Archive of SID

مقایسه آزمون های ارزیابی پارامترهای دوام بتن با الزامات پیشنهادی پایایی بتن درحاشیه خلیج فارس

سید طاها طباطبایی عقدا*[1]، مریم بنی اسدزاده[2]

[1]عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی واحد خلیج فارس (بندرعباس)

[2]دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس

۰۹۱۳۳۵۸۱۹۰۵taha.taba@gmail.com

چکیده:

شرایط محیطی خلیج فارس از نظر پایایی و دوام سازه‌های بتنی مسلح بسیار مهاجم و خورنده می باشد. بر همین اساس طبق آیین نامه ملی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان، دوام بتن در این مناطق با آزمون‌های جذب آب طبق استاندارد BS۱۸۸۱-part۱۲۲، نفوذ آب در بتن طبق BS EN ۱۲۳۹۰-۸ و نفوذ تسریع شده یون کلرید با استاندارد ASTM C۱۲۰۲ کنترل می گردد. در این پروژه بر روی ۱۹۸ آزمونه از ۶ طرح اختلاط با نسبتهای مختلف آب به سیمان و پوزولان‌هایی مانند خاکستر بادی و میکروسیلیس، سه آزمون فوق و نیز آزمون‌های جذب آب بر اساس ASTM C۶۴۲، مقاومت الکتریکی سطحی و جذب آب موئینه بتن انجام شده است.

بر طبق نتایج تحلیلی به دست آمده از پراکندگی داده‌های آزمون‌ها و نیز براساس ملاحظات اجرایی، آزمون نفوذ آب در بتن روشی مطمئن برای رد کیفیت بتن نمی باشد. همچنین در دسترس نبودن تجهیزات و گران بودن آزمون ASTM C۱۲۰۲ باعث شده علارغم استفاده گسترده در خارج از کشور، عملا در پروژه‌های بتنی جنوب کشور به ندرت استفاده شود. در این میان، روش جذب آب موئینه که در کنترل پایایی پروژه ملی اسکله شهید رجایی مورد استفاده قرارگرفته به دلیل سرعت بالا، سهولت، ارزان بودن و همچنین تکرار پذیری خوب به نظر می رسد، می تواند به عنوان یکی از معیارهای کنترل پایایی بتن در این مناطق مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق همچنین تأثیر کاهش نسبت آب به سیمان و افزودن پوزولان‌های مختلف با روش‌های فوق الذکر بررسی شده است.

کلمات کلیدی :

پایایی بتن، جذب آب بتن، نفوذ آب در بتن، نفوذ تسریع شده یون کلرید، خلیج فارس

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

مقدار زیاد یون کلرید در آب مناطق ساحلی خلیج فارس باعث تخریب انواع سازه‌های ساحلی و دریایی در این منطقه شده است [۱]. علاوه بر این، آب‌های زیرزمینی این منطقه نیز به یون کلرید و سولفات شدیداً آلوده هستند. شرایط محیطی سواحل خلیج فارس نسبت به بسیاری از نقاط دیگر دنیا بسیار مهاجم و خورنده است که این موضوع و کیفیت پایین اجرا در این مناطق اهمیت توجه به پدیده خوردگی و انتخاب روشهای بهینه مقابله با آن را افزایش می دهد. البته در صورت استفاده از مصالح مناسب و نیز طرح بتن با مشخصات فنی ویژه این مناطق، اجرای بتن توسط افراد کاردان و سرانجام عمل آوری مناسب، بسیاری از مسائل بتن بر طرف خواهد گشت.

نفوذ یون‌ها، گازها و مایعات از سطح بتن به داخل آن یکی از شاخص های مهم جهت پیش بینی وضعیت دوام سازه های بتنی می باشند[۲]. برای تعیین انواع نفوذ، روشهای مختلفی ارائه شده است. از آزمون‌های تعیین نفوذ، می توان به آزمون جذب آب، نفوذ آب تحت فشار، نفوذ گازها و اکسیژن و نیز هدایت یون کلرید در بتن اشاره نمود. در این تحقیق علاوه بر روش های توصیه شده در آیین نامه پایایی، آزمون جذب آب موئینه که در پروژه های حاشیه خلیج فارس و آزمون‌های جذب آب کل و مقاومت الکتریکی که در سایر نقاط جهان به صورت گسترده استفاده می شوند، مورد بررسی و نتایج آن با روش‌های پیشنهادی آیین نامه پایایی، مقایسه می شود.

۱-۱- ضوابط آیین نامه ملی پایایی بتن

بر اساس آیین نامه ملی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان که در سال ۱۳۸۴ توسط مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن برای ساخت و کنترل بتن در این مناطق تدوین و پیشنهاد شده است، مقادیر مجاز برای سه آزمون جذب آب، نفوذ آب تحت فشار و نفوذ تسریع شده یون کلرید به صورت زیر ارائه شده است (جدول شماره۱). در این آیین نامه شرایط محیطی در سه حالت کلی متوسط، شدید و فوق العاده شدید تقسیم بندی شده است (جدول شماره۲).

جدول شماره ۱- مقادیر مجاز برای سه آزمون جذب آب، نفوذ آب تحت فشار و نفوذ تسریع شده یون کلرید [۱]

نام آزمون	شرایط A	شرایط C, B	شرایط D, E, F
آزمون جذب آب نیم ساعته (BS۱۸۸۱,part۱۲۲ ,۱۹۸۳)	حداکثر ۴٪	حداکثر ۳٪	حداکثر ۲٪
نفوذ آب در بتن (EN BS ۱۲۹۳۰-۸:۲۰۰۰)	حداکثر ۵۰ میلیمتر	حداکثر ۳۰ میلیمتر	حداکثر ۱۰ میلیمتر
نفوذ یون تسریع شده کلرید در بتن (ASTM C۱۲۰۲ ,۱۹۹۴)	حداکثر ۳۰۰۰ کولمب	حداکثر ۳۰۰۰کولمب	حداکثر ۲۰۰۰ کولمب

جدول شماره ۲- دسته بندی شرایط محیطی که سازه در معرض آن قرار دارد[۱].

