

# تأثیر مواد پلیمری بر برخی پارامترهای دوام مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم

دریافت مقاله: ۱۷-۰۳-۱۳۹۶

پذیرش مقاله: ۲۲-۱۰-۱۳۹۷

علی سعیدی کیا

کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان  
Saidikia1993@yahoo.com

سید حسام مدنی (نوسینده مسئول)

دانشیار دانشکده عمران و نقشه برداری، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان h.madani@kgut.ac.ir

چکیده:

یکی از مسائل مهم پیرامون مخلوط‌های پایه سیمانی، پایایی (دوام) این مخلوط‌ها در برابر شرایط آسیب رسان محیطی از قبیل خوردگی‌های ناشی از حملات کلرایدی و سولفاتی این مخلوط‌ها می‌باشد، که هر یک به نحوی می‌تواند بر زوال ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی موثر بوده و استفاده و کاربرد آنها را تحت تاثیر قرار دهد. در این مطالعه آزمایشگاهی به بررسی و ارزیابی عملکرد دونوع ماده پلیمری اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات بر خواص دوام مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیمی پرداخته شده است. آزمایش‌های انجام گرفته شامل مقاومت فشاری، میزان منافذ قابل نفوذ، مقادیر نفوذ موئینه آب، ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید و مقاومت فشاری مخلوط‌های در معرض اسیدسولفوریک بوده اند. نتایج نشان دهنده آن است که مواد پلیمری اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات سبب کاهش در نفوذپذیری آب و یون کلراید در مخلوط‌های پایه سیمانی شده و اتیلن وینیل استات عملکرد مطلوب تری در مقایسه با پلی وینیل استات در این خواص داشته است. این پلیمرها سبب کاهش در مقاومت فشاری شدند که این کاهش در سنین پایین مشهود می‌باشد، لیکن در اثر گذشت زمان این ضعف در مقاومت فشاری نمونه‌ها حتی در درصدهای بالای مصرفی (۲۵٪) تقلیل یافته است.

کلمات کلیدی: سیمان آلومینات کلسیم، پلیمر، اتیلن وینیل استات، پلی وینیل استات، دوام

استفاده از سیمان‌های پرتلند به منظور ساخت مخلوط‌های پایه سیمانی کاملاً متداول می‌باشد، لیکن سیمان‌های پرتلند برخی محدودیت‌ها همچون زوال ساختار در شرایط دمایی بالا، مقاومت کم در برابر شرایط اسیدی و آهنگ کند رشد مقاومت را دارند. برای غلبه بر این ضعف‌ها برخی از سیمان‌های خاص همچون سیمان آلومینات کلسیم تولید و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سیمان آلومینات کلسیم دارای خواصی از قبیل تسریع در سخت شوندگی و مقاومت حرارتی بالا بوده [1-4] و می‌تواند در صنایع نسوز و همچنین به عنوان یک عامل پیوند اجزای بتن در ساخت تونل‌ها و بزرگراه‌ها و تعمیرات فرودگاه مورد استفاده قرار گیرد [5,6]. فرآیند تبدیل فازهای نیمه پایدار به پایدار در سیمان آلومینات کلسیم بدون اعمال شرایط یا استفاده از مواد مکمل خاص امری اجتناب ناپذیر است. به همین لحاظ با گذشت زمان مواد پایه سیمانی ساخته شده با این سیمان دچار مشکلاتی از قبیل افزایش نفوذ پذیری و گاهی کاهش مقاومت فشاری می‌شود. در دماهای پایین تبدیل فازهای نیمه پایدار به فازهای پایدار در سنین بیش از ۵ سال انجام می‌پذیرد، لیکن در دمای بیش از ۳۰ درجه سانتی‌گراد تبدیل واکنش‌ها تسریع شده و در سنین پایین اتفاق می‌افتند [1,2,7,8]. به عنوان مثال مطالعات ریزساختاری نشانگر آن هستند، چنانچه یک روز نمونه در دمای صد درجه سانتی‌گراد عمل‌آوری شود، هیچ‌گونه فاز نیمه پایداری در مخلوط سخت شده مشاهده نخواهد شد [1,2]. همچنین موادی هستند که می‌توانند از این تبدیل واکنش‌ها ممانعت نموده است که از جمله این افزودنی‌ها پودر آلومین می‌باشد و می‌تواند از تبدیل واکنش‌های فازهای نیمه پایدار به فازهای پایدار جلوگیری کرده و مانع از انجام این تبدیل واکنش‌ها شود، بنابراین کاهش مقاومت فشاری نیز در این ترکیبات کمتر از نمونه‌های فاقد پودر آلومین می‌باشد [9].

برخی مطالعات به بررسی مشخصات مخلوط‌های ساخته شده با سیمان آلومینات کلسیمی پرداخته‌اند. به عنوان مثال ناصرمصطفی و همکاران [5] در یک مطالعه پیرامون سیمان آلومینات کلسیم از دوده سیلیسی و خاکستر بادی به عنوان درصد جایگزینی از سیمان آلومینات کلسیم در این ترکیبات استفاده نمودند و دریافتند که این مواد سبب بهبود در خواص مکانیکی مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم شده و در این بین خاکستر بادی عملکرد مطلوب تری در مقایسه با دوده سیلیسی از خود نشان داده است. کرکا و همکاران [10] نیز به بررسی تاثیر سرباره کوره آهن‌گدازی بر خواص مکانیکی مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم در دمای مختلف پرداختند و دریافتند که استفاده بیش از ۴۰٪ سرباره‌های کوره آهن‌گدازی می‌تواند از تبدیل واکنش‌های احتمالی سیمان آلومینات کلسیم ممانعت کرده و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری کمتری نسبت به مخلوط شاهد داشته است.

پلیمرها از واحدهای با وزن مولکولی کم به نام مونومر (تکپار) تشکیل شده که به صورت زنجیره‌هایی به یکدیگر متصل شده‌اند [4,7]. مواد پلیمری از جمله مصالحی هستند که به وفور در صنایع مختلف استفاده می‌شوند از جمله کاربرد این مواد در صنعت ساختمان، ساخت بتن و مخلوط‌های سیمانی اصلاح شده و نیز ساخت بتن‌ها و ملات‌های پلیمری می‌باشد که هر یک از این مصالح با نوع خاصی از مواد پلیمری تولید و کاربردهای ویژه خود را دارا می‌باشند و می‌توانند خواص متعدد مخلوط‌های پایه سیمانی را تحت تاثیر قرار دهند.

مطالعات اندکی به بررسی تاثیر انواع پلیمر بر خواص مخلوط‌های حاوی سیمان کلسیم آلومیناتی پرداخته‌اند. از آن جمله شیک و همکاران [11] به بررسی تاثیر پلیمر استایرن بوتادین رابر بر خواص مخلوط‌های حاوی سیمان آلومینات کلسیم پرداخته و دریافتند که پلیمر استایرن بوتادین سبب افزایش میزان روانی مخلوط شده، همچنین مقاومت خمشی و چسبندگی به سطوح زیرین نیز با استفاده از پلیمر افزایش یافته و افزایش درصد پلیمر عاملی در جهت بهبود این خواص می‌باشد.

اثرات مثبت مواد پلیمری بر بهبود برخی خواص مواد پایه سیمان پرتلند در مطالعات متعدد نشان داده شده است، لیکن اثر این مواد بر خواص مصالح حاوی سیمان آلومینات کلسیم مورد بررسی جدی قرار نگرفته است. لذا بررسی آزمایشگاهی حاضر به بررسی تاثیر افزودنی‌های پلیمری بر خواص مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم پرداخته شده است. طی این بررسی از دو نوع پلیمر اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی استفاده شده و تاثیر آن‌ها بر مقاومت فشاری و خواص دوام نمونه‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم در سنین مختلف (۷، ۲۸ و ۹۰ روز) مورد مطالعه قرار گرفته شده است. شایان ذکر است تاکنون مطالعه مشابهی در این زمینه بر روی سیمان‌های آلومینات کلسیم صورت نگرفته و بررسی این نوع خواص بر روی مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم اصلاح شده با این دو نوع پلیمر مطالعه‌ای نوین محسوب می‌گردد.

