

عوامل مؤثر بر طول عمر گنبدهای بتنی مسلح (پوسته‌ایی)

جمشید اسماعیلی*

دانشیار دانشکده عمران - دانشگاه تبریز

حسین کریم زاده

دانشجوی دکتری معماری اسلامی - دانشگاه هنر اسلامی تبریز

محمد رضا چناقلو

استاد دانشکده عمران - دانشگاه صنعتی سهند

چکیده

در تحقیق حاضر اثر چند عامل مهم تاثیر گذار در ماندگاری سازه های بتنی پوسته ایی خاص نظیر گنبد مساجد بطور تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. یخ زدن و آب شدن و خوردگی میلگردها در داخل بتن شاید مهمترین عامل کاهش عملکرد مورد انتظار از بتن مخصوصا از نقطه نظر ظاهر و زیبایی در سازه ای پوسته ایی باشد. در ادامه مهمترین عوامل تاثیر گذار بر دوام بتن پوشش میلگرد و مخصوصا ترک خوردگی پوشش بتنی میلگردها در اثر خوردگی میلگرد، بعنوان اولین اثر قابل مشاهده خوردگی، نظیر ضخامت پوشش، اندازه و موقعیت میلگرد، نسبت آب به سیمان، تخلخل و نفوذ پذیری بتن مورد بررسی قرار گرفته است. مخلوط های بتنی با سه نسبت آب به سیمان متفاوت هر کدام با سه اندازه حداکثر سنگدانه مصرفی در سه پوشش متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج نشان میدهند که نفوذ پذیری و تخلخل بتن تابع نسبت آب به سیمان مصرفی و کیفیت تراکم بوده و در بتن پوشش روی میلگردها علاوه بر آنها تحت تاثیر شدید نسبت ضخامت پوشش بتنی به اندازه حداکثر دانه مصرفی (C/a) قرار میگیرد. مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی پوشش بتنی نیز با افزایش نسبت آب به سیمان افزایش یافته و تغییرات آن بیشتر به تغییرات تخلخل بتن بستگی داشته و نسبت به تغییرات مقاومت حساسیت کمی دارد و کنترل دوام بتن پوشش مخصوصا در مقابل خوردگی میلگرد علاوه بر کیفیت بتن مصرفی، توجه ویژه ایی را به کیفیت اجرایی بتن پوشش میلگردها می طلبد.

واژه‌های کلیدی: گنبد مساجد، پوسته بتنی، بتن مسلح، خوردگی، ترک خوردگی، نفوذ پذیری و تخلخل.

* نویسنده مسئول: esmailij@yahoo.co.uk

۱- مقدمه

فرم‌ها به وسیله مواد و مصالح نقش خود را ایفا می‌کنند. در گذشته تا زمانی که تکنیک مدرن خیلی از توانایی‌های امروزی را ممکن نساخته بود، این مصالح و مواد بودند که فرم را مشخص می‌کردند و به فضای معماری شکل می‌دادند. در همین زمینه «آگوست پره» چنین گفته است: با جلال و شکوه راستی است که بنا زیبایی را به دست می‌آورد. در این جا منظور وی از راستی یا صداقت، تعریف فرم بر پایه مواد و مصالح و استفاده مناسب از آن‌ها در امر ساخت و ساز است. هر ماده در بردارنده توان بالقوه ساختاری خاص خود است و از نظر فرم‌پذیری خواص ویژه‌ای دارد. این بدان معنی است که هر ماده‌ای فرم خاص خود را می‌طلبد و برخی فرم‌های حجمی و فضایی خاص خود را مطرح می‌سازد و بدین ترتیب صورت فضای معماری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. [۴]

بتن به عنوان مصالح ساختمانی غالب در گستره‌ای وسیع در انواع کاربردهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در ساختمان استفاده می‌شود، و با توجه به قابلیت‌های آن در تأمین شکل‌های خاص مورد نظر معماری در سازه‌های پوسته‌ای از قبیل گنبد‌ها، پوسته‌های استوانه‌ای، زین اسبی و شکل‌های خاص حرف اول را می‌زند و روز به روز استفاده از بتن به دلیل قابلیت انعطاف پذیری آن رو به افزایش است (شکل ۱). خصوصیات مکانیکی بسیار خوب بتن به ویژه مقاومت فشاری قابل حصول بسیار بالا در آن باعث می‌شود سازه‌های پوسته‌بندی که به دلیل هندسه سازه در اکثر مقاطع زیر بارهای وارده دارای تنش‌های فشاری هستند ابعاد بسیار ظریفی داشته و به زیبایی سازه اضافه گردد. به دلیل اهمیت سازه‌های پوسته‌ای خاص نظیر گنبد مساجد کیفیت بتن مصرفی جهت حفظ زیبایی سازه و افزایش طول عمر سازه حائز اهمیت خاصی می‌باشد. سال‌ها مقاومت بتن، به ویژه مقاومت فشاری آن، به عنوان معیار ارزیابی کیفیت بتن‌های مصرفی شناخته می‌شد. به عبارتی بتنی خوب تلقی می‌شد که مقاومت بالایی داشته باشد. و این در حالی است که در دهه‌های اخیر برای سازه‌هایی پوسته‌ای در اکثر موارد مشکل مقاومت وجود نداشته بلکه به دلیل وجود عوامل مخرب متعدد، ماندگاری سازه‌ها و حفظ شرایط اولیه آن در طول زمان مهم‌تر شده است. چرا که در چند دهه گذشته بسیاری از سازه‌های بتنی ساخته شده در مدت زمان بسیار کمی خرابی‌های مختلفی از قبیل ترک خوردگی، متلاشی شدن ناشی انبساط غیر عادی و یا از بین رفتن انسجام بتن و غیره را تجربه کرده و عملکرد مناسب خود را در مدت کوتاهی از دست داده‌اند.

معماری اسلامی ایران، همچون پدیده‌های طبیعی که از الگویی خاص برای هر موجود یا شیء پیروی می‌کنند، الگویی خاص برای هر نوع معماری از قبیل مسجد، خانه، کارونسرا، بازار و امثال آن دارد. این الگو حاصل تجربیات معماران در ادوار زمانی پی در پی است که با اصلاح کردن و بهبود بخشیدن به طرح‌های اولیه حاصل شده است. به طور مثال، می‌توان الگوی مساجد اسلامی ایران را نام برد. [۱] فلذا این الگوها، که برخاسته از سنت و فرهنگ جامعه اسلامی - ایرانی مان است از ضرورت‌هایی است که باید مورد توجه طراحان امروزی قرار گیرد چرا که داشتن عوامل بنیادی، فرهنگی و هنری در بنا، یک اثر ساختمانی معمولی و بی روح را به سوی یک معماری کامل و شاخص سوق می‌دهد. اثری که آرمان-ها، تاریخ و فرهنگ، ذوق و اندیشه و هنر یک جامعه در آن نهفته است. [۲]

