

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

علیرضا باقری<sup>\*</sup> و سیاوش هاشمی<sup>\*\*</sup>

دانشکده 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 و کششی، مدول الاستیسیته، جمع شدگی و ضرب انسیساط گرمایی بتنهای اساس و تعمیر اندازه‌گیری شد و میزان سازگاری مقادیر اندازه‌گیری 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 اندازه‌گیری شد. پتانسیل ترک خورده‌گی ناشی از جمع شدگی بتن تعمیر روی بتن اساس از طریق اندازه‌گیری عرض ترک در ناحیه اتصال انجام گرفت. دوام بتنهای تعمیر توسط اندازه‌گیری خواص جذب آب و همچنین شدت خورده‌گی میلگرد فولادی احاطه شده توسط مواد تعمیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست 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 خورده‌گی 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 خورده‌گی 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

# 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

بسیار متعارف خرایی 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 الزهانی برای مقایسه خواص مکانیکی و نیز دوام ملاتهای تعمیری پایه سیمانی و پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر نشان داد که تفاوت عمداتی 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 نتیجتاً 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 کترل روی طرح اختلاط آنها صورت نگرفته است [۳]. تحقیقات گسترده انجام شده توسط واینبورد<sup>۳</sup> و امونس<sup>۴</sup> نیز در خصوص پارامترهای موثر در عملکرد کازون<sup>۱</sup> و واگانام<sup>۲</sup> ترک خوردگی کششی در لایه تعمیر، خرایی برشی در سطح اتصال بتن اساس با مواد تعمیر و ورقه ورقه شدن و کنده شدن بتن تعمیر از روی بتن اساس را حالت‌های عملکرد بتنهای تعمیری اند [۱ و ۲].

نظر قرار گیرد، مقاومت چسبندگی آن به بتن اساس است. بتن تعمیر باقیستی 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 باقیستی مدنظر قرار گیرد. سرعت و میزان کسب مقاومت چسبندگی بتن تعمیر به بتن اساس باید به گونه‌ای 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<sup>[۸]</sup>. انجمن مهندسان ارتش آمریکا از آزمایش کشش مستقیم<sup>۵</sup> برای تعیین مقاومت اتصال بتن تعمیر به بتن اساس استفاده کرده‌اند. طی آزمایشات انجام گرفته بر روی نمونه‌ها مشاهده شد که بتهای تعمیر پایه سیمانی مقاومت اتصال بهتری نیست به بتهای اصلاح شده با پلیمر دارا بودند. شایان ذکر است در تحقیق صورت گرفته بتهای اساس و تعمیر عموماً دارای مقاومت فشاری بالاتر از  $50 \text{ MPa}$  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<sup>[۴]</sup>. در تحقیق حاضر پوشش اپوکسی بر روی بتن اساس اجرا نشد تا بتوانیم به مقایسه صحیح مقاومت اتصال بتهای تعمیر به بتن اساس دست یابیم. مصالح مختلفی برای تعمیر سازه‌های بتنی به بازار عرضه شده‌اند که عموماً در قالب گروههای مواد پایه سیمانی، مواد پایه سیمانی اصلاح شده با پلیمر و مواد پایه پلیمری طبقه بندی می‌شوند<sup>[۷]</sup>. در بسیاری موارد مواد تعمیری به صورت بسته‌بندی

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 خرش کششی بودند ولی میزان خرش که در مقایسه با مقدار جمع شدگی ناشی از خشک شدن عموماً اندک است، تاثیر چندانی در آزاد کردن مقدار جمع شدگی ندارد [۶-۷]. این در حالی است که در سایر مراجع مقدار خرش مناسب بتن تعمیر را موقعیت و محل کاربرد آن تعیین می‌کند: چنانچه بتن در تعمیرات سازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد بهتر است خرشی 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 خرش بالا استفاده شود، چون در این موارد آزاد شدن کرنشهای بتن از خرش کششی به کاهش پتانسیل ترک خوردگی می‌انجامد<sup>[۱]</sup>. دکتر رمضانیانپور در تحقیق بر روی بتهای تعمیر جمع شدگی گیردار آنها را در سه شرایط گیرداری مورد بررسی قرار داده است. این سه شرایط عبارت است از بتن اساس با سطح صاف، بتن اساس با سطح کاملاً 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  $4/75 \text{ میلیمتر}$  و نسبت آب به مواد سیمانی  $4/0$  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<sup>[۷]</sup>. یکی از مهمترین ویژگیهای بتن تعمیر که همواره باقیستی مد

