

نقش انواع فاصله نگهدار در کنترل نفوذپذیری بتن مسلح

سامان طیبی خرمی^{۱*}، محمدرضا محمدی زاده^۲، سید طاها طباطبایی عقدا^۳

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

هرمزگان، بندرعباس

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

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

بندرعباس

tayebisaman@gmail.com

mrzmohammadizadeh@yahoo.com

taha.tabaa@gmail.com

چکیده

بتن و بتن مسلح همواره جزء پرکاربردترین مصالح مورد استفاده در ساخت و ساز بوده‌اند. مدت بهره‌برداری از هر سازه با طول عمر و کارایی اجزای آن سازه رابطه‌ی مستقیم دارد. از مهمترین عوامل موثر بر کاهش دوام اجزا بتن مسلح، نفوذپذیری بتن و خوردگی آرماتور می‌باشند. کاهش راه‌های نفوذ املاح به داخل بتن، موجب افزایش دوام آن می‌گردد. رعایت پوشش بتن که به کمک فاصله نگهدارها امکان پذیر می‌باشد در کاهش خوردگی آرماتور نقش بسزایی دارد. ولی استفاده از فاصله نگهدارها به دلیل ایجاد ناهمگونی با بتن منجر به افزایش نفوذپذیری موضعی شود. در این پژوهش به روش آزمایشگاهی اتراسفاده از انواع فاصله نگهدارهای رایج پلاستیکی و بتنی با کیفیت‌های مختلف، بر چگونگی تشدید نفوذپذیری در محل قرارگیری فاصله نگهدار بررسی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده استفاده از فاصله نگهدارهای پلاستیکی سهم بیشتری در افزایش نفوذپذیری موضعی بتن و به تبع آن تشدید پتانسیل خوردگی دارند. این پدیده می‌تواند در شرایط محیطی شدید و به خصوص در مناطق حاشیه‌ی خلیج فارس منجر به افزایش آسیب پذیری سازه‌های بتن مسلح در برابر عناصر مهاجم شود.

کلید واژگان: فاصله نگهدار بتنی، فاصله نگهدار پلاستیکی، نفوذپذیری، دوام بتن مسلح، شرایط محیطی خلیج فارس

پایداری و دوام بتن از جمله مباحثی هستند که در اجرای هرچه بهتر سازه‌های بتنی همواره مطرح می‌باشند [۱]. خوردگی سازه‌های بتن مسلح در مناطق با شرایط محیطی فوق‌العاده شدید از جمله خلیج فارس و نواحی حاشیه آن منجر به کاهش چشم‌گیر عمر سازه در این مناطق شده است. عواقب ناشی از پدیده‌ی خوردگی منجر به صرف‌بخش 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]. خوردگی آرماتور دارای رابطه‌ی مستقیم با نفوذپذیری بتن است.

در مورد تاثیر مولکول آب در سازه 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 در حل کردن مواد مضر بتن مانند انواع کلریدها، سولفات‌ها، 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 [۳]. همچنین تشکیل ترک عمیق در سازه‌های بتن مسلح به علت نقص در ساخت و یا بی توجهی به الزامات استاندارد، همچون استفاده از فاصله نگهدارهای پلاستیکی، ممکن است منجر به افزایش نفوذ یون کلر و در نتیجه کاهش عمر پیش‌بینی شده‌ی سازه شود [۴].

تا مدت‌ها محققان قبل از پی بردن به اهمیت ساختار شیمیایی بتن، در برابر حمله مواد مهاجم خورنده، مهمترین پارامتر تعیین‌کننده انواع خرابی‌های بتن، مانند نفوذسولفات‌ها، کلروها، 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 تقریباً این موضوع ثابت شده است، در صورتی که بتوان بتنی ساخت که دارای نفوذپذیری کمتری باشد و املاح به راحتی در آن نفوذ نکنند، دوام بتن بالاتر خواهد بود [۵].