طبقه بندی	دسته بندی	شرایط
متوسط	A	سازه های روزمینی که در معرض خطر نفوذ یون کلرید بر اثر وزش باد های دارای یون‌های نمک نیستند.
شدید	B	سازه های روزمینی در نواحی نزدیک به ساحل و در معرض باد های دارای یونهای کلرید
	C	قسمت هایی از سازه که در تماس با خاک است و بالای ناحیه موئینگی خاک واقع شده است. و یا قسمت هایی که دائماً در زیر آب دریا واقع هستند.
فوق العاده شدید	D	قسمت هایی از سازه که در تماس با خاک مهاجم است و در زیر سطح آب زیرزمینی واقع شده است
	E	سازه های دریایی (دارای قسمت‌هایی در ناحیه جزر و مدی و ناحیه پاشش)
	F	سازه‌های نگهدارنده آب و تصفیه خانه فاضلاب

www.SID.ir

Archive of SID

۱-۲- معرفی آزمون جذب آب موئینه بتن (Capillary)

این آزمون در کشورهای عربی جاشیه خلیج فارس جهت کنترل پایایی بتن استفاده می شود [۳] و در ایران نخستین بار در طرح توسعه اسکله شهید رجایی بندرعباس، توسط مؤسسه مکین جهت ارزیابی کیفیت بتن تولیدی در این پروژه ملی استفاده شده است[۴]. براساس این آزمون، نتایج بر روی یک آزمونه ۷ روزه در عرض ۲۴ الی ۴۸ ساعت به دست می‌آید. این آزمون به دلیل سرعت بالا و کم هزینه بودن، برای کنترل سازه های دریایی گسترش زیادی یافته است. برای انجام این آزمون، آزمونه مکعبی بتن به ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متری ساخته شده و به مدت ۷ روز عمل آوری می شود. پس از آن برش هایی به ضخامت ۲ سانتی‌متر از پایین و وسط آزمونه تهیه می گردد. مدت خشک کردن آزمونه در گرمخانه ۲۴ ساعت (دمای ۱۱۰- ۱۰۵) پیش بینی شده است. پس از خشک شدن، آزمونه ها به نحوی در معرض آب قرار می گیرند که ۲ میلی متر از ۲ سانتی متر ضخامت آنها زیر تراز آب باشد. در فواصل زمانی مشخص (در یک ساعت اول هر ۱۵ دقیقه، از ۱ الی۳ ساعت هر نیم ساعت و از ۳ الی ۶ ساعت هر ۱ ساعت) توزین آزمونه انجام و آزمونه مجدداً در معرض آب قرار داده می شود. با گذشت زمان مشخص $t.$، میزان رطوبت جذب شده در حفره های مویینه بتن به مقدار ثابتی می رسد. در نهایت، با جایگذاری در رابطه زیر اندیس موئینگی قابل اندازه گیری می باشد[۵].

$$I_C = \frac{\theta. - \theta_i}{\sqrt{t.} - \sqrt{t_i}} \quad (۱)$$

در رابطه فوق، θ_i: رطوبت حجمی اولیه، $\theta.$: رطوبت حجمی ثابت شده، t_i: زمان اولیه، $t.$: زمان پس از ثابت شدن درصد رطوبت حجمی و I_C اندیس موئینگی است[۶].

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱-۲- مصالح مصرفی

سیمان استفاده شده در این پروژه سیمان تیپ دو لارستان و مصالح سنگی آن از معادن رودخانه ای اطراف شهر بندرعباس تامین شده است. نوع فوق روان کننده مصرفی با پایه پلی کربوکسیلات و با نام تجاری FARCOPLAST P ۱۰-۳R از محصولات شرکت شیمی ساختمان می باشد. پوزولانهای به کار رفته در طرح اختلاط‌ها، خاکستر بادی با وزن مخصوص $۲۲۹۰\ kg/m^3$ تهیه شده از شرکت ASHTECH هندوستان و میکروسیلیس با چگالی $۲۲۰۰ kg/m^3$ محصول کارخانه فروسیلیس ایران می باشد. این خاکستر بادی در ساخت بتن‌های پروژه توسعه اسکله شهید رجایی و میکروسیلیس در پروژه ساخت حوض خشک کشتی سازی فرا ساحل بندرعباس استفاده شده است.

۲-۲- نسبت مخلوط ها

در این پروژه ۶ طرح اختلاط ذکر شده در جدول شماره ۳، مورد استفاده قرار گرفته اند. طرح اختلاط شماره ۱ که حاوی ۲۵٪ خاکستر بادی است در اجرای قسمت دیواره ساحلی اسکله شهید رجایی به کار رفته است. طرح شماره ۲ با جایگزینی ۷٪ میکروسیلیس و یک طرح شاهد بدون استفاده از مواد پوزولانی ساخته شد. برای تعیین تأثیر نسبت آب به سیمان و مقایسه روش‌های آزمون در نسبت‌های مختلف آب به سیمان، طرح های شماره ۴ تا ۶ با نسبت های ۰/۳۴، ۰/۴ و ۰/۵ تهیه گردیده اند. در کلیه طرح اختلاط ها در هر متر مکعب بتن، مجموع سنگدانه ها به طور تقریبی ۱۹۷۰ کیلوگرم است که مقدار ماسه حدود ۱۱۳۰ کیلوگرم در متر مکعب بوده و مابقی آن را درشت دانه تشکیل داده است. میزان آن در کلیه مخلوط ها حدود ۰/۱ الی ۰/۹ درصد وزنی سیمان بوده و کلیه طرح ها با اسلامپ حدود ۱۸ الی ۲۰ سانتی‌متر ساخته شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۳- طرح اختلاط بتن‌های آزمایش شده (یک مترمکعب)

ردیف	نسبت آب به مواد سیمانی	آب کیلوگرم	سیمان کیلوگرم	ماده پوزولانی (کیلوگرم) خاکستر بادی	میکرو سیلیس
۱	۰/۳	۱۳۵	۳۶۰	۹۰	۰
۲	۰/۳	۱۳۵	۴۲۰	۰	۳۰
۳	۰/۳	۱۳۵	۴۵۰	۰	۰
۴	۰/۳۴	۱۳۵	۴۰۰	۰	۰
۵	۰/۴	۱۶۰	۴۰۰	۰	۰
۶	۰/۵	۲۰۰	۴۰۰	۰	۰

۲-۳- ساخت آزمونه ها

پس از ساخت و قالب گیری ۴ طرح فوق، کلیه آزمونه ها در شرایط آزمایشگاهی عمل آوری و پس از آن تحت آزمون هایی نظیر جذب آب، مقاومت الکتریکی، نفوذ تسریع شده یون کلرید، نفوذ آب در بتن طبق استانداردهای مندرج در جدول شماره ۶ قرار گرفتند.

