

ارزیابی تاثیر دو پوزولان طبیعی بر شاخص های مقاومت، جذب و نفوذ تسريع شده يون كلرايد در سازه های بتنی در معرض آب (كد D)

محمود تقديسی علی^{۱*}، نیما كرمزاده^۲، حسين بهرامی^۳، سيد محمد سجادی عطار^۴

^۱ دانشجوي كارشناسي ارشد سازه های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

m.taghdisi@kmsu.ac.ir

^۲ استادیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

n.karamzadeh@kmsu.ac.ir

^۳ استادیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

Hossein_bahrami۱۹۷۹@yahoo.com

^۴ مدیر گروه عمران دانشگاه فنی و حرفه ای دانشکده شهید منتظری مشهد

sajjadi۲۹۷@yahoo.com

چکیده:

یکی از مهم ترین عوامل خرابی زودرس سازه های بتن مسلح در شرایط دریایی، خوردگی فولاد مدفون به علت یون کلرید نفوذ یافته به داخل بتن می باشد. بنابر اهمیت موضوع، طی ده های اخیر در سطح ایران و جهان، تحقیقات گسترده ای در زمینه دوام و مدل سازی رفتار سازه های بتن صورت گرفته است. در این راستا سند جامع بتن ۱۴۰۴ به منظور ارتقاء کیفی مقاومت و دوام بتن و سازه های بتنی در کشور با هدف توسعه پایدار تدوین گردیده است. از این رو در این مقاله از شاخص نفوذ تسريع شده يون كلرايد (RCPT) همراه با شاخص های مقاومت فشاری و جذب آب در آزمایش ها برای مقایسه و بررسی دو پوزولان بیش آقاج خراسان و معدنی از منطقه خراسان شمالی با تغییر درصد جایگزینی سیمان، عیار سیمان و نسبت آب به سیمان استفاده شده است. در طرح های مخلوط از نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۳۴ و عیارهای مواد سیمانی ۳۷۵ و ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب و نیز از نمونه های دو نوع پوزولان طبیعی جایگزین سیمان به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۵ درصد جایگزینی ساخته شد تا اثر پوزولان طبیعی نیز مطالعه شود. پس از بررسی نتایج مشاهده می شود با افزودن این دو پوزولان در بتن، بهبود مقاومت و کاهش نفوذ تسريع شده يون كلرايد در بلند مدت حاصل شده است.

واژه های کلیدی: شاخص دوام، طرح مخلوط، مقاومت فشاری، نفوذ تسريع شده يون كلرايد (RCPT)، پوزولان های طبیعی

Assessment of the strength, absorbance and accelerated Chloride Penetration performances of the two natural pozzolans in concrete structures exposed to marine environments

Mahmood Taghdisi Elli^{۱*}, Nima Karam Zadeh^۲, Hossein Bahrami^۳, Seyyed Mohammad Sajjadi Attar^۴

^۱ Master Student of Offshore Structural Engineering, Khorramshahr Marine Science and Technology University

^۲ Assistant professor at Khorramshahr Marine Science and Technology University, River and Coastal Engineering Department

^۳ Assistant professor at Khorramshahr Marine Science and Technology University, River and Coastal Engineering Department

^۴ head of department of Shahid Montazeri University of Mashhad

Chloride-induced corrosion of carbon steel reinforcement is the main cause of early deterioration of reinforced concrete (RC) structures in marine environments. According to importance of the issue, in recent decades, extensive research in Iran and other countries has been done about durability and modeling the behavior of concrete structures. In this regard, ۱۴۰۴ Iran comprehensive document, to improve strength and durability of concrete structures in Iran has been developed with the aim of sustainable development. So in this paper, RCPT with pressure resistance and water absorbance performance is used to comparison and assessment of the two pozzolans, Bish Aghaj Khorasan and mineral places in north Khorasan, has been analyzed in cement replacement percentage, cement content and water to cement ratio.

Since in the maritime structures, water absorbance into the concrete can cause physical and chemical damage, one of the most important criteria in the durability is water absorbance. In this paper, strength, absorbance and water permeability are assessed. In the mix control Water to cement ratio is chosen ۰.۳ and ۰.۳۴. Also, concrete content is ۳۷۵ and ۴۲۵ kg/m^۳ and two pozzolans as a cement with ۱۰, ۲۰, ۳۵ replacement percentage are used.

According to analysis, results show that these pozzolans improve resistance and RCPT in long term

Keywords: Durability, Natural Pozzolans, RCPT, Mix Control, Strength

۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل خرابی زودرس سازه‌های بتن مسلح در شرایط دریایی، خوردگی فولاد مدفون به علت یون کلرید نفوذ یافته به داخل بتن است. بنابر اهمیت موضوع، طی ده‌های اخیر در سطح ایران و جهان، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه دوام و مدل سازی رفتار سازه‌های بتن مسلح صورت گرفته است [۱]. در این راستا سند جامع بتن ۱۴۰۴ به منظور ارتقاء کیفی مقاومت و دوام بتن و سازه‌های بتنی در کشور با هدف توسعه پایدار تدوین شده است. از این رو موضوع دوام بتن به عنوان اساسی‌ترین مسئله در بهره‌برداری سازه‌های بتنی و همچنین اثرات اقتصادی آن در بخش ساخت‌وساز مطرح می‌شود [۲]. ویژگی‌های اصلی مهندسی بتن نظیر مقاومت و دوام، مستقیماً به عواملی نظیر تعداد، نوع، اندازه، توزیع و نحوه ارتباط منافذ در خمیر سیمان سخت شده وابسته است؛ بنابراین برای تعیین دوام بتن نیاز به اندازه‌گیری و تعیین معیاری از این عوامل وجود دارد. بهترین پارامتری که می‌تواند این عوامل را بخوبی نشان دهد، عمق نفوذ بتن می‌باشد [۳، ۴].

