نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

بررسی تاثیر استفاده از رنگ پلی‌اورتان بر روی خواص بتن خودتراکم حاوی متاکائولن و میکروسیلیس نسبت به نفوذ یون کلر تسریع شده

علی قربانی [1*]، امین قربانی [2]، فاطمه شوکتی گورابی [3]

۱-استادیار،گروه مهندسی عمران،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران

پست الکترونیکی:

ghorbani@pnu.ac.ir

۲-استادیار،گروه مهندسی عمران،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران

پست الکترونیکی:

aghorbani@pnu.ac.ir

۳-کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت ساخت،،دانشگاه پیام نور،صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵، تهران،ایران

پست الکترونیکی:

fshokati۵۹@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۹۸/۰۵/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۹۸/۰۵/۲۹

چکیده

از بزرگترین معضلات دوام سازه های ی بتن مسلح، خوردگی آرماتورهای فولادی در اثر نفوذ یون کلر به داخل بتن می‌باشد. بر این اساس، اهمیت ارزیابی صحیح مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر برای دستیابی به سازه‌های با دوام مشخص می‌شود. روش‌های آزمایشگاهی متفاوتی به منظور تعیین پدیده مهاجرت و نفوذ یون کلر به داخل جرم بتن گسترش و توسعه یافته‌اند. در این تحقیق نفوذ یون کلر در نمونه‌ها حاوی نانوسیلیس و نانومس کاهش یافته و با افزایش سن نمونه‌های بتن خودتراکم روند کاهش نفوذ یون کلر مشاهده می‌شود. کاهش نفوذ یون کلر به معنای مقاومت بیشتر در برابر نفوذ در بتن می‌باشد که این مقاومت در نمونه‌های حاوی نانو مس بیشتر از نانوسیلیس مشاهده می‌شود. با افزودن رنگ پلی‌اورتان به نمونه شاهد کاهش نفوذ یون کلر در کلیه نمونه‌ها می‌باشیم.

کلمات کلیدی: ***بتن خودتراکم، یون کلر، رنگ پلی‌اورتان***

www.SID.ir

۱-مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی، با افزودن مواد پودری به بتن و همچنین نانو و کاربرد آن در علوم مختلف، محققین درصدد استفاده از این ذرات در بتن برآمدند. افزودن متاکائولن و میکروسیلیس به بتن موجب بهبود خواص مکانیکی بتن می‌شود، حال اگر با ترکیب نانو مواد می‌توان اندک معایب آن را برطرف نمود. از بزرگترین معضلات دوام سازه‌ای بتن مسلح، خوردگی آرماتورهای فولادی در اثر نفوذ یون کلر به داخل بتن می‌باشد. بر این اساس، اهمیت ارزیابی صحیح مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر برای دستیابی به سازه‌های با دوام مشخص می‌شود. در این خصوص آزمایش‌هایی نظیر AASHTO T۲۵۹ و ASTM C۱۵۵۶ که به طور عمده مبتنی بر اندازه‌گیری غلظت یون کلر در عمق‌های مختلف بتن در معرض محلول کلریدسدیم می‌باشند، توسعه یافته‌اند[۱]. روش‌های آزمایشگاهی متفاوتی به منظور تعیین پدیده مهاجرت و نفوذ یون کلر به داخل جرم بتن گسترش و توسعه یافته‌اند. این نتایج آزمایشگاهی به مهندسین کمک می‌نماید تا پارامترهای موثر بر نفوذ یون کلر را بررسی نماید و به‌وسیله این نتایج بتوانند تمهیدات ویژه‌ای را جهت مقابله با نفوذ یون کلر در نظر بگیرند.

سرعت یون کلر در بتن آرام است؛ زیرا یون کلر دارای ابعاد اتمی است و به صورت آرام از میان مایع اشباع عبور می‌کند و همچنین دیگر منافذ موجود در بتن نیز دارای ابعاد متغیر از نانومتر تا میلیمتر و از طرفی شبکه توزیع این منافذ در جرم بتن نیز پیچیده می‌باشد که می‌تواند بر روی سرعت یون کلر تاثیر گذار باشد. البته این شبکه توزیع و اندازه منافذ موجود در بتن تحت تاثیر زمان و عمر بتن بوده و به علت واکنش‌های هیدراتاسیون به‌وجود می‌آید. از طرفی یون‌های کلر، سولفات‌ها و دی اکسید کربن در جرم بتن نیز می‌تواند وارد واکنش‌های هیدراتاسیون شوند و بر روی شبکه توزیع و اندازه منافذ موجود در بتن تاثیرگذار باشد. باتوجه به کند بودن پدیده نفوذ یون کلر در بتن و زمانبر بودن آزمایش‌های اخیراستفاده از روش‌های تسریع شده برای سهولت کنترل کیفی بتن همواره مد نظر بوده است.