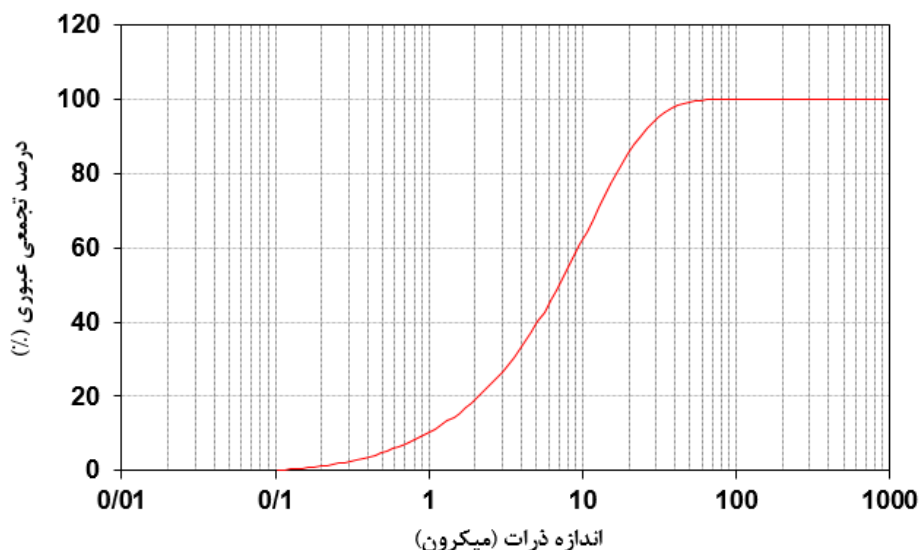
## – مواد و مصالح

### سیمان

سیمان مصرفی در این پژوهش سیمان آلومینات کلسیم از نوع IRC-40 محصولی از شرکت سیمان‌های نسوز ایران بوده که دارای ۳۵٪ اکسید آلومینیوم می‌باشد. منحنی توزیع اندازه ذرات و آنالیز شیمیایی ترکیبات این نوع سیمان که به ترتیب توسط دستگاه آنالیز توزیع ابعاد ذرات ( با نام تجاری Fritsch و مدل Analysette 22 nanotec) و دستگاه طیف‌نگار فلورسانس اشعه ایکس (XRF) ( با نام تجاری Micro edxrf و مدل XMF-104 تعیین شده است، مطابق شکل و جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و آنالیز شیمیایی سیمان مصرفی

آنالیز شیمیایی					
SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO %	MgO %	TiO <sub>2</sub> %
۴	۳۵	۱۶/۵	۴۰	۱/۵	۳
مشخصات فیزیکی					
سطح ویژه (cm <sup>2</sup> /gr)	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )				
۳۱۰۰	۳/۳				



شکل ۱: منحنی توزیع اندازه ذرات سیمان آلومینات کلسیم IRC-40

### سنگدانه

در این تحقیق از سنگدانه سیلیسی با دانه بندی پیوسته استفاده شده است. ماسه‌های مصرفی از شرکت کههد کرمان زمین تهیه شده و دارای سه نوع دانه بندی مختلف با ابعاد ذرات ۰/۶ تا ۲/۳۶، ۰/۴ تا ۰/۵ و کوچکتر از ۰/۱۵ میلی‌متر می‌باشند که به ترتیب ۴۸، ۲۰ و ۳۲ درصد از سهم دانه بندی را در این تحقیق به خود اختصاص داده اند. میزان رطوبت اشباع با سطح خشک ترکیبی ماسه‌های مصرفی که بر اساس استاندارد ASTM C566 تعیین می شود برابر ۰/۶٪ بوده و وزن مخصوص این ماسه‌ها برابر ۲۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب مطابق استاندارد ASTM C29 محاسبه شده است.

در این بررسی با توجه به همپوشانی مطلوب دانه بندی مصرفی از شاخص منحنی فانک و دینگر با توان ۰/۳ به منظور ساخت نمونه‌ها استفاده شده است که درصد عبوری و همپوشانی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲: درصد عبوری ماسه های سیلیسی مصرفی

شماره الک	درصد عبوری							
	۴	۸	۱۶	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	
ماسه (۰/۶-۲/۳۶ میلی‌متر)	۱۰۰	۱۰۰	۶۷/۹۳	۱۲/۱۲	۴/۱۰	۰/۴۰	۰	
ماسه (۰/۵-۰/۴ میلی‌متر)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷	۶۳/۷۵	۲۲	۱۳	
ماسه (<۰/۱۵ میلی‌متر)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۶	۷۰	

جدول ۳- درصد عبوری ترکیبی دانه بندی مورد بررسی و همپوشانی با شاخص فانک و دینگر با توان ۰/۳

شماره الک	۴	۸	۱۶	۳۰	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
درصد عبوری ترکیبی	۱۰۰	۱۰۰	۷۹/۵	۴۲/۹۵	۲۸/۹۶	۱۳/۷۵	۰
شاخصه فانک و دینگر با توان ۰/۳	۱۰۰	۱۰۰	۷۰/۸۷	۴۷/۷۳	۲۸/۴۲	۱۲/۷۴	۰

### پلیمرهای مورد مطالعه

در این مطالعه از دو نوع پلیمر ترموپلاستیک اتیلن وینیل استات (محصولی از شرکت DCC تایلند) و پلی وینیل استات (محصولی از شرکت رزین جام اصفهان) که مشخصات فیزیکی این پلیمرها مطابق جدول ۴ می‌باشد، بهره گیری شده است.

جدول ۴: مشخصات فیزیکی پلیمرهای مصرفی

مشخصات	اتیلن وینیل استات	وینیل استات
	EVA	PVAc
ظاهر	پودر سفید رنگ	مایع سفید رنگ
وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	۱/۰۶	۱/۰۶
pH	۷	۴-۵
اندازه میانگین ذرات	۹۰ μm	۲۰۰ μm
درصد جامد	۹۹±۱٪	۵۰±۱٪
دمای انتقال شیشه‌ای ۱	۱۵+°C	۲۸+°C

### فوق روانساز

فوق روان کننده مورد استفاده در این بررسی محصولی از شرکت CEDEX، به صورت مایع بر پایه پلی کربوکسیلات اتر بوده و وزن مخصوص آن  $1/08 \text{ gr/cm}^3$  می‌باشد.

### روش ساخت و عمل آوری

در این مطالعه ابتدا ماسه و سیمان مصرفی به مدت ۵ دقیقه توسط مخلوط‌کن به صورت خشک مخلوط شده‌اند، سپس آب با مواد پلیمری و بخشی از روانساز مصرفی ترکیب گردیده و به مصالح خشک افزوده شده است. پس از ساخت مخلوط‌های سیمانی و رسیدن مخلوط به سیلان برابر ۱۹۰ تا ۲۲۰ میلی‌متر مطابق روش استاندارد ASTM C230 [12] با کمک روانساز، قالب‌گیری انجام شده است. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و به مدت ۶ روز در شرایط غوطه‌ور در مخازن حاوی آب شهری عمل آوری شدند و هیچگونه آهکی در ساختار آب به صورت افزوده وجود نداشته است. همچنین در مخزن‌های عمل آوری این نمونه‌ها هیچ نمونه بتن دیگری که پایه سیمان پرتلند داشته باشد نگهداری نشده است. سپس نمونه‌ها در سن ۷ روز تا زمان انجام آزمون در محیط اتاق، خارج از آب و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد عمل آوری گردیده‌اند. هدف از انجام این نوع عمل آوری برای مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری انجام فرآیند هیدراسیون ذرات سیمان تحت شرایط مرطوب اعمالی بر نمونه‌ها در ۷ روز ابتدایی و امکان انعقاد فیلم‌های پلیمری حاصل از مواد پلیمری در شرایط عمل آوری خشک بوده است. این نوع عمل آوری در اجرای سازه‌های بتنی نیز رایج می‌باشد.

### روش آزمون

#### مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری مطابق استاندارد ASTM C109 [13] انجام گرفته است. طبق این استاندارد، حداکثر تنش فشاری وارد بر نمونه در حین بارگذاری برابر با مقاومت فشاری ملات می‌باشد. برای آزمون استاندارد فشار تک

<sup>۱</sup> دمای انتقال شیشه‌ای (Tg: Glass transition temperature) دمایی است که در آن، هنگام گرم کردن، رفتار ماده از حالت الاستیک به حالت ویسکوالاستیک تبدیل می‌شود. این دما با تغییر ناگهانی در ضریب انبساط حرارتی ماده مشخص می‌شود. دمای انتقال شیشه برای پلیمرها بدین صورت است، زمانی که درجه حرارت بالا رود مناطق آمورف شروع به حرکت می‌کنند و لغزش زنجیره‌ها را داریم که به این تحول، دمای انتقال شیشه می‌گویند.

