

Mechanical Properties and Shrinkage of Cement Mortars Modified by Latex Styrene Acrylic and Polyvinyl Alcohol

AmirAbbas Rahmati¹, Leyla Adelzade Saadabadi^{2*} , Meysam bayat³, Hossein abbastabar Ahangar⁴

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
3. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.
4. Associate Professor, Department of chemistry, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

Abstract

The brittle nature of cementitious materials leads to the formation of cracks and damage in concrete structures, highlighting the necessity of using materials that can prevent the initiation and propagation of shrinkage-induced cracks while enhancing the mechanical properties of cement mortars. This study examines the shrinkage and mechanical properties of cement mortars modified with polyvinyl alcohol (PVA) and styrene-acrylic latex (LSA). To this end, a standard cement-based mortar was prepared using 400 kilograms of cement with a sand-to-cement weight ratio of 3. The cement-based mortar was modified by incorporating LSA at dosages of 5%, 10%, 15%, and 20%, in two groups: one with and one without the addition of 2% PVA. Following this, tests for compressive strength, flexural strength, abrasion resistance, and shrinkage were conducted on the samples. To assess the surface adhesion of the mortars, a surface tensile test was performed. The results indicated that the addition of 10% LSA resulted in a 25% increase in the compressive strength of the mortars without PVA compared to the base mortar. The inclusion of PVA in all mortars containing LSA led to a reduction in compressive strength. The flexural strength of the mortars with 2% PVA and 10% LSA increased by 29% compared to the base mortar. Abrasion resistance decreased by 11% with the addition of 10% LSA to the base mortar, and by 5% in the samples containing 10% LSA when 2% PVA was added. In summary, the addition of LSA reduced shrinkage, while the inclusion of PVA increased it. Adding LSA up to 10% improved surface tensile strength, whereas the addition of PVA resulted in a decrease in this property.

Review History

Received: Aug 27, 2024

Revised: Jan 21, 2025

Accepted: Oct 18, 2024

Keywords

Polymer modified mortar

LSA

PVA

abrasion resistance

shrinkage

surface tension

* Corresponding Author Email: leyla_adelzade@iau.ac.ir - ORCID: 0000-0002-9152-1340



Copyright © 2025, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مشخصات مکانیکی و جمع‌شدگی ملات‌های سیمانی اصلاح شده با لاتکس استایرن - اکریلیک و پلی وینیل الکل

امیرعباس رحمتی^۱، لیلا عادل زاده سعد آبادی^{۲*}، میثم بیات^۳، حسین عباس تبار آهنگر^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
۲. استادیار، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
۳. دانشیار، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
۴. دانشیار، گروه شیمی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران؛ مرکز تحقیقات محیط زیست انسانی و توسعه پایدار، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

چکیده

تاریخچه داوری

ماهیت شکننده مواد سیمانی منجر به تشکیل ترک و آسیب به سازه‌های بتنی می‌شود و استفاده از موادی که بتواند از ایجاد و انتشار ترک ناشی از جمع‌شدگی جلوگیری نموده و مشخصات مکانیکی ملات‌های سیمانی را بهبود بخشد ضروری است. در تحقیق حاضر جمع‌شدگی و مشخصات مکانیکی ملات‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمرهای پلی وینیل الکل (PVA) و لاتکس استایرن اکریلیک (LSA) بررسی شده است. بدین لحاظ ملات سیمانی پایه استاندارد با ۴۰۰ کیلوگرم سیمان و نسبت وزنی ماسه به سیمان ۳ ساخته شد. ملات سیمانی پایه با افزودن LSA (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) در دو گروه با و بدون افزودن ۲ درصد PVA اصلاح شد. سپس آزمایش‌های مقاومت فشاری، خمشی، سایشی و جمع‌شدگی روی نمونه‌ها انجام گرفت. به منظور بررسی چسبندگی سطحی ملات‌ها، آزمایش کشش از سطح انجام شد. نتایج نشان داد افزودن ۱۰٪ LSA باعث افزایش ۲۵ درصدی مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی بدون PVA نسبت به ملات پایه می‌شود. افزودن PVA در همه ملات‌های حاوی LSA، موجب کاهش مقاومت فشاری می‌گردد. مقاومت خمشی ملات‌های حاوی ۲٪ PVA با افزودن ۱۰٪ LSA، نسبت به ملات پایه ۲۹٪ افزایش می‌یابد. میزان سایش با افزودن ۱۰٪ LSA به ملات پایه ۱۱٪ و با افزودن ۲٪ PVA به نمونه‌های حاوی ۱۰٪ LSA، ۵٪ کاهش می‌یابد. به طور کلی افزودن LSA باعث کاهش جمع‌شدگی و افزودن PVA باعث افزایش جمع‌شدگی شد. افزودن LSA تا ۱۰٪ باعث افزایش و افزودن PVA باعث کاهش مقاومت کشش از سطح می‌شود.

کلمات کلیدی

ملات اصلاح شده پلیمری

PVA, LSA

مقاومت سایشی

جمع‌شدگی

کشش از سطح

۱- مقدمه

مانند مقاومت سایشی پایین [1]، چسبندگی کم [2]، مقاومت کششی ناچیز [3] و مقاومت فشاری کم [4]، تقاضا برای اصلاح و استفاده از مواد جایگزین سیمان را افزایش داده است. در این راستا افزودن مواد پلیمری به عنوان یک گزینه برای بهبود خواص ملات

کاربرد ملات‌های سیمانی در ساخت و ساز شامل چسباندن، بندکشی، بستن درزها و تعمیرات انواع سازه‌های بتنی است. باتوجه به طیف گسترده مصارف ملات‌های سیمانی نقاط ضعفی

* رایانامه نویسنده مسئول: leyla_adelzade@iauo.ac.ir - ORCID: 0000-0002-9152-1340

کپی‌رایت © ۲۰۲۵، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله به صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>). بر اساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.



بررسی شده است. اما کاربرد این لاتکس‌ها در چسباننده‌های سه تایی همراه با سیمان و پلیمرهای دیگر، نیاز به بررسی دارد تا در کنار بهبود خواص، پایداری زیست محیطی را به دنبال داشته باشند. در دو دهه اخیر به دلیل مسائل زیست محیطی توجه روز افزونی به پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر معطوف شده است. از طرفی تجمع بسیار زیاد مواد پلیمری در طبیعت و عدم تخریب و عدم امکان جذب اغلب پلیمرها در شرایط محیط زیست، معضلات زیست محیطی را به وجود آورده است. تلاش برای حل این معضل، تهیه و استفاده از پلیمرهای زیست تخریب‌پذیر را بیشتر کرده است. PVA یکی از نادرترین پلیمرهای محلول در آب است که قابلیت زیست تخریب شدن کامل در مجاورت میکروارگانیسم‌های مناسب را دارد [8]. PVA یک پلیمر مصنوعی است که از پلی‌وینیل استات در فرآیند هیدروکسیلی شدن جزئی یا کامل مشتق شده است. این پلیمر زیست سازگار با طبیعت، محلول در آب و دارای مقاومت در محیط‌های شیمیایی است [9].

کارادیلز و همکاران [10] به بررسی مقاومت خمشی بتن غلتکی و ملات اصلاح شده با پلی وینیل الکل و استایرن بوتادین لاستیک پرداخته‌اند. خمیر سیمان اصلاح شده توسط استایرن بوتادین لاستیک با درصدهای ۵٪ و ۱۰٪ و خمیرسیمان اصلاح شده توسط پلی وینیل کلرید با درصدهای ۱٪، ۲٪ و ۳٪ مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با افزودن استایرن بوتادین، مشخصات مکانیکی بهبود نداشته است ولی در ملات‌های حاوی ۲ درصد پلی وینیل الکل، بهبود مقاومت فشاری و خمشی مشاهده می‌شود.

گروگیس و همکاران [11] آثار استفاده نسبت پلیمر به سیمان و نسبت آب به سیمان بر مقاومت خمشی ملات سیمانی اصلاح شده با PVA را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین مقاومت خمشی زمانی به دست آمد که نسبت آب به سیمان ۰/۳۰ و نسبت پلیمر به سیمان ۱/۶ درصد باشد. مقاومت خمشی مخلوط بهینه، ۲ برابر مقاومت خمشی ملات اصلاح شده بود.