نتایج آزمایش نفوذ یون کلر به پارامترهای متفاوتی بستگی دارد که می‌توان آن‌ها را به دو گروه تقسیم‌بندی نمود. گروه اول مربوط به اجزای تشکیل‌دهنده بتن مانند سنگدانه‌ها، آب، مواد سیمانی، ترکیبات پوزولانی و ... می‌باشد. فاکتورهای مربوط به زمان، گروه دوم از پارامترهای موثر بر روی نفوذ یون کلر تسریع شده است. استفاده از میکروسیلیس یکی از روش‌های رایج جهت مقابله با نفوذ یون کلر می‌باشد. وقتی که میکروسیلیس با سیمان وارد اختلاط می‌شود، میکروسیلیس به سرعت تشکیل ژل سیلیکاتی داده و باعث کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود.

در آزمایشی که توسط Oh و همکارانش[۷] جهت بررسی نفوذ یون کلر در جرم بتن با نسبت آب به سیمان ۰/۲۸ و ۰/۴۳ انجام شد، میکروسیلیس دارای بهترین تاثیر در کاهش نفوذ یون کلر در جرم بتن را نسبت به خاکستر بادی و روباره دارا بود. به طوریکه میکروسیلیس از لحاظ تقسیم‌بندی ارائه شده در ASTMC ۱۲۰۲ در رده قابل اغماض قرار می‌گیر؛ البته با افزایش جایگزینی به میزان بیشتر از ۱۰٪ مقاومت در برابر نفوذ یون کلر کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

در تحقیقی که توسط de Gutierrez صورت گرفت نیز میکروسیلیس از لحاظ مقاومت در برابر نفوذ یون کلر در رده اول بود و بعد از میکروسیلیس به ترتیب متاکائولن، روباره و خاکستر بادی قرار داشتند[۹]. در این مطالعه استفاده از الیاف نیز به علت افزایش منافذ موئینه در ملات مقاومت در برابر نفوذ یون کلر را کاهش داد. با بررسی بتن ساخته شده با پوسته خاکستر برنج Saraswathy و همکارانش دریافتند که با افزایش میزان خاکستر پوسته برنج شار عبوری کاهش می‌یابد[۱۰]. به طوری که با جایگزینی خاکستر پوسته برنج، شار عبوری در حد کم و یا خیلی کم خواهد بود. در آن مطالعه با جایگزینی ۵٪ ، ۱۰٪ ، ۱۵٪ ، ۲۰٪، ۲۵٪ و ۳۰٪ سیمان مصرفی با خاکستر پوسته برنج شار عبوری به ترتیب ۴/۶٪ ، ۴۳/۷٪ ، ۷۳/۴٪ ، ۷۷/۲٪ و۸۱/۷٪ کاهش پیدا نمود. نتایج Yeau و همکارانش نشان می‌دهد که سرباره کوره آهنگدازی مقاومت در برابر نفوذ یون کلر را افزایش می‌دهد به طوری‌که اگر ۴۰٪ وزن سیمان مصرفی با سرباره کوره آهن‌گدازی جایگزین شود مقاومت در برابر خوردگی آرماتور تا ۲ برابر کاهش می‌یابد[۱۲]. در مطالعه‌ای که توسط stundebeck بر روی بتن حاوی درصدهای متفاوت خاکستر بادی و میکروسیلیس با نسبت‌های متفاوت آب به سیمان صورت گرفته است، نتایج نشان می‌دهد که نسبت آب به سیمان بیشترین تاثیر را در بتن حاوی خاکستر بادی می‌گذارد به طوری که برای بتن ساخته شده با ۲۵٪ خاکستر بادی، شار عبوری در ۷ روزگی با تغییر نسبت آب به سیمان از ۰/۲۵ به ۰/۴، از حدود ۲۳۰۰ به ۵۷۰۰ می‌رسد. این اعداد برای بتن ساخته شده با ۵٪ میکروسیلیس و با تغییر نسبت آب به سیمان از ۰/۲۵ به ۰/۴، از حدود ۱۲۰۰ به ۲۹۰۰ و برای بتن ساخته شده با ۱۰٪ میکروسیلیس و با تغییر نسبت آب به سیمان از ۰/۲۵ به ۰/۴، از حدود ۱۱۰۰ به ۲۷۰۰ تغییر می‌نماید[۳].

