Archive of SID

تاثیر جنس اسپیسر بر نفوذپذیری موضعی بتن

سامان طیبی خرمی[1*]، محمدرضا محمدی‌زاده[2]، سید طاها طباطبایی عقدا[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه هرمزگان، بندر عباس

۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی - رئیس واحد خلیج فارس، بندرعباس

tayebisaman@gmail.com ۰۹۱۷۷۱۸۵۲۳۲

چکیده

کاربرد اسپیسرهای بتن جهت رعایت پوشش بتن مسلح از دیرباز مرسوم است. اگرچه اسپیسر نقش مهمی در اجرای صحیح سازه های بتن مسلح ایفا می کند، ولی در شرایط محیطی شدیدکیفیت آن بر دوام سازه بسیار تاثیر گذار است. در این تحقیق نفوذپذیری آب نمونه های مکعبی بتن در محل قرارگیری اسپیسر با جنس‌های مختلف در آزمایشگاه مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین جنس بهینه برای کاربرد در شرایط محیطی شدید، بویژه خلیج فارس معرفی شده است. نتایج نشان دهنده عملکرد مناسب اسپیسرهای بتنی مرغوب در مقابل اسپیسرهای پلاستیکی و فلزی موجود می‌باشد.

کلید واژگان: اسپیسر بتن، نفوذپذیری، خوردگی بتن مسلح، دوام بتن.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

از دیدگاه محققان مهمترین پارامتر تعیین کننده خرابی‌های بتن، مانند نفوذسولفات‌ها، کلرورها، کربنات‌ها و سایر عوامل شیمیایی خورنده را میزان نفوذپذیری بتن می‌دانستند. در واقع معیار نفوذپذیری را عامل اصلی خسارت دیدن بتن، در برابر حمله مواد خورنده شیمیایی معرفی می‌کردند. گرچه هنوز محققان در مورد این که کدام یک از ساختارهای فیزیکی یا شیمیایی عامل مهمتری در بحث دوام بتن مسلح می‌باشد اختلاف نظر دارند ولی تقریبا این موضوع ثابت شده است، درصورتی که بتوان بتنی ساخت که دارای نفوذپذیری کمتری باشد و املاح به راحتی در آن نفوذ نکنند، دوام بتن بالاتر خواهدبود[۱]. پایداری و دوام بتن از جمله مباحثی هستند که در اجرای هرچه بهتر سازه‌های بتنی همواره مطرح می باشند [۲]. خوردگی سازه‌های بتن مسلح در مناطق با شرایط محیطی فوق العاده شدید از جمله خلیج فارس و نواحی حاشیه آن منجر به کاهش چشم گیر عمر سازه در این مناطق شده است. عواقب ناشی از پدیده‌ی خوردگی منجر به صرف بخش قابل توجهی از بودجه کشور به ترمیم و یا بازسازی سازه‌های این مناطق می‌گردد. تحقیقات زیادی بر روی مشکلات ناشی از خرابی بتن و پیرو آن خوردگی فولاد در بتن انجام شده است[۲]. برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ انتشار نتایج حاصل از مطالعات انجام شده توسط شیل استون[۱] در نشریه بین المللی بتن، نشان می داد که مشخصات مصالح مصرفی (سنگدانه ها) از جمله ابعاد آن ها بر روی میزان نفوذ پذیری بتن تأثیر داشته است. در سال ۲۰۰۲، نتایج تکمیلی این پژوهش در بیست و چهارمین شماره از همان نشریه به چاپ رسید که در آن حدود مناسب اندازه سنگدانه، برای ساخت بتن را از ۸ تا ۱۸ میلی متر تعیین شده بود [۳ و ۴]. پس از آن در سال ۲۰۰۴ کویلگر و فولر در تحقیقی مشترک نشان دادند که نوع سنگدانه مصرفی نیز در میزان نفوذ آب و سایر عناصر شیمیایی به درون بتن مؤثر می باشد [۵]. همچنین در سال ۲۰۰۳، ماینذز[۲] و همکاران با بررسی اثر نسبت آب به سیمان بر نفوذپذیری بتن، دریافتند که این نسبت بیشترین اثر را بر روی دوام بتن داشته است بطوریکه با کوچکترین تغییر در میزان نسبت آب به سیمان در مخلوط بتن، نفوذ پذیری آن به شدت افزایش و یا کاهش می یابد[۶]. همزمان، مطالعه در زمینه تأثیر سیمان و مواد سیمانی بر پدیده نفوذ پذیری بتن نیز توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود معطوف کرده بود بطوریکه، در سال ۱۹۹۸ گروهی از محقیقین نشان دادند که جایگزینی مکمل های سیمانی با بخشی از سیمان مصرفی به دلیل تغییر در ساختار منافذ بتن موجب کاهش چشمگیر نفوذپذیری بتن می شود [۷]. از طرفی در اواسط سال ۱۹۹۴، فلدمن[۳] به همراه تعداد دیگری از همکارانش در جریان انجام آزمایش نفوذ یون کلر بر روی بتن (ASTM C۱۲۰۲)، مشاهده کردند که عبور جریان ۶۰ ولت از بتن در سنین اولیه گیرش، باعث ایجاد حرارت در آن شده و نفوذ پذیری آن افزایش یافته است. آن ها دریافتند که این گرمای تولید شده موجب بالا رفتن حرارت هیدراتاسیون بتن و در نهایت تغییر ساختار فیزیکی و شیمیایی درونی آن شده که به کاهش نفوذ آن منجر گردیده است [۸]. در اوایل سال ۱۳۸۷ (۲۰۰۰ میلادی)، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن با انجام مطالعه در زمینه آسیب شناسی بتن و ارزیابی آن در شرایط محیطی خلیج فارس، به مطالعه این عوامل در جهت فن آوری بتن متناسب با شرایط آب و هوایی مناطق حاشیه خلیج فارس پرداخته است [۹]. پژوهشکده حمل و نقل مینه سوتا[۴] در یک مطالعه ۵ ساله طی سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ بر روی ۲۳۰ طرح اختلاط، به بازبینی نتایج بدست آمده در زمینه های مختلف ابعاد و جنس سنگدانه ها، نسبت

---

[۱] Shale Stone

[۲] Mindess

[۳] Feldman

[۴] Minesota

www.SID.ir

Archive of SID

آب به سیمان و نیز نوع سیمان و مکمل سیمان در سال های گذشته پرداخت و نتیجه این تحقیق در سال ۲۰۰۹ در مجله تخصصی راه مینه سوتا به چاپ رسید [۱۰].