از طرفی این الگوها با خود فرم‌هایی را وارد معماری می‌کنند که با گذشت زمان به عنوان عنصر نشانه آن بناها شناخته می‌شوند مانند گنبد مساجد، لذا توجه به این نوع فرم‌ها حتی در طراحی و ساخت مساجد امروز کشورمان از اهمیت خاصی برخوردار است. البته باید به این نکته ظریف توجه کرد که، این به معنای استفاده از سیستم‌های ساخت سنتی نمی‌باشد ولی "پرداختن به نکته‌های هنر امروز، بدون شناختن نکته‌های هنر گذشتگان کامل نیست" [۳] مهندسان امروز بر خلاف مهندسان نسل‌های پیشین در پشت صحنه به فعالیت نمی‌پردازند. مهندس امروزی به هويت نیاز دارد، او نیاز دارد تا در قبال اثری که طراحی نموده مسئول شناخته شود. لذا معماران و مهندسان سازه باید به این نکته توجه کنند که برای ماندگاری بیشتر و بهتر چنین فرم‌هایی نه تنها انتخاب مصالح مصرفی مناسب با شرایط محیطی و ... ضروری است بلکه توجه به روش اجرا و مراحل ساخت بنا باید از همان مراحل اولیه طراحی مورد توجه قرار گیرد چرا که بر فرم معماری و زیبایی ماندگار آن تأثیر مستقیمی می‌گذارد و توجه به چنین مسائلی، هزینه‌های سنگین و گاه ناشدنی ترمیم و بازسازی آن را به حداقل می‌رساند. لذا شناخت و آشنایی با ویژگی‌های مصالح و قابلیت‌ها و روش‌های اجرا در پروژه‌های خاص عمومی مثل مساجد از اهمیت ویژه‌ای برای معماران برخوردار است. ویژگی‌های ذاتی مواد و مصالح و نیز شیوه به کارگیری آن‌ها، نقش تعیین کننده‌ای، در تعریف فرم و فضای معماری دارند، چنانکه که می‌توان گفت: در شکل‌گیری مکان،



شکل ۱- گنبد بتنی مصلی تهران و مسجد کلن آلمان

اگر چه سازه بتنی قدیمی وجود دارند که هنوز شرایط اولیه خود را حفظ کرده و دوام بسیار مناسبی نسبت به سازه‌های بتن آرمه ساخته شده در سال‌های اخیر از خود نشان داده‌اند. و دلیل این امر وجود عوامل تأثیر گذار متعددی می‌باشد که به از بین رفتن انسجام و کاهش دوام بتن کمک می‌کنند دلیل این امر تغییر شرایط محیطی، افزایش آلودگی، پیشرفت تکنولوژی بتن و تغییر بافت سیمان‌های جدید و غیره می‌باشد. از عوامل مهم خرابی در بتن می‌توان به اثر سولفات‌ها، اسیدها، واکنش قلیایی سیلیس در بتن و یخ زدن و آب شدن‌های متوالی از نظر ایجاد خرابی مستقیم در ساختار بتن و اثر کرناسیون بتن و کلریدها از جنبه خوردگی میلگرد در بتن و در نتیجه متلاشی کردن بتن پوشش و از بین رفتن انسجام بتن و میلگرد اشاره نمود. تحقیقات انجام گرفته نشان می‌دهد که از بین عوامل فوق خوردگی میلگرد مهم‌ترین عامل تأثیر گذار بر دوام سازه‌های بتن آرمه بوده و از این نظر مهم‌ترین چالش سازه‌های بتن آرمه از نظر ماندگاری می‌باشد.

به نظر می‌رسد به دلیل موقعیت سازه‌های پوسته‌ای مخصوصاً گنبد ها خوردگی میلگرد ها و یخ زدن و آب شدن از نظر دوام اهمیت ویژه ای داشته باشند. لذا در این مقاله سعی شده به استناد نتایج آزمایشی بعمل آمده، ضمن بررسی تأثیر عوامل مختلف بر خوردگی میلگرد در بتن به عنوان مؤثر ترین عامل بر دوام بتن، راه‌حلهایی مؤثر و ساده ای برای افزایش طول عمر سازه‌های بتن آرمه مخصوصاً پوسته‌ها ارائه گردد.

اثرات خوردگی میلگرد در بتن از نظر مقاومت سازه چندان تعیین کننده نیست ولی از نظر شکل ظاهر بسته به نوع بنا می‌تواند دارای اهمیت‌های متفاوتی باشد به عنوان مثال خرابی‌هایی که در شکل ۲ نشان داده شده اند صورت ظاهری بتن را از بین برده است که این چنین مشکلاتی هویت بناهای پوسته‌ای را زیر سوال برده و هزینه بسیار بالا و فن آوری خاصی را برای ترمیم می‌طلبد فلذا توجه به نکات اجرایی خاص می‌تواند از بروز همچون مشکلاتی جلوگیری کند.

زوال و خرابی سازه‌های بتن آرمه (RCS) در نتیجه ی خوردگی میلگرد ها از اوایل قرن بیستم شناخته شد و هم اکنون به معضل بزرگی تبدیل گشته است. مشکلات رو به ازدیاد دوام RCS ناشی از خوردگی میلگردها ی مربوطه تغییراتی چند است که در تکنولوژی بتن و شرایط محیطی اتفاق افتاده است.



شکل ۲- اثرات خوردگی میلگرد در بتن پوشش سازه‌های بتن آرمه

میلگردهای خورده نشده خیلی تغییر نکرده و کاهش چندانی نشان نمی دهد [۵].

بنابراین مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی بتن پوشش و عوامل موثر بر آن نسبت به ارزیابی اثرات سازه ای خوردگی میلگردها در سازه های بتن آرمه دارای اهمیت زیادتری می باشد. عوامل کنترل کننده ی مقدار خوردگی مورد نیاز میلگردها برای ترک خوردن بتن پوشش توسط محققین زیادی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. [۵، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۶، ۱۴]. عوامل متعددی نظیر نسبت آب به سیمان (W/C)، ضخامت پوشش بتنی میلگردها، نسبت ضخامت پوشش به قطر میلگرد، نفوذ پذیری و تخلخل بتن پوشش بر مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی بتن پوشش موثر ظاهر شده اند. در اکثر مطالعات انجام گرفته رابطه مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی و عوامل موثر بر آن با در نظر گرفتن مقاومت بتن پوشش مورد بررسی قرار گرفته است. این بدین دلیل است که در نتایج حاصله توسط محققین، مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی تابعی از روند تغییرات مقاومت بتن پوشش بر حسب نسبت آب به سیمان (W/C) ظاهر شده است و روند تغییرات انتظارات آنها را تایید کرده است. با این حال فرض این که عامل اصلی کنترل کننده مقدرا خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی، مقاومت بتن پوشش میباشد نتایج کسب شده توسط محققین فوق را به خوبی توجیه نمی کند [۹، ۱۰، ۱۴] و اکنون نتایج متضاد زیادی وجود دارد که با فرض مقاومت بتن پوشش به عنوان عامل اصلی کنترل کننده مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی توجیه پذیر نیستند.

۲- اهمیت تحقیق

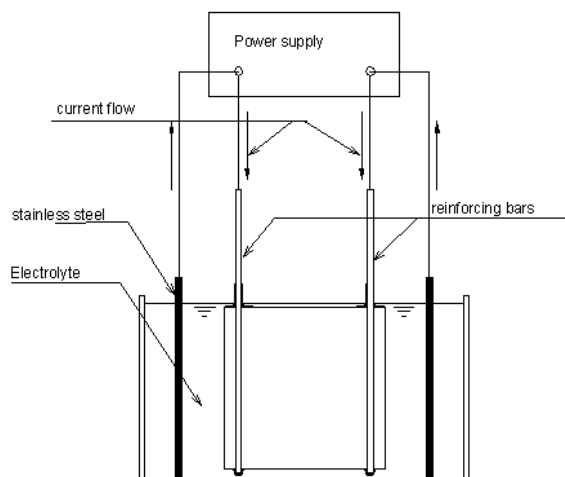
خوردگی میلگرد در بتن خرابی های جدی در سازه های بتن آرمه در سراسر دنیا ایجاد کرده است. در سال های اخیر نیز خرابیهای قابل توجهی در سطح بناهای معماری مختلف مشاهده می شود که مربوط به خوردگی میلگرد ها می باشد. با توجه به اهمیت بالای زیبایی در سازه های نظیر پوسته ها و استفاده از بتن به عنوان مصالح حاکم در ساخت این نوع بنا ها لازم است موارد مربوط به ماندگاری بتن در این بناها بهتر شناخته شوند و راه حل های موثری برای افزایش دوام بتن در سازه های فوق ارائه گردد که مهم ترین

تحقیقات نشان داده اند اثرات سازه ای خوردگی میلگردها در سازه های بتن مسلح در مقایسه با اثرات آن بر نما و دوام بتن قابل ملاحظه نمی باشند و این امر اهمیت خود را در بناهای معماری که زیبایی و نما نقش اول را در اهداف طراحی المان های فوق بازی می کند، دو چندان نشان می دهد.

