اثر استایرن اکریلات روی مشخصات مکانیکی ملات‌های ترمیمی و مقایسه شرایط عمل‌آوری

مجید نعمتی چاری[۱]، مهدی نعمتی چاری[۲]، محمد شکرچی‌زاده[۳]، محمدرضا رئیس‌محمدیان[۴]

۱. کارشناس ارشد انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران

۲. عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات راه و مسکن و شهرسازی*

۳. استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

۴. مدیرعامل شرکت آرینا پلیمر

* m.nemati@bhrc.ac.ir

چکیده

امروزه برای ترمیم سازه‌های بتنی نیازمند شناختی صحیح و متناسب از مصالح ترمیمی هستیم تا بتوان با استفاده از آن به یک تعمیر کارا و موثر دست یافت. لذا مصالح ترمیمی باید به نحوی انتخاب گردد تا ویژگی‌های مختلف از جمله: مدول الاستیسیته و سازگاری حرارتی ملات ترمیمی با بتن اصلی سازه، نزدیک به هم بوده باشد. در این میان یکی از این مصالحی که سازگاری حرارتی مناسبی با بتن اصلی سازه دارد، استفاده از لاتکس استایرن اکریلات (SA)[۱] در ملات ترمیمی پایه سیمانی می‌باشد. از اینرو در پژوهش حاضر، ملات ترمیمی با نسبت‌های مختلف لاتکس SA به مواد سیمانی (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) ساخته شد و مشخصات فیزیکی و مکانیکی آنها شامل چگالی و میزان روانی و مقاومت‌های فشاری، خمشی و کششی تحت دو شرایط عمل‌آوری، مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که اولین شرایط عمل‌آوری اینگونه بوده که بعد از درآوردن آزمونه‌ها از قالب، به مدت ۲۴ ساعت در آب، سپس در دما و رطوبت مشخص نگهداری شده‌اند (عمل‌آوری ترکیبی). دومین شرایط عمل‌آوری نیز بدین صورت بوده که بعد از درآوردن آزمونه‌ها از قالب، تا سن آزمایش در آب عمل‌آوری شده‌اند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مشخصات مکانیکی ملات اصلاح شده در شرایط عمل‌آوری ترکیبی به دلیل هیدراته شدن سیمان در سنین اولیه و سپس تشکیل فیلم پلیمری، نسبت به شرایط عمل‌آوری در آب، نتایج بهتری را در همه سنین، به دست می‌دهد. استفاده از لاتکس SA، باعث افزایش روانی و کاهش چگالی شده است. همچنین استفاده از لاتکس SA در ملات ترمیمی، موجب کاهش ۴۹ درصدی مقاومت فشاری در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۲۰ درصد تحت شرایط عمل‌آوری ترکیبی در سن ۲۸ روزه شده است؛ البته لاتکس SA، توانسته مقاومت خمشی و کششی را به ترتیب به میزان ۲۱ و ۱۹ درصد در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۱۰ درصد تحت شرایط عمل‌آوری ترکیبی در سن ۲۸ روز، افزایش دهد.

کلمات کلیدی: ملات ترمیمی، لاتکس، استایرن اکریلات، عمل‌آوری

۱- مقدمه

سازه‌های بتنی با توجه به شرایط محیطی که در آن قرار می‌گیرند دچار ضعف و بروز مشکلاتی خواهند شد. سازه‌های موجود در سواحل مناطق جنوبی کشور که در معرض جزر و مد، شوره‌زدگی و نفوذ یون کلر قرار دارند باعث خوردگی فولاد شده و از آن طریق موجب خرابی بتن و به مرور زمان باعث قلوه‌کن شدن بتن می‌گردند. همچنین از دیگر دلایلی که عمر سازه‌ها را کاهش می‌دهد می‌توان به واکنش‌های قلیایی، تهاجم سولفات و تهاجم اسید اشاره نمود. لازم به ذکر است گفته شود که خرابی ناشی از بتن در سازه، با کیفیت ساخت آن، روش اجرای آن و همچنین نگه‌داری بتن، ارتباط مستقیم دارد. برای ترمیم و تعمیر سازه‌های بتنی باید از مصالح ترمیمی مناسب استفاده کرد بطوریکه سازگاری مناسبی بین آنها و بتن اصلی سازه وجود داشته باشد [۱]. از میان مصالح ترمیمی، ملات ترمیمی اصلاح‌شده با لاتکس ضریب انبساط حرارتی نزدیکی به بتن پایه

