

بررسی دوام بتن خودتراکم حاوی دوده سیلیسی و زئولیت در شرایط شبیه سازی شده مغروق، جزر و مد و پاشش آب خلیج فارس

سید سجاد میرولد^{۱*}، علی اکبر شیرزادی جاوید^۲، نازنین علاقه بندیان^۳

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

• نویسنده مسئول: mirvalad@iust.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۸/۸

چکیده

سالهاست که دریای خلیج فارس به دلایلی همچون رطوبت، دما، یون کلر زیاد و جغرافیای بسته آن محیط بسیار مخرب برای دوام سازه‌های بتنی بوده و یافتن طرح‌های با دوام مهم است. در این پژوهش به منظور بررسی اثر استفاده از افزودنی‌های زئولیت و دوده سیلیسی به صورت مخلوط‌های سه و چهارجزئی، بر دوام بتن‌های خودتراکم حاوی پودر سنگ آهک در شرایط مختلف رویارویی آب دریای خلیج فارس (مغروق، جزر و مد و پاشش)، نمونه‌های بتن و ملات خودتراکم با نسبت آب به مواد سیمانی ثابت ۰/۴۵ و مواد سیمانی ۳۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب حاوی ۸٪ دوده سیلیسی و یا ۱۵٪ زئولیت ساخته شد. پس از ۷ روز عمل‌آوری در محلول کلسیم هیدروکسید، تمامی طرح مخلوط‌ها در معرض هر سه شرایط رویارویی (مغروق، جزر و مد و پاشش) در دستگاه تعبیه شده قرار گرفتند. پس از انجام آزمایش‌های کارایی بتن و ملات تازه، از نمونه‌های بتن آزمایش‌های مقاومت فشاری و الکتریکی، مقدار یون کلر آزاد و همچنین آزمایش‌های تخلخل کل، جذب آب موئینه، انبساط طولی روی نمونه‌های ملات انجام شد. طبق نتایج به دست آمده، نمونه‌های چهارجزئی زئولیت-دوده سیلیسی بیشترین مقاومت را در برابر آب دریای خلیج فارس در تمام شرایط رویارویی داشتند.

واژگان کلیدی: دوام، بتن خودتراکم، ملات خودتراکم، مواد جایگزین سیمان، آب دریا، شرایط رویارویی

۱- مقدمه

برای سازه‌های بتنی محسوب می‌شود. شرایط آب و هوایی در خلیج فارس همراه با دمای بالا و رطوبت همراه با نمک است^۱ و دما و رطوبت هر روز و هر فصل تغییر می‌کند [1]. میانگین دما در تابستان بین ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است و

استفاده از بتن در سازه‌های دریایی خلیج فارس اجتناب ناپذیر است و عملکردهای اساسی را دارد. به دلیل عواملی مانند شرایط آب و هوایی بد منطقه خلیج فارس یک منطقه پرخطر

پژوهش‌های زیادی [26-31] نشان دادند که هنگامیکه بتن در معرض محلول مهاجم با مقدار زیاد منیزیم سولفات قرار دارد، دوده سیلیسی سبب ایجاد آثار سوی دوامی و مقاومتی در آن شده است. برای نمونه نهدی و همکاران؛ [32] بیان کردند که در سطوح بتنی در معرض آب دریا (که حاوی مقدار زیادی منیزیم سولفات است)، کلسیم زدایی ترکیبات سیلیکات کلسیم هیدراته چشمگیر بوده و وجود دوده سیلیسی تاثیر مثبت چندانی برای مقاومت در برابر تخریب سطح بتن نداشته و حتی وضعیت را بدتر از نمونه‌های سیمانی معمولی نیز کرده است. در پژوهش‌های مختلف [33-37] گزارش داده شده است که افزودن زئولیت سبب کاهش مقاومت بتن نسبت به بتن کنترلی شده که درصد این کاهش در سنین کم زیاد و با افزایش سن بتن کمتر شده است. تپکوه [33] بیان می‌کند که زئولیت سبب کاهش گرمای هیدراتاسیون بتن شده و نرخ سخت‌شدگی شده ۶ و مقاومت فشاری بتن را کاهش می‌دهد و بهمین علت نیازمند مدت زمان عمل‌آوری بیشتری است. نتایج حاصل از رنجبر و همکاران [34] نیز بیان کرد که هنگامی که نسبت آب به سیمان بتن ۰/۴۵ باشد، افزودن زئولیت باعث کاهش مقاومت فشاری بتن خودتراکم می‌گردد و در بتن‌های با نسبت آب به سیمان کمتر (۰,۳۸) سبب افزایش مقاومت فشاری می‌شود. برای شبیه‌سازی شرایط دریایی در محیط آزمایشگاهی تاکنون دستگاه‌های مختلفی ساخته شده است. برای نمونه چن و همکاران [35] به منظور شبیه‌سازی شرایط جزر و مدی دریا نمونه‌های بتنی را هر سه روز یکبار تر و خشک می‌کردند. محمودی و همکاران [36] برای شبیه‌سازی فیزیک محیط دریا، از کانالی سرپوشیده در ابعاد آزمایشگاهی به همراه دستگاه موج‌ساز با قابلیت ایجاد امواج منظم استفاده کردند. همان‌گونه که از مطالب بالا مشخص است، تاکنون پژوهش‌های اندکی روی آثار افزودنی‌های زئولیت و دوده سیلیسی به صورت چهارجزئی بر خواص دوامی و مقاومتی بتن خودتراکم در شرایط آزمایشگاهی صورت گرفته است. درحالی که بررسی

گاهی دما تا ۵۰ درجه سانتیگراد نیز می‌رسد. رطوبت نسبی بین ۴۰ تا ۸۰٪ و گاهی ۹۸٪ است. همچنین، ویژگی جغرافیایی منطقه طوری است که خلیج از اطراف محدود به زمین شده و این سبب می‌شود تا میزان نمک و املاح موجود در آن بسیار بیشتر از دیگر نقاط جهان باشد [2]. در منطقه دریای خلیج فارس، خاک و آب‌های زیرزمینی بدون شک حاوی هر دو نمک‌های یون کلر و سولفات بطور همزمان هستند [3].

با توجه به محل قرارگیری سازه نسبت به سطح دریا، ۵ حالت رویارویی از قبیل پاشش، جزر و مد (تر و خشک)، مغروق، مدفون در خاک و ناحیه اتمسفری ممکن است اتفاق بیفتد. پژوهش‌های اخیر [4, 5] نشان دادند که بیشترین مقدار ضریب انتشار یون کلر و مقدار یون کلر سطحی، مربوط به بتن‌هایی است که در معرض شرایط رویایی جزر و مد و یا پاشش محلول مهاجم قرار گرفته‌اند. در حالت کلی می‌توان گفت که شرایط رویارویی پاششی و جزر و مدی بدترین از نقطه نظر انتشارپذیری یون کلر هستند [4, 6-9].

پژوهش‌های زیادی نشان دادند که کم کردن میزان نسبت آب به سیمان و افزودن مواد پوزولانی به مخلوط بتن می‌تواند مقاومت و دوام آنرا افزایش دهد. کاهش نسبت آب به سیمان سبب کاهش تخلخل بتن شده که سبب می‌شود تا مقدار نفوذ یون کلرید در بتن در مواجهه با محلول مهاجم تا ۲۵٪ کاهش یابد [8, 10-20].

