

## اثر میلگرد به عنوان قید در مقابل جمع شدگی و نشست خمیری بتن خود تراکم تعمیری

پرویز قدوسی\*

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

علی اکبر شیرزادی جاوید

دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران

### چکیده

نشست و جمع شدگی خمیری زمانی که بتن حالت خمیری دارد رخ می دهد. در سازه های بتن مسلح، حضور میلگرد بر این نشست و جمع شدگی مؤثر است. در این تحقیق ۴ نوع بتن تعمیری مورد ارزیابی قرار می گیرد که عبارت اند از: بتن خودتراکم ساده، حاوی میکروسیلیس، حاوی میکروسیلیس و لاتکس استایرن بوتادین و حاوی میکروسیلیس، لاتکس و الیاف. اثر میلگرد با قرار دادن آن در ارتفاع های مختلف نسبت به سطح بتن ارزیابی شده است. بتن تعمیری پس از ریخته شدن بر روی بتن پایه درون اتاقک باد و گرما قرار گرفته است و جمع شدگی و نشست و پارامترهای ترک خوردگی اندازه گیری شده است. نتایج نشان می دهد با کاهش ارتفاع میلگرد نسبت به سطح بتن تعمیری ( کاهش پوشش بتن)، ترک خوردگی به علت نشست بر ترک خوردگی به علت جمع شدگی خمیری غلبه می کند و الگو و شکل ترک ها نیز بر روی میلگرد و به صورت عمودی است. بتن حاوی الیاف و لاتکس، کمترین مقدار نشست و جمع شدگی خمیری را نشان می دهد. همچنین کمترین مساحت ترک و بیشترین زمان مشاهده اولین ترک مربوط به بتن حاوی لاتکس است.

واژه های کلیدی: کرنش نشست خمیری، جمع شدگی خمیری، نرخ آب انداختگی، کرنش مقید.

\* نویسنده مسئول: ghoddousi@iust.ac.ir

## ۱. مقدمه

شدگی خمیری انجام داده است. آن‌ها مشاهده کرده‌اند که در بتن حاوی الیاف به میزان ۰/۴ درصد حجمی، حدود ۳۴ درصد در کرنش جمع شدگی آزاد در ۲۴ ساعت کاهش ایجاد می‌شود. آن‌ها همچنین بیان نموده‌اند که مقدار الیاف بین ۰/۱ تا ۰/۴ درصد هیچ بهبود قابل ملاحظه‌ای در بتن در مقابل جمع شدگی خمیری ایجاد نمی‌کند. همچنین بیان نموده‌اند که افزودن الیاف هیچ تأثیری روی مقدار آب تبخیر تجمعی از سطح بتن تازه و آب انداختگی بتن ندارد. امروزه از بتن خودتراکم به علت روانی و قابلیت پر کردن فضای قالب و عبور از فواصل میلگرد در اعضای بتنی که این فواصل کم است به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. همچنین در سال‌های اخیر از این بتن در تعمیر سازه‌ها استفاده می‌شود. اگرچه مطالعات محدودی بر روی جمع شدگی خمیری بتن خودتراکم تعمیر [۵] و رفتار این بتن به عنوان مصالح تعمیر [۳ و ۱] انجام شده است.

در تعمیر سازه‌های بتنی لازم است سطح بتن پایه (بتنی که نیاز به تعمیر دارد) زبر باشد تا پیوستگی بین بتن پایه و بتن تعمیر برقرار شده و عملیات تعمیر با موفقیت انجام شود. اما هر چقدر سطح بتن پایه زبرتر می‌شود به علت اینکه قید ناشی از این بتن در مقابل جمع شدگی خمیری بتن تعمیر (جمع شدگی خمیری مقید) بیشتر می‌شود و در نتیجه باعث ایجاد و افزایش تنش کششی در بتن تعمیر شده و اگر این تنش از ظرفیت کرنش کششی بتن تعمیر بیشتر باشد باعث ایجاد ترک در آن می‌شود. در صورتی که اصطکاک و زبری در وجه مشترک بین بتن پایه و بتن تعمیر حذف شود قید ناشی از بتن پایه از بین می‌رود و جمع شدگی خمیری در بتن تعمیر جمع شدگی خمیری آزاد نامیده می‌شود و چون تنش کششی در بتن تعمیر ایجاد نمی‌شود بنابراین ترکی در این بتن به وجود نمی‌آید. مرجع [۹] گزارش کرده‌اند که تنش در المان‌های بتنی به تنهایی متناسب با کرنش جمع شدگی خمیری اندازه‌گیری شده (واقعی) نیست بلکه متناسب با تفاضل بین کرنش جمع شدگی خمیری آزاد و کرنش جمع شدگی خمیری اندازه‌گیری شده است. به عبارت دیگر معادله ۱ این چنین بیان می‌شود:

