بررسی تغییرات شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی متاثر از افزودن پودر دوده ی سیلیس در مقادیر متفاوت

پویا مهدیقلی[1]، حسن فضائلی[2]

[1]کارشناس ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران- شمال؛ P_mehdigholi@yahoo.com

[2]استادیار، گروه راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران- شمال؛ fazaeli@iau-tnb.ac.ir

* نویسنده مسئول: پویا مهدیقلی

چکیده

ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری یکی از انواع شایع خرابی در روسازی های بتنی است. بررسی تاثیر مواد نوین مانند دوده ی سیلیس که در صنعت بتن استفاده شده، بر تغییرات این نوع ترک خوردگی، به منظور شناخت بهتر رفتار این خرابی اهمیت دارد. تحقیق حاضر به بررسی تغییرات شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی متاثر از افزودن پودر دوده ی سیلیس ر مقادیر متفاوت می پردازد. دوده ی سیلیس در مقادیر مصرف ۵ و ۷.۵ درصد در بتن روسازی بتنی استفاده شده و متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری با استفاده از روش استاندارد ASTM C1579 با تحلیل تصاویر دیجیتال، ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که ماده ی دوده ی سیلیس منجر به افزایش شدت ترک خوردگی در روسازی های بتنی می شود. ماده ی دوده ی سیلیس در میزان ۷.۵ درصد، منجر به افزایش متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی به ترتیب به میزان ۱۸، ۸ و ۲۸ درصد گردید. میزان مصرف دوده ی سلیس تاثیر محسوسی بر تغییرات شدت ترک خوردگی داشت. همچنین دیده شده که ماده ی دوده ی سیلیس، بیشتر باعث رشد عرضی ترک خوردگی، نسبت به رشد طولی آن در روسازی های بتنی می گردد.

کلمات کلیدی: روسازی بتنی، ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری، دوده ی سیلیس، شدت ترک خوردگی.

۱- مقدمه

به دلیل مسطح بودن روسازی های بتنی نسبت به دیگر سازه ها، ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری یکی از ترک خوردگی های شایع در روسازی های بتنی بوده که در ساعات اولیه پس از ساخت روسازی رخ می دهد[1,2]. این نوع ترک خوردگی به دلیل خشک شدن سریع سطح بتن و تشکیل فشار های مویینگی منفی در بتن به وجود می آید. نشست[1] روسازی بتنی که ناشی از اختلاف وزن مصالح تشکیل دهنده ی بتن و نیروی جاذبه ی زمین بوده، منجر به انتقال آب مخلوط بتنی به سطح روسازی می گردد. این فرآیند در روسازی بتنی به آب انداختگی[2] معروف بوده که با نرخی متاثر از عوامل مختلف شامل نسبت آب به مواد سیمانی و نوع و میزان مواد سیمانی، آب را به سطح بتن انتقال می دهد[3]. لایه ی آب حاصل از آب انداختگی در سطح بتن با نرخ مشخصی که وابسته به شرایط و عوامل محیطی بوده، تبخیر می شود. پس از برابری نرخ تبخیر و آب انداختگی در سطح روسازی، لایه ی آب سطحی حذف شده و پس از آن فشار آب حفره ای منفی می گردد. فشار های مویینگی منفی تشکیل شده در بتن، منجر به ایجاد جمع شدگی و ترک خوردگی روسازی بتنی می شود[4,5].

