

# عملکرد اتیلن وینیل استات و وینیل استات بر مشخصات مکانیکی، جمع شدگی و دوام مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم

علی سعیدی کیا<sup>۱</sup>، سید حسام مدنی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان  
۲- عضو هیئت علمی، دانشکده عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

h.madani@kgut.ac.ir

تاریخ دریافت ۹۶/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش ۹۷/۰۳/۲۱

## چکیده

این مطالعه به بررسی تأثیر جایگزینی ۱۵/۵ و ۲۵ درصد اتیلن وینیل استات و وینیل استات بر خواص مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم می‌پردازد. خواص مکانیکی مورد بررسی شامل مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بوده و میزان جذب انرژی نمونه‌ها با معیار چقرمگی خمشی تعیین شده است. در کلیه خواص مورد بررسی اتیلن وینیل استات با نسبت پلیمر به سیمان ۵ و ۲۵ درصد، عملکرد مطلوبی نسبت به وینیل استات داشته و در ۱۵٪ جایگزینی، این دو پلیمر عملکرد یکسانی از خود نشان داده اند. در جایگزینی ۵٪ و ۲۵٪ اتیلن وینیل استات در مخلوط‌های پایه سیمانی به ترتیب بیشینه مقاومت خمشی (۱۹ مگاپاسکال) و چقرمگی خمشی (۲/۳۷۸ نیوتن متر) نسبت به مخلوط شاهد با مقاومت خمشی ۱۳/۱ مگاپاسکال و چقرمگی ۰/۶۵۱ نیوتن متر حاصل شده است. همچنین مخلوط حاوی ۲۵٪ اتیلن وینیل استات میزان جمع شدگی را به میزان ۵۰٪ نسبت به مخلوط شاهد در یک دوره ۱۷۰ روزه کاهش داده است. در کنترل خواص دوام که با استفاده از نفوذپذیری یون کلراید مورد سنجش قرار داده شد، هردو پلیمر اتیلن وینیل استات و وینیل استات تأثیر مثبتی بر از بین بردن اثرات منفی سیمان آلومینات کلسیم (افزایش تخلخل در اثر گذر زمان) داشته لیکن در این بین اتیلن وینیل استات در درصدهای ۵ و ۲۵ تأثیرات یکسانی بر کاهش میزان نفوذپذیری یون کلراید داشته به طوری که در سن ۹۰ روز انتشار یون کلراید در مخلوط سخت شده اصلاح شده پلیمری به میزان ۹۹٪ نسبت به مخلوط شاهد کاهش یافته است.

## کلمات کلیدی

سیمان آلومینات کلسیم، وینیل استات، اتیلن وینیل استات، خواص مکانیکی، جمع شدگی

## ۱. مقدمه

سیمان آلومینات کلسیم دارای مقادیر بالای اکسید آلومینیوم بوده که این امر سبب تمایز این نوع سیمان با سایر سیمان‌های متداول (سیمان پرتلند، پوزولانی و ...) است. سیمان آلومینات کلسیم دارای خاصیت زود سخت

شوندگی بوده [5, 1]، بدین معنا که در سن ۱ روز به رشد مقاومتی معادل رشد مقاومت ۲۸ روزه سیمان‌های پرتلند می‌رسد و عامل اصلی این رشد مقاومت و سخت شوندگی زود هنگام فاز مونوآلومینات کلسیم (CA) است [6, 2, 1]. این ویژگی در سیمان آلومینات کلسیم امکان بهره‌وری از

آن را در کاربردهای مختلف از جمله مصارف تعمیراتی فراهم آورده است [1, 4]. به عنوان نمونه می توان از آن در تعمیرات فرودگاه ها، بزرگراه ها، سدهای بتنی، ساخت تونل ها و کف ریزی های صنعتی استفاده نمود که از آن جمله می توان به فرودگاه هدرو لندن و شارل دوگل پاریس اشاره نمود [7, 8].

طبقه بندی سیمان آلومینات کلسیم با توجه به مقادیر اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) در تولید کلینکر این نوع سیمان تعیین می شود [1, 2, 9, 10]. فرآیند هیدراسیون در سیمان آلومینات کلسیم پس از تماس ذرات سیمان با آب شروع شده و سبب تولید محصولات هیدراسیون می شود که این محصولات در سیمان آلومینات کلسیم ابتدا محصولاتی نیمه پایدار بوده ( $CAH_{10}$  و  $C_2AH_8$ ) و در اثر دوپارامتر دما و گذر زمان به محصولات پایدار ( $C_3AH_6$  و  $AH_3$ ) تبدیل می شوند. این تبدیل واکنش فازهای نیمه پایدار به پایدار سبب کاهش حجم محصولات هیدراسیون و در نتیجه افزایش تخلخل ساختاری می شود. [1, 2, 10, 14].

ولتیک آنتونویک و همکاران [10] در طی یک بررسی پیرامون مخلوط های پایه سیمان آلومینات کلسیم در دماهای ۵، ۲۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد دریافتند که، هیدراسیون در دماهای پایین (پایین تر از ۱۵ درجه سانتی گراد) سبب تشکیل  $CAH_{10}$  می شود در حالی که در محدوده دمایی ۱۵ تا ۲۷ درجه سانتی گراد این ترکیب به  $C_2AH_8$  و  $AH_3$  در ترکیب تغییر یافته و در دمای بالاتر  $C_3AH_6$  و  $AH_3$  بر ترکیبات دیگر تسلط می یابند و به عنوان یک ترکیب اصلی در نظر گرفته می شوند.

ژیولینگلیک و همکاران [15] در یک بررسی، از درصد های متفاوت سیمان آلومینات کلسیم در مخلوط های پایه سیمان پرتلند استفاده نمودند. در این بررسی از دوز سیمان با درصد اکسید آلومینیوم بالا (۶۱٪) و درصد اکسید آلومینیوم کمتر (۳۱٪) استفاده شده و نتایج نشان می دهند که استفاده بیش از ۶٪ از این نوع سیمان در مخلوط پایه سیمانی زمان گیرش اولیه و نهایی را کاهش داده و این سیر

نزولی در زمان گیرش تا مقادیر جایگزینی ۱۵٪ ادامه داشته و در این درصد به بیشینه میزان خود می رسد البته نمونه های حاوی سیمان آلومینات کلسیم با اکسید آلومینیوم بیشتر زمان گیرش کوتاه تری را در مقایسه با نمونه دیگر حاوی درصد پایین اکسید آلومینیوم نشان می دهد که تا ۶٪ جایگزینی سیمان آلومینات کلسیم حاوی درصد بالای اکسید آلومینیوم مقاومت فشاری بالاتری نسبت به نمونه دیگر مشاهده شده در حالی که در جایگزینی بیش از ۶٪، این مقادیر تغییر کرده و نمونه های حاوی اکسید آلومینیوم کمتر مقاومت فشاری بالاتری را نشان می دهند.

برخی افزودنی ها در ساختار مخلوط های پایه سیمانی از تبدیل واکنش محصولات هیدراسیون ممانعت کرده و در نتیجه مانع از کاهش مقاومت فشاری این مخلوط ها در اثر افزایش تخلخل ناشی از تبدیل فازهای نیمه پایدار هیدراسیون به فازهای پایدار می شوند. شانگ و همکاران [16] پس از افزودن پودر آلومین در ساختار مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم دریافتند که این ماده از تبدیل فازهای نیمه پایدار به فازهای پایدار جلوگیری کرده و اجازه کاهش مقاومت فشاری در اثر تخلخل های ناشی از این تبدیل واکنش ها را به نمونه های پایه سیمانی را نمی دهد. برخی پژوهشگران از مواد پایه سیمانی و افزودنی های متفاوت مانند دوده سیلیسی، خاکستر بادی و سرباره ها در ساختار مخلوط های پایه سیمان آلومینات کلسیم استفاده نموده اند. آندرکرکا و همکاران [17] به بررسی تأثیر سرباره ها بر توسعه مقاومت سیمان آلومینات کلسیم پرداختند. در این مطالعه از سرباره های کوره آهن گدازی به عنوان جایگزینی از وزن سیمان آلومینات کلسیم در ساخت نمونه ها استفاده شده است و نتایج نشان می دهند که استفاده بیش از ۴۰٪ سرباره کوره از تبدیل واکنش احتمالی سیمان جلوگیری کرده و کاهش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد (فاقد مواد افزودنی) نیز نشان نمی دهد. ناصر مصطفی و همکاران [5] به بررسی آثار دوده سیلیسی و خاکستر بادی بر مخلوط های پایه سیمان آلومینات کلسیم پرداخته و دریافتند که هر دو ماده پایه

سیمانی سبب بهبود خواص مقاومتی شده و خاکستر بادی در مقایسه با دوده سیلیسی عملکرد بهتری در مقاومت فشاری داشته است.