بررسی عمق نفوذ بتن مصرفی در سازه‌های دریایی به دو دلیل از اهمیت برخوردار است. اولین دلیل آن، اهمیت دوام و پایداری بتن در برابر نفوذ یون کلرید و حملات سولفاتی و نفوذ سیالات مضر به داخل بتن در این شرایط می‌باشد. دومین دلیل، اثر خوردگی میلگردها و فولاد مدفون در بتن است [۵].

به منظور افزایش دوام و کاهش میزان عمق نفوذ خمیر سیمان دو روش پیشنهاد می‌شود؛ اول کم کردن نسبت آب به سیمان و دوم استفاده از مواد جایگزین سیمان یا پوزولان‌ها می‌باشد. کاهش نسبت آب به سیمان علاوه بر از دست دادن کارایی، به تنهایی برای کاهش منافذ خمیر سیمان کافی نیست. استفاده از مواد پوزولانی، نقش به سزایی در کاهش نفوذ پذیری ایفا می‌کند و در جهت توسعه پایدار و حفظ محیط زیست و منابع طبیعی تجدید ناپذیر به کار می‌آید. بنابراین، یکی از راه‌های کاهش مصرف سیمان، استفاده از مواد مکمل سیمان و پوزولان است [۶].

در این مقاله، با استفاده از پوزولان‌های طبیعی سعی بر افزایش دوام بتن است که برای ارزیابی بهبود کیفیت بتن از معیارهای دوام (نفوذ تسریع شده یون کلراید و جذب آب کوتاه مدت) و معیار مکانیکی مقاومت فشاری استفاده شده است. در ادامه، کار آزمایشگاهی، نتایج و نیز بحث و نتیجه‌گیری قرار دارد.

۲. روش کار آزمایشگاهی

از آنجا که هدف این تحقیق بررسی پارامترهای مقاومتی و دوام بتن‌های معمول مورد استفاده در مناطق دریایی ایران نظیر خلیج فارس و دریای عمان است، در طرح‌های مخلوط پارامترهای مؤثری چون روانی بتن، حداکثر اندازه سنگ‌دانه و دانه‌بندی مخلوط سنگدانه‌ها ثابت نگاه داشته شد و با تغییر نسبت آب به مواد سیمانی، عیار مواد سیمانی و همچنین درصد استفاده از پوزولان طبیعی، تغییرات پارامترهای مختلف مطالعه شد.

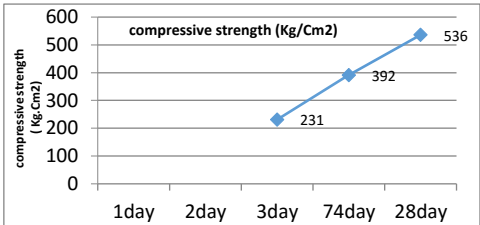
۲.۱. مصالح مصرفی

سیمان

سیمان پرتلند یک سیمان هیدرولیکی است؛ به این معنا که با مخلوط نسبت‌های مناسب با آب، در زیر آب و همچنین هوا سخت می‌شود. نام این ماده چسبنده از تشابه ظاهری آن در حالت سخت شده با سنگ پرتلند انگلیسی منشأ گرفته است.

سیمان مصرفی برای ساخت مخلوط‌های بتن این مقاله از نوع سیمان نوع ۲ محصول کارخانه سیمان زاوه تربت بوده است که خواص شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان زاوه تربت

آزمون فیزیکی سیمان زاوه تربت								
مانده روی الک (۹۰μ)	بلین Cm ^۲ /gr	زمان گیرش (دقیقه)		مقاومت فشاری (Kg/Cm ^۲)				
		زمان گیرش اولیه	زمان گیرش نهایی	۱ روز	۲ روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز
۰/۳۰	۲۹۵۲	۱۳۰	۱۹۰	-	-	۲۳۱	۳۹۲	۵۳۶
انقباض سیمان		حرارت هیدراسیون cal/gr						
اتوکلاو (%)	لوشاتلیه (mm)	۷ روز	۲۸ روز					
۰/۱۲	تایید است	-	-					
ترکیب شیمیایی (%) و فازهای سیمان زاوه								
IR	SiO _۲	Al _۲ O _۳	Fe _۲ O _۳	CaO	MgO	SO _۳	Na _۲ O	K _۲ O
۰/۲۰	۲۱/۲۴	۵/۰۱	۳/۶۵	۶۴	۲/۸۸	۱/۶۰	۰/۳۹	۰/۵۹
Loss	cl	C _۳ S	C _۲ S	C _۳ A	C _۴ AF	C _۴ AF+۲C _۳ A		F/CaO
۰/۷۰	۰/۰۱۶	۵۵/۶۴	۱۸/۹۴	۷/۱۰	۱۲/۴۳	۱۹/۵۳		-

در این پژوهش از پوزولان بیش آفاج خراسان و معدنی از منطقه خراسان شمالی استفاده شد که خواص شیمیایی و مکانیکی آن در جدول ۲ ملاحظه می گردد. پوزولان بیش آفاج، یک پوزولان سیلیسی آلومیناتی است و از معدنی به همین نام که در فاصله ۳۸ کیلومتری شهرستان قوچان و در قسمت جنوب غربی بزرگراه مشهد-قوچان قرار دارد، گرفته شده است. از این پوزولان در ساخت سیمان پوزولانی در کارخانه سیمان شرق مشهد استفاده می شود.