به دلیل اثرات بسیار بزرگ خوردگی، میلگردها بر دوام RCS و هزینه های سنگین مورد نیاز برای تعمیر و بازسازی سازه هایی نظیر: بناهای یادمانی، پل ها، سازه های دریایی و پارکینگ ها، مطالعات آزمایشگاهی بسیار زیادی در سطح بین المللی در مورد خوردگی میلگرد ها و اثرات جانبی آن صورت پذیرفته است. با این حال هم اکنون سوالات بسیار زیادی وجود دارد که نیاز به پاسخ دارند نظیر نحوه ی کاربرد نتایج آزمایشگاهی که در شرایط متفاوت حاصل شده اند، در نمونه های واقعی و همچنین توجیه نتایج متضاد حاصل شده در بعضی از مطالعات انجام گرفته که در مقالات منتشر شده اند.

جنبه های متفاوت اثرات سازه ای خوردگی میلگردها در RCS توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است. در حالت کلی خوردگی میلگردها در بتن منجر به تغییر مقطع میلگردها و کاهش ارتباط آن با بتن اطراف میلگردها و ترک خوردگی و کنده شدن بتن پوشش میلگردها شده و در نتیجه به تغییر در زیبایی و رفتار سازه ای المان مربوطه در RCS منتهی می گردد. با این حال رابطه بین سطوح مختلف خوردگی میلگردها و اثرات سازه ای آنها در RCS در مطالعات مختلف بسیار متفاوت گزارش شده است. ترک خوردگی بتن پوشش اولین علامت قابل مشاهده خوردگی میلگردها در بتن می باشد. طبق نتایج تحقیقات انجام گرفته برای ترک خوردگی بتن پوشش مقدار خوردگی (میلگرد) کمی مورد نیاز است که منجر به تغییر چندان قابل ملاحظه ای در مقاومت نهایی المان های بتن مسلح نمی گردد. اثر بسیار مهم خوردگی میلگردها مربوط به از بین رفتن زیبایی و انسجام سازه های بتن آرمه از نظر چسبندگی و مهار میلگردها و بتن می باشد. تا قبل از ترک خوردگی افزایش در میزان خوردگی تا محدودی معینی به افزایش چسبندگی مقاومت مهاری میلگردهای خورده شده نسبت به میلگردهای معمولی در بتن منجر می گردد [۵، ۶، ۷، ۸]. با این حال در مرحله ی ترک خوردگی بتن پوشش، مقاومت چسبندگی میلگرد ها و بتن نسبت به مقاومت چسبندگی

نامگذاری نمونه ها C نمایانگر پوشش و عدد جلوی آن ضخامت پوشش به میلیمتر و a نمایانگر اندازه حداکثر دانه مصرفی و عدد جلوی آن اندازه آن به میلیمتر و Main به معنی بتن اصلی می باشد. بعنوان مثال 16,a20 یعنی بتن پوشش به ضخامت ۱۶ میلیمتر و با حداکثر اندازه سنگدانه ۲۰ میلیمتر. علامت c/d نشانگر نسبت ضخامت پوشش به قطر میلگرد مصرفی و w/c نشانگر نسبت آب به سیمان می باشد.



شکل ۳- نمایش شماتیک آزمایش خوردگی

جدول ۱- خلاصه ای از روند انجام آزمایشها

تست	ضخامت کاور (mm)	w/c	a (mm)	جریان (mA/cm ²)
خوردگی منجر به ترک خوردگی	۸	۰,۷	۵	۰,۲۵
	۱۲	۰,۵۴	۱۰	
	۱۶	۰,۴۲	۲۰	
تخلخل	۸	۰,۷	۵	-
	۱۲	۰,۵۴	۱۰	
	۱۶	۰,۴۲	۲۰	
نفوذ پذیری	۸	۰,۷	۵	-
	۱۲	۰,۵۴	۱۰	
	۱۶	۰,۴۲	۲۰	

جدول ۲- مشخصات مخلوط های بتنی

اجزاء مخلوط بتن	مقادیر مخلوط kg/m ³								
	W/C=۰,۷			W/C=۰,۵۴			W/C=۰,۴۲		
	a=۵ mm	a=۱۰ mm	a=۲۰ mm	a=۵ mm	a=۱۰ mm	a=۲۰ mm	a=۵ mm	a=۱۰ mm	a=۲۰ mm
آب kg	۲۶۳	۲۰۷	۱۹۰	۲۶۳	۲۰۷	۱۹۰	۲۶۳	۲۰۷	۱۹۰
سیمان kg	۳۷۶	۲۹۶	۲۷۱	۴۸۸	۳۸۳	۳۵۲	۶۲۶	۴۹۳	۴۵۲
شن kg	۱۱۲۹	۸۰۵	۱۰۵۶	۹۷۷	۸۰۵	۱۰۵۶	۹۳۰	۸۰۵	۱۰۵۶
% جذب آب	۴/۶۳	۱/۶۴	۱/۶۴	۴/۶۳	۱/۶۴	۱/۶۴	۴/۶۳	۱/۶۴	۱/۶۴
kg ماسه	۶۹۰	۸۷۰	۷۵۸	۷۴۲	۸۵۲	۶۸۹	۷۹۰	۷۶۰	۶۰۵
% جذب آب	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶	۱/۱۶
مقاومت فشاری f _c kg/cm ²	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۴۹۰	۴۹۰	۴۹۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰

آن ها مربوط به اثرات خوردگی و در درجه اهمیت پایین تر اثر زدن و آب شدن می باشند. اگر چه مطالعات زیادی در مورد خوردگی میلگردها و عوارض موثر بر آن انجام پذیرفته است ، نتایج متضاد حاصل از مطالعات مختلف در مورد اثرات سازه ای خوردگی میلگرد و میزان خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردن بتن پوشش نشان می دهد که تحقیقات بیشتری بایستی انجام بگیرد تا عامل اصلی کنترل کننده نتایج حاصل از تحقیقات مختلف را بر رنگ و مشخص نماید. این تحقیق به منظور مشخص کردن عامل اصلی کنترل کننده مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی بتن پوشش و در نتیجه راه حل های کاهش اثرات زیانبار آن و افزایش طول عمر سازه صورت پذیرفته است.

۳- آزمایش ها و مواد مورد نیاز

۳-۱- آزمایش خوردگی میلگرد و نمونه های آزمایشی

هدف از آزمایش خوردگی تعیین میزان خوردگی میلگرد مورد نیاز ترک خوردگی بتن پوشش روی میلگردها می باشد چرا که بر طبق نتیجه تحقیقات انجام گرفته توسط بعضی محققین [۵، ۶]، در مرحله ابتدایی ترک خوردگی بتن پوشش در اثر خوردگی میلگرد در بتن اثرات سازه ای قابل ملاحظه ای مخصوصا از نظر انسجام و چسبندگی بتن و فولاد نخواهیم داشت. عبارتی دیگر در مرحله آغازین ترک خوردگی بتن ناشی از خوردگی میتوان با آگاهی از خطر و ارائه یک راه حل مناسب ترمیمی جلو آسیب های احتمالی آنرا گرفت. و لذا در این تحقیق به موضوع خوردگی میلگرد بعنوان تهدید اصلی دوام سازه های بتنی با تمرکز بر مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی پوشش بتن پرداخته می شود.