نفوذپذیری که مهمترین مشخصه برای دوام بتن است [۶] به مشخصات ریز ساختار مانند اندازه، توزیع و ارتباط داخلی منافذ و ریزترک‌ها مربوط می‌شود [۷]. به عبارتی هر چه میزان نفوذپذیری بتن کمتر باشد می‌توان نفوذ عوامل تهاجمی به توده بتن و شروع واکنشهای تخریبی را کندتر عنوان نمود [۸]. مهمترین الزام در مقابله با عوامل مهاجم محیطی، رعایت پوشش بتنی آرماتور است که تنها به کمک استفاده از فاصله نگهدار امکان پذیر است. علی‌رغم پژوهش‌های کثیری که جهت افزایش دوام بتن و عمر سازه‌های بتن مسلح انجام شده است، به اثر فاصله نگهدارها بر تشدید نفوذپذیری بتن در مکان قرارگیری فاصله نگهدار کمتر توجه شده است. کیفیت فاصله نگهدارهای پلاستیکی به جنس مصالح بکار رفته در ساخت آن، و کیفیت فاصله نگهدارهای بتنی به مرغوبیت مصالح، طرح اختلاط و عمل‌آوری بتن مورد استفاده در ساخت فاصله نگهدار وابسته است. هدف این پژوهش بررسی احتمال عدم وجود چسبندگی بین بتن و فاصله نگهدار، کنترل تجمع سنگدانه‌های با قطر کوچکتر در مجاورت فاصله نگهدار (به عنوان ناهمگنی) و همچنین مطالعه اثر تفاوت خصوصیات فیزیکی و مکانیکی بتن و پلاستیک بر میزان نفوذپذیری در ناحیه قرارگیری فاصله نگهدار می‌باشد، که به روش مدل‌سازی آزمایشگاهی بررسی شده است. واضح است که با افزایش نفوذپذیری، پتانسیل خوردگی تشدید می‌یابد و منجر به کاهش عمر سرویس‌دهی سازه می‌شود. با توجه به اینکه در پروژه‌های عمرانی از هر جنس بتنی و پلاستیکی استفاده می‌شود، لذا هر دو مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

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 (جدول ۱)، شن ریز (جدول ۲) و شن درشت (جدول ۳) می باشد.

جدول ۱- دانه بندی ماسه

#۱۰۰	#۵۰	#۳۰	#۱۶	#۸	#۴	۳/۸ اینچ	نمره الک	
۰-۱۵	۵-۴۰	۱۵-۵۴	۴۰-۹۰	۶۰-۱۰۰	۸۹-۱۰۰	۱۰۰	حد استاندارد ^۱	درصد
۱	۵	۱۸	۴۵	۷۸	۱۰۰	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

جدول ۲- دانه بندی سنگدانه درشت (شن ریز)

#۴	۳/۸ اینچ	۱/۲ اینچ	۳/۴ اینچ	۱ اینچ	نمره الک	
۰-۵	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	حد استاندارد ^۱	درصد
۴	۱	۲۳	۹۳	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

جدول ۳- دانه بندی سنگدانه درشت (شن درشت)

#۴	۳/۸ اینچ	۱/۲ اینچ	۳/۴ اینچ	۱ اینچ	نمره الک	
۰-۵	۰-۱۵	۱۰-۴۰	۴۰-۸۵	۹۰-۱۰۰	حد استاندارد ^۱	درصد
۰	۰	۱۵	۵۸	۱۰۰	نتیجه آزمون	عبوری