جدول شماره ۴- تعداد آزمونه های ساخته شده برای آزمون های مورد نظر در شرایط آزمایشگاهی

نام آزمون	نام استاندارد	نوع آزمونه	تعداد آزمونه ها
نفوذ آب در بتن	EN BS ۱۲۹۳۰	مکعبی (۱۵×۱۵×۱۵)	۳۶
جذب آب نیم ساعته	BS ۱۸۸۱-۱۲۲	استوانه ای (۱۵×۷/۵)	۳۶
نفوذ تسریع شده یون کلرید (RCPT)	ASTM C۱۲۰۲	مکعبی (۱۵×۱۵×۱۵)	۳۶
جذب آب موئینه	Capillary	مکعبی (۱۰×۱۰×۱۰)	۵۴
جذب آب کل	ASTM C۶۴۲	مکعبی(۱۰×۱۰×۱۰)	۳۶
مقاومت الکتریکی	--	آزمونه های مکعبی (۱۵×۱۵×۱۵) ساخته شده سایر آزمون ها مورد استفاده قرار گرفت	
	جمع کل		۱۹۸

۳- نتایج

در این مطالعه، آزمون های دوام بتن بر روی نمونه‌هایی با نسبت های متفاوت آب به سیمان و دو نوع مختلف پوزولان انجام و نتایج بحث و بررسی می‌گردد. متوسط نتایج به دست آمده از هر آزمون، در ترسیم نمودارها مورد استفاده قرار گرفته است.

۳-۱- نتایج آزمون‌های آیین نامه پایایی برای نسبت‌های مختلف آب به سیمان

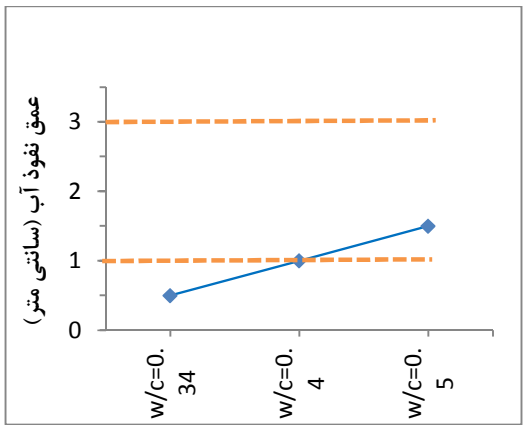
برای تعیین اثر نسبت آب به سیمان، نتایج حاصل از آزمون‌های آیین نامه پایایی در نمودارهای شماره ۱ تا ۳ آورده شده است. بر اساس استاندارد، در سه آزمون توصیه شده در آئین‌نامه پایایی، نتایج آزمون در سن ۲۸ روز ملاک می باشد. با ثابت نگه داشتن

www.SID.ir

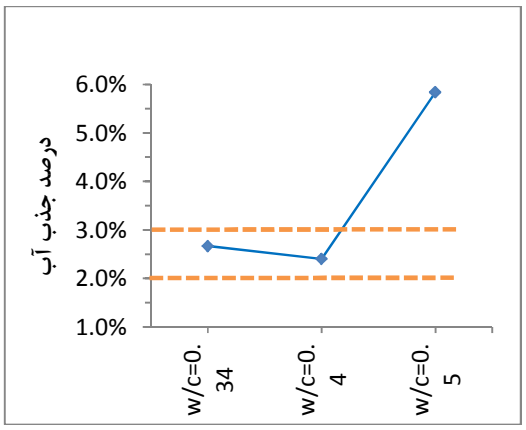
Archive of SID

مقدار سیمان و افزایش آب در یک طرح اختلاط، مقدار نفوذ آب در بتن، جذب آب و نیز نفوذ یون کلرید روندی افزایشی داشته اند. البته در روش جذب آب نیم ساعته (شکل شماره ۲)، با افزایش نسبت آب به سیمان از ۰/۳ به ۰/۴، جذب آب افزایش نداشته است.

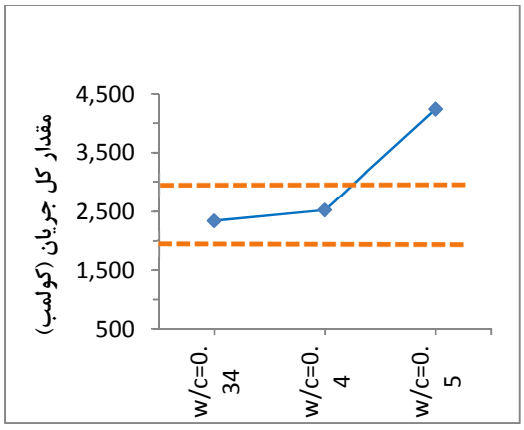
اگرچه در هر سه آزمون روند مشابهی مشاهده می شود، اما در آزمون نفوذ آب در بتن، نتایج نمونه های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۳۴ و ۰/۴ زیر خط ۱ سانتی متر نفوذ و مناسب برای شرایط محیطی فوق العاده شدید می باشد، اما در سایر آزمون‌ها این دو طرح برای چنین شرایطی مناسب نیستند. همچنین در آزمون نفوذ آب در بتن، نسبت آب به سیمان ۰/۵در محدوده مجاز برای شرایط شدید می باشد ولی این طرح ملزومات آئین‌نامه پایایی درخصوص آزمون‌های جذب آب و نفوذ تسریع شده یون کلرید را برآورده نمی‌کند.