استفاده از مواد جایگزین سیمانی مانند زئولیت و دوده سیلیسی در ساخت بتن سبب بهبود ریزساختار بتن می‌شود [11, 21]. از انواع افزودنی‌های معدنی مختلف در یک طرح می‌توان استفاده کرد و طرح‌های دوگانه^۱، سه گانه^۲ و حتی چهارگانه^۳ داشت. استفاده از این افزودنی‌ها سبب افزایش پیوستگی یون کلر [16]، کاهش نفوذ یون کلر [22, 23]، بهبود پراکندگی اندازه و شکل منافذ در ساختار بتن [24, 25] می‌شود.

5. Topcu

6. Rate of hardening

7. Chen et al.

1. Binary

2. Ternary

3. Quaternary

4. Nehdi et al.

مصلح سنگی بکار برده شده در بتن مادر را بدست آورده و به مقداری از ماسه ریز استفاده شده است تا سطح ویژه آن برابر با عدد بدست آمده در قبل شود.

تمامی نمونه‌ها پس از ساخت و عمل‌آوری به مدت ۲۴ ساعت در قالب و با یک لایه پارچه کفی مرطوب، بلافاصله پس از خروج از قالب در حوضچه‌های آب آهک اشباع با دمای ۲۱ درجه سانتی‌گراد تا روز آزمون قرار گرفتند. نکته حائز اهمیت این است که نمونه‌های قرار گرفته در شرایط رویارویی آب دریای خلیج فارس ۷ روز پس از زمان رسیدن به سن مورد نظر برای آزمایش از مخزن در آورده شدند. زیرا تمام نمونه‌ها پس از ساخت به مدت ۷ روز در آب آهک اشباع عمل‌آوری شدند که این امر سبب شد تا سن نمونه‌های واقع در آب آهک اشباع (شرایط کنترلی) ۷ روز بیشتر از نمونه‌های مغروق در آب دریای خلیج فارس باشد.

محل قرارگیری نمونه‌های کنترلی، مغروق، جزر و مد و پاشش به ترتیب با نمادهای Ctrl، Sub، T و Sp نشان داده شده است و نسبت مخلوط بتن و ملات به ترتیب در جداول (۲) و (۳) ارائه شده است.

۳- آزمایش‌ها

۳-۱- مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری نمونه‌های بتن بر اساس استاندارد [39]

BSI881-PART116 و با استفاده از ۳ نمونه مکعبی ۱۰۰

میلی‌متری در هر یک از سنین ۷، ۲۸، ۹۱ روز انجام شد.

فاکتور تغییر مقاومت فشاری طبق رابطه (SDF) (۱) بدست آمده است.

رابطه (۱) $100 \cdot \frac{(B-A)}{(A)} =$ فاکتور تغییر مقاومت فشاری نمونه

B = مقدار میانگین مقاومت فشاری سه نمونه بتنی در تماس با

آب دریا

A = مقدار میانگین مقاومت فشاری سه نمونه بتنی واقع در

شرایط کنترلی آب‌آهک اشباع

این موضوع بسیار اهمیت است پس در این پژوهش ابتدا دستگاه شبیه‌سازی شرایط رویارویی نمونه‌ها در دریای خلیج فارس در کارگاه ساختمانی دانشگاه علم و صنعت تعبیه شد و سپس نمونه‌های کنترلی معمولی و خودتراکم، نمونه‌های سه جزئی و چهار جزئی حاوی زئولیت و دوده سیلیسی در شرایط مختلف رویارویی مغروق، جزر و مد و پاشش قرار گرفتند و نتایج با نمونه‌های کنترلی مقایسه شد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد مصرفی

در این پژوهش از سیمان تیپ ۲ با چگالی ۳۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب که طبق استاندارد [38] ASTM C188 اندازه‌گیری شده است، استفاده شد. در این پژوهش از مواد جایگزین سیمانی دوده سیلیس با چگالی ۲۲۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، زئولیت با چگالی ۲۱۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب و از پرکننده غیر فعال پودر سنگ آهک با چگالی ۲۶۱۰ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. مشخصات شیمیایی سیمان، پودر سنگ آهک و افزودنی‌های معدنی در جدول (۱) ارائه شده است.

۲-۲- نسبت مخلوط بتن‌ها و سیمان‌ها

در این پژوهش ۵ مخلوط مختلف بتنی و ملات خودتراکم معادل با هر بتن مادر ۱ با نسبت آب به سیمان و درصد مشارکت افزودنی‌های یکسان به ترتیب با نام‌های PC-Ctrl/MPC-Ctrl، SCCZ15/MZ15، SCCSF8/MSF8، SCC-Ctrl/MSCC-Ctrl و SCCSF8Z15/MSF8Z15 که به ترتیب معرف بتن/ملات معمولی، خودتراکم کنترلی و بدون افزودنی، خودتراکم حاوی دوده سیلیسی، حاوی زئولیت، حاوی هم‌زمان دوده سیلیس و زئولیت هستند، ساخته شده‌اند. نسبت‌های مخلوط بتنی و ملات به ترتیب در جداول (۲) و (۳) آمده است.

برای بدست آوردن طرح مخلوط نمونه‌های ملات خودتراکم معادل بتن خودتراکم هر طرح ۲، از روش ابداع شده توسط کاترین و همکارش^[37] استفاده شد. بدین منظور برای بدست آوردن مقدار ماسه مصرفی در طرح ملات، مجموع سطح ویژه

جدول ۱. مشخصات شیمیایی سیمان، پودر سنگ آهک و افزودنی ها

Properties	Cement type II	Lime Powder	Silica fume	Zeolite
SiO_2	20.74	2.8	94	67.2
Al_2O_3	4.9	0.35	1.1	10
Fe_2O_3	3.5	0.5	1.27	1.2
CaO	62.95	51.22	0.11	1.4
MgO	1.2	1.8	0.14	0.73
SO_3	3	1.24	0.28	0.082
Na_2O	0.47	-	0.29	4.1
K_2O	0.58	-	0.25	2.2

Table 1. Chemical properties of cement, limestone powder and mineral additives

جدول ۲. نسبت های مخلوط بتن و مقدار فوق روان کننده مصرفی

Mix ID	W/C	Binder	Cement	Silica fume	Zeolite	Limestone powder	Gravel	Sand	Superplasticizer
				(kg/m ³)					(%)
PC-Ctrl	0.45	380	380	0	0	0	725.26	1087.89	0.3
SCC-Ctrl	0.45	380	380	0	0	100	685.65	1028.48	0.7
SCCSF8	0.45	380	349.6	8	0	100	681.26	1021.89	0.9
SCCZ15	0.45	380	323	0	15	100	676.66	1014.98	1.7
SCCSF8Z15	0.45	380	292.6	8	15	100	672.26	1008.4	1.9

Table 2. Concrete mix proportion and superplasticizer demand

جدول ۳. نسبت های مخلوط ملات و مقدار فوق روان کننده مصرفی

Mix ID	W/C	Cement (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Limestone powder (kg/m ³)	Silica fume (kg/m ³)	Zeolite (kg/m ³)	Superplasticizer (%)
MPC-Ctrl	0.45	380	171.1	1813.15	-	-	-	0.3
MSCC-Ctrl	0.45	380	203.28	1714.13	100	-	-	0.5
MSF8	0.45	349.6	202.8	1703.15	100	30.4	-	0.7
MZ15	0.45	323	206.91	1691.64	100	-	57	1
MSF8Z15	0.45	292.6	202.57	1680.66	100	30.4	57	1.3

Table 3. Mortar mix proportion and superplasticizer demand

۳-۲- مقاومت الکتریکی و مقدار یون کلر آزاد بتن

دستگاه مقاومت الکتریکی در این پژوهش از نوع دو الکترودی بود و به منظور بدست آوردن یون کلر آزاد در سن ۶ ماه بتن هر طرح مخلوط، طبق استاندارد [40] ASTM-C1556، ابتدا نمونه ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۱۱-۱۰۹ °C کاملاً خشک شدند. سپس در اعماق مختلف تا عمق ۴ سانتی متر از سطح نمونه، در مجموع از هر چهار طرف نمونه ۳۰ گرم پودر جمع شد. بر طبق استاندارد [41] ASTM-C1218 مقدار کلر محلول در آب در هر عمق بدست آمد.