جدول ۱- مشخصات مصالح

| سنگدانه       | جرم حجمی (gr/cm <sup>3</sup> )SSD | 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                              | ۲/۵         | ۸۴          |

جدول ۲- دانه بندی شن و ماسه مصرفی

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

جدول ۳- مشخصات فیزیکی سیمان طبق ASTM C150

| جرم حجمی (gr/cm <sup>3</sup> ) | سطح ویژه (cm <sup>2</sup> /gr) مطابق ASTM C204-94 | زمان گیرش اولیه (min) مطابق ASTM C191-92 | مقاومت فشاری ملات استاندارد ۲۸ روزه (MPa) مطابق ASTM C109-93 |
|--------------------------------|---|--|--|
| ۳/۱۵                           | ۲۸۴۱  | ۲۲۵                                      | ۲۹/۵   |

شده است. خواص و دانه بندی آنها در جدولهای (۱) و (۲) ارائه شده‌اند. در ساخت نمونه‌های بتن تعمیر از شن با دانه بندی ۴/۷۵-۹/۵ میلیمتر استفاده شد. در صورتی که برای ساخت نمونه بتن اساس از دانه بندی ۴/۷۵-۱۹ میلیمتر مطابق ASTM C33 استفاده شد، به طوری که 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 آلیار ایران از کارخانه ازنا با سطح ویژه ۲۰۴۰۰۰ cm<sup>2</sup>/gr

آمده مصرف حاوی مواد سیمانی، افزودنیهای شیمیایی و در مواردی مواد پلیمری ارائه می‌شوند. تحقیقاتی توسط محققان مختلف روی این مواد آمده گزارش شده است [۳ و ۶]. با توجه به اینکه عموماً نوع دقیق، مقادیر اجزا و نسبتهای اختلاط آنها در مواد آمده مشخص نیستند، در این تحقیق بررسی گستره 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

#### جدول ۴- طرح اختلاط بتن اساس و تعمیر

| نوع بتن                  | (kg) سیمان | (kg) شن | (kg) ماسه | W/C  | آب(lit)    | فوق روان کننده | 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+۲۲/۳ | -              | -                | ۳۵       |

مقادیر لازم فوق روان کننده برای دستیابی به کارایی مورد نظر در طرحها استفاده شد. مقادیر اجزای بتهای مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است.

مقدار مصرف دوده سیلیسی برای بهبود خواص بتن معمولاً  $7/5$  تا  $10$  درصد وزنی سیمان در نظر گرفته می شود[۹]. در این تحقیق برای تقلیل اثرات جانبی کاربرد این ماده نظیر افزایش در آب اختلاط لازم و یا افزایش جمع شدگی مقدار آن  $7/5$ / در نظر گرفته شد. مقدار لاتکس مصرفی در بتن بر حسب نسبت وزنی میزان مواد جامد به سیمان بیان می شود. مقدار لاتکس جامد مصرفی مطابق با توصیه های ACI 548.1R [۱۰] به میزان  $10$  تا  $20$ % وزنی سیمان است. در این پروژه مقدار مصرف به میزان  $10$ % 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  $35$  است در نتیجه مقدار  $22/3$  لیتر آب به همراه  $35$  کیلوگرم ماده جامد مصرفی وارد طرح می شود. 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 نمونه های پایه سیمانی و پایه سیمانی حاوی دوده سیلیسی به مدت  $28$  روز در شرایط مرطوب انجام گرفت ولی نمونه های بتن تعمیر اصلاح شده با پلیمر به مدت  $4$  روز در شرایط مرطوب و بعد در هوای آزاد عمل آوری شد که به منظور تشکیل زنجیره های پلیمری است[۱].

و خلوص  $\text{SiO}_2$  برابر  $92\%$  است.

