

## ساخت و مشخصه‌یابی بتن پلیمری حاوی رزین اکریلیک پایه‌آبی با قدرت نفوذپذیری پایین نسبت به یون کلر و آب

سحر عبداللهی باغبان

دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

منوچهر خراسانی\*

دانشکده مهندسی پلیمر و رنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

### چکیده

در این مقاله تاثیر اعمال سه رزین اکریلیک پایه‌آبی بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی، پایداری و نفوذپذیری بتن حاصل بررسی شد. بدین منظور نمونه‌های بتنی با نسبت وزنی آب به سیمان معادل با ۰/۴۴۵ و رزین به سیمان برابر با ۰/۰۵ تهیه شدند. آزمون‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی از هم گسیخته، مهاجرت تسریع‌یافته‌ی یون کلر، جذب آب مویینه و ابتدایی و نهایی بر روی آزمون‌ها انجام شد. مشاهده شد که رزین اکریلیک می‌تواند به عنوان روان‌کننده‌ی بتن استفاده شود و میزان آب مورد نیاز برای افزایش روانی بتن تازه را کاهش دهد. افزودن رزین با حداقل دمای تشکیل فیلم (MFFT) بالاتر از دمای کارکرد، سبب کاهش نفوذ یون کلر تا ۱۴٪ شد. بطور کلی می‌توان گفت که با قبول کاهش ۲۰-۳۰٪ در مقاومت فشاری سازه‌های بتنی و ثابت ماندن برخی ویژگی‌ها، روانی بتن تازه، خواص فیزیکی و نفوذی مخلوط بتن حاوی رزین اکریلیک پایه‌آبی با MFFT بالاتر از دمای محیط بالابرد.

واژه‌های کلیدی: بتن پلیمری، مهاجرت تسریع‌یافته‌ی یون کلر، جذب آب، رزین‌های اکریلیک پایه‌آبی، تخلخل و نفوذپذیری بتن.

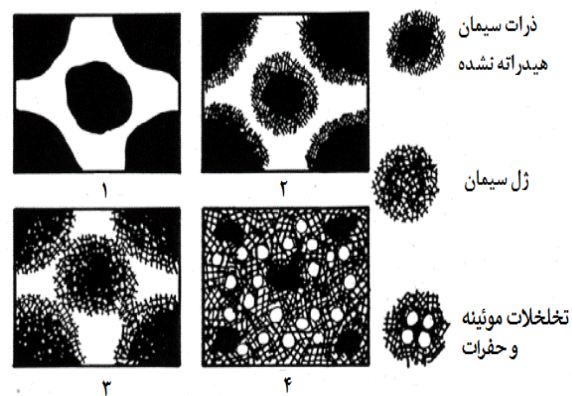
\* نویسنده مسئول: khorasani.m@aut.ac.ir

## ۱- مقدمه

تقریباً در تمام فرآیندهای تخریب بتن، پدیده‌ی انتقال عوامل مخرب نظیر گازها، آب و دیگر عناصر شیمیایی و سپس راه یافتن این عوامل به توده‌ی بتن از طریق منافذ و در نهایت خوردگی فولاد، دخالت خواهند داشت. چگونگی رفتار نفوذپذیری سطحی بتن مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده‌ی شدت آسیب‌پذیری سازه‌های بتنی است [۳-۵]. در پدیده‌ی خوردگی فولاد، یون کلر یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر شروع و شدت خوردگی است. یون‌های کلر یا از محیط‌های خارجی مانند آب دریا و یا از محیط داخلی مثل مصالح آلوده به یون کلر وارد بتن می‌شوند. فرآیند خوردگی آهن پس از شروع خودبه‌خود ادامه و تسریع می‌یابد. با تهاجم یون کلر، محیط قلیایی بتن از بین می‌رود و فولاد از ناحیه‌ی ایمن<sup>۳</sup> خارج می‌شود و باعث ایجاد پدیده‌ی خوردگی موضعی<sup>۴</sup> در بتن مسلح می‌شود. به این ترتیب لایه‌های زنگ ایجاد شده سبب کاهش pH محیط بتن می‌شود و دیگر لایه‌ی روئین تشکیل نمی‌شود؛ به علاوه افزایش حجم ناشی از تولید زنگ آهن سبب اعمال فشار به ساختار بتن و تخریب آن می‌شود. یکی از اقدامات موثری که برای کاهش میزان نفوذپذیری بتن انجام شده است، بهره‌بردن از مواد پلیمری در داخل بتن است. این مواد به دو شکل جامد و مایع و به سه صورت بتن پلیمری<sup>۵</sup>، بتن-سیمان-پلیمر<sup>۶</sup> و پلیمر تزریق شده در بتن<sup>۷</sup> به کار می‌روند. این بتن‌ها از سال ۱۹۵۰ میلادی به شکل تجاری استفاده می‌شوند که مقاومت‌های بالایی نسبت به نفوذ داشته‌اند [۱۳-۳]. افزایش دوام سازه‌های بتن مسلح در برابر خوردگی با توجه به گسترش استفاده از این سازه‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. علاوه بر مزیت بالارفتن مقاومت نفوذی بتن، پلیمرهای افزوده شده به بتن می‌توانند نقش روان‌کننده‌های بتن را داشته باشند. فوق روان‌کننده‌های رایج و سنتی در ابتدا (از حدود دهه‌ی پنجاه میلادی) برپایه‌ی ملامین (SMF)<sup>۸</sup> و نفتالین (SNF)<sup>۹</sup> بودند؛ اما نسل سوم فوق‌روان‌کننده‌ها که ترکیبات بر پایه‌ی پلیمرهای اکریلیک<sup>۱۰</sup> هستند از سال ۱۹۸۶

دوام بتن در محیط‌هایی با شرایط خورنده، بسیار مورد توجه است؛ چراکه ۴۰٪ تخریب سازه‌های بتنی به دلیل نداشتن دوام و پایایی کافی در مقابل نفوذ عوامل مهاجم رخ می‌دهد و در نهایت بتن مسلح خورده و سازه تماماً تخریب خواهد شد [۱-۳]. در سال‌های اخیر مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در زمینه‌ی تکنولوژی بتن عمدتاً بر دستیابی به بتن با مقاومت بالا متمرکز بوده است. به طور کلی مشخص شده است که شرط داشتن بتن با مقاومت بالا، افزایش دوام بتن در محیط‌های گوناگون است. از این رو برای افزایش مدت کاربری سازه‌ی بتنی، لازم است که در مراحل طراحی و اجرا، هر دو خاصیت مقاومت و دوام با هم در نظر گرفته شوند [۲-۴].

