

تأثیر قید در جمع‌شدگی و نشست خمیری مصالح تعمیری بر پایه بتن خودمتراکم

پرویز قدوسی^{۱*}، علی اکبر شیرزادی جاوید^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران

ghoddousi@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۰۷

چکیده- جمع‌شدگی خمیری، در زمانی که بتن حالت خمیری دارد رخ می‌دهد. در این زمان اگر بتن آزادانه جمع شود، هیچ ترکی در آن به‌وجود نمی‌آید اما در تعمیر سازه‌های بتنی، سطح بتن پایه زیر است و به علت این زبری، بتن تعمیری، تحت شرایط مقید قرار دارد و به دلیل توسعه تنش کششی در بتن تعمیری، احتمال ترک خوردگی بتن بسیار زیاد است. در این تحقیق ۴ نوع بتن تعمیری ارزیابی می‌شود که عبارتند از بتن خودمتراکم ساده، که در این تحقیق S، حاوی میکروسیلیس که SS، حاوی میکروسیلیس و لاتکس استایرن بوتادین که SSL و حاوی میکروسیلیس، لاتکس و الیاف که SSLF نامیده شده‌اند. برای بررسی زبری‌های متفاوت روی سطح بتن پایه، شیارهایی با مقطع نیم‌دایره با درجات قید (شاخص قید) مختلف در هر دو جهت سطح ایجاد شده است. بتن تعمیری پس از ریخته شدن روی بتن پایه درون اتاقک باد و گرما قرار گرفته است و جمع‌شدگی و نشست و پارامترهای ترک‌خوردگی اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد. بتن حاوی الیاف و لاتکس، کم‌ترین مقدار نشست و جمع‌شدگی خمیری را نشان می‌دهد. کم‌ترین مساحت ترک و بیش‌ترین زمان مشاهده اولین ترک‌مربوط به بتن نوع لاتکس است. هم‌چنین کرنش جمع‌شدگی و نشست بتن خودمتراکم ساده و بتن حاوی میکروسیلیس حدوداً دو برابر بتن حاوی لاتکس و الیاف است.

کلیدواژگان: کرنش نشست خمیری، جمع‌شدگی خمیری، نرخ آب‌انداختگی، کرنش مقید

۱- مقدمه

بلکه جمع‌شدگی مقید که به‌وسیله قید ناشی از سطح بتن پایه در بتن تعمیری، ایجاد تنش کششی می‌کند، موجب ترک در سطح بتن می‌شود. بنابراین عواملی شامل شرایط محیطی، شرایط قید و ترکیبات خود بتن تعمیری در عملکرد بتن در مقابل جمع‌شدگی خمیری مؤثر است. برخی از محققان تنها نقش ترکیبات بتن و مخلوط‌های

جمع‌شدگی خمیری در چند ساعت اول پس از بتن‌ریزی رخ می‌دهد. هنگامی که تبخیر آب از سطح بتنی که در مرحله خمیری است بیش‌تر از آب‌انداختگی آن می‌شود، بتن در معرض ترک‌خوردگی ناشی از این جمع‌شدگی است. جمع‌شدگی خمیری آزاد موجب هیچ ترکی نمی‌شود

که R برابر فاکتور قید است. در صورتی که هیچ قیدی در مقابل جمع‌شدگی بتن تعمیری وجود نداشته باشد (بین بتن پایه و بتن تعمیری، زبری و اصطکاک وجود نداشته باشد)، $R=0$ و $\varepsilon_{mc} = \varepsilon_{fc}$ برای یک عضو کاملاً مقید $R=1$ و از این رو $\varepsilon_{rc} = \varepsilon_{fc}$ است.

در این تحقیق یک برآورد آزمایشگاهی از تأثیر الیاف، لاتکس و میکروسیلیس بر کرنش، نشست خمیری و ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری انجام شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

برای ساخت بتن پایه که از نوع بتن معمولی است از سیمان پرتلند نوع ۲، محصول کارخانه تهران به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در مترمکعب، سنگ‌دانه ریز به مقدار ۷۱۰ کیلوگرم در مترمکعب، سنگ‌دانه درشت با بیشینه‌ی اندازه ۲۵ میلی‌متر به مقدار ۱۱۰۲ کیلوگرم در مترمکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ استفاده شده است. هم‌چنین ابعاد این بتن برابر $100 \times 100 \times 600$ میلی‌متر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن ۲۲ مگاپاسکال بوده است.

