تاثیر کاربرد لاتکس پلیمری و دوده سیلیسی در خواص و عملکرد بتنهای تعمیری پایه سیمانی

علیرضا باقری* و سیاوش هاشمی**

دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت مقاله: ۸۵/۱/۲۹- دریافت نسخه نهایی: ۸۶/۶/۲۳)

چکیده – در این تحقیق تاثیر کاربرد دوده سیلیسی و لاتکس پلیمری (SBR) روی خواص و عملکرد بتنهای تعمیر پایه سیمانی مورد ارزیابی قرار گرفته است. خواص فیزیکی و مکانیکی شامل مقاومت فشاری وکششی، مدول الاستیسیته، جمع شدگی و ضریب انبساط گرمایی بتنهای اساس و تعمیر اندازه‌گیری شد و میزان سازگاری مقادیر اندازه گیری شده در بتنهای تعمیر با مقادیر نظیر در بتن اساس مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، کیفیت اتصال بتن تعمیر با بتن اساس طی سه آزمایش تعیین مقاومتهای کششی نمونه سیلندری مرکب، برشی مایل و کشش مستقیم اندازه گیری شد.پتانسیل ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی بتن تعمیر روی بتن اساس از طریق اندازه گیری عرض ترک در ناحیه اتصال انجام گرفت. دوام بتنهای تعمیر توسط اندازه گیری خواص جذب آب و همچنین شدت خوردگی میلگرد فولادی احاطه شده توسط مواد تعمیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشانگر این است که کاربرد دوده سیلیسی در بتنهای تعمیر پایه سیمانی سبب بهبود خواص مقاومتی، افزایش مدول الاستیسیته و بهبود قابل توجه در خواص دوام شده است. کاربرد دوده سیلیسی باعث افزایش جزیی در جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن تعمیری شد، لیکن بهبود در مقاومت کششی و همچنین مقاومت اتصال به بتن اساس باعث کاهش پتانسیل ترک خوردگی در مقایسه با بتن تعمیری بدون دوده سیلیسی شده است. اصلاح بتن تعمیر پایه سیمانی از طریق افزودن لاتکس SBR به میزان ۱۰ درصد وزن سیمان باعث کاهش مدول الاستیسیته، کاهش بسیار قابل توجه جمع شدگی و به تبع آن کاهش پتانسیل ترک خوردگی حتی در مقایسه با بتن تعمیری حاوی دوده سیلیسی شده است. همچنین کاربرد لاتکس باعث بهبود خواص دوام بتن تعمیری به میزان بیش از آنچه برای دوده سیلیسی قابل مشاهده است شده است.

واژگان کلیدی : بتن تعمیری، مقاومت اتصال، مدول الاستیسیته، جمع شدگی آزاد

* – استادیار ** – کارشناس ارشد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

Influence of (SBR) Latex and Silica Fume on Properties and Performance of Cement-based Repair Concretes

A.R. Bagheri and S. Hashemi

Department of Civil Engineering, Khaje-Nasir Toosi University of Technology

Abstract: ***This study was conducted to evaluate the properties of three kinds of repair concretes intended for use at a thickness of 50-70 mm including: cement-based repair concrete, cement-based mix incorporating silica fume, and a polymer modified cement - based repair concrete. Physical and mechanical properties including compressive strength, tensile strength, elastic modulus, drying shrinkage, coefficient of thermal expansion, and capillary water absorption were investigated. Also the performance of repair concretes in protection of steel bars from corrosion was studied. Furthermore, the bonding characteristics of repair concrete to substrate were measured by three different tests, including splitting bond tests, slant shearing test, and direct tensile test. Based on the results obtained, application of silica fume in cement-based repair concrete increases the compressive and tensile strengths of concrete. Also it decreases its permeability but increases its durability. However, application of silica fume increases elastic modulus and drying shrinkage of concrete, which is a disadvantage. Incorporation of SBR latex to repair concrete mix substantially decreases the drying shrinkage and risk of cracking as a result. Also application of latex decreases the permeability but considerably increases the electrical resistance of concrete. Research results show that application of silica fume or SBR latex can improve the properties of repair concrete to a great extent. Selecting suitable material depends on specific conditions and requirements in each project such as the significance of compatibility of elastic modulus of repair concrete and substrate, condition of stress distribution in bonding zone, and environmental conditions like relative humidity and temperature.***

.

Keywords: ***Repair concrete, Bonding strength, Elastic modulus, Unrestrained shrinkage.***

۱- مقدمه

امروزه، در بسیاری از کشورها هزینه زیادی صرف تعمیر و نگهداری سازه‌های بتنی می‌شود. از آنجایی که بسیاری از سازه‌های تعمیر شده مجددا به دلیل مشابه و در زمان کمتر از مدت مورد انتظار سرویس دهی دچار آسیب دیدگی و خرابی شده‌اند، مسئله تعمیر و نگهداری تبدیل به یک معضل مهم شده است و از زمینه‌های مهم تحقیقاتی مصالح مهندسی عمران محسوب می‌شود.

از الزامات مهم مواد تعمیری دوام کافی برای شرایط محیطی سازه است. در این خصوص پایین بودن جذب آب و نفوذ پذیری در برابر یون کلر دارای اهمیت ویژه‌اند [۱]. همچنین سازگاری برخی خواص نظیر مدول الاستیسیته و ضریب انبساط گرمایی بتن تعمیر با بتن اساس* از ویژگیهای مهم در تعیین عملکرد بتنهای تعمیری‌اند[۱ و ۲].

کازون[۱] و واگانام[۲] ترک خوردگی کششی در لایه تعمیر، خرابی برشی در سطح اتصال بتن اساس با مواد تعمیر و ورقه ورقه شدن و کنده شدن بتن تعمیر از روی بتن اساس را حالتهای بسیار متعارف خرابی و شکست تعمیرات انجام شده ذکر می‌کنند و در این خصوص مقاومت خوب کششی و برشی اتصال بتن تعمیر به بتن اساس را در عملکرد موفق ماده تعمیری بسیار موثر می‌دانند[۲]. آزمایشات انجام گرفته توسط الزهرانی برای مقایسه خواص مکانیکی و نیز دوام ملاتهای تعمیری پایه سیمانی و پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر نشان داد که تفاوت عمده‌ای میان مقاومت فشاری و کششی و همچنین ضریب انبساط گرمایی و جمع شدگی ناشی از خشک شدن این ملاتها وجود ندارد و لاتکسهای پلیمری تنها باعث کاهش در مدول الاستیسیته و نتیجتا افزایش شکل پذیری و کاهش پتانسیل ترک خوردگی می‌شود. شایان ذکر است در تحقیقات صورت گرفته توسط ایشان ملاتهای تعمیری مورد بررسی قرار گرفته است و به بتنهای تعمیری نپرداخته است، همچنین مواد تعمیری به صورت آماده مورد استفاده قرار گرفته‌اند و کنترلی روی طرح اختلاط آنها صورت نگرفته است[۳]. تحقیقات گسترده انجام شده توسط وایزبورد[۳] و امونس[۴] نیز در خصوص پارامترهای موثر در عملکرد