استفاده از مواد و مصالح نوین در روسازی های بتنی به منظور اصلاح خصوصیات و یا بهبود عملکرد آن، همواره مورد توجه محققان و متولیان صنعت روسازی بوده است. پودر دوده ی سیلیس یکی از مواد و مصالح نوین در صنعت تکنولوژی بتن بوده که در مخلوط ها و سازه های بتنی مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. دوده ی سیلیس یک محصول جانبی در کوره قوس الکتریکی بوده و دارای ذرات ریز می باشد. پودر دوده ی سیلیس در مخلوط بتنی باعث فعالیت های پوزولانی شده و در نتیجه خصوصیات مقاومتی و دوامی بتن را افزایش می دهد. دوده ی سیلیس به دلیل ریز دانه بودن، در حفرات داخل مخلوط بتنی را پر کرده و از میزان تخلخل آن می کاهد[6,7]. استفاده از پودر دوده ی سیلیس در روسازی های بتنی نیز با هدف افزایش دوام و عملکرد روسازی، مورد توجه بوده است. با توجه به اثرات مثبتی که این ماده در بهبود خصوصیات دوامی و مقاومتی روسازی های بتنی از خود نشان داده، در نتیجه استفاده از آن در این سازه های بتنی اهمیت یافته و همواره سعی بر بررسی تاثیر این ماده بر خصوصیات مختلف روسازی های بتنی بوده چرا که این ماده، رفتار بتن مخلوط بتنی را تغییر می دهد[8].

[1] Settlement
[2] Bleeding

ارزیابی تاثیر سیمان ها و مواد سیمانی مختلف بر تغییر رفتار بتن تازه و بررسی اثرات آن بر تغییر رفتار ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری، مساله ی با اهمیت در ارزیابی این نوع خرابی است. از آن جا که مواد پوزولانی باعث تغییر رفتار بتن در حالت تازه می شوند، از این جهت می توان انتظار تغییر رفتار جمع شدگی خمیری و ترک خوردگی ناشی از آن را داشت. از این جهت، در برخی از تحقیقات اثر مواد سیمانی و پوزولانی مختلف بر تغییر رفتار جمع شدگی خمیری مورد بررسی واقع شده است. به عنوان مثال، المسلم و همکاران[3]، اثر ماده ی دوده ی سیلیس بر شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری را در شرایط محیطی گرم و مرطوب و گرم خشک را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند که ماده ی دوده ی سیلیس باعث افزایش شدت ترک خوردگی در مخلوط های بتنی می شود[9]. با وجود بررسی اثر ماده ی دوده ی سیلیس در مقادیر مصرف متفاوت شامل ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بر رفتار ترک خوردگی خمیری، تنها مساحت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری بررسی شده و دیگر مشخصات هندسی ترک خوردگی، شامل متوسط عرض و طول آن مورد ارزیابی قرار نگرفته است. از طرف دیگر، این مقادیر، از در پروژه های واقعی، مقادیر مصرف بالایی تلقی شده و نیاز است تا مقادیر نزدیک تر به اجرا، مانند مقادیر ۵ تا ۱۰ درصد، بررسی می گردید. همچنین، روش ارزیابی ترک خوردگی، با استفاده از دال های بتنی فاقد قیود به جهت افزایش استعداد ترک خوردگی بوده و تنها سطح زیر قالب به عنوان قید ایجاد کننده ترک معرفی گردید. این موضوع می تواند بر رفتار ترک خوردگی تاثیر داشته و شدت ترک خوردگی کمتری را حاصل شود. در تحقیق انجام شده توسط نصیر و همکاران[4] مشاهده شد که دوده ی سیلیس در مقدار ۷ درصد، باعث ایجاد بیشترین کرنش ناشی از جمع شدگی خمیری در آزمونه های بتنی ساخته شده در دمای ۳۸ و ۴۵ درجه سانتی گراد گردید[10]. با این حال، مقادیر مصرف دیگر مورد بررسی قرار نگرفت، و همچنین، تاثیر این ماده بر تغییرات خصوصیات هندسی ترک خوردگی، مورد ارزیابی واقع نگردید.

