Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی دوام سازه های بتنی دریایی با سیمان‌ها و پوزولان‌های مختلف در شرایط محیطی خلیج فارس

علی اکبر رمضانیانپور، استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر *
علیرضا پورخورشیدی ،کارشناس ارشد عمران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

چکیده

کاربرد سیمان‌های مختلف می‌تواند تاثیر عمده‌ای در افزایش یا کاهش دوام بتن در مناطق مهاجم داشته باشد. در این تحقیق، دوام نمونه‌های بتنی مسلح ساخته شده با سیمان‌های نوع2، نوع 5 ، سرباره ای و پوزولانی و در بعضی از مخلوطها بهمراه مقادیری ماده جایگزین سیمان دوده سیلیسی بررسی می‌شود.

کلیه مخلوطهای در نظرگرفته شده با دو نسبت آب به سیمان متفاوت ساخته شده‌اند. برای هر نمونه از هر مخلوط، سه نوع پوشش بتنی روی آرماتور در نظرگرفته شده است. همچنین نمونه‌های ساخته شده با هر یک از مخلوطها، در سه شرایط متفاوت محیطی واقعی: در ساحل ، ناحیه جزر و مد دریا و کاملاً مغروق در آب دریا در سواحل بندرعباس نگهداری می‌گردند. نمونه‌هایی از هر یک از مخلوطها بصورت شاهد و در شرایط استاندارد آزمایشگاهی نگهداری می شوند.

آزمایشهایی نظیر تعیین پتانسیل و شدت خوردگی آرماتورها، عمق کربناسیون، میزان یون کلرید در اعماق مختلف بر روی نمونه‌های قرار گرفته شده در شرایط محیطی واقعی و همچنین آزمایشهایی نظیر مقاومت فشاری و میزان نفوذ پذیری تحت فشار در سنین مختلف بر روی نمونه‌های شاهد انجام می شود.

در این مقاله، نتایج آزمایشهای انجام گرفته بر روی کلیه نمونه ها تا سن 4 سال با یکدیگر مقایسه شده و عملکرد نمونه های ساخته شده با مخلوطهای متفاوت از لحاظ دوام مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: دوام بتن، پوزولان، سرباره، دوده سیلیسی، خوردگی آرماتور، مقاومت فشاری بتن، کربناتاسیون، نفوذ یون کلرید

1- مقدمه

شرایط آب و هوایی بسیار خورنده، عدم آگاهی کافی عوامل اجرایی، ضعف در مراحل ساخت، بکارگیری مصالح نامناسب و بدون کیفیت و... از عوامل انواع خرابی‌های سازه های بتنی در مناطق جنوبی کشور است.

انجام تحقیقات بیشتر بمنظور ارائه راهکارهایی برای ساخت بتن با دوام با توجه به توسعه منطقه بعلت توسعه ترانزیت دریایی و بهره‌برداری و استخراج منابع نفت و گاز و نیاز به ساخت و اجرای انواع سازه‌های بتنی در منطقه حاشیه خلیج فارس کاملاً احساس می‌شود. امروزه نقش سیمان های پوزولانی در افزایش دوام بتن به اثبات رسیده است[1-5].

2- برنامه کار

الف) مصالح مصرفی

سیمان‌ها و مواد مضاف مورد استفاده عبارتند از: سیمان نوع 2، سیمان نوع 5، سیمان پرتلند پوزولانی‌تراس، سیمان پرتلند سرباره‌ای، دوده سیلیسی

مشخصات شیمیایی سیمان‌ها و مواد جایگزین سیمان مصرفی در جدول (1) آمده است.