۲-۱-۲ فاصله نگهدار

۲-۱-۲-۱- فاصله نگهدار بتنی

با توجه به اینکه فاصله نگهدارهای بتنی عمدتاً به شکل استوانه‌ای ساخته می‌شوند، جهت ساخت فاصله نگهدارهای بتنی بکار رفته در این پژوهش از قالب‌های استوانه‌ای (با جنس پی وی سی) استفاده گردید (شکل ۱). همچنین از طرح اختلاط فاصله نگهدارهای مورد استفاده در پروژه‌ی طرح توسعه بندر شهید رجایی به عنوان طرح اختلاط مبنا بهره 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 فاصله نگهدار تعیین شده است. در این پژوهش، در مجموع دو طرح اختلاط به شرح جدول ۴ ساخته شد. تفاوت این دو طرح اختلاط در نسبت آب به مواد سیمانی است. فاصله نگهدارهای مرغوب (S) با $\frac{w}{c} = 0.4$ و فاصله نگهدارهای نامرغوب (C) با $\frac{w}{c} = 0.5$ ساخته شدند.



شکل ۱- ساخت فاصله نگهدارهای بتنی

جدول ۴- مشخصات طرح اختلاط بتن فاصله نگهدارها

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

۲-۲-۱-۲- فاصله نگهدار پلاستیکی

فاصله نگهدارهای پلاستیکی مورد استفاده در این پژوهش، محصول شرکت همگرایان تولید (کپکو) می باشد که مطابق با استاندارد BS 7973-1:2001 تولید شده اند. با توجه به اینکه فاصله نگهدارهای پلاستیکی در مدل های متنوعی تولید می شوند، در این پژوهش از سه مدل پرکاربرد در سازه های بتنی به نام های ستاره ای^۲، خرک^۱، و خرک^۲ (شکل ۲) استفاده شد.



شکل ۲- فاصله نگهدار، به ترتیب از راست به چپ، ستاره ای، خرک ۱، خرک ۲

۳-۱-۲- سایر مصالح

سیمان مورد استفاده در ساخت بتن مصرفی این پژوهش، سیمان پورتلند تیپ ۲، محصول شرکت سیمان داراب می باشد. آب مصرف شده در این پژوهش آب شرب شهر بندرعباس می باشد، که با استاندارد ASTM C ۱۶۰۲ مطابقت دارد. فوق روان کننده مصرفی از نوع با پایه پلی کربوکسیلات و نام تجاری CP-WRM، محصول شرکت LG-chem می باشد.

²Wheelbar

³Maxichair

⁴Hardchair

۲-۲- طرح اختلاط

در این پژوهش، در مجموع دو طرح اختلاط به شرح جدول ۵ 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.

جدول ۵- مشخصات طرح‌های اختلاط

کد طرح	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)
4	۴۰۰	۰/۴	۱۰۶۹	۳۳۸/۱	۳۵۵/۵	۰/۹	۱۵
5	۴۰۰	۰/۵	۱۰۰۶/۶	۳۱۸/۳	۳۳۴/۷	۰/۰	۱۶

۲-۳- تعداد آزمون‌ها

در این پژوهش اثر دو مدل فاصله نگهدار 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 آزمون مکعبی ۱۵ سانتیمتری ساخته شد (تعداد ۴۸ آزمون برای هر طرح اختلاط)، که جزئیات آزمون‌ها در جدول ۶ ذکر شده است.

جدول ۶- تعداد و جزئیات آزمون‌ها برای یک طرح اختلاط

تعداد بر اساس شرایط عمل‌آوری		نوع آزمون	
۳ روز عمل‌آوری کارگاهی (N)	بدون عمل‌آوری (A)		
۳	۳	بتنی	دارای فاصله نگهدار
۳	۳		
۳	۳	پلاستیکی	دارای فاصله نگهدار
۳	۳		
۳	۳		
۶	۶	بدون فاصله نگهدار	
۳	۳		
۲۴	۲۴	مجموع	

۲-۴- ساخت آزمون‌ها

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 ۱۸ سانتیمتر قرار داشت. مراحل ساخت آزمون‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مراحل ساخت آزمونها

۵-۲- عمل آوری

جهت بررسی تاثیر شرایط عمل آوری بر نفوذپذیری سطحی بتن، آزمونها در دو دسته‌ی بدون عمل آوری (A) و عمل آوری کارگاهی (N) نگهداری شدند. انتخاب این دو حالت براساس شرایط استاندارد و شرایط غیر استاندارد می‌باشد. در عمل آوری کارگاهی، نگهداری بتن به مدت سه روز به وسیله‌ی گونی مرطوب و پوشش نایلونی به صورت همزمان انجام گرفت.