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

موفق مواد تعمیری نشانگر اهمیت پایین بودن جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن تعمیری و مقاومت اتصال خوب آن به بتن اساس بوده است. آنها دریافتند که پایین نگاه داشتن مقدار جمع شدگی بتن تعمیر باعث کاهش پتانسیل ترک خوردگی می‌شود. اگرچه تمام مواد تعمیر مورد استفاده دارای خزش کششی بودند ولی میزان خزش که در مقایسه با مقدار جمع شدگی ناشی از خشک شدن عموما اندک است، تاثیر چندانی در آزاد کردن مقدار جمع شدگی ندارد [۴-۶]. این در حالی است که در سایر مراجع مقدار خزش مناسب بتن تعمیر را موقعیت و محل کاربرد آن تعیین می‌کند: چنانچه بتن در تعمیرات سازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد بهتر است خزشی به اندازه بتن اساس داشته باشد تا در تحمل بار به اندازه بتن اساس سهیم باشد. لیکن در مواردی که دوام بتن تعمیر اهمیت بیشتری در مقایسه با باربری آن دارد توصیه می‌شود از مصالح با خزش بالا استفاده شود، چون در این موارد آزاد شدن کرنشها در خزش کششی به کاهش پتانسیل ترک خوردگی می‌انجامد[۱]. دکتر رمضانیانپور در تحقیق بر روی بتنهای تعمیر جمع شدگی گیردار آنها را درسه شرایط گیرداری مورد بررسی قرار داده است. این سه شرایط عبارت است از بتن اساس با سطح صاف، بتن اساس با سطح کاملا زبر و خشن و بتن اساس با سطح فلزی. به منظور اجرای تعمیر بر روی بتن اساس، از ملات تعمیری استفاده شده است که حاوی سنگدانه با بزرگترین اندازه به قطر ۴/۷۵ میلیمتر و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ بوده است.سه ماده تعمیر مورد استفاده بتن تعمیر پایه سیمانی، بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی و بتن تعمیر حاوی لاتکس است. ملاحظه شد که ملات تعمیر حاوی لاتکس کمترین میزان جمع شدگی را در شرایط مختلف گیرداری دارا بوده است بعد از آن ملات تعمیر پایه سیمانی و در آخر ملات تعمیر حاوی دوده سیلیسی دارای بیشترین میزان جمع شدگی است. همچنین با مقایسه سه شرایط گیرداری کمترین میزان جمع شدگی برای سطح زبر و بعد از آن بتن اساس با سطح صاف و در آخر بتن اساس با سطح فلزی گزارش شده است[۷].

یکی از مهمترین ویژگیهای بتن تعمیر که همواره بایستی مد نظر قرار گیرد، مقاومت چسبندگی آن به بتن اساس است. بتن تعمیر بایستی دارای مقاومت چسبندگی بالایی به بتن اساس باشد تا عملکردی یکپارچه با بتن اساس تحت تنشهای ناشی از بارگذاری خارجی داشته باشد. این ویژگی نه تنها در تعمیرات سازه‌ای بلکه در تعمیرات غیر سازه‌ای نیز بایستی مدنظر قرار گیرد. سرعت و میزان کسب مقاومت چسبندگی بتن تعمیر به بتن اساس باید به‌گونه‌ای باشد که قادر به تحمل تنشهای ناشی از جمع شدگی ناشی از خشک شدن باشد. مهندسان ارتش آمریکا معتقدند ضعف ناحیه اتصال بتن تعمیر به بتن اساس در اکثر موارد به دلیل پایین بودن مقاومت کششی بتن تعمیر و مقاومت اتصال آن به بتن اساس نیست بلکه تفاوت در کرنشهای گرمایی دو بتن و نیز جمع شدگی بالای بتن تعمیر باعث ضعف در ناحیه اتصال دو بتن تعمیر و اساس می‌شود[۸].

انجمن مهندسان ارتش آمریکا از آزمایش کشش مستقیم[۵] برای تعیین مقاومت اتصال بتن تعمیر به بتن اساس استفاده کرده‌اند. طی آزمایشات انجام گرفته بر روی نمونه‌ها مشاهده شد که بتنهای تعمیر پایه سیمانی مقاومت اتصال بهتری نسبت به بتنهای اصلاح شده با پلیمر دارا بودند. شایان ذکر است در تحقیق صورت گرفته بتنهای اساس وتعمیر عموما دارای مقاومت فشاری بالاتر از MPa ۵۰ هستند. همچنین در زمان اعمال بتن تعمیر بر روی بتن اساس سطح بتن اساس با اپوکسی پوشانده شد که به بهبود کیفیت اتصال بتن تعمیر پایه سیمانی کمک قابل توجهی می‌کند. در مقابل شبکه پلیمری موجود در بتن تعمیر حاوی لاتکس اجازه نفوذ اپوکسی به حفرات موجود بین ماتریس سیمانی را نداده و از عملکرد اپوکسی در بهبود مقاومت اتصال جلوگیری می‌کند[۴]. در تحقیق حاضر پوشش اپوکسی بر روی بتن اساس اجرا نشد تا بتوانیم به مقایسه صحیح مقاومت اتصال بتنهای تعمیر به بتن اساس دست یابیم.

مصالح مختلفی برای تعمیر سازه‌های بتنی به بازار عرضه شده‌اند که عموما در قالب گروههای مواد پایه سیمانی، مواد پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر و مواد پایه پلیمری طبقه بندی می‌شوند[۷]. در بسیاری موارد مواد تعمیری به صورت بسته‌بندی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

جدول ۱- مشخصات مصالح

سنگدانه	جرم حجمی SSD(gr/cm^3)	درصد جذب آب	هم ارز ماسه
شن (۴/۷۵-۹/۵)	۲/۶	۲/۵	-
شن(۴/۷۵-۱۹)	۲/۶۲	۲/۴۱	-
ماسه	۲/۶۳	۳/۵	۸۴

جدول۲- دانه بندی شن وماسه مصرفی

الک	شن بتن اساس mm(۴/۷۵-۱۹)		شن بتن تعمیر mm(۴/۷۵-۹/۵)		ماسه	
	ASTMC33-93	مصرفی	ASTMC33-93	مصرفی	ASTMC33-93	مصرفی
3/4"	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	-
1/2"	-	۶۵	۱۰۰	۱۰۰	-	-
3/8"	۲۰-۵۵	۳۵	۳۵-۱۰۰	۱۰۰	-	-
3/16"	۰-۱۰	۰	۰-۲۵	۰	۹۵-۱۰۰	۹۵/۳
No.8	-	-	۰-۵	۰	۸۰-۱۰۰	۶۹/۴
No.16	-	-	-	-	۵۰-۸۵	۴۷/۵
No.30	-	-	-	-	۲۵-۶۰	۲۷/۷
No.50	-	-	-	-	۱۰-۳۰	۱۱/۵
No.100	-	-	-	-	۲-۱۰	۱/۶

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سیمان طبق ASTM C150

جرم حجمی (gr/cm^3)	سطح ویژه(cm^2/gr)مطابق ASTM C204-94	زمان گیرش اولیه(min) ASTM C191-92	مقاومت فشاری ملات استاندارد۲۸ روزه (MPa) مطابق ASTM C109-93
۳/۱۵	۲۸۴۱	۲۲۵	۲۹/۵