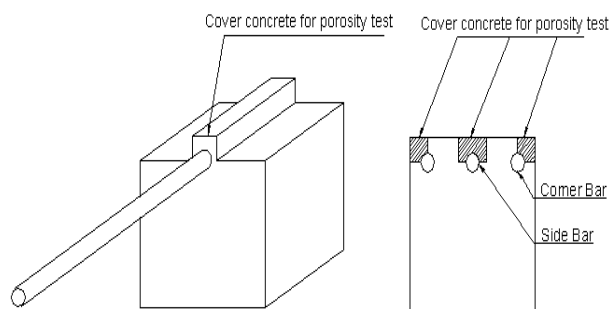
آزمایش های خوردگی با نمونه های بتنی مکعبی ۱۵۰ میلی متر با میلگردهایی به قطر ۸ میلی متر با سه پوشش مختلف انجام گرفت. در این آزمایش ها مخلوط های بتنی با سنگدانه های حداکثر اندازه ۵ میلی متر و ۱۰ میلی متر و ۲۰ میلی متر و با نسبت آب به سیمانهای ۰,۴۲، ۰,۵۴، ۰,۷ و با کارائی تقریباً یکنواخت مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳). نوع سیمان مصرفی پرتلند معمولی (OPC) بوده است. جریان با شدت ثابت ۰,۲۵ mA/cm² برای تسریع خوردگی استفاده شده است. خلاصه آزمایش ها و مشخصات مخلوط های مورد استفاده در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. در

۲-۳- تخلخل بتن پوشش و بتن اصلی

تخلخل بتن به عنوان فضایی برای جای گیری محصولات خوردگی قبل از ترک خوردگی بتن پوشش میلگردها و عامل کاهش فشار ناشی از افزایش حجم زنگ میلگرد عمل میکند

تغییرات تخلخل بتن پوشش (روی میلگرد) و اصلی (بتن در نواحی دور از میلگردها) با در نظر گرفتن ضخامت بتن پوشش، نسبت آب به سیمان و اندازه حداکثر سنگدانه‌ها اندازه گیری شد (شکل های ۵، ۶ و ۷).

اثرات سه نوع ضخامت و نسبت آب و سیمان و سنگدانه در این داده ها لحاظ شده است. تخلخل بتن به صورت نسبت فضای خالی واقعی نمونه بتن (اختلاف تفاضل وزن خشک و وزن در آب بتن نمونه با تفاضل وزن نمونه در حالت اشباع با سطح خشک مصالح (s.s.d) در بیرون و درون آب) به حجم هندسی نمونه (تفاضل وزن نمونه بتنی در حالت اشباع با سطح خشک (s.s.d) در بیرون و درون آب) به صورت درصد تعریف شده است.



شکل ۴- نمایش شماتیک محل نمونه های آزمایش تخلخل

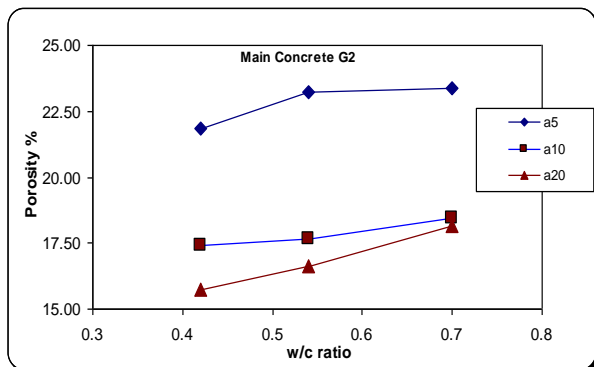
۳-۳- نفوذ پذیری بتن پوشش و بتن اصلی

آزمایش نفوذ پذیری انجام گرفته روی نمونه‌ها نفوذ پذیری هوا بوده و بر اساس لگاریتم میزان کاهش فشار هوای ایجاد شده اولیه در واحد زمان تعریف شده است. تغییرات نفوذ پذیری بتن پوشش (روی میلگرد) و اصلی (بتن در نواحی دور از میلگردها) با در نظر گرفتن ضخامت بتن پوشش، نسبت آب به سیمان و اندازه حداکثر سنگدانه‌ها اندازه گیری شد. اثرات سه نوع ضخامت و نسبت آب و سیمان و سنگدانه در این داده ها لحاظ شده است.

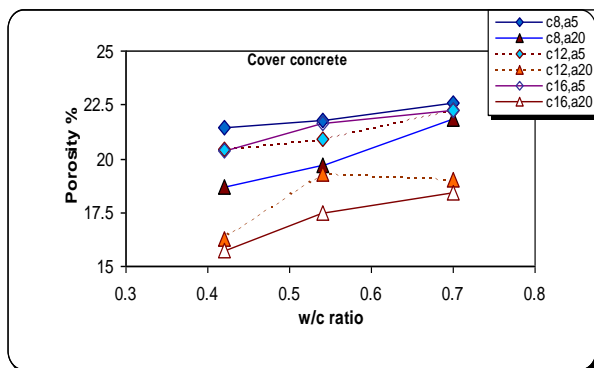
۴- نتایج

۴-۱- تغییرات تخلخل بتن پوشش و بتن اصلی بر اساس عوامل مختلف

تخلخل بتن پوشش و اصلی تابعی از نسبت آب به سیمان، حداکثر اندازه سنگدانه و نسبت ضخامت بتن پوشش به حداکثر اندازه سنگدانه (C/a) ظاهر شد. همانطوری که در شکل های ۵ و ۶ نشان داده شده است، برای اندازه مشخص سنگدانه‌ها و ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها، تخلخل بتن پوشش و بتن اصلی به صورت تقریباً خطی نسبت به W/C تغییر می کند. دلیل این افزایش در تخلخل به طور واضح تغییرات مربوط به فضای اشغالی توسط آب آزاد اولیه نسبت به سیمان در مخلوط های مختلف با کارایی مشخص می باشد. به نظر میرسد اختلاف تخلخل ملاحظه شده برای نسبت آب به سیمان مشخص در شکل های فوق مربوط به تخلخل خود سنگدانه‌ها باشد جذب آب دانه های ریز خیلی بیشتر تر از دانه های بزرگ تر هست (جدول ۲).



شکل ۵- رابطه بین تخلخل بتن و نسبت آب به سیمان (W/C) در بتن اصلی



شکل ۶- رابطه بین تخلخل بتن و نسبت آب به سیمان (W/C) در بتن پوشش میلگردها

گرفته است و از طرف دیگر به عنوان شاخصی برای ارزیابی مقایسه ایی فضاهای خالی قابل دسترس بتن که در خوردگی مورد نیاز میلگرد برای ترک خوردگی موثر است مورد آزمایش قرار گرفته است

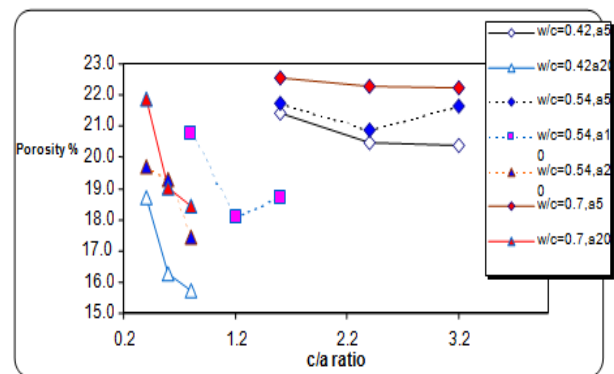
انجام آزمایش های نفوذ پذیری از این جهت مهم هستند که می توانند نفوذ پذیری و قابل دسترس بودن فضاهای خالی موجود در بتن را نشان دهند. به عبارتی اگر روند تغییرات تخلخل و نفوذ پذیری بتن نسبت به عواملی مشابه باشند می توان به طور نسبی به تغییرات فضاهای خالی قابل نفوذ بتن پی برد. به عنوان مثال اگر عواملی تخلخل بتن پوشش را افزایش دهند بررسی نفوذ پذیری می تواند نشان دهد که تغییرات فضاهای موجود در جهت تغییرات فضاهای نفوذ پذیر ارزیابی شوند یا نه. قابلیت دسترسی و نفوذ پذیری فضاهای خالی در مقدار انباشت محصول خوردگی و نفوذ عوامل مهاجم خارج از بتن تاثیر مستقیم داشته که در ارزیابی دوام بتن مخصوصا از نظر خرابی های ناشی از خوردگی میلگرد در مناطق گرم و مرطوب و پدیده یخ زدن و آب شدن در مناطق سردسیر بعنوان عوامل اصلی تهدید کننده دوام سازه های بتنی بویژه پوسته ها میباشند.