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، بتن از سه فاز سنگدانه، خمیر و ناحیه‌ی انتقال تشکیل می‌شود. در خمیر سیمان هیدراته شده، سه فاز جامد (بلورهای کلسیم هیدراته (C-H)، بلورهای سیلیکات کلسیم هیدراته (C-S-H) و اترینگایت<sup>۱</sup>)، محلول منافذ و منافذ وجود دارد. منافذ بتن شامل منافذ ژلی<sup>۲</sup>، منافذ موئینه و حباب‌های هوا است که به طور عمدی یا غیرعمدی در بتن محبوس شده‌اند [۴-۶]. به دلیل آنکه دو جزء اصلی سازنده‌ی بتن، یعنی خمیر سیمان و ناحیه انتقال بین خمیر و سنگدانه با گذشت زمان به طور مستمر تغییر می‌کنند، ساختار بتن ایستا و ثابت نیست [۶].



شکل ۱- نمایی از انواع تخلخلات در داخل بتن.

<sup>7</sup> Polymer Impregnated Concrete (PIC)

<sup>8</sup> Sulfonated melamine formaldehyde water-soluble polymers (SMF)

<sup>9</sup> Sulfonated naphthalene formaldehyde (SNF)

<sup>10</sup> Acrylic polymer-based (AP)

<sup>1</sup> Etringite

<sup>2</sup> Gelling

<sup>3</sup> passivation

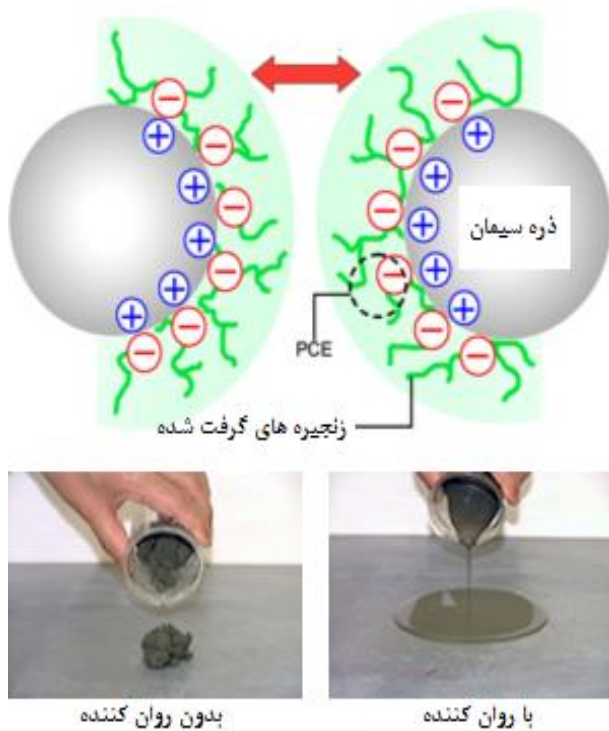
<sup>4</sup> Local corrosion

<sup>5</sup> Polymer Concrete (PC)

<sup>6</sup> Polymer Portland Cement Concrete (PCC) or Latex-Modified concrete (LMC)

- (۱) افزایش کارایی بتن بدون تغییر ترکیب مخلوط
- (۲) کاهش میزان آب اختلاط به منظور کاهش نسبت آب به سیمان (کاهش W/C) و نهایتاً افزایش قدرت و بهبود دوام پذیری
- (۳) کاهش میزان آب و سیمان به منظور کاهش هزینه به-علاوه‌ی کاهش خزش<sup>۹</sup>، چروک<sup>۱۰</sup>، انقباض<sup>۱۱</sup> و تنش‌های حرارتی<sup>۱۱</sup> که به واسطه‌ی گرمای جذب آب سیمان<sup>۱۲</sup> رخ می‌دهد.

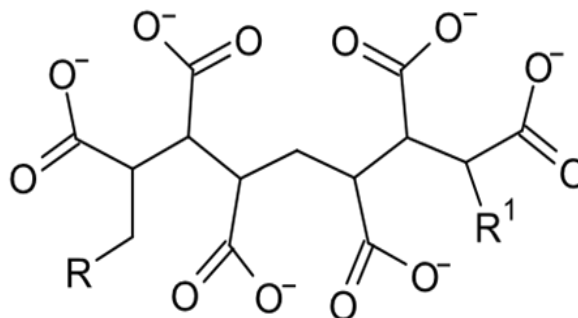
فوق روان‌کننده‌ی پلی‌کربوکسیلاتی مانع نزدیک شدن مجدد ذرات به یکدیگر می‌شوند، این خاصیت باعث ایجاد بالاترین اثر روان‌کنندگی، کاهش شدید نسبت آب به سیمان و در نتیجه افزایش مقاومت اولیه، نهایی و نفوذناپذیری در بتن می‌گردد. شکل (۳) [۲۵-۲۲].



شکل ۳- تاثیر روان‌کنندگی بتن در حضور پلی‌کربوکسیلات‌ها

پخش ذرات سیمان به واسطه جذب گروه‌های با بار الکتریکی منفی و در واقع دافعه‌ی الکترواستاتیکی بین ذرات رخ می‌دهد.

معرفی شدند [۱۷-۱۴]. این فوق روان‌کننده‌ها منجر به کاهش قابل توجهی در میزان نسبت آب: سیمان (w/c) در بتن‌های تولیدی و در موجب نتیجه افزایش سطح نشست و ریزش<sup>۱</sup> این بتن‌ها می‌گردد. ایده‌ی تولید و ساخت فوق‌روان‌کننده‌های بتن بر پایه‌ی پلی-کربوکسیلات از سال ۱۹۸۶ میلادی مطرح شد [۱۸]. پلی‌کربوکسیلات‌ها پلیمرهای آنیونی با بدنه‌ی کربن-کربنی و عاملیت‌های کربوکسیل متصل به آن هستند [۱۹] (شکل ۲).



شکل ۲- ساختار پایه‌ی پلی‌کربوکسیلات

پلی‌کربوکسیلات‌ها می‌توانند بر پایه‌ی آکریلیک اسید<sup>۲</sup>، کوپلیمرهای آکریلیک اسید و مالئیک اسید (MA)<sup>۳</sup> و سایر ترکیبات غیریونی نظیر متیل متاکریلات (MMA)<sup>۴</sup> و هیدروکسی-پروپیل آکریلات (HPA)<sup>۵</sup> و اتیل آکریلات<sup>۶</sup> EA هستند [۲۲-۱۸].

واژه‌ی فوق روان‌کننده<sup>۷</sup> بدین معناست که ساختار یک ماده می‌تواند به واسطه‌ی آرایش و ویژه‌ی ساختاری خود به‌عنوان نرم‌کننده در یک سیستم سوسپانسیونی عمل کرده و در نتیجه باعث لغزش ذرات روی یکدیگر گردد و یا به صورت عامل پراکنش و پایدارکننده‌ی ذرات به پخش بهتر و پایدارتر ذرات در سامانه‌ی مورد مطالعه کمک کند. این رفتار دیسپرس‌کنندگی به نوع ذرات، شکل و ابعاد ذرات، بار سطحی و PH بستگی خواهد داشت. از طرف دیگر، ترکیب شیمیایی و ساختار مولکولی پلیمر نیز روی جذب تاثیر می‌گذارد [۲۳]. سه هدف عمده‌ی استفاده از فوق‌روان‌کننده‌های پلیمری در بتن‌های با عملکرد اجرایی بالا عبارتند از:

<sup>7</sup>Superplasticizer  
<sup>8</sup>Dispersant(stabilizer)  
<sup>9</sup>Creep  
<sup>10</sup>Shrinkage  
<sup>11</sup>Thermal strains  
<sup>12</sup>Cement hydration heat

<sup>1</sup>High slump level  
<sup>2</sup> AA: acrylic acid  
<sup>3</sup> MA: maleic acid  
<sup>4</sup> MAA: methacrylic acid  
<sup>5</sup> HPA  
<sup>6</sup>, EA

اندازه‌گیری دافعه‌ی ناشی از بارهای الکتریکی هم نام توسط پتانسیل زتا<sup>۱</sup> انجام می‌شود.