بررسی پیشینه ی پژوهش، حاکی از آن است که دوده ی سیلیس باعث تغییر رفتار ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در مخلوط های بتنی می گردد. با این حال، مواردی وجود داشته، که نیازمند تحقیقات بیشتر است. اثر دوده ی سیلیسبر تغییرات خصوصیات هندسی ترک خوردگی شامل مساحت، متوسط عرض و طول ترک خوردگی در روسازی های بتنی کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است. این موضوع که ماده ی دوده ی سیلیس چه تاثیری بر رشد طولی و عرضی ترک خوردگی داشته و باعث رشد بیشتر در کدام جهت شده، موضوعی است که به منظور اتخاذ تدابیر مناسب به منظور کنترل عرض یا طول ترک خوردگی اهمیت پیدا می کند چرا که برخی از مواد مانند الیاف میکرو پلی پروپیلن، توانایی بیشتری در کنترل عرض ترک خوردگی دارد. همچنین، نیاز است تا مقادیر مصرف مختلف نزدیک به مقادیر مورد استفاده در اجرا در نظر گرفته شده تا به پروژه های واقعی نزدیک تر گردد. ارزیابی مجموع این موارد، علاوه بر کمک به درک درست تر و بهتر از تاثیر پودر دوده ی سیلیس بر تغییر رفتار ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری، می تواند به استفاده ی بهتر و مناسب تر از این ماده در روسازی های بتنی کمک شایان کند. از این جهت، تحقیق حاضر به بررسی تغییرات شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی متاثر از افزودن پودر دوده ی سیلیس در مقادیر متفاوت می پردازد.

۲- روش تحقیق

در این قسمت، روش تحقیق به کار گرفته شده به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، ارائه می شود. در ابتدا مشخصات مواد و مصالح استفاده شده، تشریح شده و سپس روند تعیین نسبت های اختلاط بتن روسازی بتنی عنوان می شود. پس از آن، روش ارزیابی ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی آورده می شود.

۲-۱- مصالح

مصالح سنگی مورد استفاده در تحقیق، شامل مصالح سنگی آهکی با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر بود. مصالح سنگی در سه گروه ابعادی شامل مصالح سنگی ریزدانه ۵-۰ میلیمتر و مصالح سنگی درشت دانه در دو گروه ۱۲-۵ میلیمتر و ۱۹-۱۲ میلیمتر در ساخت مخلوط های بتنی استفاده شد. مدول نرمی، چگالی نسبی و جذب آب مصالح سنگی ۵-۰ میلیمتر به ترتیب به میزان ۳.۴۶، ۲.۶۳ و ۱.۰۸ درصد بود. چگالی نسبی و جذب آب برای مصالح سنگی ۱۲-۵ میلیمتر به ترتیب به میزان ۲.۶۲ و ۰.۷ درصد و برای مصالح سنگی ۱۹-۱۲ میلیمتر به ترتیب به میزان ۲.۶۰ و ۰.۵۱ بود.

سیمان مورد استفاده در ساخت مخلوط های بتنی، سیمان پرتلند تیپ ۱-۴۲۵ با بود. وزن مخصوص سیمان مورد استفاده ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب است.

[3] Almussalam et al.
[4] Nsir et al.

پودر دوده ی سیلیس استفاده شده در تحقیق، دوده ی سیلیس کارخانه سمنان با وزن مخصوص ۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

آب آشامیدنی سیستم لوله کشی شبکه آزمایشگاه به منظور ساخت مخلوط های بتنی استفاده شد.

۲-۲- نسبت های اختلاط بتن روسازی بتنی

تعیین نسبت های اختلاط بتن روسازی بتنی مورد نظر در این تحقیق، به گونه ای صورت گرفت تا معیار های ذکر شده توسط ضابطه ۷۳۱، دستور العمل طراحی، نظارت و اجرای روسازی بتنی راهها، برای بتن روسازی بتنی درزدار ساده رعایت گردد. در جدول ۱، معیار های در نظر گرفته شده به منظور تعیین نسبت های اختلاط بتن روسازی بتنی ساده آورده شده است.