شکل ۱ – تاثیر نسبت آب به سیمان بر نفوذ آب در بتن



شکل ۲- تاثیر نسبت آب به سیمان بر جذب آب نیم ساعته



شکل ۳- تاثیر نسبت آب به سیمان بر نفوذ تسریع شده یون کلرید در بتن

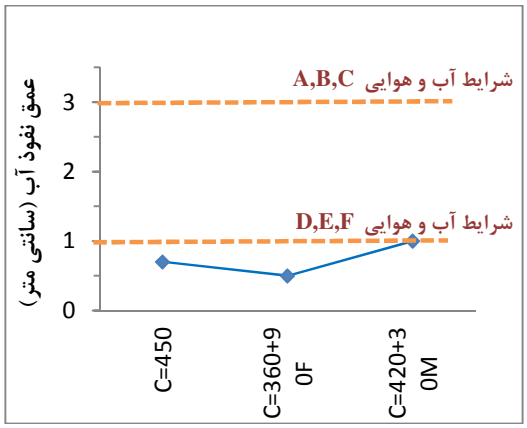
۳- ۲- نتایج آزمون های آیین نامه پایایی برای پوزولان های مختلف

همان‌گونه که در نمودارهای شماره ۴ تا ۶ دیده می شود، با جایگزینی درصدی از سیمان با خاکستر بادی و میکرو سیلیس میزان جذب آب و نیز نفوذ یون کلرید در بتن کاهش یافته است. این روند کاهشی در آزمون نفوذ یون کلرید بیشتر مشهود می باشد. در آزمون نفوذ آب اگرچه نتایج هر ۳ نمونه کمتر از یک سانتی متر می باشد اما میزان نفوذ آب در بتن حاوی میکروسیلیس بر خلاف سایر آزمون های این پروژه، بیشتر از نمونه فاقد پوزولان بوده است که احتمالاً تغییر روند این نمودار با توجه به پراکندگی زیاد نتایج این آزمون به وجود آمده است.

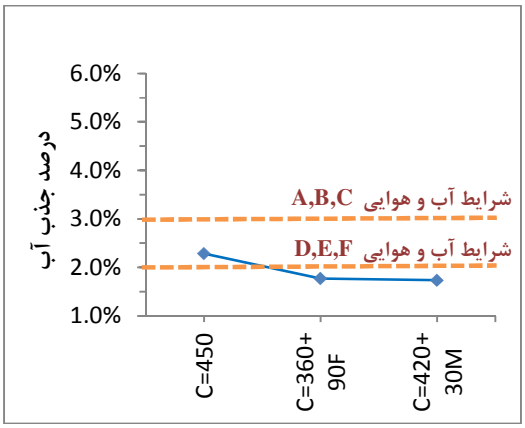
www.SID.ir

Archive of SID

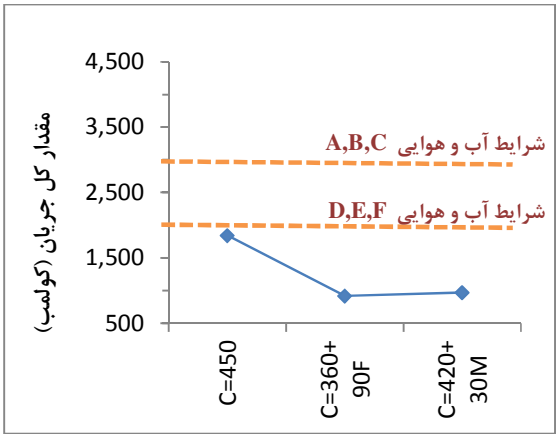
به طور کلی در نمودار های ۱ تا ۶، اگر از نتایج آزمون نفوذ آب در بتن صرف نظر کنیم، صرفا نمونه‌های ساخته شده با مواد پوزولانی توانسته‌اند حد نصاب سخت گیرانه آیین نامه پایایی جهت استفاده در شرایط محیطی فوق العاده شدید را به دست بیاورند. در این نمونه ها علاوه بر استفاده از پوزولان، نسبت آب به سیمان بسیار پایین معادل ۰/۳ انتخاب شده است. بر اساس این نتایج، قابل قبول‌ترین جواب ها مربوط به آزمون نفوذ تسریع شده یون کلرید در بتن (ASTM C۱۲۰۲) می باشد که بر اساس حدود آیین نامه می تواند معیار خوبی برای کنترل پایایی بتن باشد.



شکل ۴- تاثیر پوزولان بر نفوذ آب در بتن



شکل۵- تاثیر پوزولان بر جذب آب نیم ساعته



شکل ۶- تاثیر پوزولان بر نفوذ تسریع شده یون کلرید در بتن

۳- ۳- نتایج سایر آزمون ها برای نسبت‌های مختلف آب به سیمان

در این قسمت، نتایج سه آزمون پایایی متداول در برخی پروژه های اجرایی حاشیه خلیج فارس ارائه شده است. نتایج آزمون جذب آب موئینه در سن ۷ روز و آزمون جذب آب کل و مقاومت الکتریکی بتن معمولا در سن ۲۸ روز ملاک می باشد.

نمودارهای شماره ۷ و ۸ نشان می دهد که افزایش نسبت آب به سیمان باعث افزایش اندیس موئینگی در آزمون جذب آب موئینه و میزان جذب آب کل بتن شده است. اما نتایج مقاومت الکتریکی با افزایش نسبت آب به سیمان کاهش یافته است.