همچنین گزارش شده‌است که ممانعت فضایی ناشی از حضور

زنجیره‌های جانبی پیوندزده شده نسبت به حضور گروه‌های

آنیونیک با بار منفی (-COO) کربوکسیلاتی اثر بیشتری روی

مکانیسم پخش دارد. در واقع این پلیمرها به واسطه‌ی بار منفی‌شان

روی سطح ذرات جذب می‌شوند و تحت اثرات دافعه‌ی استریک

و الکترواستاتیک، به‌عنوان دیسپرس‌کننده عمل می‌کنند [۲۳-۲۵].

در رابطه با بتن حاوی پلیمر که می‌تواند در مناطق خورنده مورد

استفاده قرار بگیرد، تحقیقاتی انجام شده و نتایج مطلوبی نیز

گزارش شده‌است.

در این مقاله نتایج پژوهشی مبنی بر استفاده از رزین اکریلیک پایه-

آب در بتن و بررسی میزان نفوذ یون کلر با استفاده از آزمایش

مهاجرت تسریع‌یافته‌ی یون کلر بر اساس استاندارد NTBUILD

429 گردآوری شده‌است. از آنجا که در نفوذ یون کلر، نفوذ آب

به داخل بتن بسیار حائز اهمیت است، آزمایش جذب آب کوتاه

مدت، بلند مدت و مویینه که از طریق پدیده‌ی مویینگی رخ می-

دهد، صورت گرفته‌است.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مشخصات مواد و نمونه‌سازی

مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان مصرفی بر اساس استاندارد

ASTM C-595 [۲۵]، ASTM C188-89 و ASTM

C191 [۲۶ و ۲۷] اندازه‌گیری و در جدول (۱) بیان شدند.

مشخصات سنگدانه‌ها نیز بر اساس آزمایشات تعیین شده در

استانداردهای ASTM C 33 [۲۸]، ASTM C 127-88

[۲۹]، ASTM C566 - 13 [۳۰] و ASTM C136-84a

[۳۱] تعیین و در جدول (۲) گزارش شدند. منحنی دانه‌بندی سنگ-

دانه‌های مورد استفاده در ساخت نمونه‌های بتنی در شکل (۴) نشان

داده‌شد. مشخصات رزین‌ها در جدول (۳) ذکر شده‌اند.

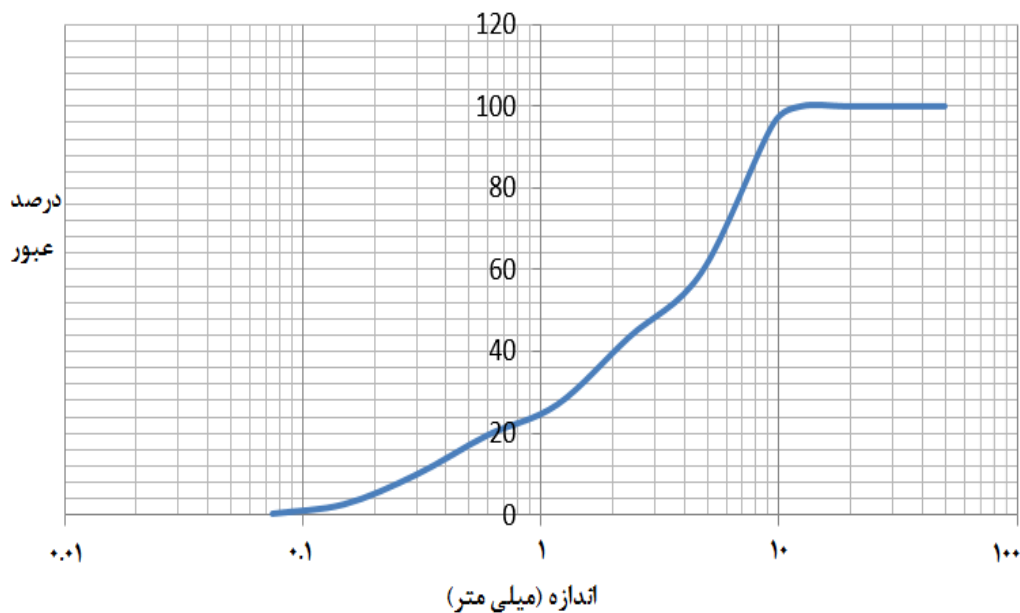
جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان

مقاومت فشاری (MPa)	زمان گیرش (min)	انقباض اتوکلاو (%)	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	بلین (blaine) Cm <sup>2</sup> /gr	مدول نرمی	C3S	C2S	C3A	C4AF	ویژگی
۲۸	یک هفته									بر اساس استاندارد ISIRI - ۳۸۹
۴۳/۵ >	> ۱۰۰	< ۳۶۰	> ۴۵	< ۸/۰	> ۲۸۰۰	۵۶/۴۳	۱۵/۲۸	۱۰/۵۳	۸/۳۳	
۴۰/۳	۳۴	۱۷	۲۳۵	۱۸۰	۱/۰	۳۱۵۰	۳۳۰۰	٪۱/۲۸		

جدول ۲- مشخصات فیزیکی سنگدانه‌ها

درصد رطوبت موجود	درصد جذب آب	چگالی (kg/m <sup>3</sup> )	سنگدانه
۳/۰۳۳	۱/۸۴	۲/۵۶	ماسه
۰/۵۴۳	۲/۲۴	۲/۵۸	شن

<sup>1</sup> zeta



شکل ۴- منحنی دانه بندی سنگدانه‌ها

ASTM C1688M -14 [۳۳]، ASTM C78 [۳۴] و

## ۲-۲- طرح اختلاط

ASTM C39 [۳۵] و همچنین pH مخلوط‌ها در جدول (۴) ذکر شده‌اند.

در این تحقیق نسبت وزنی آب به سیمان ۰/۴۴۵ در نظر گرفته شد و تمامی محاسبات بر اساس استاندارد طرح اختلاط ملی ایران انجام شده‌است.

نمونه‌ها پس از خارج شدن از قالب به محفظه‌ی حاوی محلول آب آهک اشباع دردمای ۲۱ درجه‌ی سانتی‌گراد منتقل شده و تا زمان آزمایش نگهداری شدند.