در ساخت بتن تعمیری که از نوع بتن خودمتراکم است، از سیمان پرتلند نوع ۲، محصول کارخانه تهران و ماسه رودخانه‌ای با وزن مخصوص ۲/۶ به عنوان مصالح ریزدانه و سنگ‌دانه درشت از جنس سنگ آهک با وزن مخصوص ۲/۶۸ و با بیشینه‌ی اندازه ۹/۵ میلی‌متر استفاده شده است. منحنی دانه‌بندی برای ساخت این بتن از منحنی $C_{9.5}$ طرح ملی مخلوط ایران انتخاب شده است. هم‌چنین افزودنی‌های معدنی مورد استفاده در این تحقیق میکروسیلیس محصول کارخانه ازنا لرستان و پودر سنگ آهک با اندازه $2 \mu m$ است. افزودنی شیمیایی استفاده شده، فوق روان‌کننده و کاهنده قوی آب از نوع پلی‌کربوکسیلاتی و لاتکس

بتن را در افزایش یا کاهش جمع‌شدگی بررسی کرده‌اند [۶-۱]. مطالعات نشان می‌دهد که افزودن الیاف به بتن باعث محدود شدن و کاهش استعداد ترک‌خوردگی ناشی از جمع‌شدگی خمیری می‌شود. برانچ و همکاران [۶] در تحقیق خود به این نتیجه رسیده‌اند که مساحت ترک با استفاده از الیاف پلی‌پروپیلن به میزان ۰/۱ درصد حجمی، حدود ۴۰ تا ۸۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. ما و همکاران [۷] در مطالعه خود بیان کردند که با افزودن الیاف، تعداد ترک‌های بزرگ کاهش اما ریزترک‌ها افزایش پیدا می‌کنند.

افزایش زبری سطح بتن پایه (بتنی که نیاز به تعمیر دارد)، به علت افزایش قید ناشی از این بتن در مقابل جمع‌شدگی خمیری بتن تعمیری (جمع‌شدگی خمیری مقید)، باعث ایجاد و افزایش تنش کششی در بتن تعمیری شده و اگر این تنش از ظرفیت کرنش کششی بتن تعمیری بیش‌تر باشد باعث ایجاد ترک در آن می‌شود. عباس‌نیا و همکاران [۹] گزارش کرده‌اند که تنش در المان‌های بتنی به تنهایی متناسب با کرنش جمع‌شدگی خمیری اندازه‌گیری شده (واقعی) نیست بلکه متناسب با تفاضل کرنش جمع‌شدگی خمیری آزاد و کرنش جمع‌شدگی خمیری اندازه‌گیری شده است. به عبارت دیگر معادله (۱) این چنین بیان می‌شود:

$$\varepsilon_{rc} = \varepsilon_{fc} - \varepsilon_{mc} \quad (1)$$

که ε_{rc} کرنش جمع‌شدگی خمیری مقید، ε_{fc} کرنش جمع‌شدگی خمیری آزاد و ε_{mc} کرنش جمع‌شدگی خمیری اندازه‌گیری شده (واقعی) است. کرنش خمیری مقید را می‌توان از معادلات (۲) و (۳) نیز محاسبه کرد:

$$\varepsilon_{rc} = R \varepsilon_{fc} \quad (2)$$

یا

$$\varepsilon_{mc} = (1-R) \varepsilon_{fc} \quad (3)$$

به دست می آید. شکل ۱ انواع بتن پایه در شاخص قیده‌های مختلف و هم‌چنین تصویر واقعی یک نمونه از آن را نشان می‌دهد. شرایط محیطی دال‌های بتنی به صورتی کنترل شده است تا آب و هوای گرم را شبیه‌سازی کند. برای این منظور یک اتاقک که مجهز به گرم‌کننده و تولیدکننده باد بود، ساخته شد. باد با سرعت 3 km/hr از طرف پنکه تولید و بر بتن تعمیریه دمیده شد.