جدول ۲: مشخصات شیمیایی پوزولان طبیعی مناطق بیش آفاج و خراسان شمالی

ترکیب شیمیایی و فازهای پوزولان بیش آفاج (%)								
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	Loss
۵۴/۴۷	۱۳/۸۷	۳/۸	۶/۲	۱/۳	۰/۶۲	۱/۴۱	۰/۴۸	۱۷/۸۵
ترکیب شیمیایی و فازهای پوزولان خراسان شمالی (%)								
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	Na_2O	K_2O	LoI
۵۸/۶۱	۱۸/۰۲	۵/۵۹	۴/۳۶	۰/۳۴	۱/۱۹	۱/۷۶	۱/۵۲	۶/۲۷

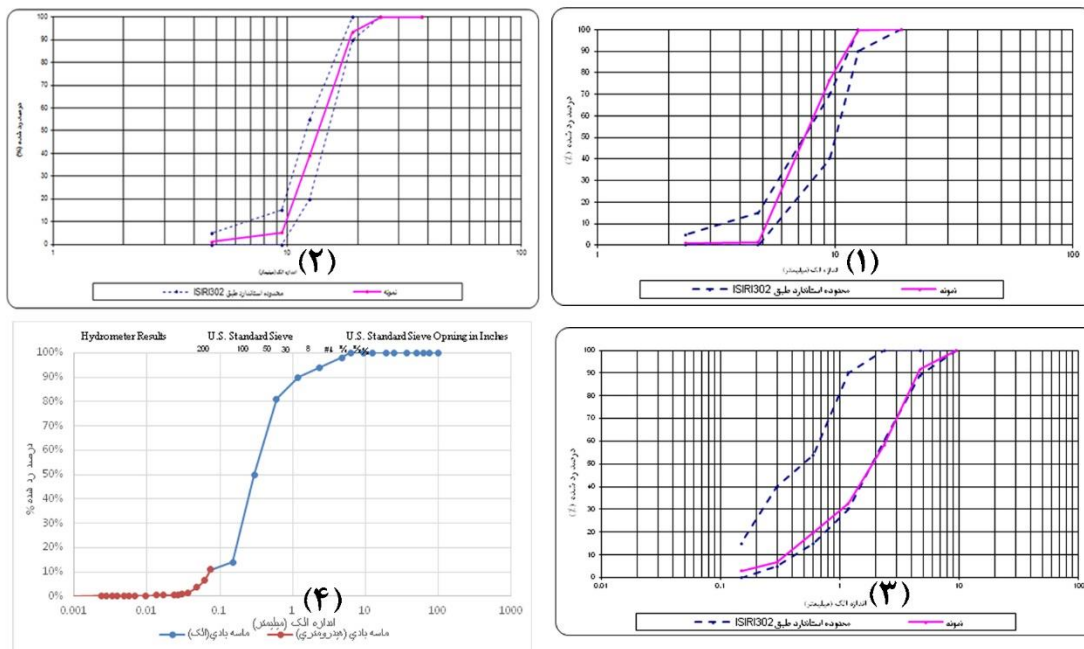
۲.۲. دانه‌بندی مصالح سنگی

در طرح‌های ساخته‌شده، از مصالح مصرفی محوره‌های سرخس و کلات استفاده‌شده است. مصالح سنگی محور کلات به دلیل واکنش کمتر با قلیای سیمان نسبت به مصالح محور سرخس ارجح است. نتایج دانه‌بندی شن بادامی، شن نخودی، ماسه شسته و ماسه‌بادی به ترتیب در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول ۳: نتایج دانه‌بندی شن بادامی، شن نخودی، ماسه شسته، ماسه‌بادی

دانه‌بندی مجزای مصالح (درصدهای عبوری)						محدوده ترکیبی دانه‌بندی طبق رابطه اصلاح‌شده فولر تامسون		
mm	-	شن متوسط (بادامی)	شن ریز (نخودی)	ماسه	ماسه‌بادی	n	n	n
						۰,۳۵	۰,۴۵	۰,۵۵
۳۷/۵	۱۱/۲ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۲۵	۱ اینچ	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۳/۴ اینچ	۹۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۲/۵	۱/۲ اینچ	۳۹	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۸۴	۸۱	۷۸
۹/۵	۳/۸ اینچ	۵	۷۷	۱۰۰	۱۰۰	۷۵	۷۱	۶۷
۴/۷۵	نمره ۴	۱	۲	۹۲	۹۹	۵۵	۴۹	۴۴
۲/۳۶	نمره ۸	-	۱	۵۸	۹۸	۴۰	۳۴	۲۸
۱/۱۸	نمره ۱۶	-	-	۳۲	۹۵	۲۷	۲۲	۱۸
۶	نمره ۳۰	-	-	۲۰	۹۰	۱۸	۱۴	۱۱
۳	نمره ۵۰	-	-	۷	۶۹	۱۱	۸	۶
۱۵	نمره ۱۰۰	-	-	۳	۳۲	۵	۳	۲

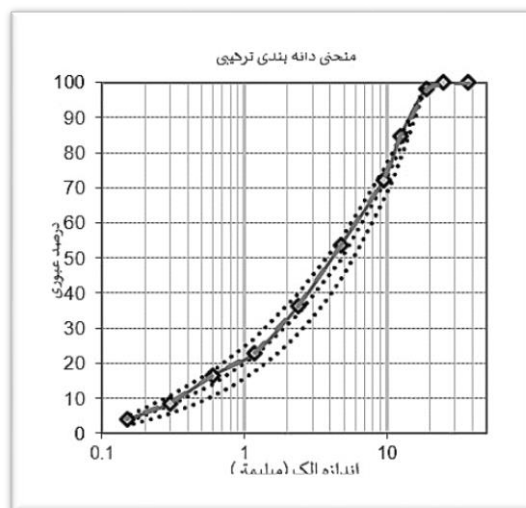
در نمودار ۱ نمودار دانه‌بندی بادامی، نخودی، ماسه و ماسه‌بادی مشاهده می‌شود. طبق این نمودار مصالح انتخابی در محدوده استاندارد بوده و در این محدوده کنترل شده‌اند.



نمودار ۱: منحنی دانه‌بندی بادامی (۱)، منحنی دانه‌بندی نخودی (۲)، منحنی دانه‌بندی ماسه (۳)، منحنی دانه‌بندی

ماسه‌بادی به روش هیدرومتری (۴)

در نمودار ۲ منحنی دانه‌بندی ترکیبی مصالح سنگی موجود با نسبت‌های شن بادامی و نخودی به ترتیب ۲۵٪ و ۱۸٪ (مجموع شن ۴۳٪) و ماسه طبیعی و بادی به ترتیب ۵۰٪ و ۷٪ (مجموع ماسه ۵۷٪) با استفاده از مربع-خط نشان داده شده است (درصد‌های ارائه شده به صورت حجمی از کل مصالح سنگی در یک مترمکعب بتن است).