چگالی بتن تازه، گیرش اولیه و ثانویه، مقاومت کششی و فشاری که به ترتیب توسط استانداردهای ASTM C143-90 [۳۲]،

جدول ۳- مشخصات رزین مصرفی

R-3020	R-84	R-4030	
6-8	۸-10	9-10	pH
0	+۸	>20	MMFT
-2	+16	+25	Tg (°C)
50	45	50	(±1%) درصد جامد
۱/۴۷۵	۱/۰۳	۱/۰۵	چگالی (g/cm <sup>3</sup> )
<10000	<10000	400-700	(cp) ویسکوزیته برو کفیلد
Self Crosslinking	Non Crosslinking	Non Crosslinking	نوع پلیمر
Styrene Acrylic	Pure Acrylic	Styrene Acrylic	ساختار شیمیایی
Medium Soft	Medium Hard	Hard	رفتار تشکیل فیلم
Anionic	Non Anionic	Anionic	سامانه امولسیون

جدول ۴- طرح اختلاط و نتایج اندازه گیری اسلامپ، چگالی بتن تازه، گیرش اولیه و ثانویه، مقاومت کششی و فشاری

MD1	MD2	MD3	MD4	طرح اختلاط
۰/۴۴۵	۰/۴۴۵	۰/۴۴۵	۰/۴۴۵	W/C
۴۳۱/۴۶۹	۴۳۱/۴۶۹	۴۳۱/۴۶۹	۴۳۱/۴۶۹	محتوای سیمان ( $\frac{kg}{m^3}$ )
۱۲۲۴/۳۱	۱۲۲۴/۳۱	۱۲۲۴/۳۱	۱۲۲۴/۳۱	ماسه ( $\frac{kg}{m^3}$ )
۴۰۰/۹۹	۴۰۰/۹۹	۴۰۰/۹۹	۴۰۰/۹۹	شن ( $\frac{kg}{m^3}$ )
۱۹۶/۸۷	۱۷۵/۲۹	۱۷۰/۵	۱۷۵/۲۹	آب ( $\frac{kg}{m^3}$ )
۰	۴۳/۱۴۷	۰	۰	رزین R4030 ( $\frac{kg}{m^3}$ )
۰	۰	۴۷/۹۵	۰	رزین R_84 ( $\frac{kg}{m^3}$ )
۰	۰	۰	۴۳/۱۵	رزین ( $\frac{kg}{m^3}$ ) R_3020
۱۰۰	۱۹۰	۱۷۰	۷۰	اسلامپ (mm)
۲/۳۰۷	۲/۰۸۶	۲/۰۳۲۴	۱/۹۲	چگالی ( $\frac{g}{m^3}$ )
۰	۹/۶	۱۱/۹۵	۱۶/۷۸	درصد کاهش چگالی بتن تازه نسبت به شاهد
۱۲/۸۲	۱۲/۲۶	۱۱/۸۹	۱۱/۶۲	pH مخلوط
۱۲۰	۱۸۰	۱۷۰	۸۰	زمان گیرش اولیه
۲۰۰	۲۴۰	۲۳۵	۱۷۵	زمان گیرش نهایی
۲۵۵/۷	۲۱۸/۷	۲۱۱/۶	-	مقاومت فشاری ۷ روزه (Mpa)
۲۳۸/۶	۲۲۹/۶	۲۱۳/۵	-	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (Mpa)
۲۴۱	۲۳۱/۶	۲۱۴/۶	-	مقاومت فشاری ۵۶ روزه (Mpa)
۲۴۱/۵	۲۳۴	۲۱۶	-	مقاومت فشاری ۹۰ روزه (Mpa)
۲/۴۴ ± ۰/۲	۲/۵ ± ۰/۲	۱/۹۷ ± ۰/۲	-	مقاومت کششی (Mpa)

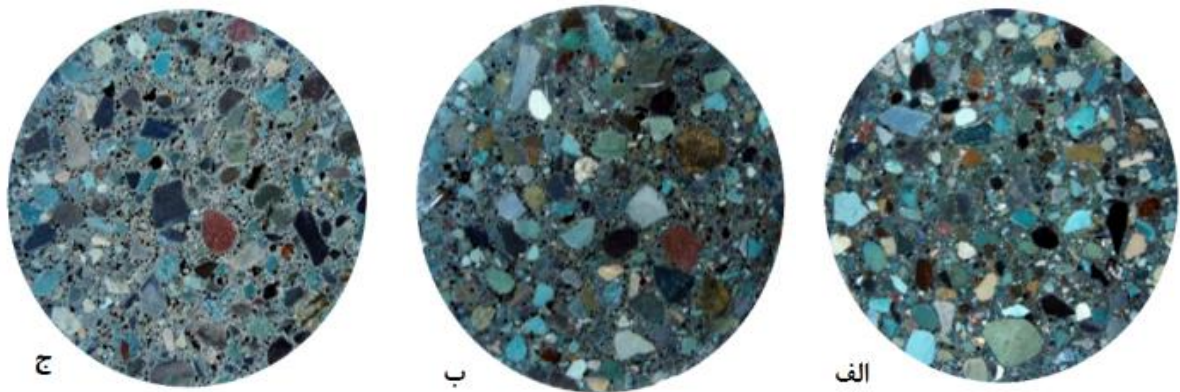
### ۲-۳- روش کار

استوانه‌ها با دستگاه اری الماسه با ضخامت ۵ سانتی‌متر برش خوردند. محلول‌های NaOH و NaCl طبق مراحل شرح داده شده در استاندارد، تهیه شدند و با توجه به جریان اولیه، ۲۴ ساعت با ولتاژ مشخص تحت جریان قرار گرفتند (شکل (۶)). سپس محلول نقره نیترات بر روی آنها اسپری شد و مطابق شکل (۷)، عمق نفوذ تمامی آنها مشخص شد [۳۶]. برای انجام آزمون مقاومت فشاری و کششی به ترتیب از نمونه‌های مکعبی با ضلع ۱۵ سانتی‌متر و استوانه‌هایی با قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد.