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

لاتکس : مونومر تشکیل دهنده لاتکس مصرفی استایرن بوتا دین (SBR) است. مقدار ماده جامد موجود در سوسپانسیون لاتکس  $60$  درصد و بقیه آن را آب تشکیل می دهد. جرم حجمی آن  $1/07 \text{ gr/cm}^3$  است.

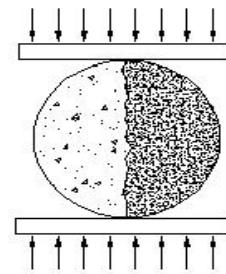
#### ۲- مقادیر اجزای بتن اساس و بتهای تعمیری

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  $30 \text{ MPa}$  و با بزرگترین اندازه سنگدانه برابر  $14$  میلیمتر در نظر گرفته شد. بتهای تعمیر مورد مطالعه شامل بتن تعمیری پایه سیمانی حاوی  $35$  کیلوگرم سیمان پرتلتند نوع  $2$  (طرح RC)، بتن تعمیری پایه سیمانی مشابه طرح (RC) لیکن با جایگزینی  $7/5$  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 پلیمری SBR به میزان  $10\%$  وزنی سیمان استفاده شد (طرح RL).

در چارچوب توصیه های ارائه شده برای بتهای تعمیری اندازه حداکثر سنگدانه برابر  $9/5 \text{ mm}$  گرفته شد و نسبت وزنی مواد سیمانی به  $0/38$  محدود شد[۹]. با توجه به هدف یکسان نگاه داشتن نسبت آب به مواد سیمانی در بتهای تعمیری از



شکل ۲- آزمایش برش مایل



شکل ۱- آزمایش دو نیم شدگی نمونه استوانه‌ای

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<sup>۷</sup> مطابق ASTM C1042 اندازه گیری

شد. نمونه‌های مرکب استوانه‌ای با قطر ۷۵ میلیمتر و ارتفاع ۱۵۰ میلیمتر ساخته شدیس 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 مذکورابی نمونه است که ممکن است به صورت فشاری و یا برشی صورت گیرد، شکل (۲).

- برای تعیین مقاومت اتصال به صورت کشش مستقیم یک دال بتونی به ابعاد  $۳۰۰ \times ۳۰۰ \times ۲۰۰$  میلیمتر ساخته شدو حفره‌ای به ابعاد  $۲۰۰ \times ۲۰۰ \times ۶۰$  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



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<sup>۹</sup> مرکب مطابق



شکل ۵- آزمایش کشش مستقیم



شکل ۴- مغزه گیری از نمونه

می شود. مقدار ضریب جذب موینه 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 بتون اساس و تعمیر در برابر خوردگی آرماتور داخل آنها تحت شرایط نفوذ یون کلر انجام شد. نمونه های ماکروپیل در ابعاد  $115 \times 150 \times 280$  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 حوضچه های آب نمک که از جنس پلکسی گلاس ساخته شده اند 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. حوضچه ها 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 تسريع شروع خوردگی نمونه ها در دمای  $45^{\circ}\text{C}$  نگهداشته شدند.

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 بتون تعمیر و مغزه گیری به قطر یاد شده و عمق ۹۰ میلیمتر است، شکل (۴). سپس با دستگاه آزمایش باند<sup>۱</sup> مقاومت کشش مستقیم مغزه مذکور اندازه گیری شد. شکل (۵) محل شکست مغزه که ممکن است از بتون اساس و یا تعمیر و یا باند اتصال و یا ترکیبی از این موارد باشد اهمیت زیادی دارد.