در تحقیق دیگری که توسط Huseyin Yigiter و همکارانش صورت پذیرفته است با تغییر میزان سیمان مصرفی از ۲۵۰Kg/m^3 تا ۳۵۰Kg/m^3 نتایج کاهش مطلوبی در میزان نفوذ یون کلر را نشان می‌دهد و از طرفی با افزایش میزان سیمان تا ۴۵۰Kg/m^3 کاهش ناچیزی در میزان نفوذ یون کلر نسبت به میزان سیمان مصرفی ۳۵۰Kg/m^3 دیده می‌شود[۴].

نفوذپذیری آب و یون کلر در جرم بتن سبک پر مقاومت در مقایسه با بتن پر مقاومت معمولی با و بدون وجود میکروسیلیس توسط Chia و Zhang در سال ۲۰۰۲ انجام شده است. برای بتن بدون میکروسیلیس هر دو نوع بتن سبک و معمولی نفوذ یون کلر تسریع شده بر طبق تعریف در وضعیت زیاد قرار دارد .از طرف دیگر در بتن سبک با میکروسیلیس شار عبوری در حدود ۳۱۶ (وضعیت خیلی پائین) قرار می‌گیرد که این عدد برای بتن معمولی حاوی میکروسیلیس ۴۲۱ می‌باشد[۱۱].

رنگ پلی اورتان یک محصول دو جزئی است که بر پایه رزین پلی اورتان تهیه شده و دارای مدت زمان خشک شدن بسیار کوتاه است. رنگ های پلی اورتان مقاومت بسیار بالایی در برابر انواع اشعه‌های نور خورشید و همچنین باران اسیدی دارند .این رنگ (رنگ پلی اورتان) به دلیل داشتن مقاومت بالا در برابر رطوبت و چسبندگی عالی بر روی انواع سطوح و پوشش‌ها به عنوان لایه نهایی برای پوشش سطوحی که در معرض مستقیم نورخورشید و شرایط سخت آب و هوائی قرار دارند مورد استفاده قرار می گیرد. رنگ های دو جزئی پلی

www.SID.ir

اورتان ظاهر بسیار زیبا و چشم نوازی دارند و از هرگونه مشکل پوست پرتغالی بودن که یکی از معضلات بزرگ رنگ‌های پودری می‌باشد عاری هستند.

در این تحقیق هدف بررسی اثر رنگ پلی اورتان در بتن خودتراکم حاوی متاکائولن و میکروسیلیس بر دوام بتن مصرفی در سازه‌ها می‌باشد. از این رو، آزمایش نفوذ یون کلر، نفوذپذیری و جذب آب روی نمونه‌های ساخته شده از بتن خود متراکم انجام گرفت. بتن خود متراکم علاوه بر بتن معمولی به دلیل امتیازهای ویژه و کاربرد فراوان در سازه به خصوص در ساخت سرریزها و پوشش تونل‌ها مد نظر قرار گرفته است.

۲-روش‌کار

در این پروژه برای تولید بتن از فوق روان کننده بهره گرفته شده است و نسبت آب به مواد سیمانی در همه‌ی طرح‌ها ثابت و برابر ۰/۴ در نظر گرفته شده است. ساخت بتن در میکسر با ظرفیت ۰/۱ متر مکعب انجام شد(در این تحقیق از آب شرب شهرستان رشت جهت ساخت بتن استفاده گردید که با توجه به مصرف آشامیدنی آن برای ساخت بتن بدون مشکل است).