جدول ۴. نوع و مقدار یون محلول مشابه آب دریای خلیج فارس

Ion type	(ppm)
Ca ⁺⁺	480
Mg ⁺	1600
Na ⁺	12600
K ⁺	470
SO ₄ ⁻	3300
Cl ⁻	23400

Table 4. Composition of simulation ponds

پوشش پلاستیکی استفاده شد و هر دو هفته یکبار محلول تعویض شد.

۴- تجزیه و تحلیل و تفسیر نتایج

۴-۱- کارآیی مخلوط ها

مشخصات بتن و ملات تازه به ترتیب در جداول (۵ و ۶) مشاهده می شود.

در تمامی نمونه‌ها میزان روان کننده مصرفی به حدی بود تا تمام نتایج کارآیی حاصل از نمونه‌های حاوی افزودنی الزامات آیین‌نامه افنارک ۲۰۰۲ را برآورده ساختند. قطر جریان اسلامپ نمونه‌های بتن و ملات خودتراکم بترتیب در بازه‌های ۶۵-۸۰ و ۲۴-۲۶ سانتی‌متر قرار داشتند.

همان‌گونه که از جداول (۲ و ۳) مشاهده می شود ژئولیت و دوده سیلیسی مقدار روان کننده مصرفی را بالا برده اند، پژوهش‌های [46, 47] نیز به نتایج مشابه دست یافتند. بیشترین مقدار روان‌کننده مصرفی مربوط به طرح چهار جزئی است.

محدوده مقادیر کیف وی در نمونه‌های خودتراکم ملات و بتن به ترتیب ۷-۱۱ و ۶-۱۲ ثانیه است و تمام نمونه‌ها در محدوده مورد نظر قرار گرفتند. محدوده مقادیر حلقه جی در نمونه‌های بتن ۱۰-۰ میلی‌متر است و تمامی نمونه‌ها در این محدوده قرار گرفتند.

نتایج مشابهی نیز به وسیله سایرین بدست آمده است. برای نمونه پژوهش‌های [35, 36] آثار ژئولیت و دوده سیلیسی را بررسی کرده و نشان دادند که این افزودنی‌ها سبب افزایش ویسکوزیته نمونه می‌شود.

جدول ۵. نتایج آزمایش‌های کارآیی بتن تازه

Mix ID	J-Ring -h ₂ (mm)h ₁	V- funnel flow time (s)	Slump flow (cm)	T50 (s)	VSI
PC-Ctrl	-	-	8	-	-
SCC-Ctrl	5	6.1	70	2	1.5
SCCSF8	4	8.22	68.7	3.8	1
SCCZ15	9	10.4	67.4	4.3	0
SCCSF8Z15	8	10.5	66	4.5	1

Table 5. Fresh concrete results

میزان یون کلرید کل موجود در بتن برابر با مجموع کلر آزاد موجود در محلول منفذی و کلر پیوسته به محصولات مختلف هیدراتاسیون است. کلر آزاد موجود در بتن سبب ایجاد خوردگی می‌شود. نتایج مقاومت الکتریکی و مقدار یون کلرید آزاد به ترتیب در جداول (۸ و ۹) مشاهده می‌شود.

۳-۳- انبساط طولی، تخلخل کل و فاکتور جذب آب

موئینه ملات

تخلخل کل و جذب آب موئینه با کمک روش بیان شده در پژوهش [42] از میانگین داده‌های ۳ نمونه مکعبی به ابعاد ۵۰×۵۰×۵۰ و در سن ۱۸۰ روز بدست آمدند. انبساط طولی ملات نیز طبق استاندارد ASTM-C1012 [43] و با استفاده از ۴ نمونه منشوری ۲۸/۵×۲۸/۵×۲/۵ سانتی متری از هر طرح تا سن ۶ ماه بدست آمده است. نتایج تخلخل کل در شکل (۱)، نتایج جذب آب موئینه در شکل (۲) و نتایج انبساط در شکل (۳) ارائه شده‌اند.

۳-۴- دستگاه شبیه‌ساز ساخته شده

در این پژوهش، به منظور شبیه‌سازی محیط جزر و مدی از این پژوهش [44] کمک گرفته شد و هر ۶ ساعت یک بار پمپ آب متصل به تایمر موظف بود تا آب مخزن را تا جایی که سطح آن به مقداری بالاتر از نمونه‌ها در مخزن دیگر می‌رسید، تخلیه و به درون مخزن دیگر بریزد. همچنین نمونه‌ها به وسیله پنکه چرخشی خشک شدند.

به منظور شبیه‌سازی بخش پاشش نیز به کمک مقاله [45] و محاسبات ریاضی، بر محیط جداره‌های خارجی مخزن لوله‌هایی تعبیه شدند که به فاصله هر ۱۵ سانتی‌متر نازلی با زاویه ۴۵ درجه از افق قرار داشت و به منظور تشدید حمله در نمونه‌های قرار گرفته شده در این محیط، هر ۳ ساعت یکبار محلول آب دریا روی سطح نمونه‌ها پاشیده شد و نمونه‌های مغروق نیز در پایین‌ترین ردیف مخزن چیده شده بودند.

غلظت محلول در جدول (۴) آمده است و به منظور شبیه‌سازی دما و رطوبت مخازن، هر مخزن دارای یک رد حرارتی بود که دما محلول را ۳۸ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد که به مقدار میانگین دما غالب منطقه خلیج فارس است، نگه داشت. همچنین، رطوبت مخزن مرتب کنترل شد. برای جلوگیری از تبخیر محلول نیز از دو جداره

۴-۳- تخلخل کل و فاکتور جذب آب موئینه ملات

در شکل (۲) تخلخل کل ملات تمام طرح‌ها در شرایط رویارویی مغروق و آب آهک اشباع و در شکل (۳) ضریب جذب آب موئینه ملات تمام شرایط رویارویی آمده است.

همان‌گونه که در این نمودارها مشاهده می‌شود، در شرایط کنترلی، افزودنی‌ها به جز ژئولیت (استفاده به صورت تکی)، سبب کاهش تخلخل کل و فاکتور جذب آب موئینه ملات نسبت به نمونه‌های کنترلی شدند. مقدار منافذ قابل نفوذ ملات ژئولیتی در ۱۸۰ روز به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۳۱ برابر بتن کنترلی خودتراکم و معمولی است. این رفتار آثار مقاومت فشاری نمونه ژئولیتی را کاهش می‌دهد.

