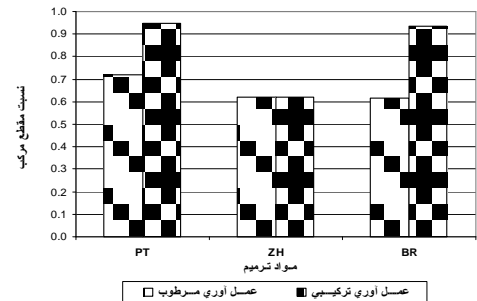
همان طور که ملاحظه می‌شود این دو پارامتر به نحو معناداری ارتباط دارند و با ضریب همبستگی ۰/۵۹ به هم وابسته هستند.

۴-۲-۳- تأثیر تفاوت در روش عمل آوری بر سازگاری

در شکل‌های (۲۴) و (۲۵) نسبت مقطع مرکب بر حسب شرایط عمل آوری ماده ترمیم نشان داده شده است. در هر دو حالت آماده‌سازی سطح تماس، عمل آوری ماده ترمیم به صورت ترکیبی به نسبت مقطع مرکب بالاتری منجر شده است.



شکل ۲۶- نسبت مقطع مرکب تیرهای خمشی با سطح تماس صاف



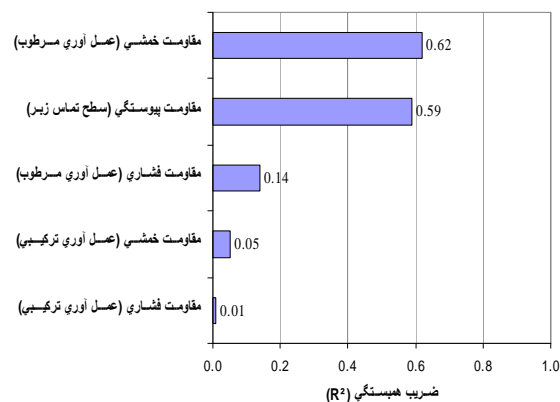
شکل ۲۷- نسبت مقطع مرکب تیرهای خمشی با سطح تماس زبر

۴-۲-۴- تأثیر بافت سطح تماس بر سازگاری

در شکل‌های (۲۶) و (۲۷)، نسبت مقطع مرکب بر حسب نحوه عمل آوری نشان داده شده است. با توجه به جداول (۵) و (۶) و شکل (۲۳) مشاهده می‌شود در هر دو حالت عمل آوری، در مواد ترمیم PT و BR سطح تماس صاف نسبت مقطع مرکب بالاتری داشته است اما ماده ترمیم ZH در هر دو حالت عمل آوری در حالت سطح تماس زبر نسبت مقطع مرکب بیشتر بوده است. در دو ماده ترمیم PT و BR، تیرهای خمشی مرکب با سطح تماس صاف، نسبت مقطع مرکب بالاتری نسبت به نمونه مشابه با سطح تماس زبر از خود نشان دادند. اما درباره ماده ترمیم ZH این مطلب صادق نیست.

۶- مراجع

- [1] Vaysburd, A. M., "Holistic System Approach to Design and Implementation of Concrete Repair", Cement and Concrete Composite, 2006, 28, 671-678.
- [2] Cusson, D., Mailvaganam, N., "Durability of Repair Materials", Concrete International, 1996, 18 (3), 34-38.
- [۳] رهایی، ع.، نعمتی، س.، "ارزیابی عملکرد و روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی"، چاپ اول، انتشارات فدک ایساتیس، ۱۳۸۳.
- [۴] آریمنش، س.، "سازگاری بین بتن اولیه و مصالح در فرآیند ترمیم بتن"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گرایش سازه، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، ۱۳۸۹.
- [5] Austin, S. A., Robins, P. J., Pan, Y., "Shear Bond Testing of Concrete Repairs", Cement and Concrete Research, 1999, 29 (7), 1067-1076.
- [6] Austin, S. A., Robins, P. J. "Development of Patch Test to Study Behavior of Shallow Concrete Patch Repairs", Magazine of Concrete Research, 1993, 45 (164), 221-229.
- [7] Robins, P. J., Austin, S. A., "A unified Failure Envelope from the Evaluation of Concrete Repair Bond Tests", Magazine of Concrete Research, 1995, 47 (170), 57-68.
- [8] Momayez, A., Ehsani, M. R., Ramezani pour, A. A., Rajaie, H., "Comparison of Methods for Evaluating Bond Strength Between Concrete Substrate and Repair Materials", Cement and Concrete Research, 2005, 35, 748-757.
- [9] Julio, E. N. B. S., Branco, F. A. B., Silva, V. D., "Concrete to Concrete Bond Strength. Influence of the Roughness of the Surface", Concrete and Building Materials, 2004, 18, 675-681.
- [10] Kosednar, J., Mailvaganam, N. P., "Selection and Use of Polymer-Based Materials in the Repair of Concrete Structures", Journal of Performance of Constructed Facilities, 2005, 19 (3), 229-233.
- [11] Pattnaik, R. R., "Investigation into Compatibility between Repair Material and Substrate Concrete using Experimental and Finite Element Methods", PhD Thesis, Clemson University, 2006.
- [12] Pattnaik R. R., Rangaraju P. R., "Analysis of Compatibility Between Repair Material and Substrate Concrete Using Simple Beam with Third Point Loading", Journal of Material in Civil Engineering, 2007, 19 (2), 1060-1069.