آماده مصرف حاوی مواد سیمانی، افزودنیهای شیمیایی و در مواردی مواد پلیمری ارائه می‌شوند. تحقیقاتی توسط محققان مختلف روی این مواد آماده گزارش شده است[۳، ۴ و ۶]. با توجه به اینکه عموما نوع دقیق، مقادیر اجزا و نسبتهای اختلاط آنها در مواد آماده مشخص نیستند، در این تحقیق بررسی گسترده آزمایشگاهی روی مواد تعمیری پایه سیمانی و تاثیر کاربرد دوده سیلیسی و یا لاتکس پلیمری در ارتقاء خواص آنها انجام شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

سنگدانه‌ها: سنگدانه‌های مصرفی از معادن رودخانه کن تامین شده است. خواص و دانه‌بندی آنها در جدولهای (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. در ساخت نمونه‌های بتن تعمیر از شن با دانه‌بندی ۴/۷۵-۹/۵ میلیمتر استفاده شد. در صورتی که برای ساخت نمونه بتن اساس از دانه‌بندی ۴/۷۵-۱۹ میلیمتر مطابق ASTM C33 استفاده شد، به‌طوری‌که ۶۵٪ مصالح در محدوده ۹/۵-۱۹ میلیمتر و ۳۵٪ در محدوده ۴/۷۵-۹/۵ میلیمتر قرار داشتند.

سیمان : سیمان مورد استفاده، سیمان نوع ۲ کارخانه سیمان تهران است. مشخصات فیزیکی سیمان در جدول (۳) آمده است.

آب : آب مصرفی , آب شرب شهری است.

دوده سیلیسی: دوده سیلیسی مصرفی تولید شرکت فرو آلیاژ ایران از کارخانه ازنا با سطح ویژه cm^2/gr ۲۰۴۰۰۰

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

جدول۴- طرح اختلاط بتن اساس و تعمیر

نوع بتن	سیمان(kg)	شن(kg)	ماسه(kg)	W/C	آب(lit)	فوق روان کننده (kg)	دوده سیلیسی (kg)	SBR (kg)
بتن اساس(S)	۳۲۵	۱۱۵۰	۷۸۰	۰/۵	۱۶۲	–	–	–
بتن پایه سیمانی(RC)	۳۵۰	۱۰۸۰	۹۲۰	۰/۳۸	۱۳۳	۲/۵	–	–
بتن حاوی دوده سیلیسی(RS)	۳۲۴	۱۰۸۰	۹۲۰	۰/۳۸	۱۳۳	۴	۲۶	-
بتن حاوی لاتکس(RL)	۳۵۰	۱۰۵۰	۸۹۵	۰/۳۸	۱۰۹/۷+۲۳/۳	–	–	۳۵

و خلوص SiO_2 برابر ۹۲٪ است.

فوق روان کننده : برای دستیابی به نسبت آب به سیمان کم و کارایی لازم بتنهای تعمیری ،از فوق روان کننده با پایه پلی اکریلیت استفاده شد.

لاتکس : مونومر تشکیل دهنده لاتکس مصرفی استایرن بوتادین (SBR) است. مقدار ماده جامد موجود در سوسپانسیون لاتکس ۶۰ درصد و بقیه آن را آب تشکیل می‌دهد. جرم حجمی آن $1/07 gr/cm^3$ است.

۲-۲- مقادیر اجزای بتن اساس و بتنهای تعمیری

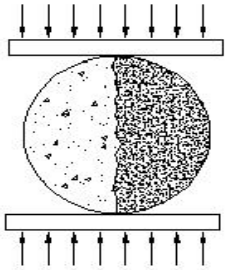
برنامه آزمایشگاهی، شامل مطالعه بر روی یک طرح بتن اساس و سه طرح بتن تعمیر بوده است. طرح بتن اساس برای شبیه- سازی بتن متعارف کارگاهی کشور، با مقاومت فشاری ۳۰ MPa و با بزرگترین اندازه سنگدانه برابر ۱۹ میلیمتر در نظر گرفته شد. بتنهای تعمیر مورد مطالعه شامل بتن تعمیری پایه سیمانی حاوی ۳۵۰ کیلوگرم سیمان پرتلند نوع۲ (طرحRC)، بتن تعمیری پایه سیمانی مشابه طرح (RC) لیکن با جایگزینی ۷/۵ درصد مواد سیمانی با دوده سیلیسی که با کد شناسه طرح (RS) نامگذاری شد و بتن تعمیری مشابه با طرح (RC) که در آن از لاتکس پلیمریSBR به میزان ۱۰٪ وزنی سیمان استفاده شد (طرحRL).

در چارچوب توصیه‌های ارائه شده برای بتنهای تعمیری اندازه حداکثر سنگدانه برابر ۹/۵mm گرفته شد و نسبت وزنی مواد سیمانی به ۰/۳۸ محدود شد[۹]. با توجه به هدف یکسان نگاه داشتن نسبت آب به مواد سیمانی در بتنهای تعمیری از مقادیر لازم فوق روان کننده برای دستیابی به کارایی مورد نظر در طرحها استفاده شد. مقادیر اجزای بتنهای مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است.

مقدار مصرف دوده سیلیسی برای بهبود خواص بتن معمولا ۷/۵ تا ۱۰ درصد وزنی سیمان در نظر گرفته می‌شود[۹]. در این تحقیق برای تقلیل اثرات جانبی کاربرد این ماده نظیر افزایش در آب اختلاط لازم و یا افزایش جمع شدگی مقدار آن ۷/۵٪ در نظرگرفته شد. مقدار لاتکس مصرفی در بتن بر حسب نسبت وزنی میزان مواد جامد به سیمان بیان می‌شود. مقدار لاتکس جامد مصرفی مطابق با توصیه‌های ACI 548.1R [۱۰] به میزان ۱۰ تا ۲۰٪ وزنی سیمان است. در این پروژه مقدار مصرف به میزان۱۰٪ در نظر گرفته شده تا با توجه به هزینه بالای لاتکس پلیمری هزینه ماده تعمیری توجیه پذیر باشد. شایان ذکر است که لاتکس مصرفی به صورت سوسپانسیون بوده و نسبت مواد جامد به آب آن برابر ۶۰ :۴۰ است در نتیجه مقدار ۲۳/۳ لیتر آب به همراه ۳۵ کیلوگرم ماده جامد مصرفی وارد طرح می‌شود. برای امکان مقایسه مواد تعمیری مختلف در نسبت آب به مواد سیمانی برابر، آب موجود در لاتکس در محاسبه مقدار آب مخلوط لحاظ شد.

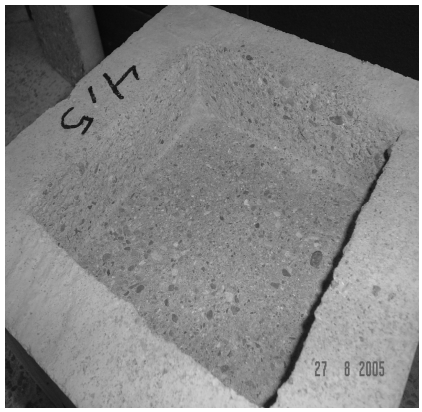
عمل آوری نمونه‌های پایه سیمانی و پایه سیمانی حاوی دوده سیلیسی به مدت ۲۸روز در شرایط مرطوب انجام گرفت ولی نمونه‌های بتن تعمیر اصلاح شده با پلیمر به مدت ۴ روز در شرایط مرطوب و بعد در هوای آزاد عمل آوری شد که به منظور تشکیل زنجیره‌های پلیمری است[۱].