آزمون مهاجرت تسریع‌یافته یون کلر<sup>۱</sup> بر اساس استاندارد بین‌المللی ۴۲۹ NTBUILD انجام شد؛ به طوری که مطابق با شکل (۵) نمونه‌های استوانه‌ای برش خوردند و سطح مقطع آنها در داخل دستگاه RCMT مطابق با شکل (۶) در معرض محلول NaCl و جریان برق قرار گرفتند. شیوه‌ی انجام این آزمون به این صورت بود که از هر ساخت، یک نمونه‌ی استوانه‌ای ۱۰×۲۰ قالب‌گیری و پس از ۲۸ روز عمل‌آوری در آب آهک اشباع،

<sup>۱</sup> RCMT(Rapid Chloride Migration Test)

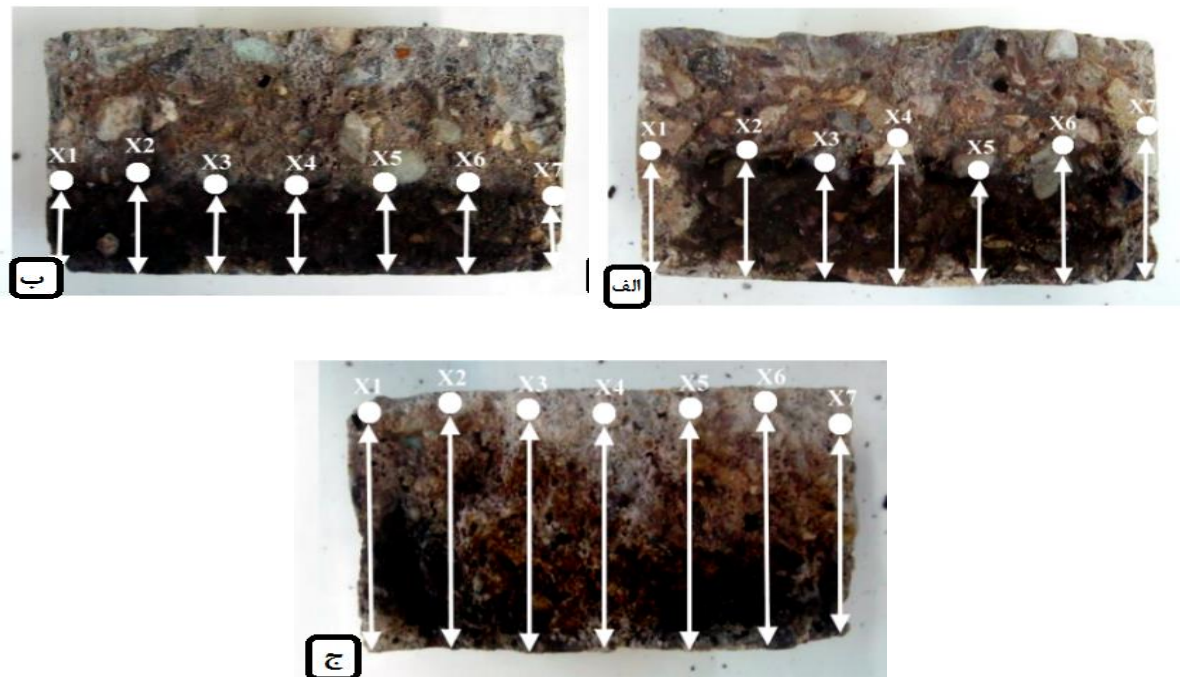
ساخت و مشخصه یابی بتن پلیمری حاوی رزین اکریلیک پایه آبی ...



شکل ۵- تصویر سطح مقطع نمونه های بتنی ساخته شده، الف) MD1، ب) MD2 و ج) MD3.



شکل ۶- شمایی از دستگاه RCMT.



شکل ۷- سطح مقطع نمونه های الف) MD1، ب) MD2 و ج) MD3 پس از شکست و پاشش محلول نیترات نقره جهت مشخص کردن عمق نفوذ

### ۳- نتایج و بحث

در میان ۴ طرح ساخته شده، طرح چهارم (MD۳) با مشکل مواجه شد، به طوری که واکنش گیرش سیمان با رزین بسیار سریع بود و پس از افزودن سنگدانه‌ها، خمیر سیمان-رزین کاملاً جدا از سنگدانه‌ها شد و توانایی دربرگرفتن آنها را نداشت.

این حالت، حتی با افزودن آب بیش تر به مخلوط و یا دادن زمان بیش تر به مرحله‌ی اختلاط رفع نشد، بلکه شرایط بدتر شد؛ به طوری که تمامی سنگدانه‌ها در قسمت زیرین مخلوط کن و خمیر کاملاً به دیواره‌ها چسبیده بودند. برای مشاهده‌ی رفتار نمونه‌ها پس از خشک شدن، همان طور که در شکل (۹) نشان داده شده است، تعدادی از قالب‌ها با این مخلوط پر شدند و پس از ۲۴ ساعت نیز قالب گیری شدند. باز هم مشاهده شد که هیچ گونه انسجامی در نمونه‌ها به وجود نیامده است. تمامی آزمون‌ها بر روی مابقی نمونه‌ها با طرح اختلاط MD۱، MD۲، و MD۳ انجام شدند.

استفاده از رزین R\_4030 به طور میانگین سبب ۲/۵ درصد افزایش و رزین R\_84 سبب ۱۹ درصد کاهش در مقاومت کششی نمونه‌ها شده است.

نتایج آزمایش مهاجرت تسریع یافته‌ی یون کلر در جدول (۵) گزارش شده است. ضریب نفوذ یون‌های کلر معیار تفسیر نتایج قرار می‌گیرد که برای محاسبه‌ی آنها از رابطه‌ی (۲) استفاده شد و ضرایب مهاجرت در حالت ناپایدار به دست آمد.

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

$D_{nssm}$  ضریب مهاجرت در حالت ناپایدار

T میانگین دمای ابتدایی و انتهای آزمایش [°C]

U ولتاژ اعمالی در آزمایش [V]

L طول نمونه [mm]

t زمان آزمایش [hr]

$X_d$  میانگین عمق نفوذ یون کلر [mm]

مقادیر ضرایب نفوذ یون کلر در حالت ناپایدار محاسبه و در جدول ۵ گزارش شدند.

آزمایش جذب آب اولیه و نهایی طبق دستورالعمل قدیمی BS 1881 با استفاده از نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی متری انجام شد. از هر ساخت ۳ نمونه انتخاب شد و این ۹ نمونه، ۲۸ روز در آب آهک اشباع عمل آوری شدند و سپس در کوره با دمای  $105 \pm 2$  درجه‌ی سانتی گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و ابتدا وزن خشک آنها اندازه گیری و سپس غرقاب شدند. پس از غرقاب کردن به مدت مشخص از آب خارج شدند و سطح آنها با دستمال خشک و رطوبت گیری شدند و مجدداً توزین گردیدند. مقدار جذب آب آنها براساس رابطه‌ی (۱) محاسبه شد که  $m_0$ ، وزن نمونه‌ی مرطوب و  $m$ ، وزن نمونه‌ی خشک اولیه است [۳۷].

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{m-m_0}{m_0} \quad (1)$$

برای اندازه گیری جذب آب موئینه، نمونه‌ها مطابق با شکل (۸) بر روی سطح آب قرار گرفتند و عملیات جذب آب در آنها صورت گرفت. طبق استاندارد، ۳ نمونه به شکل قرص با سطح مقطع دایره با قطر ۱۰ سانتی متر و ضخامت ۵ سانتی متر برای هر ساخت تهیه شدند، به این صورت که از مخلوط بتن ساخته شده برای هر طرح اختلاط یک استوانه  $20 \times 10$  برای این آزمایش قالب گیری شدند، سپس استوانه با دستگاه برش اره الماسه به ضخامت ۵ سانتی متر، بریده شد. برای جلوگیری از نفوذ آب به سمت داخل بتن، تمام سطوح نمونه‌ها به جز سطح اصلی که باید در معرض آب قرار بگیرد، با رزین اپوکسی دو جزئی کاملاً پوشانده شد. نمونه‌ها مطابق شکل (۸) روی میلگرد قرار گرفتند. سپس در زمان‌های مشخص نمونه‌ها برداشته و سطحشان توسط پارچه‌ای خشک شدند تا آب اضافی سطحی را حذف شود. بعد از آن نمونه‌ها به دقت وزن شدند.