شکل ۲۸- پارامترهای مؤثر بر سازگاری بین بتن اولیه و مصالح ترمیم

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل داده‌های آزمایشگاهی حاصل از این پژوهش و تحقیقات مشابه نتایج زیر ارائه می‌شود:

۱- با توجه به نتایج به دست آمده، از بین پارامترهای بررسی شده در این پژوهش، پارامترهای «مقاومت خمشی» و «مقاومت پیوستگی» بیشترین رابطه را با سازگاری بین بتن اولیه و مصالح ترمیم از خود نشان داده‌اند.

۲- «شرایط عمل‌آوری» و «بافت سطح تماس» باید به گونه‌ای انتخاب شود که بیشترین «مقاومت پیوستگی» بین دو ماده ایجاد گردد. این شرایط بسته به نوع ماده ترمیم انتخاب شده متفاوت است. برخی مواد ترمیم در شرایط سطح تماس زبر مقاومت پیوستگی بیشتری دارند، برخی با سطح صاف. همچنین تأثیر روش عمل‌آوری بر مقاومت پیوستگی مواد ترمیم مختلف، متفاوت است. بدین معنا که در برخی مواد عمل‌آوری مرطوب به افزایش پیوستگی منجر می‌شود و در برخی مواد عمل‌آوری ترکیبی باعث افزایش پیوستگی می‌گردد. لذا انتخاب روش عمل‌آوری می‌بایست با توجه به نوع ماده ترمیم به صورتی انتخاب شود که به پیوستگی بالاتری منجر گردد.

۳- با توجه به این که برخی مواد ترمیم با سطح تماس زبر و برخی با سطح صاف مقاومت پیوستگی بیشتری از خود نشان داده‌اند، لذا بر خلاف تصور اولیه، رابطه مشخصی بین بافت سطح تماس و مقاومت پیوستگی مشاهده نمی‌شود.

۴- «سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن اولیه» به میزان قابل ملاحظه‌ای متأثر از «روش عمل‌آوری» است. مصالح ترمیم مورد بررسی در این پژوهش در شرایط عمل‌آوری ترکیبی سازگاری بهتری با بتن اولیه از خود نشان دادند.

- [15] Shah, S. P., Weiss, W. J., Yang, W., "Shrinkage Cracking-Can it be Prevented", Concrete International, 1998, 20 (4), 51-55.
- [16] Czarnecki, L., Garbacz, A., Lukowski, P., Clifton, J. R., "Polymer Composites for Repairing of Portland Cement Concrete-Compatible Project", NISTIR 6394, Building and Fire Research Laboratory, NIST, Gaithersburg, MD 2089, 1999.
- [13] Poston, R. W., Kesner, K., McDonald, J. E., Vaysburd, A. M., Emmons, P. H., "Selecting Durable Repair Materials: Performance Criteria-Laboratory Results", Concrete International, 2000, 22 (11), 21-29.
- [14] Poston, R. W., Kesner, K., McDonald, J. E., Vaysburd, A. M., Emmons, P. H., "Concrete Repair Material Performance - Laboratory Study", ACI Materials Journal, 2001, 98 (2), 137-147.