برای این کار ابتدا مصالح مورد نیاز توزیه گردیده و سپس وارد مرحله ساخت شده‌اند. برای ساخت ابتدا شن و ماسه وارد میکسر شد و پس از یک ربع مخلوط شدن، نصف آب اختلاط به مخلوط اضافه گردید و بعد از چند دقیقه مصالح سیمانی (اعم از سیمان و میکرو سیلیس، متاکائولن، نانو سیلیس و نانو مس بسته به طرح مورد نظر) به مخلوط اضافه شده و سپس فوق روان کننده که با مابقی آب اختلاط مخلوط شده وارد مخلوط بتن گردید. پس از رسیدن بتن به حالت مناسب، ابتدا آزمایشات بتن تازه به عمل می‌آید و پس از تایید آن، مخلوط در قالب‌های مورد نظر ریخته شد و بعد از ۲۴ ساعت نمونه‌ها از قالب بیرون آورده شده و در دمای اتاق به مدت مورد نظر در حوضچه‌های آب نگهداری شده تا در روز مورد نظر آزمایش از حوض‌ها خارج شوند. برای هر طرح ۳ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری برای آزمایش فشار و ۳ نمونه مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی‌متری برای آزمایش جذب آب با رنگ پلی اورتان پوشیده که به مدت ۴۸در فضای بیرون خشک شده و سپس در آب قرار می‌دهیم و ۶ نمونه مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ نفوذپذیری که ۳ نمونه با رنگ پوشیده شده و ۳ نمونه به صورت معمول می‌باشد. در ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزگی و ۳ نمونه استوانه ای۳۰×۱۵ سانتی‌متر برای آزمایش کششی ۲۸ روزه ساخته شد. در هر روز نمونه‌های موردنظر برای انجام آزمایش از حوضچه‌ها خارج شده و پس از خشک شدن سطح آن‌ها در فضای باز، برای انجام آزمایش استفاده شدند. در تمامی طرح‌ها نمونه‌های مکعبی به منظور اندازه‌گیری چگالی پس از خشک شدن در فضای باز توزین شدند.

از دو استاندارد شبیه به هم AASHTO T ۲۷۷ و همچنین ASTMC ۱۲۰۲ جهت انجام آزمایش RCPT استفاده می‌شود. نمونه بتنی استوان‌های اشباع، با ارتفاع ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ) و قطر ۱۰۱ میلیمتر (۴ اینچ) سطوح آن توسط اپوکسی (به عنوان عایق)

www.SID.ir

محافظت شده است، بین دو منبع که یکی با محلول ۳٪ نمک طعام[۱] و دیگری با محلول ۰/۳ نرمال سود سوزآور[۲] پر شده، قرار می‌گیرد. جهت تسریع در فرآیند خوردگی نمونه‌ها، نمونه‌ها در معرض اختلاف پتانسیل ۶۰ ولت قرار می‌گیرد. در هر ۳۰ دقیقه و به مدت ۶ ساعت و به عبارتی دیگر برای ۱۲ بار جریان عبوری از نمونه اندازه‌گیری می‌شود.

۲-۱-آماده‌سازی رنگ پلی اورتان

رنگ پلی اورتان و هاردنر آن را به نسبت مناسب مخلوط کرده و توسط تینر مربوطه تا رسیدن به ویسکوزیته مورد نظر رقیق نمائید. رنگ‌های پلی اورتان را هنگام آماده‌سازی و قبل از مصرف باید کاملا تکان داد؛ به دلیل داشتن Pot Life فقط به مقدار لازم باید رنگ آماده گردد زیرا سرعت خشک شدن بالایی دارند(عمر مفید رنگ آماده شده ۶ ساعت است). وزن مخصوص رنگ پلی اورتان ۲/۱ g/cm^3 ، حجمی: ۱۹/۴ درصد وزنی: ۶۵ درصد، نرمی ذرات: ۱۰ میکرون، پوشش: ۸-۱۲ متر مربع بر لیتر، ۴۰-۳۰ میکرون می‌باشد. مدت زمان خشک شدن آن در سه مرحله، زمان خشک شدن سطحی: ۱ ساعت در ۲۵ درجه سیلسیوس، خشک شدن کامل: ۴۸ ساعت در ۲۵ درجه سیلسیوس و سخت شدن نهایی: ۶ روز در ۲۵ درجه سیلسیوس می‌باشد.

۳-تجزیه و تحلیل

۳-۱-امتیازات استفاده از بتن خودتراکم

استفاده از بتن خودتراکم مزایای بسیار ارزشمندی از قبیل؛ کاهش نفوذپذیری، توسعه تغییرات معماری، طول عمر بیشتر قالب‌ها، ساخت در زمان کوتاه‌تر، کاهش در نیروی کار در محل، سطوح کار تمام شده بهتر، جابجایی آسانتر، بهبود دوام، آزادی عمل بیشتر در طراحی، کاهش سر و صدای ناشی از ویبره نمودن، محیط کار ایمن‌تر، رسیدن به مقاومت بالاتر، کاهش مصرف انرژی و هزینه، شکل‌پذیری بهتر را در امر ساخت و ساز فراهم می‌آورد.