شکل ۸- شمایی از آزمایش جذب آب موئینه.



جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون RCMT

میانگین ضریب مهاجرت $\times 10^{+11}$	طرح اختلاط
۲/۰۲۴	MD1
۱/۷۴	MD2
۲/۳۱	MD3



بر طبق نتایج آزمون RCMT موجود در جدول (۵)، ضریب نفوذپذیری نمونه‌ی حاوی رزین R\_4030، به میزان ۱۴ درصد نسبت به شاهد (بتن بدون رزین) کاهش داشته درحالی‌که ضریب نفوذپذیری نمونه‌ی حاوی رزین R\_84 به همین میزان نسبت به شاهد افزایش داشته‌است. به این ترتیب نمی‌توان به‌طور کلی بیان کرد که استفاده از رزین سبب کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود، بلکه بستگی به ساختار و عملکرد رزین و همچنین قابلیت واکنش آن با سیمان دارد.



علاوه بر قابلیت نفوذ یون کلر، بررسی نفوذپذیری آب در بتن نیز حائز اهمیت است، چراکه یون‌های کلر در محیط کاملاً خشک و یا مملو از آب، توانایی نفوذ ندارند. آزمایش‌های جذب آب به شکل‌های مختلفی وجود دارند که مهم‌ترین آنها عبارتند از جذب آب کوتاه مدت نیم ساعته<sup>۱</sup>، جذب آب نهایی (بلند مدت) ۲ روزه یا بیشتر در شرایط عادی یا جوشانده شده<sup>۲</sup>، جذب آب سطحی اولیه<sup>۳</sup> و جذب آب موئینه<sup>۴</sup>. میزان جذب آب کوتاه مدت ۳۰ دقیقه و بلند مدت بر اساس آزمون جذب آب سطحی در استاندارد 1881 BS را می‌توان معیاری از رفتار سطحی جذب آب بتن دانست.



آزمایش‌های نفوذپذیری غرقابی عمدتاً واکنش بتن نسبت به فشار آب را می‌سنجند، درحالی‌که این عامل به‌ندرت باعث حرکت سیال در بتن می‌شود. از این رو آزمایش دیگری در مورد بتن انجام می‌شود، به این صورت که روند جذب آب توسط مکش موئینه‌ی بتن اشباع نشده که در تماس با آب قرار گرفته‌است را می‌سنجند. نتایج آزمایش جذب آب کوتاه مدت و جذب آب بلند مدت در جدول (۶) گزارش شده‌است

شکل ۹- نمایی از نمونه‌های طرح MD3 پس از ۱ (سمت چپ)

و ۲۸ روز اختلاط

<sup>3</sup> Initial Surface Water Absorption Test (ISAT)

<sup>4</sup> Capillary Water Absorption و Water Sorptivity

<sup>1</sup> Early Water Absorption

<sup>2</sup> Final Water Absorption

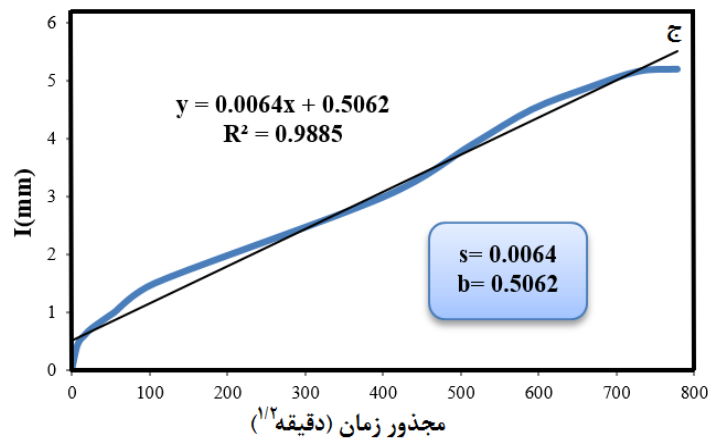
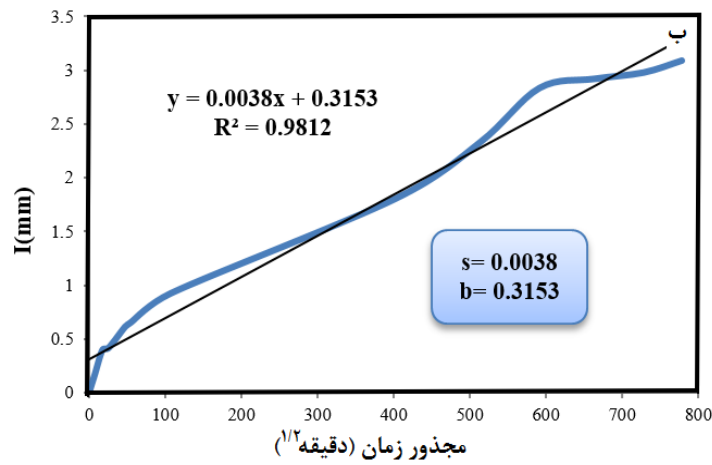
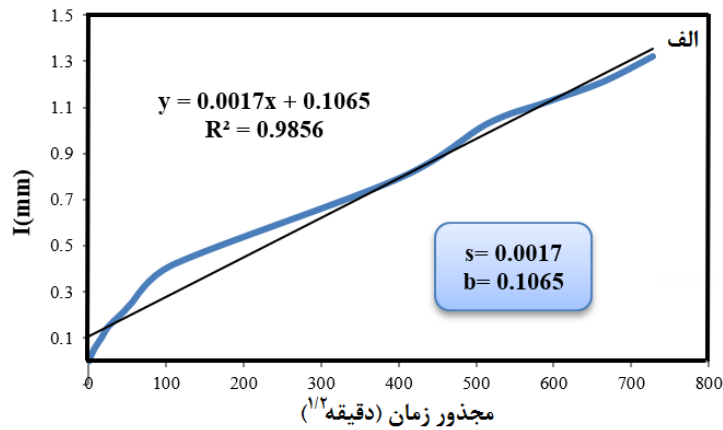
ہرچہ میزان رطوبت بتن بیشتر باشد، مقدار جذب آب موئینہی اندازہ گیری شدہ کمتر خواہد بود. رابطہی (۳) در ارتباط با جذب آب ارائه شدہ است.

$$I = S\sqrt{t} + b \quad (3)$$

$$I = \frac{ml}{a \cdot b} \quad (4)$$

I آب جذب شدہ در واحد سطح [mm/s<sup>1/2</sup>]، t زمان بر حسب ثانیہ و b ثابت موئینگی است کہ طبق استاندارد ASTM C 1585-04، دو عدد S و b مشخص می شوند: یکی جذب ابتدایی و دیگری ثانویہ. این دو عدد بر اساس دو شیب مختلف در

تغییرات وزن نمونہ بہ گرم در مدت زمان مشخص t، a سطح در معرض آب نمونہ ہا [mm<sup>2</sup>]، b چگالی آب مورد استفادہ برای جذب با واحد g/mm<sup>3</sup> است. نتایج جذب آب موئینہ در شکل (۱۰) و در جدول (۷) گزارش شدہ است.