[۱] Styrene Acrylate

دارد لذا احتمال جداشدگی ملات از بتن پایه را به حداقل می‌رساند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که چسبندگی ملات‌های پایه سیمانی اصلاح‌شده با لاتکس به بتن اصلی سازه بیشتر بوده و همچنین مقدار مقاومت کششی و خمشی بالاتر، جذب آب کمتر، دوام و قابلیت آب‌بندی نیز بالاتر است [۲]. از آنجایی که لاتکس‌ها حباب هوای زیادی در اثر اضافه شدن به ملات تولید می‌کنند؛ لذا در نسبت آب به سیمان برابر، با افزایش نسبت پلیمر به سیمان کارپذیری ملات‌های اصلاح شده با لاتکس نیز افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به عملکرد خود ذرات پلیمری، ملات‌های پایه سیمانی اصلاح‌شده با لاتکس، نسبت به ملات‌های سیمانی معمولی دارای کارپذیری بهتری هستند. تاتی‌اشیکا[۲] و همکارانش [۳]، با تعیین پتانسیل زتا و اسکن میکروسکوپی الکترون، اثبات کردند که ملات‌های اصلاح شده با لاتکس دارای افزایش روانی می‌باشند. طبق تحقیقات سو[۳] و همکاران [۴]، چگالی ملات اصلاح شده با لاتکس SA، با افزایش نسبت پلیمر به سیمان کاهش می‌یابد؛ که دلیل آن وجود مواد پراکنده در لاتکس‌ها است که می‌تواند حباب هوا را در خمیر سیمان قرار دهد. ملات‌های اصلاح شده با لاتکس در مقایسه با ملات‌های سیمانی معمولی، نه تنها بهبود چندانی را در مقاومت فشاری ایجاد نمی‌کنند بلکه تأثیر منفی نیز دارد این در حالی است که مقاومت خمشی و مقاومت کششی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهند. میشان[۴] و همکاران [۵]، با افزودن لاتکس در نسبت‌های پلیمر به سیمان، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد و کاهش نسبت آب به سیمان ملات‌های اصلاح شده با توجه به تابت نگه داشتن روانی، دریافتند که مقاومت فشاری ملات اصلاح‌شده در مقایسه با ملات سیمانی معمولی کاهش می‌یابد. شیان[۵] و زیوان[۶] [۶]، با انجام آزمایش روی ملات اصلاح‌شده با لاتکس دریافتند که مقاومت خمشی ملات اصلاح شده با لاتکس بیشتر از ملات معمولی است. همچنین مقاومت کششی نیز دارای افزایش قابل توجهی نسبت به ملات‌های معمولی می‌باشد. شیان و زیوان بهبود لایه مرزی بین سیمان و سنگدانه توسط ذرات لاتکس را باعث افزایش مقاومت کششی اعلام کردند. با توجه به عملکرد لاتکس SA در ملات‌های سیمانی، در این مطالعه سعی گردید تا ، اثر لاتکس SA، با درصدهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰، روی ملات ترمیمی در تحت دو نوع شرایط عمل‌آوری بررسی و با ملات شاهد مقایسه گردد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱-سیمان: از سیمان پرتلند نوع ۲ کارخانه سیمان آبیک مطابق با استاندارد ASTM C150 [۷] استفاده شد. وزن مخصوص سیمان، ۳/۱۱ و مشخصات شیمیایی آن مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی سیمان (درصد وزنی)

ترکیبات	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	LOI
سیمان نوع ۲ آبیک	۶۲/۱	۲۰/۸	۴/۷	۳/۸	۲/۴	۱/۹	۰/۰۸	۰/۰۳	۵۰	۲۳	۶	۱۲	۱/۲۰

۲-۱-۲- دوده سیلیس: دوده سیلیس مطابق با الزامات استاندارد ASTM C1240 [۸] بوده است. وزن مخصوص دوده سیلیس، ۲/۱۸ و مشخصات شیمیایی آن مطابق جدول ۲ می‌باشد.

[۲] Tateyashika
[۳] Z. Su
[۴] Meishan Pei
[۵] Shiyun
[۶] Zhiyuan

جدول ۲- آنالیز شیمیایی دوده سیلیس (درصد وزنی)

ترکیبات	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	LOI
دوده سیلیس	۳/۳	۸۸/۱	۱/۵	۰/۲	۰/۳	۰/۶	-	-	۱/۷۳

۲-۱-۳- سنگدانه‌های مصرفی

پ- ماسه: جنس ماسه از نوع سیلیسی بود؛ که دارای ۵/۲ درصد در محدوده ۰ تا ۱۲۰ میکرون و ۵۲/۱ درصد در محدوده ۱۲۰ تا ۵۰۰ میکرون و ۴۲/۷ درصد در محدوده ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میکرون می‌باشد.