۳-۲-آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده

آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده[۳] روی تمام بتن‌های خودتراکم در سن ۲۸و ۹۰ روزه انجام گرفت. جریان عبور کرده در مدت ۶ ساعت به عنوان مقدار نفوذ یون کلر و دسته‌بندی نفوذپذیری یون کلر در نمونه‌های بتن خودتراکم حاوی نانو سیلیس، نانو مس با و بدون رنگ پلی اورتان در جدول‌های(۱) و (۲) آورده شده است و تغییرات نفوذ یون کلر در نمودارهای(۱) تا (۴) نشان داده شده است. جهت انجام آزمایش با رنگ ، ابتدا نمونه مورد نظر با توجه به سایز آن آماده و قبل از تست به مدت ۶ روز با رنگ پوشیده شده تا به خشک شدن نهایی برسد. این آزمایش نفوذپذیری نمونه‌ها را اندازه نمی‌گیرد و در واقع مقدار مقاومت نمونه‌ها را اندازه می‌گیرد.

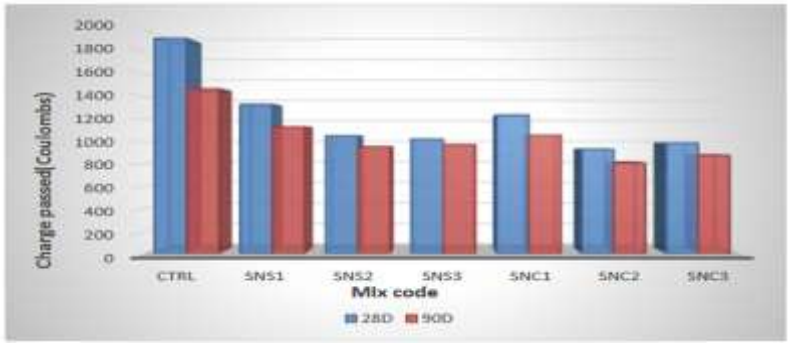
---

[۱] NaCl
[۲] NaOH
[۱] RCPT

www.SID.ir

جدول ۱؛ نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده بر روی نمونه‌های بتن خودتراکم بدون رنگ

مخلوط	شار عبوری (کولمب) ۹۰ روزه	شار عبوری (کولمب) ۲۸ روزه	محدوده نفوذ یون کلر
Ctrl	1470	1920	متوسط
SNS1	1130	1330	متوسط
SNS2	950	1050	پایین
SNS3	970	1020	پایین
SNC1	1055	1235	متوسط
SNC2	805	929	پایین
SNC3	875	985	پایین



نمودار۱؛ نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده بر روی نمونه‌های بتن خودتراکم بدون رنگ

با توجه به نمودار(۱) مشاهده می‌شود در نمونه‌های بتن خودتراکم میکروسیلیس و متاکائولن با افزودن نانوسیلیس و نانو مس نفوذپذیری نمونه‌ها نسبت به نمونه کنترل کاهش می‌یابد و این کاهش با افزایش مقدار نانوسیلیس در نمونه برقرار خواهد بود .توسط Planteو همکارانش کاهش در میزان نفوذ یون کلر بعد از افزایش در روزهای عملآوری در بتن حاوی میکروسیلیس از ۱ تا ۷ روزگی و از ۷ تا ۲۸ روزگی نتیجه شده است[۸]. که مشابه روند بدست آمده توسط Hooton و همکارانش می‌باشد که در روزهای اولیه عمل آوری کاهش شار عبوری را گزارش نموده بود[۵].

www.SID.ir

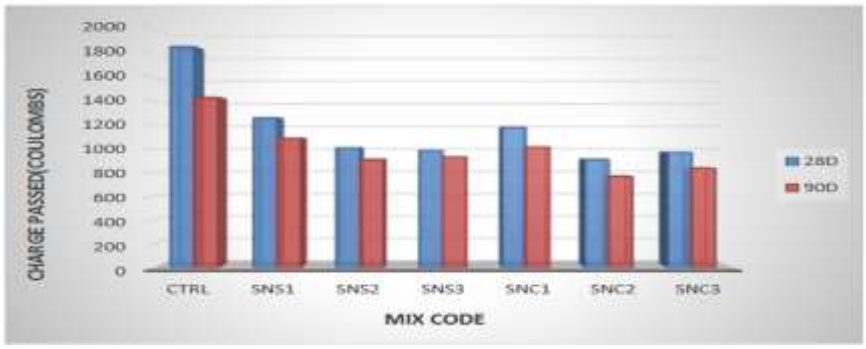
نمودار ۲؛ مقایسه ۲۸ و ۹۰ روزه نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده بدون رنگ