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]



شکل ۱- آزمایش دو نیم شدگی نمونه استوانه‌ای

شکل ۲- آزمایش برش مایل



شکل ۳- نمونه آزمایش کشش مستقیم

۲-۳- آزمایشهای انجام شده

۲-۳-۱- تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن اساس و بتنهای تعمیری

برای هر کدام از انواع بتنهای مورد مطالعه نمونه‌های لازم برای انجام آزمایشهای زیر تهیه شد:

مقاومت فشاری : مطابق ASTM C39

مقاومت کششی : مطابق ASTM C496-90

جمع شدگی آزاد : مطابق ASTM C157

مدول الاستیسیته : مطابق ASTM C469

ضریب انبساط گرمایی : مطابق ASTM C531

۲-۳-۲- مقاومت اتصال بتن تعمیر به بتن اساس

مقاومت اتصال بتن تعمیر به بتن اساس از طریق آزمایشهای زیر ارزیابی شد.

- مقاومت کششی اتصال نمونه سیلندری[۶] مرکب مطابق ASTM C496 اندازه گیری شد. برای ساخت نمونه مرکب بتن اساس و بتن تعمیری یک نیمه سیلندر پلاستیکی درون قالب جای گرفت و بتن اساس درون قالب ریخته شد. بعد از بیرون آوردن نمونه از قالب، بتن به مدت ۲۸ روز تحت شرایط مرطوب عمل آوری شد. پس از اتمام عمل آوری اجازه داده شد تا نمونه‌ها در محیط آزمایشگاه خشک شوند، سپس سطح اتصال بتن اساس به بتن تعمیر ماسه پاشی شد و بتن تعمیر روی آن ریخته شده و نمونه مرکب عمل آوری شد. نمونه مرکب آزمایش اتصال کششی در شکل (۱) به صورت شماتیک نشان داده شده است.
- مقاومت برشی مایل[۷] مطابق ASTM C1042 اندازه‌گیری شد. نمونه‌های مرکب استوانه‌ای با قطر ۷۵ میلیمتر وارتفاع ۱۵۰ میلیمتر ساخته شدپس از ساخت و عمل آوری نمونه‌های نیم استوانه‌ای مایل اجازه داده شد نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی خشک شوند. سپس سطح مایل نیمه منشور ماسه پاشی و بتن تعمیر روی آن ریخته شد. نکته حائز اهمیت مد خرابی نمونه است که ممکن است به صورت فشاری ویا برشی صورت گیرد، شکل (۲).
- برای تعیین مقاومت اتصال به صورت کشش مستقیم یک دال بتنی به ابعاد ۲۰۰×۳۰۰×۳۰۰ میلیمتر ساخته شدو حفره‌ای به ابعاد ۶۰×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر درون آن با یک قطعه پلاستیکی ایجاد شد، شکل (۳). بعد از ۲۸ روز عمل آوری مرطوب نمونه، کف و دیواره‌های حفره ماسه پاشی شد و بعد از خشک شدن نمونه در محیط آزمایشگاه بتن درون حفره با بتن تعمیر پر شد. نمونه‌های پایه سیمانی

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

شکل ۴- مغزه گیری از نمونه

شکل ۵- آزمایش کشش مستقیم

۷ روز زیر گونی خیس و نمونه تعمیر اصلاح شده با پلیمر ۴ روز، با گونی خیس عمل آوری شد.

آزمایش کشش مستقیم شامل مسطح کردن سطح نمونه، چسباندن دیسک به قطر ۷۵ میلیمتر روی بتن تعمیر و مغزه‌گیری به قطر یاد شده و عمق ۹۰ میلیمتر است، شکل (۴). سپس با دستگاه آزمایش باند[۸] مقاومت کشش مستقیم مغزه مذکور اندازه گیری شد. شکل (۵) محل شکست مغزه که ممکن است از بتن اساس و یا تعمیر و یا باند اتصال و یا ترکیبی از این موارد باشد اهمیت زیادی دارد.

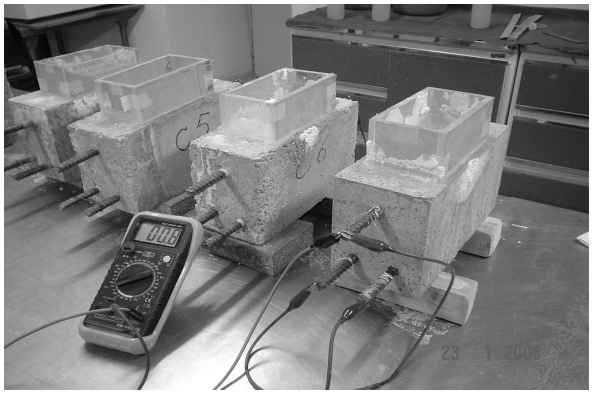
۲-۳-۳- آزمایشهای دوام

با توجه به نقش مهم خواص جذب آب بتن روی دوام آن، آزمایش جذب آب مویینه روی نمونه بتنهای اساس وتعمیر اندازه گیری شد. همچنین دوام آرماتور در بتن اساس و تعمیر در مقابل فرایند شیمیایی خوردگی تحت نفوذ یون کلر مورد بررسی قرار گرفت.

- جذب آب مویینه : در آزمایش جذب آب مویینه روند جذب به وسیله بالا رفتن آب در لوله‌های مویینه در یک منشور بتنی که فقط ۲ تا 5mm تحتانی آن در آب مستغرق است، تعیین می‌شود. افزایش در جرم منشور با زمان ثبت می‌شود و نمودار افزایش جرم نسبت به جذر زمان رسم می‌شود. مقدار ضریب جذب مویینه به صورت شیب خط گذرنده از نقاط قابل محاسبه است[۱۱].
- دوام در برابر خوردگی آرماتور ناشی از نفوذ یون کلر: این آزمایش مطابق ASTM G109 برای بررسی دوام بتن اساس و تعمیر در برابر خوردگی آرماتور داخل آنها تحت شرایط نفوذ یون کلر انجام شد. نمونه‌های ماکروپیل در ابعاد ۲۸۰×۱۵۰×۱۱۵ با سه آرماتور (یک آرماتور در بالا و دو آرماتور در پایین) ساخته شد. نمونه پس از گذشت ۲۴ ساعت از ساخت از قالب بیرون آورده شده و ۷ روز زیر گونی خیس عمل آوری شد. سپس حوضچه‌های آب نمک که از جنس پلکسی‌گلاس ساخته شده‌اند روی نمونه با چسب سیلیکن چسبانده شدند. ۲/۳ حجم حوضچه با محلول آب نمک کلرید سدیم ۵ ٪ پر شد. ما بین آرماتور بالایی و پایینی با یک سیم با مقاومت ۱۰۰ اهم اتصال برقرار شد و دو آرماتور پایین نیز با یک سیم به یکدیگر متصل شدند تا مدار ما بین این سه آرماتور کامل شود.