ضمنا درصد ذرات رد شده از الک ۲۰۰، وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- وزن مخصوص، جذب آب و درصد ذرات ریزتر از الک شماره ۲۰۰ در مصالح سنگی

مصالح	وزن مخصوص در حالت خشک	وزن مخصوص در حالت *SSD*	وزن مخصوص ظاهری در حالت خشک	جذب آب (درصد)	درصد ذرات زیر الک شماره ۲۰۰
ماسه (۰ تا ۱۲۰ میکرون)	-	۲/۶۲	-	۲/۵	۴۵
ماسه (۱۲۰ تا ۵۰۰ میکرون)	-	۲/۶۱	-	۱/۴	۰
ماسه (۵۰۰ تا ۲۵۰۰ میکرون)	-	۲/۶۱	-	۱/۴	۰

۲-۱-۴-آب: آب مصرفی با الزامات استاندارد ASTM C1602 [۹] تطابق داشته است.

۲-۱-۵- مواد افزودنی: از یک پودر ترکیبی برای ساخت ملات ترمیمی استفاده شد؛ اجزای تشکیل‌دهنده این پودر شامل پودر آلومینیوم، جهت ایجاد انبساط اولیه، آهک هیدراته، جهت انبساط ثانویه، هیپو سولفیت سدیم، جهت تثبیت انبساط ایجاد شده و جلوگیری از جمع‌شدگی، ضدکف پودری، جهت خارج کردن حباب‌های درشت ناشی از اختلاط و نفتالین سولفونات جهت کاهش آب اختلاط، می‌باشد. وزن مخصوص این پودر برابر با ۱/۱ است.

۲-۱-۶- ماده پلیمری: از ماده پلیمری لاتکس با پایه شیمیایی استایرن اکریلات (SA) استفاده شده است.

۲-۲- طرح مخلوط ملات

۲-۲-۱- ملات: طرح‌های مخلوط ملات ترمیمی به گونه‌ای طراحی شد تا شامل درصدهای مختلف لاتکس باشد. درصدهای اضافه شدن لاتکس به طرح مخلوط به ترتیب، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی مواد سیمانی در نظر گرفته شد. همچنین نسبت آب به مواد سیمانی، برابر با ۰/۳۵ انتخاب شد. جزئیات طرح‌های مخلوط ملات در جدول ۴ ارائه شده است. در تمامی طرح‌ها مقدار مواد سیمانی، ماسه و افزودنی پودری، ثابت در نظر گرفته شد. در طرح‌های مخلوط، مقدار آب کل، ثابت است. تنها تفاوت طرح‌های مخلوط، مقدار اضافه نمودن لاتکس بود، که برای تنظیم آب، مقدار آب اولیه، اصلاح شد تا مقدار آب کل ثابت بماند. ضمناً اجزای تشکیل‌دهنده مصالح خشک برای ۱۱۵/۶ کیلوگرم در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- وزن اجزا در طرح مخلوط ملات ترمیمی به ازای ۱۱۵/۶ کیلوگرم (kg)

کد طرح مخلوط	مصالح خشک	وزن آب	درصد لاتکس	مقدار لاتکس	وزن آب + وزن آب موجود در لاتکس	نسبت آب به سیمان [(۱)]
SA0	۱۰۰	۱۵/۶	۰	۰	۱۵/۶	۰/۳۵
SA5	۱۰۰	۱۴/۶	۵	۲/۱	۱۵/۶	۰/۳۵
SA10	۱۰۰	۱۳/۵	۱۰	۴/۲	۱۵/۶	۰/۳۵
SA15	۱۰۰	۱۲/۵	۱۵	۶/۳	۱۵/۶	۰/۳۵
SA20	۱۰۰	۱۱/۴	۲۰	۸/۴	۱۵/۶	۰/۳۵

[(۱)] برای محاسبه نسبت آب به سیمان، مقدار آب لازم برای اشباع سنگدانه‌های خشک، از آب کل کم شده است.