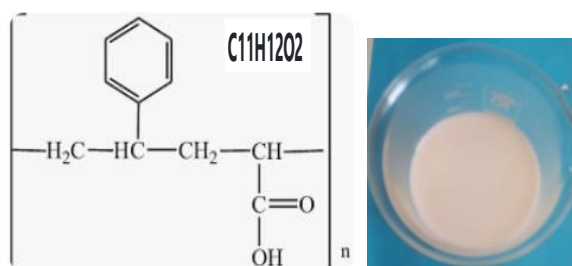
کیم و همکاران [15, 16] و همچنین اله وردی و همکاران [12] به این نتیجه رسیدند که PVA تمایل ذرات سیمان به سفت شدن را کاهش داده و باعث کاهش جمع شدگی می‌شود. این خواص در ترکیب حدود ۲ درصد PVA با ملات سیمانی گزارش شده است.

ها مورد توجه قرار گرفته است. ملات اصلاح شده پلیمری به نوعی از ملات اطلاق می‌شود که چسباننده آن سیمان است اما به منظور بهبود برخی از خواص آن از مواد پلیمری به عنوان اصلاح کننده استفاده می‌شود [5].

از جمله کاربردهای این ملات می‌توان به ملات پوششی سازه‌های فولادی، ملات تعمیر سازه‌های بتنی و همچنین روسازی‌های بتنی از قبیل کف فرودگاه‌ها، پارکینگ‌ها و کف‌های صنعتی اشاره نمود. یکی از پلیمرهای مورد استفاده برای اصلاح مشخصات ترکیبات سیمانی، لاتکس است. لاتکس از یک سیستم کلوئیدی و دو فازی، متشکل از یک فاز جامد پراکنده در یک فاز مایع یا محیط پراکندگی تشکیل شده است. پایداری ذرات پلیمری لاتکس در فاز مایع به حضور موادی با سطح فعال مانند پایدار کننده امولسیون و لایه‌ای از آب روی سطح ذره پلیمری مربوط می‌شود. این لایه آبی باعث می‌شود که ذرات پلیمری آزادانه در فاز مایع حرکت کنند. بدین ترتیب سیستم دوفازی پایدار می‌ماند [6]. ۵۰ درصد وزنی یک لاتکس، ذرات کروی و بسیار کوچک پلیمری، به قطر ۰/۱ تا ۱ میکرون است که با استفاده از مواد فعال کننده سطحی، به صورت سوسپانسیون در آب بوجود آمده‌اند. وجود عناصر فعال کننده سطحی در لاتکس تمایل به ایجاد مقدار زیادی حباب هوا در ملات دارند [7]. تحقیقات مختلف نشان داده است که استفاده از لاتکس‌ها در مخلوط‌های سیمانی باعث بهبود خواصی مانند مقاومت خمشی، انعطاف پذیری و دوام می‌شود [8-11].

دلیل بهبود در مشخصات مکانیکی و دوام، تشکیل لایه‌های پلیمری منعطف و همگن پس از هیدراسیون [12] و همچنین ایجاد یک ماتریس پلیمر - سیمان بیان شده است که ریز ساختار را اصلاح می‌کند و تخلخل کامپوزیت‌های پایه سیمان را کاهش می‌دهد [13, 14]. مخلوط‌هایی سیمانی که با لاتکس‌های اکریلیکی ترکیب شوند چسبندگی، انسجام و نگهداری بیشتری از آب در مخلوط دارند. پلیمر لاتکس در شرایط مرطوب دائمی، پایدار و غیرقابل تجزیه است. چسبندگی روی سطوح با تخلخل بسیار پایین و همچنین ایجاد خاصیت جذب بسیار بالا بین ملات قدیم و جدید از جمله ویژگی‌های ملات اصلاح شده با پلیمر لاتکس اکریلیکی می‌باشد [2].

خواص لاتکس‌های اکریلیکی در بتن‌های اصلاح شده پلیمری



شکل ۳. تصویر ظاهری و شکل شماتیک شیمیایی LSA

Fig. 3. Appearance and schematic chemical formula of Latex Styrene Acrylic

در این تحقیق میزان جمع‌شدگی و مشخصات مکانیکی ملات‌های سیمانی اصلاح شده با پلیمرهای PVA و LSA بررسی می‌شود. ملات سیمانی پایه با افزودن LSA به مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در دو گروه با و بدون افزودن ۲ درصد PVA اصلاح و سپس آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، مقاومت سایشی، مقاومت کشش از سطح و میزان جمع‌شدگی روی نمونه‌ها انجام می‌شود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح و مواد مصرفی

در تحقیق حاضر به منظور ساخت ملات‌های سیمانی و سیمانی اصلاح شده با LSA و PVA، از سیمان پرتلند نوع دو استفاده شد که مشخصات آن در جدول (۱) ارائه شده است. ماسه مصرفی در ساخت ملات‌ها از نوع شکسته طبیعی دارای جذب آب ۱/۳٪، مدول نرمی ۳/۴۶ و وزن مخصوص 2680 kg/m^3 از محدوده شهر اصفهان است. دانه‌بندی ماسه مصرفی در شکل (۱) مشاهده می‌شود.

مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد پلیمری مورد تحقیق شامل LSA و PVA در جدول (۲) ارائه شده است. شکل ظاهری و فرمول شیمیایی شماتیک پلیمرهای مورد استفاده در شکل (۲ و ۳) قابل مشاهده است.

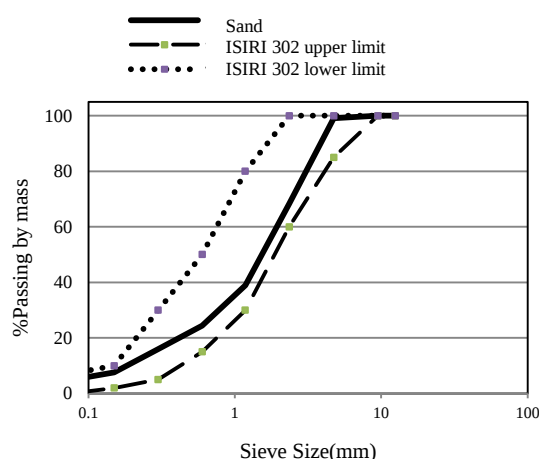
۲-۲- نسبت‌های مخلوط

در این پژوهش به منظور بررسی اثر استفاده از LSA و PVA در درصدهای مختلف از ۱۰ نسبت مخلوط ملات استفاده شده است. براساس مطالعات گذشته و بررسی میزان بهینه استفاده از هریک از پلیمرها به ویژه نتایج درج شده در جدول (۳) و آزمایشات اولیه انجام شده، همه ملات‌ها حاوی 400 Kg/m^3 مواد

جدول ۱. مشخصات سیمان تیپ ۲

Table 1. Chemical and physical properties of cement type 2

Chemical compound		Physical properties	
SiO ₂	21.36%	specific weight	3150 kg/m ³
Al ₂ O ₃	4.64%	Blaine fineness	3350 cm ² /g
Fe ₂ O ₃	3.4%	compressive strength (7 days)	370 kg/cm ²
CaO	63.61%	compressive strength (28 days)	480 kg/cm ²
MgO	2.09%		
Na ₂ O + K ₂ O	-		
SO ₃	2.24%		
LOI	1.9%		



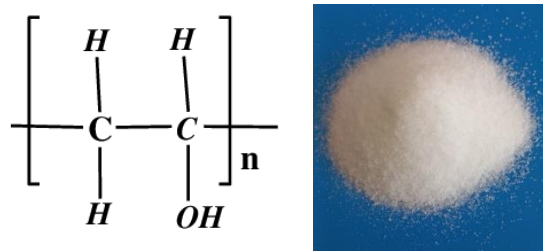
شکل ۱. دانه بندی ماسه مصرفی در ساخت ملات‌ها

Fig. 1. Fine aggregate distribution curve

جدول ۲. مشخصات LSA و PVA

Table 2. Properties of latex styrene acrylic and polyvinyl alcohol

Polymer name	Latex Styrene-acrylic (LSA)	Polyvinyl alcohol(PVA)
Chemical formula	C11H12O2	C2H4O
Melting point	210	200 °C
Boiling point	220	228 °C
Density	1.2	1.19g/cm ³
Flash point	-	79/44°C
Water Solubility	Soluble	soluble



شکل ۲. تصویر ظاهری و شکل شماتیک شیمیایی پلی‌وینیل الکل [۲۴]

Fig. 2. Appearance and schematic chemical formula of Polyvinyl Alcohol

جدول ۳. نسبت‌های مخلوط ملات

Table 3. Mortar mix proportions

No.	PVA (Weight Percentage of Cement)	LSA (Weight Percentage of Cement)	Cement (kg/m ³)
M0	0	0	400
M-L5	0	5	
M-L10	0	10	
M-L15	0	15	
M-L20	0	20	
M-V2	2	0	
M-L5-V2	2	5	
M-L10-V2	2	10	
M-L15-V2	2	15	
M-L20-V2	2	20	



شکل ۴. دستگاه اندازه گیری جمع شدگی
Fig. 4. Shrinkage measuring device



شکل ۵. پیکربندی آزمایش کشش از سطح
Fig. 5. Pull off test set-up

الکل اضافه شد. نسبت‌های مخلوط به روش استاندارد ASTM C109 با روش وزنی بدست آمده است.