درزمینه دوام بتن درمحیطهای دریایی نیز کارهای تحقیقاتی فراوان دیگری، با هدف کاهش خوردگی انجام شده است،که در اینجا مواردی ذکر می‌گردد. درسال ۱۹۹۸ نفوذ یون کلرید در داخل بتن، در محیط دریایی با شرایط جزر و مد، اتمسفری و ناحیه اسپری توسط محققین دانشگاه لیسبون[۱] بررسی و منتشر شده است [۱۱]. گروبر[۲] و همکاران (۲۰۰۱) و همچنین بادی[۳] و همکاران (۲۰۰۱) نفوذ یون کلر را با استفاده از متاکائولن ریز ساختار اندازه گیری کردند [۱۲ و ۱۳]. در سال ۲۰۰۸ مقاله ای با عنوان "اثرات ناحیه جزر و مدی خلیج فارس بر روی دوام بتن حاوی میکروسیلیس" توسط محققین دانشگاه کاونتری[۴] منتشرشده است. درمقاله اخیر، نمونه های بتنی در شرایط جزر و مدی شبیه سازی شده در آزمایشگاه و همچنین در سواحل خلیج فارس و حوضچه آب شیرین، نگهداری وآزمون های مقاومت فشاری و جذب آب بر روی نمونه ها انجام شده است [۱۴]. درایران نیزدرسال ۲۰۰۵ دردانشگاه صنعتی سهند تحقیقی انجام گرفته است که درآن، دوام بتن مسلح حاوی پوزولانهای مختلف که درمعرض شرایط متفاوت محیطی شبیه سازی شده درآزمایشگاه: آزاد، مغروق وجزر و مد قرارداده شده بودند، درمدت ۶ ماه بررسی شده است [۱۵]. ارزیابی دوام درازمدت ۱۵ ساله نمونه های بتنی ساخته شده با سیمان پرتلند معمولی، سرباره و خاکستربادی درشرایط محیطی دریایی سواحل ژاپن، تحت شرایط جزر و مد انجام گردیده ونتایج حاصله درسال ۲۰۰۰ منتشر شده است [۱۶]. در سال ۲۰۰۷ نتیجه یک کار تحقیقاتی در سواحل ۱۱ کشوردر مقاله ای تحت عنوان" اثرات محیط دریا بر روی دوام بتن مسلح "منتشر شده است [۱۷]. بنابراین همان طور که ذکر شد نفوذپذیری عامل تعیین کننده و پر اهمیتی در دوام بتن و مبین کیفیت بتن است.

در مورد تاثیر مولکول آب درسازه بتن از اولین روزهای ساخت و عمل‌آوری تا دیگر مراحل ساخت تحقیقات بسیاری انجام شده است. این موضوع در سالیان اولیه ساخته شدن بتن اهمیت بیشتری دارد. آب به دو گونه می‌تواند به بتن آسیب برساند: اولین قسمت مربوط به تاثیر مستقیم آب بر روی آرماتورهای فولادی بتن بوده که با خوردگی آنها باعث کاهش سطح مقطع موثر فولاد در بتن شده که ممکن است میلگردهای باقیمانده توان انجام وظایف مربوطه حتی با ضرایب اطمینان بالا را نداشته باشند. دومین آسیب مربوط به ماهیت این مولکول درحل کردن مواد مضر بتن مانند انواع کلریدها، سولفات-ها، اسیدها و سایر مواد شیمیایی است که با عث سرعت در عمل زنگ زدن آرماتورها می‌شود. در نتیجه این پدیده منجر به کاهش دوام و طول عمر بتن در سازه‌های بتن مسلح می‌شود [۱۸]. همچنین تشکیل ترک عمیق درسازه‌های بتن مسلح به علت نقص درساخت و یا بی توجهی به الزامات استاندارد، همچون استفاده از اسپیسری پلاستیکی، ممکن است منجر به افزایش نفوذ یون کلر و در نتیجه کاهش عمر پیش بینی شده‌ی سازه شود[۱۹].

نفوذپذیری که مهمترین مشخصه برای دوام بتن است [۲۰] به مشخصات ریز ساختار مانند اندازه، توزیع و ارتباط داخلی منافذ و ریزترک‌ها مربوط می‌شود [۲۱]. به عبارتی هر چه میزان نفوذپذیری بتن کمتر باشد می‌توان نفوذ عوامل تهاجمی به توده بتن و شروع واکنشهای تخریبی را کندتر عنوان نمود[۲۲]. مهمترین الزام در مقابله با عوامل مهاجم محیطی، رعایت

---

[۱] Lisbon

[۲] Gruber

[۳] Boddy

[۴] Country

www.SID.ir

Archive of SID

پوشش بتنی آرماتور است که تنها به کمک استفاده از اسپیسر امکان پذیر است. در پژوهش‌های مرتبط با دوام بتن و عمر سازه‌های بتن مسلح، به اثر اسپیسر و عملکرد صحیح آن کمتر توجه شده است.کیفیت اسپیسرهای پلاستیکی به جنس مصالح بکار رفته در ساخت آن، و کیفیت اسپیسرهای بتنی به مرغوبیت مصالح، طرح اختلاط و عمل‌آوری بتن مورد استفاده در ساخت اسپیسر وابسته است. در این تحقیق به روش آزمایشگاهی عملکرد جنس و مدل‌های مختلف اسپیسر با استفاده از آزمایش نفوذپذیری تحت فشار آب بررسی شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