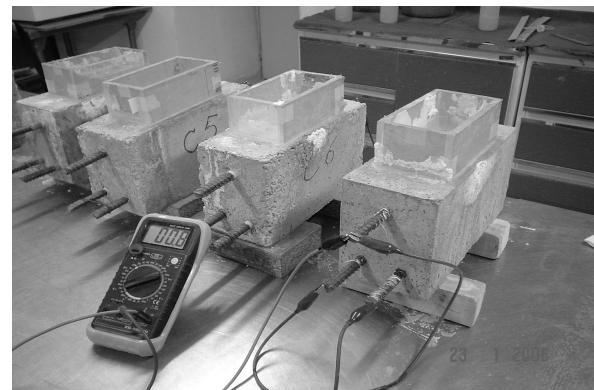
### ۳-۳- آزمایش های دوام

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

- جذب آب موینه: در آزمایش جذب آب موینه روند جذب به وسیله بالا رفتن آب در لوله های موینه در یک منشور بتی که فقط ۲ تا ۵mm تحتانی آن در آب مستغرق است، تعیین می شود. افزایش در جرم منشور با زمان ثبت می شود و نمودار افزایش جرم نسبت به جذر زمان رسم



شکل ۷- دستگاه پتانسیومتر



شکل ۶- اندازه‌گیری شدت جریان و اختلاف پتانسیل

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              |

وجود دارد. اطلاعات به دست 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 بتهای 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

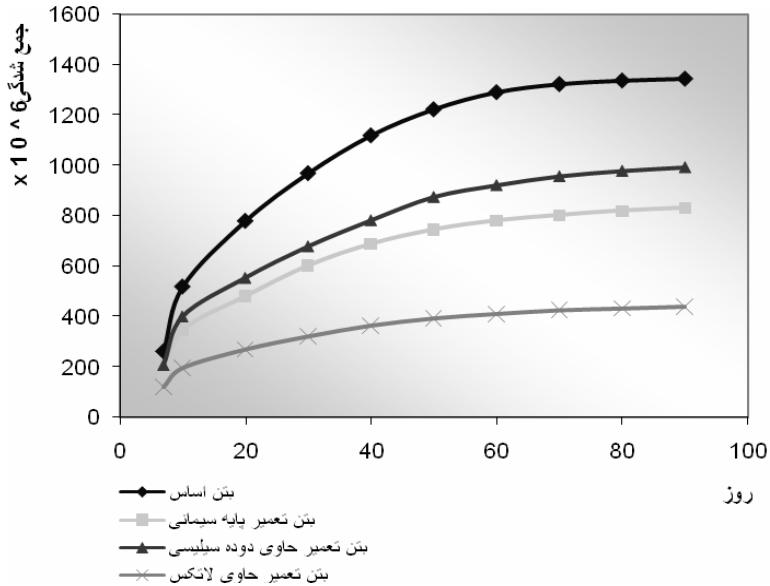
#### ۱-۳- مقاومت فشاری

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

برای اندازه گیری میزان شدت جریان و اختلاف پتانسیل از دستگاه مولتی متر استفاده شد، شکل (۶). در این آزمایش میلگرد بالا آند و میلگردهای پایین کاتد واقع می شوند [۱۲].

علاوه بر اختلاف پتانسیل و میزان شدت جریان الکتریکی، مقدار مقاومت الکتریکی نمونه ها نیز معرف پتانسیل بتهای 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 می شود. بدین منظور توسط دستگاه پتانسیومتر Galva Pulse مقاومت الکتریکی نمونه ها اندازه گیری شد، شکل (۷).

۴-۳-۲- 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



شکل ۸- نمودار جمع شدگی ناشی از خشک شدن نمونه بتهای اساس و تعمیر

اثر مثبت ناشی از مقاومت کششی مناسب ماده پلیمری و بهبود چسبینگی 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 بتهای تعمیر کمتر از بتن اساس است. از آنجایی که مقدار جمع شدگی اندازه‌گیری شده برابر مجموع جمع شدگی ناشی از خشک شدن 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 جمع شدگی به دلیل تبخیر آب اضافی مخلوط، ریز ترکهایی در خمیر ساخت شده پدید می‌آیند. لاتکسها از دو راه به کترول این ریز ترکها کمک می‌کنند. توسعه شبکه لاتکس با بستن و مسدود کردن منافذ و مسیرهای مویین، از مقدار و میزان جابه‌جایی و

درصد دوده سیلیسی باعث افزایش در مقاومت فشاری بتن تعمیر پایه سیمانی از طریق بهبود ریز ساختار خصوصاً 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 مدلول الاستیسیته کم این ماده قدری کاهش در مقاومت فشاری قابل انتظار است.