حد مجاز اندیس موئینگی پیشنهاد شده برای آزمون جذب آب موئینه برابر $۴/۵\times۱۰^{-۴}$ $v/v/sec^{-۰.۵}$ در سن ۷ روزگی می باشد[۶]. بر این اساس نتایج ۷ روزه نمونه های ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴ و ۰/۳۴ در محدوده مجاز قرار گرفته اند.

www.SID.ir

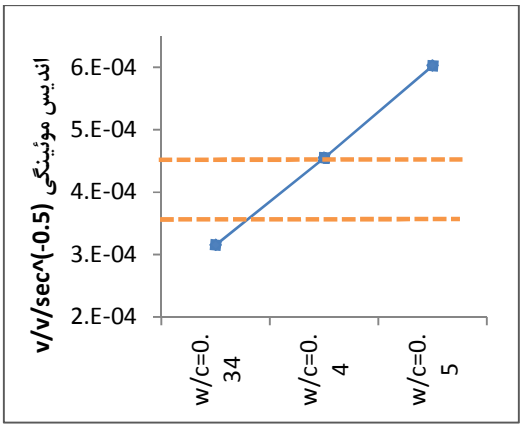
Archive of SID

همچنین این نمونه ها با توجه به جدول شماره ۵، با مقاومت ویژه حدود $k\Omega/cm$ ۱۰ به لحاظ دوام شرایطی متوسط دارند و به نظر می رسد این طرح ها برای شرایط محیطی شدید قابل قبول باشند.

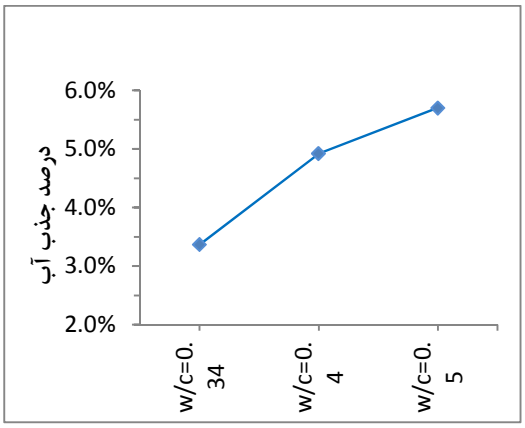
برای آزمایش جذب آب کل[۸] به صورت رسمی حدودی مشخص نشده است ولی اگر بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۴ را به عنوان بتن مقاوم برای شرایط محیطی شدید در نظر بگیریم، می توان حداکثر جذب آب کل ۲۸ روزه ۵٪ را، به عنوان حدود مجاز برای این شرایط پیشنهاد داد. البته این پیشنهاد نتیجه این تحقیق بوده و برای تعمیم آن می بایست به روی طرح اختلاط های مختلف کنترل شود.

جدول شماره ۵- حدود مقاومت الکتریکی و میزان خوردگی احتمالی [۱۱]

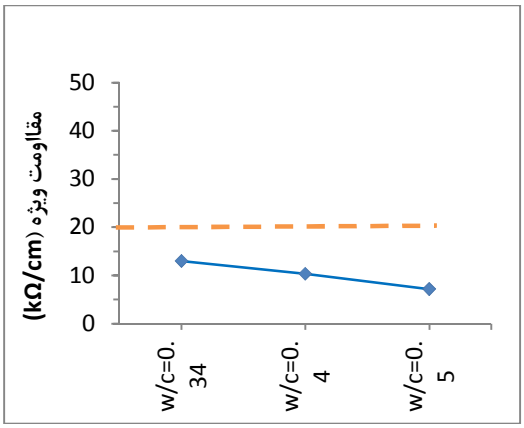
مقاومت ویژه	احتمال خطر بروز خوردگی
<۵	بسیار زیاد
۵ تا ۱۰	زیاد
۱۰ تا ۲۰	متوسط تا کم
۲۰>	ناجیز



شکل ۷- تاثیر نسبت آب به سیمان بر جذب آب مویینه



شکل۸- تاثیر نسبت آب به سیمان بر جذب آب کل



شکل ۹- تأثیر نسبت آب به سیمان بر مقاومت الکتریکی بتن

www.SID.ir

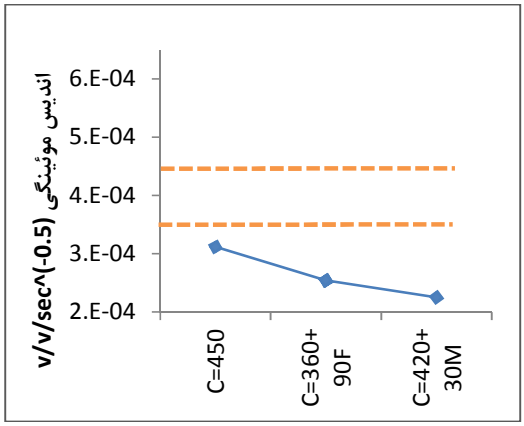
Archive of SID

۳- ۴- بررسی نتایج سایر آزمون ها برای دو نوع پوزولان

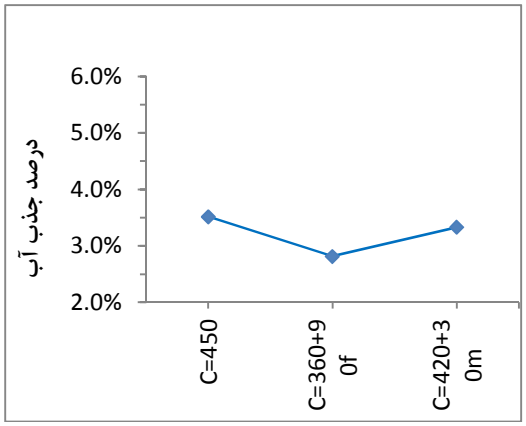
در شکل شماره ۱۰، افزودن پوزولان باعث کاهش اندیس موئینگی شده است. میزان جذب آب موئینه نمونه حاوی میکروسیلیس کمتر از خاکستر بادی به دست آمده است. بر اساس شکل شماره ۱۰ و مقایسه آن با آزمون های آیین نامه پایایی می توان حد نصاب $۳/۵\times۱۰^{-۴}$ $v/v/sec^{-۰.۵}$ را به عنوان حداکثر اندیس موئینگی برای بتن‌های واقع در شرایط محیطی فوق العاده شدید پیشنهاد داد.