۲-۳- آزمایش‌های ملات

آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد ASTM C109 روی نمونه‌های مکعبی ۵۰ میلی متری و مقاومت خمشی مطابق آیین‌نامه ASTM C-348 روی نمونه‌هایی با ابعاد ۱۶۰×۴۰×۴۰ میلی‌متر پس از ۷ و ۲۸ روز عمل آوری در آب انجام شد. نتایج مقاومت خمشی و فشاری بر اساس اندازه گیری میانگین نتایج سه آزمونه مشخص شد. آزمایش جمع‌شدگی بر اساس استاندارد ASTM C-596 روی نمونه‌های مکعبی ۴۰×۴۰×۲۶۰ میلی‌متر انجام شد. قرائت‌ها در سنین ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه توسط گیج مخصوصی که دارای دقتی معادل ۲ میکرومتر است، انجام شد. گیج اندازه‌گیری جمع‌شدگی در شکل (۴) ارائه شده است.

مقاومت سایشی مطابق با استاندارد BS EN 1338 تعیین شد. همچنین به منظور بررسی چسبندگی ملات‌های مورد تحقیق، پیکربندی آزمایش کشش از سطح مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا یک استوانه فلزی به وسیله چسب به سطح چسبانده شد. پس از خشک شدن چسب، این استوانه فلزی توسط یک جک مخصوص تا گسیختگی کشیده می‌شود. مقدار نیروی کششی که لازم است بر استوانه فولادی اعمال شود تا صفحه همراه با لایه سطحی جدا گردد اندازه گیری می‌شود. پیکربندی آزمایش کشش از سطح در شکل (۵) قابل مشاهده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصات مکانیکی ملات‌های پلیمری

نتایج مقاومت فشاری، خمشی سه نقطه‌ای، کشش از سطح و مقدار سایش در ملات‌های دو جزئی و سه جزئی حاوی LSA و PVA در جدول (۴) ارائه شده است.

بیشترین مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ روزه و مقاومت کشش از سطح متعلق به ملات دو جزئی حاوی ۱۰ درصد LSA با مقدار ۵۹/۴، ۶۲، ۴/۸۹ مگاپاسکال است. این ملات مقاومت خمشی ۸،۹۵ مگاپاسکال را نشان داد که پس از مقاومت خمشی ملات سه جزئی حاوی ۱۰ درصد LSA و ۲ درصد PVA، بیشترین مقدار است. مقاومت فشاری ۷ روزه و ۲۸ ملات پایه به ترتیب ۴۷/۶ و

سیمانی، نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ و نسبت ماسه به سیمان ۳ می‌باشند. در گروه ۱، نسبت‌های مخلوط ملات به این ترتیب بود که در ملات پایه ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد LSA جایگزین بخشی از سیمان شد. ملات‌های گروه ۲، دارای ترکیبات دو جزئی پلیمری هستند. به این ترتیب که به ملات‌های گروه ۱، ۲ درصد پلی وینیل

جدول ۴. مشخصات مکانیکی ملات پایه و ملات‌های اصلاح شده پلیمری

Table 4. Mechanical characteristics of cement mortar and modified polymer mortars

No.	7-Day Compressive Strength	28-Day Compressive Strength	Surface Tensile Strength	Flexural strength	abrasion
M0	47.6	58.4	3.82	7.12	18.07
M-L5	54	58.8	4.55	7.38	17.1
M-L10	59.4*	62*	4.89*	8.95	16.1
M-L15	56.8	61.2	4.24	7.58	16.18
M-L20	55.6	50.8	4.09	7.19	17.54
M-V2	43	46.4	3.49	8.23	15.64
M-L5-V2	48.4	52.4	3.38	8.61	15.05*
M-L10-V2	43	60.8	3.98	9.17*	15.24
M-L15-V2	35	49	3.27	8.43	15.78
M-L20-V2	29.4	37.2	2.93	8.12	17.89

* بیشترین مقدار در هر مشخصه

این لاتکس از طریق ایجاد یک شبکه پلیمری با جمع‌شدگی ملات مقابله می‌کند و مانع از شکل‌گیری ریزترک‌ها در ملات می‌شود [17-19].

روند تغییرات مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه در ملات‌های سه جزیی حاوی LSA و PVA مشابه با ملات‌های دو جزیی بدون حضور PVA می‌باشد. به صورت کلی افزودن PVA در همه مقادیر LSA، باعث کاهش مقاومت فشاری شده است.

استفاده از LSA مقداری از تاثیر منفی PVA را بر مقاومت فشاری نمونه‌های ملاتی می‌کاهد، زیرا افزودن ۲٪ PVA به نمونه های ملات بدون LSA و حاوی LSA به ترتیب باعث کاهش مقاومت فشاری بطور میانگین به مقدار ۵/۲۰٪ و ۹/۱۴٪ می‌شود.

این در حالی است که استفاده همزمان از ۲۰٪ LSA و ۲٪ PVA باعث افت مقاومت فشاری به مقدار ۷/۲۶٪ می‌شود. در نتیجه، می‌توان بیان کرد که مخرب‌ترین تاثیر PVA زمانی حاصل می‌شود که با ۲۰٪ LSA در بتن ترکیب شده باشد. بیشترین مقاومت فشاری در ملات‌های حاوی چسباننده سه جزیی در ملات حاوی ۱۰ درصد LSA و ۲ درصد PVA مشاهده شد که نسبت به ملات M-V (ملات حاوی ۲ درصد PVA) ۲۵ درصد افزایش مقاومت فشاری را موجب شده است.

توزیع نامناسب و غیریکنواخت PVA در ملات و خوشه‌ای و دسته‌ای شدن ذرات آن منجر به شکل‌گیری نقاط ضعیف و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری می‌شود. هر چند هدف اصلی استفاده از PVA نه بهبود مقاومت فشاری بلکه کنترل ترک خوردگی و افزایش مقاومت خمشی می‌باشد [25].

۵۸،۴ مگاپاسکال است. بیشترین مقاومت فشاری ۷ روزه در ملات‌های سه جزیی با ۴/۴۸ مگاپاسکال در ملات حاوی ۲ درصد PVA و ۵ درصد LSA مشاهده شد. در حالی که بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه در ملات سه جزیی حاوی ۲ درصد PVA و ۱۰ درصد LSA با مقاومت فشاری مگاپاسکال ۸/۶۰ دیده می‌شود.

بیشترین مقاومت خمشی در ملات سه جزیی حاوی ۱۰ درصد LSA و ۲ درصد PVA ثبت شده است که در مقایسه با ملات پایه ۲۸ درصد افزایش دارد. همچنین مقاومت خمشی مخلوط دو جزیی حاوی ۱۰ درصد LSA که ۲۵ درصد بیشتر از مقاومت خمشی ملات پایه است، دومین مقدار مقاومت خمشی به دست آمد. کمترین مقادیر سایش به ترتیب با مقادیر ۱۵،۰۵، ۱۵،۲۴ و متعلق به ملات‌های سه جزیی M-L10-V2، M-L15-V2 است.