نمودار ۲: منحنی ترکیبی مصالح سنگی

۲,۳. افزودنی شیمیایی

بهبود خواص مکانیکی و دوامی (افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری) در بتن متناسب با کاهش نسبت آب به سیمان است. فوق روان کننده ها به عنوان مواد افزودنی شیمیایی، درواقع کاهنده قوی آب در بتن (بدون کاهش روانی بتن) می باشند و می توانند ذرات سیمان و پوزولان را به خوبی در آب و مخلوط بتن تازه پراکنده کنند... ماده فوق روان کننده مورد استفاده در این تحقیق از نوع پلی کربوکسیلات بانام تجاری ZP محصول شرکت Zhikava (ژیکاوا) است. با توجه به اینکه این روان کننده پایه پلی کربوکسیلیک اتری داشته و دارای زنجیره های مولکولی نیز است؛ در شروع فرآیند هیدراسیون سیمان و مواد پوزولانی به کمک خاصیت افزایش الکتریسیته ساکن ذرات را به خوبی پخش نموده در ادامه حضور زنجیره های جانبی موجب ممانعت شدید از تجمع مجدد ذرات شده و آن ها را به صورت مجزا و پراکنده نگه می دارد. این مواد افزودنی به صورت محلول به بخشی از آب مصرفی اضافه و به بتن داخل میکسر اضافه می شود. آزمایش درصد مواد جامد برای به دست آوردن میزان مواد جامد مواد افزودنی پایه ی کربوکسیلات شرکت ژیکاوا مطابق استاندارد ASTM C ۴۹۴ (استاندارد مشخصات شیمیایی روان کننده) انجام شده است

۲.۴. طرح مخلوط

از آنجاکه هدف این تحقیق، بررسی پارامترهای مقاومتی و دوام بتن های معمول مورد استفاده در مناطق دریایی ایران نظیر خلیج فارس و دریای عمان است، در طرح های مخلوط از نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۳۴ و عیارهای مواد سیمانی ۳۷۵ و ۴۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. نمونه هایی با استفاده از دو نوع پوزولان طبیعی جایگزین سیمان به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۵ درصد جایگزینی ساخته شد تا اثر پوزولان طبیعی نیز مطالعه شود. در نتیجه تعداد مخلوط های مورد مطالعه ۱۴ مخلوط است که جدول ۴ گزارش شده است.

جدول ۴: مشخصات ساخت طرح‌های مخلوط بتن

	طرح اختلاط	وزن مصالح (kg/m^3)								نسبت آب به سیمان
		بادامی SSD	نخودی SSD	ماسه SSD	ماسه بادی	عیار سیمان	درصد مواد جایگزین سیمان	پوزولان طبیعی ($p1, p2$)	افزودنی	
۱	C۵۰-P۰-۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۴۲۵	۰٪	۰	۲,۵۵	۰,۳
۲	C۴۰-P۰-۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۷۵	۰٪	۰	۲,۲۵	۰,۳۴
۳	C۵۰-P۱-۳۵٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۲۷۶,۳	۳۵٪	۱۴۸,۷۵	۲,۵۵	۰,۳
۴	C۴۰-P۱-۳۵٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۲۴۳,۸	۳۵٪	۱۳۱,۲۵	۲,۲۵	۰,۳۴
۵	C۵۰-P۱-۲۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۴۰	۲۰٪	۸۵	۲,۵۵	۰,۳
۶	C۴۰-P۱-۲۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۰۰	۲۰٪	۷۵	۲,۲۵	۰,۳۴
۷	C۵۰-P۱-۱۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۸۲,۵	۱۰٪	۴۲,۵	۲,۵۵	۰,۳
۸	C۴۰-P۱-۱۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۳۷,۵	۱۰٪	۳۷,۵	۲,۲۵	۰,۳۴
۹	C۵۰-P۲-۳۵٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۲۷۶,۳	۳۵٪	۱۴۸,۷۵	۱۶,۳۲	۰,۳
۱۰	C۵۰-P۲-۲۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۴۰	۲۰٪	۸۵	۱۰,۲۵	۰,۳
۱۱	C۵۰-P۲-۱۰٪	۴۸۶	۳۴۴	۹۵۴	۱۲۸	۳۸۲,۵	۱۰٪	۴۲,۵	۵,۹۱	۰,۳
۱۲	C۴۰-P۲-۳۵٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۲۴۳,۸	۳۵٪	۱۳۱,۲۵	۱۴,۳۵	۰,۳۴
۱۳	C۴۰-P۲-۲۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۰۰	۲۰٪	۷۵	۸,۷۹	۰,۳۴
۱۴	C۴۰-P۲-۱۰٪	۴۹۷	۳۵۱	۹۷۶	۱۳۱	۳۳۷,۵	۱۰٪	۳۷,۵	۵,۱	۰,۳۴

۲.۵. شرایط عمل آوری آزمون‌ها

آزمون‌های بتنی پس از قالب‌گیری به مدت ۲۴ ساعت زیر چتایی مرطوب نگهداری شد. پس از باز کردن قالب‌ها، آزمون‌ها به مدت ۲۷ روز در حوضچه آب با دمای 22 ± 2 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

۲.۶. روش‌های آزمایش

مقاومت فشاری

در این تحقیق مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ISIRI ۳۲۰۶ انجام شده است [۷]. آزمون‌ها بعد از ۲۷ روز عمل‌آوری از آب خارج شدند و سطح آن‌ها خشک گردید. سپس آن‌ها را در دستگاه تعیین مقاومت فشاری قرار داده و مقاومت فشاری نمونه‌ها تعیین شد.