حوضچه‌ها به تناوب به مدت ۱۵ روز پر از آب نمک نگهداشته و ۱۵ روز خالی نگهداشته شدند تا شرایط خوردگی مهیا شد. این سیکل پر و خالی کردن تا ۴ ماه ادامه پیدا کرد. در این دوران برای تسریع شروع خوردگی نمونه‌ها در دمای $45^{o}C$ نگهداشته شدند.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]



شکل ۶- اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل

شکل ۷- دستگاه پتانسیومتر

جدول ۵- نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری مخلوطهای مختلف

نوع بتن	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت کششی (MPa)
بتن اساس	۳۳/۱	۳/۵۳
بتن تعمیر پایه سیمانی	۳۷/۴۵	۳/۷۰
بتن تعمیر حاوی دوه سیلیسی	۴۳/۰۵	۴/۲۴
بتن تعمیر اصلاح شده با لاتکس	۳۴/۳۵	۳/۷۸

برای اندازه‌گیری میزان شدت جریان و اختلاف پتانسیل از دستگاه مولتی‌متر استفاده شد، شکل(۶). در این آزمایش میلگرد بالا آند و میلگردهای پایین کاتد واقع می‌شوند[۱۲].

علاوه بر اختلاف پتانسیل و میزان شدت جریان الکتریکی، مقدار مقاومت الکتریکی نمونه‌ها نیز معرف پتانسیل بتنهای تعمیر و اساس برای خوردگی ناشی از نفوذ یون کلر است. هر چقدر مقاومت الکتریکی بتن بالاتر باشد امکان حرکت یونها در محیط الکترولیت(بتن) از آند به کاتد کمتر شده در نتیجه احتمال وقوع خوردگی در آرماتور کمتر می‌شود. بدین منظور توسط دستگاه پتانسیومتر Galva Pulse مقاومت الکتریکی نمونه‌ها اندازه گیری شد، شکل (۷).

۲-۳-۴- کنترل عرض ترک خوردگی در محل اتصال بتن تعمیر به بتن اساس

با پایان دوره عمل آوری مقطع تعمیری و شروع جمع شدگی ناشی از خشک شدن ریسک ترک خوردگی در مقطع وجود دارد. اطلاعات به‌دست آمده از جمع شدگی آزاد مصالح تعمیر به تنهایی در رابطه با پیش بینی عملکرد بتن تعمیر اجرا شده بر روی بتن اساس کافی نیست. با توجه به اینکه ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی گیردار است لذا مدول الاستیسیته و مقاومت کششی بتن نیز بر آن تاثیرگذار است.

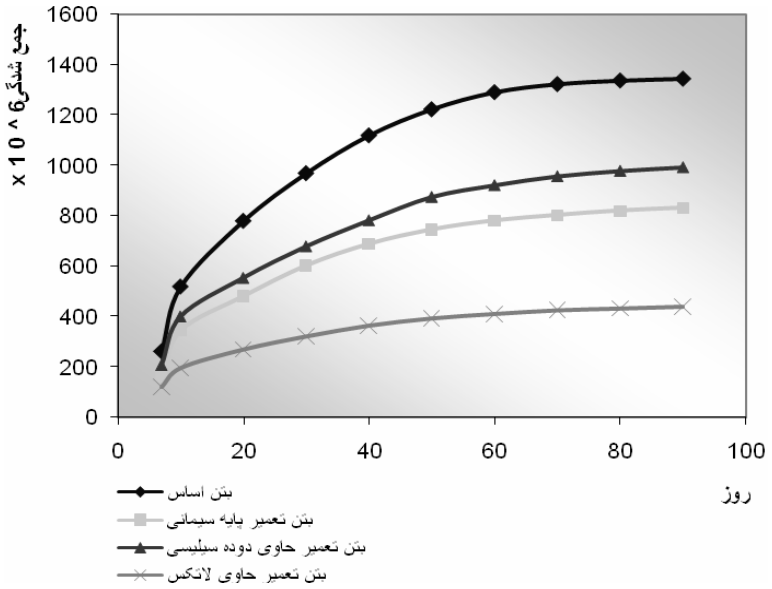
به منظور بررسی عملکرد بتنهای تعمیری در رابطه با ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی تحت شرایط گیردار، میزان بازشدگی عرض ترک در ناحیه اتصال بتن تعمیری به بتن اساس در نمونه مرکب مربوط به آزمایش باند اندازه گیری شد.

۳- ارائه، تجزیه و تحلیل نتایج

۳-۱- مقاومت فشاری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری در جدول (۵) ارائه شده است. طبق انتظار با توجه به پایینتر بودن نسبت آب به مواد سیمانی در بتنهای تعمیری نسبت به بتن اساس مقاومت تمامی مخلوطهای تعمیر بیشتر از بتن اساس بوده است. استفاده از ۷/۵

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]



شکل۸- نمودار جمع شدگی ناشی از خشک شدن نمونه بتنهای اساس و تعمیر

درصد دوده سیلیسی باعث افزایش در مقاومت فشاری بتن تعمیر پایه سیمانی از طریق بهبود ریز ساختار خصوصا در ناحیه انتقالی شده است، لیکن کاربرد لاتکس در بتن تعمیری باعث قدری کاهش در مقاومت فشاری شده است. با توجه به اینکه کاربرد لاتکس باعث ایجاد شبکه پلیمری در منافذ بتن می‌شود، با عنایت به مدول الاستیسیته کم این ماده قدری کاهش در مقاومت فشاری قابل انتظار است.

۳-۲- مقاومت کششی

مقادیر مقاومت کششی بتنهای تعمیر و بتن اساس در جدول (۵) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به نسبت آب به مواد سیمانی کمتر، مقاومت تمامی بتنهای تعمیر بیشتر از مقاومت کششی نمونه‌های بتن اساس ۳/۵۳ MPa است.

کاربرد دوده سیلیسی به دلیل مشابه باآنچه برای مقاومت فشاری ذکر شد، باعث افزایش در مقاومت کششی بتن تعمیر پایه سیمانی شده است. کاربرد لاتکس پلیمری تاثیرقابل توجهی در مقاومت کششی بتن تعمیر پایه سیمانی نداشته است. این امر از یکسو به دلیل اثر منفی مدول الاستیسیته کم ماده پلیمری (همانند آنچه برای مقاومت فشاری در فوق ذکر شد) و از سوی اثر مثبت ناشی از مقاومت کششی مناسب ماده پلیمری و بهبود چسبندگی بتن قابل توجیه است.