در آزمون جذب آب کل (شکل شماره ۱۱)، برخلاف آزمون جذب آب موئینه (شکل شماره ۱۰) و جذب آب نیم ساعته (شکل شماره ۵)، میزان جذب آب آزمونه حاوی خاکستر بادی کمتر از جذب آب آزمونه حاوی میکرو سیلیس به دست آمده است. احتمالا یکی از دلایل این اختلاف، تفاوت زمان در معرض آب قرار گرفتن آزمونه ها می باشد. در روش جذب آب کل، آزمونه پس از خشک شدن ۲ روز در آب غوطه‌ور است ولی در دو آزمون دیگر آزمونه نیم الی ۳ ساعت در تماس با آب قرار دارد. به طور کلی، می توان بر اساس نتایج جذب آب کل، عدد ٪۳/۵ را به عنوان حداکثر جذب آب کل برای بتن‌های واقع در شرایط محیطی فوق العاده شدید پیشنهاد داد.

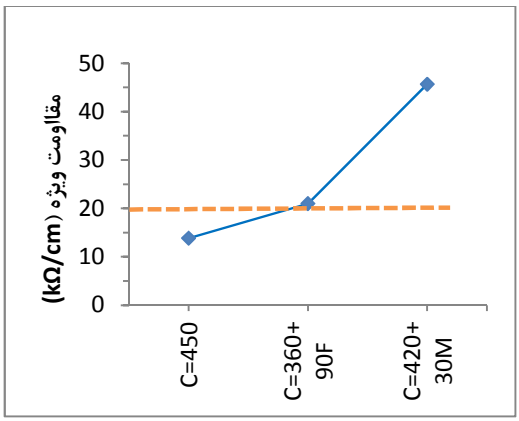
با توجه به شکل ۱۲، افزودن پوزولان به عنوان جایگزین سیمان باعث افزایش شدید مقاومت الکتریکی ویژه بتن شده است. این افزایش در نمونه حاوی میکروسیلیس بسیار بیشتر از خاکستر بادی بوده است در حالیکه میزان پارامترهای پایایی بتن حاوی میکروسیلیس در سایر آزمون ها دارای تفاوت زیادی با بتن حاوی خاکستر بادی نمی باشد. بنابراین استفاده از این آزمون در بتن های حاوی پوزولان خصوصاً میکروسیلیس و مقایسه آن با بتن های معمولی احتمال برآوردهای اشتباه از پایایی بتن را به همراه دارد. بر اساس داده های به دست آمده و جدول شماره ۵، می‌توان مقاومت الکتریکی ویژه ۲۰ $k\Omega/cm$ را به عنوان حداقل لازم برای بتن های واقع در شرایط محیطی فوق العاده شدید، پیشنهاد داد.



شکل ۱۰- تاثیر پوزولان بر جذب آب مویینه



شکل۱۱- تاثیر پوزولان بر جذب آب کل



شکل۱۲- تاثیر پوزولان بر مقاومت الکتریکی بتن

www.SID.ir

Archive of SID

۴- تفسیر نتایج

برای مقایسه دقت آزمون ها با یکدیگر، هر نمونه حداقل شش بار آزمایش شده و تکرارپذیری داده‌ها در هر ۶ نوع طرح اختلاط بررسی گردید. نتایج حاصل از تحلیل انجام گرفته در جدول شماره ۶ آمده است. کوچکی ضریب تغییرات هر آزمون نشان می دهد که آزمون تکرارپذیری و دقت خوبی دارد.

بر اساس ضریب تغییرات به دست آمده، آزمون جذب آب کل دارای کوچک‌ترین ضریب خطا بوده و نسبت به سایر روش‌های مورد بحث از دقت بیشتری برخوردار است. پس از آن کمترین خطا مربوط به آزمایش جذب آب موئینه با ضریب تغییرات حدود ۰/۰۴ می باشد. از آنجا که این آزمایش مستلزم انجام عملیات برشکاری به منظور تهیه نمونه های مورد نظر می باشد، احتمالاً میزان خطای این آزمون با افزایش دقت و استفاده از تجهیزات مناسب در برشکاری، قابل کاهش می باشد[۴]. اگرچه ضریب تغییرات مربوط به داده‌های آزمون جذب آب نیم ساعته در این تحقیق در حد قابل قبولی است ولی این مقدار از نتایج دو آزمون جذب آب دیگر بسیار بالاتر می باشد.

آزمون نفوذ آب در بتن بیشترین پراکندگی در میان نتایج را به خود اختصاص داده است. که بیانگر درصد بالای خطای این آزمون می باشد و با توجه به متفاوت بودن محدوده نتایج این آزمون با دو آزمون دیگر آیین نامه پایایی، به نظر می رسد آزمون نفوذ آب در بتن شاخص چندان مناسبی جهت ارزیابی دوام بتن نمی باشد.

نتایج مربوط به آزمون نفوذ یون کلرید، مندرج در جدول شماره ۶ نشان می دهد که این آزمایش دارای دقت نسبتاً خوبی است. در صورت حذف نتایج مربوط به نمونه های حاوی میکروسیلیس مقدار ضریب بسیار کوچکتر می گردد، ولی در این حالت نیز دقت دو آزمون جذب آب کل و موئینه از آزمون نفوذ یون کلرید بیشتر می باشند.

آزمون مقاومت الکتریکی بر روی نمونه های مکعبی ۱۵ سانتی متری، در تمام وجوه آزمونه و در راستای قطر انجام شده است. پراکندگی داده‌های آزمون مقاومت الکتریکی در جدول شماره ۶ نشان می دهد که این آزمون غیر مخرب پس از آزمایش نفوذ آب از کمترین دقت برخوردار می باشد. البته کوچک بودن آزمونه‌ها می تواند یکی از دلایل بالا رفتن خطای این آزمون باشد.