۶-۲- انجام آزمایشها

۱-۶-۲- بتن تازه

بر روی بتن تازه آزمایشهای اسلامپ (ASTM C ۱۴۳) و دما (ASTM C ۱۰۶۴) انجام گرفت. با توجه به این که دمای بتن تازه، پارامتر تأثیرگذاری بر مقاومت فشاری و جذب آب بتن می‌باشد [۹]، در محدوده ۲۵ الی ۲۸ درجه سلسیوس نگه داشته شد.

۲-۶-۲- بتن سختشده

۱-۲-۶-۲- مقاومت فشاری (ASTM C ۳۹)

در ساخت سازه‌های بتنی مهمترین معیار مرغوبیت بتن مقاومت فشاری آن می‌باشد. در این پروژه مقاومت فشاری آزمونها در سن حداقل ۲۸ روز نیز اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۷ ذکر شده است.

جدول ۷- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

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

۲-۲-۶-۲ نفوذ آب در بتن تحت فشار











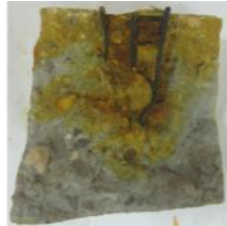



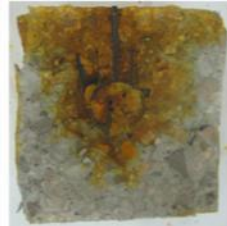



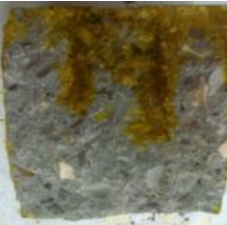

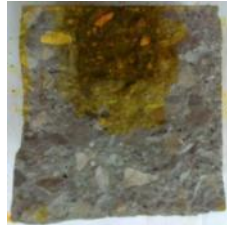
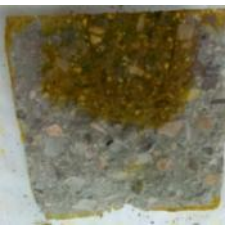

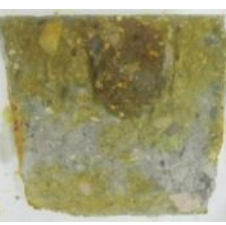
این آزمایش بر اساس (DIN ۱۰۴۸-۵) میزان نفوذپذیری بتن در برابر نفوذ آب تحت فشار را نشان می‌دهد. به طور معمول این آزمایش باید در زمانی که عمر بتن ۲۸ الی ۳۵ روز است انجام شود. آزمون به مدت سه روز از بالا یا پایین در تماس با آب تحت فشار 0.5 N/mm^2 قرار داده می‌شود. این فشار باید در کل دوره آزمایش ثابت نگاه 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 آزمون که در معرض فشار آب نیستند، جهت اطمینان از عدم بروز نشتی، می‌بایست 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 [۴].

به دلیل تاثیر تبخیر سطحی هنگام شکسته شدن نمونه‌ها، 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 آزمون بتنی از ترکیب Tri-sodium5 hydroxy1 (4- phenyl-4-(4- phenylazo) pyrazole-3-carboxylate) 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 آزمون‌های شکسته شده حذف می‌گردد، همچنین رد نفوذ پس از خشک شدن کامل سطح نیز به طور واضح مشخص است.