محوره، از نمونه‌های مکعبی با ابعاد  $50 \text{ mm} * 50 \text{ mm} * 50 \text{ mm}$  استفاده شده است. در این آزمون، سرعت اعمال بار به منظور انجام بارگذاری یکنواخت،  $530$  کیلوگرم بر ثانیه بوده است. این محدوده سرعت پیشنهادی به گونه ای است که شکست نمونه‌های مکعبی شکل بامقاومت مشخصه معمول و متداول را در حدود یک دقیقه فراهم می‌کند. برای هر طرح مخلوط در هر سن، حداقل سه نمونه مکعبی در سنین مختلف تحت آزمون فشاری قرار گرفته و میانگین مقادیر مقاومت فشاری آزمون‌ها به عنوان مقاومت فشاری نهایی گزارش شده است.

### ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید

میزان نفوذ یون کلراید در مخلوط‌های پایه سیمانی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. آزمون ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید در این مطالعه براساس استاندارد NT build 492 [14] انجام شده است. طی انجام این آزمون و استفاده از محلول نیترا ت نقره بر سطح نمونه‌ها جهت مشخص نمودن نواحی نفوذ یون کلراید در نمونه‌ها، میزان نفوذ با استفاده از کولیس اندازه‌گیری شده و مطابق رابطه (۱) ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید محاسبه شده است.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239 (273+T) \times L}{(U-2) \times t} \times (X_d - 0.0238) \times \sqrt{\frac{(273+T) \times L \times X_d}{U-2}} \quad (1)$$

$D_{nssm}$ : ضریب انتشار یون کلراید  $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

U: مقدار ولتاژ اعمالی

T: میانگین دمای اولیه و ثانویه در محلول آب‌نمک

L: ضخامت نمونه بر حسب میلی‌متر

$X_d$ : میانگین مقادیر عمق نفوذ

T: مدت زمان آزمایش بر حسب ساعت

### منافذ قابل نفوذ

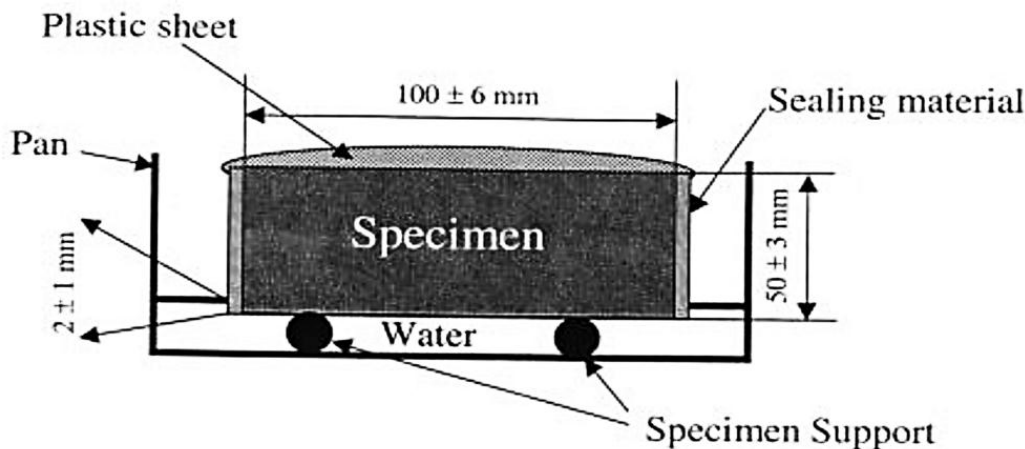
آزمایش درصد حجمی منافذ قابل نفوذ مطابق استاندارد ASTM C642-06 [15] بدین صورت انجام شده که پس از عمل‌آوری نمونه‌ها، آزمون‌های استوانه‌ای با قطر  $100$  میلی‌متر و ضخامت  $50$  میلی‌متر، درون گرمخانه در دمای  $105^\circ\text{C}$  قرار داده شده‌اند تا نمونه‌ها خشک گردند، سپس نمونه‌های خشک شده تا زمان کسب وزن ثابت در آب غوطه ور می‌شوند.

در این آزمون نمونه‌ها در زمان‌های مختلف از آب خارج شده، سطح آن‌ها خشک گردیده و سپس توزین می‌شوند. بدین ترتیب با داشتن وزن آزمون در حالت خشک و پس از غوطه‌وری در آب میزان حجم منافذ قابل نفوذ محاسبه می‌گردد.

### جذب موئینه آب

هدف از انجام این آزمایش، تعیین نرخ جذب آب در بتن می‌باشد. بدین صورت که افزایش جرم حاصل از جذب آب، تابعی از زمان می‌باشد. قسمتی از نمونه که در تماس با آب قرار دارد و سبب می‌شود که آب به صورت موئینه در بتن غیراشباع نفوذ کند. برای انجام این آزمایش، نمونه‌های استوانه‌ای به ارتفاع  $50 \pm 3$  میلی‌متر مطابق ابعاد لازم ارائه شده در آیین‌نامه ASTM C1585-04 [16] برش داده شده و یک قسمت هر استوانه برای این آزمایش انتخاب می‌گردد. جهت انجام آزمایش سه نمونه از هر طرح در هر سن تهیه گردید و به مدت  $7$  روز در آب آهک اشباع قرار

گرفته و پس از ۷ و ۲۸ روز نمونه‌ها در آون با دمای ۶۵ درجه سانتیگراد قرار گرفته و تا زمانی که تمامی حفرات موجود در ساختار بتن از آب خالی شوند (وزن ثابت شود) در آون باقی می‌مانند.



شکل ۲: نمای شماتیک از نحوه انجام آزمایش جذب موئینه آب

بعد از ثابت شدن وزن، نمونه‌ها از آون خارج شده و بدنه کناری آن‌ها مطابق آیین‌نامه با چسب پلاستیکی آب بند می‌شوند. سپس نمونه‌ها را توزین کرده، به گونه‌ای که سطح آب به اندازه  $3 \pm 1$  میلی‌متر از تراز کف نمونه‌ها بالاتر باشد (شکل شماره ۲)، درون ظرف آب قرار داده می‌شوند. وزن نمونه‌ها در زمان‌های ۱، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ دقیقه و ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶، ۱۲۰، ۱۴۴، ۱۶۸ ساعت قرائت می‌شود.

$$I = \frac{m_t}{a/d} \quad (2)$$

I: مقدار جذب آب بر حسب میلی‌متر

$m_t$ : تغییر وزن نمونه در زمان  $t$  بر حسب گرم

$a$ : سطح مقطعی از نمونه که در تماس با آب است. (میلی‌متر مربع)

$d$ : چگالی آب بر حسب گرم بر میلی‌متر مکعب

#### مقاومت در برابر اسید سولفوریک

به منظور بررسی تاثیر محیط‌های سولفاتی بر عملکرد مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم و مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات، نمونه‌ها پس از گذشت ۲۸ روز، به مدت ۴ هفته در محلول اسید سولفوریک (با میزان pH برابر ۲ و دمای  $23 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. در این دوره ۲۸ روزه پس از تغییر مقادیر pH محلول سولفوریک اسید، نمونه‌ها در یک محلول اسیدی جدید با میزان pH برابر با محلول پیشین قرار داده می‌شدند. پس از ۲۸ روز نمونه‌ها از محلول اسید سولفوریک خارج شده و بعد از مسطح نمودن سطوح نمونه‌ها به روش کپینگ، نمونه‌ها توسط جک مقاومت فشاری شکسته شده و مقاومت فشاری آن‌ها اندازه‌گیری شده است.