بسیارها از واحدهای با وزن مولکولی کم به نام مونومر (تکپار) تشکیل شده که به صورت زنجیره‌هایی به یکدیگر متصل شده اند. مواد پلیمری براساس شرایط فیزیکی به سه دسته ترموپلاست‌ها، ترموست‌ها و الاستومرها تقسیم‌بندی می‌شوند [11, 18, 19]. پلیمرهای مصنوعی در زندگی روزمره مصرفی چشمگیر یافته و کاربردهای صنعتی گوناگونی پیدا کرده اند. برخی از این مواد در ساخت مصالح ساختمانی و بتن‌ها و مشتقات آن‌ها به کار بسته می‌شوند و می‌توانند خواص و ویژگی‌های کارآمدی را برای مصالحی که مواد پلیمری در آن‌ها استفاده شده‌است رقم بزنند. یکی از مصارف بسیار مهم پلیمرها، کاربرد این مواد در صنعت ساختمان است که از جمله این موارد استفاده در صنعت ساختمان به عنوان ماده افزودنی در ساخت بتن و مشتقات آن است که سبب اصلاح ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی می‌شوند.

کاربرد مواد پلیمری به عنوان اجزای ساخت مخلوط‌های پایه سیمانی باعث تغییر در ساختار و ماتریس سیمان شده است به گونه‌ای که به جای ماتریس سیمان مخلوط‌های اصلاح شده، ماتریس ترکیبی پلیمر-سیمان هیدراته ایجاد، و در واقع در این فرآیند ماتریس سیمان اصلاح می‌شود [18]. مواد پلیمری بسته به نوع و مقادیر مصرف می‌توانند عملکرد متفاوتی در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی از خود نشان داده و سبب بهبود و یا نقص در برخی خواص شوند.

در بررسی انجام شده روی اثر اتیلن وینیل استات بر مخلوط‌های پایه سیمان پرتلند بهبود برخی خواص از قبیل افزایش چقرمگی خمشی و چسبندگی به سطوح مختلف بتنی مشاهده شده است [20]. ناپن و همکاران به بررسی تأثیر پلیمرهای محلول در آب از قبیل پلی وینیل الکل-استات، هیدروکسی اتیل سلولز و متیل سلولز بر

مخلوط‌های پایه سیمانی (سیمان پرتلند) در نسبت پلیمر به سیمان کمتر از ۵٪ پرداختند و با توجه به مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی دریافتند که فیلم پلیمر در متیل سلولز تشکیل و تشخیص داده شده در حالی که در هیدروکسی اتیل سلولز هیچ گونه فیلم پلیمری مشاهده نشده است. فیلم پلیمرهای پلی وینیل الکل-استات نیز پس از قرار گیری در زیر آب به سختی قابل مشاهده است. یوکرین شیک و همکاران [21] در یک مطالعه آزمایشگاهی به پژوهشی در رابطه با مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم اصلاح شده با لاتکس استایرن بوتادین پرداختند. در این بررسی افزودن لاتکس به این ترکیبات سبب کاهش مقاومت فشاری شده لیکن مقاومت خمشی و خاصیت چسبندگی به سطوح بتنی پیشین افزایش داده شده است، همچنین این نوع پلیمرها کارایی (روانی) را بالا برده و تولید محصولات هیدراسیون را به تعویق می‌اندازند.

باقری و هاشمی [22] نیز در مطالعه تأثیر لاتکس در مخلوط‌های پایه سیمانی دریافتند که مقاومت فشاری و میزان نفوذ با افزودن استایرن بوتادین رابر کاهش و مقاومت کششی افزایش یافته است.

یکی از نکات جالب در مورد سیمان کلسیم آلومیناتی عملکرد این سیمان در محیط‌های سولفاتی است. اگرچه مقدار آلومین در این سیمان بالاست لیکن بر خلاف سیمان پرتلند که اترینگایت تولید می‌کند در این نوع سیمان محصولات واکنش  $C_3AH_6$ ,  $C_2AH_8$ ,  $CAH_{10}$  و  $AH_3$  تا حدی در برابر سولفات مقاوم هستند. یکی از دلایل این عملکرد عدم حضور کریستال‌های پرتلندیت در محصولات واکنش این نوع سیمان می‌باشد [23]. به عنوان مثال در بررسی که به مدت ۱۲ سال در آفریقای جنوبی روی لوله‌های فاضلاب که در معرض حملات سولفاتی باکتریایی قرار داشتند، انجام شد، نشان داده شد که عملکرد سیمان کلسیم آلومیناتی به مراتب بهتر از سیمان پرتلند بوده است بدین صورت که خوردگی در لوله‌های حاوی سیمان پرتلند در ۶۰ میلی‌متر ضخامت لوله صورت گرفته در

جدول ۱. مشخصات شیمیایی سیمان

| Chemical Analysis |                                |                                |     |     |                   |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-------------------|
| SiO <sub>2</sub>  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | Ti <sub>2</sub> O |
| 6                 | 35                             | 19                             | 41  | 1.5 | 5                 |

Table 1. Chemical and physical properties of cement

## ۲-۲- سنگدانه

سنگدانه مورد استفاده در این پژوهش از جنس سیلیس بوده و به منظور بهره‌مندی از دانه بندی مناسب از منحنی فانک و دینگر با توان ۰/۳ استفاده شده است که در این بین به منظور فیت شدگی مناسب دانه‌بندی ماسه‌های مصرفی، از ۴۸٪ ماسه سیلیسی با سایز ۰/۶-۲/۳۶ میلی‌متر، ۳۲٪ ماسه سیلیسی با ابعاد کوچکتر از ۰/۱۵ میلی‌متر و ۲۰٪ ماسه سیلیسی با سایز ۰/۰۵-۰/۶ بهره‌گیری شده است. وزن مخصوص و رطوبت اشباع با سطح خشک ترکیبی ماسه‌های مصرفی به ترتیب برابر با ۲۵۵۵ کیلوگرم بر مترمکعب و ۰/۶ درصد است که در نسبت مخلوط‌ها مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند.

شکل ۲. سنگدانه‌های مصرفی



Fig. 2. Sand aggregates

## ۲-۳- پلیمر

پلی‌وینیل استات و اتیلن وینیل استات پلیمرهای آلی ترموپلاستیک محسوب می‌شوند. وینیل استات از جمله پلیمرهایی هستند که در محیط قلیایی به سبب واکنش با آب تجزیه شده و به همین دلیل استفاده از این نوع پلیمر

حالی که در نمونه‌های حاوی سیمان کلسیم آلومیناتی این میزان ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر بوده است [1].