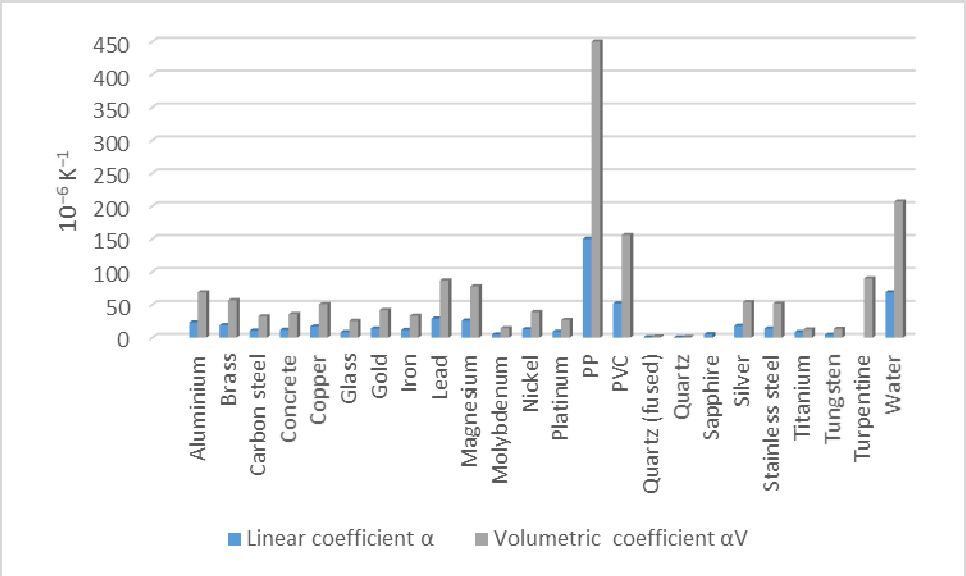
۲-۱-۱-مصالح سنگی

مصالح سنگی، از معادن بندرعباس تامین شده است. مصالح سنگی به کار رفته در این پروژه شامل ماسه، شن ریز و شن درشت می‌باشد. جهت کنترل دانه بندی مصالح سنگی مصرفی از استاندار ملی شماره ۳۰۲ استفاده شده است. آزمایش ها بیانگر تطبیق مصالح سنگی با این استاندارد می‌باشد.

۲-۱-۲-اسپیسر

۲-۱-۲-۱- انتخاب جنس

در گزینش جنس اسپیسر عواملی از جمله مقاومت فشاری، ضریب انبساط حرارتی، دسترسی به مصالح پایه، دوام در شرایط محیطی مختلف، امکان فرم دهی در مرحله ساخت و عدم شکل پذیری در مرحله کاربری، قیمت تمام شده و ... موثرند. اسپیسرهای بتن بطور معمول از جنس پلاستیک، بتن و فولاد ساخته می‌شوند. در شکل ۱ ضریب انبساط حرارتی جنس مصالح مختلف در ۲۰ درجه سلسیوس نشان داده شده است. بر این اساس از نقطه نظر تغییر شکل اسپیسر در چرخه‌های ذوب و انجماد در هوای سرد، همچین افزایش درجه حرارت در هوای گرم و بویژه محیط خلیج فارس که در دسته شرایط محیطی فوق العاده شدید قرار می‌گیرد، بتن و فولاد نسبت به پلاستیک بهینه می‌باشند. اما فولاد در شرایط محیطی مهاجم بسیار آسیب پذیر می‌باشد و همین موضوع موجب کاهش محبوبیت اسپیسرهای فولادی در مناطق با شرایط محیطی شدید مانند حاشیه خلیج فارس گردیده است.



www.SID.ir

Archive of SID

شکل۱- ضرایب انبساط حرارتی

با توجه به اینکه اسپیسرهای پرکاربرد از جنس پلاستیک و بتن می‌باشند. جهت ارزیابی آزمایشگاهی نیز این دو جنس انتخاب شدند.

۲-۱-۲-۲- اسپیسر بتنی

با توجه به اینکه اسپیسری بتنی عمدتا به شکل استوانه‌ای ساخته می‌شوند، جهت ساخت اسپیسری بتنی بکار رفته در این پژوهش از قالب‌های استوانه‌ای (با جنس پی وی سی) استفاده گردید (شکل ۲). همچنین از طرح اختلاط اسپیسرهای مورد استفاده در پروژه‌ی طرح توسعه بندر شهید رجائی به عنوان طرح اختلاط مبنا بهزه برده شد. این طرح اختلاط که در مقایسه با سایر طرح اختلاط‌های بکار رفته در پروژه‌های عمرانی از کیفیت بالاتری برخوردار است بر اساس طرح اختلاط بتن مصرفی در پروژه و ابعاد قالب اسپیسر تعیین شده است. در این پژوهش، در مجموع دو طرح اختلاط به شرح جدول ۱ ساخته شد. تفاوت این دو طرح اختلاط در نسبت آب به مواد سیمانی است. اسپیسرهای مرغوب (S) با $\frac{w}{c} = 0.4$ و اسپیسرهای نامرغوب (C) با $\frac{w}{c} = 0.5$ ساخته شدند.