همانطور که در شکل ۸ قابل تشخیص است، برای نسبت های c/a کوچکتر از $1/6$ ، نفوذ پذیری بتن پوشش برای نسبت آب به سیمان های استفاده شده، به شدت تابع نسبت ضخامت بتن پوشش روی میلگردها به اندازه حداکثر سنگدانه مصرفی میباشد. و این امر نشان میدهد برای کاهش نفوذ پذیری بتن پوشش و افزایش ماندگاری سازه های بتن آرمه مخصوصا پوسته ها که ممکن است در معرض نفوذ آب و در نتیجه یخ زدن و آب شدن و یا خطر خوردگی میلگرد قرار گیرند و ضخامت پوشش بتنی کمتری دارند بایستی به اندازه حداکثر دانه مصرفی توجه ویژه ایی شود.

شکل ۹ نشان می دهد که نفوذ پذیری بتن پوشش و اصلی تحت تاثیر نسبت آب به سیمان بتن مصرفی بوده و مقدار آن برای نسبت های آب به سیمان بالاتر از $0/55$ به شدت افزایش پیدا می کند و این نسبت به عنوان یک نقطه بحرانی برای کیفیت بتن های مصرفی از نظر نفوذ پذیری و در نتیجه دوام آن میباشد. و از طرفی دیگر با کاهش نسبت آب به سیمان تا نسبت $0/4$ نفوذ پذیری به حداقل می رسد طوری که برای نسبت ضخامت پوشش به اندازه سنگدانه

اثر اندازه حداکثر دانه ها بر تخلخل بتن پوشش به صورت رابطه نسبت ضخامت پوشش و اندازه حداکثر دانه c/a و تخلخل در شکل ۷ نشان داده شده است. اثر نسبت c/a بر تخلخل بتن پوشش می تواند نسبت به اثر حداکثر اندازه دانه بر تخلخل در بتن اصلی و یا بتن پوشش با ضخامت بالا متفاوت باشد.

دلیل این امر این است که در بتن پوشش، نسبت به اندازه حداکثر دانه ها، مواد تشکیل دهنده بتن و نسبت آن ها می تواند نسبت به بتن اصلی متفاوت باشد. بنابراین برای پوشش های کم، تغییرات تخلخل بتن های پوشش روی میلگردها نسبت به اندازه حداکثر دانه می تواند متفاوت تر از آن در بتن اصلی باشد. همانطور که از شکل ۷ مشخص است برای یک نسبت w/c ثابت. وقتی نسبت c/a از $1/6$ تجاوز می کند، تخلخل نسبت به تغییرات c/a خیلی حساسیت نشان نمی دهد. این نشان می دهد که نسبت c/a برابر با $1/6$ در مورد تاثیر پذیری تخلخل بتن پوشش نسبت به c/a یک نسبت بحرانی است. برای اینکه اثر c/a در تخلخل بتن پوشش نسبت به بتن اصلی قابل توجه نباشد لازم است این نسبت از $1/6$ کمتر نباشد و این کار بهتر است با افزایش ضخامت پوشش بتنی میلگردها هم زمان با کاهش اندازه حد اکثر سنگدانه مصرفی انجام پذیرد.



شکل ۷- رابطه بین تخلخل بتن پوشش و نسبت ضخامت به اندازه حداکثر سنگدانه مصرفی بتن

۴-۲- نفوذ پذیری بتن پوشش و بتن اصلی

نفوذ پذیری بتن به عنوان یک شاخص مهم دوام بتن و به ویژه از نظر نفوذ عوامل مهاجم و تاثیر گذار در ماندگاری بتن نظیر CO_2 ، کلر، سولفات ها، آب و غیره شناخته میشود و در این تحقیق از جنبه کیفیت بتن پوشش و عوامل تاثیر گذار بر آن مورد بررسی قرار

بنابراین از نقطه نظر کاهش نفوذ پذیری بتن های مصرفی و افزایش دوام سازه های بتن آرمه مخصوصا پوسته ها لازم است از یک طرف نسبت آب به سیمان بتن به مقادیر کمتر ۰/۵ محدود شود موردی که آیین نامه ها نیز به شدت روی آن تاکید دارند و از طرفی دیگر نسبت ضخامت بتن پوشش به اندازه حداکثر سنگدانه های مصرفی بویژه در سازه های پوسته ای تا حد ممکن بزرگتر و حتما بزرگتر از ۱/۶ انتخاب گردد. و این امر در پوسته ها با انتخاب سنگدانه های با اندازه کوچکتر قابل حصول میباشد.

۴-۳- مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی بتن پوشش

خلاصه ای از نتایج آزمایش های مربوط به مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی بر حسب عوامل موثر مختلف در جدولهای ۳ و ۴ آورده شده است. هر داده متوسط حداقل سه نمونه آزمایش متفاوت می باشد. G1 و G2 نتایج آزمایش های مشابه انجام گرفته روی نمونه های مشابه تهیه شده از همان مخلوط بتنی می باشد که فقط در مرحله بتن ریزی از نظر تراکم با هم تفاوت داشتند، طوری که در گروه کاری G2 نسبت به G1 فقط کیفیت تراکم بسیار بالا بود و این امر میتواندست به تغییر در تخلخل بتن منجر شود. نسبت c/d عبارت است از نسبت ضخامت پوشش به قطر میلگرهای مورد آزمایش (G1) و (G2) GCQ به ترتیب عبارتند از بتن با کیفیت تراکم معمولی و خوب.

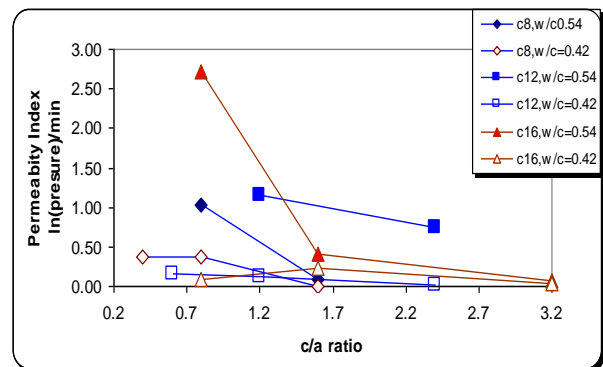
۴-۴- رابطه بین مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی و نسبت w/c

اثر نسبت c/d به مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی با در نظر گرفتن اندازه های مختلف سنگدانه ها، نسبت آب به سیمان و ضخامت پوشش بتنی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