شکل ۱۰- نمودارهای جذب آب موئینہ برای نمونہ های الف (MC1، ب) MC2 و ج) MC3

جدول ۷- مقادیر شیب جذب آب موئینه‌ی اولی و نهایی

Si	bi	Ss	bs	s	b	طرح اختلاط
۰/۰۰۳۷	۰/۰۳۲۴	۰/۰۰۱۴	۰/۲۵۶۹	۰/۰۰۱۷	۰/۱۰۶۵	MD1
۰/۰۰۰۸	۰/۱۵۸۳	۰/۰۰۳۴	۰/۵۹۴۲	۰/۰۰۳۸	۰/۳۱۵۳	MD2
۰/۰۱۲۲	۰/۲۹۲	۰/۰۰۰۶	۰/۲۹۲	۰/۰۰۶۴	۰/۵۰۶۲	MD3

باشد، عملیات تشکیل فیلم بر روی دانه‌های سیمان کندتر صورت می‌گیرد و خواص بتن به دلیل انجام واکنش‌های هیدراتاسیون مناسب خواهد بود. در صورتی که رزین بر روی واکنش هیدراتاسیون تاثیر منفی نگذارد، می‌تواند اثرات مثبت خود را به شکل افزایش کارایی و روانی بتن تازه، کاهش چگالی و سبک سازی سازه، افزایش مقاومت کششی، افزایش مقاومت نسبت به نفوذپذیری نسبت به کلر و آب و همچنین افزایش مقدار اندکی در مقاومت فشاری بتن بروز دهد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر افزودن رزین اکریلیک پایه آب بر روی خواص فیزیکی، مکانیکی، پایداری و نفوذپذیری بتن بررسی شد. مشاهده شد که رزین می‌تواند به عنوان روان‌کننده‌ای عمل کند که میزان آب مورد نیاز برای افزایش روانی را کاهش دهد. مشاهده شد که رزین اکریلیک می‌تواند به عنوان روان‌کننده‌ای عمل کند که میزان آب مورد نیاز برای افزایش روانی را کاهش دهد. افزودن رزین با MFFT پایین، سبب کاهش زمان گیرش بتن شد و بعکس. اعمال رزین با MFFT بالا ( $MFFT > 20^{\circ}C$ )، سبب کاهش ضریب نفوذ یون کلر و عمق نفوذ تا ۱۴٪ شد؛ درحالی‌که افزودن رزین با MFFT پایین نفوذپذیری بتن نسبت به یون کلر و آب را تقریباً به میزان ۱۴٪ زیاد کرد. به‌عنوان نتیجه‌ی کلی می‌توان گفت که با قبول کاهش ۲۰ الی ۳۰ درصد کاهش در مقاومت فشاری سازه-های بتنی و ثابت ماندن برخی ویژگی‌ها، روانی بتن تازه، خواص فیزیکی و نفوذی مخلوط بتن را می‌توان با استفاده از رزین اکریلیک پایه آبی با  $MFFT > +25^{\circ}C$  بالا برد.

#### ۵- مراجع

[1]. S. J. Kwon, M. Q. Feng, S. S. Park, Characterization of electromagnetic properties for

بر اساس آزمون جذب آب کوتاه مدت، نمونه‌ی حاوی رزین R\_4030، ۴۵٪ درصد جذب آب کمتری داشت؛ اما جذب آب نمونه‌ی دیگر تقریباً دو برابر شاهد است. در مورد جذب آب نهایی، تا قبل از روز هفتم نمونه‌ی حاوی رزین R\_4030، جذب آبی بسیار کمتر از شاهد دارد؛ اما این مقدار جذب از روز ششم به بعد کمی زیاد می‌شود، به طوری که جذب آب در روز هفتم تقریباً با نمونه‌ی شاهد یکسان است. در مورد جذب آب موئینه، نتایج حاکی از آن هستند که استفاده از رزین همان‌طور هم که در تصاویر مقطعی دیده می‌شود، سبب بروز منافذ موئینه در سطح نمونه‌ها می‌شود و باعث بالارفتن جذب آب موئینه‌ی آنها شده- است. پس در این زمینه بهترین عملکرد مربوط به نمونه‌ی شاهد بود.

تفاوت شاخص بین سه بتن، تفاوت در نوع رزین اکریلیک مورد استفاده بوده‌است که در این پژوهش، کمینه دمای تشکیل فیلم این رزین‌ها با یکدیگر متفاوتند و با استفاده از آزمون‌های انجام شده مشخص شد که این حداقل دمای تشکیل فیلم (MFFT) در خواص نهایی بتن شدیداً موثر است.

زمان گیرش بتن و ملات حاوی رزین با MFFT پایین‌تر از دمای محیط، پایین‌تر از نمونه‌ی شاهد است و بعکس.

پس به‌طور کلی می‌توان گفت که MFFT رزین اکریلیک نقش بسیار مهمی در تعیین خواص بتن نهایی دارد. در صورتی که MFFT رزین پایین باشد، رزین در دمای محیطی که بتن در حال تهیه است، سریعاً بر روی ذرات سیمان و یا سیمانی که تا حدودی واکنش داده است، فیلم تشکیل می‌دهد و از انجام واکنش‌های هیدراتاسیون که برای رسیدن به خواص مکانیکی و فیزیکی مطلوب بتن ضروری هستند، جلوگیری می‌کند. به این ترتیب خواصی از بتن مانند نفوذپذیری در مقابل آب و یون کلر و یا خواص مکانیکی افت می‌کند. در مقابل اگر MFFT رزین بالا