۳-۳- جمع شدگی آزاد

نتایج جمع شدگی آزاد ناشی از خشک شدن مخلوطهای مختلف در شکل (۸) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، جمع شدگی بتنهای تعمیر کمتر از بتن اساس است. از آنجایی‌که مقدار جمع شدگی اندازه‌گیری شده برابر مجموع جمع شدگی ناشی از خشک شدن و و جمع شدگی خودبه‌خودی است، ملاحظه می‌شود که کاربرد دوده سیلیسی باعث قدری افزایش (حدود ۱۱٪) در میزان جمع شدگی بتن تعمیر پایه سیمانی شده است. کاربرد لاتکس SBR باعث کاهش شدید جمع شدگی بتن تعمیر پایه سیمانی (حدود ۵۵٪) شده است. این پدیده را به این صورت می‌توان توجیه کرد: در اثر تنشهای کششی داخلی، مانند تنشهای ناشی از جمع‌شدگی به دلیل تبخیر آب اضافی مخلوط، ریز ترکهایی در خمیر سخت‌شده پدید می‌آیند. لاتکسها از دو راه به کنترل این ریزترکها کمک می‌کنند. توسعه شبکه لاتکس با بستن و مسدود کردن منافذ و مسیرهای مویین، از مقدار و میزان جابه‌جایی و

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

جدول ۶- مقادیر مدول الاستیسیته و ضریب انبساط ،گرمایی بتن اساس و تعمیر

ضریب انبساط گرمایی $^{\circ}C/$	مدول الاستیسیته(GPa)	نوع بتن
۷×۱۰^{-۶}	۲۴/۲	بتن اساس
۸×۱۰^{-۶}	۲۸/۷	بتن تعمیر پایه سیمانی
۹×۱۰^{-۶}	۳۳	بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی
۱۲×۱۰^{-۶}	۲۳/۷	بتن تعمیر اصلاح شده با لاتکس

تبخیر آب جلوگیری می‌کنند و چنانچه ریزترک پدید آید فیلم تشکیل شده لاتکس مانند پلی عمل می‌کند که دو طرف ترک را به یکدیگر متصل می‌کند و از انتشار آن جلوگیری می‌کند. رمضانیانپور و ممیز نیز در تحقیقات خود بر روی میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتنهای پایه سیمانی کاهش قابل ملاحظه‌ای را در جمع شدگی بتن حاوی لاتکس گزارش کرده‌اند [۷].

۳-۴- مدول الاستیسیته

نتایج مدول الاستیسیته مخلوطهای مختلف در جدول (۶) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بتن تعمیر پایه سیمانی دارای مدول الاستیسیته بالاتری نسبت به بتن اساس است. افزودن دوده سیلیسی باعث افزایش بیشتر مدول الاستیسیته بتن تعمیر شده و این درحالی است که مدول الاستیسیته بتن تعمیر حاوی لاتکس علی‌رغم پایینتر بودن نسبت آب به مواد سیمانی آن به میزان جزیی کمتر از مدول الاستیسیته بتن اساس است. دلیل این پدیده پایین بودن مدول الاستیسیته شبکه پلیمری ایجاد شده در بتن است. در انجام تعمیرات سازه‌ای که ماده تعمیری در تحمل بارهای وارده مشارکت می‌کند، سازگاری و نزدیک بودن مقدار مدول الاستیسیته بتن تعمیر به بتن اساس حائز اهمیت است. چنانچه تفاوت زیادی بین مدول الاستیسیته این دو بتن وجود داشته باشد توزیع تنشها در مقطع مرکب به صورت یکنواخت صورت نگرفته و بخش با مدول الاستیسیته بالاتر سهم بیشتری از بار را تحمل می‌کند که این تمرکز تنش می‌تواند نهایتا به خرابی مقطع منجر شود[۱ و ۹]. در تعمیرات غیر سازه‌ای- یعنی تعمیراتی که در تحمل بار مشارکت نمی‌کنند می‌توان از مصالح تعمیر با مدول الاستیسیته کمتراز بتن اساس استفاده کرد.

۳-۵- ضریب انبساط گرمایی

نتایج آزمایشهای انجام شده در جدول (۶) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب انبساط گرمایی بتن تعمیر پایه سیمانی اختلاف چندانی با ضریب انبساط گرمایی بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی ندارد. در حالی‌که بتن تعمیر حاوی لاتکس دارای ضریب انبساط گرمایی بالاتری است. شایان ذکر است که به علت کاربرد درصد نسبتا پایینی لاتکس پلیمری ضریب انبساط گرمایی کماکان در محدوده مورد انتظار از بتنهای پایه سیمانی($۱۰^{-۶}\times۱۳$-۶) قرار دارد. وجود اختلاف زیاد مابین ضریب انبساط گرمایی بتن اساس و تعمیر امکان بروز تغییر شکلها و تنشهای گرمایی را افزایش می‌دهد و از عمر تعمیر اجرا شده می‌کاهد. لذا حتی المقدور بایستی از مصالح تعمیر با ضریب انبساط گرمایی نزدیک به ضریب انبساط گرمایی بتن اساس استفاده کرد[۱].

برای بتنهای تعمیر پایه پلیمری مقدار ضریب انبساط گرمایی ۱/۵ تا ۵ برابر مقدار ضریب انبساط گرمایی بتن پایه سیمانی گزارش شده است [۱۳].

۳-۶- مقاومت اتصال

آزمایشهای مختلف انجام شده برای بررسی مقاومت اتصال بتنهای تعمیری به بتن اساس در جدول (۷) ارائه شده است.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

جدول ۷ – مقاومت اتصال بتن تعمیر به بتن اساس

محل شکست	کشش مستقیم (MPa)	نحوه شکست در آزمایش برش مایل	مقاومت برشی مایل(MPa)	دو نیم شدگی نمونه سیلندری (MPa)	نوع بتن
باند	۲/۳۳	برشی	۹/۸۵	۲/۲۵	بتن تعمیر پایه سیمانی+ اساس
باند و قسمتی از بتن اساس	۳/۵۷	برشی+فشاری بتن اساس	۱۰/۴	۲/۷۵	بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی+اساس
باند	۲/۵۵	فشاری	۱۲/۹	۲/۴	بتن تعمیر اصلاح شده با لاتکس+اساس

جدول ۸– ضریب جذب مویینه

نوع بتن	$S(mm/min^{0.5})$
بتن اساس	۰/۲۹۸
بتن تعمیر پایه سیمانی	۰/۲۳۱
بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی	۰/۱۸۴
بتن تعمیر حاوی لاتکس	۰/۱۷۴

نتایج نشانگر این است که کاربرد دوده سیلیسی باعث بهبود قابل توجه (۲۲ تا ۵۰ درصد) مقاومت کششی اتصال بتن تعمیری پایه سیمانی به بتن اساس شده است. تاثیر دوده سیلیسی در افزایش مقاومت برشی اتصال نسبتا کم بوده است. لیکن کاربرد لاتکس پلیمری تاثیر نسبتا کمی در مقاومتهای کششی اتصال با بتن اساس داشته است.دلیل این امر این است که دوده سیلیسی به دلیل ریزی بسیار زیاد ابعاد آن باعث بهبود کیفیت خمیر سیمان در ناحیه اتصال با بتن اساس می‌شود. مکانیزم بهبود ساختار را می‌توان مشابه با عملکرد دوده سیلیسی در بهبود ناحیه انتقالی خمیر سیمان با سنگدانه دانست.