۳-۱- در آزمون‌های دارای فاصله نگهدار بتنی، نفوذپذیری آزمون‌ها در هر دو طرح اختلاط (کد $(\frac{W}{C} = 4/0)$) و (کد $(\frac{W}{C} = 5/0)$) و با هر دو شرایط عمل‌آوری N یا A ، برای آزمون‌های بدون فاصله نگهدار کمترین مقدار، و برای آزمون‌های دارای فاصله نگهدار مرغوب (S) و نامرغوب (C) به ترتیب افزایش یافت ($S < C$). یعنی نفوذپذیری آزمون‌های شاهد کمترین مقدار و آزمون‌های دارای فاصله نگهدار نامرغوب بیشترین مقدار است.

همچنین در آزمون‌های دارای فاصله نگهدار پلاستیکی، نفوذپذیری آزمون‌ها با طرح اختلاط کد $(\frac{W}{C} = 0/4)$ یا کد $(\frac{W}{C} = 0/5)$ در هر یک از شرایط عمل‌آوری N یا A ، برای آزمون‌های بدون فاصله نگهدار کمترین مقدار، و برای آزمون‌های دارای فاصله نگهدار ستاره‌ای، خرک ۱ و خرک ۲ به ترتیب افزایش یافت ($T < W < M < H$). یعنی نفوذپذیری آزمون‌های شاهد کمترین مقدار و آزمون‌های با فاصله نگهدار خرک ۲ بیشترین مقدار است.

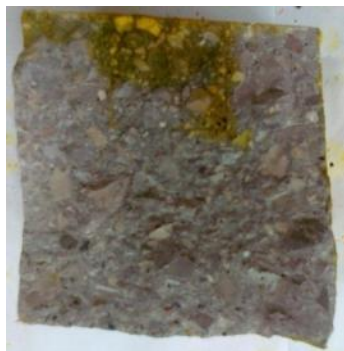
	$4N$ $\frac{w}{c} = 4/0$ عمل آوری کارگاهی	$4A$ $\frac{w}{c} = 4/0$ بدون عمل آوری	$5N$ $\frac{w}{c} = 5/0$ عمل آوری کارگاهی	$5A$ $\frac{w}{c} = 5/0$ بدون عمل آوری
T شاهد				
W ستاره ای				
M خرک ۱				
H خرک ۲				
S فاصله نگهدار بتنی مرغوب				
C فاصله نگهدار بتنی نامرغوب				

شکل ۴- نتایج آزمایش نفوذپذیری بر روی آزمون‌ها

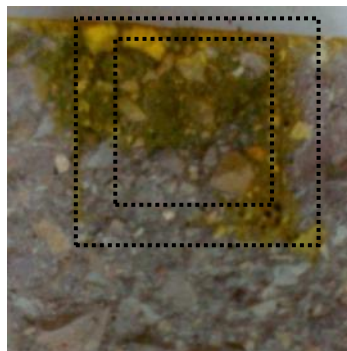
۳- نتیجه گیری و بحث

افزایش نفوذپذیری آزمون‌ها در هر یک از ستون‌های شکل ۴ قابل مشاهده است. براساس شکل ۴ علی‌رغم این که عمق نفوذ در تمام نمونه‌های شاهد ناچیز است (به جز ۵A)، نفوذپذیری در محل قرارگیری فاصله نگهدار به شدت افزایش می‌یابد.

در مرز فاصله نگهدار و بتن چسبندگی کافی وجود ندارد و لذا سیال از مرز مذکور به داخل بتن راه می‌یابد. این پدیده در شکل ۴ مشهود است. این امر با افزایش سطح لخت فاصله نگهدار (مرز بین فاصله نگهدار و بتن) تشدید می‌شود (شکل ۵). همچنین ضریب انبساط حرارتی فاصله نگهدار های پلاستیکی حدود ۱۶ برابر بتن است [۱۰]، که این اختلاف در زمان کاهش دما و تغییر حجم بتن و فاصله نگهدار منجر به گسترش ترک در مرز فاصله نگهدار و بتن خواهد شد (شکل ۵). لازم به ذکر است عرض ترک با افزایش دمای بتن‌ریزی، بزرگتر می‌شود [۱۰].