۳-۲- اثر افزودن LSA و PVA بر مقاومت فشاری

شکل (۶)، مقایسه مقاومت فشاری ملات‌های دو جزیی و سه جزیی و اثر افزودن PVA ملات‌های حاوی LSA را نشان می‌دهد. در ملات‌های دو جزیی حاوی LSA، با افزایش مقدار LSA، مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. افزودن LSA منجر به شکل‌گیری شبکه پلیمر در ملات می‌شود. از آن‌جا که شبکه پلیمر ایجادشده توانایی تحمل تنش را دارد، مقاومت فشاری ملات با افزودن LSA بهبود می‌یابد. همچنین LSA باعث بهبود چسبندگی بین سیمان و سنگدانه‌ها و پیوستگی در ملات می‌شود. این بهبود چسبندگی و پیوستگی خود منجر به توزیع یکنواخت‌تر تنش در ملات، اصلاح ناحیه انتقال بین سطحی (ITZ) و در نتیجه افزایش مقاومت فشاری خواهد شد. علاوه بر

این روند به یک روند کاهشی تغییر می‌یابد. در نتیجه افزودن ۱۰٪ LSA بیشترین تأثیر را در افزایش مقاومت خمشی ملات ایجاد می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که افزودن ۲۰٪ LSA کمک چندانی به افزایش مقاومت خمشی ملات نمی‌کند و تفاوت معناداری بین مقاومت خمشی ملات حاوی ۲۰٪ LSA با ملات بدون LSA مشاهده نمی‌شود. شکل‌گیری شبکه پلیمری [19]، بهبود چسبندگی و پیوستگی [19]، اصلاح ناحیه انتقال بین سطحی (ITZ) [18] و مقابله با جمع‌شدگی همگی تأثیر قابل توجه‌تری بر مقاومت خمشی نسبت به مقاومت فشاری دارند.

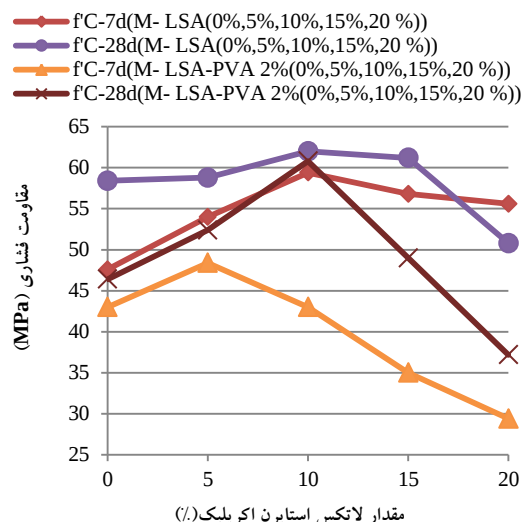
با دقت در نتایج می‌توان فهمید که افزودن PVA باعث افزایش مقاومت خمشی بتن می‌شود که برای درصدهای مختلف این تغییرات متغیر است. همانطور که مشاهده می‌شود، افزودن ۲٪ PVA به نمونه‌های بدون LSA باعث افزایش ۱۵/۶٪ مقاومت خمشی می‌شود. بطور مشابه، افزودن PVA به نمونه‌های حاوی LSA مقاومت خمشی بتن را بطور میانگین به مقدار ۲۰/۵٪ افزایش می‌دهد که بیشترین افزایش مربوط به حالتی است که ۱۰٪ LSA در نمونه‌ها استفاده شده باشد و کمترین تأثیر مثبت برای نمونه بتن حاوی ۲۰٪ LSA می‌باشد.

PVA همچون پلی بین دو طرف ترک‌ها عمل کرده و مانع از گسترش ترک‌ها می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان گفت PVA اثر ریز تسلیح (micro-reinforcement) دارد و بدین صورت، ایجاد، توسعه و عرض ترک‌ها را در اثر جمع‌شدگی، تغییرات دما و مهمتر از همه بارگذاری کنترل می‌کند و از این رو مقاومت خمشی ملات را افزایش می‌دهد [20-23].

۳-۴- اثر افزودن LSA و PVA بر کشش از سطح

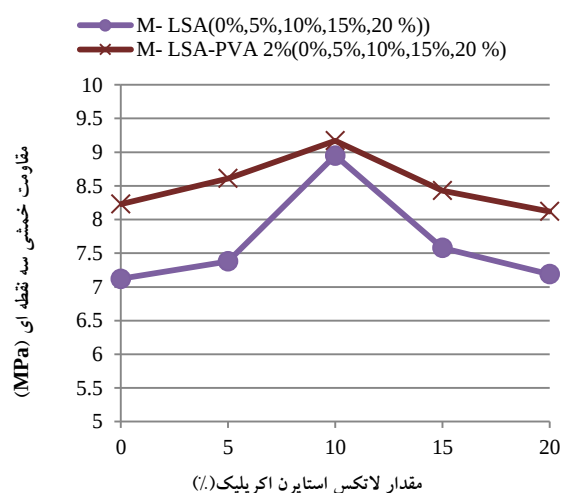
شکل (۸)، مقایسه مقاومت کشش از سطح ملات‌های دو جزئی و سه جزئی و اثر افزودن PVA بر اثر افزودن LSA را نشان می‌دهد. در ملات‌های دو جزئی حاوی LSA، با افزایش مقدار LSA، مقاومت کشش از سطح افزایش می‌یابد. افزودن LSA مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد باعث افزایش به ترتیب مقاومت کششی ۱۹/۲٪، ۲۸٪، ۱۱٪ و ۷/۱٪ نسبت به ملات پایه می‌شود.

پدیده مشاهده شده نشانگر این است که افزودن LSA تا ۱۰٪ روند صعودی بر افزایش مقاومت کششی دارد، اما برای درصدهای بالاتر LSA روند صعودی تبدیل به روند نزولی می‌شود. بنابراین،



شکل ۶. تغییرات مقاومت فشاری در ملات‌های دو و سه جزئی حاوی LSA و PVA

Fig. 6. Changes in compressive strength in two- and three-component mortars containing acrylic styrene latex and polyvinyl alcohol



شکل ۷. تغییرات مقاومت خمشی سه نقطه‌ای در ملات‌های دو و سه جزئی

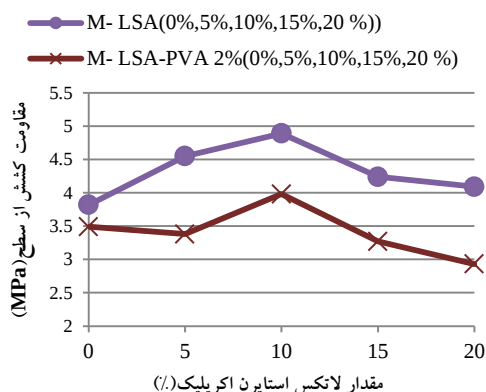
حاوی LSA و PVA

Fig. 7. Changes in bending strength in two- and three-component mortars containing acrylic styrene latex and polyvinyl alcohol

۳-۳- اثر افزودن LSA و PVA بر مقاومت خمشی

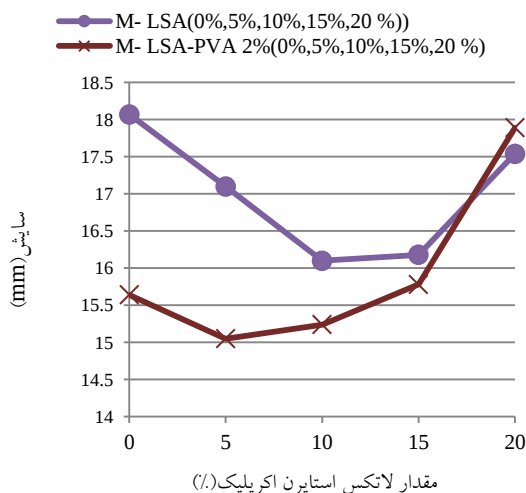
شکل (۷)، مقایسه مقاومت خمشی ملات‌های دو جزئی و سه جزئی و اثر افزودن PVA بر ملات‌های حاوی LSA را نشان می‌دهد. افزودن ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ LSA به ترتیب باعث افزایش مقاومت خمشی به میزان ۳/۶٪، ۲۵/۷٪، ۶/۵٪ و ۱٪ نسبت به ملات بدون LSA می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که افزایش تا ۱۰٪ LSA، روند افزایشی در مقاومت خمشی را ایجاد می‌کند، اما با افزایش درصدهای بیشتر،



شکل ۸. نتایج آزمایش کشش از سطح در ملات‌های دو و سه جزئی حاوی PVA و LSA

Fig. 8. Pull Off test results in two- and three-component mortars containing acrylic styrene latex and polyvinyl alcohol



شکل ۹. تغییرات سایش ملات‌های دو و سه جزئی حاوی PVA و LSA

Fig. 9. Abrasion test results of two- and three-component mortars containing acrylic styrene latex and polyvinyl alcohol

با افزایش مقدار LSA مقاومت سایشی ابتدا به طور تقریبی ثابت بوده و سپس افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد در مقادیر کم LSA شبکه پلیمر ایجاد شده آنقدر قوی نبوده که مقاومت ملات در برابر سایش را افزایش دهد اما در مورد نمونه حاوی ۱۰٪ LSA، شکل‌گیری شبکه پلیمر در ملات، بهبود چسبندگی بین سیمان و سنگدانه‌ها باعث بهبود مقاومت سایشی ملات شده است [26].