جدول ۱: معیار های تعیین نسبت های اختلاط بتن روسازی بتنی مطابق با ضابطه ی ۷۳۱

معیار	مقدار	روش آزمایش
مقاومت فشاری	۳۰.۳	ASTM C39
مقاومت خمشی (به روش تیر ساده بارگذاری در یک سوم دهانه)	۴.۱	ASTM C78
حداقل سیمان (Kg/m^3)	۳۲۰- در شرایط بدون چرخه های ذوب و یخبندان	-
	۳۳۵- در شرایط با چرخه های ذوب و یخبندان	-
حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی (W/CM)	۰.۵۳	-
هوای بتن	۵ تا ۸ درصد	ASTM C231

نسبت آب به مواد سیمانی، با توجه به رابطه ی بین نسبت آب به مواد سیمانی و مقاومت فشاری در دستور العمل ACI 211-09 و همچنین، حداکثر نسبت آب به مواد سیمان مجاز روسازی بتنی (جدول ۳)، به میزان ۰.۵ در نظر گرفته شد. این میزان نسبت آب به مواد سیمانی، از نظر ایجاد به منظور افزایش استعداد ترک خوردگی و همچنین، راحتی در ساخت آزمونه ها، مناسب می باشد. میزان سیمان در مخلوط های بتنی، به میزان ۴۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب انتخاب شد. این میزان سیمان با توجه به دستیابی به حداقل مقاومت فشاری در مخلوط های بتنی و همچنین قرار گرفتن اسلامپ مخلوط های بتنی در حدود تعیین شده توسط ضابطه ی ۷۳۱ (۱۰ تا ۷۰ میلیمتر) در نظر گرفته شد. سهم هر یک از مصالح سنگی به گونه ای تعیین شد که نمودار ترکیب مصالح سنگی در حدود بالا و پایین دانه بندی پیشنهادی در روش ملی طرح مخلوط، ضابطه ی ض-۴۷۹ قرار گیرد. از این جهت، سهم مصالح سنگی ۵-۰ میلیمتر، ۱۲-۵ میلیمتر و ۱۹-۱۲ میلیمتر به ترتیب به میزان ۶۰، ۲۵ و ۱۵ درصد انتخاب شد.

مقدار مصرف پودر دوده ی سیلیس به میزان ۵ و ۷.۵ درصد نسبت به مجموع مواد سیمانی در نظر گرفته شد. این مقادیر مورد پیشنهاد بیشتر دستور العمل ها و آیین نامه های مرتبط با بتن (مانند آیین نامه ی بتن ایران-آبا) بوده و همچنین، به مقادیر مورد مصرف در پروژه های واقعی نزدیک می باشد. بدین ترتیب تعداد ۱ طرح اختلاط بتن شاهد و ۲ طرح اختلاط بتن حاوی دوده ی سیلیس در مقادیر مصرف مختلف در روند تحقیق مد نظر قرار گرفت. در جدول 1 مقادیر وزنی نسبت های اختلاط طرح های مخلوط بتن مورد نظر در این تحقیق را نشان می دهد.

جدول ۱: نسبت های وزنی طرح های اختلاط مورد بررسی در این تحقیق

طرح اختلاط	سیمان (Kg/m^3)	مصالح سنگی ریزدانه (0-5 mm) (Kg/m^3)	مصالح سنگی درشت دانه ریز (5-12 mm) (Kg/m^3)	مصالح سنگی درشت دانه متوسط (12-19 mm) (Kg/m^3)	آب (Kg/m^3)	دوده ی سیلیس (Kg/m^3)
شاهد	۴۰۰	۱۰۳۹	۴۳۳	۲۵۹	۲۰۰	۰
الیافی هودار	۴۰۰	۱۰۰۷	۴۲۰	۲۵۱	۲۱۰.۵	۲۱.۱
الیافی هودار	۴۰۰	۹۹۰	۴۱۲	۲۴۶	۲۱۶.۲	۳۲.۴

روش ساخت مخلوط های بتنی بدین ترتیب صورت گرفت: در ابتدا مصالح سنگی به صورت خشک به مدت ۲ دقیقه در مخلوط کن اختلاط شد. سپس، سیمان و پودر دوده ی سیلیس، در طرح های اختلاط حاوی این ماده، به مخلوط مصالح سنگی اضافه شده و به مدت ۲ دقیقه اختلاط شد. پس از آن، آب اختلاط به مخلوط مصالح سنگی و مواد سیمانی اضافه شده و به مدت ۴ دقیقه اختلاط شد. پس از این مرحله، مخلوط بتنی آماده ی ریختن داخل قالب ها جهت ساختن آزمونه های بتنی است.