شکل۲- ساخت اسپیسرهای بتنی

جدول۱- مشخصات طرح اختلاط بتن اسپیسرها

کد اسپیسر	عیار مواد سیمانی (kg/m^3)	نسبت آب به مواد سیمانی	مقدار ماسه (kg/m^3)	مقدار شن ریز (kg/m^3)	مقدار شن درشت (kg/m^3)	فوق روان کننده (درصد وزنی مواد سیمانی)	اسلامپ (cm)
S	۴۰۰	۰/۴	۱۰۶۷	۶۷۶/۵	۰/۰	۰/۵	۱۵
C	۴۰۰	۰/۵	۱۰۰۶/۴	۶۳۸	۰/۰	۰/۰	۱۷

۲-۱-۲-۳- اسپیسر پلاستیکی

www.SID.ir

Archive of SID

اسپیسرهای پلاستیکی مورد استفاده در این پژوهش، تولید داخل می‌باشند که مطابق با استاندارد BS ۷۹۷۳-۱:۲۰۰۱ تولید شده‌اند. با توجه به اینکه اسپیسرهای پلاستیکی در مدل‌های متنوعی تولید می‌شوند، در این پژوهش از سه مدل پرکاربرد در سازه‌های بتنی به نام‌های ستاره ای[۱]، خرک ۱[۲]، و خرک ۲[۳] (شکل ۳) استفاده شد.

شکل۳- اسپیسر پلاستیکی

۲-۱-۳-سایر مصالح

سیمان مورد استفاده در ساخت بتن مصرفی این پژوهش، سیمان پورتلندتیپ ۲، محصول شرکت سیمان داراب می‌باشد. آب مصرف شده در این پژوهش آب شرب شهر بندرعباس می‌باشد. فوق روان‌کننده مصرفی از نوع با پایه پلی کربوکسیلات و نام تجاری CP-WRM، محصول شرکت LG-chem می‌باشد.

۲-۲- طرح اختلاط

در این پژوهش، در مجموع دو طرح اختلاط به شرح جدول ۲ ساخته شد. طرح اختلاط منتخب بر اساس طرح اختلاط‌های پرکاربرد در بندرعباس گزینش شد. براساس تحقیقات میدانی که انجام شد، پرکاربردترین نسبت مصالح سنگی درشت دانه مورد استفاده در ساخت بتن سازه‌ای این شهر با نسبت مساوی شن ریز به شن درشت می‌باشد.

جدول۲- مشخصات طرح‌های اختلاط

کد طرح	عیار مواد سیمانی (kg/m^3)	نسبت آب به مواد سیمانی	مقدار ماسه	مقدار شن ریز	مقدار شن درشت	فوق روان کننده (درصد وزنی مواد سیمانی)	اسلامپ (cm)

[۱] Wheelbar

[۲] Maxichair

[۳] Hardchair

www.SID.ir

Archive of SID

		(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kg/m^3)			
۴	۴۰۰	۰/۴	۱۰۶۹	۳۳۸/۱	۳۵۵/۵	۰/۹	۱۵
۵	۴۰۰	۰/۵	۱۰۰۶/۶	۳۱۸/۳	۳۳۴/۷	۰/۰	۱۶

۲-۳- مشخصات آزمونه‌ها

در این پژوهش اثر دو مدل اسپیسر بتنی، دو نوع طرح اختلاط و دو شرایط عمل‌آوری مختلف بر روی میزان نفوذپذیری موضعی مطالعه شده است. با توجه به اینکه برای هر حالت سه بار تکرار در نظر گرفته شده، در مجموع ۹۶ آزمونه مکعبی ۱۵ سانتیمتری ساخته شد (تعداد ۴۸ آزمونه برای هر طرح اختلاط)، که جزئیات آزمونه‌ها در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳- تعداد و جزئیات آزمونه‌ها برای یک طرح اختلاط

نوع آزمونه			تعداد بر اساس شرایط عمل آوری	
			۳ روزعمل‌آوری کارگاهی (N)	بدون عمل‌آوری (A)
دارای اسپیسر	بتنی	بتنی مرغوب (S)	۳	۳
		بتنی نامرغوب (C)	۳	۳
	پلاستیکی	ستاره ای (W)	۳	۳
		خرک ۲ (H)	۳	۳
		خرک ۱(M)	۳	۳
بدون اسپیسر		شاهد (T)	۶	۶
		مقاومت فشاری	۳	۳
مجموع			۲۴	۲۴

۲-۴- ساخت آزمونه‌ها

در هر مرحله از ساخت، ابتدا میزان رطوبت نسبی مصالح سنگی براساس استاندارد (ASTM C۵۶) تعیین و پس از اصلاح طرح اختلاط، مصالح توزین و مخلوط شد. دمای بتن تازه در محدوده ۲۵ الی ۲۸ درجه سلسیوس و اسلامپ در محدوده ۱۳ الی ۱۵ سانتیمتر قرار داشت. مراحل ساخت آزمونه‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

شکل۴- مراحل ساخت آزمونه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۵- عمل‌آوری

جهت بررسی تاثیر شرایط عمل‌آوری بر نفوذپذیری سطحی بتن، آزمونه‌ها در دو دسته‌ی بدون عمل‌آوری (A) و عمل-آوری کارگاهی (N) نگه‌داری شدند. انتخاب این دو حالت براساس شرایط استاندارد و شرایط غیر استاندارد می‌باشد.در عمل‌آوری کارگاهی، نگه‌داری بتن به مدت سه روز به وسیله‌ی گونی مرطوب و پوشش نایلونی به صورت همزمان انجام گرفت. در شکل‌های ۵ و ۶ عمل آوری نمونه‌های نشان داده شده است.