در مطالعه آزمایشگاهی حاضر، اصلاح ساختار مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم با اتیلن وینیل استات و وینیل استات که دونوع پلیمر ترموپلاستیک محسوب می‌شوند صورت گرفته و مشخصات مکانیکی آن‌ها از قبیل مقاومت فشاری و خمشی بررسی و ارزیابی شده است. همچنین به منظور بررسی عملکرد این مواد پلیمری بر سایر خواص، میزان چقرمگی خمشی نمونه‌های منشوری و تغییر طول نمونه‌ها نیز بررسی شده است. با توجه به ضرورت سنجش خواص دوام در مخلوط‌های پایه سیمانی، آزمون مهاجرت تسریع شده یون کلراید نیز بر روی نمونه‌های مورد بررسی انجام گرفته است. شایان ذکر است که هیچ گونه مطالعه و بررسی آزمایشگاهی بر روی اصلاح مصالح پایه سیمان آلومینات کلسیمی با بسپارهای اتیلن وینیل استات و وینیل استات مشاهده و انجام نشده است.

شکل ۱. سیمان آلومینات کلسیم مصرفی



Fig. 1. Calcium Aluminate Cement

## ۲. مواد و مصالح

## ۲-۱- سیمان

در این پژوهش از سیمان آلومینات کلسیم IRC-40 محصولی از شرکت فوندو به منظور بررسی خواص سیمان آلومینات کلسیم استفاده شده است. سطح ویژه این سیمان ۳۱۰۰ سانتی‌متر مربع بر گرم و چگالی ذرات ۳/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب است و آنالیز شیمیایی این محصول که با روش XRF مشخص شده است در جدول (۱) مشهود است.

## ۲-۴- فوق روانساز

روان ساز مورد استفاده در این بررسی به صورت مایع و بر پایه پلی کربوکسیلات اتر بوده و وزن مخصوص آن معادل ۱۰۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

## ۳. نسبت های مخلوط

در این بررسی مقدار سیمان مصرفی در حجم واحد ۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

جدول ۳. نسبت های مخلوط مورد مطالعه

| Name   | % w/c | Kg/m <sup>3</sup> |       |      |                 |                  |
|--------|-------|-------------------|-------|------|-----------------|------------------|
|        |       | Cement            | Water | Sand | Polymer (solid) | Superplasticizer |
| CAC    | 38    | 550               | 209   | 1534 | 0               | 3.85             |
| VA-5   | 38    | 550               | 209   | 1473 | 27.5            | 1.92             |
| VA-15  | 38    | 550               | 209   | 1341 | 82.5            | 2.20             |
| VA-25  | 38    | 550               | 209   | 1207 | 137.5           | 2.75             |
| EVA-5  | 38    | 550               | 209   | 1471 | 27.5            | 2.75             |
| EVA-15 | 38    | 550               | 209   | 1337 | 82.5            | 3.3              |
| EVA-25 | 38    | 550               | 209   | 1206 | 137.5           | 2.75             |

Table 3. Mixture proportions

نسبت آب به سیمانی که برای ساخت مخلوط های پایه سیمان آلومینات کلسیم اصلاح شده با مواد پلیمری و فاقد پلیمر در نظر گرفته شده است ۰/۳۸ بوده که به منظور ثابت نگهداشتن نسبت آب به سیمان، مقدار آب موجود در لاتکس و روان ساز مصرفی از میزان آب مصرفی کاسته شده است و مقادیر جامد مواد پلیمری و فوق روان ساز به عنوان جایگزینی از وزن ماسه محسوب شده اند. در ساخت مخلوط های سیمانی از ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ اتیلن وینیل استات و وینیل استات استفاده شده که هدف از تعیین این مقادیر، کاربرد کمینه، بیشینه و میانگینی از این دو مقدار پلیمر در مخلوط های پایه سیمان آلومینات کلسیم است، همچنین شایان ذکر است که به منظور بررسی دقیق تر مخلوط های اصلاح شده پلیمری مخلوط شاهد در دو مرحله (ابتدا و انتهای شروع ساخت مخلوط ها) ساخته شده است.

در ساختار بتن و ملات با چالش هایی همراه است و اتیلن وینیل استات به سبب داشتن ساختار اتیلن که ترکیبی نفوذناپذیر محسوب می شود این چالش را برطرف نموده است [18].

شکل ۳. پلیمرهای وینیل استات (سمت راست) و اتیلن وینیل استات (سمت چپ)



Fig. 3. Vynil acetate (right) and Ethylene Vynil acetate (left)

جدول ۲. مشخصات فیزیکی اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات

| Properties                   | Ethylene Vinyl acetate | Vinyl acetate |
|------------------------------|------------------------|---------------|
|                              | EVA                    | VA            |
| Appearance                   | White powder           | White liquid  |
| Density                      | 1.06                   | 1.06          |
| pH                           | 7                      | 4-5           |
| Particle size                | 90µm                   | 200 µm        |
| Solid%                       | 99±1%                  | 50±1%         |
| Transition glass Temperature | +15 c                  | +28 c         |

Table 2. physical properties of polymers

وینیل استات پس از پلیمریزه شدن وینیلی با رادیکال آزاد به وینیل استات تبدیل شده که به عنوان چسب چوب مورد استفاده قرار می گیرد. اتیلن وینیل استات به صورت پودری سفید رنگ می باشد و از نظر فیزیکی ممکن است به عنوان پلیمرهای توزیع شونده و یا پلیمرهای پخش در آب مورد استفاده قرار گیرند. به ترتیب مشخصات فیزیکی و شماتیکی از این دو نوع پلیمر در جدول (۲) و شکل (۳) ارائه شده است.

نسبت‌های مخلوط مورد بررسی در این مطالعه مطابق جدول (۳) است.

#### ۴. ساخت و عمل آوری نمونه‌ها

چگونگی ساخت ملات‌های اصلاح شده با مواد پلیمری در چهار مرحله صورت گرفته شده است. ابتدا مصالح لازم به صورت دقیق مطابق با نسبت مخلوط مد نظر توزین شده و سپس مصالح خشک که شامل سیمان و ماسه می‌شود به صورت خشک به مدت ۵ دقیقه در میکسر مخلوط می‌شوند، در این مرحله برای ساخت هر یک از مخلوط‌های اصلاح شده ابتدا پلیمر مصرفی (وینیل استات و اتیلن وینیل استات) با آب مخلوط شده سپس به مصالح خشک اضافه می‌شود، پس از طی مراحل ساخت مخلوط در یک زمان مشخص و پس از رسیدن به یک روانی مطلوب (۱۹۰-۲۲۰ میلی‌متر) مطابق آیین‌نامه ASTM C-230 [24] مخلوط قالب‌گیری می‌شود. در این بررسی مطابق استاندارد ASTM C-109 [25] از قالب‌های مکعبی با بعد ۵۰ میلی‌متر به منظور انجام مقاومت فشاری و به ترتیب از قالب‌های منشوری ۴۰\*۴۰\*۱۶۰ و ۱۵\*۱۵\*۲۵۰ میلی‌متر برای آزمون خمشی و تغییر طول نمونه‌ها مطابق با استانداردهای EN196-1 [26] و ASTM C-490 [27] بهره‌گیری شده است، همچنین برای آزمون کشش از نمونه‌های براکتی استفاده شده است.

در این پژوهش از عمل آوری ترکیبی (مرطوب و خشک) بهره‌گیری شده به طوری که در ۶ روز ابتدایی (پس از باز شدن قالب‌ها) به منظور هیدراسیون سیمان نمونه‌ها تحت شرایط مرطوب و غرقاب در آب قرار داشته و پس از این دوره زمانی تا زمان انجام آزمون نمونه‌ها خارج از آب در محیط اتاق با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با هدف تشکیل فیلم‌های پلیمری در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی، عمل آوری و نگهداری شده‌اند. این نوع عمل آوری متناسب با چگونگی اجرای این فرآیند در ساخت ابنیه‌ها و سازه‌ها نیز است. با توجه به چگونگی عمل‌آوری صورت گرفته در این پژوهش لازم به ذکر است که مواد

پلیمری به شدت آبدوست بوده و به همین لحاظ قدرت آب نگه‌داری بالایی دارند. بنابراین می‌توانند به تداوم عمل‌آوری در سنین بالا کمک نمایند. لیکن معمولاً از یک دوره اولیه عمل‌آوری مرطوب برای این مواد استفاده شده است. این دوره عمل‌آوری به انجام واکنش‌های هیدراسیون سیمان کمک می‌کند و عملکرد ثانویه پلیمرها را در عمل آوری خشک به دنبال دارد. البته دوره عمل‌آوری مرطوب یک مزیت پژوهشی دیگر نیز به دنبال دارد. برخی از پژوهشگران اعتقاد دارند پلیمرها در شرایط مرطوب طولانی مدت عملکرد مناسبی در مخلوط‌های بتن ندارند. پس عملکرد هفت روزه این مواد در محیط مرطوب تا حدی نشان دهنده امکان تشکیل فیلم‌های پلیمری و در نتیجه کاهش نفوذپذیری و مانعیت از حرکت یون‌های مخرب در شرایط مرطوب است.