در روز قبل از آزمایش، بتن پایه که ۳ ماه از ساخت آن گذشته است، درون حوضچه آب قرار داده شد تا ۲۴ ساعت در این حوضچه باقی بماند و در روز آزمایش به صورت اشباع با سطح خشک بوده و سپس دور آن قالب‌بندی شده و بتن تعمیریه روی آن ریخته می‌شود. سپس سطح آن با یک ماله فلزی پرداخت شده و بتن پایه به همراه لایه تعمیریه روی آن، به اتاقک باد انتقال داده شد. جدول ۲ انواع شاخص قیده‌های مورد استفاده برای بتن‌های مختلف تعمیریه را نشان می‌دهد. متغیرهای آزمایش عبارت از ترکیبات متفاوت بتن تعمیریه و شاخص قیده‌های مختلف.

۲-۲- شرح آزمایش‌ها

آزمایش‌های رئولوژی بتن خودمتراکم، شامل آزمایش جریان اسلامپ، T_{50} ، قیف‌V، جعبه‌L، حلقه J و شاخص پایداری چشمی، مطابق روش شرح داده شده در منبع [۱۰] انجام شد.

استایرن بوتادین با نام تجاری SBR است. هر دو افزودنی شیمیایی ذکر شده محصول شرکت فارس ایران است. هم‌چنین از الیاف پلی‌پروپیلین به شکل صاف با طول ۱۹ میلی‌متر و قطر ۳۰ میکرون و وزن مخصوص ۰/۹ استفاده شده است. چهار نوع بتن تعمیریه که در این تحقیق آزمایشگاهی ارزیابی شده است، عبارتند از بتن خودمتراکم ساده، بتن خودمتراکم حاوی میکروسیلیس، بتن خودمتراکم حاوی میکروسیلیس و لاتکس که و بتن خودمتراکم حاوی میکروسیلیس و لاتکس است که در این تحقیق به ترتیب S، SS، SSL و SSLF نام‌گذاری شده‌اند. نسبت مخلوط‌ها برای انواع بتن خودمتراکم تعمیریه در جدول ۱ نشان داده شده است. نسبت آب به سیمان برای همه بتن‌های تعمیریه، ۰/۴۵ انتخاب شده است. ابعاد بتن تعمیریه $60 \times 40 \times 50$ میلی‌متر بوده است. برای ایجاد زبری، روی بتن پایه از یک روش جدید استفاده شده است؛ به این صورت که در زمانی که بتن پایه تازه ریخته شده و هنوز فرایند خشک‌شدگی در آن اتفاق نیفتاده، فرورفتگی‌هایی به صورت نیم دایره در هر دو جهت مقطع، روی سطح بتن ایجاد می‌شود. برای این‌که تأثیر انواع قیده‌های ناشی از بتن پایه روی جمع‌شدگی خمیریه بتن تعمیریه ارزیابی شود، ۴ نوع بتن پایه با شاخص قید متفاوت ساخته شده است. شاخص قید از نسبت مساحت فرورفتگی‌ها در بتن پایه، بر مساحت کل سطح بتن پایه

جدول (۱) نسبت مخلوط انواع بتن تعمیریه

گروه مخلوط	مقادیر اجزای (Kg/m ³)					فوق روان‌کننده (درصد وزن سیمان)	الیاف (درصد حجمی)	لاتکس SBR (درصد وزن سیمان)	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگا پاسکال)
	پودر سنگ آهک	شن	ماسه	میکرو سیلیس	سیمان				
S	۲۱۲	۲۸۳	۱۱۹۰	-	۴۰۰	۰/۶	-	-	۴۳
SS	۲۱۲	۲۸۳	۱۱۹۰	۳۲	۳۶۸	۰/۶	-	-	۴۸
SSL	۲۱۲	۲۸۳	۱۱۹۰	۳۲	۳۶۸	۰/۶	-	۱۱	۳۰
SSLF	۲۱۲	۲۸۳	۱۱۹۰	۳۲	۳۶۸	۰/۸	۰/۲	۱۱	۳۱