لیکن کاربرد لاتکس پلیمری باعث بهبود قابل توجه در مقاومت برشی اتصال شده است (حدود ۳۰٪). دلیل این امر این است که آزمایش تعیین مقاومت برشی مایل باعث اعمال توام نیروهای فشاری و برشی روی صفحه مایل اتصال بتن تعمیری و بتن اساس می‌شود. تحت این سیستم اعمال بار، علاوه بر مقاومت اتصال در صفحه برش، سازگاری بین مدول الاستیسیته دو بتن نیز تاثیرگذار است. با توجه با اینکه مدول الاستیسیته بتن تعمیری حاوی لاتکس نزدیک بتن اساس بوده است لذا سازگاری تغییر شکلها بین دو نیمه نمونه مناسبتر از آنچه برای بتن تعمیر پایه سیمانی و پایه سیمانی حاوی دوده سیلیسی (که دارای مدول الاستیسیته بالاتری از بتن اساس‌اند) بوده است. این امر در نحوه شکست نمونه‌ها که طی آن نمونه‌های بتن تعمیری حاوی لاتکس حالت شکست فشاری داشته‌اند قابل مشاهده است.

۳-۷- آزمایشات دوام

جذب آب مویینه : همان‌طور که در نتایج ارائه شده در جدول (۸) مشاهده می‌شود کاربرد دوده سیلیسی و یا لاتکس SBR باعث کاهش حدود ۴۰٪ در ضریب جذب آب مویینه

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

جدول ۹- پارامترهای اندازه‌گیری شده در خصوص وضعیت خوردگی آرماتور فولادی در بتنهای اساس و تعمیر

نوع بتن	اختلاف پتانسیل الکتریکی (mV)	شدت جریان (μA)	مقاومت ویژه الکتریکی ($k\Omega.cm$)
بتن اساس	۶	۶۰	۴/۲۲
بتن تعمیر پایه سیمانی	۳	۳۰	۹/۹۸
بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی	۰/۸	۸	۳۸/۴
بتن تعمیر حاوی لاتکس	۰/۲	۲	۸۸/۳۵

بتن تعمیری پایه سیمانی شده است. برخی مقادیر نمونه‌ای برای جذب آب مویینه بتن عبارت‌اند از: ۰/۳۵ $mm/min^{0.5}$ برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۶ و ۰/۲ $mm/min^{0.5}$ برای بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ [۱۱].

ذرات دوده سیلیسی به لحاظ واکنش پوزولانی و همچنین بهبود ریزساختار ناحیه انتقالی بین خمیر سیمان و سنگدانه تخلخل مویینه را کاهش می‌دهد[۱۴]. همچنین کاربرد لاتکس به دلیل تشکیل شبکه پلیمری در بتن و قطع ارتباط حفرات مویینه جذب آب مویینه را کاهش داد.

- خوردگی آرماتور فولادی ناشی از نفوذ یون کلر : مقادیر پتانسیل خوردگی، شدت خوردگی و مقاومت الکتریکی در جدول (۹) ارائه شده است.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده ملاحظه می‌شود که پس ازیک دوره ۴ ماهه آرماتور موجود در نمونه بتن اساس با نرخ بالایی دچار خوردگی شده و با شدت ۶۰μ A در حال خورده شدن است. در میان بتنهای تعمیرآرماتور موجود در بتن تعمیر پایه سیمانی با شدت جریان ۳۰μ A شروع به خوردگی کرده است. بتن تعمیر حاوی لاتکس بهترین عملکرد را با شدت جریان ۲μ A از خود نشان داده است و احتمال خوردگی آن نیز در آینده بسیار ضعیف است. بتن حاوی دوده سیلیسی نیز عملکرد خوبی از خود در برابر حمله یون کلر نشان داده و خوردگی در دوره ۴ ماهه در آن رخ نداده است.

مقاومت الکتریکی یک پارامتر حائز اهمیت در خصوص دوام بتن در برابر خوردگی آرماتور است[۱۵ و ۱۶]. براساس اندازه‌گیری انجام شده توسط دستگاه گالواپالس بتن حاوی لاتکس با مقاومت ویژه الکتریکی ۸۸/۳۵k Ω.cm بالاترین مقاومت در برابر نفوذ یون کلر را داراست. مقادیر حاصله برای بتن تعمیرحاوی دوده سیلیسی و بتن تعمیر کنترل به ترتیب ۳۸/۴kΩ.cm و ۹/۹۸k Ω.cm بوده‌اند.

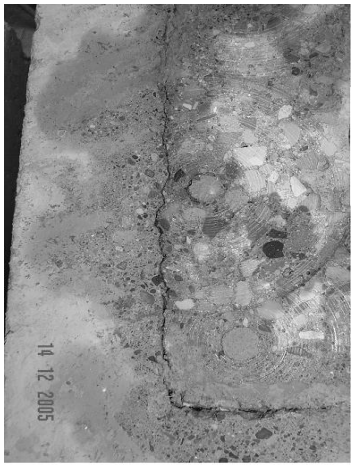
۳-۸- کنترل عرض ترک خوردگی

مقادیر عرض ترک در ناحیه اتصال بتن تعمیری و بتن اساس به عنوان شاخصی از پتانسیل ترک خوردگی بتن تعمیری تحت جمع شدگی مقید شده در نظر گرفته شد، شکل (۹). مقادیر اندازه گیری شده در پایان یک دوره ۳ ماهه تحت خشک شدگی در شرایط محیطی آزمایشگاه در دمای ۲۳ ^{o}c و رطوبت نسبی ۴۵-۵۵ درصد در جدول (۱۰) آمده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود کمترین عرض ترک خوردگی متعلق به بتن تعمیر پایه سیمانی حاوی لاتکس است. این امر به دلیل پایین بودن بسیار قابل توجه مقدارجمع شدگی ناشی از خشک شدن این بتن، مدول الاستیسیته نسبتا کمتر و همچنین اتصال مناسب آن به بتن اساس است.

هرچند عملکرد بتن تعمیر پایه سیمانی حاوی دوده سیلیسی به خوبی بتن تعمیر حاوی لاتکس نبوده است، لیکن در مقایسه با بتن تعمیر پایه سیمانی کاهش قابل توجهی در

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]



(الف) پایه سیمانی

(ب) حاوی دوده سیلیسی

(ج) حاوی لاتکس

شکل۹- ترک خوردگی محل اتصال بتن تعمیر به بتن اساس

جدول۱۰- عرض ترک در بتنهای تعمیر

عرض ترک(mm)	نوع بتن تعمیر
۱/۱	پایه سیمانی
۰/۵	حاوی دوده سیلیسی
۰/۱	حاوی لاتکس

عرض ترک، ایجاد کرده است که ناشی از بهبود در مقاومت کششی و همچنین مقاومت اتصال در اثر کاربرد دوده سیلیسی است.

۴- نتیجه‌گیری

۱. استفاده از دوده سیلیسی برای جایگزینی ۷/۵ درصد از مواد سیمانی در بتن تعمیری پایه سیمانی باعث افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته به میزان۱۵ درصد نسبت به بتن تعمیری پایه سیمانی با نسبت آب به سیمان برابر شد. همچنین بتن تعمیری پایه سیمانی حاوی دوده سیلیسی در مقایسه با بتن تعمیری پایه سیمانی دارای مقاومت کششی اتصال بهتری بوده است. بر اساس آزمایشهای مختلف انجام شده میزان بهبود در مقاومت کششی از ۲۲ تا ۵۰ درصد بوده است. مقاومت برشی اتصال نیز به میزان حدود ۶ درصد در اثر کاربرد دوده سیلیسی بهبود یافته است.