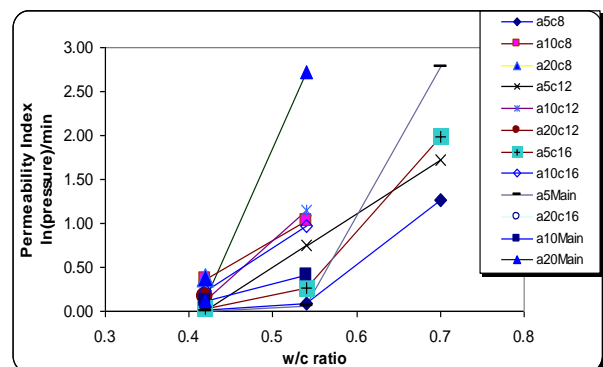
جدول ۳- نتایج آزمایشهای خوردگی مورد نیاز میلگرد ها برای ترک خوردگی بتن پوشش گروه G1

w/c	c/d=۱			c/d=۱,۵			c/d=۲		
	a=۵mm	a=۱۰mm	a=۲۰mm	a=۵mm	a=۱۰mm	a=۲۰mm	a=۵mm	a=۱۰mm	a=۲۰mm
	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %
۰,۷	۱,۳۰	۰,۹۹	۱,۶۵	۱,۵۳	۱,۵۲	۲,۱۴	۱,۹۸	۰,۸۸	۲,۳۱
۰,۵۴	۰,۳۷	۰,۳۴	۱,۲۰	۰,۴۸	۰,۵۹	۰,۹۳	۰,۵۷	۰,۶۵	۱,۰۴
۰,۴۲	۰,۲۰	۰,۸۸	۱,۳۶	۰,۱۸	۰,۹۴	۱,۰۶	۰,۲۷	۱,۱۶	۱,۲۳

بزرگ تر از ۱/۶ تقریبا نفوذ ناپذیر می گردد. همچنین ملاحظه می گردد که تغییرات نفوذ پذیری پوشش بتن نیز نظیر تخلخل آن برای مقادیر c/a کوچکتر از ۱/۶ به شدت تحت تأثیر این نسبت قرار می گیرد و با کاهش نسبت c/a افزایش قابل ملاحظه ای دارد. و تقریبا روند تغییرات آن نسبت به c/a مشابه تغییرات تخلخل پوشش بتنی میگردد ها میباشد.

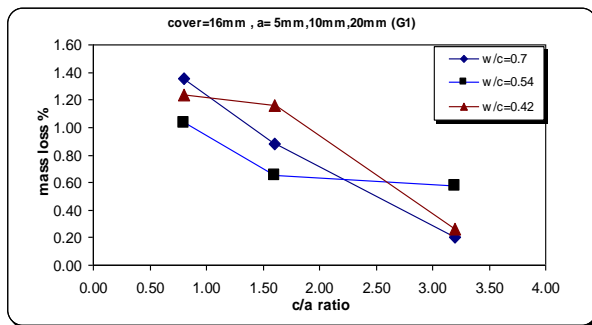


شکل ۸- تغییرات نفوذ پذیری بتن پوشش نسبت به نسبت ضخامت بتن پوشش به اندازه سنگدانه (c/a) با توجه به نسبت آب به سیمان (w/c)



شکل ۹- تغییرات نفوذ پذیری بتن نسبت به نسبت آب به سیمان (w/c) در بتن اصلی و بتن پوشش با در نظر گرفتن اندازه حداکثر دانه

سیمان در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در حالی که برای هر نسبت آب به سیمان با تغییر اندازه سنگدانه مصرفی مقاومت مخلوط بتنی تقریباً ثابت نگهداشته شده است ولی طبق نتایج آزمایشهای انجام گرفته با افزایش نسبت c/a مقدار خوردگی مورد نیاز خوردگی بتن پوشش به شدت کاهش یافته است و این امر میتواند به نقش پررنگ تخلخل بتن در مقدار خوردگی میلگرد نظیر ترک خوردگی بتن پوشش ربط داده شود. چرا که نتایج قسمت های قبلی نشان داد که با افزایش c/a تا 1.6 تخلخل بتن پوشش به شدت کاهش مییابد و فضای خالی کمتری در اختیار محصول خوردگی قرار داده و در نتیجه مقدار خوردگی مورد نیاز میلگرد برای ترک خوردگی را کاهش میدهد. شیب منفی زیاد روند تغییرات نیز حاکی از اثر زیاد تخلخل بتن در مقدار خوردگی مورد نیاز ترک خوردگی میباشد.

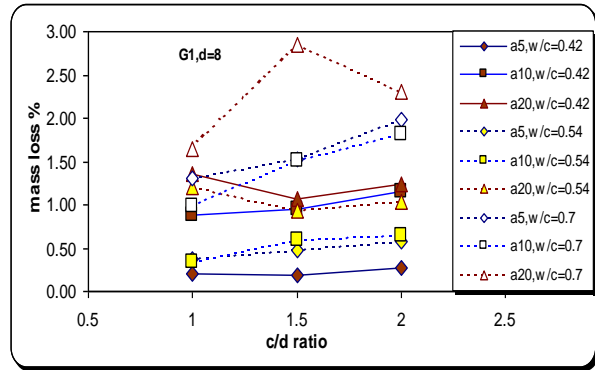


شکل ۱۱- رابطه بین مقدار خوردگی میلگرد مورد نیاز ترک خوردگی بتن پوشش و نسبت c/a : میلگرد کناری با قطر 8mm و $c/d=2$

اثر نسبت W/C به مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی با در نظر گرفتن اندازه های مختلف سنگدانه ها، ضخامت پوشش بتنی و کیفیت تراکم مخلوط بتنی ($G1$ $G2$) با دو مقدار متفاوت $c/d=1.5$ و 2 در شکلهای ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.

جدول ۴- نتایج آزمایشهای خوردگی مورد نیاز میلگرد ها برای ترک خوردگی بتن پوشش گروه $G2$

w/c	c/d=1			c/d=1.5			c/d=2		
	a=5mm	a=10mm	a=20mm	a=5mm	a=10mm	a=20mm	a=5mm	a=10mm	a=20mm
	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %	افت وزنی %
0.70	1.16	1.11	1.57	1.09	1.59	1.58	1.95	1.43	2.20
0.54	0.33	0.34	0.49	0.32	0.59	0.43	0.45	0.65	0.49
0.42	0.42	0.27	0.40	0.36	0.28	0.41	0.44	0.80	0.65



شکل ۱۰- رابطه بین مقدار خوردگی میلگرد مورد نیاز ترک خوردگی بتن پوشش نسبت به c/d در نمونه های با میلگرد کناری 8mm با در نظر گرفتن اندازه حداکثر سنگدانه ها و نسبت آب به سیمان

همانطوری که در شکل ملاحظه می شود با توجه به ثابت بودن قطر میلگرد افزایش نسبت c/d به معنی افزایش مقاومت بتن پوشش می باشد. نتایج بدست آمده از آزمایش ها نشان میدهند که برای نمونه بتنی با نسبت آب به سیمان و اندازه حداکثر سنگدانه مشخص با افزایش c/d مقدار خوردگی منجر به ترک خوردگی بتن پوشش نیز افزایش می یابد ولی این افزایش در اکثر موارد چندان زیاد نمی باشد. و این نشانگر اثر نه چندان زیاد مقاومت بتن پوشش روی مقدار خوردگی مورد نیاز پوشش بتنی میلگردها میباشد. و این استدلال زمانی روشنتر میگردد که ملاحظه شود در نمونه $a5, w/c=0.42$ ، با وجود بالا تر بودن کیفیت آن نسبت سایر نمونه ها، مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی بتن پوشش از همه نمونه ها کمتر بوده و با افزایش پوشش بتن تغییر قابل لمسی نداشته است.

اثر نسبت c/a به مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی با در نظر گرفتن اندازه های مختلف سنگدانه ها و نسبت آب به

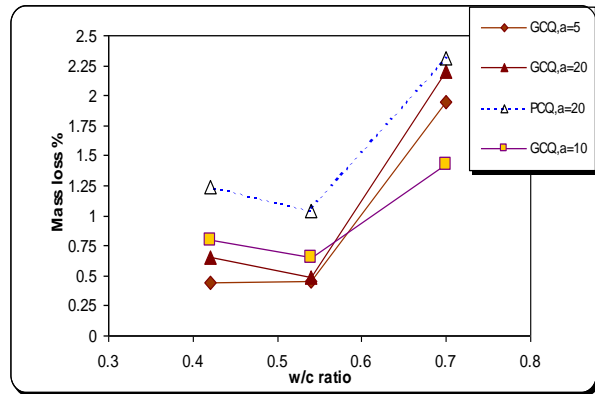
هم چنین روشن است که مقاومت‌های مکانیکی بتن با نسبت W/C رابطه عکس دارد. بنابراین در بررسی رابطه بین نسبت W/C و مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی بتن پوشش بایستی اثر هم‌زمان تخلخل و مقاومت بتن مخصوصاً در قسمت پوشش مورد توجه قرار گیرد.