جدول شماره ۶- مقایسه آماری نتایج حاصله از آزمون ها

نام آزمون	طرح	تعداد آزمونه	میانگین داده ها	انحراف معیار داده‌ها	ضریب تغییرات	میانگین ضریب تغییرات
نفوذ آب در بتن (cm)	w/c=۰.۳۴	۶	۰/۸۸۳	۰/۳۱۹	۰/۳۶۱	۰/۳۴۶۴
	w/c=۰.۴	۶	۱/۰۸۳	۰/۳۷۶	۰/۳۴۷۴	
	w/c=۰.۵	۶	۱/۴	۰/۲۲۴	۰/۱۵۹۷	
	C=۴۵۰	۶	۰/۸۶۷	۰/۳۸۳	۰/۴۴۱۹	
	C=۴۲۰+۳۰M	۶	۱/۲۱۷	۰/۴۰۲	۰/۳۳۰۵	
	C=۳۶۰+۹۰F	۶	۰/۹۸۳	۰/۴۳۱	۰/۴۳۸۲	
جذب آب نیم ساعته (%)	w/c=۰.۳۴	۶	۲/۴۹۸	۰/۱۷۹	۰/۰۷۱۷	۰/۰۹۸۹
	w/c=۰.۴	۶	۲/۴۰۳	۰/۱۱۹	۰/۰۴۹۶	
	w/c=۰.۵	۶	۵/۸۴۵	۱/۱۷۴	۰/۲۰۰۹	
	C=۴۵۰	۶	۲/۲۸۸	۰/۲۵۲	۰/۱۱۰۱	
	C=۴۲۰+۳۰M	۶	۱/۷۳۶	۰/۱۴۲	۰/۰۸۰۸	
	C=۳۶۰+۹۰F	۶	۱/۷۷۲	۰/۱۴۰	۰/۰۸	

www.SID.ir

Archive of SID

ادامه جدول شماره ۶- مقایسه آماری نتایج حاصله از آزمون ها

نام آزمون	طرح	تعداد آزمونه	میانگین داده ها	انحراف معیار داده‌ها	ضریب تغییرات	میانگین ضریب تغییرات
نفوذ تسریع شده یون کلرید (کولمب)	w/c=۰.۳۴	۶	۲۳۴۵/۸	۱۷۸/۱۵	۰/۰۷۵۹	۰/۰۸۲۵
	w/c=۰.۴	۶	۲۵۳۰	۱۴۹/۸۹	۰/۰۵۹۲	
	w/c=۰.۵	۶	۴۲۴۱/۵	۲۱۷/۶	۰/۰۵۱۳	
	C=۴۵۰	۶	۱۸۴۴/۵	۱۶۳/۱۹	۰/۰۸۸۵	
	C=۴۲۰+۳۰M	۶	۹۷۱/۵	۱۳۳/۵۶	۰/۱۳۷۵	
	C=۳۶۰+۹۰F	۶	۹۱۹	۷۱/۱۳	۰/۰۷۷۴	
جذب آب موئینه $(v/v/sec^{-\frac{1}{2}})$	w/c=۰.۳۴	۹	$۳/۱۶\times۱۰^{-۴}$	$۰/۱۴۵۱\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۴۶	۰/۰۴۱۷
	w/c=۰.۴	۹	$۴/۵۵\times۱۰^{-۴}$	$۰/۱۳۹\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۳۰۵۶	
	w/c=۰.۵	۹	$۶/۰۳\times۱۰^{-۴}$	$۰/۲۳۹\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۳۹۶۸	
	C=۴۵۰	۹	$۳/۱۲\times۱۰^{-۴}$	$۰/۱۵۹\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۵۰۹۲	
	C=۴۲۰+۳۰M	۹	$۲/۲۵\times۱۰^{-۴}$	$۰/۰۸۸۱\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۴۳۹	
	C=۳۶۰+۹۰F	۹	$۲/۵۴\times۱۰^{-۴}$	$۰/۱۱۲\times۱۰^{-۴}$	۰/۰۳۹۱۷	
جذب آب کل (%)	w/c=۰.۳۴	۶	۳/۳۶۷	۰/۰۵۱	۰/۰۱۵۱	۰/۰۳
	w/c=۰.۴	۶	۴/۷۷۴	۰/۱۵۴	۰/۰۳۲۲	
	w/c=۰.۵	۶	۵/۷۰۳	۰/۰۷۴	۰/۰۱۳	
	C=۴۵۰	۶	۳/۵۱۵	۰/۱۳۹	۰/۰۳۹۶	
	C=۴۲۰+۳۰M	۶	۳/۳۳۲	۰/۰۹۳	۰/۰۲۸	
	C=۳۶۰+۹۰F	۶	۲/۸۱۶	۰/۰۱۴۳	۰/۰۵۰۸	
مقاومت الکتریکی $(k\Omega/cm)$	w/c=۰.۳۴	۷۲	۱۳/۵۰۵۶	۲/۲۰۹۳	۰/۱۶۳۶	۰/۱۳۸۱
	w/c=۰.۴	۷۲	۱۰/۷۹۱۷	۱/۶۲۱۹	۰/۱۵۰۳	
	w/c=۰.۵	۷۲	۷/۳۷۲۲	۱/۳۷۰۱	۰/۱۸۵۸	
	C=۴۵۰	۷۲	۱۳/۸۷۵	۱/۳۵۲۵	۰/۰۹۷۵	
	C=۴۲۰+۳۰M	۷۲	۴۷/۰۸۳۳	۵/۴۹۴	۰/۱۱۶۷	
	C=۳۶۰+۹۰F	۷۲	۲۱/۰۳۳	۲/۴۰۷۴	۰/۱۱۴۵	

در جدول شماره ۷، برخی شرایط فیزیکی شش آزمون انجام شده ذکر شده است. بر این اساس روش جذب آب موئینه به لحاظ سن نمونه در هنگام آزمون و همچنین از نظر زمان انجام آزمون نسبت به سایر آزمون ها، سریعتر و به همین علت می تواندروش مناسبی جهت کنترل پایایی بتن در حین ساخت پروژه های دریایی و ساختمانی باشد.