۲. کاربرد دوده سیلیسی باعث بهبود قابل توجه مشخصه‌های دوام شده و میزان جذب آب کاهش یافته است. مقاومت الکتریکی در مقایسه با بتن تعمیر پایه سیمانی به میزان قابل توجهی افزایش یافته ومقاومت در برابر خوردگی آرماتور ناشی از نفوذ یون کلر نیز بهبود یافته است.

۳. از تبعات کاربرد دوده سیلیسی در بتن تعمیر پایه سیمانی افزایش حدود ۱۱ درصدی در میزان جمع شدگی آزاد ناشی از خشک شدن بوده است. لیکن بهبود درمقاومت کششی و چسبندگی بیشتر باعث شد تا باز شدگی درز اتصال تحت شرایط خشک شدگی نسبت به بتن تعمیری بدون دوده سیلیسی کمتر باشد.

۴. کاربرد لاتکس SBR به میزان ۱۰ درصد مواد سیمانی تاثیر قابل توجهی روی خواص مقاومتی نداشت. لیکن مدول الاستیسیته به میزان قابل توجهی (حدود۲۰٪) کاهش یافت،

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

که این امر برای تعمیرهای غیر سازه‌ای و همچنین در تعمیرهای سازه‌ای که دستیابی به بتن تعمیری با مدول الاستیسیته مشابه با بتن اساس مطلوب است، می‌تواند مزیت محسوب شود. مقاومت کششی اتصال بتن تعمیری حاوی لاتکس به بتن اساس به میزان نسبتا کمی(کمتر از ۱۰٪) در مقایسه با بتن تعمیر پایه سیمانی بهبود یافت. لیکن مقاومت برشی اتصال به بتن اساس به میزان قابل توجهی (حدود۳۰٪) در مقایسه با بتن تعمیری پایه سیمانی بهتر بود.

۵. از تبعات بسیار قابل توجه کاربرد لاتکس SBR، کاهش بیش از ۵۰ درصد در میزان جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن تعمیری بوده است. این امر باعث بهبود قابل توجه عملکرد این ماده در کنترل میزان بازشدگی درز اتصال با بتن اساس بوده است. عرض بازشدگی درز اتصال mm ۰/۱ بوده است که به مراتب کمتر از مقدار اندازه گیری شده بر روی بتن تعمیری پایه سیمانی(۱/۱mm) و حتی بتن تعمیری حاوی دوده سیلیسی(mm ۰/۵) بوده است.

۶. کاربرد لاتکس SBR باعث بهبود بسیار قابل توجه مشخصه‌های دوام شده و میزان جذب آب بتن تعمیر را نسبت به بتن تعمیر پایه سیمانی کاهش می‌دهد. همچنین مقاومت ویژه الکتریکی در مقایسه با بتن تعمیر پایه سیمانی و حتی نسبت به بتن تعمیر پایه سیمانی حاوی دوده سیلیسی به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. مقاومت در برابر خوردگی آرماتور ناشی از نفوذ یون کلر نیز بهبود قابل توجهی یافته است.

۷. بر اساس نتایج بررسی انجام شده، کاربرد دوده سیلیسی و یا لاتکسSBR باعث بهبود قابل توجه در خواص مختلف بتنهای تعمیری پایه سیمانی می‌شود. در انتخاب ماده مناسب بایستی شرایط و الزامات خاص در هر پروژه، نظیر اهمیت مطابقت در مدول الاستیسیته ماده تعمیری و بتن اساس، وضعیت تنشها در ناحیه اتصال، دما و رطوبت نسبی محیط، شرایط خورندگی محیط و همچنین هزینه مواد مدنظر قرار گیرند.

*. در این پژوهش از بتنی که تعمیر روی آن انجام می‌گیرد، با عنوان بتن اساس یاد شده است.

واژه نامه

1. Cusson
2. Vuganam
3. Vaysburd
4. Emmons
5. Pull-off test
6. splitting test
7. slant shearing test
8. bond-test

مراجع

1. Concrete repair manual, “Selecting and Specifying Materials for Repair of Concrete Surface,” American Concrete Institute, pp. 840-870, ed. 2001.
2. Cusson, D., and Mail Vuganam, N., “Durability of Repair Materials,” *Concrete International* Vol.18, No. 3, pp. 34-38, 1996
3. Al-Zahrani, M.M., Maslehuddin, M., Al-dulaijan, S.U.,and Ibrahim, M., “Mechanical Properties and Durability Characteristics of Polymer- and Cement-Based Repair Materials,” *Cement and Concrete Composites* Vol. 25, pp. 527-537, 2003.
4. Vaysburd, A.M., Mc Donald, J.E., “An Evaluation of equipment and procedures for tensile bond testing of concrete repairs,” Technical report REMR-CS-61, US Army Corps of Engineers, June 1999.
5. Vaysburd, A.M., Emmons, P.H., Mc Donald, J.E., Poston, R.W., and Kesner, K.E., “Selecting Durable repair materials: performance Criteria – field studies,” Concrete International, p. 39-45 , Dec. 2000
6. Emmons, P.H., Vaysburd, A.M., Mc Donald, J.E., Kesner, K.E., “Selecting durable repair materials : performance criteria - Laboratory results,” Concrete International , Vol. 22 No.11, pp. 21-29, November 2000.
7. Momayez, A., Ehsani, M.R., Rajaie, H., Ramezanianpour, A., “Cylindrical specimen for measuring shrinkage in

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]

repaired concrete members," Construction and building material, Vol. 19, pp. 107-116, 2005.
8. Department of the Army U.S. Army corps of engineers Washington, DC 20314-1000, "EM1110-2-2002: Engineering and Design Evaluation and repair of concrete structures," pp. 4-3_4-4, June 1995.
9. ACI 546R,"Concrete repair guide," American Concrete Institute, ed. 2001.
10. ACI 548.1R,"Guide for the use of polymers in concrete", American Concrete Institute", ed. 2001.
11. Neville, A.M., "Properties of concrete", Mc Millan press, 1995.
12. Babler, R., Burkert, A., Froland, T., Klinghoffer, O., "Usage of portable equipment for determination of corrosion stage of concrete structures," federal Institute for materials research and testing (BAM), 1998.
13. ACI503.5R," Guide for the selection of Polymer Adhesives with Concrete," American Concrete Institute, reapproved 1997.
14. Mehta, P., Monteiro, P.J.M., "Concrete: Structure, Properties, and Materials," Prentice Hall, 1993.
15. Vaysburd, A.M., Emmons, P.H., "Corrosion protection in concrete repair myth and reality," Concrete International, pp. 47-56, March 1997.
16. Vaysburd, A.M., Emmons, P.H., "How to make today's repair durable for tomorrow corrosion protection in concrete repair," Construction and building materials, Vol. 14, pp. 189-197, 2000.

[DOR: 20.1001.1.2251600.1386.26.2.3.2]