جدول (۲) انواع شاخص قیده‌های مورد استفاده برای بتن‌های

مختلف تعمیری

شاخص قید	بتن تعمیری
جمع‌شدگی آزاد	S
۰	
۰/۱۳	
۰/۱۸	
۰/۳۱	SS
جمع‌شدگی آزاد	
۰/۱۳	SSL
جمع‌شدگی آزاد	
۰/۱۳	SSLF
جمع‌شدگی آزاد	
۰/۱۳	

تبخیر از سطح بتن با قرار دادن یک مکعب به ابعاد 10×10 سانتی‌متر حاوی بتن به ضخامت ۵۰ میلی‌متر در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه، اندازه‌گیری شد. هم‌چنین برای کنترل شرایط اتاقک، یک ظرف پر از آب داخل اتاقک و مجاور دال بتن قرار داده شد و تبخیر از ظرف آب در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه ثبت شده است. نرخ آب‌انداختگی بتن، مطابق استاندارد ASTM C232 [۱۱] و به‌وسیله پیت اندازه‌گیری شد.



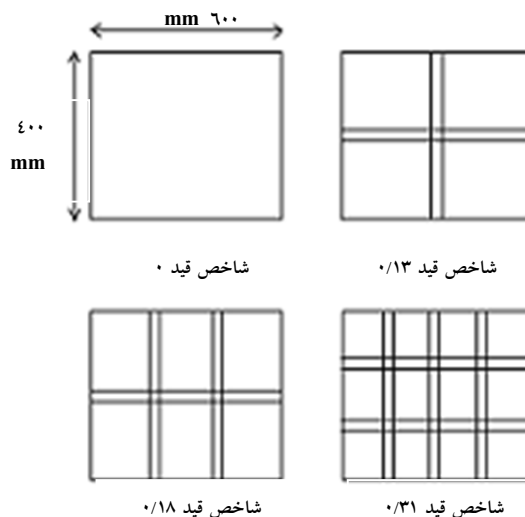
شکل (۱) الف: تصویر بتن پایه با شاخص قید ۰/۱۳

۲-۳- اندازه‌گیری کرنش جمع‌شدگی

روند اندازه‌گیری کرنش جمع‌شدگی بدین صورت است که در لحظه‌ای که بتن تازه ریخته شده است، پایه‌های پلاستیکی دو شاخص شبیه سوزن که مخصوص این کار ساخته شده است، درون بتن تازه قرار داده می‌شود. سپس به‌وسیله‌ی یک دستگاه لیزر، نور روی نوک این سوزن‌ها افتاده و تصویر آن روی دیوار مدرج که در فاصله دور از دال قرار دارد می‌افتد. این فاصله دور دیوار از دال و دستگاه، باعث می‌شود فاصله افقی بین دو سوزن روی بتن تازه بر دیوار بزرگ‌نمایی شده (حدود ده برابر) سپس تصویر بزرگ‌نمایی شده در فواصل ۲۰ دقیقه اندازه‌گیری شده و کرنش جمع‌شدگی خمیری محاسبه شود. در شکل ۲ این موضوع نشان داده شده است.

۲-۴- اندازه‌گیری پارامترهای ترک‌خوردگی

عرض ترک در فاصله زمانی ۲۰ دقیقه به‌وسیله‌ی یک میکروسکوپ ویژه پایش ترک، به دقت 0.02 میلی‌متر و با قدرت بزرگ‌نمایی ۲۵ برابر، اندازه‌گیری شده است.