۳-۲- ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری

در این تحقیق از روش استاندارد ASTM C1579 به منظور ارزیابی ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در مخلوط های بتن روسازی بتنی استفاده گردید. در این روش، دال های بتنی به ابعاد ۱۰۰*۳۵۵*۵۶۰ میلیمتر ساخته شده و مورد ارزیابی قرار می گیرد. در کف قالب بتنی، از یک ابزار فولادی به منظور ایجاد ترک خوردگی در قسمت های از دال بتنی استفاده می شود. این ابزار، متشکل از دو قید در دو طرف آن و یک افزاینده ترک در مرکز آن است. از آن جا که ماهیت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری پراکنده بوده و در سطح روسازی پخش می شود، در نتیجه این ابزار امکان تجمع ترک خوردگی در یک مسیر مشخص، به منظور ارزیابی اثر متغیر های مستقل در تحقیق را به دست می دهد. در شکل ۱، قالب و ابزار فولادی در این تحقیق مشاهده می شود.

شکل ۱: قالب و ابزار فولادی مورد استفاده در تحقیق

مخلوط بتنی تازه در یک لایه داخل قالب ریخته شده و با استفاده از کوبه، مطابق با استاندارد ASTM C1579 متراکم می گردید. پس از آن، با استفاده از ماله سطح دال بتنی صاف می شد. پس از آماده سازی آزمونه های بتنی، انتقال این آزمونه ها به محفظه ی کنترل عوامل جوی صورت می گرفت. این محفظه، توانایی کنترل و حفظ شرایط محیطی شامل دمای محیطی، رطوبت نسبی هوا و سرعت جریان باد در میزان و به مدت زمان مشخص مطابق با استاندارد ASTM C1579 دارد. در شکل ۲، محفظه ی شبیه ساز عوامل جوی مورد استفاده در این تحقیق مشاهده می شود.

شکل ۲: محفظه ی شبیه ساز عوامل جوی مورد استفاده در تحقیق

شرایط محیطی مورد نظر در این تحقیق، شامل دمای محیطی ۴۰ درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی هوای ۲۰ درصد و سرعت جریان باد ۳۰ کیلومتر بر ساعت، بود. این شرایط محیطی باعث ایجاد بیشترین استعداد ترک خوردگی در مخلوط های بتنی شده و باعث می شود تا تغییر رفتار ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در آزمونه های بتنی محسوس باشد. مدت زمان آزمایش، به میزان ۶ ساعت در نظر گرفته شد. در این مدت زمان، رشد ترک خوردگی های ناشی از جمع شدگی خمیری کامل شده و گیرش نهایی بتن نیز رخ می دهد. در نتیجه، اطمینان از رشد نهایی ترک خوردگی در آزمونه های بتنی حاصل می گردد. در شکل ۳، ساخت و آزمایش آزمونه های بتنی

مشاهده می شود.

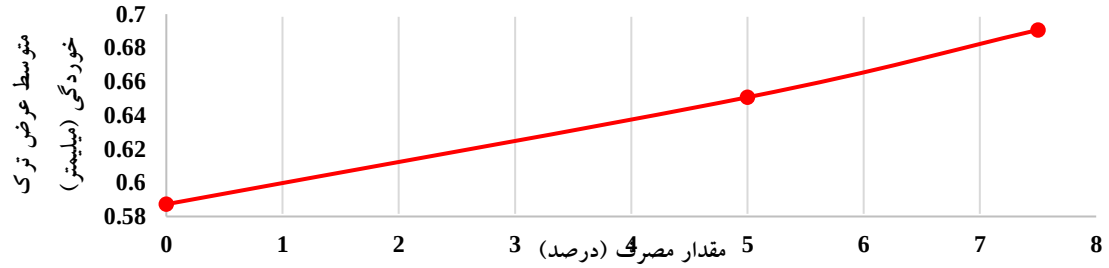
شکل ۳: ساخت و آزمایش آزمونه های بتنی در تحقیق