جدول 1: مشخصات شیمیایی سیمان‌ها و مواد جایگزین سیمان مصرفی

ترکیب شیمیایی ٪	سیمان نوع 2	سیمان نوع 5	پرتلند سپاهان	پرتلند پوزولانی	دوده سیلیسی
SiO_2	20/96	21/47	23/08	24/24	95/1

www.SID.ir

Archive of SID

AL_2O_3	4/2	3/95	5/5	4/25	0/6
Fc_2O_3	4/6	4/4	3/4	3/8	1/1
MgO	3/4	2/3	3/4	3/8	0/6
CaO	61/88	63/84	60/2	58/8	1/02
SO_3	1/79	2/17	2/64	3/82	1/2
$Na_2O+0.658K_2O$	1/47	1/01	1/08	1/26	–
C_3S	52/74	57/72	–	–	–
C_2S	20/31	18/01	–	–	–
C_3A	3/35	3/02	–	–	–

شن مصرفی دارای حداکثر اندازه 19 میلیمتر بود و از ماسه گذشته از الک 4/75 میلیمتر استفاده شد. همچنین وزن مخصوص شن و ماسه در حالت SSD بترتیب 2/53 و 2/56 گرم بر سانتیمتر مکعب تعیین شد. جذب آب شن و ماسه نیز در حالت SSD بترتیب 2/6 و 3/46 درصد اندازه‌گیری شد. همچنین سنگدانه‌ها از لحاظ واکنش قلیایی غیر فعال بودند. آب مصرفی در ساخت مخلوط‌ها، آب شرب تهران می‌باشد.

ب) انواع طرح اختلاط، جزئیات نمونه‌ها، نحوه نگهداری و آزمایش‌های در نظر گرفته شده

در این پروژه، 10 طرح اختلاط مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر شن و ماسه و مواد سیمانی (سیمان + ماده جایگزین سیمان) در کلیه طرح‌ها ثابت و بترتیب برابر 1050 و 760 و 400 کیلوگرم در متر مکعب در نظر گرفته شد. هر یک از مخلوط‌ها با دو نسبت آب به سیمان 0/4 و 0/35 ساخته شد. اسلامپ مورد نظر در کلیه مخلوط‌ها (8 cm –5) با اضافه نمودن فوق روان کننده (با پایه ملامین) بمقدار 1/8–1/2 درصد وزنی سیمان تامین گردید. ترکیب سیمان‌ها و مواد مضاف در طرح‌ها بصورت زیر بود:
سیمان نوع 2 ، سیمان نوع 5 ، سیمان نوع 2 + 7 درصد دوده سیلیسی ، سیمان پرتلندپوزولانی تراس ، سیمان پرتلند سپاهان (سرباره‌ای) + 5 درصد دوده سیلیسی
پس از ساخت هر مخلوط و ریختن داخل قالب و متراکم نمودن آن، عمل آوری مرطوب بمدت 7 روز انجام می‌گرفت. بعد از طی مدت عمل‌آوری، نمونه‌ها در شرایط از قبل پیش‌بینی شده قرار گرفتند و در سنین مختلف آزمایشهای مورد نظر برروی آنها انجام گرفت.
جزئیات و ویژگیهای نمونه‌های ساخته شده برای هر آزمایش و شرایط نگهداری آنها در جدول (2) آمده است.

جدول 2: جزئیات و ویژگیهای نمونه‌های ساخته شده و نحوه نگهداری آنها

نوع آزمایش	اندازه نمونه‌ها	ویژگیها	شرایط نگهداری
مقاومت فشاری	$10^{cm} \times 10^{cm} \times 10^{cm}$ 10	ـــــ	استاندارد آزمایشگاهی
نفوذپذیری تحت فشار آب	$15^{cm} \times 15^{cm} \times 15^{cm}$ 15	ـــــ	استاندارد آزمایشگاهی
خوردگی و نفوذ یون کلرید	$15^{cm} \times 60^{cm} \times 15^{cm}$ 15	در 3 نوع با پوشش بتنی 3/5 و 5 و 7 سانتیمتر ساخته شدند.	شرایط محیطی واقعی
عمق کربناتاسیون	$15^{cm} \times 60^{cm} \times 15^{cm}$ 15	فاقد آرماتور	شرایط محیطی واقعی