شکل (۱) ب: انواع شاخص قیده‌های ایجاد شده روی بتن پایه

۳- نتایج و تفسیر

۳-۱- خواص بتن تازه

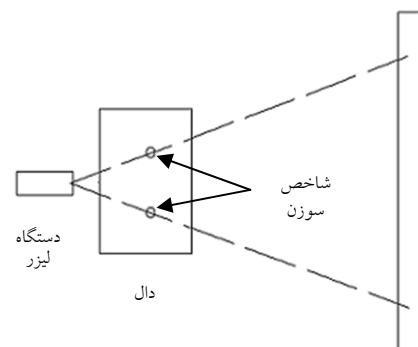
نتایج اندازه‌گیری خواص بتن تازه برای انواع بتن‌های تعمیری در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزودن الیاف، باعث کاهش جریان اسلامپ و افزایش مقدار حلقه I می‌شود. شکل ۴ منحنی نرخ تبخیر از سطح بتن و نرخ آب‌انداختگی را برای بتن‌های مختلف نشان می‌دهد. شرایط محیطی به گونه‌ای انتخاب شده است که نرخ تبخیر از سطح ظرف همواره بیش‌تر از $1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ باشد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، مخلوط حاوی میکروسیلیس (بتن نوع SS) کم‌ترین نرخ آب‌انداختگی را نشان می‌دهد (نزدیک به صفر). مقایسه نرخ آب‌انداختگی بتن‌های نوع SSL و SSLF نشان می‌دهد که افزودن الیاف، به طور چشم‌گیری نرخ آب‌انداختگی را کاهش می‌دهد. این مطلب مطابق نتایج به‌دست آمده به‌وسیله و انگتاناکی‌تچارون و نامان [۸] نیست.

۳-۲- جمع‌شدگی خمیری

جدول ۴ نتایج کرنش جمع‌شدگی خمیری آزاد و اندازه‌گیری شده (واقعی) را برای بتن‌های مختلف در شاخص قید ۰/۱۳ نشان می‌دهد. نتایج جدول نشان می‌دهد لاتکس باعث کاهش جمع‌شدگی خمیری آزاد می‌شود.

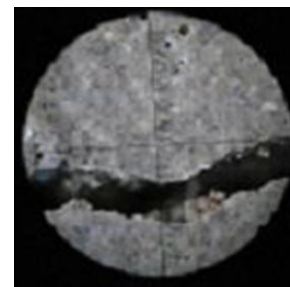
بتن حاوی الیاف (بتن نوع SSLF) کم‌ترین کرنش را دارد؛ به عبارت دیگر این مطلب تأیید می‌شود که افزودن الیاف به طور قابل ملاحظه‌ای جمع‌شدگی آزاد را کاهش می‌دهد. این نتایج با نتایج به‌دست آمده در منبع [۸] مطابقت دارد. هم‌چنین جدول ۴ نشان می‌دهد نوع بتن و ترکیبات آن، تأثیر قابل ملاحظه‌ای روی کرنش جمع‌شدگی اندازه‌گیری (ϵ_{mc}) دارد. بتن حاوی میکروسیلیس (نوع SS) بیش‌ترین ϵ_{mc} را دارد که ممکن است به علت فقدان

هم‌چنین طول ترک به‌وسیله یک خط‌کش با دقت یک‌میلی‌متر ثبت شده است. زمان شروع ترک‌خوردگی نیز در زمان مشاهده اولین ترک با چشم، ثبت شده است. سپس پارامترهای ترک‌خوردگی شامل کل مساحت ترک، بیشینه و میانگین عرض ترک، تعیین شده است. برای محاسبه میانگین عرض ترک، عرض ترک در ۱۰ نقطه متفاوت اندازه‌گیری شده است. شکل ۳ تصویر گرفته شده از ترک به‌وسیله دوربین را نشان می‌دهد.

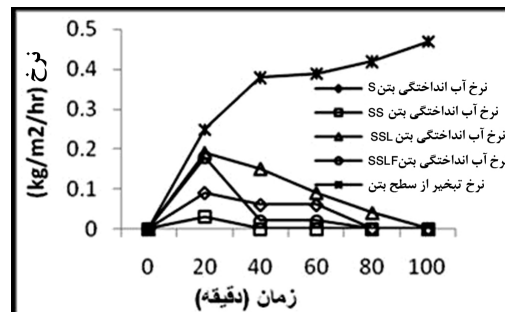


دیوار مدرج

شکل (۲) نحوه اندازه‌گیری کرنش جمع‌شدگی خمیری



شکل (۳) تصویر گرفته شده از ترک به‌وسیله دوربین



شکل (۴) منحنی نرخ تبخیر و آب‌انداختگی انواع بتن‌های تعمیری

آب‌انداختگی در این بتن باشد. شکل ۵ منحنی مقدار ε_{mc} را برای بتن S در شاخص قیدهای مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش قید ناشی از بتن پایه، ε_{mc} کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین از شکل مشاهده می‌شود در زبرترین حالت بتن پایه (بیش‌ترین شاخص قید)، ε_{mc} حدود دو برابر نسبت به جمع‌شدگی آزاد کاهش پیدا می‌کند.