جدول ۵- اجزاء تشکیل دهنده برای ۱۰۰ کیلوگرم مصالح خشک (kg)

سیمان	ماسه II	دوده سیلیس	افزودنی پودری
۳۹/۲	۵۷/۵۵	۳	۰/۲۵۰

۲-۳- شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها

برای مقایسه نوع عمل‌آوری در جهت بهبود مشخصات مکانیکی، دو نوع شرایط عمل‌آوری در نظر گرفته شد:

۱- **عمل‌آوری ترکیبی:** آزمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب، ۲۴ ساعت در آب با دمای ^{o}C ۲±۲۳ و سپس تا سن آزمایش در محیط آزمایشگاه، با دمای ^{o}C ۲±۲۳ و رطوبت نسبی ۱۰±۵۰ درصد، عمل‌آوری شدند

۲- **عمل‌آوری در آب:** آزمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در قالب، سپس تا زمان آزمایش در آب با دمای ^{o}C ۲±۲۳، عمل‌آوری شدند.

۳- برنامه آزمایش‌ها

۳-۱- آزمایش‌های مشخصات استایرن اکریلات

۳-۱-۱- تعیین درصد ماده جامد در استایرن اکریلات

درصد ماده جامد در استایرن اکریلات (SA)، مطابق با روش استاندارد ISO 124 [۱۰] تعیین شده است.

۳-۱-۲- وزن مخصوص استایرن اکریلات

وزن مخصوص SA، مطابق با روش استاندارد ASTM D1217 [۱۱] تعیین شده است.

۳-۲- آزمایش‌های ملات تازه

۳-۲-۱- چگالی ملات

چگالی ملات تازه، مطابق با روش استاندارد ASTM C138 [۱۲] تعیین شده است.

۳-۲-۲- تعیین روانی ملات سیمانی

روانی ملات سیمانی، مطابق با روش استاندارد ASTM C230 [۱۳] تعیین شده است.

۳-۳- آزمایش‌های ملات سخت‌شده

۳-۳-۱- مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری روی ۱۸ آزمونه مکعبی با ابعاد ۵۰ میلیمتر، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری، مطابق با روش استاندارد ASTM C109 [۱۴] انجام شد. برای انجام آزمایش هر طرح، در همه سنین از سه آزمونه استفاده شده است. نتایج مقاومت فشاری بر اساس متوسط نتایج سه آزمونه تعیین شد.

۳-۳-۲- مقاومت خمشی

آزمایش مقاومت خمشی روی ۱۸ آزمونه منشوری با ابعاد ۴۰ × ۴۰ × ۱۶۰ میلی‌متر، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری، مطابق با استاندارد ASTM C348 [۱۵] انجام گرفت. برای انجام آزمایش هر طرح، در همه سنین از سه آزمونه استفاده شده است. نتایج مقاومت خمشی بر اساس متوسط نتایج سه آزمونه مشخص گردید.

۳-۳-۳- مقاومت کششی

این آزمایش روی ۱۸ آزمونه بریکت، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری، مطابق با استاندارد ASTM C307 [۱۶] انجام گرفته است. برای انجام آزمایش هر طرح، در همه سنین از سه آزمونه استفاده شد. در نهایت نتایج مقاومت کششی بر اساس متوسط نتایج سه آزمونه تعیین گردید.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تعیین درصد جامد ماده پلیمری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده، درصد جامد لاتکس SA برابر با ۵۶/۷۱ بدست آمد.

۴-۲- چگالی ماده پلیمری

با توجه به آزمایش‌های انجام شده، چگالی لاتکس SA، برابر با $1/065\ g/cm^3$ بدست آمد.

۴-۳- چگالی ملات

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۶، چگالی ملات تازه اصلاح‌شده با لاتکس با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی، بصورت جزئی افزایش می‌یابد؛ اما در مجموع چگالی ملات معمولی بیشتر از ملات اصلاح‌شده با لاتکس است. کمتر بودن چگالی ملات اصلاح‌شده نسبت به ملات معمولی، به علت حباب‌زایی لاتکس می‌باشد. نکته قابل ذکر، آن است که با افزایش درصد لاتکس، حباب‌زایی تقریباً ثابت است، بنابراین تغییر چندانی در چگالی مشاهده نمی‌شود.