#### - طرح اختلاط

در این تحقیق مقدار سیمان مصرفی در حجم واحد ۵۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. نسبت آب به سیمانی که برای ساخت مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم در نظر گرفته شده است ۰/۳۸ بوده که به منظور ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان، مقادیر آب موجود در لاتکس پلیمر پلی وینیل استات و روانساز مورد استفاده از میزان آب مصرفی کاسته شده است و حجم جامد مواد پلیمری به عنوان جایگزینی از حجم ماسه محسوب شده‌اند. در



ساخت مخلوط‌های سیمانی از ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ وزن سیمان اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات استفاده شده که هدف از تعیین این مقادیر، کاربرد حداقل، حداکثر و میانگینی از این دو مقدار پلیمر، در مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم می‌باشد، همچنین شایان ذکر است که به منظور بررسی دقیق‌تر مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری مخلوط شاهد در دو مرحله (ابتدا و انتهای شروع ساخت مخلوط‌ها) ساخته شده است. مجدداً لازم به ذکر است در این مطالعه پلیمرها به صورت حجمی با سنگدانه جایگزین شده‌اند. سیلان ملات‌ها در محدوده ۱۹۰ تا ۲۲۰ میلیمتر بوده است. طرح مخلوط‌های مورد بررسی مطابق جدول ۵ می‌باشند.

جدول ۵: طرح مخلوط مورد مطالعه بر حسب (kg/m<sup>3</sup>)

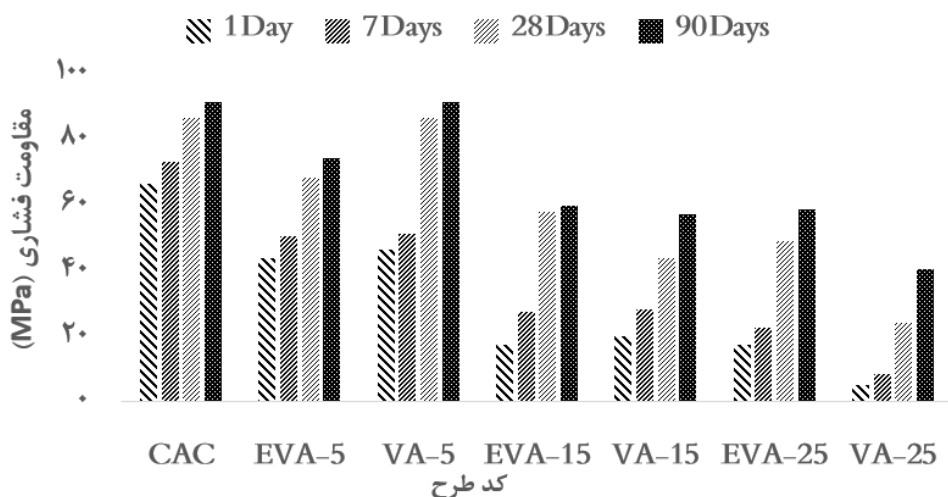
کد طرح	٪	Kg/m <sup>3</sup>				
		سیمان	آب	ماسه	پلیمر (جامد)	فوق روانساز
* CAC	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۵۳۴	۰	۳/۸۵
PVA-5	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۴۷۳	۲۷/۵	۱/۹۲
VA-15	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۳۴۱	۸۲/۵	۲/۲
VA-25	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۲۰۷	۱۳۷/۵	۲/۷۵
EVA-5	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۴۷۱	۲۷/۵	۲/۷۵
EVA-15	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۳۳۷	۸۲/۵	۳/۳
EVA-25	۳۸	۵۵۰	۲۰۹	۱۲۰۶	۱۳۷/۵	۲/۷۵

\* مخلوط شاهد

### - نتایج و بحث

#### مقاومت فشاری

آزمون مقاومت فشاری در سنین ۱، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز بررسی شده و نتایج حاصل از آن مطابق شکل ۳ می‌باشد. در بررسی مقاومت‌های فشاری ابتدا به بررسی مقاومت فشاری مخلوط شاهد (فاقد مواد پلیمری) پرداخته و سپس مقاومت فشاری مخلوط‌های اصلاح شده بیان می‌گردند.



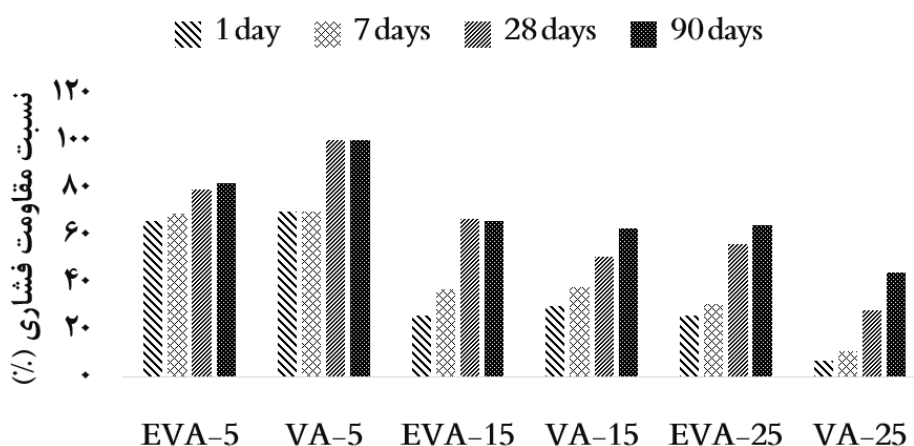
شکل ۳: مقاومت فشاری مخلوط‌های مورد مطالعه در سنین ۱، ۷، ۲۸ و ۹۰ روز



مخلوط شاهد در سن ۱ روز مقاومتی برابر با ۶۶ مگاپاسکال داشته که با توجه به مقاومت ۹۰ روز این مخلوط که برابر ۹۱ مگاپاسکال می‌باشد، کسب ۷۳٪ مقاومت فشاری را در این سن برای مخلوط مذکور نشان می‌دهد. این امر نشان دهنده یکی از خواص سیمان آلومینات کلسیم یعنی کسب میزان قابل توجه مقاومت فشاری در سن ۱ روز نسبت به سنین بالاتر مخلوط‌های حاوی این نوع سیمان می‌باشد. مقاومت این نوع سیمان با افزایش سن پیوسته رشد یافته و در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز به ترتیب مقاومتی برابر با ۸۶، ۷۳ و ۹۱ مگاپاسکال داشته است. تشکیل ریز ساختار منسجم و توسعه محصولات هیدراسیون طی افزایش سن نمونه‌ها علل اصلی برای این افزایش مقاومت فشاری در مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم می‌باشند.

پس از جایگزینی ۵، ۱۵ و ۲۵ درصد اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات در ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی در سنین متعدد کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها مشهود می‌باشد و این میزان کاهش در مقاومت فشاری با افزایش درصد پلیمر تشدید یافته به طوری که نمونه‌های حاوی ۲۵٪ پلیمر در مقایسه با مخلوط شاهد اختلاف مقاومت بیشتری نسبت به مخلوط شاهد داشته‌اند. مخلوط حاوی ۵٪ پلی وینیل استات در سنین ۲۸ و ۹۰ روز مقاومتی برابر با مقاومت نمونه شاهد داشته و اثر منفی بر مقاومت فشاری مخلوط نشان نداده است. این در حالی است که با درصد جایگزینی یکسان (۵٪) اتیلن وینیل استات با ۷۴ مگاپاسکال، مقاومت فشاری کمتری نسبت به مخلوط شاهد داشته است. در ۱۵٪ جایگزینی مواد پلیمری به عنوان اجزایی از ترکیب مخلوط سیمانی، مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات مقادیر برابری داشته و مقاومتی کمتر از مقاومت نمونه شاهد کسب کرده اند، این در حالی است که می‌توان بیان نمود مخلوط‌های حاوی ۱۵٪ پلیمر در سن ۹۰ روز به صورت تقریبی ۶۵ درصد مقاومت فشاری مخلوط شاهد را کسب کرده است.

استفاده از پلی وینیل استات در نسبت پلیمر به سیمان ۲۵٪ در سنین اولیه (۱ و ۷ روز) که نمونه‌ها تحت شرایط مرطوب عمل آوری شده‌اند و در سنین بالاتر (۲۸ و ۹۰ روز) مقاومت فشاری کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی اتیلن وینیل استات و مخلوط شاهد داشته‌اند که این کاهش مقاومت در نسبت‌های بالا محسوس می‌باشد.