در مطالعه دیگری که توسط Cabrera و همکارانش انجام شد، کاهش در میزان نفوذ یون کلر با گذشت زمان گزارش شده است. بتن کنترل و بتنی با ۲۰٪ میکروسیلیس با نسبت‌های مختلف آب به سیمان که در دمای ۲۰°C و رطوبت نسبی ۱۰۰٪ عمل آوری شده بودند، تحت تاثیر آزمایش RCPT قرار گرفتند. با این تفاوت که به جای ۶۰V از اختلاف پتانسیل ۴۰V استفاده شده بود. در آن مطالعه بیشترین تاثیر زمان بر روی بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۴۶ بود. شار عبوری از ۶۰۰۰ به حدود ۵۰۰ می‌رسد وقتی که به ترتیب آزمایش در ۳ و ۲۸روزگی انجام می‌شود. این مقدار برای ۹۰ روزگی به ۲۰۰ می‌رسد. در آن مطالعه نیز تا سن ۹۰ روزگی میزان شار عبوری مطالعه شده است. نتیجه تحقیقات گروه Hooton در دانشگاه تورنتو تا سن ۱۰۰ روزگی برای بتن حاوی میکروسیلیس شاهد کاهش در شار عبوری هستیم ولی با افزایش روزهای عمل‌آوری شار عبوری افزایش می‌یابد. توسط Plante و همکارانش کاهش در میزان نفوذ یون کلر بعد از افزایش در روزهای عمل آوری در بتن حاوی میکروسیلیس از ۱ تا ۷ روزگی و از ۷ تا ۲۸ روزگی نتیجه شده است[۸]. که مشابه روند بدست آمده توسط Hooton و همکارانش می‌باشد که در روزهای اولیه عمل آوری کاهش شار عبوری را گزارش نموده بود[۵].

جدول ۲؛ نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده بر روی نمونه های بتن خودتراکم بارنگ پلی اورتان

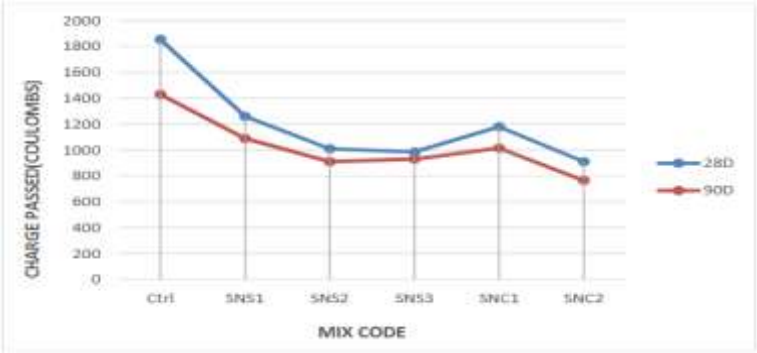
مخلوط	شار عبوری (کولمب) ۹۰ روزه	شار عبوری (کولمب) ۲۸ روزه	محدوده نفوذ یون کلر
Ctrl	1430	1855	متوسط
SNS1	1090	1260	متوسط
SNS2	910	1010	پایین
SNS3	930	985	پایین
SNC1	1015	1180	متوسط
SNC2	765	910	پایین
SNC3	835	970	پایین

www.SID.ir



نمودار ۳؛ نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده بر روی نمونه‌های بتن خودتراکم بارنگ پلی اورتان