همان‌گونه که نتایج مقاومت سایشی نشان می‌دهد افزودن PVA باعث افزایش مقاومت سایشی می‌شود زیرا افزودن ۲٪ PVA به ملات پایه و نمونه‌های حاوی LSA به ترتیب باعث کاهش ۱۳/۴ و ۱۱/۵ درصدی مقدار سایش می‌شود. بنابراین، می‌توان

افزودن ۱۰٪ LSA بیشترین تاثیر را بر افزایش مقاومت کششی ملات دارد. به کارگیری مقدار زیاد LSA منجر به کاهش یکپارچگی ملات و در نتیجه کاهش مقاومت کششی آن شده است [21-23]. از این رو مقاومت کششی برای نمونه‌های حاوی بیش از ۱۰٪ LSA کمتر از نمونه حاوی ۱۰٪ LSA است.

افزودن PVA تاثیر منفی بر مقاومت کششی ملات دارد. با دقت در نتایج می‌توان متوجه شد که افزودن PVA بر نمونه ملات‌های بدون LSA باعث کاهش ۸/۶٪ مقاومت کششی می‌شود که تفاوت معناداری محسوب نمی‌شود، اما افزودن PVA بر نمونه‌های حاوی LSA باعث کاهش شدید مقاومت کششی می‌شود که این موضوع در نمونه حاوی ۲۰٪ LSA بیشتر قابل ملاحظه است. بطور کلی افزودن PVA بر نمونه‌های حاوی LSA مقاومت کششی ملات را بطور میانگین به مقدار ۱۱/۴٪ کاهش می‌دهد که این عدد در مقابل کاهش ۸/۶٪ مقدار بزرگتری دارد. بنابراین، افزودن همزمان ۲۰ درصد LSA و PVA به ملات پایه تاثیرات مناسبی بر روی مقاومت کششی ملات پلیمری ندارد.

نتایج نمونه‌های حاوی بیش از ۱۰ درصد LSA نشان می‌دهند که استفاده از PVA در این نمونه‌ها منجر به کاهش مقاومت کششی شده است. دلیل این امر احتمالاً چسبندگی ضعیف و خصوصیات فیزیکی PVA می‌باشد.

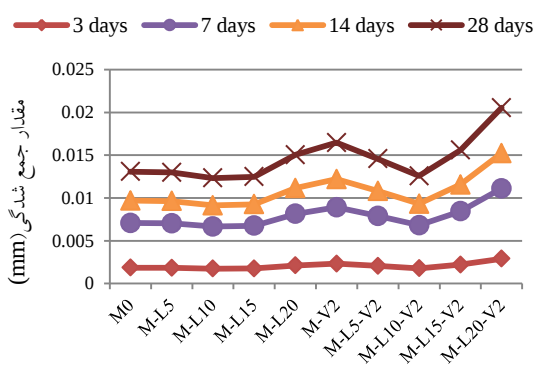
۳-۵- اثر افزودن LSA و PVA بر سایش

شکل (۹)، نتایج تغییرات میزان سایش ملات‌های دو و سه جزئی حاوی LSA و PVA را نشان می‌دهد.

نتایج بررسی مقاومت سایشی نشان می‌دهد که افزودن LSA بر مقاومت سایشی ملات اثر مثبت دارد زیرا افزودن LSA به میزان ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ باعث کاهش میزان سایش به مقدار به ترتیب ۵/۴٪، ۱۰/۹٪ و ۱۰/۵٪ نسبت به ملات پایه می‌شود. همچنین در صورتی که ۲۰٪ LSA به ملات پایه اضافه شود، میزان سایش ملات به مقدار ۲/۹٪ کاهش می‌یابد که این موضوع تفاوت معناداری ندارد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت میزان افزایش مقاومت سایشی ملات زمانی که تا ۱۰٪ LSA استفاده شود یک روند صعودی است، اما اگر درصد LSA از ۱۰٪ فراتر رود به تدریج اثربخشی LSA بر بهبود مقاومت سایشی ملات کاسته می‌شود، تا اندازه‌ای که افزودن ۲۰٪ LSA تاثیر چندانی بر بهبود یا تضعیف مقاومت سایشی ملات ندارد.

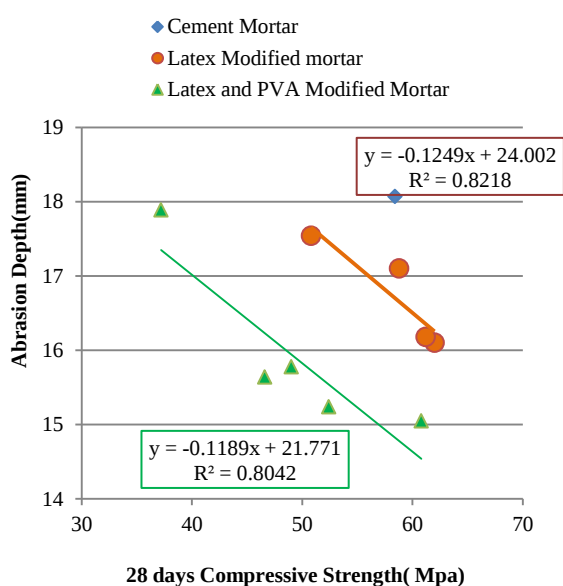
۳-۷- بررسی ارتباط بین مشخصات ملات‌های پلیمری

به منظور بررسی ارتباط بین مشخصات مکانیکی ملات‌ها، در شکل‌های (۱۱ تا ۱۳) به ترتیب ارتباط میان مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت کشش از سطح با عمق سایش ارائه شده است. در شکل (۱۱) ارتباط میان مقاومت فشاری و عمق سایش ملات‌های پلیمری مورد بررسی قرار گرفته است. در این نمودار، ملات پایه (M0) که اصلاح پلیمری ندارد، به وضوح از دیگر نمونه‌ها متمایز است؛ مقاومت فشاری آن برابر با ۵۸/۴ مگاپاسکال و عمق سایش آن ۱۸/۰۸ میلی‌متر است. از آنجا که این نمونه فاقد لاتکس و PVA است، به عنوان استثنا کنار گذاشته شده و تحلیل رگرسیونی فقط روی دو گروه اصلاح‌شده انجام می‌شود.



شکل ۱۰. جمع شدگی در ملات‌های دو و سه جزئی حاوی LSA و PVA

Fig. 10. Shrinkage results in two- and three-component mortars containing acrylic styrene latex and polyvinyl alcohol



شکل ۱۱. ارتباط مقاومت فشاری و سایش

Fig. 11. Compressive Strength vs Abrasion

فهمید که افزودن PVA به نمونه‌های بدون LSA تاثیر مناسب‌تری برای مقاومت سایشی دارد.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند استفاده از PVA به طور کلی منجر به افزایش مقاومت سایشی ملات شده است. دلیل این امر ماهیت PVA است که در برابر سایش مقاوم بوده و در نتیجه استفاده از آن مقاومت سایشی ملات را افزایش می‌دهد. همچنین افزایش چقرمگی بر مقاومت سایشی به طور غیرمستقیم اثرگذار بوده و با بهبود این عوامل، یکپارچگی ملات افزایش یافته و در نتیجه ملات کمتر ساییده می‌شود [20-23, 27].