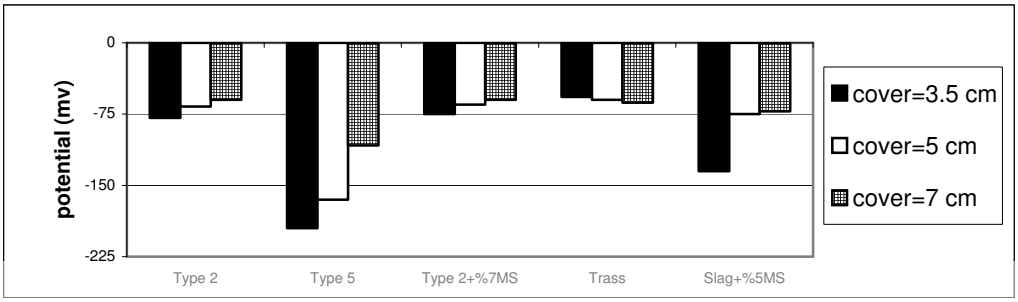
شرایط محیطی واقعی در سواحل خلیج فارس شامل سه شرایط کاملاً خشک، جزر و مدی و کاملاً مغروق است که عملکرد نمونه‌های مختلف از هر مخلوط در هرسه شرایط متفاوت بررسی می‌شود.

3- آزمایشها و نتایج آن

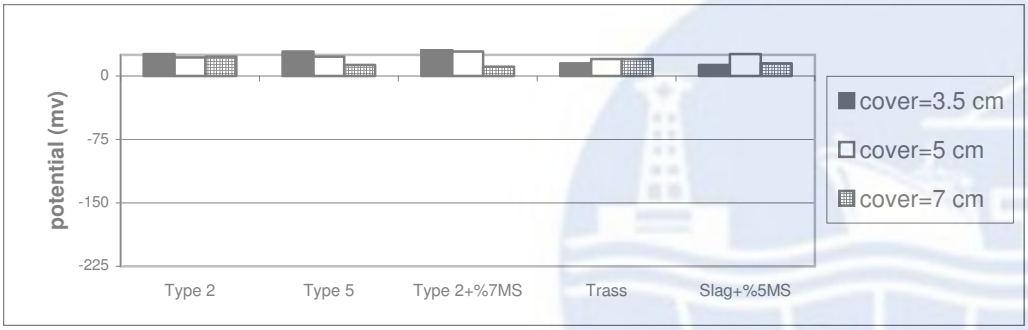
آزمایشهای اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی، شدت خوردگی آرماتور و مقاومت پوشش بتن در سنین مختلف تا 4 سال روی نمونه‌ها در معرض شرایط واقعی اندازه‌گیری شد. همچنین میزان مقاومت فشاری و میزان نفوذ آب تحت فشار روی نمونه‌های آزمایشگاهی تعیین گردید.
پتانسیل خوردگی توسط دستگاه نیم پیل با الکترود مرجع AgCl/Ag تعیین گردید. برای اندازه‌گیری شدت خوردگی و مقاومت پوشش بتنی از دستگاه گالوانواستات (براساس تکنیک پلاریزاسیون) با نام تجاری Galva Pulse استفاده شد. مقاومت الکتریکی نیز توسط این دستگاه تعیین شد.
نتایج تعیین شده تعدادی از این آزمایشها در سن 1 و 4 سال بر روی نمونه های قرار داده شده در ناحیه جزر و مدی و ساحل در شکل‌ها و جداول زیر خلاصه شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1 : مقادیر پتانسیل نیم پیل در مخلوط‌های مختلف با اندازه پوشش متفاوت روی آرماتور برای نمونه‌ها در شرایط جزر و مدی با نسبت آب به مواد سیمانی 0/4 در سن 4 سال



شکل 2 : مقادیر پتانسیل نیم پیل در مخلوط‌های مختلف با اندازه پوشش متفاوت روی آرماتور برای نمونه‌ها در شرایط ساحلی (حشک) با نسبت آب به مواد سیمانی 0/4 در سن 4 سال

جدول3 : محدوده پتانسیل خوردگی و احتمال خوردگی طبق ASTM C876 برای نیم پیل AgCl/Ag

محدوده پتانسیل	احتمال خوردگی
> - 75 mV	به احتمال 90 درصد فعالیت خوردگی وجود ندارد
-225 mV < < -75 mV	فعالیت خوردگی قطعی نمی‌باشد اما امکان آن کاملاً وجود دارد.
< - 225 mV	به احتمال 90 درصد فعالیت خوردگی وجود دارد.