روند تغییرات مقدار خوردگی مربوط به ترک خوردگی بتن پوشش نسبت به نسبت W/C خیلی متفاوت تر از روند مورد انتظار براساس مقاومت بتن پوشش و همچنین آنچه توسط بعضی محققین [۱۰] گزارش شده است می باشد.

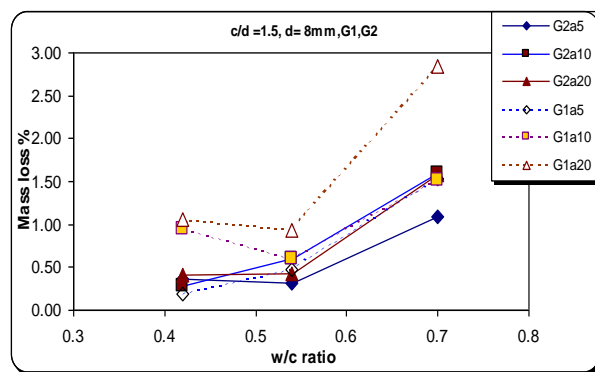
بر اساس نتایج آزمایش های نفوذ پذیری شکل ۹، بتن ساخته شده با حداکثر اندازه دانه های درشت ۵ میلی متر و نسبت W/C برابر با ۰/۴۲ دارای کمترین نفوذ پذیری بوده اند بنابراین تخلخل چنین مخلوط بتنی می تواند کمترین اثر را در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی داشته باشد. اگر به طور محافظه کارانه فرض نماییم که تخلخل بتن در این حالت خاص هیچ نقشی در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی ندارد، با مقایسه ی سایر نتایج با نتایج مربوط به این حالت می توان نقش مقاومت بتن پوشش و تخلخل بتن پوشش را در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی به طور نسبی ملاحظه نمود. دلایل مربوط به فرض فوق عبارتند از:

ترک خوردگی بتن پوشش در سطح بسیار ناچیزی از خوردگی اتفاق افتاد.

در مخلوط فوق مقاومت بتن پوشش حداکثر نقش را در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی در مقایسه با سایر نمونه ها داشت. همانطوری که در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ ملاحظه می گردد، نتایج حاصل از کلیه ی آزمایش های سری های $G1$ ، $G2$ ، نشان می دهند که نسبت W/C در حدود ۰،۵۴ نسبت مهمی است که در مقادیر بیش از آن تخلخل بتن در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی عامل تعیین کننده و حاکم می باشد. بر طبق نتایج آزمایشی در جداول ۳ و ۴، مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی در نمونه های با دانه های درشت ۵ میلی متر و نسبت c/d برابر با ۱/۵، برای نسبت W/C برابر با ۰/۴۲ در آزمایش های $G1$ ، $G2$ به ترتیب ۰،۲۱٪ و ۰،۴۲٪ می باشد در صورتی که مقادیر فوق در نسبت $W/C = 0.7$ به ترتیب برابر با ۱،۳٪ و ۱،۱۶٪ می باشد. این نشان می دهد که نقش تخلخل در نتایج فوق نسبت به نقش مقاومت بتن پوشش حداقل ۳ الی ۶ برابر می باشد. با مقایسه ی سایر نتایج



شکل ۱۲- رابطه بین مقدار خوردگی میلگرد مورد نیاز ترک خوردگی بتن پوشش و نسبت آب به سیمان (W/C) با نظر گرفتن کیفیت تراکم بتن پوشش: میلگرد کناری با قطر 8mm و $c/d=2$



شکل ۱۳- رابطه بین مقدار خوردگی میلگرد مورد نیاز ترک خوردگی بتن پوشش و نسبت آب به سیمان (W/C) در دو گروه کاری مختلف

همانطوری که در شکل‌های فوق پیداست مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی با افزایش نسبت W/C افزایش می یابد. تقریباً در اکثر حالات با افزایش نسبت W/C مخصوصاً برای مقادیر W/C بزرگتر از 0.54 در این تحقیق علیرغم کاهش مقاومت بتن، مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی نیز افزایش یافته است و این مقدار با نسبت های پایین آب به سیمان پایین رفتن کیفیت تراکم بیشتر افزایش مییابد. برای تخلخل بتن به استناد نتایج بیان شده در بند های قبلی بسیار کاهش یافته لذا نقش آن کم رنگ تر میگردد. این نشان میدهد که اثر تغییرات در مقاومت بتن پوشش نسبت به اثر تغییرات تخلخل مربوطه در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی بتن پوشش بسیار کمتر می باشد.

همانطوری که در شکل‌های ۶ و ۹ نشان داده شده است، نسبت آب به سیمان در تخلخل و نفوذ پذیری بتن بسیار موثر ظاهر شده است.

رسیدن به این امر لازم است نسبت آب به سیمان پایین بوده و کیفیت تراکم و عمل آوری بتن بالا باشد

- کیفیت بتن پوشش میلگردها از نظر تخلخل و نفوذ پذیری تحت تاثیر عواملی نظیر اندازه حداکثر دانه مصرفی و مخصوصاً نسبت c/a میتواند خیلی متفاوت تر و پایین تر از بتن اصلی مصرفی باشد و در نتیجه خطر عوامل مهاجم در محل پوشش بتنی روی میلگردها و در نتیجه کنده شدن آن بطور غیر عادی تشدید شود

- کیفیت بتن پوشش میلگردها می تواند در مقایسه با بتن اصلی از نظر نفوذ پذیری، تخلخل و مقاومت تحت تاثیر عواملی نظیر نسبت اندازه سنگدانه به ضخامت پوشش بتنی میلگردها بسیار متفاوت و پایین بوده و در نتیجه خطر عوامل مهاجم در محل پوشش بتنی روی میلگردها و در نتیجه کنده شدن آن بطور غیر عادی تشدید شود از این نظر دوام بناهای پوسته اییکه دارای ضخامت بتن پوشش پایین هستند را مخصوصاً از نظر ظاهری و زیبایی بطور جدی تحت تاثیر قرار دهد .

- برای مقادیر $1.6 < (c/a)$ نسبت ضخامت پوشش به حداکثر اندازه ی دانه، تخلخل و نفوذ پذیری بتن پوششی تابعی است از نسبت آب به سیمان ، اندازه حداکثر دانه و نسبت ضخامت پوشش به حداکثر اندازه ی دانه.

- با توجه به نتایج آزمایش ها، خوردگی میلگرد ها در مقادیر بسیار کم موجب کنده شدن بتن پوش میلگردها و گاه لکه در سطح بتن میگردد و این امر بدون داشتن اثرات سازه ایی قابل ملاحظه، زیبایی سازه را براحتی از بین میبرد موردی که در سازه های پوسته ایی از نظر طراحی اهمیت خیلی زیادی داشته و توجه ویژه ای را می طلبد...

- اثرات خوردگی میلگرد در سازه های بتن آرمه بطور جدی تحت تاثیر کیفیت و مشخصات بتن پوشش میباشد و این امر در سازه های پوسته ایی به دلیل داشتن ضخامت پایین پوشش اهمیت زیادتری پیدا کرده و نیاز به توجه خاص دارد.

- برای افزایش کیفیت بتن پوشش و کاهش اثرات خوردگی لازم است نسبت ضخامت بتن پوشش به اندازه بزرگترین سنگدانه مصرفی و کیفیت عمل آوری و تراکم بتن افزایش یابد برای این کار بهتر است تا حد امکان ضخامت پوشش بتنی افزایش و اندازه حداکثر سنگدانه مصرفی کاهش یابد.