شکل۵- عمل آوری نمونه‌ها با گونی مرطوب و نایلون

شکل ۶- عمل آوری نمونه‌ها در شرایط نا مناسب

۲-۶- انجام آزمایش‌ها

۲-۶-۱-بتن تازه

بر روی بتن تازه آزمایش‌های اسلامپ (ASTM C۱۴۳) و دما (ASTM C۱۰۶۴) انجام گرفت. با توجه به این که دمای بتن تازه، پارامتر تأثیرگذاری بر مقاومت فشاری و جذب آب بتن می‌باشد[۲۳]، در محدوده ۲۵ الی ۲۸ درجه سلسیوس نگه داشته شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۶-۲-بتن سخت شده

۲-۶-۲-۱- مقاومت فشاری

در ساخت سازه‌های بتنی مهمترین معیار مرغوبیت بتن مقاومت فشاری آن می‌باشد. در این پروژه مقاومت فشاری آزمونه‌ها براساس استاندارد (*ASTM C۳۹*) در سن حداقل ۲۸ روز نیز اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۴ ذکر شده است.

جدول۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

ردیف	نسبت آب به سیمان	شرایط عمل‌آوری	مقاومت فشاری (Kg/cm^2)
۱	۰/۴	عمل‌آوری کارگاهی	۵۰۱
۲	۰/۴	بدون عمل‌آوری	۳۷۸
۳	۰/۵	عمل‌آوری کارگاهی	۳۵۲
۴	۰/۵	بدون عمل‌آوری	۳۱۰

۲-۶-۲-۲- نفوذآب در بتن تحت فشار

این آزمایش بر اساس (***DIN* ۱۰۴۸-۵**) میزان نفوذپذیری بتن در برابر نفوذ آب تحت فشار را نشان می‌دهد. به طور معمول این آزمایش باید در زمانی که عمر بتن ۲۸ الی ۳۵ روز است انجام شود. آزمونه به مدت سه روز از بالا یا پایین در تماس با آب تحت فشار N/mm^2 ۰/۵ قرار داده می‌شود. این فشار باید در کل دوره آزمایش ثابت نگاه داشته شود. اگر آب نفوذ کرده به طرف دیگر نمونه برسد، می‌توان آزمایش را متوقف و نمونه را رد کرد.

در طول آزمایش سطوحی از آزمونه که در معرض فشار آب نیستند، جهت اطمینان از عدم بروز نشتی، می بایست بررسی شوند. به محض قطع فشار، باید نمونه از مرکز و در حالتی که سطح در تماس با آب رو به پایین باشد دو نیم شود. پس از آن که سطح نیمه‌ها (۵ الی ۱۰ دقیقه) به حدی خشک شد که پیشروی آب به طور واضح قابل مشاهده بود، حداکثر عمق نفوذ در جهت ضخامت دال اندازه‌گیری می‌شود و میزان نفوذ آب تعیین می‌گردد.

به دلیل تاثیر تبخیر سطحی هنگام شکسته شدن نمونه ها، استفاده از آب خالص منجر به کاهش دقت اندازه‌گیری عمق نفوذ می‌گردد. لذا در این پژوهش جهت افزایش دقت قرائت و همچنین ماندگار شدن الگوی میزان نفوذ آب در آزمونه بتنی از ترکیب (۴- phenyl-۴-(۴- phenylazo) pyrazole-۳-carbaxylate) ۱ hydroxy۵ Tri-sodium و آب به علت رنگی بودن آن در مقایسه با آب خالص به عنوان محلول جایگزین آب خالص استفاده شد. با توجه به رنگی بودن این محلول خطاهای ناشی از تبخیر سطحی آب نافذ از روی سطح آزمونه‌ی شکسته شده حذف می‌گردد، همچنین رد نفوذ پس از خشک شدن کامل سطح نیز به طور واضح مشخص است.