#### ۵. نتایج و بحث

##### ۵-۱- مقاومت فشاری

آزمون مقاومت فشاری در سنین ۱، ۷، ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز روی نمونه‌های شاهد و نمونه‌های اصلاح شده با پلی‌وینیل استات و اتیلن وینیل استات انجام شده است و نتایج آن مطابق شکل‌های (۴ و ۵) است.

شکل ۴. مقاومت فشاری (۱ و ۷ روز)

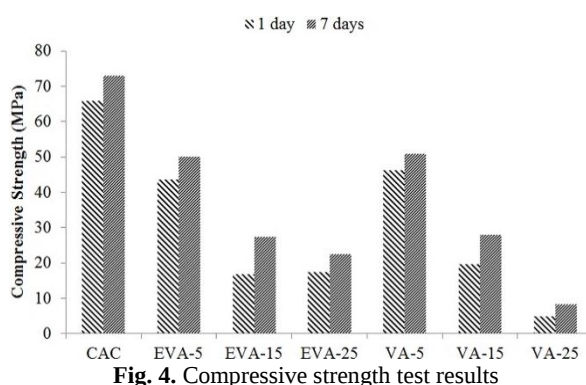


Fig. 4. Compressive strength test results

در سنین اولیه ۱ و ۷ روز که نمونه‌ها در شرایط مرطوب عمل‌آوری می‌شوند مخلوط کنترل بیشترین مقاومت فشاری را در مقایسه با مخلوط‌های اصلاح شده با مواد پلیمری داشته است و پس از آن در مخلوط‌های

در سن ۱۸۰ روز رشد مطلوب مقاومت فشاری را در مقایسه با سنین ۲۸ و ۹۰ روز تجربه کرده و تقریباً به مقاومتی برابر نمونه شاهد رسیده است. در نسبت پلیمر به سیمان ۱۵٪ مقاومت فشاری نمونه‌های وینیل استات در سن ۲۸ روز کمتر از اتیلن وینیل استات بوده و در سنین بالاتر (۱۸۰ روز) که شرایط مناسب و سازگار برای تشکیل فیلم‌های پلیمری در ساختار نمونه‌ها وجود دارد، مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده با دو پلیمر مصرفی یکسان و برابر با ۸۱ مگاپاسکال است که نشان دهنده عملکرد مشابه این نوع پلیمرها در جایگزینی ۱۵٪ است. در ملات‌های اصلاح شده با نسبت پلیمر به سیمان ۲۵٪ در هر سه سن ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز مقاومت فشاری مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات به ترتیب برابر با ۴۹، ۵۸ و ۸۱ مگاپاسکال بوده که این میزان مقاومت فشاری بیش از نمونه‌های حاوی وینیل استات با مقادیر مقاومتی ۲۴، ۴۰ و ۴۶ مگاپاسکال و کمتر از نمونه کنترل با مقادیر ۸۶، ۹۱ و ۱۰۵ مگاپاسکال است.

در نتایج همانگونه که مشاهده می‌شود افزایش سن به دلیل تشکیل بهتر ریز ساختار و در هم آمیختگی مواد پلیمری و هیدراته‌های سیمان و سنگدانه‌های مصرفی سبب افزایش مقاومت و رشد این پارامتر شده است. علل اصلی که برای کاهش مقاومت فشاری مخلوط‌های حاوی مواد پلیمری در مقایسه با نمونه شاهد می‌توان ذکر نمود شامل عدم هیدراسیون بخشی از دانه‌های سیمان در اثر احاطه این ذرات توسط مواد پلیمری و هیدراته‌های سیمان است [28] همچنین مواد پلیمری جاذب آب است پس آب آزادی که برای واکنش سیمان لازم است را جذب کرده و مانع از رسیدن این آب به ذرات می‌شوند و در نتیجه بخشی از ذرات سیمان به علت ممانعت مواد پلیمری از رسیدن آب به این ذرات هیدراته نشده باقی می‌مانند و در نتیجه از مقادیر مقاومت فشاری کاسته می‌شود. مواد پلیمری به دلیل دارا بودن سرفکتانت در ساختار خود سبب ایجاد حباب هوا در نمونه‌های اصلاح شده می‌شود که این موضوع نیز می‌تواند مقاومت فشاری نمونه‌ها را تحت تأثیر

اصلاح شده با ۵٪ و ۱۵٪ مواد پلیمری، وینیل استات و اتیلن وینیل استات مقاومت فشاری یکسانی را نشان می‌دهند، همچنین کاهش مقاومت فشاری در مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری با افزایش درصد کاربرد پلیمر مشهود است. در مخلوط‌های حاوی ۲۵٪ پلیمر، ملات حاوی اتیلن وینیل استات مقاومت بیشتری نسبت به ملات حاوی وینیل استات داشته است که این می‌تواند ناشی از عملکرد مطلوب اتیلن وینیل استات در تشکیل فیلم‌ها و انجام بهتر هیدراسیون سیمان نسبت به وینیل استات در مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم باشد.

شکل ۵. مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز

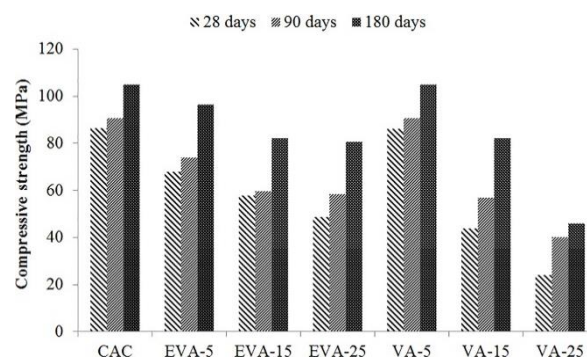


Fig. 5. Compressive strength test results

در بررسی و ارزیابی مقاومت فشاری مخلوط‌های مورد مطالعه در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز که نمونه‌ها در محیط اتاق با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد عمل‌آوری شده است، ملات حاوی وینیل استات در نسبت پلیمر به سیمان ۵٪ کاهش مقاومت فشاری نداشته و این نمونه مقاومت فشاری یکسانی با نمونه شاهد داشته است که علت این امر را می‌توان به هیدراسیون سیمان آلومینات کلسیم و انعقاد فیلم پلیمرها تحت شرایط عمل‌آوری مذکور و ایجاد یک ساختار یکپارچه میان ماتریس سیمان و شبکه‌های فیلم پلیمری نسبت داد. ملات حاوی اتیلن وینیل استات در نسبت پلیمر به سیمان ۵٪ در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه شاهد و نمونه اصلاح شده با وینیل استات داشته است لیکن افزایش سن تأثیر زیادی بر کسب مقاومت ملات‌های اصلاح شده پلیمری داشته است به گونه‌ای که مخلوط حاوی ۵٪ اتیلن وینیل استات

و ۵ تا ۲۵ درصد در اتیلن وینیل استات مقاومت خمشی بیش از نمونه شاهد داشته که در این بین منشورهای پایه سیمانی حاوی ۵٪ اتیلن وینیل استات با مقاومت خمشی برابر با ۱۶ مگاپاسکال، بیشینه مقاومت خمشی را نسبت به سایر مخلوط‌ها و نمونه شاهد در این سن داشته است. این ترکیب مقاومت خمشی را به میزان ۵۶٪ نسبت به نمونه شاهد با مقاومت ۱۰/۲ مگاپاسکال بهبود بخشیده است.