مربوط به دانه های ۱۰ میلی متر و ۲۰ میلی متر با همان نسبت w/c ، نقش تخلخل بتن بیش از ۱۵ برابر نقش مقاومت بتن پوشش می باشد. این نسبت را می توان با ملاحظه ی نتایج جدول ۳ و با مقایسه ی $0.18/\%$ و $0.84/\%$ خوردگی مربوط به مخلوط های با دانه های ۵ میلی متر و نسبت آب به سیمان 0.42 و مخلوط های با دانه های ۲۰ میلی متر و نسبت آب به سیمان 0.7 بدست آورد که در آنها c/d برابر با $1/5$ می باشد .

بنابراین در بررسی رابطه ی بین مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی و نسبت آب به سیمان بایستی تغییرات ایجاد شده در تخلخل و عوامل مؤثر بر آن مورد نظر قرار گیرد تا تغییرات مقاومت بتن . این نکته در کارهای محققین دیگر خیلی مورد توجه قرار نگرفته ، زیرا فرض شده که مقاومت عامل اصلی تعیین کننده در مقدار خوردگی نظری ترک خوردگی است .

نکته بسیار مهمی که در نتایج آزمایش های مربوط به مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی پوشش بتنی قابل ملاحظه است این که، تقریباً در همه آزمایشها، مقدار خوردگی مورد نیاز برای ترک خوردگی پوشش بتنی میلگردها از مقدار بسیار کم 1.5 درصد تجاوز نموده است موردی که از نظر اثر سازه ایی خوردگی میلگرد نمیتواند خیلی مهم باشد چرا که همواره مقدار میلگرد مصرفی نسبت به مقدار مورد نیاز به دلایل اجرایی و محدودیت های آیین نامه ایی خیلی زیاد تر است ولی از نظر زیبایی، مخصوصاً برای پوسته ها که زیبایی در آنها نقش مهم عملکردی دارد، عملکرد سازه را مختل نموده و در ادامه از بین میبرد.

۵- نتیجه گیری

برای افزایش دوام سازه های بتنی مخصوصاً سازه های پوسته ایی که در آنها زیبایی از معیارهای مهم عملکردی در نظر گرفته میشود و در نتیجه برای کاهش هزینه های بالای ترمیم لازم است به موارد زیر توجه ویژه مبذول گردد:

- در کیفیت بتن مصرفی و اجرای صحیح آن دقت کافی بعمل آورده شود.

- برای افزایش ماندگاری بناهای بتنی لازم است کیفیت بتن های مصرفی بالا بوده و نفوذ پذیری پایین داشته باشند و برای

of concrete affected by reinforcement corrosion , Materials and structure , Vol ,31 , pp. 435- 441.

[10]. Rasheeduzzafar , Al- Saadoun , SS and Al – Gahtani , A.S (1992) , Corrosion cracking in relation to bar diameter , cover and concert quality, Journal of Material in civil engineering , Vol . 4.4, pp 327- 342.

[11]. Williamson , S.J., Clark , L.,A (2000) , pressure required it cause cover of concrete

[12]. McLeish ,A.(1986), Cracking due to corrosion , Technical Note. 1632, Taywood Engineering.

[13]. Weyers , R.E., (1998) , Service life model for concrete structures in chloride laden environments, ACI Materials Journal , Vol. 97, No.2

[14]. Andrade , C, Alonso , C., Rodrigueuz , J., Casal ,J., and Diez , J.M.,(1995) , relation between corrosion and concrete cracking , the residual service life of reinforced Concrete Structure.

[15]. Esmaeili J., (2002), Variable in the structural effect of corrosion, Ph.D. Thesis , The university of Birmingham.

[16]. I. Balafas, C.J. Burgoyne,(2010), Environmental effects on cover cracking due to corrosion, Cement and Concrete Research 40 1429–1440.

• نسبت آب به سیمان به عنوان عامل بسیار موثر در مقدار خوردگی نظیر ترک خوردگی بتن پوشش بود و این بیشتر به دلیل تاثیر آن در تغییرات تخلخل بتن بود و نه تغییرات مقاومت و بهتر است این نسبت حداکثر به ۰٫۵ محدود گردد.

• هر افزایش در تخلخل بتن در اثر هر کدام از عوامل ذکر شده در نتیجه گیرهای قبلی ، منجر به افزایش قابل توجه اثرات عوامل کاهنده دوام سازه های بتنی مسلح نظیر یخ زدن و آب شدن های متوالی و اثرات خوردگی میلگردها می گردد.

۶- مراجع

[۱]. سلطان زاده، حسین، ۱۳۷۴، " روند شکل گیری معماری ایرانی

بررسی عوامل درونی و بیرونی"، مجموعه مقالات نخستین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران، جلد اول، تهران، سازمان میراث فرهنگی کشور، ص ۴۹۶.

[۲]. دیبا، داراب، ۱۳۷۸ " الهام و برداشت از مفاهیم بنیادی معماری ایران"، مجله فرهنگ و معماری، تهران سال اول، شماره اول، صص ۹۷ تا ۱۰۶.

[۳]. سید صدر، سید ابوالقاسم، فلسفه فضای معماری ، چاپ اول ، انتشارات خوشه ، ۱۳۷۷ ، ص ۷.

[۴]. رسولی، فرزانه، ۱۳۹۲ " جایگاه مصالح در معماری پایدار؛ مصادیق و نمونه ها" مجموعه مقالات اولین همایش ملی معماری، مرمت، شهرسازی و محیط زیست پایدار، همدان، انجمن ارزیابان محیط زیست هگمتانه، ص ۱۰۳.

[5]. Saifullah , M and Clark , L.A(1994) , Effect of corrosion rate on the bond strength of corroded reinforcement, Proceeding of the International Conference on Corrosion and corrosion protection of steel in concrete , pp. 591- 602.

[6]. Al- Sulaimani , G.J., Kaleemullah, M., Basunbul , L.A., Rasheeduzzafar , (1990) , Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete members , ACI Structural Journal , V . 87 , No . 2 , pp.220-231.

[7]. Cabrera, J.G.(1996), Deterioration of concrete due to reinforcement steel corrosion , Cement and Concrete Composites , 18 , pp- 47-59.

[8]. Amleh, L. and Mirza ,S., (1999) , Corrosion influence on bond between steel and concrete, ACI Structure Journal , V. 96, No., pp. 415- 423.

[9]. Alonso , C., Andrade , C., Rodrigz ,J. and and Diez , J.M., (1998) , Factors controlling cracking

Effective Factors on Durability of Reinforced Concrete Domes

J. Esmaili *

Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Tabriz

H. Karimzade

PhD Student, Department of Architecture, Tabriz Islamic Art University

M. R. Chenaghlo

Professor, Department of Civil Engineering, Sahand University, Tabriz

Abstract

At this research, effects of different main factors on durability of concrete shell structures, such as mosque domes are investigated experimentally. Rebar's corrosion within concrete maybe the most important factor that leads to a poor concrete especially in terms of its appearance. The most effective factors on cracking of concrete cover, such as cover thickness, size and position of rebar, water on cement ratio (W/C), Porosity and permeability of concrete were evaluated at this paper. Concrete mixes in different three W/C ratios with three maximum sizes of aggregates and also with three different thicknesses of concrete covers were tested. The results show that required corrosion that results in cracks in concrete cover is increased by increase in W/C ratio. It has been found that corrosion value is mainly related to the porosity of concrete and is not so sensitive to the concrete's strength class. In addition to the quality and performance of concrete, special attentions should be considered about the quality of placing concrete cover on rebar to increase the durability of concrete cover against corrosion.

Keywords: Mosque domes, Concrete shell structures, Reinforced concrete, Corrosion, Cracking, permeability and porosity.

* Corresponding Author: esmailij@yahoo.co.uk