۳-۶- جمع‌شدگی ملات‌ها

تغییرات جمع‌شدگی ملات‌های دو جزئی و سه جزئی پلیمری در زمان ۳، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز در شکل (۱۰) ارائه شده است. با توجه به نتایج جمع‌شدگی ملات در حالات مختلف، در حالت کلی افزودن LSA به مقدار ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ باعث کاهش جمع‌شدگی ملات به ترتیب به مقدار ۰/۷٪، ۵/۸٪ و ۴/۶٪ می‌شود. این در حالی است که افزودن LSA ۲۰٪ به ملات موجب افزایش ۱۵ درصدی جمع‌شدگی ملات می‌شود. با دقت در نتایج می‌توان دریافت که افزودن PVA به مقدار ۲٪ به نمونه‌های ملات بدون LSA موجب افزایش جمع‌شدگی ملات به میزان ۲۵/۹٪ می‌شود و این در حالی است که افزودن PVA به نمونه‌های حاوی LSA باعث افزایش جمع‌شدگی ملات بطور میانگین به مقدار ۱۹/۸٪ می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از LSA در ملات از تاثیرگذاری PVA بر افزایش جمع‌شدگی کاسته می‌شود.

به طور کلی افزودن LSA به مخلوط ملات باعث کاهش انقباض آن می‌شود. نتایج نشان می‌دهد افزودن ۲٪ PVA به ملات پایه باعث افزایش جمع‌شدگی به میزان ۲۶ درصد می‌شود اما مقایسه میزان جمع‌شدگی در ملات حاوی ۱۰ درصد LSA و ملات حاوی ۱۰ درصد LSA و ۲٪ PVA که به صورت میانگین کمتر از ۲ درصد می‌باشد، نشان می‌دهد که افزودن ۲٪ PVA تاثیر چندانی در میزان جمع‌شدگی ملات پلیمری ندارد. در واقع آثار کاهش میزان جمع‌شدگی ناشی از استفاده ۱۰ درصد LSA افزایش جمع‌شدگی ناشی از استفاده از PVA را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد.

خمش ۷/۱۲ مگاپاسکال و عمق سایش ۱۸/۰۸ میلیمتر)، کاملاً از سایر نمونه‌ها متمایز است و به‌عنوان یک استثنا از تحلیل رگرسیونی کنار گذاشته شده است.

در گروه اول، یعنی ملات‌های حاوی لاتکس خالص (SAL) شامل M-L5، M-L10، M-L15 و M-L20، رابطه عمق سایش (y) و مقاومت خمشی (x) با تابع لگاریتمی $y = -5.382 \ln(x) + 27.749$ ، ضریب همبستگی $R^2 = 0.5675$ مدل شده است. ضریب همبستگی $R^2 \approx 0.57$ نشان می‌دهد که M-L10 با مقاومت خمشی ۸/۹۵ مگاپاسکال عمق سایش ۱۶/۱۰ میلی‌متر دارد که دقیقاً در راستای این منحنی لگاریتمی قرار می‌گیرد و M-L20 با مقاومت خمشی ۷/۱۹ مگاپاسکال عمق سایش ۱۷/۵۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد. این روند لگاریتمی بیانگر آن است که افزایش مقاومت خمشی تا حدود ۸-۹ مگاپاسکال در گروه SAL، تأثیر زیادی بر کاهش سایش دارد؛ اما پس از آن کاهش افت سرعت می‌یابد.

در گروه دوم، یعنی ملات‌های حاوی ترکیب لاتکس و PVA، مدل تابع لگاریتمی به صورت $y = -16.95 \ln(x) + 52.208$ ، $R^2 = 0.5044$ است. هرچند ضریب همبستگی $R^2 \approx 0.50$ نشانگر یک ارتباط معنادار بین مقاومت خمشی و عمق سایش است، اما پراکندگی داده‌ها در این گروه بیشتر است. به ویژه M-L20-V2 با مقاومت خمشی ۸/۱۲ مگاپاسکال و عمق سایش ۱۷/۹۰ میلی‌متر از منحنی مدل فاصله گرفته که نشان می‌دهد نسبت ۲۰٪ لاتکس + ۲٪ PVA یکنواختی و انسجام سطحی را کاهش داده و احتمالاً میکروتکرهای سطحی را تشدید کرده است.

بنابراین، اگر ملات پایه سیمانی در نظر گرفته نشود، در ملات‌های SAL شاهد یک کاهش قابل توجه در عمق سایش با افزایش مقاومت خمشی مشاهده می‌شود؛ اما در ملات‌های SAL+PVA، هرچند روند کلی نزولی حفظ می‌شود، دقت پیش‌بینی کمتر است و نمونه‌هایی مانند M-L20-V2 از این قاعده خارج می‌شوند. این یافته‌ها با نتایج تحقیق [29] قابل تطبیق است که نشان داده‌اند افزایش مقاومت خمشی در ملات‌های اصلاح‌شده باعث یکنواخت‌تر شدن ساختار سطحی و کاهش ترک‌های موریگی می‌شود؛ اما ترکیب نامتوازن لاتکس و PVA می‌تواند هماهنگی فیلم پلیمری سطح را مختل کرده و ریزترک‌ها را افزایش دهد، در نتیجه سایش بیشتر می‌شود.

در گروه اول، یعنی ملات‌های دارای لاتکس خالص (SAL) شامل M-L5، M-L10، M-L15 و M-L20، رابطه عمق سایش (y) با مقاومت فشاری (x) به صورت $y = -0.1249x + 24.002$ ، ضریب تعیین $R^2 = 0.8218$ مدل شده است. ضریب تعیین ۰/۸۲ نشان می‌دهد که بیش از تغییرات عمق سایش ارتباط نسبتاً خوبی با مقاومت فشاری دارد. به عنوان نمونه، طرح M-L10 با مقاومت فشاری ۶۲ مگاپاسکال دارای عمق سایش ۱۶/۱۰ میلی‌متر است که دقیقاً در راستای همین مدل قرار می‌گیرد. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش نسبت لاتکس تا حدود ۱۰٪، منجر به تولید ساختار سطحی یکنواخت‌تر و کاهش چشمگیر سایش می‌شود.

در گروه دوم، یعنی ملات‌های ترکیبی لاتکس و PVA، معادله رگرسیون خطی به شکل $y = -0.1189x + 21.771$ ، $R^2 = 0.8042$ دست آمده است.

نمونه M-L20-V2 با مقاومت فشاری ۳۷/۲۴ مگاپاسکال و عمق سایش ۱۷/۹۰ میلی‌متر از الگوی کاهش خطی منحرف می‌شود؛ این انحراف حاکی از آن است که نسبت ۲۰٪ لاتکس همراه ۲٪ PVA ساختار سطحی یکنواخت را کاهش داده و احتمالاً تعداد میکروتکرها را افزایش داده است.

به طور کلی، در هر دو گروه SAL و SAL+PVA افزایش مقاومت فشاری همواره با کاهش عمق سایش همراه است؛ با این تفاوت که گروه اصلاح‌شده صرف با لاتکس (SAL) با شیب بیشتری (۰/۱۲۴۹- در مقابل -۰/۱۱۸۹) و ضریب همبستگی پیش‌بینی بالاتری عمل می‌کند. این یافته‌ها همسو با نتایج Ramesh Kumar و Sharma [28] است که نشان می‌دهند کیفیت لایه سطحی—از نظر چسبندگی و تراکم—بیش از مقاومت فشاری خالص، تعیین‌کننده مقاومت سایشی ملات‌هاست.

در نتیجه می‌توان گفت که افزایش مقاومت فشاری به ویژه در حضور لاتکس خالص، کاهش چشمگیری در عمق سایش ایجاد می‌کند؛ اما ترکیب لاتکس با PVA هرچند همچنان رابطه معکوس را حفظ می‌کند، به دلیل تأثیر بر یکنواختی سطحی کمی دقت پیش‌بینی را کاهش می‌دهد و نمونه‌هایی مانند M-L20-V2 نشان‌دهنده وضعیت خروج از حالت بهینه هستند.

در شکل (۱۲) ارتباط بین مقاومت خمشی و عمق سایش ملات‌های پلیمری ارائه شده است. در این نمودار، ملات پایه (M0) که کمتر از همه به اصلاح پلیمری مجهز است (مقاومت

(M0) با مقاومت کشش ۳,۸۲ مگاپاسکال و عمق سایش ۱۸,۰۸ میلی‌متر کاملاً از بقیه نمونه‌ها متمایز است و به عنوان یک استثنا از تحلیل رگرسیونی حذف شده است.