### ۲-۳- مقاومت کششی

مقادیر مقاومت کششی بتهای 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 بتهای تعمیر بیشتر از مقاومت کششی نمونه‌های بتن اساس  $3/53 \text{ MPa}$  است. کاربرد دوده سیلیسی به دلیل مشابه با آنچه برای مقاومت فشاری ذکر شد، باعث افزایش در مقاومت کششی بتن تعمیر پایه سیمانی شده است. کاربرد لاتکس پلیمری تاثیر قابل توجهی در مقاومت کششی بتن تعمیر پایه سیمانی نداشته است. این امر از یکسو به دلیل اثر منفی مدلول الاستیسیته کم ماده پلیمری (همانند آنچه برای مقاومت فشاری در فوق ذکر شد) و از سوی

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

| نوع بتن                      | مدول الاستیسیته (GPa) | ضریب انبساط گرمایی $10^{\circ}$ |
|------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| بتن اساس                     | ۲۴/۲                  | $7 \times 10^{-6}$              |
| بتن تعمیر پایه سیمانی        | ۲۸/۷                  | $8 \times 10^{-6}$              |
| بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی   | ۳۳                    | $9 \times 10^{-6}$              |
| بتن تعمیر اصلاح شده با لاتکس | ۲۳/۷                  | $12 \times 10^{-6}$             |

یعنی تعمیراتی که در تحمل بار مشارکت نمی‌کنند می‌توان از مصالح تعمیر با مدول الاستیسیته کمتر از 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 حالی که بتن تعمیر حاوی لاتکس دارای ضریب انبساط گرمایی بالاتری است. شایان ذکر است که به علت کاربرد در صد نسبتاً پایینی لاتکس پلیمری ضریب انبساط گرمایی کماکان در محدوده مورد انتظار از بتهای پایه سیمانی ( $6-13 \times 10^{-6}$ ) قرار دارد. وجود اختلاف زیاد مابین ضریب انبساط گرمایی بتن اساس و تعمیر امکان بروز تغییر شکلها و تشهای 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 بتهای تعمیر پایه پلیمری مقدار ضریب انبساط گرمایی  $1/5$  تا  $5$  برابر مقدار ضریب انبساط گرمایی بتن پایه سیمانی گزارش شده است [۱۳].

### ۳-۶- مقاومت اتصال

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

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 بتهای پایه سیمانی کاهش قابل ملاحظه‌ای را در جمع شدگی بتن حاوی لاتکس گزارش کرده‌اند [۷].

### ۴-۳- 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 پاییتر 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 تعییری در تحمل بارهای وارد 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 نهایتاً به خرابی مقطع منجر شود [۱ و ۹]. در تعمیرات غیر سازه‌ای-

جدول ۷ - مقاومت اتصال بتن تعمیر به بتن اساس

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

جدول ۸- ضریب جذب مویینه

| نوع بتن                    | S(mm/min <sup>0.5</sup> ) |
|----------------------------|---------------------------|
| بتن اساس                   | ۰/۲۹۸                     |
| بتن تعمیر پایه سیمانی      | ۰/۲۳۱                     |
| بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی | ۰/۱۸۴                     |
| بتن تعمیر حاوی لاتکس       | ۰/۱۷۴                     |

و بتن اساس می شود. تحت این سیستم اعمال بار، علاوه بر مقاومت اتصال در صفحه برش، سازگاری بین مدول الاستیستیه دو بتن نیز تاثیرگذار است. با توجه با اینکه مدول الاستیستیه 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 الاستیستیه بالاتری از بتن اساس اند) بوده است. این امر در نحوه شکست نمونه ها که طی آن نمونه های بتن تعمیری حاوی لاتکس حالت شکست فشاری داشته اند قابل مشاهده است.