اگر مسئله زمان مورد تاکید نباشد، بر اساس نتایج آماری جدول شماره ۶ و همچنین عدم نیاز به تجهیزات خاص، کرگیری و برشکاری، آزمون جذب آب کل بر اساس ASTM C۶۴۲ روشی دقیق تر، آسان تر و کم هزینه تر نسبت به سایر روش ها می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در میان آزمون‌های مورد بحث، آزمون نفوذ تسریع شده یون کلرید (*RCPT*) به علت تماس و کنترل بتن با یون کلر، امکان بهتری برای ارزیابی نحوه عملکرد بتن در شرایط دریایی را می دهد. اما هزینه بالای آزمایش یا خرید و تعمیرات تجهیزات و همچنین لزوم برشکاری و تهیه مغزه از نمونه های بتنی، باعث شده عملا در تعداد کمی از پروژه های جنوب کشور از این آزمون استفاده شود.

مطابق جدول شماره ۷، آزمون مقاومت الکتریکی صرف نظر از لزوم به کارگیری تجهیزات ویژه، در مدت زمان بسیار کوتاه و به راحتی قابل انجام می باشد. ولی به دلیل حساس بودن این آزمون به نوع پوزولان، ابعاد آزمونه و شرایط رطوبتی، توصیه می شود این آزمون به همراه سایر روش‌ها به صورت همزمان و برای کنترل نسبی نمونه های طرح های مشابه استفاده شود.

جدول شماره ۷- مقایسه مدت زمان و چگونگی تهیه در آزمون های بررسی شده

عنوان آزمون	سن انجام آزمون	روش معمول تهیه آزمونه	زمان انجام آزمون
نفوذ آب در بتن	۲۸ روزه	قالب مکعبی	۳ روز
جذب آب نیم ساعته	۲۸ روزه	مغزه گیری	۳ روز
نفوذ تسریع شده یون کلرید	۲۸ روزه	مغزه گیری و برش	۶ ساعت
جذب آب موئینه	۷ روزه	برش نمونه مکعبی	۳ الی۶ ساعت
جذب آب کل	۲۸، ۹۰، ۱۲۰ و۱۸۰ روزه	قالب مکعبی	۵ روز
مقاومت الکتریکی بتن	۲۸ روزه	قالب مکعبی یا استوانه ای	چند ثانیه

نتیجه گیری

۱- آزمون های جذب آب موئینه، جذب آب کل و مقاومت الکتریکی می توانند در کنار آزمون های پیشنهادی آیین نامه پایایی بتن معیار خوبی برای پیش بینی دوام بتن باشند.

۲- در میان آزمون های بررسی شده، آزمون جذب آب کل ارزانترین و در دسترس ترین آزمون می باشد. این آزمون نیازمند تجهیزات ویژه آزمایشگاهی نبوده و برای تهیه آزمونه آن نیاز به مغزه گیری یا برش نمی باشد. همچنین در این تحقیق کمترین پراکندگی داده مربوط به این آزمون می باشد.

۳- آزمون جذب آب موئینه، به عنوان یک روش سریع و ساده می تواند در کنترل کیفیت پروژهای بتنی حاشیه خلیج فارس و دریایی عمان در حین اجرا استفاده گردد.

۴- با توجه به پراکندگی بالای داده‌های آزمون نفوذ آب در بتن و محدوده متفاوت به دست آمده نسبت به سایر آزمون ها، این آزمون به تنهایی نمی تواند معیار خوبی برای پایایی بتن باشد.

۵- به دلیل حساس بودن آزمون مقاومت الکتریکی به نوع پوزولان، ابعاد آزمونه و شرایط رطوبتی، توصیه می شود این آزمون به همراه سایر روش‌ها به صورت همزمان و برای کنترل نسبی نمونه های طرح های مشابه استفاده شود.

۶- در تمامی آزمون‌های انجام شده، افزایش نسبت آب به سیمان به وضوح نشان دهنده کاهش پایایی بتن می باشد. اما تاثیر استفاده از پوزولان‌های مختلف بر پایایی اگرچه مثبت بوده ولی میزان تاثیر آن در آزمون های مختلف، متفاوت می باشد.

تشکر و قدردانی

در پایان بر خود لازم می دانیم از همکاری مسئولین و کادر فنی مؤسسه مکین در اسکله شهید رجایی بندرعباس وابسته به قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص) که صمیمانه ما را در کلیه زمینه های مالی و علمی این تحقیق یاری نموده اند سپاسگزاری کنیم.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع و منابع

۱- رمضانیانپور، ع.ا.، پورخورشیدی، ع.، "آیین نامه ملی پایایی در محیط خلیج فارس"، نشریه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره نشریه: ۴۲۸، تهران، ۱۳۸۴.

۲- رمضانیانپور، ع.ا.،پرهیزگار، ط.، پورخورشیدی، ع.، رئیس قاسمی، ا.م.، "شرایط محیطی سواحل جنوبی ایران بر روی دوام دراز مدت بتن با سیمان ها و پوزولان های مختلف"، نشریه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره نشریه: ۴۳۴، تهران، ۱۳۸۵.

۴- Summers, G., R., J., "Concrete Durability Test Method", Ministry of Works and Housing, Kingdom of Bahrain., ۲۰۰۵.

۳- غلامی، آ. و محمدی پور، م. "ارزیابی عوامل مؤثر بر موییننگی بتن به عنوان شاخص اصلی پایایی در مناطق ساحلی"، سومین کنفرانس ملی بتن ایران، تهران، ایران، ۱۳۹۰.

۵- Fugerlund, G., "On the capillarity of concrete", Journal of Nordic concrete Research, No. ۱, ۱۹۸۲.

۶- Summers, G., R., J., "A Framework for Durable Concrete", Gulf Construction Magazine, September, ۲۰۰۱.

۷-Bs ۱۸۸۱ part ۱۲۲, "Testing concrete Method for determination of water absorption", ۲۰۱۱

۸- ASTM C۶۴۲, "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", ۱۹۹۷.

۹- ASTM C۱۲۰۲-۹۷, "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetrationete", ۱۹۹۷.

۱۰- BS EN ۱۲۳۹۰-۸, "Testing hardened concrete part ۸: Depth of penetration of water under pressure", ۲۰۰۰.

۱۱- ACI ۲۲۲R- ۰۱, "۲۲۲R-۰۱: Protection of Metals in Concrete Against Corrosion", ۲۰۱۰

www.SID.ir