شکل ۱. فاکتور تغییر مقاومت فشاری (SDF) نمونه های بتن در شرایط الف) مغروق ب) جزر و مد ج) پاشش

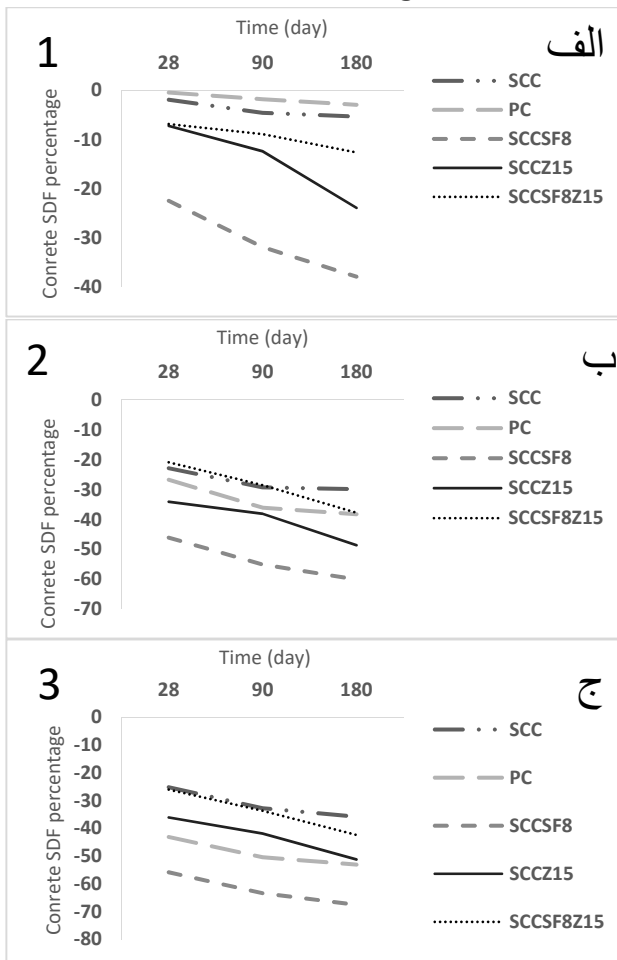


Fig. 1. SDF of concretes placed in 1) Submerged 2) Tidal 3) Splash conditions

جدول ۶. نتایج آزمایش‌های کارایی ملات تازه

ID Mix	V-funnel flow time (s)	Mini slump flow (cm)
MPC-Ctrl	-	-
MSSC-Ctrl	7	26
MSF8	9	25.3
MZ15	10	24.7
MSF8Z15	10	24.1

Table 6. Fresh mortar results

۴-۲- آزمایش مقاومت فشاری

در شکل (۱) فاکتور تغییر مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در شرایط مختلف رویارویی با محلول مشابه خلیج فارس آمده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در شرایط رویارویی با آب دریای خلیج فارس، فاکتور تغییر مقاومت منفی است که علت وجود یون‌های مهاجم است.

در تمام شرایط رویارویی، نمونه‌های سه جزئی دوده سیلیسی، دارای کمترین فاکتور تغییر مقاومت فشاری نسبت به نمونه کنترلی خودتراکم، در مقایسه با سایر طرح‌ها است. بنابراین وجود دوده سیلیسی در بتن هنگامی که در آب معمولی باشد (آب آهک اشباع) و علت تخریب انبساط ناشی از تشکیل اترینگایت باشد، سبب بهبود روند دوامی آن می‌شود. اما در آب دریای خلیج فارس که مقدار منیزیم آن زیاد است و بیشترین تاثیر تخریب به علت تجزیه ژل‌های سیلیکات کلسیم هیدراته است افزودن دوده سیلیسی سبب تضعیف بتن می‌شود.

رفتار ژئولیت در برخورد با آب دریای خلیج فارس بهتر از دوده سیلیسی بود و هنگامی که از دوده سیلیسی و ژئولیت به صورت هم‌زمان استفاده شد، در تمامی شرایط رویارویی با آب دریای خلیج فارس در تمام انواع نمونه‌ها، فاکتور تغییر مقاومتی در تمام سنین بیشتر شد.

همچنین، مشاهده می‌شود که با گذر زمان مقدار فاکتور تغییر مقاومت فشاری در تمامی طرح‌ها و شرایط، کاهش می‌یابد و با گذر زمان تخریب بیشتر است.

تبخیر بالا بوده و همین آب اندک نیز برای انجام هیدراتاسیون نمونه زئولیتی کافی نیست. در نتیجه، مقدار منافذ آن از نمونه دوده سیلیسی بیشتر است.

۴-۴- مقاومت الکتریکی

شکل (۴) مقاومت الکتریکی تمامی نمونه‌ها در شرایط کنترلی یا رویارو با محلول مشابه آب خلیج فارس را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج در شکل (۴)، افزودنی‌ها در شرایط کنترلی سبب افزایش مقاومت الکتریکی بتن شده است.

شکل ۲. تخلخل کل ملات تمام طرح‌ها در شرایط رویارویی مغروق و آب آهک اشباع

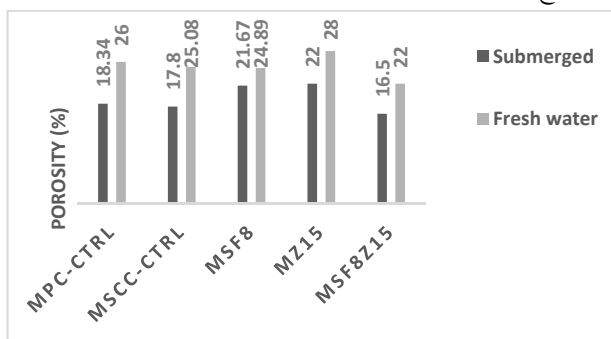


Fig. 2. Porosity of mortar in control and submerged conditions

شکل ۳. ضریب جذب آب موئینه ملات تمام شرایط رویارویی

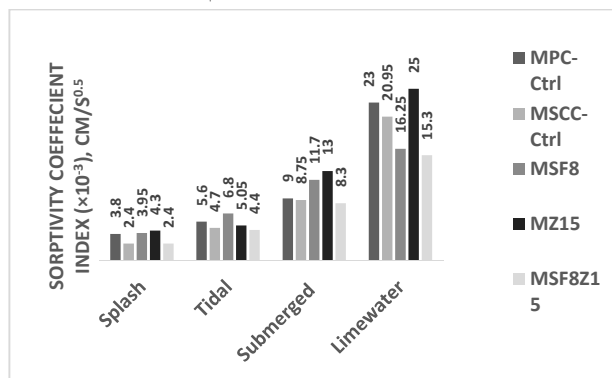


Fig. 3. Mortar sorptivity coefficient in all conditions

در شرایط کنترلی در تمامی سنین، دوده سیلیسی مقاومت الکتریکی بتن را بیشتر از زئولیت نسبت به بتن کنترلی خودتراکم، بالا برد و این اختلاف در سنین بالاتر مشهودتر است. به شکلی که در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز، درصد افزایش مقاومت الکتریکی بتن نسبت به نمونه خودتراکم کنترلی، در نمونه سه جزئی دوده سیلیسی و زئولیتی به ترتیب برابر

همچنین طرح چهار جزئی دارای تخلخل کمتری نسبت به سایر طرح‌ها است. زیرا مقدار نسبت w/b در آن از بقیه طرح‌ها کمتر است.

در نمونه‌هایی که دوده سیلیسی ندارند تخلخل کمتر است. زیرا در آنها بعلت وجود یون منیزیم در آب دریای خلیج فارس بروسیت ایجاد می‌شود که منافذ را می‌بندد. اما در نمونه‌هایی که حاوی دوده سیلیسی هستند، این اتفاق نمی‌افتد. نمونه چهار جزئی، در تمامی محیط‌ها، دارای فاکتور جذب آب موئینه کمتری نسبت به نمونه دوده سیلیسی است.

جذب آب موئینه ملات ۱۸۰ روزه سه جزئی زئولیتی در شرایط کنترلی و مغروق از بتن‌های کنترلی بیشتر است؛ زیرا فعالیت پوزولانی زئولیت در بلند مدت بیشتر از دوده سیلیس است.