### کد طرح

شکل ۴: مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده نسبت به نمونه شاهد

کاهش مقاومت فشاری که در مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری با نسبت پلیمر به سیمان ۵٪ برای اتیلن وینیل استات و ۱۵ و ۲۵ درصد برای هر دو نوع پلیمر مصرفی در سنین متعدد مشاهده می‌شود را می‌توان به علل ذیل نسبت داد. مواد پلیمری جاذب آب بوده و زمانی که در مخلوط قرار می‌گیرند بخشی از آب که برای هیدراسیون سیمان لازم است را جذب کرده و اجازه انجام هیدراسیون به ذرات سیمان و تشکیل هسته اولیه محصولات

هیدراسیون را نمی‌دهند بنابراین سبب کاهش در مقاومت فشاری نسبت به مخلوط شاهد می‌شوند از طرفی دیگر مواد پلیمری مانند یک مانع ذرات سیمان را احاطه کرده و از واکنش ذرات سیمان با آب ممانعت می‌کنند و عدم تشکیل محصولات هیدراسیون از علل مهم در کاهش مقاومت فشاری مخلوطها محسوب می‌شود [17,18].

یکی از علت‌های دیگری که می‌تواند در افت مقاومت فشاری سهمیم باشد افزایش میزان تخلخل ساختاری به واسطه افزایش حباب هوایی است [11] که با افزودن مواد پلیمری در مخلوط‌های پایه سیمانی ایجاد می‌شود. این حباب‌ها در ترکیب به صورت فضاهای متخلخل بوده و سبب کاهش در مقاومت فشاری مخلوط‌ها می‌شوند. البته همانطور که در نتایج مشهود می‌باشد کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پلیمر در سن ۱ و ۷ روز مشخص و محسوس بوده که این کاهش مشهود را می‌توان به نوع شرایط عمل‌آوری اعمالی بر نمونه‌ها نسبت داد به طوری که در این سنین نمونه‌ها در آب غوطه‌ور بوده لیکن مواد پلیمری با توجه به حساسیت‌هایی که به محیط مرطوب دارند نمی‌توانند فیلم‌ها و اجزای ساختاری خود را در نمونه‌های پایه سیمانی منعقد کرده بنابراین کاهش مقاومت قابل توجه‌تری در این نمونه‌ها مشاهده می‌شود.

افزایش مقاومت فشاری در مخلوط‌های اصلاح شده پلیمری به پارامتر مهم زمان بستگی داشته و هرچه سن نمونه‌ها افزایش یابد مقاومت فشاری نمونه‌های پلیمری نیز افزایش می‌یابد. علت اصلی در افزایش مقاومت نمونه‌های اصلاح شده پلیمری با افزایش سن تشکیل فیلم‌های پلیمری و بهبود ناحیه انتقالی میان سنگدانه‌ها و ذرات سیمان به واسطه خاصیت چسبندگی مواد پلیمری بوده که باعث شده مقاومت فشاری پیوسته افزایش یابد.

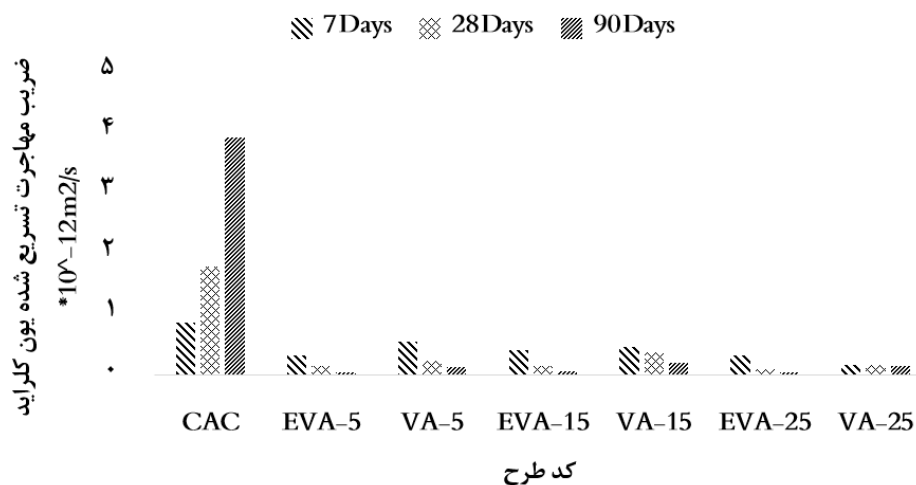
شایان ذکر است در این مطالعه عمل‌آوری در دمای نسبتاً بالای ۳۰ درجه سانتیگراد انجام شده است و قطعاً این مسئله تبدیل فازهای نیمه‌پایدار به پایدار را تسریع می‌کند. لیکن در سنین پایین علی‌رغم ضعف‌های ساختاری به وجود آمده ناشی از تغییر فاز فرآیند هیدراسیون سیمان کامل نشده است و به صورت مداوم محصولات جدید واکنش تولید می‌شوند که می‌توانند به بهبود خواص مکانیکی کمک نمایند هر چند که این بهبود به تدریج رنگ باخته و در مقایسه با سن روز در ۹۰ روز تغییر چندانی مشهود نمی‌باشد. شاید اگر در سنین بالاتر مطالعه ادامه می‌یافت افت خواص دیده می‌شد.

### ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید

یکی از مشکلات مصالح پایه سیمانی خرابی‌ها به دلیل خوردگی آرماتور در اثر حملات کلرایدی می‌باشد که ممکن است در بنادر، سواحل، معابر شهری و ... مشاهده شود، بدین منظور به منظور سنجش این مسئله و بررسی دوام مخلوط‌های پایه سیمانی از آزمون مهاجرت تسریع شده یون کلراید بهره‌گیری شده است. نتایج حاصل از این آزمون مطابق شکل ۵ می‌باشد.

مشاهده نتایج آزمون نفوذ یون کلراید در مخلوط شاهد نتیجه ای متفاوت با سیمان‌های رایج مصرفی پرتلند نشان می‌دهد، به طوری که در این نوع سیمان علی‌رغم نفوذ بسیار کم یون کلراید، افزایش سن نمونه‌های شاهد، افزایش در میزان نفوذ یون کلراید را نشان داده است به گونه ای که ضریب مهاجرت را از  $10^{-12} * 0/86$  متر مربع بر ثانیه در سن ۷ روز به  $10^{-12} * 4$  متر مربع بر ثانیه در سن ۹۰ روز رسانده که اگرچه این میزان نفوذ از مخلوط‌های حاوی سیمان پرتلند کمتر می‌باشد اما یک نقص برای این نوع سیمان محسوب می‌شود. همانطور که در بخش ۳ بیان شد تمامی نمونه‌ها در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط خشک عمل‌آوری شده لذا با توجه به دمای مذکور اعمالی بر نمونه‌ها می‌توان بیان نمود که تبدیل فازهای نیمه پایدار ( $C_2AH_8$  و  $CAH_{10}$ ) به فازهای پایدار  $C_3AH_6$  و  $AH_3$  اتفاق افتاده است. بنابراین حجم محصولات هیدراسیون کاهش یافته و سبب افزایش تخلخل و منافذ در مخلوط سخت شده می‌شود و این امر باعث افزایش در میزان نفوذ پذیری نمونه در سن ۹۰ روز در مقایسه با سنین ۷ و ۲۸ روز شده است. نتایج مقاومت فشاری افزایش در مقادیر مقاومتی را نشان می‌دهد که با دقت به میزان رشد مقادیر

مقاومتی می‌توان دریافت که این میزان رشد در سنین ۲۸ و ۹۰ روز چندان زیاد و قابل ملاحظه نبوده، پس رشد محصولات هیدراسیون و تبدیل فازهای نیمه پایدار به پایدار توام بایکدیگر صورت گرفته که تبدیل واکنش‌ها سبب افزایش تخلخل، نفوذ پذیری و کاهش در سرعت رشد مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد شده است؛ همچنین باید در نظر داشت که رشد محصولات هیدراسیون مانع از افت مقاومت فشاری مخلوط شاهد در سنین انجام آزمون می‌شود.