آزمایش جذب آب کوتاه مدت

در آیین‌نامه پیشنهادی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس، معیارهایی برای شرایط مختلف محیطی حاکم به روش BS ۱۸۸۱ part ۱۲۲ ارائه شده است [۸]. به این ترتیب پس از ۲۸ روز عمل‌آوری، نمونه‌ها از حوضچه آب خارج شده و سپس به مدت ۴۸ ساعت در گرمخانه قرار داده شدند و بعد از آن توزین و دوباره در گرمخانه قرار داده شدند. خشک کردن آزمون‌ها تا جایی ادامه پیدا کرد که اختلاف جرم دو اندازه‌گیری متوالی در فاصله ۲۴ ساعت کمتر از 0.5% درصد شد. سپس آزمون‌ها غرقاب شدند و پس از 30 ± 0.5 دقیقه، آزمون‌ها از آب خارج شده و سطح آن‌ها با پارچه خشک گردید و دوباره توزین شدند.

مقدار جذب آب کوتاه مدت ۳۰ دقیقه بر اساس رابطه (۱) تعیین می‌شود.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \text{درصد جذب آب} = \frac{W - W_0}{W_0} * 100$$

که در آن W جرم آزمون اشباع با سطح خشک و W_0 جرم آزمون خشک است.

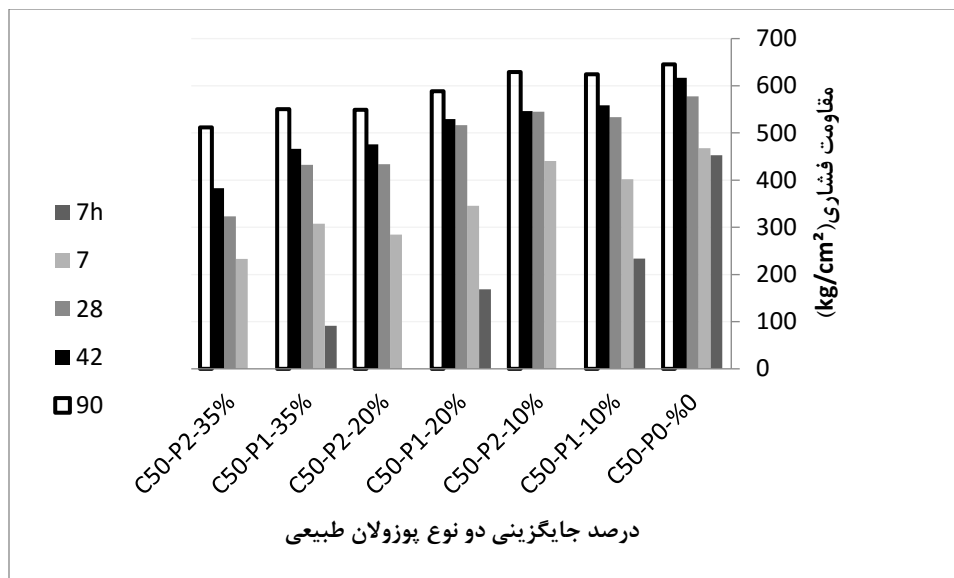
نفوذ تسریع شده یون کلراید

برای انجام آزمایش طبق استاندارد ASTM C ۱۲۰۲ باید نمونه‌هایی استوانه‌ای به قطر $100/2$ سانتی‌متر (in ۴) و ارتفاع ۵ سانتی‌متر تهیه شود [۹]. بنابراین طبق دستورالعمل استاندارد، نمونه‌ها درون دسیکاتور گذارده شده، و پمپ خلأ به مدت ۳ ساعت به صورت خشک و ۱ ساعت با اضافه نمودن آب مقطر تحت فشار کمتر از یک میلی‌متر جیوه کارکرده و سپس با خاموش کردن پمپ و رساندن سطح آب داخل محفظه به فشار هوا، باعث می‌شود تمام خلل و فرج بتن با آب مقطر پر شود. نمونه‌ها به مدت 18 ± 2 ساعت درون آب مقطر ذکر شده نگهداری شده و با شروع آزمایش به مدت ۶ ساعت اختلاف پتانسیل ۶۰ ولت به دو سر نمونه اعمال شده و مقدار جریان عبوری از نمونه برحسب کولمب اندازه‌گیری شده و توسط دستگاه ثبت می‌گردد.

۳. نتایج

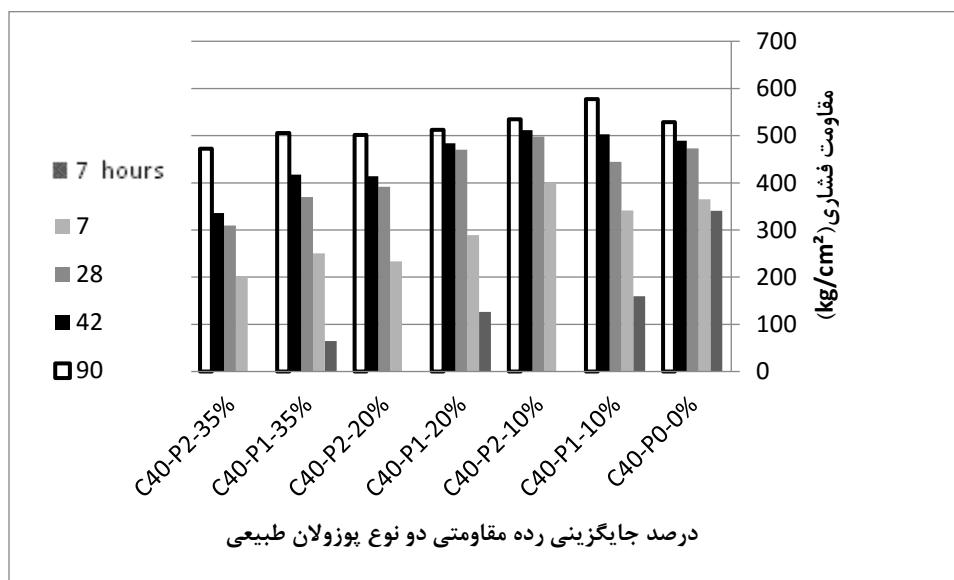
۳.۱. مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۷ سانتی تا ۹۰ روز در دوره مقاومتی متفاوت در نمودار ۳ و نمودار ۴ ارایه می‌شود.