استفاده از دوده سیلیسی در شرایط جزر و مدی سبب افزایش جذب آب موئینه خمیر سیمانی شده است زیرا در این نمونه‌ها، منیزیم هیدروکسید (بروسیت) وجود ندارد. منیزیم هیدروکسید از واکنش کلسیم هیدروکسید و سولفات منیزیم (موجود در آب دریای خلیج فارس) بوجود می‌آید و در آب نامحلول است بنابراین منافذ را بسته و از ژل‌های سیلیکات کلسیم هیدراته برای پیشرفت حمله محافظت می‌کند. نبود منیزیم هیدروکسید سبب افزایش نرخ پیشرفت حمله به ژل‌های سیلیکات کلسیم هیدراته شده و منافذ باز بیشتری جهت جذب آب دریا بوجود خواهد آمد.

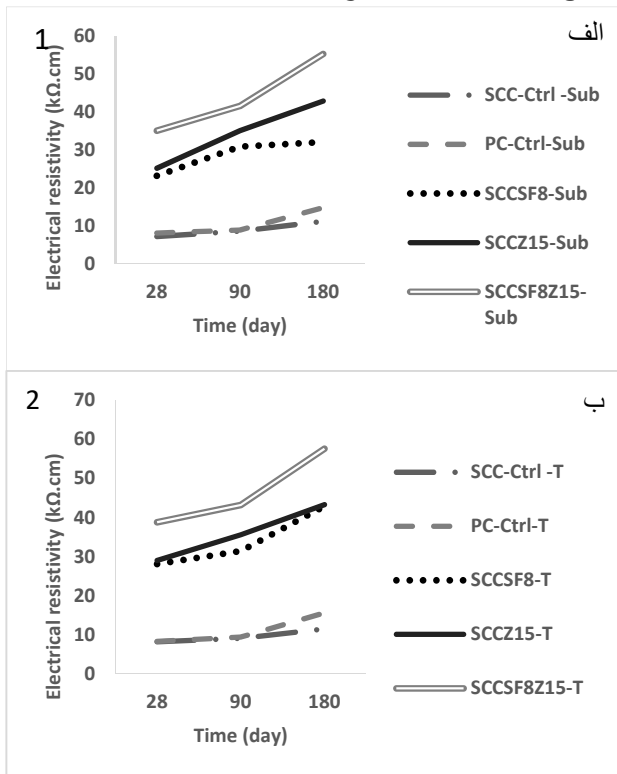
در شرایط جزر و مدی، فاکتور جذب آب موئینه ملات سه جزئی زئولیتی ($=5,05$) کمتر از مقدار آن در ملات سه جزئی دوده سیلیسی ($=6,8$) است. اما در شرایط پاششی عکس این قضیه برقرار است. فاکتور جذب آب موئینه ملات سه جزئی زئولیتی ($=4,3$) بیشتر از مقدار آن در ملات سه جزئی دوده سیلیسی ($=3,95$) است. زیرا زئولیت یک پوزولان طبیعی است و انجام کامل هیدراتاسیون در آن به زمان بیشتری نسبت به دوده سیلیسی نیاز دارد. در جزر و مد، آب برای انجام هیدراتاسیون در اختیار زئولیت قرار دارد و منافذ بیشتری به دلیل ایجاد محصولات هیدراتاسیون بسته می‌شوند؛ اما در شرایط پاششی، آب در زمان‌های اندک در اختیار نمونه قرار می‌گیرد که سرعت

با آب دریا از ۲۰ کیلو اهم در سانتی متر بیشتر است و مشاهده می شود که افزودنی نرخ خوردگی آرماتور را در شرایط مهاجم بسیار پایین می آورد.

۴-۵- یون کلرید آزاد

مقدار یون کلر آزاد در اعماق مختلف نمونه ها بر حسب درصد وزنی بتن در شکل (۵) آمده است. با توجه به نتایج در شکل (۵)، در تمامی شرایط رویارویی، مقدار یون کلر آزاد موجود در اعماق مختلف در نمونه چهار جزئی کمتر از نمونه سه جزئی است. این نشان دهنده آنست که حضور زئولیت سبب کاهش مقدار یون کلر آزاد در نمونه بتنی دوده سیلیسی شده است.

شکل ۴. مقاومت الکتریکی نمونه های بتن در شرایط الف) مغروق ب) جزر و مد ج) پاشش د) آب آهک اشباع



۱۹۱/۹۲، ۲۵۱/۱، ۲۷۸/۸۴٪، ۱۸۴/۶۴، ۲۱۷/۰۳، ۲۲۷/۷۱٪ است. همچنین، در شرایط کنترلی، درصد افزایش مقاومت الکتریکی بتن چهار جزئی نسبت به نمونه خود تراکم کنترلی، در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز بترتیب برابر با ۲۲۹/۹۲، ۲۸۰/۵ و ۳۴۶/۶٪ است که این مقادیر در تمام سنین بیشتر از درصدهای مربوط به نمونه های سه جزئی است.

در تمام نمونه های در معرض محلول مشابه آب دریا به جز نمونه های واقع در شرایط پاششی، مقاومت الکتریکی بتن حاوی زئولیت در تمام سنین بیشتر از مقاومت در بتن حاوی دوده سیلیسی است. در شرایط پاششی، درصد افزایش مقاومت الکتریکی در ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز نسبت به نمونه خود تراکم کنترلی در شرایط رویارویی مشابه، در نمونه سه جزئی دوده سیلیسی بترتیب ۲۳۸/۴۶٪، ۲۴۸/۳۹٪ و ۲۹۸/۶۲٪ است که این مقادیر از درصدهای افزایش بتن سه جزئی زئولیتی (به ترتیب برابر با ۱۸۹/۴۲٪، ۱۹۵/۹۷٪ و ۲۲۸/۲۸٪) در تمام سنین، بیشتر است.

در نمونه های جزر و مدی در تمام سنین، مقاومت الکتریکی نمونه زئولیتی بیشتر از آن در نمونه دوده سیلیسی است و درصد افزایش مقاومت الکتریکی نمونه حاوی زئولیت نسبت به نمونه خود تراکم کنترلی در شرایط رویارویی مشابه جزر و مدی، در سنین ۲۸، ۹۰ و ۱۸۰ روز به ترتیب برابر با ۲۵۳/۶۶٪، ۲۹۱/۲۱٪ و ۲۷۶/۵۲٪ است که این مقادیر بیشتر از مقادیر مربوط به بتن دوده سیلیسی (۲۴۲/۶۸٪، ۲۴۵/۰۵٪ و ۲۷۳/۰۴٪) است.

بنابراین، زئولیت در شرایط جزر و مدی بهتر از شرایط پاششی عمل می کند. زیرا زئولیت به زمان عمل آوری بیشتری نسبت به دوده سیلیسی نیاز دارد و دسترسی به آب در حالات جزر و مد و مغروق وجود دارد اما در پاشش اینطور نبوده و نرخ هیدراتاسیون بسیار کاهش می یابد.

نمونه چهار جزئی دارای بیشترین مقاومت الکتریکی در تمام سنین است.

بر اساس وجود ارتباط مستقیم میان احتمال خوردگی آرماتور و مقاومت الکتریکی [48] مقاومت تمام نمونه ها در شرایط کنترلی و نمونه های حاوی افزودنی در شرایط رویارو

از ماه ۴ام به بعد، درصد تغییر طول نمونه‌های بدون افزودنی در تمامی شرایط محیطی، خیلی بیشتر از نمونه‌های حاوی افزودنی بود. این اثر بخشی در نمونه‌های پاششی و جزر و مدی مشهودتر است. نمونه‌های ملات معمولی قرار گرفته در شرایط پاششی و جزر و مدی در ماه‌های ۴ و ۶ام شکستند و نمونه‌های ملات خودتراکم کنترلی واقع در پاشش نیز در ماه ۱۶ام شکستند. در تمامی شرایط رویارویی، نمونه‌های چهار جزئی دارای انبساط کمتری بودند و عملکرد بهبود در نمونه‌های سه جزئی دوده سیلیسی در تمام شرایط بهتر از نمونه سه جزئی زئولیتی بود.