جدول 4 : مقادیر مقاومت و جریان الکتریکی برای نمونه‌های در معرض شرایط جزر و مدی آب دریا در سن 4 سال

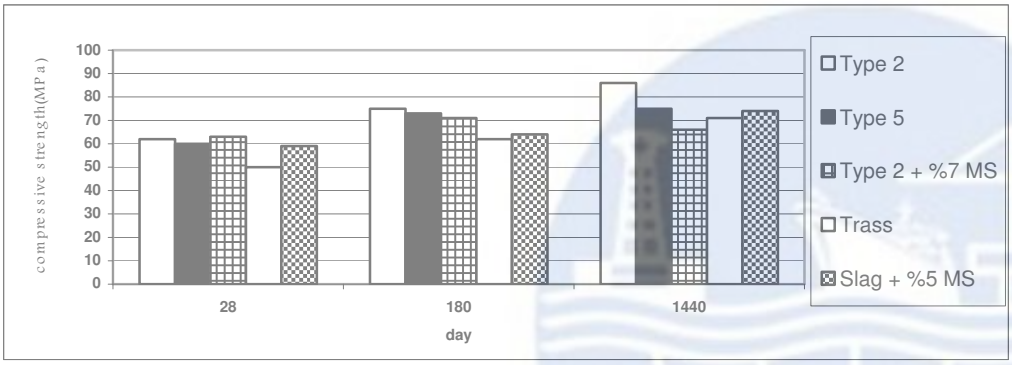
نوع مخلوط	W/B	جریان ($\mu A /cm^2$)			مقاومت (KOhm)		
		$c=3/5^{cm}$	$c=5^{cm}$	$c=7^{cm}$	$=3/5^{cm}$ c	$c=5^{cm}$	$c=7^{cm}$
سیمان نوع 2	0/4	2/84	2/38	2/79	0/8	1/2	1/2
	0/35	2/03	1/56	1/22	0/8	1/5	1/7
سیمان نوع 5	0/4	3/86	3/11	2/21	0/4	0/5	0/7
	0/35	3/25	2/33	2/06	0/5	1/3	1/4
نوع2 + 7٪ دوده سیلیسی	0/4	1/95	2/03	1/96	1/2	1/3	1/3
	0/35	1/76	1/66	1/52	1/8	2/1	2/8
سیمان پرتلند پوزولانی	0/4	1/90	2/37	1/68	1/1	1/3	1/5
	0/35	1/99	1/74	1/55	1/3	1/4	1/8
سرباره‌ای+5٪ دوده سیلیسی	0/4	2/76	2/12	1/82	0/9	1/4	1/8
	0/35	2/71	1/91	1/31	1/0	1/7	2/4

www.SID.ir

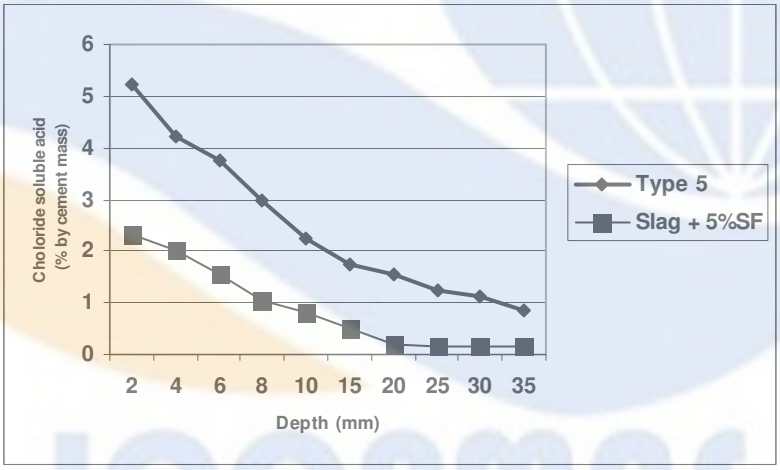
Archive of SID

جدول 5 : محدوده های شدت خوردگی و تفسیر آن (براساس نتایج دستگاه Galva Pulse)

شدت خوردگی $(\mu A / cm^2)$	تفسیر
کمتر از 0/5	هیچ نوع آسیب‌دیدگی در اثر خوردگی انتظار نمی‌رود.
0/5 < < 2/7	آسیب دیدگی در اثر خوردگی ممکن است بین 10 تا 15 سال آینده اتفاق بیفتد
2/7 < < 27	آسیب دیدگی در اثر خوردگی طی 2 سال و کمتر انتظار می‌رود.