جدول ۶- چگالی ملات معمولی و ملات اصلاح شده با لاتکس

نوع ملات	درصد لاتکس	چگالی (kg/m^3)
ملات معمولی	۰	۲۱۲۸
ملات اصلاح‌شده با SAC	۵	۱۹۷۰
	۱۰	۱۹۷۰
	۱۵	۱۹۷۰
	۲۰	۲۰۰۰

۴-۴- تعیین روانی ملات سیمانی

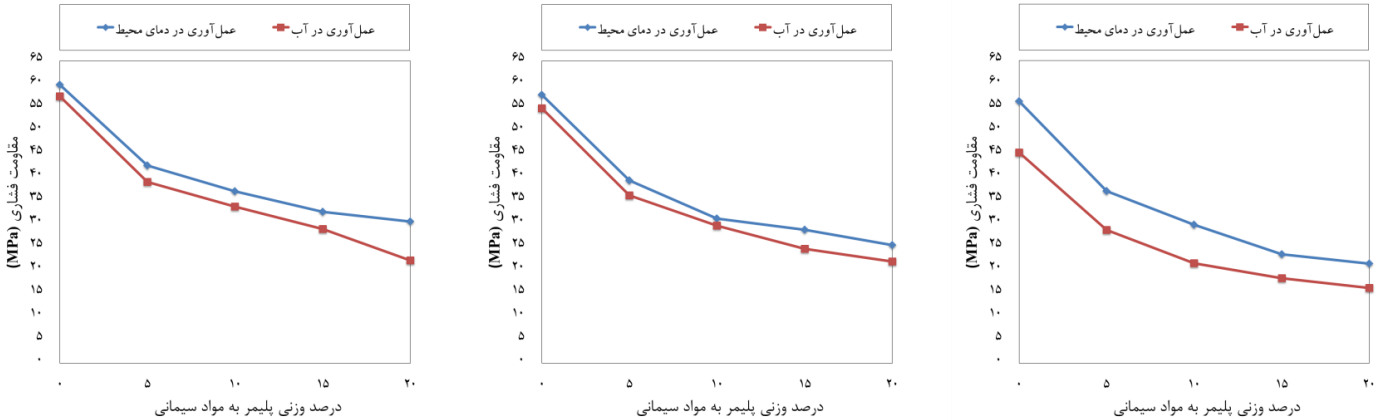
همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌گردد، با افزایش درصد لاتکس، میزان روانی افزایش می‌یابد؛ که این افزایش به اندازه‌ای نیست که قابلیت اجرای آن روی سطح بتن از بین رود. بر اساس تحقیقات محققان، میزان روانی با توجه به کروی بودن مولکول‌های لاتکس افزایش می‌یابد [۱۷].

جدول ۷- تعیین روانی ملات معمولی و ملات اصلاح شده با لاتکس

نوع ملات	درصد	قطر پخش‌شدگی (cm)
ملات معمولی	۰	۱۹/۰ ×۱۹/۰
ملات اصلاح شده با SA	۵	۱۵/۰ × ۱۵/۰
	۱۰	۱۵/۸ × ۱۶/۲
	۱۵	۱۶/۶ × ۱۷/۰
	۲۰	۱۹/۵ × ۲۰/۰

۴-۵- مقاومت فشاری

نتایج مربوط به مقاومت فشاری ملات اصلاح‌شده با لاتکس با نسبت‌های مختلف پلیمر به مواد سیمانی، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری در شکل ۱ نشان داده شده است.



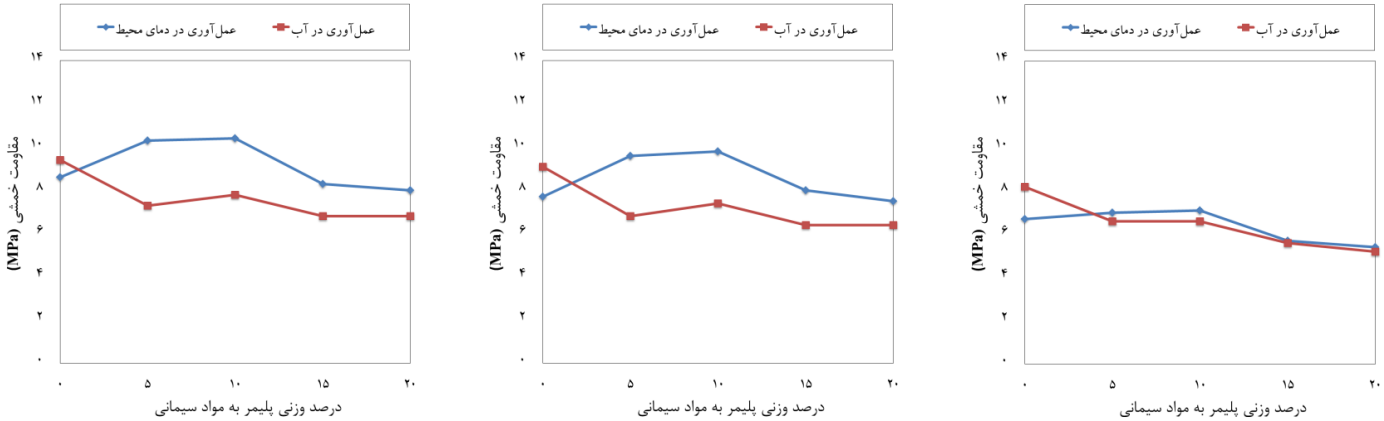
الف- مقاومت فشاری ۷ روزه ب- مقاومت فشاری ۱۴ روزه ج- مقاومت فشاری ۲۸ روزه