www.SID.ir

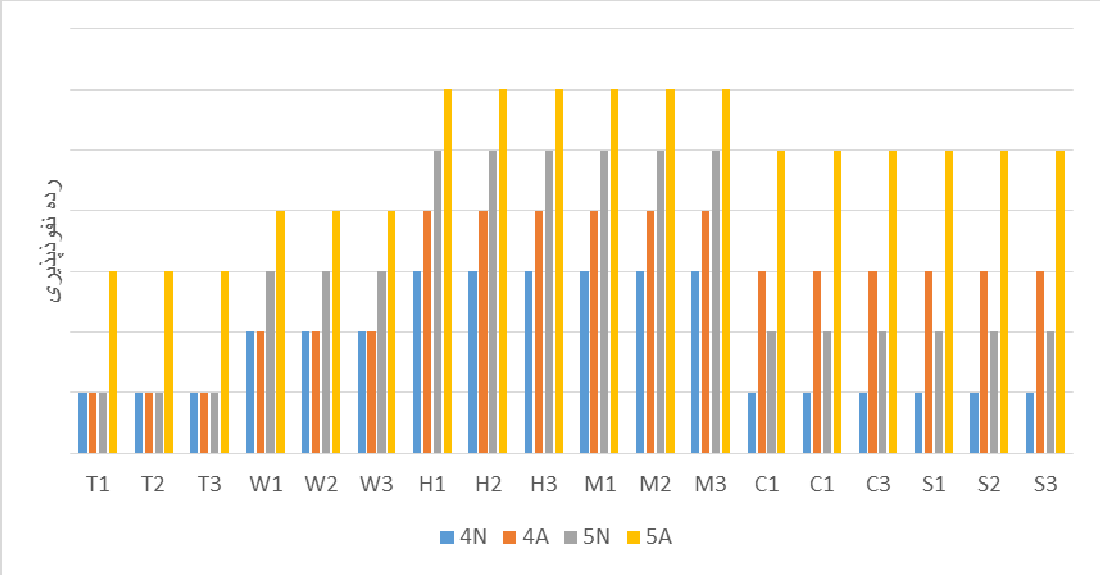
Archive of SID

۳- نتایج

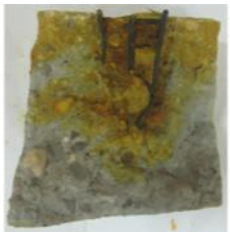
در آزمونه‌های دارای اسپیسر بتنی، نفوذپذیری آزمونه‌ها در هر دو طرح اختلاط (کد ۴ ($\frac{w}{c}$=۰/۴) و کد ۵ ($\frac{w}{c}$=۰/۵)) و با هر دو شرایط عمل‌آوری N یا A، برای آزمونه‌ی بدون اسپیسر کمترین مقدار، و برای آزمونه‌های دارای اسپیسر مرغوب (S) و نامرغوب (C) به ترتیب افزایش یافت ($S < C$). همچنین در آزمونه‌های دارای اسپیسر پلاستیکی، نفوذپذیری آزمونه‌ها با طرح اختلاط کد ۴ ($\frac{w}{c}$=۰/۴) یا کد ۵ ($\frac{w}{c}$=۰/۵) در هر یک از شرایط عمل‌آوری N یا A، برای آزمونه‌ی بدون اسپیسر کمترین مقدار، و برای آزمونه‌های دارای اسپیسر ستاره ای، خرک ۱ و خرک ۲ به ترتیب افزایش یافت ($T < W < M < H$). نفوذپذیری در کنار اسپیسر ها برای هر دو طرح اختلاط در شرایط عمل‌آوری N (کارگاهی) کمتر از شرایط عمل‌آوری A (بدون عمل‌آوری) می‌باشد (شکل ۸). برای یک طرح اختلاط معین، عمل آوری مناسب بتن منتج به کاهش نفوذپذیری در مجاورت اسپیسر و در مقابل عدم عمل‌آوری مناسب منجر به تشکیل ترک‌های انقباضی و افزایش نفوذ پذیری می‌گردد. لذا عمق نفوذ در آزمونه‌های با شرایط عمل‌آوری (N) کمتر از آزمونه عمل‌آوری نشده (A) می‌باشد. نفوذپذیری در کنار اسپیسرها در شرایط عمل‌آوری یکسان برای طرح اختلاط کد ۴ ($\frac{w}{c}$=۰/۴) کمتر از طرح اختلاط کد ۵ ($\frac{w}{c}$=۰/۵) است (ستون‌های ۱ و ۳ یا۲ و ۴ از شکل ۸). مطابق انتظار با افزایش نسبت آب به سیمان عمق نفوذ در کنار اسپیسر ها نیز افزایش یافت. اگر چه در آزمونه‌های هر دو طرح اختلاط نفوذ تا انتهای اسپیسر ادامه دارد، ولی شعاع نفوذ (نفوذ سیال در جهت عمود بر سطح جانبی اسپیسر) در طرح اختلاط کد ۵ به مراتب بیشتر ازکد ۴ است. با توجه به اینکه نفوذپذیری بتن مهمترین معیار در تعیین دوام بتن می‌باشد [۲۰]، افزایش موضعی نفوذپذیری در نواحی قرارگیری اسپیسر منجر به کاهش دوام بتن بطور موضعی شده وتسریع خوردگی آرماتور را در پی خواهد داشت. این موضوع در دراز مدت روند خرابی سازه را تشدید می‌کند و منجر به کاهش عمر سرویس‌دهی سازه می‌گردد. نفوذپذیری در کنار اسپیسر ها برای هر دو طرح اختلاط در شرایط عمل‌آوری N (کارگاهی) کمتر از شرایط عمل‌آوری A (بدون عمل‌آوری) می‌باشد. برای یک طرح اختلاط معین، عمل آوری مناسب بتن منتج به کاهش نفوذپذیری در مجاورت اسپیسر و در مقابل عدم عمل‌آوری مناسب منجر به تشکیل ترک‌های انقباضی و افزایش نفوذ پذیری می‌گردد. نفوذپذیری در کنار اسپیسرها در شرایط عمل‌آوری یکسان برای طرح اختلاط کد ۴ ($\frac{w}{c}$=۰/۴) کمتر از طرح اختلاط کد ۵ ($\frac{w}{c}$=۰/۵) است. مطابق انتظار با افزایش نسبت آب به سیمان عمق نفوذ در کنار اسپیسر ها نیز افزایش یافت. اگر چه در آزمونه‌های M و H در هر دو طرح اختلاط نفوذ تا انتهای اسپیسر ادامه دارد، ولی شعاع نفوذ (نفوذ سیال در جهت عمود بر سطح اسپیسر) در طرح اختلاط کد ۵ به مراتب بیشتر ازکد ۴ است.