شکل 3 : توسعه مقاومت فشاری برای مخلوط های متفاوت با نسبت آب به مواد سیمانی 0/4



شکل 5 : پروفیل یون کلرید در نمونه های سیمان نوع 5 و سرباره ای بهمراه دوده سیلیسی با نسبت آب به سیمان 0/4 در شرایط جزر و مدی

شکل 6 : وضعیت خوردگی میلگردهای داخل نمونه های سیمان نوع 5 با پوشش 3/5 سانتیمتر و نسبت آب به سیمان 0/4 در شرایط جزر و مدی

www.SID.ir

Archive of SID

4-تجزیه و تحلیل نتایج

الف)پتانسیل خوردگی، شدت خوردگی و مقاومت الکتریکی

همانطور که در شکل (1) مشاهده می‌شود، در شرایط جزر و مدی، مخلوطهای سیمان نوع 5 بیشترین میزان فعالیت خوردگی را دارا می‌باشند. مخلوطهای سیمان نوع 2 ، سیمان نوع 2 باضافه 7٪ دوده سیلیسی و سیمان پرتلند پوزولانی تراس عملکرد یکسان و قابل قبولی داشتند. با توجه به جدول (4) و مقادیر شدت خوردگی و مقاومت الکتریکی در سن 4 سال، عملکرد نامطلوب مخلوط سیمان نوع 5 با پوشش 3/5 و 5 سانتیمتر اثبات می‌شود. مخلوطهای پوزولانی دارای دوده سیلیسی، سرباره و تراس با اندازه پوشش 5cm و 7cm عملکرد بسیار خوبی داشتند و در کلیه مخلوطها هرچه به مقدار پوشش بتنی افزوده می‌گردد، عملکرد قابل قبول‌تر می‌گردد. مخلوطهای با نسبت آب به مواد سیمانی 0/35 عملکرد بهتری نسبت به مخلوطهای با نسبت آب به مواد سیمانی 0/4 نشان دادند.

در مورد نمونه‌های قرارگرفته در ساحل با توجه به شکل (2)، در مورد کلیه مخلوطها هیچ گونه فعالیت خوردگی بعد از 4 سال دیده نمی‌شود. همچنین تاثیر اندازه پوشش بتنی روی آرماتور در مورد این نمونه‌ها محسوس نیست و نیز تاثیرکاهش نسبت آب به سیمان روی میزان خوردگی قابل ملاحظه نمی‌باشد.

ب)مقاومت فشاری و عمق نفوذ آب تحت فشار

همانگونه که در شکل (3) دیده می‌شود، تا سن 180 روز، توسعه مقاومت فشاری در کلیه مخلوطها دیده می‌شود. در سن 4 سال مقداری افت مقاومت در نمونه سیمان نوع 2 بهمراه دوده سیلیسی دیده میشود. مخلوط سیمان نوع 5، درعین عملکرد نامطلوب در برابر خوردگی، دارای مقاومت فشاری مناسبی می‌باشد. عمق نفوذ آب تحت فشار در کلیه مخلوطها در رده بتن های با نفوذ کم قرار دارند.

ج)عمق کربناتاسیون و میزان نفوذ یون کلرید

در مورد نمونه‌های قرار گرفته در شرایط خشک (در ساحل)،حداکثر عمق کربناتاسیون بعد از 4 سال در کلیه مخلوطها کمتر از 5 میلیمتر اندازه‌گیری شد.

میزان کلر محلول در اسید در عمق 3/5 سانتیمتر در مخلوطهای سیمان نوع 5 و با نسبت آب به سیمان 0/4 بعد از 4 سال در شرایط جزر و مدی حدود 1 درصد وزنی مواد سیمانی (کلر محلول در اسید) اندازه‌گیری شد. میلگردهای موجود در این نمونه ها خارج شده و خوردگی بر روی انها براحتی قابل مشاهده می باشد.