شکل ۶. مقاومت خمشی (۷، ۲۸ و ۹۰ روز)

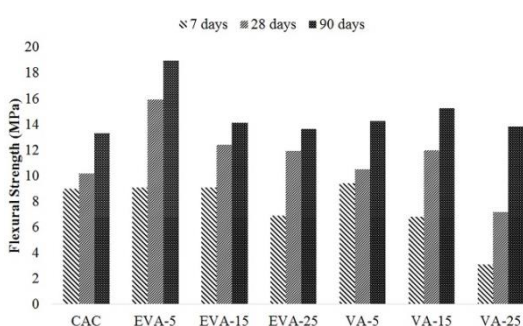


Fig. 6. Flexural strength test results

در بررسی مقاومت خمشی در سن ۹۰ روز، بهبود عملکرد ساختاری سیمان آلومینات کلسیم و مواد پلیمری مشهود است. در این سن تمامی مخلوط‌های پلیمری مقاومتی فراتر از نمونه شاهد داشته‌اند که دوباره نمونه حاوی ۵٪ اتیلن وینیل استات با ۱۹ مگاپاسکال مقاومت خمشی، بیشترین میزان مقاومت با افزایش حدود ۴۲٪ را برای نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. در مخلوط‌های حاوی اتیلن وینیل استات برخلاف نمونه‌های حاوی وینیل استات افزایش میزان پلیمر سبب کاهش خواص خمشی نمونه‌های ملات شده است. علت اصلی که برای افزایش مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی اتیلن وینیل استات و پلی‌وینیل استات نسبت به نمونه شاهد می‌توان ذکر نمود تشکیل فیلم پلیمرها است زیرا این فیلم‌ها پس از قرار گیری نمونه‌ها در شرایط خشک، منعقد شده و سبب چسبندگی بهتر سنگدانه‌ها و بهبود ناحیه انتقالی می‌شوند، همچنین این مواد با محصولات حاصل از هیدراسیون سیمان ترکیب شده و یک شبکه پلیمر-سیمان یکپارچه در

قرار داده و باعث کاهش بخشی از مقاومت فشاری نمونه‌ها در مقایسه با نمونه شاهد شوند [18].

## ۵-۲- مقاومت خمشی

نتایج حاصل از آزمون مقاومت خمشی که روی نمونه‌های منشوری با ابعاد  $40 \times 40 \times 160$  میلی‌متر در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز صورت گرفته، به ترتیب در شکل (۶) نشان داده شده است.

مخلوط شاهد در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز دارای مقاومت خمشی برابر با ۹، ۱۰/۲ و ۱۳/۳ مگاپاسکال است که در سن ۹۰ روز به بیشینه میزان خود رسیده و مقاومت خمشی مطلوبی را نشان می‌دهد. در نمونه‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات در سن ۷ روز عملکرد پلیمرها در خمش چشمگیر نیست و این امر به دلیل نوع شرایط عمل‌آوری این مخلوط‌ها است، زیرا این مخلوط‌ها در ۷ روز ابتدایی تحت شرایط مرطوب و غرقابی عمل‌آوری شده که پلیمرها در این شرایط نمی‌توانند پلیمره شده و انعقاد فیلم‌های پلیمری در ساختار نمونه‌های ملات محدود می‌شود بنابراین مقاومت خمشی در این سن چشمگیر نبوده و تنها ملات‌های حاوی ۵٪ و ۱۵٪ پلی‌اتیلن اتیلن وینیل استات و ملات حاوی ۵٪ وینیل استات مقاومتی برابر با نمونه شاهد داشته‌اند. دلیلی که برای کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های اصلاح شده با مواد پلیمری مذکور می‌توان بیان نمود حساسیت مواد پلیمری در برابر رطوبت و محیط آبی است که عملکرد مواد پلیمری را محدود می‌کند و این محدودیت در عملکرد با افزایش نسبت پلیمر به سیمان تشدید می‌شود [11, 18, 29].

در سن ۲۸ روز نمونه‌ها به مدت ۲۱ روز تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد خارج از آب در محیط اتاق تحت شرایط خشک عمل‌آوری شده و شرایط لازم برای تشکیل و انعقاد فیلم پلیمرها در ساختار نمونه‌های حاوی پلی‌وینیل استات و اتیلن وینیل استات فراهم می‌شود لکن با توجه به نتایج حاصل، مشاهده می‌شود که نمونه‌های اصلاح شده با نسبت پلیمر به سیمان ۵ و ۱۵ درصد در پلی‌وینیل استات

ساختار نمونه‌های مخلوط پایه سیمانی تشکیل می‌دهند که در مجموع این عوامل سبب افزایش و بهبود خواص خمشی مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود. بنابر آنچه در شکل (۶) مشاهده می‌شود در نمونه‌های اصلاح شده با وینیل استات و اتیلن وینیل استات به ترتیب در نسبت پلیمر به سیمان ۱۵٪ و ۵٪ بیشترین میزان مقاومت خمشی را داشته‌اند که استفاده از اتیلن وینیل استات با توجه به مقادیر مقاومت خمشی حاصل و درصد کم مصرف توصیه می‌شود. علت کاهش مقاومت درصدهای بالاتر از این مقادیر را می‌توان بدین گونه بیان نمود که به علت تجمع بیش از حد مواد پلیمری در مخلوط پایه سیمانی، ذرات پلیمر نمی‌توانند اطراف ذرات سیمان قرار گرفته و به آنها متصل و تشکیل شبکه‌های یکپارچه را دهند، از این رو مواد پلیمری در ساختار نمونه‌های مخلوط تشکیل یک ماتریس مجزای پلیمری داده که این ساختار پلیمری باعث ایجاد مقاومت در خمش نشده و در نتیجه از به هم پیوستگی و درهم آمیختگی ذرات سیمان و مواد پلیمری کاسته می‌شود و سبب کاهش مقاومت نمونه‌های تحت خمش در مقایسه با درصدهای بهینه تعیین شده می‌شوند.

### ۳-۵- چقرمگی خمشی

چقرمگی معرف میزان جذب انرژی و قابلیت تحمل کرنش قبل از گسیختگی است. این خاصیت تا حدی نشانگر میزان ممانعت از انتشار ریزترک‌ها در بتن قبل از شکست نهایی است. در مطالعه حاضر چقرمگی مخلوط‌های حاوی مواد پلیمری بررسی شده است تا میزان تاثیر این مواد در افزایش انعطاف‌پذیری نمونه‌ها و تحمل کرنش‌های بالاتر مشخص شود [30].

چقرمگی خمشی مساحت زیر منحنی خیز- نیرو است که میزان انرژی جذب شده را توسط نمونه‌های بتنی را نشان می‌دهد. بررسی چقرمگی مخلوط‌های ساخته شده مطابق ASTM C1018-97 [31] انجام گرفته است. مطابق این روش برای محاسبه چقرمگی باید خیز نمونه‌های خمشی در ۴ نقطه مختلف ( $\Delta$ ,  $3\Delta$ ,  $5\Delta$  و  $10\Delta$ ) سنجیده شود.  $\Delta$  خیز معادل با اولین ترک ایجاد شده است. مساحت

زیر منحنی خیز- نیرو تا محل اولین ترک ایجاد شده ( $\Delta$ ) چقرمگی نام دارد که بررسی آن معمولاً در نمونه‌های اصلاح شده پلیمری و نمونه‌های بدون مواد افزودنی متداول است.  $5\Delta$ ,  $3\Delta$  و  $10\Delta$  به ترتیب ۳، ۵/۵ و ۱۰/۵ برابر خیز معادل با اولین ترک ایجاد شده است و معمولاً در بتن‌های یافی که رفتار پس از پیک ایجاد اولین ترک در ساختار نمونه دارند، بررسی می‌شود. همانطور که بیان شده چقرمگی شکست میزان جذب انرژی مقطع بتنی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه چقرمگی شکست در این پژوهش از مساحت منحنی خیز- نیرو در آزمون خمشی که ناشی از نیروی اعمالی بر مقطع تیر با بعد ۴۰ میلی‌متر است تاثیر مواد پلیمری در جذب انرژی و در نتیجه افزایش انعطاف‌پذیری نمونه را نشان می‌دهد. لذا احتمال ایجاد شکست ترد در سازه کاهش می‌یابد. در بررسی چقرمگی نمونه شاهد مشاهده می‌شود که افزایش سن سبب افزایش میزان چقرمگی شده و این نمونه در سن ۹۰ روز بیشترین میزان چقرمگی خمشی را با میزان ۰/۶۵۱ نیوتن متر نشان داده است.