آزمونه با فاصله نگهدار مرغوب



ناحیه فاصله نگهدار بتنی



درز بین فاصله نگهدار و بتن

شکل ۵- عدم وجود چسبندگی کافی بین بتن و فاصله نگهدار بتنی



آزمونه با فاصله نگهدار



ناحیه فاصله نگهدار پلاستیکی



درز بین فاصله نگهدار و بتن

شکل ۶- عدم وجود چسبندگی کافی بین بتن و فاصله نگهدار پلاستیکی

۲-۳- نفوذپذیری در کنار فاصله نگهدارها برای هر دو طرح اختلاط در شرایط عمل‌آوری N (کارگاهی) کمتر از شرایط عمل‌آوری A (بدون عمل‌آوری) می‌باشد (شکل ۳). برای یک طرح اختلاط معین، عمل‌آوری مناسب بتن منتج به کاهش نفوذپذیری در مجاورت فاصله نگهدار و در مقابل عدم عمل‌آوری مناسب منجر به تشکیل ترک‌های انقباضی و افزایش نفوذپذیری می‌گردد. لذا عمق نفوذ در آزمون‌های با شرایط عمل‌آوری (N) کمتر از آزمون‌های عمل‌آوری نشده (A) می‌باشد.

۳-۳- نفوذپذیری در کنار فاصله نگهدارها در شرایط عمل‌آوری یکسان برای طرح اختلاط کد ۴ ($\frac{W}{C} = 4/0$) کمتر از طرح اختلاط کد ۵ ($\frac{W}{C} = 5/0$) است (ستون‌های ۱ و ۳ یا ۲ و ۴ از شکل ۳). مطابق انتظار با افزایش نسبت آب به سیمان عمق نفوذ در

کنار فاصله نگهدار هانیز افزایش یافت. اگر چه در آزمون‌های هر دو طرح اختلاط نفوذ تا انتهای فاصله نگهدار ادامه دارد، ولی شعاع نفوذ (نفوذ سیال در جهت عمود بر سطح جانبی فاصله نگهدار) در طرح اختلاط کد ۵ به مراتب بیشتر از کد ۴ است.

با توجه به اینکه نفوذپذیری بتن مهمترین معیار در تعیین دوام بتن می‌باشد [۶]، افزایش موضعی نفوذپذیری در نواحی قرارگیری فاصله نگهدار منجر به کاهش دوام بتن بطور موضعی شده و تسریع 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.

۳-۴- نفوذپذیری در کنار فاصله نگهدار ها برای هر دو طرح اختلاط در شرایط عمل‌آوری N (کارگاهی) کمتر از شرایط عمل‌آوری A (بدون عمل‌آوری) می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۶). برای یک طرح اختلاط معین، عمل‌آوری مناسب بتن منتج به کاهش نفوذپذیری در مجاورت فاصله نگهدار و در مقابل عدم عمل‌آوری مناسب منجر به تشکیل ترک‌های انقباضی و افزایش نفوذپذیری می‌گردد. لذا عمق نفوذ در آزمون‌های با شرایط عمل‌آوری N کمتر از آزمون‌های عمل‌آوری نشده (A) می‌باشد.