همچنین، مقدار انبساط ملات در محلول سولفاتی بیشتر از انبساط همان ملات در محلول آب دریای خلیج فارس است. در ماه ۶ام، وجود یون کلر در محلول مهاجم سبب شده تا مقدار انبساط در نمونه حاوی زئولیت، ۹٪ کم گردد که این مقدار برای نمونه‌های دارای دوده سیلیسی کمتر بوده است. به شکلی که در نمونه سه جزئی دوده سیلیسی ۶/۶٪ و در نمونه چهار جزئی ۳/۵٪ کاهش گزارش شده است و می‌توان گفت که وجود یون کلر در کاهش انبساط مخلوط‌های حاوی دوده سیلیسی به ویژه دوده سیلیسی-زئولیت تاثیر چندانی ندارد.

لی و همکاران نیز گزارش دادند که در مخلوط‌های حاوی دوده سیلیسی، وجود یون کلر در کاهش انبساط سولفاتی تاثیر چندانی ندارد [52].

۵- نتیجه گیری

بر اساس پژوهش انجام شده و با استفاده از تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده این گونه نتیجه گرفته می‌شود:

۱. با توجه به خواص بتن و ملات تازه، افزودن دوده سیلیسی و زئولیت به بتن سبب تعدیل خواص پرکنندگی و جاری شدن بتن نسبت به طرح‌های سه جزئی حاوی زئولیت و یا دوده سیلیسی شده است.

۲. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری بتن و جذب آب مؤئنه نشان دادند که استفاده از دوده سیلیسی سبب کاهش دوام بتن در مواجهه با آب دریای خلیج فارس شده است که زئولیت

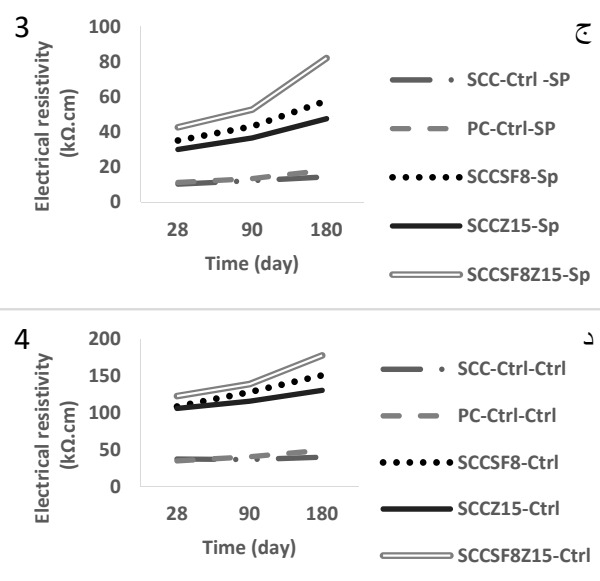


Fig. 4. Electrical resistivity of concretes placed in 1) Submerged 2) Tidal 3) Splash 4) Lime water control conditions

علت این امر، واکنش پوزولانی افزودنی‌ها در حضور رطوبت آزاد داخل شبکه منافذ بتن و ایجاد محصولات چگال در منافذ مؤئنه و سیستم منفذی جدایی است.

شکل ۵. مقدار یون کلر آزاد در اعماق مختلف نمونه‌ها بر حسب درصد وزنی بتن

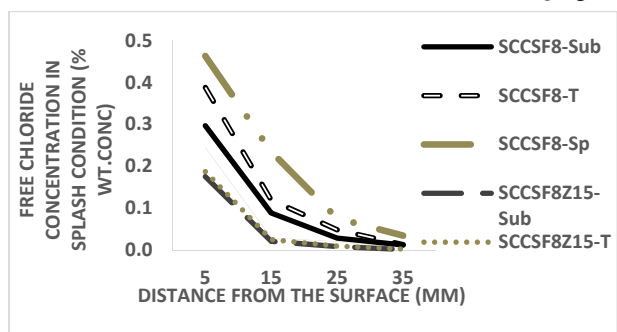


Fig. 5. Free chloride content per percent of concrete weight

۴-۶- انبساط طولی ملات

شکل (۶) انبساط طولی ملات در تمام شرایط رویارویی را نشان می‌دهد.

همانطور که می‌شود در همه شرایط، درصد تغییر طول ملات‌های مختلف تقریباً با یکدیگر مشابهند؛ اما از هفته ۱۱۳م مقدار انبساط نمونه‌ها بیشتر شده و اختلاف میزان انبساط نمونه‌ها با یکدیگر مشهودتر است.

۴. از حیث انبساط نمونه در شرایط مخرب، در نمونه‌های حاوی دوده سیلیسی، مقدار انبساط در شرایط مختلف رویارویی تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند. همچنین، وجود یون کلر در محلول مهاجم، سبب کاهش انبساط تمامی نمونه‌ها در محیط‌های سولفاتی شد.

می‌تواند این امر را بهبود بخشد، بطوری که استفاده از زئولیت به همراه دوده سیلیسی در نمونه‌های بتن و ملات سبب افزایش خواص مقاومتی و دوام در برابر آب دریای خلیج فارس می‌شود که این افزایش خواص دوامی در شرایط جزر و مد و پاششی محسوس‌تر است.

۳. با توجه به نتایج آزمایش‌های مقاومت الکتریکی و مقدار یون کلر آزاد، استفاده هم‌زمان دوده سیلیسی و زئولیت سبب افزایش خواص دوامی در تمامی شرایط رویارویی آب دریای خلیج فارس شده است.