در سن ۷ روز کلیه نمونه‌های اصلاح شده با درصدهای مختلف جز نمونه‌های حاوی ۱۵٪ و ۲۵٪ وینیل استات چقرمگی خمشی بیشتری نسبت به نمونه کنترل داشته و بیشترین میزان چقرمگی خمشی در این سن به مخلوط محتوی ۲۵٪ اتیلن وینیل استات با میزان چقرمگی ۱/۸۱۲ نیوتن مترمربوط است. در یک دید کلی نسبت به مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات می‌توان دریافت که وینیل استات چقرمگی خمشی کمتری در مقایسه با اتیلن وینیل استات در سنین مختلف داشته است که این اختلاف در مخلوط محتوی ۲۵٪ مواد پلیمری به صورت کاملاً مشهود بیش از نمونه‌های دیگر است.

در سنین ۲۸ و ۹۰ روز با توجه به شرایط عمل‌آوری که بر روی نمونه‌های مورد مطالعه صورت گرفته است، روند رشد چقرمگی خمشی در تمامی نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه کنترل مشاهده می‌شود و این افزایش در خواص چقرمگی با افزایش سن و افزایش نسبت پلیمر به

می باشد که باعث در هم نشست جدارها شده و کاهش ابعاد نمونه ها را سبب می شوند.

شکل ۸. تغییر طول نمونه های شاهد و اصلاح شده با اتیلن وینیل استات

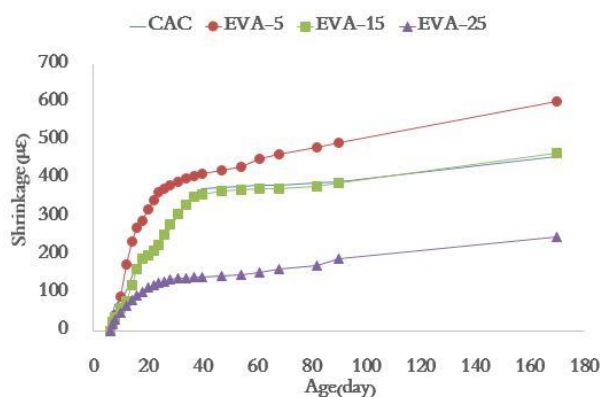


Fig. 8. Shrinkage of Ethylene vinyl acetate modified mortars

شکل ۹. تغییر طول نمونه های شاهد و اصلاح شده با وینیل استات

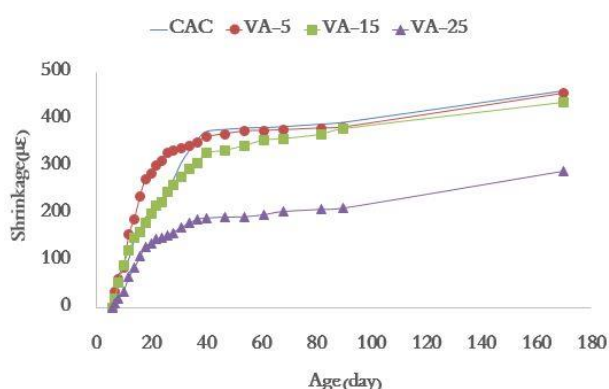


Fig. 9. Shrinkage of Vinyl acetate modified mortars

نتایج حاصل از اندازه گیری میزان جمع شدگی نمونه ها مطابق شکل های (۸ و ۹) است که در این آزمون، میزان تغییر طول نسبی نمونه شاهد برابر  $460\mu$  بوده و در این بین مخلوط های حاوی ۵٪ و ۱۵٪ وینیل استات و همچنین ۱۵٪ اتیلن وینیل استات تغییر طول نسبی برابری با نمونه شاهد داشته اند و این در حالی است که مخلوط های حاوی درصد بالاتر این نوع پلیمرها (۲۵٪) میزان جمع شدگی را به صورت قابل ملاحظه ای کاهش داده اند به طوری که مقادیر تغییر طول نسبی نمونه در سن ۱۷۰ روز برای

سیمان بیشتر می شود. در نسبت پلیمر به سیمان مشابه مخلوط های حاوی اتیلن وینیل استات چقرمگی خمشی بیشتری نسبت به نمونه های حاوی پلی وینیل استات داشته و در این بین مخلوط محتوی ۲۵٪ اتیلن وینیل استات با چقرمگی  $2/378$  نیوتن متر بیشترین میزان چقرمگی را مانند نمونه های ۷ روزه داشته است. عملکرد مواد پلیمری در مخلوط های اصلاح شده در محاسبه چقرمگی به خوبی مشهود است. شایان ذکر است مواد پلیمری در ترکیب های پایه سیمانی سبب افزایش خیز قابل تحمل نمونه های منشوری شده و این امر سبب افزایش جذب انرژی در مخلوط های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات می شود. در این بین اتیلن وینیل استات به سبب ذرات ریز پلیمری به صورت همگن تر در میان روزنه ها و منافذ ریز ساختاری جای گرفته و باعث افزایش جذب انرژی در مقایسه با مخلوط های حاوی پلی وینیل استات که ساین بزرگتری از ذرات پلیمری را دربرمی گیرد، می شود.

شکل ۷. چقرمگی خمشی مخلوط های مورد بررسی

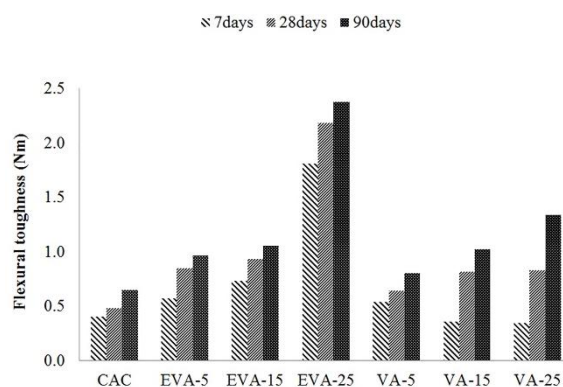


Fig. 7. Flexural toughness test results

#### ۴-۵- جمع شدگی

یکی از مسائل و معضلات مصالح پایه سیمانی تغییر طول و کاهش ابعاد این مصالح می باشد و یکی از علل اصلی که سبب کاهش در ابعاد نمونه ها در فرآیند خشک شدن می شود خروج آب موجود در منافذ موئینه و کاهش نیروهای هیدرو استاتیکی اعمالی بر جداره های این نمونه ها

نمونه‌های حاوی اتیلن وینیل استات و وینیل استات به ترتیب برابر با ۲۴۵ و ۲۸۸ میکرون بوده که به صورت تقریبی نیمی از مقادیر تغییر طول نسبی در نمونه شاهد را نشان می‌دهد. پلیمرها در مقادیر مختلف مورد استفاده، بسته به نوع ساختاری که در آن قرار گرفته رفتار متفاوتی را نشان می‌دهند.