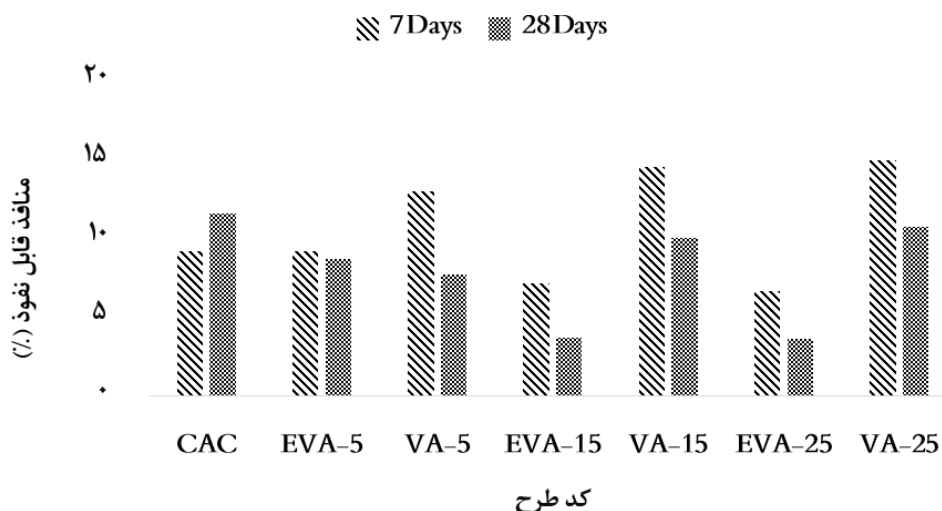


شکل ۵: ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز

در مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات نتایج مطلوب بسیار چشمگیری مشاهده می‌شود به طوری که میزان ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید نمونه‌های ۹۰ روزه در مقایسه با نمونه‌های ۷ و ۲۸ روزه نه تنها افزایش نیافته است بلکه کاهش در میزان نفوذ نسبت به مخلوط شاهد به خوبی مشهود می‌باشد. در بررسی میزان نفوذ یون کلراید در مخلوط‌های اصلاح شده مشاهده می‌گردد که در نسبت پلیمر به سیمان یکسان، اتیلن وینیل استات میزان نفوذ کمتری نسبت به پلی وینیل استات داشته و عملکرد مطلوب‌تری را نسبت به مخلوط شاهد نشان داده است.

با توجه به نتایج حاصل می‌توان دریافت که در سن ۹۰ روز مواد پلیمری ( اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات) نقش موثری در کاهش میزان نفوذ یون کلراید داشته و علت این امر انعقاد فیلم پلیمرها در ساختار مخلوط‌ها و جلوگیری از نفوذ یون کلراید در ساختار می‌باشد از طرفی پلیمرهای مصرفی می‌توانند مقید کننده یون کلراید بوده و این یون‌ها را در خود حفظ کرده و اجازه نشر این یون‌ها در ساختار نمونه‌های مورد آزمایش را ندهند [17,18]. در یک نتیجه گیری می‌توان دریافت که انعقاد فیلم‌ها در ساختار مخلوط‌های اصلاحی می‌تواند خلل و فرج موجود در ساختار را بسته و مانند یک پرده از نفوذ ذرات، آب و محلول‌ها در مخلوط‌های سیمانی مورد بررسی مانع کند. همچنین می‌توان بیان نمود که به ترتیب استفاده ۵٪ و ۲۵٪ از پلیمرهای اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات می‌تواند سبب بیشترین کاهش میزان نفوذ شود و یکی از دلایل برتری مخلوط‌های حاوی اتیلن وینیل استات در مقایسه با مخلوط‌های حاوی پلی وینیل استات اندازه ذرات این دو نوع پلیمر می‌باشد به طوری که اتیلن وینیل استات به سبب اندازه ذرات کوچک خود در منافذ بسیار ریز نفوذ کرده و فیلم‌های خود را در این ساختار تشکیل می‌دهند و این در حالی است که در پلی وینیل استات اندازه ذرات بزرگتر بوده و احتمال حضور این پلیمرها در منافذ بسیار ریز کاهش می‌یابد.

در بررسی منافذ قابل نفوذ نمونه شاهد مشاهده می‌شود که با افزایش سن، منافذ قابل نفوذ افزایش یافته است به طوری که این منافذ برای مخلوط شاهد در سنین ۷ و ۲۸ روز به ترتیب برابر ۹/۱۹ و ۱۱/۵۵ درصد می‌باشد.

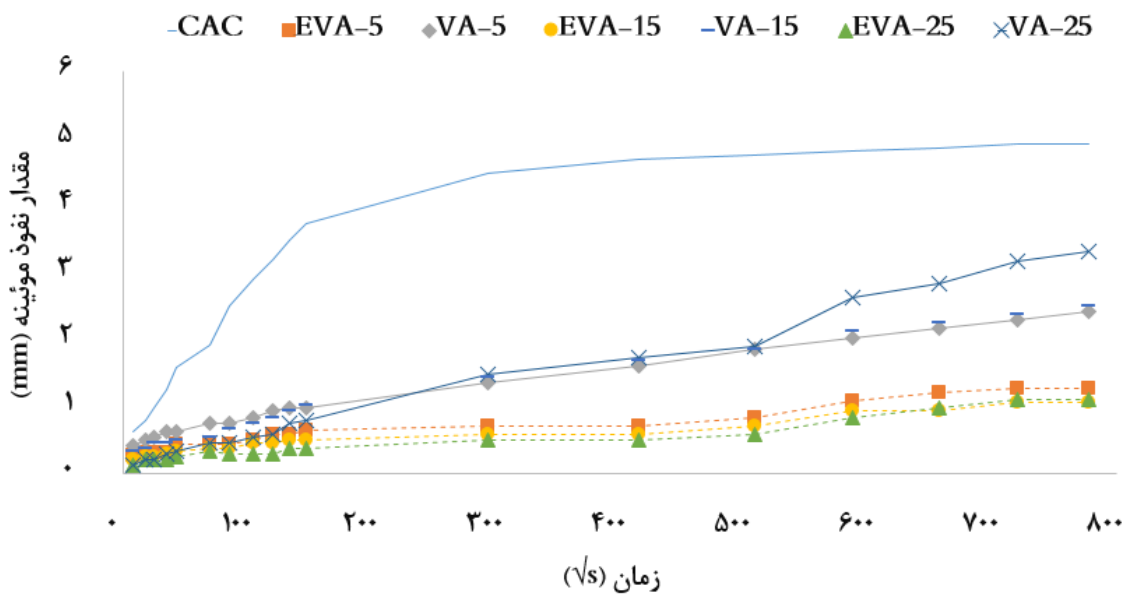


شکل ۶: درصد منافذ قابل نفوذ در سنین ۷ و ۲۸ روز

این امر، نتیجه تبدیل واکنش فازهای نیمه پایدار به فازهای پایدار سیمان آلومینات کلسیم بوده که این تبدیلات سبب افزایش درصد تخلخل‌های مخلوط شاهد و در نتیجه افزایش میزان منافذ قابل نفوذ می‌شود. در مخلوط‌های اصلاح شده با پلی وینیل استات در سن ۷ روز افزایش منافذ قابل نفوذ نسبت به مخلوط شاهد مشاهده شده است که این افزایش در منافذ قابل نفوذ با افزایش نسبت پلیمر به سیمان پیوسته افزایش می‌یابد. در سن ۲۸ روز منافذ قابل نفوذ در این مخلوط به دلیل تشکیل ریز ساختار و فیلم‌های پلیمری کمتر از مخلوط شاهد و نمونه‌های ۷ روزه بوده است اما مجدداً با افزایش درصد پلیمر افزایش در میزان منافذ قابل نفوذ مشهود می‌باشد، با توجه به اینکه پلی وینیل استات در محیط قلیایی با آب واکنش نشان می‌دهد و فرآیند تجزیه در آن صورت می‌گیرد می‌تواند سبب ایجاد تخلخل بیشتر در ساختار با افزایش پلیمر مصرفی گردد. مخلوط‌های حاوی اتیلن وینیل استات در سنین ۷ و ۲۸ روز میزان منافذ قابل نفوذ کمتری نسبت به مخلوط شاهد داشته و با افزایش درصد پلیمر نیز این کاهش در منافذ موجود در ساختار مخلوط‌های سخت شده مشاهده می‌گردد و این امر ناشی از تشکیل فیلم‌های گسترده با افزایش درصد پلیمر می‌باشد. ساختارهای اتیلن در ترکیبات وینیل استات ساختاری مقاوم در برابر آب می‌باشد [18] و همین پارامتر سبب بهبود خواص مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات در مقایسه با مخلوط‌های حاوی پلی وینیل استات شده است.