نمودار ۶. انبساط طولی ملات در تمام شرایط رویارویی

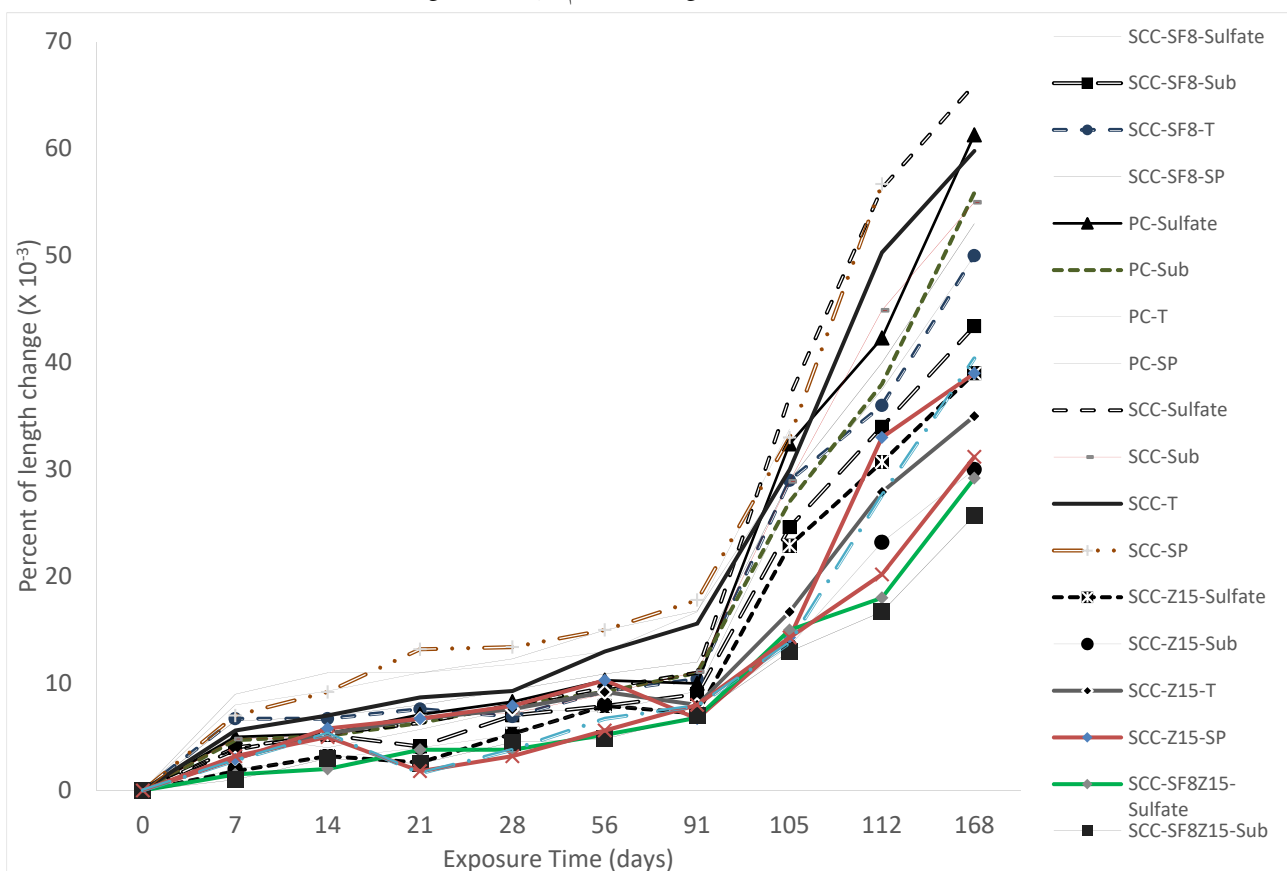


Fig. 6. Length change of all mortar specimens placed in all exposure conditions

۸. در مجموع، نمونه‌های چهارجزئی حاوی دوده سیلیسی و زئولیت بهترین عملکرد را در شرایط کنترلی و تمامی شرایط رویایی با آب دریای خلیج فارس از خود نشان دادند.

۶. بر اساس نتایج آزمایش‌ها، در شرایط پاششی عملکرد زئولیت بهتر از دوده سیلیسی است و در شرایط جزر و مدی، عملکرد دوده سیلیسی بهتر از زئولیت است.

۷- مراجع

[1] Shekarchi M., Moradi-Marani F., and Pargar F. 2011 Corrosion damage of a reinforced concrete jetty structure in the Persian Gulf. *Infrastruct. En*, 7(9), 701-713.

۷. هنگام استفاده از زئولیت در محیط‌های دریایی، بهتر است مدت زمان عمل‌آوری بیشتر از ۷ روز باشد تا نمونه چگالی کافی برای مقاومت در برابر یون‌های مخرب را بدست آورد.

- Investigation of Fresh Properties and Durability Of Natural Zeolite Incorporated Eco-SCC. The 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- [13] Alizadeh R., Ghods P., Chini M., Hoseini M., and Shekarchi M. 2006 Durability based design of RC structures in Persian Gulf region using DuraPGulf model. *Constr. Mater*, 391–394.
- [14] Gruber K.A., Ramlochan T., Boddy A., Hooton R.D., and Thomas M. D. A. 2001 Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin, *Cem. Concr. Compos.*, 23(6), 479–484.
- [15] Danson A., Dellate N., Toutanji H. 2001 Supplementary materials to enhance bridge deck durability, prepared for University Transportation Center for Alabama. No. UTCA Report No. 00305.
- [16] Lee K-M., Choi Y-S., Kim J-G. 2006 Corrosion behavior of steel bar embedded in fly ash concrete. *Corros Sci*, 48(7), 45–1733.
- [17] Chan S.Y.N. and Ji X. 1999 Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes. *Cem. Concr. Compos*, 21(4), 293–300.
- [18] Perraki T., Kakali G., and Kontoleon F. 2003 The effect of natural zeolites on the early hydration of Portland cement. *Microporous Mesoporous Mater*, 61(1–3), 205–212.
- [19] Poon C.S., Lam L., Kou S. C., and Lin Z.S. 1999 A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes. *Constr. Build. Mater*, 13(8), 427–432.
- [20] Rodríguez R. and Uribe R. 2002 Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. *Cem. Concr. Res*, 32(12), 1851–1858.
- [21] Bai J., Wild S., and Sabir B. 2003 Chloride ingress and strength loss in concrete with different PC – PFA – MK binder compositions exposed to synthetic seawater. 33, 353–362.
- [22] Choi Y., Kim J., and Lee K. 2006 Corrosion behavior of steel bar embedded in fly ash concrete. 48, 1733–1745.
- [23] Ridsdale D. 2008 A diverse and sometimes rocky road. *EuroAsia Semicond.*, 30(4), 3.
- [24] Khan M. I. 2010 Nanostructure and Microstructure of Cement Concrete Incorporating Multicementitious Composites. *Transportation research record*, 2141(1), 21–27.
- [2] Rasheeduzzafar A., Dakhil FH. 1984 Deterioration of concrete structures in the environment of the Middle East. *ACI J Proc*, 81(1), 13–20.
- [3] Al-Amoudi O., Maslehuddin M., and Abdul Al Y. A. B. 1995 Role of chloride ions on expansion and strength reduction in plain and blended cements in sulfate environments. *Constr. Build. Mater*, 9(1), 25–33.
- [4] Ghods P., Chini M., Alizadeh R., and Hoseini M. 2005 The Effect of Different Exposure Conditions on the Chloride Diffusion into Concrete in the Persian Gulf Region. *3th ConMat*.
- [5] Safehian M. and Ramezaniapour A. A. 2013 Assessment of service life models for determination of chloride penetration into silica fume concrete in the severe marine environmental condition. *Constr and Build. Mater*, 48, 287–294.
- [6] Bassuoni M.T., Nehdi M. 2009 Durability of self-consolidating concrete to different exposure regimes of sodium sulfate attack. *Materials and Structures*. 42(8), 1039–1057.
- [7] Shekarchizadeh M., Valipour M., Pargar F. 2011 Effect of Silica Fume, Metakaolin, Zeolite and Polypropylene Fiber on Chloride Diffusion in Concrete. *Journal of Civil Engineering*, 22(1), 83-96.
- [8] Roy S.K., Liam Kok Chye, and Northwood D.O. 1993 Chloride ingress in concrete as measured by field exposure tests in the atmospheric, tidal and submerged zones of a tropical marine environment. *Cem. Concr. Res*, 23(6), 1289–1306.
- [9] Valipour M, Pargar F, Shekarchi M, Khani S. 2013 In situ study of chloride ingress in concretes containing natural zeolite, metakaolin and silica fume exposed to various exposure conditions in a harsh marine environment. *Construction and Building Materials*, 46, 63–70.
- [10] Vedalakshmi R., Rajagopal K., and Palaniswamy N. 2008 Longterm corrosion performance of rebar embedded in blended cement concrete under macro cell corrosion condition. *Constr. Build. Mater*, 22(3), 186–199.
- [11] Vejmelková E., Keppert M., Rovnaníková P., Ondráček M., Keršner Z., and Černý R. 2012 Properties of high performance concrete containing fine-ground ceramics as supplementary cementitious material. *Cem. Concr. Compos.*, 34(1), 55–61.
- [12] Kazemian M.A., Ramezaniapour A. A., Sarvari M., Ahmadi B., Moghadam. 1988