در تغییر ابعاد نمونه‌های اصلاح شده پلیمری، جایگزینی ۲۵ درصدی مواد پلیمری توانسته روی جمع‌شدگی در بتن تأثیرگذار باشد و مقادیر تغییر ابعاد را برای هردونوع پلیمر مورد بررسی به حداقل برساند. پلی‌وینیل استات به سبب ایجاد فیلم‌های پلیمری گسترده آب موجود در منافذ ساختاری را حفظ کرده و از خروج آب از منافذ موئینه جلوگیری می‌کند همچنین این روند در اتیلن وینیل استات نیز مشاهده شده به طوری که در این مخلوط‌ها آب موجود در منافذ موئینه به قوت خود باقی مانده و از جمع‌شدگی جداره‌ها ممانعت می‌کند. دلایل دیگری که برای کاهش تغییر طول در اتیلن وینیل استات و وینیل استات بیان می‌شود، پر نمودن منافذ موئینه از مواد پلیمری بوده که این مواد مانند نیروهای هیدرواستاتیکی آب عمل کرده و از جمع‌شدگی جداره‌ها جلوگیری می‌کنند [18]، در این میان پلیمر اتیلن وینیل استات به سبب ذرات ریزتر از پلی‌وینیل استات در درصدهای بالای جایگزینی و پلی‌وینیل استات به سبب ذرات بزرگتر و در نتیجه تشکیل فیلم‌های گسترده‌تر حتی در مقادیر ۵ و ۱۵ درصد نیز در کاهش محدود میزان تغییر طول موثر است.

#### ۵-۵- مهاجرت تسریع شده یون کلراید

مسئله خوردگی کلرایدی آرماتور در بتن یکی از معضلات دوام برای بتن و مخلوط‌های پایه سیمانی محسوب می‌شود. پژوهشگران تکنولوژی بتن همواره به دنبال راهکارهایی همچون استفاده از بتن‌ها یا پوشش‌های نفوذناپذیر برای غلبه بر این مشکل بوده‌اند. پس در این مطالعه آزمون مهاجرت تسریع شده یون کلراید مورد بررسی قرار گرفته است تا عملکرد پلیمرهای حاضر بر

خواص نفوذپذیری کلرایدی مواد پایه سیمان کلسیم آلومیناتی تعیین شود.

به منظور ارزیابی و سنجش خواص دوام این آزمون در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز روی نمونه‌ها در این پژوهش انجام شده است. در بررسی مخلوط شاهد، ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید در سنین اولیه بسیار کم و در سنین بالایی (۹۰ روز) میزان نفوذپذیری بیشتری را نشان می‌دهد. در این مخلوط برخلاف مخلوط‌های پایه سیمان پرتلند که با افزایش سن کاهش میزان نفوذ کلراید را نشان می‌دهد در مخلوط شاهد با افزایش سن افزایش در نفوذ یون کلراید مشاهده شده است که علت اصلی این افزایش در میزان نفوذ به تبدیل محصولات هیدراسیون نسبت داده می‌شود به طوری که در ابتدا و در سنین اولیه فازهای نیمه پایدار (CAH10 و C2AH8) تشکیل شده و تحت گذر زمان و با توجه به دمای ۲۵ درجه سانتی گراد که در مدت عمل آوری به نمونه‌ها اعمال شده است تبدیل این فازها به فازهای پایدار (C3AH6 و AH3) صورت گرفته که این امر سبب کاهش حجم محصولات هیدراسیون و در نتیجه افزایش تخلخل ساختاری شده که این فرآیند در شکل (۱۰) مشهود است.

کاربرد اتیلن وینیل استات و وینیل استات در ساخت مخلوط‌ها سبب کاهش قابل ملاحظه و چشمگیر در ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید شده و افزایش درصد پلیمر سبب بهبود در میزان نفوذ شده به گونه‌ای که ضریب نفوذ یون کلراید مخلوط اصلاح شده با ۲۵٪ اتیلن وینیل استات عملاً به سمت عدد صفر میل کرده و نفوذ بسیار ناچیزی را نشان می‌دهد.

کاهش در ضریب نفوذ یون کلراید در سنین اولیه در مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری نسبت به مخلوط شاهد نیز مشاهده می‌شود که عملکرد مسدود کنندگی و پرکنندگی منافذ توسط مواد پلیمری را حتی در سنین اولیه نشان می‌دهد و در مخلوط‌های اصلاح شده مقادیر نفوذ به قدری کوچک بوده که مقایسه مخلوط‌های اصلاح شده با این دو نوع پلیمر را مشکل می‌کند، اما به صورت کلی می‌توان بیان نمود که مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل

• مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات سبب افزایش در مقاومت خمشی نمونه‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم در سنین ۲۸ و ۹۰ روز شده و مخلوط محتوی ۵٪ اتیلن وینیل استات با ۱۹ مگاپاسکال مقاومت خمشی بیشینه مقادیر مقاومتی را داشته است.

• میزان جذب انرژی مخلوط‌های پایه سیمانی که با چقرمگی خمشی نشان داده شده است تاثیر مثبت پلیمرها در افزایش این پارامتر را نشان داده که این میزان جذب انرژی با افزایش درصد پلیمرها مصرفی به صورت پیوسته افزایش می یابد به طوری که در سن ۹۰ روز و در جایگزینی ۲۵٪ اتیلن وینیل استات و وینیل استات به ترتیب میزان چقرمگی برابر با ۲/۳۷ و ۱/۳۳ نیوتن متر مشاهده شده است.

• تغییر طول نسبی مخلوط‌های پایه سیمان اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات عملکرد مطلوب این دو پلیمر در نسبت پلیمر به سیمان ۲۵٪ را نشان می‌دهد به گونه‌ای که در این نسبت پلیمر به سیمان میزان تغییر طول نمونه‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات به ترتیب به میزان ۴۵ و ۳۷ درصد میزان تغییر طول و انقباض نمونه‌های پایه سیمانی را کاهش داده است.

• با توجه به نتایج حاصل از آزمون ضریب تسریع شده یون کلراید، مخلوط‌های اصلاح شده با مواد پلیمری بر خلاف مخلوط شاهد با افزایش سن کاهش نفوذ یون کلراید را نشان داده است و مقادیر نفوذ در مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات بسیار کم و به صورت تقریبی برابر با صفر است اما در یک مقایسه کلی نمونه‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات میزان نفوذ کمتری نسبت به مخلوط‌های اصلاح شده با وینیل استات در درصدهای یکسان داشته است .

استات در درصدهای مشابه کاهش ضریب نفوذ محسوس تری نسبت به نمونه‌های اصلاح شده با وینیل استات داشته اند و این کاهش در نفوذ به علت تشکیل فیلم‌های پلیمری در منافذ و تخلخل‌های ساختاری است که این منافذ توسط فیلم‌ها مسدود شده و این ساختارها مانند یک پرده آب بند از نفوذ یون کلراید در ساختار ممانعت می‌کنند.

شکل ۱۰. ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید در سنین ۲۸، ۷ و ۹۰ روز

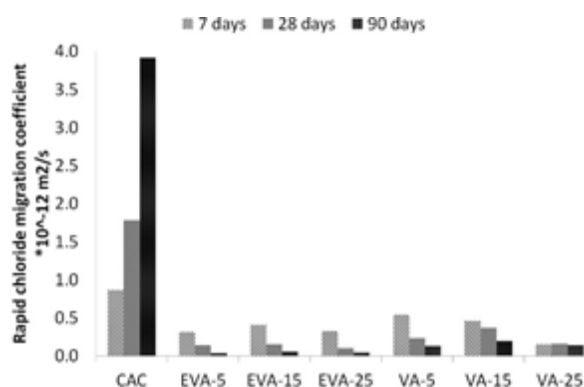


Fig. 10. Rapid chloride migration coefficients

## ۶. نتیجه گیری

در مطالعه آزمایشگاهی حاضر تاثیر مواد پلیمری اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات بر خواص مکانیکی مخلوط‌های پایه سیمانی که عامل چسبنده در این مخلوط‌ها سیمان آلومینات کلسیم است، مورد بررسی قرار داده شده و نتایج ذیل حاصل شده است:

• استفاده از مواد پلیمری به عنوان یک افزودنی در مخلوط‌های پایه سیمانی سبب کاهش در مقاومت فشاری این مخلوط‌ها به ویژه در سنین اولیه شده است که این سیر کاهشی با افزایش نسبت پلیمر به سیمان تشدید می‌شود. در مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و وینیل استات نمونه‌های اصلاح شده با ۵٪ مواد پلیمری عملکرد مقاومتی بهتری داشته که وینیل استات با ۱۰۵ مگاپاسکال مقاومت فشاری، مقاومتی برابر با نمونه شاهد داشته است.