www.SID.ir

Archive of SID

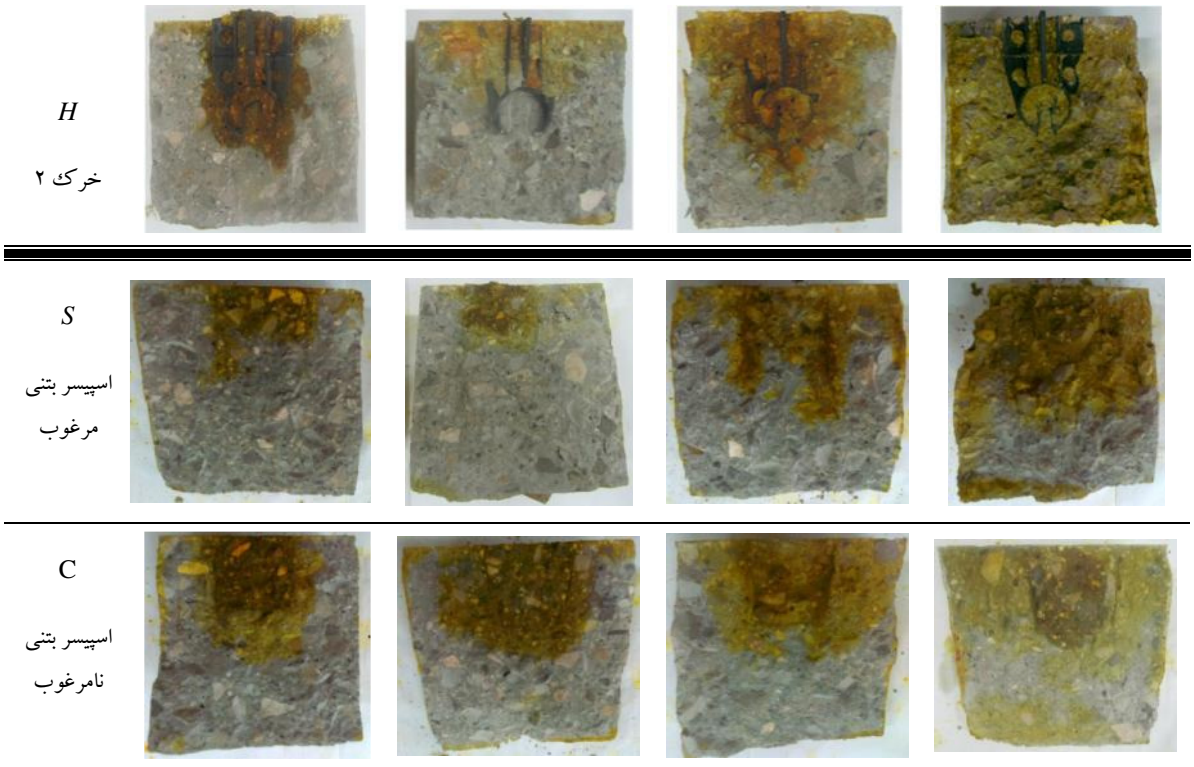


شکل ۷- رده بندی نفوذپذیری موضعی آب در محل قرار گیری اسپیسر

	۵A	۵N	۴A	۴N
	بدون عمل‌آوری	عمل‌آوری کارگاهی	بدون عمل‌آوری	عمل‌آوری کارگاهی
	و $\frac{w}{c}$ =۵/۰	و $\frac{w}{c}$ =۵/۰	و $\frac{w}{c}$ =۴/۰	و $\frac{w}{c}$ =۴/۰
T شاهد				
W ستاره ای				
M خرک ۱				

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸- نتایج آزمایش نفوذپذیری بر روی آزمونه‌ها

در شکل ۷ رده بندی عملکرد اسپیسرهای مختلف نشان داده شده است. در این ارزیابی براساس نتایج آزمایش نفوذپذیری آب آزمونه ها به شش قسمت تقسیم شده اند. رده یک بهترین عملکرد و رده شش ضعیفترین عملکرد اسپیسر را نشان می-دهد. از این شکل می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد اسپیسرهای بتنی در مقایسه با اسپیسرهای پلاستیکی بسیار مناسب است.

۳- نتیجه‌گیری و بحث

مطابق با نتایج آزمایشگاهی نفوذپذیری برای آزمونه‌ی بدون اسپیسر کمترین مقدار و برای آزمونه‌های دارای اسپیسر بتنی و پلاستیکی به ترتیب افزایش می یابد. بنابراین استفاده از اسپیسرهای پلاستیکی در نواحی با شرایط محیطی مهاجم، برای نمونه حاشیه‌ی خلیج فارس، منجر به افزایش خطر نفوذ عوامل خورنده می‌گردد. با توجه به اینکه عمق نفوذ در کنار اسپیسرها ا دارای رابطه معکوس با شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها می‌باشد، توصیه می‌گردد جهت ساخت سازه‌های در مجاورت عوامل محیطی مهاجم عمل آوری کارگاهی به دقت انجام شود. نفوذپذیری بتن مهمترین معیار در تعیین دوام بتن می‌باشد[۲۰]، افزایش نفوذپذیری در نواحی قرارگیری اسپیسر، بطور موضعی منجر به کاهش دوام بتن شده و در نتیجه عناصر مهاجم به سهولت به آرماتور دست می‌یابند و فرایندهای شیمیایی مخرب بسیار سریعتر از زمان پیش‌بینی شده آغاز می‌شود. در مرز اسپیسر و بتن چسبندگی کافی وجود ندارد و لذا سیال از مرز مذکور به داخل بتن راه می‌یابد. این امر با افزایش سطح لخت اسپیسر (مرز بین اسپیسر و بتن) تشدید می‌شود. همچنین ضریب انبساط حرارتی اسپیسر های پلاستیکی حدود ۱۶ برابر بتن است [۲۴]، که این اختلاف در زمان کاهش دما و تغییر حجم بتن و اسپیسر منجر به گسترش ترک در مرز اسپیسر و بتن خواهد شد. لازم به ذکر است عرض ترک با افزایش دمای بتن‌ریزی، بزرگتر می‌شود[۲۴]. استفاده از اسپیسرها علی‌رغم تسهیل رعایت پوشش بتنی آرماتور، به طور موضعی افزایش عمق نفوذ را در پی خواهد داشت. این پدیده به افزایش پتانسیل خوردگی و کاهش عمر سرویس‌دهی پیش بینی شده سازه کمک می‌کند. لذا پیشنهاد می‌گردد جهت اجرای سازه های بتنی در تماس

www.SID.ir

Archive of SID

با عوامل خورنده ضمن ممانعت از بکار بردن اسپیسرهای پلاستیکی، از اسپیسرهای بتنی با همان طرح اختلاط بتن مصرفی پروژه و در اشکال غیرمنشوری (جهت افزایش طول درز نفوذ و ایجاد چسبندگی بیشتر) استفاده شود.