پس از اتمام آزمایش، آزمونه ها از داخل محفظه به بیرون منتقل می شوند. سپس، با استفاده از میکروسکوپ نوری متصل به یک رایانه، تصاویر دیجیتال از مسیر ترک خوردگی که در راستای افزاینده ترک در میانه ی آزمونه بوده، گرفته می شود. تصاویر دیجیتال گرفته شده از مسیر ترک خوردگی، از فاصله ی ارتفاعی مشخصی گرفته شده تا امکان ارزیابی ترک خوردگی های ریز، محیا باشد. بدین ترتیب، مسیر ترک خوردگی در هر آزمونه، تقسیم بندی شده و هر تصویر هر قسمت برداشت می شد. با توجه به فاصله ی ارتفاع عکس برداری در نظر گرفته شده در این تحقیق، حداکثر تعداد ۸ تا ۹ تصویر از مسیر ترک خوردگی در هر آزمونه گرفته شده به طوری که با قرار دادن این تصاویر در کنار یکدیگر، تصویر کامل مسیر ترک خوردگی تشکیل می شد. در شکل ۴، تصویر دیجیتال قسمتی از ترک خوردگی یک آزمونه در این تحقیق مشاهده می شود. تحلیل تصاویر دیجیتال مطابق با روش ارائه شده در تحقیق زیاری و همکاران انجام گرفت[11].

شکل ۴: تصویر دیجیتال از محل ترک خوردگی

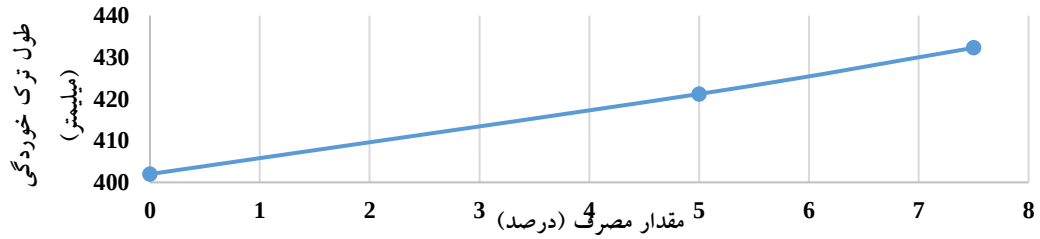
۳- نتایج و بحث

شکل های ۵، ۶ و ۷ به ترتیب متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در مخلوط های بتنی شاهد و حاوی ماده ی دوده ی سیلیس در مقادیر مصرف مختلف را نشان می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می شود که با افزودن دوده ی سیلیس به مخلوط های بتنی، شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری افزایش می یابد. با افزودن دوده ی سیلیس به میزان ۵ درصد به مخلوط بتنی شاهد، متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی آزمونه های بتنی به ترتیب به میزان ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد افزایش می یابد. دوده ی سیلیس در مخلوط بتنی باعث ایجاد واکنش های پوزولانی شده و در نتیجه استعداد جمع شدگی در مخلوط بتنی را افزایش می دهد. به بیان دیگر، با افزایش میزان مواد سیمانی در مخلوط های بتنی، شدت جمع شدگی در بتن افزایش می یابد. این موضوع در مورد جمع شدگی خمیری در مخلوط های بتنی نیز صادق بوده و در تحقیق انجام شده توسط المسلم و همکاران دیده شده است[۳]. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق، می توان عنوان نمود که افزودن دوده ی سیلیس به مخلوط های بتنی، منجر به افزایش شدت جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی می شود. افزایش شدت جمع شدگی خمیری متاثر از افزودن دوده ی سیلیس در مخلوط های بتنی، منجر به افزایش شدت ترک خوردگی ناشی از آن می گردد. در نتیجه، با افزودن ماده ی دوده ی سیلیس به مخلوط بتن روسازی بتنی، شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری افزایش می یابد.