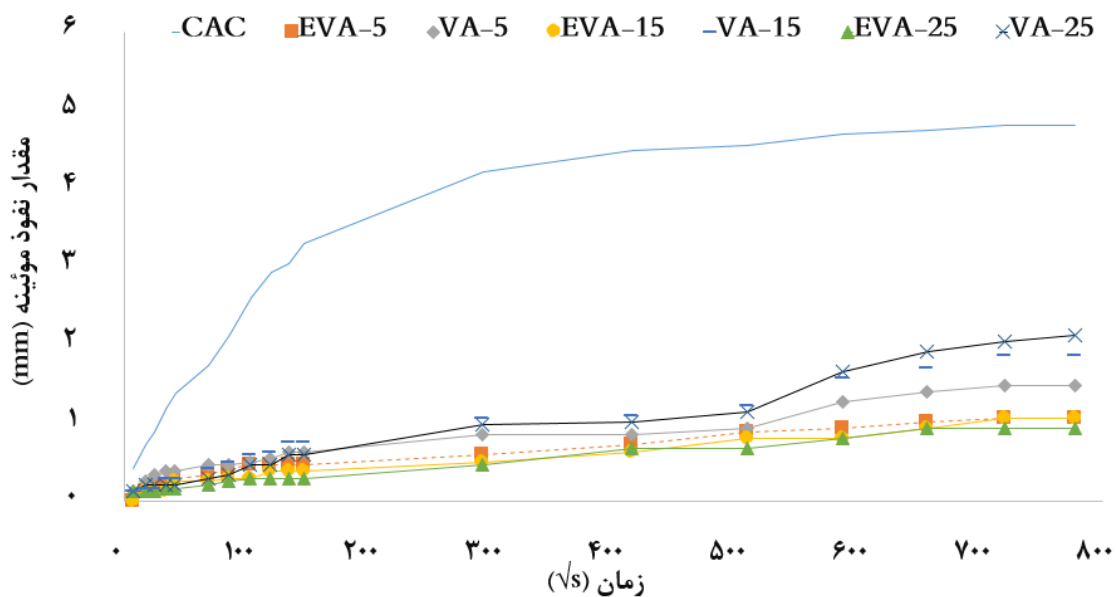
#### مقادیر نفوذ موئینه آب

یکی از پارامترهای مهم برای سنجش دوام بتن و سایر مواد پایه سیمانی میزان نفوذپذیری این نوع مخلوط‌ها می‌باشد. به منظور تعیین نفوذپذیری مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم (شاهد) و مخلوط‌های اصلاح شده با پلیمرهای اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات از آزمون نفوذ موئینه آب در سنین ۷ و ۲۸ روز بهره‌گیری شده و نتایج حاصل از آن مطابق شکل‌های ۷ و ۸ می‌باشد.



شکل ۷: مقادیر نفوذ موئینه آب در سن ۷ روز

در سن ۷ روز مشاهده می‌شود که تمامی نمونه‌های اصلاح شده با مواد پلیمری به دلیل تشکیل ساختار یکپارچه میان شبکه ماتریس سیمان و فیلم‌های پلیمری و نیز انعقاد فیلم‌ها در محل تخلخل‌های ساختاری، کاهش در میزان جذب موئینه آب نسبت به مخلوط شاهد را داشته‌اند که در این بین، پلیمر اتیلن وینیل استات بهترین عملکرد را در کاهش میزان نفوذ موئینه آب داشته به طوری که میزان نفوذ موئینه آب در جایگزینی ۵ تا ۲۵ درصدی از این نوع پلیمر کاهش قابل توجه را نشان می‌دهد. اما در نمونه‌های حاوی پلی وینیل استات افزایش میزان پلیمر سبب افزایش در میزان جذب آب شده است به طوری که نمونه حاوی ۲۵٪ پلی وینیل استات حدوداً ۳۳٪ جذب موئینه آب بیشتری نسبت به مخلوط حاوی ۵٪ پلی وینیل استات داشته است. شایان ذکر است که کلیه نمونه‌های اصلاح شده با پلی وینیل استات دارای میزان نفوذ موئینه کمتری نسبت به مخلوط شاهد بوده‌اند.



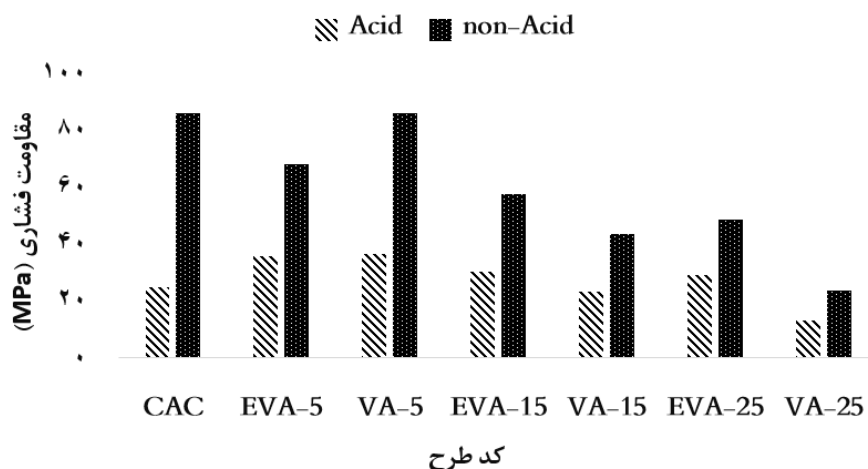
شکل ۸: مقادیر نفوذ موئینه آب در سن ۲۸ روز

در سن ۲۸ روز مشاهده می‌گردد که مخلوط شاهد مقادیر نفوذ کمتری نسبت به نمونه ۷ روز داشته است (اختلاف میزان نفوذ موئینه در مخلوط شاهد با افزایش سن بسیار ناچیز می‌باشد) در حالی که مخلوط‌های اصلاح شده نیز به دلیل تشکیل فیلم‌های پلیمری با توجه به نوع شرایط عمل آوری خشک، میزان نفوذ را به مقدار قابل توجهی کاهش داده‌اند و در این میان مخلوط حاوی اتیلن وینیل استات میزان نفوذ کمتری نسبت به مخلوط شاهد و مخلوط حاوی پلی وینیل استات داشته است.

کاهش میزان نفوذ موئینه در مخلوط‌های پایه سیمانی اصلاح شده می‌تواند وابسته به دلایل متعددی باشد. مواد پلیمری به درون منافذ موئینه نفوذ کرده و در این منافذ فیلم‌های پلیمری حاصل از مواد پلیمری منعقد شده و در نتیجه، این فیلم‌ها از نفوذ آب در این منافذ ممانعت می‌نمایند، همچنین پلیمرها ممکن است فیلم‌های خود را بر سطوح منافذ موئینه منعقد کرده و در نتیجه این فیلم‌ها مانند یک پرده آب بند از ورود آب به منافذ موئینه ممانعت کرده و سبب کاهش در مقادیر نفوذ موئینه شده است.

### مقاومت فشاری نمونه‌های در معرض اسید سولفوریک

مقاومت فشاری نمونه‌های شاهد و نمونه‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و پلی وینیل استات در معرض اسید سولفوریک قرار گرفته و نمونه‌هایی که در معرض سولفوریک اسید قرار نداشته‌اند مطابق شکل ۹ می‌باشد. نتایج مقاومت فشاری نمونه‌هایی که در معرض اسید قرار گرفتند عملکرد مطلوب اتیلن وینیل استات را نشان می‌دهد، به طوری که این نوع پلیمر با افزایش درصد کاهش مقاومت ناچیزی داشته و مقاومت فشاری مخلوط‌های اصلاحی با اتیلن وینیل استات از مقاومت فشاری مخلوط شاهد بیشتر می‌باشد به صورتی که نمونه شاهد نسبت به مقاومت ۲۸ روز خود ۷۱٪ افت مقاومت داشته در حالی که نمونه‌های حاوی اتیلن وینیل استات در نسبت پلیمر به سیمان ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ به ترتیب ۴۸، ۴۷ و ۳۵ درصد کاهش مقاومت فشاری داشته است و این امر یک نتیجه مطلوب برای مقاومت مخلوط‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات محسوب می‌شود.