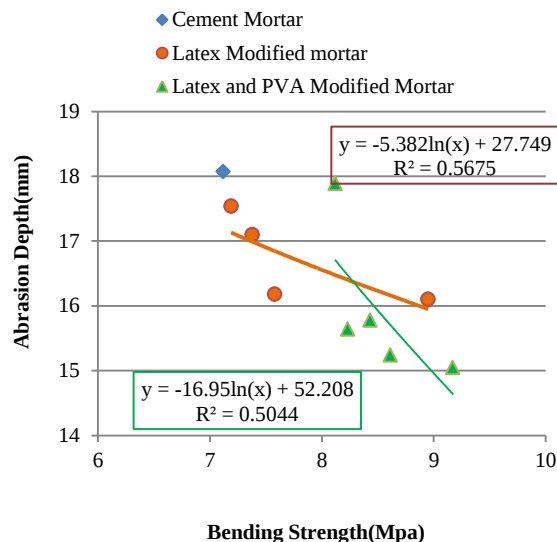
در ادامه، دو گروه ملات اصلاح شده بررسی می‌شود: نمونه‌های M-L5، M-L10، M-L15 و M-L20 در گروه ملات‌های حاوی لاتکس (گروه SAL) قرار دارند. رگرسیون لگاریتمی بین مقاومت کشش (x) و عمق سایش (y) برای این گروه به صورت $y = -4.95 \ln(x) + 24.10$ ، $R^2 = 0.3082$ است.

ضریب تعیین $R^2 \approx 0.31$ نشان می‌دهد که این رابطه نسبت به سایر ویژگی‌های مکانیکی همبستگی ضعیف‌تری دارد. برای مثال، M-L10 با مقاومت کشش ۴,۸۹ مگاپاسکال عمق سایش ۱۶,۱۰ میلیمتر را نشان می‌دهد و تقریباً روی منحنی لگاریتمی قرار دارد، اما M-L20 عمق سایش ۱۷,۵۵ میلی‌متر را ثبت می‌کند که از مدل فاصله دارد. به بیان دیگر، در محدوده مقاومت کشش حدود ۴ تا ۵ مگاپاسکال، افزایش جزئی در مقاومت تأثیر ملموسی بر کاهش سایش ندارد و تنها در مقاومت‌های بسیار بالاتر (فراتر از ۵ MPa) ممکن است تغییرات قابل مشاهده باشد.

نمونه‌های M-L5-V2، M-L10-V2، M-L15-V2 و M-L20-V2 با افزودن PVA به لاتکس در گروه ملات‌های حاوی لاتکس و PVA قرار می‌گیرند. مدل رگرسیونی لگاریتمی این گروه به صورت $y = -8.706 \ln(x) + 26.556$ ، $R^2 = 0.7167$ است:

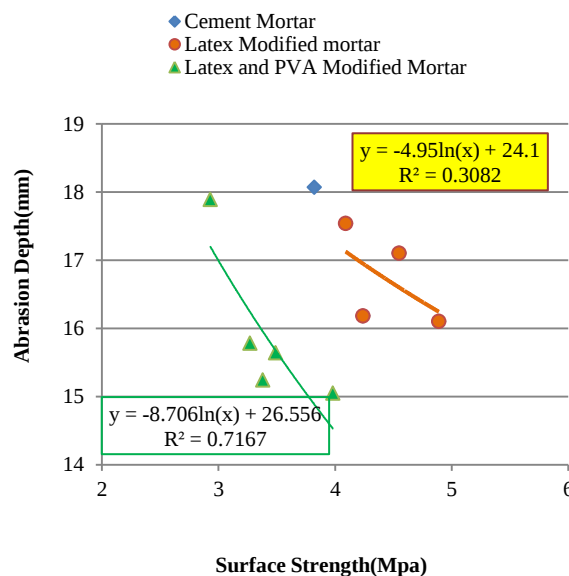
ضریب همبستگی $R^2 \approx 0.72$ نشان می‌دهد که تغییرات عمق سایش در مقابل مقاومت کشش قابل پیش‌بینی است و بدین ترتیب همبستگی قوی‌تری نسبت به گروه SAL وجود دارد. به طور نمونه، M-L10-V2 با مقاومت کشش ۳,۹۸ مگاپاسکال عمق سایش ۱۵,۲۵ میلی‌متر داشته و دقیقاً روی منحنی مدل قرار می‌گیرد. در مقابل، M-L20-V2 با مقاومت کشش تنها ۲,۹۳ مگاپاسکال عمق سایش ۱۷,۹۰ میلی‌متر را تجربه کرده که از روند مدل فاصله دارد؛ این انحراف بیانگر آن است که نسبت ۲۰٪ لاتکس + ۲٪ PVA یکنواختی و انسجام سطح را مختل کرده و میکروتکرک‌های بیشتری ایجاد نموده است.

اگرچه در گروه SAL (لاتکس) رابطه لگاریتمی می‌تواند تا حدی روند کاهش سایش را با افزایش مقاومت کشش توضیح دهد، اما ضریب تعیین پایین ($R^2 \approx 0.31$) نشان می‌دهد که این ویژگی به تنهایی پیش‌بینی دقیقی ارائه نمی‌کند. در مقابل، در گروه



شکل ۱۲. ارتباط بین مقاومت خمشی و سایش

Fig. 12. Bending Strength vs Abrasion



شکل ۱۳. ارتباط بین مقاومت کششی و سایش

Fig. 13. Tensile Strength vs Abrasion

در مجموع، می‌توان گفت ملات‌های اصلاح شده با لاتکس (گروه SAL) عملکرد بهتری در کاهش عمق سایش از طریق افزایش مقاومت خمشی دارند؛ در حالی که افزودن PVA به لاتکس اگرچه همچنان روند معکوس را حفظ می‌کند، به دلیل اختلال در یکپارچگی لایه سطحی دقت پیش‌بینی را کاهش می‌دهد و برخی نمونه‌ها (مثل M-L20-V2) را از الگوی کلی خارج شده است.

در شکل (۱۳) رابطه بین مقاومت کشش سطحی و عمق سایش ملات‌های پلیمری نشان داده شده است. در این نمودار، ملات پایه

SAL+PVA، مقاومت کشش سطحی همبستگی قابل‌توجهی با کاهش عمق سایش دارد ($R^2 \approx 0.72$) و می‌تواند شاخص بهتری برای تحلیل عملکرد سایشی باشد. استثنای قابل توجه، M-L20-V2 است که به دلیل نسبت بالای لاتکس در حضور PVA، کیفیت ساختار سطح را کاهش داده و از روند کلی منحرف می‌شود. این نتایج با یافته‌های Wu و همکاران [30] هم‌راستا است؛ آن‌ها نشان داده‌اند که مقاومت کشش سطحی شاخص مهمی برای چسبندگی و انسجام لایه سطحی ملات است و در بهبود مقاومت سایشی نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در تحقیق آزمایشگاهی حاضر، به بررسی خواص مکانیکی و جمع‌شدگی ملات‌های سیمانی حاوی ترکیبات دو جزئی و سه جزئی LSA و پلیمر زیست تخریب پذیر PVA پرداخته شده است. نتایج به دست آمده به صورت خلاصه به شرح زیر است:

۱- به طور کلی، افزودن LSA تا مقدار ۱۰ درصد وزنی سیمان، مقاومت فشاری، کشش از سطح و مقاومت خمشی و همچنین مقاوت سایشی را بهبود داده است. همچنین میزان سایش و جمع‌شدگی با افزودن تا ۱۰ درصد LSA کاهش یافته است. LSA به دلیل پیوندهای کوالانسی بین ذرات محصولات هیدراسیون و بهبود چسبندگی بین سیمان و سنگدانه‌ها، اصلاح ناحیه ITZ و همچنین ایجاد یک شبکه پلیمری باعث افزایش مقاومت فشاری خواهد شد.

۲- افزودن PVA در همه بتن‌های سه جزئی نسبت به دو جزئی بدون PVA باعث کاهش مقاومت فشاری و کشش از سطح شده است. استفاده از LSA مقداری از تاثیر منفی PVA را بر مقاومت فشاری نمونه های ملاتی می‌کاهد. توزیع نامناسب و غیریکنواخت PVA در ملات و تجمع ذرات آن منجر به شکل‌گیری نقاط ضعیف و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری می‌شود.