شکل ۱- مقاوت فشاری ملات اصلاح‌شده با لاتکس با نسبت‌های مختلف پلیمر به مواد سیمانی

با توجه به نتایج بدست آمده، کلیه طرح‌های حاوی لاتکس در همه سنین، مقاومت فشاری کمتر از ملات معمولی داشتند. بیشترین مقدار مقاومت فشاری ملات معمولی در سن ۲۸ روز برابر ۵۹/۹ MPa بدست آمد. مقاومت فشاری ملات اصلاح شده با لاتکس SA با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی، کاهش می‌یابد، بطوریکه مقاومت فشاری ملات اصلاح‌شده با لاتکس SA، در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۲۰ درصد، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۶۵ و ۰/۷۲ برابر مقاومت فشاری ملات اصلاح‌شده در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۵ درصد، بدست آمد. این کاهش مقاومت به دلیل حباب‌زایی خود لاتکس می‌باشد. همچنین تحقیقات وانگ و همکارانش [۱۸]، نیز نشان داد که مقاومت فشاری در عمل‌آوری ترکیبی (چند روز در آب و سپس در محیط خارج از آب، با دما و رطوبت مشخص) نسبت به عمل‌آوری در آب، بیشتر می‌باشد؛ که این افزایش ناشی از هیدراته شدن سیمان در آب در سنین اولیه، سپس تشکیل فیلم‌های پلیمری در محیط خارج از آب در طولانی مدت می‌باشد. افزایش مقاومت با افزایش دوره عمل‌آوری، مطابق با نتایج خامپوتا و سویرو [۱۹]، علی و همکاران [۲۰] و همچنین اهاما [۲۱]، روندی صعودی دارد؛ که دلیل آن کامل هیدراته‌شدن سیمان می‌باشد.

۴-۶- مقاومت خمشی

نتایج مربوط به مقاومت خمشی ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت‌های مختلف پلیمر به مواد سیمانی، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری در شکل ۲ نشان داده شده است.



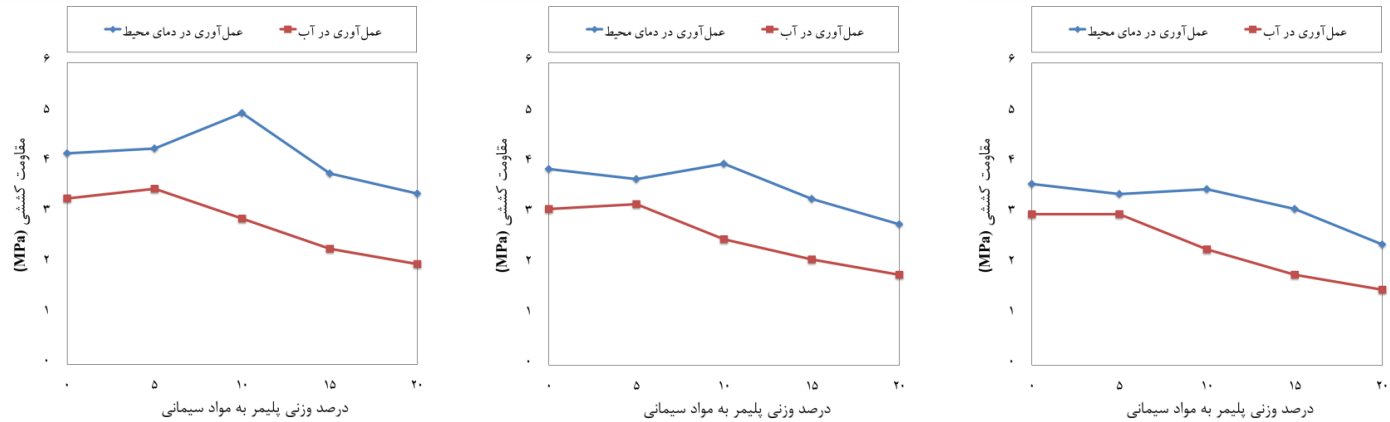
الف- مقاومت خمشی ۷ روزه ب- مقاومت خمشی ۱۴ روزه ج- مقاومت خمشی ۲۸ روزه