۳-۵- نفوذپذیری در کنار فاصله نگهدارها در شرایط عمل‌آوری یکسان برای طرح اختلاط کد ۴ ($\frac{w}{c} = 4/0$) کمتر از طرح اختلاط کد ۵ ($\frac{w}{c} = 5/0$) است (شکل ۴). مطابق انتظار با افزایش نسبت آب به سیمان عمق نفوذ در کنار فاصله نگهدار ها نیز افزایش یافت. اگر چه در آزمون‌های M و H در هر دو طرح اختلاط نفوذ تا انتهای فاصله نگهدار ادامه دارد، ولی شعاع نفوذ (نفوذ سیال در جهت عمود بر سطح فاصله نگهدار) در طرح اختلاط کد ۵ به مراتب بیشتر از کد ۴ است.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از فاصله نگهدارها علی‌رغم تسهیل رعایت پوشش بتنی آرماتور، به طور موضعی افزایش عمق نفوذ را در پی خواهد داشت. مطابق با نتایج آزمایشگاهی نفوذپذیری برای آزمون‌های بدون فاصله نگهدار کمترین مقدار و برای آزمون‌های دارای فاصله نگهدار بتنی و پلاستیکی به ترتیب افزایش می‌یابد. بنابراین استفاده از فاصله نگهدارهای پلاستیکی در نواحی با شرایط محیطی مهاجم، برای نمونه حاشیه‌ی خلیج فارس، منجر به افزایش خطر نفوذ عوامل خوردنده می‌گردد. با توجه به اینکه عمق نفوذ در کنار فاصله نگهدارها دارای رابطه معکوس با شرایط عمل‌آوری نمونه‌ها می‌باشد، توصیه می‌گردد جهت ساخت سازه‌های در مجاورت عوامل محیطی مهاجم عمل‌آوری کارگاهی به دقت انجام شود. نفوذپذیری بتن مهمترین معیار در تعیین دوام بتن می‌باشد [۶]، افزایش نفوذپذیری در نواحی قرارگیری فاصله نگهدار، 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. این پدیده به افزایش پتانسیل خوردگی و کاهش عمر سرویس‌دهی پیش‌بینی شده سازه کمک می‌کند. لذا پیشنهاد می‌گردد جهت اجرای سازه‌های بتنی در تماس با عوامل خوردنده ضمن ممانعت از بکار بردن فاصله نگهدارهای پلاستیکی، از فاصله نگهدارهای بتنی با همان طرح اختلاط بتن مصرفی پروژه و در اشکال غیرمنشوری (جهت افزایش طول درز نفوذ و ایجاد چسبندگی بیشتر) استفاده شود.

- [۱] محمد شکرچی زاده، آزمایشهای بتن خودتراکم و تفسیر نتایج به دست آمده در برآورد پایداری بتن تازه، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، ۱۳۸۵.
- [2] Sobhani, J., "Durability model for estimating the corrosion of reinforced concrete structures", 4th international conference on concrete and development, 2013
- [۳] نادری، محمود، طاهری، مهدی، پاکشکار، شهاب، بررسی آزمایشگاهی تعیین نفوذپذیری بتن به روش سیلندریکال چمبر، اولین کنفرانس بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، گیلان، بهار ۱۳۹۰.
- [4] Safehian M., Ramezani pour A.A., "Assessment of the long term chloride penetration and prediction of RC structure service life in the Persian Gulf region", 4th international conference on concrete and development, 2013
- [۵] رمضانپور، علی اکبر، پرهیزکار، طیبه، پورخورشیدی، علیرضا، رئیس قاسمی، امیرمازیار، تاثیر شرایط محیطی سواحل جنوبی ایران بر روی دوام دراز مدت بتن با سیمان ها و پوزولان های مختلف، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، گزارش تحقیقاتی گ- ۴۳۴، ۱۳۸۵.
- [6] Baykal, M., Implementation of durability models for portland cement concrete into performance based specifications, The University of Texas at Austin, 2000.
- [7] Savas, Bz., Effects of microstructure on durability of concrete, Raleigh, NC: North Carolina State University, 1999.
- [8] Tabatabaei Aghda, S.T., Baniasadizade, M., "Comparison of test methods of evaluation of concrete durability in the Persian Gulf environment", 4th international conference on concrete and development, 2013
- [۹] هرمز فامیلی، محسن تدین، محمدرضا خوش سیمما، 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.
- [10] Levitt, M., Concrete Materials: Problems and Solutions, E & FN Spon, 1997.