شکل ۹: مقاومت فشاری نمونه‌های در معرض اسید سولفوریک و نمونه‌های عمل آوری شده در محیط

در بررسی نمونه‌های حاوی پلی وینیل استات مقاومت فشاری بیش از نمونه شاهد برای مخلوط حاوی ۵٪ پلیمر نسبت به مخلوط شاهد مشهود می‌باشد که با توجه به این موضوع که مخلوط اصلاح شده با ۵٪ پلی وینیل استات مقاومت برابر با مخلوط شاهد در سن ۲۸ روز داشته عملکرد و تاثیر مثبت مواد پلیمری بر مقاومت در برابر اسید سولفوریک را نشان می‌دهد البته مخلوط‌های حاوی ۱۵٪ و ۲۵٪ پلی وینیل استات مقاومت کمتری نسبت به نمونه

شاهد داشته که با توجه به مقاومت فشاری پایین این نمونه‌ها در سن ۲۸ روز طبیعی می‌باشد. همچنین مخلوط‌های حاوی ۵٪، ۱۵٪ و ۲۵٪ پلی‌وینیل استات به ترتیب ۵۸، ۴۷ و ۴۶ درصد افت مقاومت داشته که می‌تواند نشانگر عملکرد این نوع پلیمر در تقویت مخلوط‌های پایه سیمانی نسبت به مخلوط شاهد اسید سولفوریک باشد.

به صورت کلی می‌توان ذکر نمود که در میان مخلوط‌های اصلاح شده با درصد‌های مشابه مواد پلیمری، اتیلن وینیل استات مقاومت فشاری برابر یا بیشتر نسبت به مخلوط حاوی پلی‌وینیل استات داشته و هر دو پلیمر مورد استفاده عملکرد مخلوط پایه سیمان آلومینات کلسیم در برابر حملات سولفاتی را تقویت کرده‌اند.

#### قدردانی:

ین مطالعه در آزمایشگاه بتن دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان انجام گرفته‌است؛ همچنین در این مطالعه نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب مهندس نمازی زادگان، کارشناس محترم آزمایشگاه خواص مکانیکی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان نهایت تشکر و قدردانی را به جای آورند.

#### نتیجه گیری

مخلوط‌های پایه سیمان آلومینات کلسیم با گذشت زمان و در اثر قرارگیری در شرایط محیطی با دمای بالا، مقداری از خواص دوام خود را از دست می‌دهد. یکی از راه‌های بهبود خواص دوام در این مخلوط‌ها، اصلاح ساختار مخلوط‌های پایه سیمانی با استفاده از مواد پلیمری می‌باشد. اصلاح ماتریس سیمان با استفاده از مواد پلیمری اتیلن وینیل استات و پلی‌وینیل استات سبب کاهش مقاومت فشاری خصوصاً در سنین اولیه شده و در سنین بالا این نقص تا حدی کنترل شده و یا تاثیر آن‌ها کم می‌شود. عدم هیدراسیون بخشی از ذرات سیمان و عدم تشکیل هسته‌های اولیه هیدراسیون از علل اصلی در کاهش مقادیر مقاومت فشاری در این مخلوط‌ها محسوب می‌گردد.

مخلوط‌های اصلاح شده با مواد پلیمری به سبب تشکیل فیلم پلیمرها و مسدود نمودن منافذ ریز ساختاری سبب کاهش قابل ملاحظه ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید، مقادیر نفوذ موئینه و درصد حجمی منافذ قابل نفوذ در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روز نسبت به مخلوط شاهد شده و اثر منفی تبدیل واکنش‌های محصولات هیدراسیون در مخلوط شاهد که سبب افزایش ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید با افزایش سن می‌شود را خنثی می‌کنند. در نسبت پلیمر به سیمان برابر، اتیلن وینیل استات ضریب مهاجرت تسریع شده یون کلراید، میزان جذب موئینه آب و منافذ قابل نفوذ کمتری در مقایسه با مخلوط حاوی پلی‌وینیل استات داشته است. نمونه‌های اصلاح شده با اتیلن وینیل استات و پلی‌وینیل استات در برابر اسید سولفوریک مقاومت فشاری مناسبی داشته و افت مقاومت آن‌ها نسبت به مخلوط شاهد کمتر می‌باشد همچنین افزایش درصد پلیمر افت مقاومت کمتری داشته است.

با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان دریافت که استفاده از پلیمر اتیلن وینیل استات تاثیر مطلوبی بر خواص دوام داشته و استفاده ۵ درصدی از این نوع پلیمر با توجه به نتایج مطلوبی که داشته است در کاربردهایی همچون پوشش‌های آب بندی و مصارف تعمیراتی برای مخلوط‌های سیمان کلسیم آلومیناتی توصیه می‌شود.



- [1] Newman J, Choo BS. *Advanced concrete technology 3: processes*. Butterworth-Heinemann; 2003:46-97.
- [2] Barnes P, Bensted J. *Structure and performance of cements*. CRC Press; 2002;114-140.
- [3] Kogel JE. *Industrial minerals & rocks: commodities, markets, and uses*. SME; 2006;249-250.
- [4] Kurdowski W. *Cement and concrete chemistry*. Springer Science & Business; 2014;604-613&672-674.
- [5] Mostafa NY, Zaki ZI, Elkader OHA. *Chemical activation of calcium aluminate cement composites cured at elevated temperature*. *Cem Concr Compos*. 2012;34(10):1187–93.
- [6] *concrete pavement maintenance/Repair*. *Cement Concrete & Aggregates Australia*; 2009.
- [7] Odler I. *Special inorganic cements*. CRC Press; 2003;160-190&212-229.
- [8] Antonovič V, Kerienė J, Boris R, Aleknevičius M. *The effect of temperature on the formation of the hydrated calcium aluminate cement structure*. *Procedia Eng*. 2013;57:99–106.
- [9] Shang X, Ye G, Zhang Y, Li H, Hou D. *Effect of micro-sized alumina powder on the hydration products of calcium aluminate cement at 40° C*. *Ceram Int*. 2016;42(13):14391–4.
- [10] Kirca Ö, Yaman İÖ, Tokyay M. *Compressive strength development of calcium aluminate cement–GGBFS blends*. *Cem Concr Compos*. 2013;35(1):163–70.
- [11] Ukrainczyk N, Rogina A. *Styrene–butadiene latex modified calcium aluminate cement mortar*. *Cem Concr Compos*. 2013;41:16–23.
- [12] ASTM C. 230, "Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement". West Conshohocken, PA ASTM Int. 2008;
- [13] C109/C109M A. *Standard Test Method for Compressive Strength of 564 Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. ASTM International West Conshohocken, Pa.; 1999.
- [14] NT Build 492, *Concrete Mortar and Cement-based Repair Materials Chloride Migration Coefficient From Non-steady-state Migration Experiments*. NT Build 492, 1999.
- [15] ASTM C. 642, *Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*. *Annu B ASTM Stand*. 2006;4.
- [16] ASTM C 1585-04. *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. ASTM Int. 2004;
- [17] Knapen E, Van Gemert D. *Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers*. *Cem Concr Compos*. 2015;58:23–8.
- [18] Ohama Y. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology*. William Andrew; 1995.

# Influence of Polymer Materials on the Durability of Calcium Aluminate Cement Based Mixtures

*Ali Saeedikia*

*M.Sc. Department of Civil and Surveying, Graduate University of Advanced Technology, Kerman  
Saidikia1993@yahoo.com*

*Hesam Madani*

*Associate Professor, Department of Civil Engineering, Graduate University of Advanced Technology, Kerman  
h.madani@kgut.ac.ir*

## **Abstract**

*One of the important issues concerning the cement based mixtures is the durability against several destructive factors such as chloride induced corrosion and sulfate attack, which could way result in concrete deterioration. In the present experimental study, the effects of polyethylene vinyl acetate and polyvinyl acetate on the durability of calcium aluminum cement based mixtures have been investigated and evaluated. In this study, the test results including compressive strength, permeable pores, rapid chloride migration coefficient and compressive strength of sulfuric acid-treated mixtures have been reported. The results suggest that the polymers of ethylene vinyl acetate and polyvinylacetate can reduce the penetration rate of water and chloride ion migration in cement based mixtures and ethylene vinyl acetate outperformed the polyvinyl acetate in enhancing these properties. The polymers reduced compressive strength noticeably at early ages, however at later ages the differences between the compressive strengths of the polymer modified and plain mixture were reduced, even at high percentages of incorporation (25%).*

**Key word:** *Calcium Aluminate Cement, Polymer, Ethylene Vinyl Acetate, Poly Vinyl Acetate, Durability.*