شکل ۲- مقاوت خمشی ملات اصلاح‌شده با لاتکس با نسبت‌های مختلف پلیمر به مواد سیمانی

نتایج بدست آمده، حاکی از آن است که مقاومت خمشی ملات اصلاح‌شده تحت عمل‌آوری ترکیبی، در نسبت‌های پلیمر به مواد سیمانی، ۵ و ۱۰ درصد، بیشتر از ملات معمولی می‌باشد. مقاومت خمشی ملات معمولی تحت عمل‌آوری ترکیبی، در سن ۲۸ روز برابر با ۸/۶ MPa بدست آمد این در حالی است که مقاومت خمشی ملات اصلاح شده با لاتکس تحت همین عمل‌آوری، در همه سنین، از ۰ تا ۱۰ درصد، با افزایش و از ۱۰ تا ۲۰ درصد با کاهش رو به رو شد؛ کاهش مقاومت خمشی را می‌توان به افزایش تولید حباب هوا با توجه به افزایش مقدار لاتکس مصرفی در ملات نسبت داد. زیرا نتایج نشان می‌دهد حباب هوا در نسبت پلیمر به مواد سیمانی بالاتر از ۱۰ درصد، بر چسبندگی لاتکس غلبه کرده و باعث کاهش مقاومت گردید. همانطور که انتظار می‌رفت نتایج مقاومت خمشی تحت عمل‌آوری در شرایط ترکیبی بیشتر از عمل‌آوری در آب بدست آمد. دلیل آن نیز کامل شدن تشکیل فیلم پلیمری در خارج از آب است [۲۲].

۴-۷- مقاومت کششی

نتایج مربوط به مقاومت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس با نسبت‌های مختلف پلیمر به مواد سیمانی، در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه تحت شرایط دو نوع عمل‌آوری در شکل ۳ نشان داده شده است.



الف- مقاومت کششی ۷ روزه ب- مقاومت کششی ۱۴ روزه ج- مقاومت کششی ۲۸ روزه

شکل ۳- مقاوت کششی ملات اصلاح‌شده با لاتکس با نسبت‌های مختلف پلیمر به مواد سیمانی

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌گردد مقاومت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس تحت عمل‌آوری ترکیبی بیشتر از مقاومت کششی تحت عمل‌آوری در آب می‌باشد. عمل‌آوری در شرایط ترکیبی نه تنها با تشکیل فیلم پلیمری، بلکه از خروج آب از ملات ممانعت می‌کند؛ بنابراین سیمان تحت چنین شرایطی کامل‌تر هیدراته می‌شود و موجب بهبود در مقاومت کششی می‌گردد [۲۳]. مقاومت کششی ملات اصلاح شده با لاتکس تحت عمل‌آوری ترکیبی در سن ۷ روزه در همه نسبت‌های پلیمر به مواد سیمانی کمتر از ملات معمولی می‌باشد؛ اما افزایش دوره عمل‌آوری سبب بهبود مقاومت کششی شده به طوری که در نسبت پلیمر به مواد سیمانی ۱۰ درصد، در سنین ۱۴ و ۲۸ روزه، مقاومت کششی بیشتر از ملات معمولی بدست آمده است. همچنین با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی از ۱۰ تا ۲۰ درصد، به دلیل افزایش تولید حباب هوا سبب کاهش مقاومت گردید. در مجموع افزایش مقدار پلیمر و یا نسبت پلیمر به مواد سیمانی، منجر به افزایش مقاومت کششی می‌شود ولی باید به این نکته توجه داشت که حباب هوای بیش از حد و اضافه کردن پلیمر، موجب ناپیوستگی ساختار شبکه یکپارچه شکل گرفته شده می‌شود که این امر باعث کاهش مقاومت کششی می‌گردد [۲۴]. لذا لاتکس SA دارای یک درصد بهینه مشخص هستند که با اضافه نمودن آن به ملات، باعث بهبود در مقاومت کششی خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته، نتایج زیر اخذ شده است.