۳-۳- کرنش جمع‌شدگی مقید

مطابق با معادله (۱)، کرنش جمع‌شدگی مقید (ε_{rc}) تا لحظه قبل از ترک‌خوردگی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon_{rc} = \varepsilon_{fc} - \varepsilon_{mc}$$

مقدار محاسبه شده ε_{rc} برای بتن‌های مختلف در شاخص قید ۰/۱۳ در شکل ۶ نشان داده شده است. این شکل نشان

می‌دهد که بیش‌ترین مقدار ε_{rc} مربوط به بتن SS و کم‌ترین مقدار مربوط به بتن SSLF است. هم‌چنین شکل ۷ مقدار ε_{rc} را برای بتن نوع S در شاخص قیدهای متفاوت نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود با افزایش شاخص قید، کرنش جمع‌شدگی مقید افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین در شاخص قید برابر صفر، یعنی زمانی که فرورفتگی در بتن پایه وجود ندارد اما لایه پلاستیکی هم بین دو بتن قرار داده نشده است، مقدار ε_{rc} قابل ملاحظه و حدود ۴۰۰۰ میکرو کرنش است. بر این مطلب تأکید می‌شود که حتی در زبری‌های بسیار کم هم کرنش مقید بسیار زیادی در بتن ایجاد می‌شود که باعث تنش کششی بالایی در بتن تعمیری است.

جدول (۳) نتایج آزمایش‌های رئولوژی روی انواع بتن خودمتراکم تعمیری

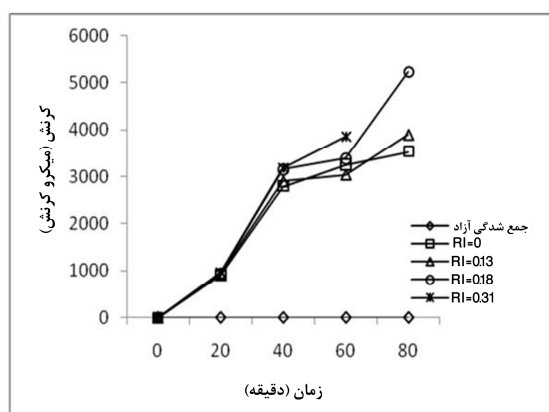
گروه مخلوط	حلقه (mm) J	جمعیه L (H_2 / H_1)	قیف V (S)	جریان اسلامپ		شاخص پایداری چشمی
				(S) T ₅₀	جریان اسلامپ (mm)	
S	۶	۱	۳/۵	۳	۷۳۰	۱
SS	۷	۰/۹۶	۳/۷	۱/۶	۶۲۰	۱
SSL	۹	۰/۹	۲/۷	۱/۲	۷۶۰	۲
SSLF	۱۵	۰/۸۱	۶	۲/۵	۶۱۰	۲

جدول (۴) کرنش جمع‌شدگی خمیری آزاد و اندازه‌گیری شده (واقعی)، برای بتن‌های مختلف در شاخص قید ۰/۱۳