- [20] Su Z, Larbi JA, Bijen J .1991. The interface between polymer-modified cement paste and aggregates . Cement and Concrete Research; 21(6):983–90.
- [21] Ukrainczyk N, Rogina A .2013. Styrene–butadiene latex modified calcium aluminate cement mortar. Cement Concrete Composite; 41:16–23.
- [22] Bagheri A, Hashemi S .1386. Influence of (SBR) Latex and Silica Fume on Properties and Performance of Cement-based Repair Concretes. Esteghlal;33–47, (in persian).
- [23] Ramezaniipoor A, Ghodusi P, Ganjian E .1395. Microstructure, properties and materials (Advanced Concrete Technology. Tehran: Amirkabir University of Technology,(In persian).
- [24] ASTM C. 230 . 2008. " Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. West Conshohocken, PA ASTM Int.
- [25] C109/C109M A .1999. Standard Test Method for Compressive Strength of 564 Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International West Conshohocken, Pa.
- [26] BS EN 196-1 .2016. Methods of testing cement. Determination of strength.
- [27] ASTM C. 490-04 .2004. " Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement, Paste, Mortar, and Concrete". In: American Society for Testing and Materials.
- [28] Knapen E, Van Gemert D . 2015. Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers. Cement and Concrete Composite ;58:23–8.
- [29] Kubal MT .2000. Construction waterproofing handbook. McGraw-Hill Professional Publishing.
- [30] Soboyejo W .2002. Mechanical properties of engineered materials. Vol. 152. CRC press.
- [31] Astm C. 1018-97 .1998. Standard Test Method Flexural Toughness First-Crack Strength Fiber-Reinforced Concrete.

## References

## ۷. مراجع

- [1] Newman J, Choo BS.2003. Advanced concrete technology 3: processes. Butterworth-Heinemann.
- [2] Barnes P, Bensted J.2002. Structure and performance of cements. CRC Press.
- [3] Scrivener KL .2003. Advanced concrete technology: constituent materials. Oxford: Elsevier.
- [4] Zhang S, Li GZ, Ning C. 2011. Properties of the Mortar Modified with the Styrene-Acrylic Emulsion. In: Advanced Materials Research. Trans Tech Publ. p. 1022–5.
- [5] Mostafa NY, Zaki ZI, Elkader OHA .2012. Chemical activation of calcium aluminate cement composites cured at elevated temperature. Cement and Concrete Composite;34(10):1187–93.
- [6] Klaus SR, Neubauer J, Goetz-Neunhoeffler F. 2013. Hydration kinetics of CA 2 and CA—investigations performed on a synthetic calcium aluminate cement. Cement and Concrete Research;43:62–9.
- [7] Concrete pavement maintenance/Repair. Cement Concrete & Aggregates Australia; 2009.
- [8] Aluminate Cements in Construction – A Re-assessment Technical. The Concrete Society.; 1997.
- [9] Kogel JE .2006. Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses. SME.
- [10] Antonovič V, Kerienė J, Boris R, Aleknevičius M.2013. The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure. Procedia Eng;57:99–106.
- [11] Odler I. .2003. Special inorganic cements. CRC Press.
- [12] Ukrainczyk N, Matusinović T. Thermal .2010. properties of hydrating calcium aluminate cement pastes. Cement and Concrete Research.;40(1):128–36
- [13] Taylor HFW .1997. Cement chemistry. 2nd. Ed, T Telford, London, 459.
- [14] Kurdowski W .2014. Cement and concrete chemistry. Springer Science & Business.
- [15] Xu L, Wang P, De Schutter G, Wu G .2014. Effect of calcium aluminate cement variety on the hydration of portland cement in blended system. J Wuhan Univ Technol Sci Ed;29(4):751–6.
- [16] Shang X, Ye G, Zhang Y, Li H, Hou D .2016. Effect of micro-sized alumina powder on the hydration products of calcium aluminate cement at 40° C. Ceramic International.42(13):14391–4.
- [17] Kırca Ö, Yaman İÖ, Tokyay M .2013. Compressive strength development of calcium aluminate cement–GGBFS blends. Cement and Concrete Composite;35(1):163–70.
- [18] Ohama Y .1995. Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology. William Andrew; 1 .
- [19] Miller M. 2005. Polymers in cementitious materials. iSmithers Rapra Publishing.

# The influence of ethylene vinyl acetate and vinyl acetate polymers on mechanical properties, shrinkage and durability of Calcium Aluminate Cement based mixtures

Ali Saeedikia<sup>1</sup>, Hesam Madani\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Department of Civil and Surveying, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

[Saidikia1993@yahoo.com](mailto:Saidikia1993@yahoo.com)

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

[h.madani@kgut.ac.ir](mailto:h.madani@kgut.ac.ir)

## Abstract

Nowadays, the utilization of polymer modified cement base materials in waterproofing coatings and mortars is spreading. However, the influence of polymers on some types of special cements has not been investigated appropriately. In the current study due to the characteristics of calcium aluminate cement such as fast hardening and accelerating, the effects of some types of polymer materials on the properties of polymeric modified mixtures have been investigated. To this purpose the incorporation levels were 5, 15 and 25 percent by weight of cement. The water to cement ratio in all the mixtures was also 0.38. In order to keep the water content of the mixtures in a constant level, the water content of superplasticizer and the latexes (vinyl acetate and ethylene vinyl acetate) was considered as a part of the mix water. It should be mentioned that the polymers were replaced with sand. In this experimental study, a combination of dry and wet curing conditions was utilized. For this aim, after demolding of the specimens, they were cured in water for 6 days, and after this period the specimens were cured in dry conditions at temperature of 25 degree of Celsius. The mechanical properties which studied in this research were compressive strength, flexural strength and flexural toughness. The shrinkage of the specimens has also been measured. It should be noted that in this study, the rapid chloride migration test was used to evaluate the durability properties of the cement base mixtures against diffusion of chloride ions. The results indicate that use of the polymers could improve the mechanical characteristics such as flexural strength and durability in regards of chloride ion diffusion as well as length change due to shrinkage. The polymer materials in calcium aluminate cement based mixtures have deceleration effect on cement hydration which results in lower compressive strengths compared to the plain mixture, which this effect is more evident at higher replacement levels. Despite the considerable reduction in compressive strength results at early ages especially for the mixtures with high contents of polymers, the differences at later ages were significantly lower. For instance, at 5% incorporation level, similar results with the plain mixture were obtained. In contrast to the compressive strength test results, high levels of polymer materials increased the flexural as well as flexural toughness in comparison with the plain mortar. It is noteworthy that incorporation of ethylene vinyl acetate in the mixtures could provide improved characteristics compared to the mixes with vinyl acetate at replacement levels of 5% and 25%. However, at 15% replacement level, similar results were obtained for the aforementioned polymers. The rapid chloride migration coefficient in the plain mix increased with age. However, using the polymers compensated for this effect and lower permeability values were obtained at later ages. It should be mentioned that the Rapid Chloride Migration Test coefficients were so low that the mixtures could be considered as relatively impermeable mortars. The shrinkage was also influenced by content of the polymer materials and those with higher contents have reduced length change.

**Keyword:** Calcium Aluminate Cement; Vinyl Acetate; Ethylene Vinyl Acetate; Mechanical Properties; Shrinkage, Durability