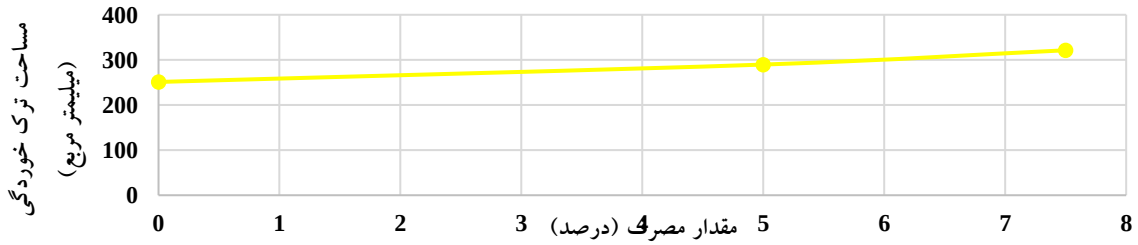
شکل ۵: تغییرات متوسط عرض ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری نسبت به تغییرات دوده ی سیلیس در مخلوط های بتنی

با بررسی بیشتر نتایج به دست آمده، دیده می شود که با افزایش میزان مصرف ماده دوده ی سیلیس در مخلوط بتنی، شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در آزمونه های بتنی شاهد افزایش بیشتری می گردد. افزودن ماده ی دوده ی سیلیس به مخلوط بتنی شاهد به میزان ۷.۵ درصد، منجر به افزایش متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی به ترتیب به میزان ۱۸، ۸ و ۲۸ درصد می شود. این موضوع حاکی از آن است که تاثیر اثر ماده ی دوده ی سیلیس بر افزایش شدت جمع شدگی خمیری در مخلوط های بتنی ادامه داشته و با افزودن بیشتر این ماده، شدت ترک خوردگی ناشی از آن بیشتر افزایش می یابد. همانطور که پیشتر عنوان گردید، افزودن ماده ی دوده ی سیلیس فعالیت ها پوزولانی در مخلوط بتنی را افزایش می دهد. در نتیجه، میزان جمع شدگی ناشی از جمع شدگی خمیری در بتن متاثر از افزودن این ماده، بیشتر می گردد. نتیجه ی به دست آمده در این قسمت حاکی از این موضوع است که میزان مصرف ماده ی دوده ی سیلیس، بر تغییرات جمع شدگی خمیری و ترک خوردگی ناشی از آن تاثیر محسوسی داشته به طوری که با افزایش میزان آن در مخلوط بتنی، روند افزایشی شدت ترک خوردگی در بتن ادامه می یابد.



شکل ۶: تغییرات طول ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری نسبت به تغییرات دوده ی سیلیس در مخلوط های بتنی

ارزیابی نتایج به دست آمده، نشان می دهد که میزان تغییرات متوسط عرض ترک خوردگی در مخلوط های بتنی حاوی ماده ی دوده ی سیلیس بیشتر از تغییرات طول ترک خوردگی می باشد. به عبارت دیگر، ماده ی دوده ی سیلیس تاثیر بیشتری بر رشد عرضی ترک خوردگی نسبت به طول آن دارد. از آن جا که تغییرات مساحت ترک خوردگی، متاثر از تغییرات متوسط عرض و طول ترک خوردگی بوده، در نتیجه، مساحت ترک خوردگی نسبت به دو متغیر هندسی دیگر، بیشتر تغییر می کند.