نمودار ۳: مقاومت فشاری بتن برای رده مقاومتی C۵۰ دو نوع پوزولان طبیعی

با توجه به سند چشم انداز ۱۴۰۴ که از اهداف این پژوهش بوده است، بتن‌هایی با دو نسبت آب به سیمان ۰/۳ و ۰/۳۴ با هدف رسیدن به رده مقاومتی C۵۰ و C۴۰ ساخته‌ایم. نمودار ۳ نشان دهنده‌ی این است که نمونه‌های حاوی درصد‌های ۲۰ و ۳۵ پوزولان P۲ در ۲۸ روز و ۴۲ روز و همچنین نمونه حاوی درصد ۱۰ پوزولان P۱ در ۲۸ روز عملکرد مناسبی نداشته‌اند. در مقایسه دو پوزولان استفاده شده می‌توان گفت که پوزولان بیش‌آجاج عملکرد بهتری نسبت به خراسان شمالی داشته است. همانطور که در نمودار ۳ دیده می‌شود، میزان مقاومت کسب شده نسبت به مقاومت نهایی در نمونه‌های حاوی پوزولان خراسان شمالی در بین سنین ۷ تا ۹۰ روز به مراتب کمتر از نمونه‌های حاوی پوزولان بیش‌آجاج می‌باشد. افزایش مقاومت در این بازه زمانی را می‌توان به واکنش‌های پوزولانی نسبت داد.

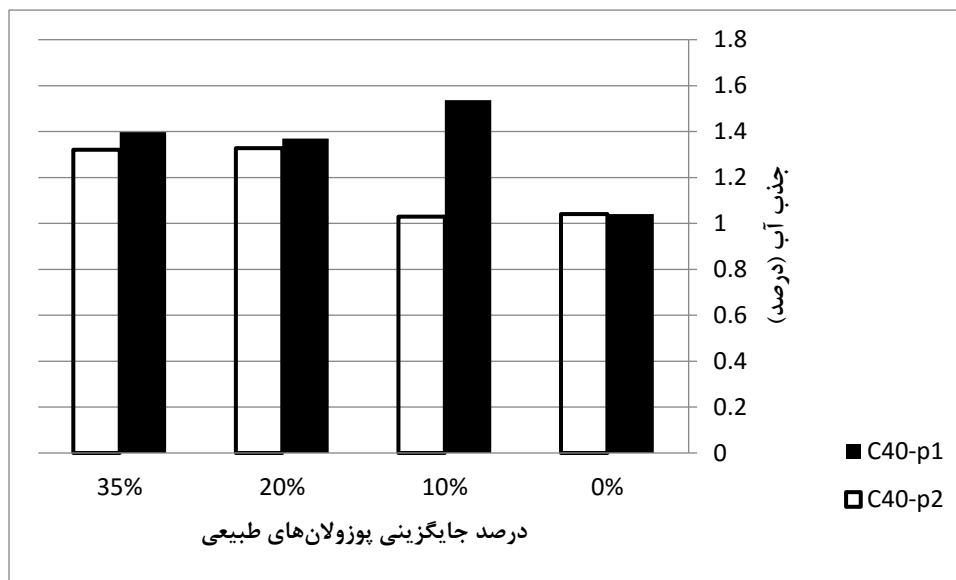


نمودار ۴: مقاومت فشاری بتن برای رده مقاومتی C۴۰ دو نوع پوزولان طبیعی

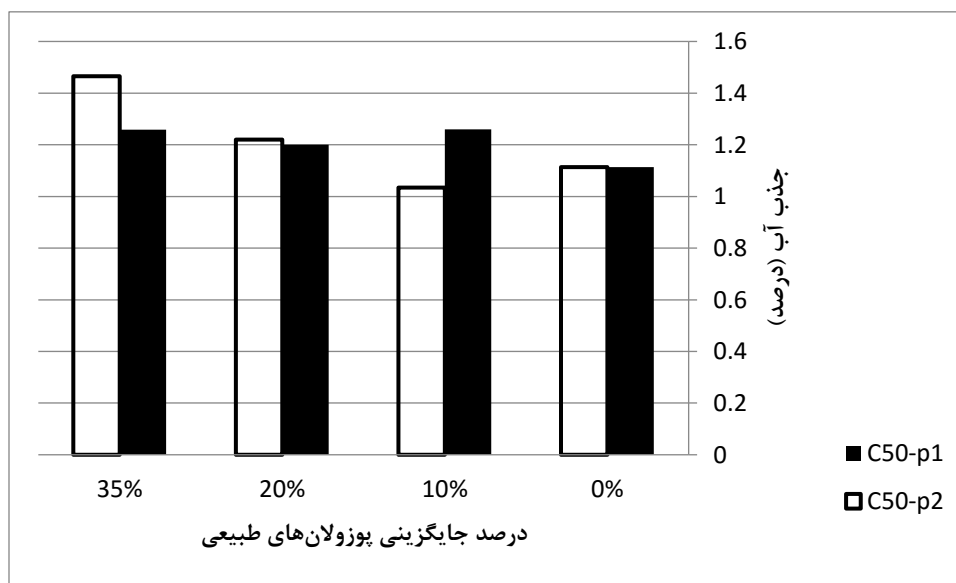
نمودار ۴ نشان دهنده ی این است که نمونه های حاوی درصد های ۲۰ و ۳۵ پوزولان P۲ در ۷ تا ۴۲ روز عملکرد مناسبی نداشته اند. در مقایسه دو پوزولان استفاده شده می توان گفت که پوزولان بیش آقاج عملکرد بهتری نسبت به خراسان شمالی داشته است.

۳.۲. آزمایش جذب آب کوتاه مدت

در نمودار ۵ و نمودار ۶ میزان آب جذب شده در واحد حجم نمونه ها دیده می شود.