زمان (دقیقه)	کرنش جمع‌شدگی خمیری بتن‌های مختلف تعمیری							
	S		SS		SSL		SSLF	
	ε_{fc}	ε_{mc}	ε_{fc}	ε_{mc}	ε_{fc}	ε_{mc}	ε_{fc}	ε_{mc}
۲۰	۱۳۴۹	۴۱۰	۲۴۱۱	۲۱۴۶	۱۵۳۰	۱۰۳۲	۱۰۱۷	۳۷۲
۴۰	۴۵۸۳	۱۶۸۴	۴۳۷۶	۲۷۰۷	۳۱۴۴	۲۰۶۳	۲۱۵۱	۳۷۲
۶۰	۵۹۶۰	۲۹۱۹	۶۱۰۸	۳۲۱۹	۴۸۷۷	۲۴۰۷	۲۹۳۶	۸۰۰
۸۰	۸۱۲۲	۴۲۲۵	۸۷۲۲	۴۲۹۲	۶۱۲۲	۲۷۵۱	۳۷۸۰	۱۴۹۰
۱۰۰	۹۷۶۶	-	-	-	۶۱۲۲	۲۷۵۱	۳۷۸۰	۱۸۸۳

جدول (۵) پارامترهای ترک خوردگی بتن‌های مختلف در شاخص قید ۰/۱۳

نوع مخلوط	مساحت کل ترک (میلی متر مربع)	میانگین عرض ترک (میلی متر)	طول ترک (میلی متر)	تعداد ترک	زمان مشاهده اولین ترک (دقیقه)
S	۲۵۳۳	۰/۳	۷۶۰	۶	۹۵
SS	۱۶۴۸	۰/۵۴	۸۹۰	۹	۸۵
SSL	۱۰۹۶	۰/۳۱	۳۴۰	۲	۱۲۰
SSLF	-	-	-	-	-



شکل (۷) کرنش جمع شدگی مقید برای بتن نوع S در شاخص قیدهای متفاوت

کمترین زمان مشاهده اولین ترک، بیشترین تعداد ترک و بیشینه‌ی عرض ترک، مربوط به بتن حاوی میکروسیلیس (SS) است که این مطلب مطابق با نتایج ارائه شده توسط قدوسی و همکاران [۱۲] و سامان [۱۳] است. اضافه کردن لاتکس به بتن (بتن نوع SSL) باعث کاهش استعداد ترک خوردگی بتن می‌شود. احتمال دارد دلیل این امر شکل پذیری بیش‌تر و تغییر در لزجت بتن حاوی لاتکس باشد.

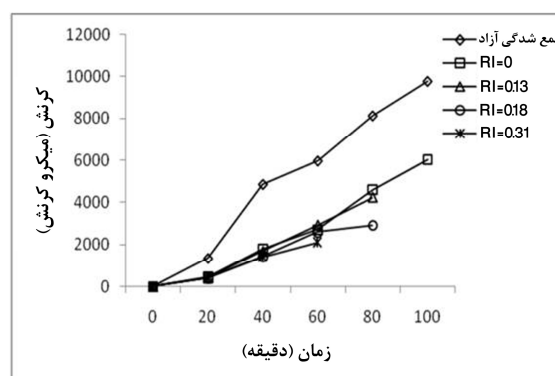
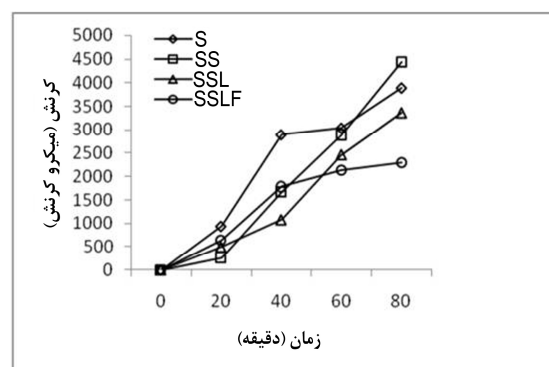
۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج و یافته‌های به‌دست آمده در این تحقیق می‌توان موارد زیر را نتیجه گرفت.

- در مطالعه جمع‌شدگی خمیری مقید، مقادیر اندازه‌گیری‌شده (واقعی)، تصویر درستی از مفهوم

۳-۴ پارامترهای ترک خوردگی

جدول ۵ پارامترهای ترک خوردگی بتن‌های مختلف را در شاخص قید ۰/۱۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول مشخص است، بتن SSLF در پایان آزمایش ترک نخورده است.