- [12] M. Pei, W. Kim, W. Hyung, A. J. Ango, Y. Soh, Effects of emulsifiers on properties of poly (styrene-butyl acrylate) latex-modified mortars, *J. Cement Concr. Res.* 32(4)(2002), 837-841.
- [13] L.K. Aggarwal, P.C. Thapliyal, S.R. Karade, Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions, *J. Constr. Build. Mater.* 21(2007), 379-383.
- [14] A. Lange, J. Plank, Study on the foaming behaviour of allyl ether-based polycarboxylate superplasticizers, *Cement Concr. Res.* 42 (2012), 484–489.
- [15] J. Plank, Ch. Winter, Competitive adsorption between superplasticizer and retarder molecules on mineral binder surface, *Cement Concr. Res.* 38 (2008), 599–605.
- [16] A. Zingg, F. Winnefeld, L. Holzer, J. Pakusch, Stefan Becker Interaction of polycarboxylate-based superplasticizers with cements containing different C3A amounts, *Cement & Concr. Compos.* 31 (2009), 153–162.
- [17] M.H. Zhang, K. Sisomphon, T. Siong Ng, D. J. Sun, Effect of superplasticizers on workability retention and initial setting time of cement pastes, *Const. Build. Mater.* 24 (2010), 1700–1707.
- [18] S. Ng, J. Plank, Interaction mechanisms between Na montmorillonite clay and MPEG-based polycarboxylate superplasticizers, *Cement Concr. Res.* 42 (2012), 847–854.
- [19] L. Ferrari, J. Kaufmann, F. Winnefeld, J. Plank, Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements, *J. Colloid Interface Sci.* 347 (2010), 15–24.
- [20] A. Habbaba, J. Plank, Interaction between Polycarboxylate Superplasticizers and Amorphous Ground Granulated Blast Furnace Slag, *J. American Ceramic Socy*, 93 (2010), 2857 – 2863.
- [21] A. Habbaba, J. Plank. Surface Chemistry of Ground Granulated Blast Furnace Slag in Cement Pore Solution and Its Impact on the Effectiveness of Polycarboxylate Superplasticizers, *J. American Ceramic Socy*, 95 (2012), 768 – 775.
- [22] Y. F. Houst, P. Bowen, F. Perche, Annika Kauppi, P. Borget, L. Galmiche., Design and function of novel superplasticizers for more durable durability performance and saturation in hardened cement mortar, *J. NDT & E Int.* 43(4) (2010), 86-95.
- [2] M. Joo, Y. Ohama, K. S. Yeon, Strength properties of autoclaved and combined wet/dry-cured SBR-modified concretes using ground granulated blast-furnace slag, *J. Concr. Res.* 56 (2004), 513-521.
- [3] Y. Zhao, X. Zhang, W. Jin, Influence of environment on the development of corrosion product-filled paste and a corrosion layer at the steel/concrete interface, *J. Corros. Sci.* 124(2017), 1-9.
- [4] Á. Salesa, J. A. Pérez Benedicto, D. Colorado Aranguren, P. L. López-Julián, L. M. Esteban, L. J. Sanz Baldúz, J. L. Sáez Hostaled, J. Ramis, D. Olivares, Physical mechanical properties of multi – recycled concrete from precast concrete industry, *J. Clean. Prod.* 141(2017), 248- 255.
- [5] Y. Tian, Ch. Dong, X. Cheng, Y. Wan, G. Wang, K. Xiao, X. Li, The micro-solution electrochemical method to evaluate rebar corrosion in reinforced concrete structures, *J. Constr. Build. Mater.* 151(2017), 607-614.
- [6] H. W. Song, V. Saraswathy, Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures - A Review, *J. Electrochem. Sci.* 2(2007), 1-28.
- [7] Sh. Mundra, M. Criado, S.A. Bernal, J. L. Provis, Chloride-induced corrosion of steel rebars in simulated pore solutions of alkali-activated concretes, *J. Cement Concr. Res.* 100(2017), 385-397.
- [8] A. Costa, J. Appleton, Chloride penetration into Concrete in marine environment–Part I: main parameters affecting chloride penetration, *J. Mater. Struct.* 32(1999), 252-259.
- [9] S. Chinchón-Payá, C. Andrade, S. Chinchón, Indicator of carbonation front in concrete as a substitute to phenolphthalein, *Cement Concr. Res.* 82(2016), 87-91.
- [10] M. B. Otieno, M. G. Alexander, H.-D. Beushausen, Corrosion in cracked and uncracked concrete–influence of crack width, concrete quality and crack reopening, *Concr. Res.* 62(2010), 393-404.
- [11] R. Wang, P. Wang, Function of styrene-acrylic ester copolymer latex in cement mortar, *J. Mater. Struct.* 43(2010), 443-451.

- [36] NORD TEST Method Standard for Concrete, Hardened: Accelerated Chloride Penetration, Annual Book of NT BUILD Standard, NORD TEST Method Standard, 443, 1995.
- [37] Standard Test Method for Method for Determination of Water Absorption, Annual Book of British Standard, British Standard, BS 1881- Part 122, 1983.
- high performance concrete (superplast project), Cement Concr. Res. 38 (2008), 1197–1209.
- [23] L. Lei, J. Plank, A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance, Cement Concr. Res. 42 (2012), 1299–1306.
- [24] J. Bj mstrm z, S. Chandra, Effect of superplasticizers on the rheological properties of cements, Materials and Structures, 36 (2003), 34-46.
- [25] Standard Specification for Blended Hydraulic Cements, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C-595, 2009.
- [26] Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C188-89, 2008.
- [27] Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C191, 2011.
- [28] Standard Test Method for Concrete Aggregates, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C 33, 2012.
- [29] Standard Test Method for Density Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C127-88, 2003.
- [30] Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C566 – 13, 2012.
- [31] Standard Test Method for Sieve Analysis of fine and Coarse Aggregates, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C136-84a, 2000.
- [32] Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C143-90, 2006.
- [33] Standard Test Method for Density and Void Content of Freshly Mixed Pervious Concrete, Annual Book of ASTM Standard, ASTM Standard, C1688 / C1688M – 14, 2014.
- [34] Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM Standard, C78, 2008.
- [35] Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM Standard, C39, 2012.

## **Construction and characterization of polymer concrete containing waterborne acrylic resin with low permeability to chlorine and water ions**

**Sahar Abdollahi Baghban**

Polymer Engineering, and Color Technology Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

**Manouchehr Khorasani \***

Polymer Engineering, and Color Technology Department, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

### **Abstract**

In this paper, the effect of three waterborne acrylic resins on physical, mechanical, stability, and permeability of concrete was investigated. For this purpose, concrete samples were prepared with a mass ratio of water to cement and solid-resin to cement equal to 0.445 and 0.05, respectively. Compressive stress tests of 7, 28 and 56 days, tensile strength, chlorine ion accelerated migration, capillary water absorption and initial and final water absorption on the test specimens were performed. It was observed that acrylic resin could act as a superplasticizer and reduce the amount of water needed to increase the fluidity of fresh concrete. Adding a resin with a minimum film formation temperature (MFFT) above the operating temperature reduces the chlorine ion penetration depth and coefficient by 14%. As a general result, it can be said that by accepting a reduction of 20-30% reduction in compressive strength of concrete structures, the fluidity of the fresh concrete, physical and penetration properties of the concrete mix can be increased by the use of the waterborne acrylic resin with MFFT higher than ambient temperature.

**Keywords:** polymer concrete, chlorine ion accelerated migration, water absorption, waterborne acrylic resin, porosity and permeability of concrete.

---

\* Corresponding Author: khorasani.m@aut.ac.ir