- استفاده از لاتکس SA باعث افزایش کارایی ملات ترمیمی می‌گردد.
- مشخصات مکانیکی ملات اصلاح شده در شرایط عمل‌آوری ترکیبی به دلیل هیدراته شدن سیمان در سنین اولیه و سپس تشکیل فیلم پلیمری، نسبت به شرایط عمل‌آوری در آب، نتایج بهتری را در همه سنین، به دست داده است.
- با مصرف لاتکس SA در ملات ترمیمی، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد؛ بطوریکه با افزایش نسبت پلیمر به مواد سیمانی، این کاهش مقاومت بیشتر می‌گردد.
- استفاده از لاتکس SA در ملات ترمیمی، به میزان ۱۰ درصد وزن مواد سیمانی، موجب بهبود در مقاومت خمشی شده است؛ لازم به ذکر است گفته شود با مصرف لاتکس SA، بیشتر از ۱۰ درصد ورن مواد سیمانی، به دلیل تولید حباب هوای زیاد سبب کاهش مقاومت خمشی می‌گردد.
- مقاومت کششی نیز همانند مقاومت خمشی، با مصرف ۱۰ درصد وزن مواد سیمانی، موجب بهبود در مقاومت کششی شده است.

۶- قدردانی

فعالیت آزمایشگاهی ارائه شده در این مقاله در انستیتو مصالح ساختمانی دانشگاه تهران انجام شده است که بدینوسیله از پرسنل آن مجموعه، قدردانی می‌گردد. همچنین از مدیریت شرکت همگرایان تولید (کپکو) و شرکت آرینا پلیمر نیز تشکر دارم که با حمایت‌های خود، موجبات پیشبرد آزمایش‌های مقاله حاضر را فراهم نمودند.

مراجع

[۱] قدوسی، پ. (۱۳۸۰). "تعمیر سازه‌های بتنی (مصالح و روش‌ها) ". شهر و سازه، تهران.

[۲] انجمن بتن ایران. (۱۳۹۳). " کاربرد افزودنی‌های شیمیایی در بتن". یزدا، تهران.

[3] Tateyashiki, H., Inoue, T., and Yokoe, S. (1993),The 47th Annual Meeting of JCA, Extended Abstracts, pp. 224-229, Japan Cement Association, Tokyo.

[4] Z. Su, J.M.J.M. Bijen and J.A.Larbi. (1991) "Influence od Polymer Modification on the Hydration Portland Cement". Cement and Concrete Research, Vol. 21, pp. 242–250.

[5] Meishan P., Wanki K., Wongil H., Aaron J. A., Yangseob S., "Effects of emulsifiers on properties of poly(styrene–butyl acrylate) latex-modified mortars", Cement And Concrete Research, Pages 837-841, 2002.

[6] Shiyun, Z., Zhiyuan, C. (2002). "Properties of latex blends and its modified cement mortars", Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1515–1524.

[7] ASTM C150 (2012). Standard Specification for Portland Cement.

[8] ASTM C1240 (2010). Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures.

[9] ASTM C1602 (2006). Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.

[10] ISO 124 (2008), Latex, rubber - Determination of total solids content.

[11] ASTM D1217 (2003). Standard Test Method for Density and Relative Density (Specific Gravity) of Liquids by Bingham Pycnometer.

[12] ASTM C138 (2012). Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete.

[13] ASTM C230 (2003). Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.

[14] ASTM C109 (2008). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).

[15] ASTM C348 (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars.

[16] ASTM C307 (2003). Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacings.

[۱۷] مهتا، پ.ک.، مونته ئیرو، د.ج.م. (۱۳۸۳). "ریز ساختار، خواص و اجزای بتن". ترجمه رمضانیانپور، ع.ا.، قدوسی، پ.، گنجیان، ا.، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

[18] Wang R., Pei-Ming W., Xin-Gui L., "Physical and mechanical properties of styrene–butadiene rubber emulsion modified cement mortars", Cement And Concrete Research, Pages 900-906, 2005.

[19] Khamputa, P., Suweero, K. (2011). "Properties of Mortar Mixing with Medium Ammonia Concentrated Latex". Energy Procedia, Vol. 9, pp. 559-567.

[20] Ahmed, S.A., Hawraa, S.J., Inas, S.M. (2012). "Improvement the Properties of Cement Mortar by Using Styrene Butadiene Rubber Polymer". Engineering and Development, Vol. 16(3), pp. 61-72.

[21] Ohama, Y. (1995). "Polymer Modified Concrete Mortars- Properties and Process Technology". Noyes, United States of America.

[22] ACI 212.3R (2004). Chemical Admixtures for Concrete, Reported by ACI Committee 212.

۲۳- میندس و همکاران، "بتن"، ترجمه محمد شکرچی‌زاده، پرویز قدوسی، علی اکبر رمضانیانپور، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.

[24] Afridi, M.U.K., Ohama, Y., Zafar Iqbal, M., Demura, K. (1995). "Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars". Cement And Concrete Composites, Vol. 17, pp. 113-118.