نمودار ۵: جذب آب کوتاه مدت برای رده مقاومتی C۴۰ و ۲۸ روزه
نمودار ۵ نشان می دهد، جذب آب بتن نمونه ی شاهد در رده ی مقاومتی C۴۰ حدود ۱ می باشد. نمونه های با درصد جایگزینی ۲۰٪ و ۳۵٪ بیش آقاج و خراسان شمالی جذب آب یکسان و حدود ۱/۳ درصد داشته است.

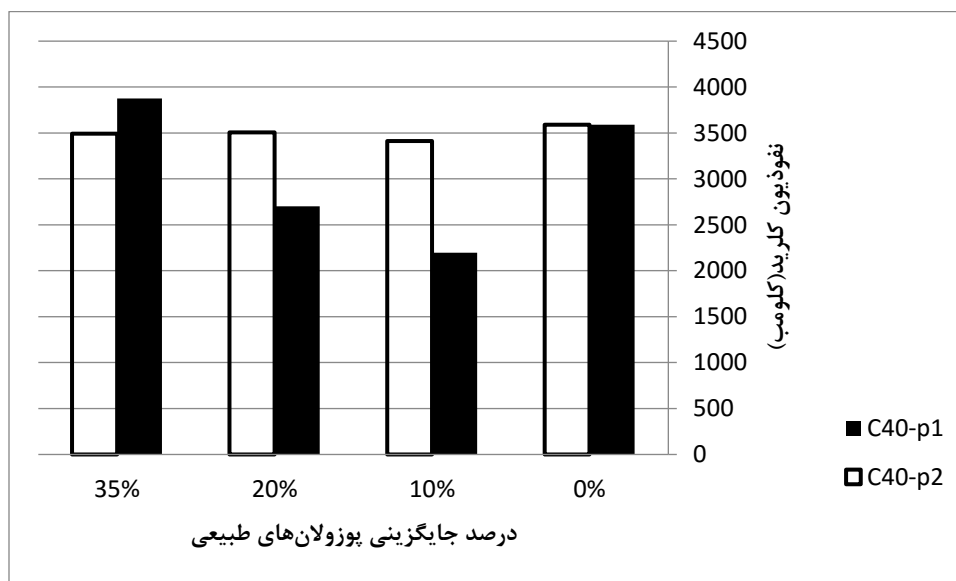


نمودار ۶: جذب آب کوتاه مدت برای رده مقاومتی C۵۰ و ۲۸ روزه

نمودار ۶ نشان می‌دهد در نسبت آب به مواد سیمانی ثابت، در اکثر موارد افزایش مواد سیمانی باعث افزایش جذب آب نیم ساعته بتن شده است. در رده مقاومتی C۵۰ جذب آب دو نوع پوزولان یکسان و حدود ۱/۱ درصد می‌باشد. در مجموع، جذب آب بیش‌آجاج در تمام درصد جایگزینی‌ها حدود ۱/۲ و نزدیک به ۰/۱ بیشتر از شاهد می‌باشد.

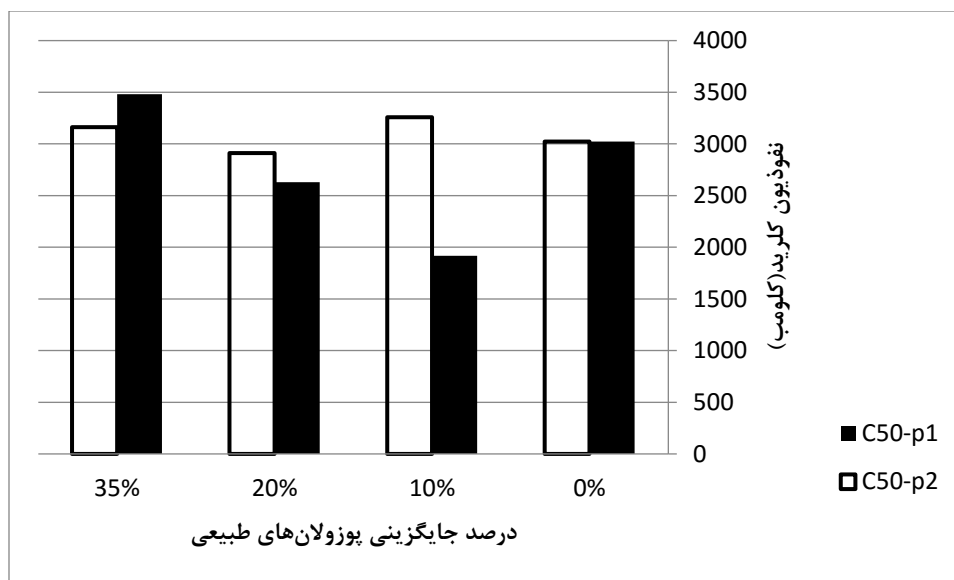
۳.۳. نفوذ تسریع شده یون کلراید

نمودار ۷ و نمودار ۸ نتایج به دست آمده را به صورت نمودار میله‌ای نشان می‌دهد.



نمودار ۷: نفوذ یون کلرید برای رده مقاومتی C۴۰ و ۲۸ روزه

نمودار ۷ نشان دهنده این است که نمونه شاهد، نفوذ یون کلریدی حدود ۳۵۰۰ داشته است که با استفاده از پوزولان بیش‌آجاج در درصد جایگزینی ۱۰٪ حدود ۲۲۰۰ رسیده است. نمونه با درصد جایگزینی ۲۰٪ به حدود ۲۶۰۰ کاهش یافته است؛ اما درصد جایگزینی پوزولان خراسان شمالی، تغییری نکرده است.



نمودار ۸: نفوذ یون کلرید برای رده مقاومتی C۵۰ و ۲۸ روزه

نمودار ۸ نشان می دهد که در نمونه ی شاهد، نفوذ یون کلرید حدود ۳۰۰۰ به دست آمده که با استفاده از پوزولان بیش آجاج در درصد جایگزینی ۱۰٪ به حدود ۱۸۰۰ رسیده است و در درصد جایگزینی ۲۰٪ به حدود ۲۵۰۰ کاهش یافته است.