شکل ۷: تغییرات مساحت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری نسبت به تغییرات دوده ی سیلیس در مخلوط های بتنی

۴- نتیجه و جمع بندی

مهم ترین نتایج به دست آمده از این تحقیق شامل موارد زیر است:

- افزودن ماده ی دوده ی سیلیس باعث تغییرات رفتار ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی شده و شدت آن را افزایش می دهد.
- ماده ی دوده ی سیلیس در میزان مصرف ۵ درصد، منجر به افزایش متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی به ترتیب به میزان ۱۰، ۵ و ۱۵ درصد در روسازی های بتنی می شود.
- با افزایش میزان مصرف ماده ی دوده ی سیلیس، روند افزایش شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی ادامه پیدا می کند.
- پس از افزودن ماده ی دوده ی سیلیس به میزان ۷.۵ درصد، متوسط عرض، طول و مساحت ترک خوردگی به ترتیب به میزان ۱۸، ۸ و ۲۸ درصد افزایش می یابد.
- میزان مصرف ماده ی دوده ی سیلیس، تاثیر محسوسی بر تغییرات شدت ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری در روسازی های بتنی دارد.
- ماده ی دوده ی سیلیس تاثیر بیشتری بر تغییرات متوسط عرض ترک خوردگی نسبت طول آن داشته و ترک خوردگی در جهت عرضی بیشتر از جهت طولی آن رشد می کند.

۵- منابع

[1] M. Wyrzykowski, S. Ghourchian, B. Münch, M. Griffa, A. Kaestner, P. Lura, Plastic shrinkage of mortars cured with a paraffin-based compound – Bimodal neutron/X-ray tomography study, Cem. Concr. Res. 140 (2021) 106289. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2020.106289.

[2] Q. Liu, J. Xiao, A. Singh, Quantification of plastic shrinkage and cracking in mortars containing different recycled powders using digital image correlation technique, Constr. Build. Mater. 293 (2021) 123509. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123509.

[3] M. Kayondo, R. Combrinck, W.P. Boshoff, State-of-the-art review on plastic cracking of concrete, Constr. Build. Mater. 225 (2019) 886–899. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.197.

[4] G.M. Moelich, R. Combrinck, A weather data analysis method to mitigate and prevent plastic shrinkage cracking, Constr. Build. Mater. 253 (2020) 119066. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119066.

[5] I.M.G. Bertelsen, L.M. Ottosen, G. Fischer, Influence of fibre characteristics on plastic shrinkage cracking in cement-based materials: A review, Constr. Build. Mater. 230 (2020) 116769. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116769.

[6] A. Mehta, D.K. Ashish, Silica fume and waste glass in cement concrete production: A review, J. Build. Eng. 29 (2020) 100888. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100888.

[7] A. Imam, V. Kumar, V. Srivastava, Review study towards effect of Silica Fume on the fresh and hardened properties of concrete, Adv. Concr. Constr. 6 (2018) 145–157. https://doi.org/10.12989/acc.2018.6.2.145.

[8] Z. Li, Advanced Concrete Technology, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Hoboken, New Jersey, 2011.

[9] A.A. Almussalam, M. Maslehuddin, M. Abdul-Waris, F.H. Dakhil, O.S.B. Al-Amoudi, Plastic shrinkage cracking of blended cement concretes in hot environments, Mag. Concr. Res. 51 (1999) 241–246. https://doi.org/10.1680/macr.1999.51.4.241.

[10] M. Nasir, O.S. Baghabra Al-Amoudi, M. Maslehuddin, Effect of placement temperature and curing method on plastic shrinkage of plain and pozzolanic cement concretes under hot weather, Constr. Build. Mater. 152 (2017) 943–953. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.068.

[11] H. Ziari, H. Fazaeli, S.J. Vaziri Kang Olyaei, M.A. Ziari, Evaluation of effects of temperature, relative humidity, and wind speed on practical characteristics of plastic shrinkage cracking distress in concrete pavement using a digital monitoring approach, Int. J. Pavement Res. Technol. 15 (2022) 138–158.