با توجه به نمودار(۳) مشاهده میشود با افزودن رنگ پلی اورتان به نمونه‌ها شاهد کاهش نفوذ یون کلر می‌باشیم. که با افزایش مقدار نانو مس و سیلیس در طرح این کاهش بیشتر محسوس می‌باشد. همچنین با افزایش سن بتن به ۹۰ روزه مقدار کمتری از نفوذ در بتن مشاهده می‌شود. بر طبق تحقیقات Bloomberg در موسسه تحقیقات حمل و نقل آمریکا در سال ۲۰۰۳ تقریبا در تمامی نمونه‌هایی که دارای خاکستر بادی، میکروسیلیس و سرباره هستند با گذشت زمان عمل آوری از ۲۸ تا ۵۶ روزگی شاهد کاهش نفوذ یون کلر از ۲۵ تا ۴۵ درصد می‌باشیم و از ۵۶ تا ۹۰ روزگی تقریبا این کاهش نفوذ یون کلر کم می‌شود[۲]. نمونه‌های حاوی خاکستر بادی بیشترین کاهش در نفوذ یون کلر را دارا می‌باشند که بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است.



نمودار ۴؛ مقایسه ۲۸ و ۹۰ روزه نتایج آزمایش نفوذ یون کلر تسریع شده با رنگ

با توجه به نمودار(۴) شاهد کاهش نفوذپذیری طرح بتن خود تراکم می‌باشیم. که این قاعده در تمامی طرح‌ها به وضوح دیده می‌شود. همچنین در طرح‌های حاوی نانو سیلیس نسبت نفوذپذیری کمتری نسبت به نمونه‌های حاوی نانو سیلیس دارند. در سال ۲۰۰۰، Limو همکارانش مطالعه‌ای را بر روی رابطه بین میکرو ترک ایجاد شده توسط آزمایش غیرمحوری فشاری و مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلر که توسط آزمایش RCPT انجام شد، آغاز نمودند[۶]. نتایج آنان نشان داد که تنش بحرانی بتن به طور مستقیم بر روی نفوذپذیری موثر می‌باشد. بدین ترتیب که وقتی تنش کمتر از تنش بحرانی (تنشی بر اساس آن در بتن میکروترک ظاهر می‌شود) است، بتن

www.SID.ir

دارای مقاومت مطلوبی در برابر نفوذ یون کلر میباشد .اما وقتی که سطح تنش از تنش بحرانی فراتر رود و میکروترک‌ها ظاهر شوند، نفوذپذیری بتن افزایش می‌یابد .تاثیر میزان سنگدانهها بر روی نتایج آزمایش RCPT توسط Wee و همکارانش مطالعه شده است[۱۱]. در آن مطالعه ماتریس‌های سیمانی متفاوتی ساخته شده و تحت تاثیر آزمایش RCPT و مقاومت الکتریکی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که بتن مقاومت کمتری را در برابر نفوذ یون کلر در مقایسه با بتن معمولی دارد .البته در آن مطالعه با افزایش میکروسیلیس هم به ملات و هم به بتن مشخص شد که با افزودن میکروسیلیس نیز روند ذکر شده حفظ می‌شود.

۴-جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بتن خودتراکم به عنوان یک پیشرفت در ساخت بتن در دهه اخیر معرفی شد. با اینکه در آغاز توسعه این بتن نیروی کار متخصص برای آن بسیار کمیاب بود اما با این حال امتیازات اقتصادی بسیار زیادی را به اثبات رساند. در ابتدا تکنولوژی ساخت بتن خودتراکم در کشور ژاپن توسعه پیدا کرد و امکان ساخت آن با رشد و توسعه فوق روان کننده‌ها به سرعت فراهم شد. بتن خودتراکم در بخش‌های مختلف سازه با درصدی از آرماتور به طور کامل تمام خلاءها و فواصل را پر می‌کند، مانند عسل جریان می‌یابد و بعد از ریختن بتن، سطحی نزدیک به افق دارد. با در نظر گرفتن ترکیب آن، این بتن شامل همان ترکیبات معمولی ویبره شده از قبیل: سیمان، سنگدانه و آب و مواد افزودنی می‌باشد که می‌تواند بدون هیچگونه تلاش برای ویبره کردن آن و کسب اطمینان از پر شدن کامل قالب، حتی زمانی که به علت فاصله کم بین آرماتورها امکان دسترسی وجود نداشته باشد، تحت وزن خود ریخته و متراکم می‌شود.

رنگ پلی اورتان یک محصول دو جزئی است که بر پایه رزین پلی اورتان تهیه شده و از ویژگی‌های رنگ پلی اورتان می‌توان به خشک شدن و سخت شدن سریع رنگ پلی اورتان در درجه حرارت پایین، مقاومت سایشی و ضربه پذیری بالای ، رنگ‌های پلی اورتان در برابر نور خورشید، آب و مواد شیمیایی مقاومت بالایی دارند، مقاومت بالای رنگ نسبت به گچی شدن، چسبندگی بسیارعالی رنگ‌های زیبای پلی اورتان بر روی سطوح فلزی، مقاومت در برابر اسید، باز، روغن‌های صنعتی و شیمیایی و املاح اشاره نمود.