5-نتیجه‌گیری

در منطقه خلیج فارس و در شرایط خشک (ساحلی)، در شرایطی که سازه در معرض آب زیر زمینی نباشد و در صورتیکه بتن با کیفیت بالا ساخته شود، هیچ گونه آسیب دیدگی در اثر خوردگی تا 4 سال محتمل نمی‌باشد. در این شرایط عملکرد انواع سیمان‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای (حداقل در کوتاه مدت) نخواهد داشت.

در شرایط مغروق در آب دریا ،گرچه فعالیت خوردگی آرماتورها حتی با اندازه پوشش زیاد، بسیار بالاست، اما بعلت عدم وجود اکسیژن کافی در محیط بتن، شدت خوردگی ناچیز است. در این شرایط نیز تفاوت عملکرد انواع سیمان ها در صورت ساخت بتن با کیفیت خوب چندان محسوس نیست.

شرایط جزر و مدی دریا در ناحیه حاشیه خلیج فارس نامناسبترین شرایط را از لحاظ خوردگی دارا می‌باشد. سیمان نوع 5 با وجود مشخصات مناسب از لحاظ میزان مقاومت فشاری و نفوذ پذیری، بدترین عملکرد را از لحاظ خوردگی در این شرایط نشان داده است. این نتیجه دلالت بر اهمیت بیشتر ساختار شیمیایی سیمان نوع 5 نسبت به ساختار فیزیکی آن در شرایط خورنده دارد. همچنین اندازه پوشش زیاد (بیشتر از 5 سانتیمتر) در سازه‌های بتنی در معرض شرایط جزر و مدی توصیه می‌شود. همچنین نسبت آب به سیمان پایین در ساخت بتن در این شرایط توصیه می‌گردد.

در نتایج بدست آمده تاکنون خرابی در اثر پدیده کربناسیون در سازه‌های بتنی، در صورت ساخت با کیفیت بالا، در منطقه خلیج فارس انتظار نمی‌رود.

6- مراجع اصلی

[1] Ramezanianpour, A.A., Miyamoto, A.,"Durability of concrete structures in the Persian Gulf", Concrete journal, Japan Concrete Institute, Vol 18, No. 3, March 2000

[2] Ramezanianpour, A.A., Pourkhorshidi, A.R., "Durability of concrete containing supplementary cementing materials under hot and aggressive environments", Proceeding of 8th CANMET/ACI International Conference on Fly ash, Silica fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, May 2004, Las Vegas, U.S.A.

[3] Mohammed, T.u., Yamaji, T., Toshiyuki, A., and Hamada, H., "Corrosion of Steel Bars in Cracked Concrete Made with ordinary Portland, Slag and Fly Ash Cement", Proceedings of the 7th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, and Natural Pozzolans in Concrete, Madras, India, July 22-27 , 2001

[4] Mohammed, T.u., Otsuki, N., Hisada, M., Hamada, H., "Marine Durability of 23-Year–old Reinforced Concrete Beams" , Fifth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete, Barcelona, Spain, ACI SP 192-65, 2000, PP. 1071-1088

[5] Rasheeduzzafar, A.S., Dakhil, S.S., Al-Gahtani, A.S., "Effect of Cement Composition on Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete", Third International Symposium on Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, U.K., Edited by Page, C.L., 1995 , PP. 213-226

www.SID.ir

Archive of SID

Durability of Marine Concrete Structures with Cements and Pozzolans in Persian Gulf

A. Ramezanpour, professor of faculty of civil engineering, Amirkabir University of Technology

A. Pourkhorshidi, MSc civil engineering, Construction and Housing Research Center

Abstract

Cement application can have a profound effect in extension of lifecycle and durability of concrete in areas with invasive environment. This article deals with durability of reinforced concrete samples that have been made of cements types 2 and 5. All mixtures have been made based on 2:1 ratio for water to cement. For each sample mixture, three sorts of concrete coatings were included. Also the samples made by these mixtures were stored in three real environments: in the coast, in tidal areas and under the water (in Bandar Abbas, Hormozgan, Iran). A number of samples were put into experimental conditions as well. Certain tests such as determination of the potential and corrosion intensity of armatures, ion chloride content, and carbonation were conducted on samples. Finally, test results were compared and performance of samples that had been made of different mixtures was studied in terms of durability.

Keywords*: concrete durability, armature corrosion, concrete compressive resistance, carbonation, Persian Gulf*

www.SID.ir