از نمودار ۷ و نمودار ۸ نتیجه می شود که نمونه های حاوی پوزولان P۱ در رده مقاومتی C۴۰ و C۵۰ نفوذپذیری به مراتب کمتری به نمونه شاهد و نمونه های حاوی پوزولان P۲ رده مقاومتی C۴۰ و C۵۰ داشته اند. طبق طبقه بندی ارائه شده در استاندارد ASTM C۱۲۰۲، میزان نفوذپذیری این نمونه ها در برابر یون کلرید در محدوده متوسط است؛ به جز ۱۰ درصد پوزولان نوع ۱ رده مقاومتی C۵۰ که در محدوده کم قرار دارد. این آزمایش نیز همانند دیگر آزمایش های انجام شده، نشان دهنده ی عملکرد ضعیف تر بتن حاوی پوزولان خراسان شمالی نسبت به بتن حاوی پوزولان بیش آجاج و حتی نمونه شاهد می باشد. به نحوی که نمونه های حاوی پوزولان بیش آجاج به خصوص در سن ۲۸ روز و در ۳۵ درصد نفوذپذیری بیشتری نسبت به نمونه شاهد در دو رده C۴۰ و C۵۰ داشته اند. با توجه به این که استفاده از پوزولان بیش آجاج با ۳۵ درصد جایگزینی و خراسان شمالی با ۱۰ و ۳۵ درصد جایگزینی نتوانسته اند نفوذپذیری بتن را نسبت به نمونه شاهد کاهش دهند؛ و به دلیل این که میزان A۳C این نمونه ها از نمونه شاهد کمتر است، می توان این نتیجه را توجیه کرد. در نمونه های حاوی پوزولان بیش آجاج با درصد بهینه ۱۰ درصد جایگزینی، از میزان عمق نفوذ در برابر یون کلراید کاسته شده و در ۲۰ و ۳۵ درصد جایگزینی عمق نفوذ افزایش یافته است؛ ولی عکس این موضوع در نمونه های حاوی پوزولان خراسان شمالی یکنواختی محدوده نتایج دیده می شود.

۴. نتیجه گیری

تحقیق حاضر که در آزمایشگاه خط ۲ قطار شهری مشهد انجام پذیرفته، محوریت تحقیق در ارتباط با پارامترهای دوام با نگرش چشم انداز بتن ۱۴۰۴ است؛ و پارامترهای دیگر به طور جانبی مورد توجه قرار گرفته است. با جمع آوری اطلاعات بیشتر و با تکیه بر سایر پارامترهای اندازه گیری شده در آینده، امکان توسعه نتایج و موضوعات کاربردی فراهم خواهد شد. قابل ذکر است که تمام نتیجه گیری های انجام شده برای تحقیق حاضر و نمونه های ساخته شده با شرایط آن ها صادق می باشد؛ و لزوماً برای هر طرح مخلوط دیگر با شرایط متفاوت قابل استفاده نیست. حداکثر اندازه اسمی سنگدانه ی ۱۹ میلی متر با سنگدانه ی درشت نیم شکسته و سنگدانه ی ریز نسبتاً گردگوشه و بافت دانه بندی متوسط تا نسبتاً ریز و همراه سیمان زاوه می باشد.

استفاده از ۱۰٪ پوزولان بیش آجاج جایگزین سیمان، منجر به کاهش حدود ۱۲٪ ای مقاومت فشاری بتن ۲۸ و ۴۲ روزه و نفوذ یون کلرید و شدیدتر شدن کاهش جذب آب اولیه ۲۸ روزه شده است. نتیجه گیری می شود با افزودن این دو پوزولان در بتن، بهبود مقاومت و کاهش

نفوذ تسریع شده یون کلرید و جذب آب اولیه در بلند مدت حاصل شده است و عملکرد در نسبت آب به سیمان کمتر، بهتر می باشد. با رسیدن به شاخص های دوام، بتن با دوام به دست آمده است.

۵. تشکر و قدردانی

لازم است از همکاری مجموعه خط ۲ قطار شهری مشهد، قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا (قرب قائم)، گروه مهندسی مشاور ایمن سازان، موسسه مهندسی رهاب که تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی را فراهم نمودند، تشکر و قدردانی شود. همچنین، از مرکز تحقیقات کارخانه سیمان که زحمت مشاوره و تأمین پوزولان های مصرفی در این پژوهش را برعهده داشتند نیز سپاسگزاری می شود.

۶. مراجع

۱. رضانیانپور، علی اکبر؛ احسان جهانگیری؛ بابک احمدی و علی دلنواز، ۱۳۸۹، ارزیابی مدل های تخمین عمر مفید خدمت رسانی برای سازه های بتن مسلح در محیط دریایی خلیج فارس، دومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، انجمن بتن ایران

۲.۲. سند چشم انداز بتن ۱۴۰۴. ۱۳۹۲: مرکز تحقیقات راه و مسکن

۳. شیبانی، امیر (۱۳۸۵)، تاثیر عیار سیمان (نسبت سنگدانه به سیمان) بر برخی پارامترهای دوام بتن تراورس پیش تنیده در برابر خوردگی، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی راه آهن، فصل ۲

۴. Mehta, P.K., Concrete –Microstructure, Properties and Materials, ed. r. Edition. ۲۰۰۶, New York: McGraw-Hill

۵. علی اکبر رضانیانپور و همکاران "تأثیر شرایط محیطی سواحل جنوبی ایران بر روی دوام درازمدت بتن با سیمان ها و پوزولان های مختلف"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره گ-۴۳۴، پاییز ۱۳۸۵

۶. علی اکبر رضانیانپور، منصور پیدایش "بتن در محیط دریایی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تابستان ۱۳۸۵، تهران،

ایران

۷. استاندارد ملی ایران به شماره ۳۲۰۶، تعیین مقاومت فشاری آزمونه های بتن

۸. Testing concrete. Method for determination of water absorption. (۲۰۱۶). BSI (Vol. BS ۱۸۸۱-۱۲۲:۲۰۱۱).

۹. ASTM C۱۲۰۲-۱۲, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۲, www.astm.org