نفوذ یون کلر در نمونه‌ها حاوی نانوسیلیس و نانومس کاهش یافته و با افزایش سن نمونه‌های بتن خودتراکم روند کاهش نفوذ یون کلر مشاهده می‌شود. کاهش نفوذ یون کلر به معنای مقاومت بیشتر در برابر نفوذ در بتن می‌باشد که این مقاومت در نمونه‌های حاوی نانو مس بیشتر از نانوسیلیس مشاهده می‌شود. با افزودن رنگ پلی اورتان به نمونه شاهد کاهش نفوذ یون کلر در کلیه نمونه‌ها می‌باشیم.

۵-پیشنهادات

۱) بررسی تأثیر حرارت‌های بالا در بتن حاوی نانوسیلیس و نانومس

۲) بررسی ترکیب نانوسیلیس و نانومس و مقایسه تاثیر استفاده همزمان آن‌ها

۳) بررسی استفاده از ضایعات ساختمانی بر روی نفوذپذیری

www.SID.ir

۴) بررسی تاثیر اپوکسی بر روی سطح بتن جهت جلوگیری از نفوذ مواد شیمیایی

مراجع و منابع

۱. AASHTO T ۲۵۹; "Resistance of concrete to chloride ion penetration"; AASHTO, (۲۰۰۷)

۲. Blomberg, J. M. "Laboratory Testing of Bridge Deck mixes." RDT ۰۳-۰۰٤, Missouri Department of Transportation Research, Development, and Technology. (۲۰۰۳)

۳. Curtis j. stundebeck, "Durability of ternary blended cement in bridge applications", PCA R&D Serial No. ۲۷۵٤

٤. Huseyin Yigiter, Halit Yazıcı, Serdar Aydın, "Effects of cement type, water/cement ratio and cement content on sea water resistance of concrete", Building and Environment ٤۲, pp. ۱۷۷۰–۱۷۷٦ (۲۰۰۷)

۵. K.D. Stanish, R.D. Hooton and M.D.A Thomas "Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete" A Literature Review FHWA Contract DTFH٦۱-۹۷-R- ۰۰۰۲۲.

٦. Lim, C.C., Gowripalan, N., and Sirivivatnanon, V., (۲۰۰۰). "Microcracking and Chloride Permeability of Concrete under Uniaxial Compression," Cement and Concrete Composites, Vol. ۲۲, no. ۵, pp. ۳۵۳-۳٦۰

۷. Oh, B. H., Cha, S. W., Jang, B. S., and Jang, S. Y. (۲۰۰۲). "Development of high performance concrete having high resistance to chloride penetration." Nuclear Engineering & Design, ۲۱۲(۱-۳ March), ۲۲۱-۲۳۱.

۸. Plante, P., and Bilodeau, A. (۱۹۸۹). "Rapid Chloride Permeability Test: Data on Concrete Incorporating Supplementary Cementing Materials." Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, V. M. Malhotra, ed., American Concrete Institute, Trondheim, Norway, ٦۲٦-٦٤٤.

۹. R.M. de Gutierrez, L.N. Dıaz, S. Delvasto, " Effect of pozzolans on the performance of fiber-reinforced mortars", Cement & Concrete Composites ۲۷ (۲۰۰۵) ۵۹۳–۵۹۸.

۱۰. V. Saraswathy, Ha-Won Song, "Corrosion performance of rice husk ash blended concrete", Construction and Building Materials ۲۱ (۲۰۰۷) ۱۷۷۹–۱۷۸٤.

۱۱. Wee, T.H., Suryavanshi, A.K., and Tin, S.S, (۱۹۹۹). "Influence of Aggregate Fraction in the Mix on the Reliability of the Rapid Chloride Permeability Test," Cement & Concrete Composites, vol. ۲۱, no. ۱, pp. ۵۹-۷۲.

۱۲. Yeau KY, Kim EK, "An experimental study on corrosion resistance of concrete with ground granulate blast-furnace slag", Cement and Concrete Research ۳۵ (۲۰۰۵); ۱۳۹۱–۹.

www.SID.ir