۳- PVA همچون پلی بین دو طرف ترک‌ها عمل کرده و مانع از

گسترش ترک‌ها می‌شود. از این رو مقاومت خمشی ملات را افزایش می‌دهد و جمع‌شدگی کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از PVA به طور کلی باعث افزایش مقاومت سایشی ملات شده است. دلیل این امر ماهیت PVA است که در برابر سایش مقاوم بوده و چقرمگی مناسبی ایجاد می‌کند.

۴- بطور کلی، بهترین ملات سیمانی در مقاومت فشاری، کشش از سطح و جمع‌شدگی، ملات دو جزئی حاوی ۱۰ درصد LSA است. LSA از طریق ایجاد یک شبکه پلیمری با جمع‌شدگی ملات مقابله می‌کند و مانع از شکل‌گیری ریزترک‌ها در ملات می‌شود. اما در مشخصه مقاومت خمشی، بهترین ملات، ملات سه جزئی حاوی ۱۰ درصد LSA و ۲ درصد PVA می‌باشد.

۵- به طور کلی، مقایسه بین خواص مکانیکی ملات‌های پلیمری و رفتار سایشی آن‌ها نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی بین مقاومت کشش از سطح و سایش وجود دارد. مقاومت خمشی نیز رابطه نسبتاً مناسبی با رفتار سایشی دارد. اما مقاومت فشاری، برخلاف تصور رایج، ارتباط معناداری با عمق سایش نشان نمی‌دهد و نباید به‌تنهایی به عنوان شاخص پیش‌بینی‌کننده سایش در نظر گرفته شود.

قدردانی

نویسندگان این مقاله از حمایت مادی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

هیچ تعارض منافی برای نویسندگان این مقاله در انتشار آن وجود ندارد.

سهم نویسندگان

سهم هر یک از نویسندگان ۲۵ درصد است.

منابع مالی

در انجام این پژوهش از هیچ منبع مالی استفاده نشده است.

References

1. Moodi, F. et al. 2018. Investigation on mechanical and durability properties of polymer and latex-modified concretes. *Construction and Building Materials*, 191, pp. 145-154.
2. Jo, Y.-K. 2020. Adhesion in tension of polymer cement mortar by curing conditions using polymer dispersions as cement modifier. *Construction and Building Materials*, 242, p. 118134.
3. Ribeiro, M.S.S., Gonçalves, A.F. & Branco, F.A.B.

2008. Styrene-butadiene polymer action on compressive and tensile strengths of cement mortars. *Materials and Structures*, 41, pp. 1263-1273.
4. Ishak, N.S. 2018. *Experimental investigation on latex modified concrete for civil engineering development*.
5. Momtazi, A.S., Kohani Khoshkbijari, R. & Sabagh Mogharab, S. 2015. Polymers in concrete: Applications and specifications. *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 4(3 (s)), pp. 62-72.
6. Bahrani-fard, Z., Tabrizi, F.F. & Vosoughi, A.R. 2019. An investigation on the effect of styrene-butyl acrylate copolymer latex to improve the properties of polymer modified concrete. *Construction and Building Materials*, 205, pp. 175-185.
7. Sohail, M.G. et al. 2018. Advancements in concrete mix designs: High-performance and ultrahigh-performance concretes from 1970 to 2016. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(3), p. 04017310.
8. Nemati, P., Ranjbar, M.M. & Madandost, R. 2018. Investigation of the effect of polyvinyl alcohol and glass fibers on the mechanical properties of porous concrete. In: *Sixth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management and the Fifth Specialized Exhibition of Mass Builders of Housing and Construction in Tehran Province*.
9. Kesalkar, V.P. et al. 2017. Effect of poly vinyl acetate and poly vinyl alcohol as cement admixture on strength of concrete. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 887(8), p. 2321-9653.
10. Karadelis, J.N. & Lin, Y. 2015. A comparison of flexural strengths of polymer (SBR and PVA) modified, roller compacted concrete. *Data in brief*, 4, pp. 422-429.
11. Abbas, W.A., Gorgis, I. & Hussein, M. 2020. Modification of microstructure of cement mortars by water-soluble polyvinyl alcohol. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing.
12. Allahverdi, A., Kianpur, K. & Moghbeli, M. 2010. Effect of polyvinyl alcohol on flexural strength and some important physical properties of Portland cement paste. *Iran. J. Mater. Sci. Eng*, 7(1), pp. 1-6.
13. Gholinezhad, F. et al. 2021. Effect of organoclay reinforced acrylate latex particles on the cement paste performance. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 42(3), pp. 416-431.
14. Lin, Y.Z. 2012. Effect of polymer to early mechanical property of the fly ash slurry. *Advanced Materials Research*, 450, pp. 248-251.
15. Kim, J.-H., Robertson, R.E. & Naaman, A.E. 1999. Structure and properties of poly(vinyl alcohol)-modified mortar and concrete. *Cement and Concrete Research*, 29(3), pp. 407-415.
16. Kim, J.-H. & Robertson, R.E. 1997. Prevention of air void formation in polymer-modified cement mortar by pre-wetting. *Cement and Concrete Research*, 27(2), pp. 171-176.
17. Yaowarat, T. et al. 2021. Improvement of flexural strength of concrete pavements using natural rubber latex. *Construction and Building Materials*, 282, p. 122704.
18. Bhogayata, A.C. & Arora, N.K. 2018. Workability, strength, and durability of concrete containing recycled plastic fibers and styrene-butadiene rubber latex. *Construction and Building Materials*, 180, pp. 382-395.
19. Diab, A.M., Elyamany, H.E. & Ali, A.H. 2014. The participation ratios of cement matrix and latex network in latex cement co-matrix strength. *Alexandria Engineering Journal*, 53(2), pp. 309-317.
20. Noushini, A., Samali, B. & Vessalas, K. 2013. Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 49, pp. 374-383.
21. Yaowarat, T. et al. 2018. Compressive and flexural strength of polyvinyl alcohol-modified pavement concrete using recycled concrete aggregates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(4), p. 04018046.
22. Noushini, A., Vessalas, K. & Samali, B. 2014. Static mechanical properties of polyvinyl alcohol fibre reinforced concrete (PVA-FRC). *Magazine of Concrete Research*, 66(9), pp. 465-483.
23. Zhang, R. et al. 2019. Static and dynamic mechanical properties of eco-friendly polyvinyl alcohol fiber-reinforced ultra-high-strength concrete. *Structural Concrete*, 20(3), pp. 1051-1063.
24. Salman, S., Bakr, N. & Humad, H. 2018. Section C: Physical Sciences DSC and TGA Properties of PVA Films Filled with Na₂S₂O₃.5H₂O Salt. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences*, 8.
25. Rajasegar, M. & Kumaar, C.M. 2021. Hybrid effect of poly vinyl alcohol, expansive minerals, nano-silica and rice husk ash on the self-healing ability of concrete. *Materials Today: Proceedings*, 45, pp. 5944-5952.
26. Subash, S., Mini, K. & Ananthkumar, M. 2021. Incorporation of natural rubber latex as concrete admixtures for improved mechanical properties. *Materials Today: Proceedings*, 46, pp. 4859-4862.
27. Wang, J. et al. 2018. Investigation of properties and performances of Polyvinyl Alcohol (PVA) fiber-reinforced rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 193, pp. 631-642.
28. Ramesh Kumar, G.B. & Sharma, U.K. 2014. Abrasion resistance of concrete containing marginal aggregates. *Construction and Building Materials*, 66, pp. 712-722.
29. Wu, K.-R., Zhang, D. & Song, J.-M. 2002. Properties

of polymer-modified cement mortar using pre-enveloping method. *Cement and Concrete Research*, 32(3), pp. 425-429.

30. Wu, F., Chen, X. & Li, X. 2022. Abrasion performance of cement mortar by debris flow. *Tribology International*, 175, p. 107839.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم؟

Rahmati, A. A., Adelzade Saadabadi, L., Bayat, M., Abbastabar, H. 2026. Mechanical Properties and Shrinkage of Cement Mortars Modified by Latex Styrene Acrylic and Polyvinyl Alcohol, *Modares Civil Engineering journal*, 25(6), pp. 7-20.

DOI: 10.48311/mcej.2026.27625