۴- منابع

۱رمضانیانپور، علی‌اکبر، پرهیزکار، طیبه، پورخورشیدی، علیرضا، رئیس‌قاسمی، امیرمازیار، تاثیر شرایط محیطی سواحل جنوبی ایران بر روی دوام دراز مدت بتن با سیمان‌ها و پوزولان‌های مختلف، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، گزارش تحقیقاتی گ- ۴۳۴، ۱۳۸۵.

۲ Sobhani, J., "Durability model for estimating the corrosion of reinforced concrete structures", ٤th international conference on concrete and development, ۲۰۱۳

۳ J.M. Shilstone, Sr. "Concrete Mixture Optimization", Concrete International, Vol. ۱۲, No. ٦, pp. ۳۳-۳۹, ۱۹۹۰.

٤ J.M. Shilstone, Sr. and J.M. Shilstone, Jr., "Performance-Based Concrete Mixtures and Specification Today", Concrete International, Vol. ۲٤, No. ۲, pp. ۸۰-۸۳, ۲۰۰۲.

٥ P. Nel Quiroga and D.W. Fowler, "The Effects of Aggregates Characteristics on the Performance of Portland Cement Concrete", Report No. ICAR ۱۰٤-۱F, International Center for Aggregates Research, Austin, TX, ۲۰۰٤.

٦ S. Mindess, J.F. Young and D. Darwin, "Concrete", ۲nd Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ, ۲۰۰۳.

۷ J.M. Scanlon and M.R. Sherman, "Use of Fly Ash to Improve Concrete Durability by Reducing permeability", Proceedings of the Third National Concrete and Masonry Engineering Conference, San Francisco, June ۱٥, ۱۹۹٥

۸ R.F. Feldman, G.W. Chan, R.J. Brousseau and P.J. Tumidajski, "Investigation of the Rapid Chloride Permeability Test", ACI Materials Journal, Vol. ۹۱, No. ۲, May- June, ۱۹۹٤.

۹پرویز؛ قدوسی، اسماعیل؛ گنجیان، طیبه؛ پرهیزکار، علی اکبر؛ رمضانیانپور، "فن آوری بتن در شرایط محیطی خلیج فارس (آسیب شناسی بتن و ارزیابی آن)"، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ک - ۲۳۸، تهران، ۱۳۷۸.

۱۰ Ryan J. Rohne, Minnesota Department of Transportation Office of Materials and Road Research, "Effect of Concrete aterials on Permeability of Concrete Mixes Used in Mn/DOT Paving Projects", Minnesota Department of Transportation Research Services Section, December, ۲۰۰۹.

۱۱ A., Coasta and J., Appleton, "Chloride penetration into concrete in marine environment", Materials and Structures Journal, May, Vol. ۳۲, PP. ۲٥۲-۲٥۹, ۱۹۹۹.

۱۲ A., Boddy, R., Hooton, K., Gruber "Long-term Testing of the Chloride-penetration Resistance of Concrete Containing High-reactivity Met kaolin", Cement and Concrete Research, ۳۱(٥), PP ۷٥۹-۷٦٥, ۲۰۰۱.

۱۳ KA., Gruber, T., Ramlochan, A., Boddy, R., M., Hooton, Thomas, "Increasing Concrete Durability with High-reactivity Met kaolin", Cement and Concrete Research,۲۳(٦).

www.SID.ir

Archive of SID

١٤ E., Ganjian,and H., Sadaghi Pouya, “The effect of Persian Gulf tidal zone exposure on durability of mixes containing silica fume and blast furnace slag ”, ELSEVIER, Construction and Building Materials, Available online, ٢٠٠٨.

١٥ H., Karbalayi Farajiand H., Afshin, "Durability of Reinforcement Concrete Containing Pozzolans In Oroomiyeh Lake Environment", M.Sc. Thesis Sahand University of Technology,٢٠٠٥ (In Persian).

١٦ Tarek Uddin Mohammed, Toru Yamaji Toshiyuki Aoyamaand Hidenori Hamada, “Marine Durability of ١٥ Years old concrete Specimens ade with Ordinary Portland, Slag and Fly Ash Cements”, ACI SP ١٩٩-٣٠, PP. ٤٥١-٥٦٠, ٢٠٠٠.

١٧ Troconis de Rincon, M., Sanchez, V., Millano and R., Fernandez, “Effect of the marine environment on reinforced concrete durability in Ibero American countries”, Corrosion Science Journal, PP. ٢٨٣٢-٢٨٤٣, ٢٠٠٧

١٨نادری، محمود، طاهری، مهدی، پاک‌شکار، شهاب، بررسی آزمایشگاهی تعیین نفوذپذیری بتن به روش سیلندریکال چمبر، اولین کنفرانس بین المللی بتن‌های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، بهار ۱۳۹۰.

١٩ Safehian M., Ramezanianpour A.A, “Assessment of the long term chloride penetration and prediction of RC structure service life in the Persian Gulf region”, ٤th international conference on concrete and development, ٢٠١٣

٢٠ Baykal, M., Implementation of durability models for portland cement concrete into performance based specifications, The University of Texas at Austin, ٢٠٠٠

٢١ Savas, Bz., Effects of microstructure on durability of concrete, Raleigh, NC: North Carolina State University, ١٩٩٩.

٢٢ Tabatabaei Aghda, S.T., Baniasadizade, M., “Comparison of test methods of evaluation of concrete durability in the Persian Gulf environment”, ٤th international conference on concrete and development, ٢٠١٣

۲۳هرمز فامیلی، محسن تدین، محمدرضا خوش‌سیما، اثر دمای ریختن بتن بر مقاومت فشاری و جذب آب جداول بتنی پرسی خشک تهیه شده با سیمان پرتلند، دومین کنفرانس ملی بتن ایران، ۱۳۸۹.

٢٤ Levitt, M., Concrete Materials: Problems and Solutions, E & FN Spon, ١٩٩٧.

www.SID.ir