### ۷-۳- آزمایشات دوام

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

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 مقاومتها 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 می شود. مکانیزم بهبود ساختار را می توان 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 توأم نیروهای فشاری و برشی روی صفحه مایل اتصال بتن تعمیری

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

| نوع بتن                    | اختلاف پتانسیل الکتریکی (mV) | شدت جریان ( $\mu$ A) | 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                    | ۲۸/۴                                  |
| بتن تعمیر حاوی لاتکس       | ۰/۲                          | ۲                    | ۸۸/۳۵                                 |

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  $88/35 k\Omega.cm$  بالاترین مقاومت در برابر نفوذ یون کلر را دارد. مقادیر حاصله برای بتن تعمیر حاوی دوده سیلیسی و بتن تعمیر کترل به ترتیب  $9/98 k\Omega.cm$  و  $38/4 k\Omega.cm$  بوده‌اند.

### ۳-۸- کترل 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 اندازه‌گیری شده در پایان یک دوره ۳ ماهه تحت خشک شدگی در شرایط محیطی آزمایشگاه در دمای  $23^{\circ}C$  و رطوبت نسبی  $45-55\%$  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 مقدار جمع شدگی ناشی از خشک شدن این بتن، مدول الاستیسیته نسبتاً 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

بتن تعمیری پایه سیمانی شده است. برخی مقادیر نمونه‌ای برای جذب آب مویینه بتن عبارت‌اند از:  $0.35 mm/min^{0.5}$  برای بتن با نسبت آب به سیمان  $0/6$  و  $0.2 mm/min^{0.5}$  برای بتن با نسبت آب به سیمان  $0/4$  [۱۱]. ذرات دوده سیلیسی به لحاظ واکنش پوزولانی و همچنین بهبود ریزاساختار 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.

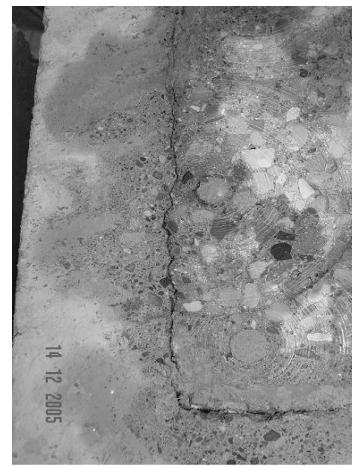
با مقایسه نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود که پس از یک دوره ۴ ماهه آرماتور موجود در نمونه بتن اساس با نرخ بالایی دچار خوردگی شده و با شدت  $60 A$  در حال خوردگه شدن است. در میان بتهای تعمیر آرماتور موجود در بتن تعمیر پایه سیمانی با شدت جریان  $A$   $30 m$  شروع به خوردگی کرده است. بتن تعمیر حاوی لاتکس بهترین عملکرد را با شدت جریان  $A$   $24 m$  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.



(ج) حاوی لاتکس



(ب) حاوی دوده سیلیسی



(الف) پایه سیمانی

شکل ۹- ترک خوردگی محل اتصال بتن تعمیر به بتن اساس

جدول ۱۰- عرض ترک در بتهای تعمیر

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

بهبود یافته است.

۲. کاربرد دوده سیلیسی باعث بهبود قابل توجه مشخصه های دوم شده و میزان جذب آب کاهش یافته است. مقاومت الکتریکی در مقایسه با بتن تعمیر پایه سیمانی به میزان قابل توجهی افزایش یافته و مقاومت 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 در مقاومت 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 الاستیستیتیه به میزان قابل توجهی (حدود ۲۰٪) کاهش یافت،

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

#### ۴- نتیجه گیری

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 الاستیستیتیه به میزان ۱۵ 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 آزمایش های 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

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 لاتکس SBR باعث بهبود قابل توجه در خواص مختلف بتنی تعمیری پایه سیمانی می‌شود. در انتخاب ماده مناسب بایستی شرایط و الزامات خاص در هر پروژه، نظری 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.

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 نسبتاً کمی (کمتر از ۱۰٪) در مقایسه با بتن تعمیر پایه سیمانی بهبود یافت. لیکن مقاومت برشی اتصال به بتن اساس به میزان قابل توجهی (حدود ۳۰٪) 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 ۱/۱ mm بوده است که به مرتب کمتر از مقدار اندازه گیری شده بر روی بتن تعمیری پایه سیمانی (۱/۱ mm) و حتی بتن تعمیری حاوی دوده سیلیسی (۰/۵ mm) بوده است.

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

## واژه نامه

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

- 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.