- (CEM) – A new tool to design concrete containing admixture (in French). *Mater. Struct.*, vol. 33, 475–482.
- [38] ASTM C188, 2017 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. *ASTM Stand.*
- [39] B. S. En. 2002 Testing hardened concrete part 3.
- [40] ASTM C1556, 2016 Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion. *ASTM Stand.*
- [41] ASTM C1218, 2020 Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. *ASTM Stand.*
- [42] Benli A., Karataş M., and Gurses E., 2017 Effect of sea water and MgSO₄ solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash/silica fume. *Constr. Build. Mater*, 146, 464–474.
- [43] ASTM C1012/C1012M-15, 2015 Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution. *ASTM Stand.*, 11, 5–9.
- [44] Pouya H. S. and Ganjian E. 2007 Durability of silica fume and ggbs concrete in a tidal zone. *Proc. ICE - Constr. Mater*, 160(3), 103–111.
- [45] Katayama H., Noda K., Masuda H., Nagasawa M., Itagaki M., and Watanabe K. 2005 Corrosion simulation of carbon steels in atmospheric environment. *Corros. Sci.*, 47(10) 2599–2606.
- [46] Zhang M., Chen J., Wang D., and Ye J. 2013 Study on the expansion of concrete under attack of sulfate and sulfate-chloride ions. *Constr. Build. Mater*, 39, 26–32.
- [47] Lee S-T., Park D-W., and Ann K-Y. 2008 Mitigating effect of chloride ions on sulfate attack of cement mortars with or without silica fume. *Can. J. Civ. Eng.*, 35(11), 1210–1220.
- [48] Polder RB. 2009 Critical chloride content for reinforced concrete and its relationship to concrete resistivity. *Mater Corros*, 60(8), 623–630.
- [25] Yang C. C. and Cho S.W. 2003 An electrochemical method for accelerated chloride migration test of diffusion coefficient in cement-based materials. *Materials Chemistry and Physics*, 81(1), 116–125.
- [26] Cohen M.D. 1988 Durability of Portland cement-silica fume pastes in magnesium sulfate and sodium sulfate solution. *ACI Mater. J*, 85(3), 57–148.
- [27] Hekal E.E., Kishar E., and Mostafa H. 2002 Magnesium sulfate attack on hardened blended cement pastes under different circumstances. *Cem. Concr. Res*, 32(9), 1421–1427.
- [28] Moon H-Y, Lee S-T, and Kim S-S. 2003 Sulphate resistance of silica fume blended mortars exposed to various sulphate solutions. *Can. J. Civ. Eng*, 30(4), 625–636.
- [29] Lee S.T. 2005 Sulfate attack and role of silica fume in resisting strength loss. *Cement and Concrete Composite*, 27(1), 65–76.
- [30] Watson J. and Crick F. 1953 *Nature Publishing Group*.
- [31] Mascolo G. 1986 Hydrotalcite observed in mortars exposed to sulfate solutions - A discussion. *Cem. Concr. Res.*, 16(4), 610–612.
- [32] Nehdi M. and Hayek M. 2005 Behavior of blended cement mortars exposed to sulfate solutions cycling in relative humidity. *Cement and Concrete research*, 35(4), 731–742.
- [33] Topcu IB. 1995 The influence of ilicoferrochromium fume on concrete properties. *Cem. Concr. Res*, 25(2), 387–394.
- [34] Ranjbar M. M., Madandoust R., Mousavi S.Y., and Yosefi S. 2013 Effects of natural zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete. *Constr. Build. Mater*, 47, 806–813.
- [35] Chen Y., Gao J., Tang L., and Li X. 2016 Resistance of concrete against combined attack of chloride and sulfate under drying-wetting cycles. *Constr. Build. Mater*, 106, 650–658.
- [36] Mahmudi A. 2000 Investigation of the reinforced concrete durability in severe corrosive marine environment according to its position with respect to sea level (in Persian). *Maritime Technology*.
- [37] Schwartzentruber A. and Catherine C. 2000 Method of the concrete equivalent mortar

Studying the Effect of silicafume and zeolite on durability of self-consolidating mortars and concretes exposed to various exposure conditions in a simulated marine environment

Sajjad Mirvalad^{1*}, Ali Akbar Shirzadi Javid², Nazanin Alaghebandian³

1. Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology
2. Assistant Professor, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology
3. MSc graduate, School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology

* Corresponding author: mirvalad@iust.ac.ir

Abstract

The Persian Gulf is well known as one of the most aggressive environments in the world because of its high relative humidity, temperature, and concentration of chloride ions. Concrete structures are increasingly being deteriorated in this region. Therefore, improving the durability of concrete structures in this environment is an important issue. Supplementary cementitious materials (SCMs) can be useful for concrete durability enhancement in such harsh environments. In this paper, the effect of silica fume on deterioration resistance to sulfate attack in seawater within simulated splash, tidal and submerged conditions have been studied in self-consolidating concretes and mortars containing silica fume (SF) with/without natural zeolite (NZ). To achieve this objective, self-consolidating concrete specimens and concrete equivalent mortars (CEMs) with/without 15% natural zeolite and 8% silica fume with a total binder content of 380 kg/m³ and a constant water to cement ratio of 0.45 were fabricated. Limestone powder (LP) is also used as an inert filler in all SCC/CEMs. Additionally, both the conventional and SCC mixes were subjected to these durability tests to compare their performance. After 7 days of curing in a saturated calcium hydroxide solution, all of the specimens were subjected to three exposure conditions (tidal, splash, sub-merged) for 28, 90 and 180 days of testing ages. After taking fresh property testes of mortar/concrete samples by SP demand, slump flow, visual stability index, J-Ring, T50, V-funnel tests, several standard hardened property and durability tests were investigated by mortar/concrete compressive strength, chloride permeability, concrete electrical resistivity, mortar capillary water absorption and porosity tests. Moreover, the degree of sulfate attack was evaluated by measuring the expansion of mortar prisms. Traditionally, the extent of sulfate attack is quantified by the percent expansion of prismatic bars completely submerged in sulfate solution and this exposure regime used to evaluate sulfate attack is not typically representative of that encountered in the field. Wherefore, here in this investigation, prismatic bars were placed in different conditions mentioned and exposed to simulated seawater solution then expansion values evaluated. In addition, a reduction in compressive strength of all specimens was denoted by the strength differential factor (SDF). Results demonstrated that the incorporation of SF with NZ mixes in different exposure conditions led to the lowest absolute value of SDFs in all of the simulated-testing environment. Conversely, the lowest level of compressive strength at all testing ages was obtained for ternary blended cements (PC+LP+SF). Therefore, it can be concluded that SF has a negative effect on the compressive strength of SCC exposed to Persian Gulf seawater solution. This is attributed to the Mg-oriented sulfate attack which was more deleterious in SF ternary blended cements. All in all, the results were obtained from a laboratory set up and indicated that when the durability properties of the concretes in such environments were taken into account, the quarterly use of zeolite and silica fume (PC+LP+SF+NZ) provided the best performance in all exposures. Furthermore, self-consolidating concretes and mortars performed better than normal types. Besides, it is concluded that splash zones affect concrete specimens more harshly than other conditions.

Keywords: Durability, Self-consolidating concrete, Self-consolidating mortar, Supplementary cementing materials, Seawater, Exposure condition.