شکل (۵) کرنش جمع شدگی اندازه‌گیری شده (ϵ_{mc}) برای بتن S در شاخص قیدهای مختلف

شکل (۶) کرنش جمع شدگی مقید برای انواع بتن تعمیری در شاخص قید ۰/۱۳

- [6] Branch, J.; Rawling, A.; Hannat, D.J.; Mulheron, M.; "The effect of fibers on the plastic shrinkage cracking of high strength concrete"; Materials and structures; vol. 35; 2002; pp189-194.
- [7] Ma, Y.; Tan, Z.M.; Wu, K.; "Effect of Y type polypropylene fiber on plastic shrinkage cracking of cement mortar"; Materials and structures; vol. 37; 2004; pp92-95.
- [8] Wongtanakitcharoen, T.; Naaman, A.; "Unrestrained early age shrinkage of concrete with polypropylene, PVA, and carbon fibers"; Materials and structures; 2007; pp289-300.
- [9] Abbasnia, R.; Ghoddousi, P.; Ahmadi, J.; "Prediction of restrained shrinkage based on restraint factors in patching repair mortar"; Cement and Concrete Research; vol. 35; 2005; pp1909-1913.
- [10] PCI ; "Interm guidelines for the use of self-consolidating concrete institute member plants"; 2003; PCI.
- [11] ASTM Standard Designation C 232; Standard test method for bleeding; Annual book of ASTM standards; Pennsylvania ; United State; vol. 4.02.
- [12] Ghoddousi, P.; Raiss ghasemi, A.M.; Parhizkar, T.; "A comparison between plastic shrinkage of concrete containing silica fume and the normal concrete"; International Journal of civil Engineering (IUST); vol. 5(4); 2007; pp266-273.
- [13] Samman, T.; Mirza, W.H.; Wafa, F.F.; "Plastic shrinkage cracking of normal and high-strength concrete: a comparative study"; ACI materials journal; vol. 93(1); 1996; pp36-40.

جمع‌شدگی ارائه نمی‌دهد بلکه کرنش جمع‌شدگی اندازه‌گیری شده، باید به کرنش جمع‌شدگی مقید تبدیل شود.

- کرنش جمع‌شدگی خمیری مقید، تنها از نرخ آب‌انداختگی تأثیر نمی‌پذیرد بلکه عوامل دیگر شامل شرایط و نوع قید، افزودنی‌های بتن مانند الیاف و لاتکس استایرن بوتادین و میکروسیلیس، تأثیر اساسی روی آن دارند، به‌طوری که بتن حاوی میکروسیلیس (نوع SS) بیش‌ترین کرنش مقید را نشان داده و بتن حاوی میکروسیلیس، لاتکس و الیاف (نوع SSLF) کم‌ترین کرنش مقید را نشان داده است. این رفتار هم‌چنین در نشست خمیری اندازه‌گیری شده، مشاهده شده است.

- با استفاده از الیاف پلی‌پروپلین و لاتکس استایرن بوتادین هیچ ترکی در بتن نوع SSLF مشاهده نشده است.

۵- منابع

- [1] Khayat, K.H.; Hwang, S.D.; "Durability of self-consolidating concrete used in repair applications. In: proceedings of the international symposium on durability of concrete"; Editor: Alejandro Duran-Herrera and FIC-UANL academic group on concrete technology, Mexico, 2005; pp121-141.
- [2] Al-Amoudi, O.S.B.; Moslehuddin, M.; Shameem, M.; Ibrahim, M.; "Shrinkage of plain and silica fume concrete under hot weather"; Cement and Concrete Composites; vol. 29; 2007; pp690-699.
- [3] Hwang, S.D.; Khayat, K.H.; "Effect of mixture composition on restrained shrinkage cracking of self-consolidating concrete used in repair"; ACI Materials journal; vol. 105(5); 2008; pp499-509.
- [4] Hammer, T.A.; "Effect of silica fume on the plastic shrinkage and pore water pressure of high-strength concretes"; Materials and structures; vol. 34; 2001; pp273-278.
- [5] Turcry, P.; Loukili, A.; "A evaluation of plastic shrinkage cracking of self-consolidating concrete"; ACI Materials Journal; vol. 103(4); 2006; pp272-279.