$$rc = fc - mc \quad (1)$$

در زمانی که بتن حالت خمیری داشته و فرایند گیرش نهایی در آن صورت نگرفته باشد عامل تبخیر از سطح بتن باعث ایجاد هلال‌هایی در منافذ موئینه آن می‌شود. این هلال‌ها باعث ایجاد فشار منفی در بتن شده و ماتریس را دچار جمع شدگی می‌نماید. این نوع جمع شدگی، جمع شدگی خمیری نامیده می‌شود و هنگامی که تبخیر آب از سطح بتنی که در مرحله خمیری است بیشتر از آب‌انداختگی آن می‌شود، بتن در معرض ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری است. جمع شدگی خمیری آزاد هیچ ترکی را موجب نمی‌شود بلکه جمع شدگی مقید که به وسیله قید ناشی از سطح بتن پایه در بتن تعمیر باعث ایجاد تنش کششی و در نتیجه ترک در سطح بتن می‌شود. بنابراین ترکیب عواملی شامل شرایط محیطی، شرایط قید و ترکیبات خود بتن تعمیر در عملکرد بتن در مقابل جمع شدگی خمیری مؤثر هستند. نشست خمیری هم به علت اختلاف وزن بین سنگ‌دانه درشت و ماتریس خمیر سیمان است که به علت نیروی گرانشی، سنگ‌دانه‌های درشت به سمت پایین‌تر و ماتریس خمیر سیمان به علت سبک‌تر بودن در بالا قرار می‌گیرد و این باعث نشست سطحی در بتن می‌شود. زمانی که میلگرد در بتن قرار دارد می‌تواند به عنوان قید در مقابل نشست خمیری عمل کند.

برخی از محققین تنها نقش ترکیبات بتن و مخلوط‌های بتن را در افزایش یا کاهش جمع شدگی بررسی نموده‌اند [۱-۶]. مطالعات نشان می‌دهد که افزودن الیاف به بتن باعث محدود شدن و کاهش استعداد ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری می‌شود. مرجع [۶] در تحقیق خود به این نتیجه رسیده است که مساحت ترک با استفاده از الیاف پلی پروپیلن به میزان ۰/۱ درصد حجمی، حدود ۴۰ تا ۸۵ درصد کاهش پیدا می‌کند. مرجع [۷] بیان نموده است که با افزودن الیاف، تعداد ترک‌های بزرگ کاهش اما ریزترک‌ها افزایش پیدا می‌کنند. همچنین زمان شروع ترک خوردگی در بتن حاوی الیاف تا ۳۰ دقیقه به تأخیر افتاده است. بر پایه این نتایج محققان اهمیت تأثیر متغیرها روی ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی خمیری را به این صورت بیان نموده‌اند. مقدار الیاف < دما < رطوبت نسبی. مرجع [۸] یک برآورد آزمایشگاهی روی تأثیر الیاف پلیمری و کربنی روی جمع

است. همچنین ابعاد این بتن برابر  $100 \times 400 \times 600$  میلی متر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن ۲۲ مگاپاسکال بوده است.

در ساخت بتن تعمیری که از نوع بتن خودتراکم بوده از سیمان پرتلند نوع ۲ محصول کارخانه تهران و ماسه رودخانه‌ای با وزن مخصوص ۲/۶ به عنوان مصالح ریزدانه و سنگ دانه درشت از جنس سنگ آهک با وزن مخصوص ۲/۶۸ و با حداکثر اندازه ۹/۵ میلی متر استفاده شده است. منحنی دانه بندی برای ساخت این بتن از منحنی  $C_{9.5}$  طرح ملی مخلوط ایران انتخاب شده است. همچنین افزودنی‌های معدنی مورد استفاده در این تحقیق میکروسلیس محصول کارخانه ازنالرستان و پودر سنگ آهک با اندازه  $2 \mu m$  است. افزودنی شیمیایی استفاده شده عبارت بودند از فوق روان کننده و کاهنده قوی آب از نوع پلی کربوکسیلاتی و لاتکس استایرن بوتادین با نام تجاری SBR. هر دو افزودنی شیمیایی ذکر شده محصول شرکت فارس ایران‌اند. همچنین از الیاف پلی پروپیلین به شکل صاف با طول ۱۹ میلی متر و قطر ۳۰ میکرون و وزن مخصوص ۰/۹ استفاده شده است. چهار نوع بتن تعمیری که در این تحقیق آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند عبارت‌اند از بتن خودتراکم ساده که در این تحقیق S، بتن خودتراکم حاوی میکروسلیس که SS، بتن خودتراکم حاوی میکروسلیس و لاتکس که SSL و بتن خودتراکم حاوی میکروسلیس و لاتکس و الیاف که SSLF نامیده شده‌اند. نسبت مخلوط‌ها برای انواع بتن خودتراکم تعمیری در جدول ۱ نشان داده شده است. نسبت آب به سیمان برای همه بتن‌های تعمیری ۰/۴۵ انتخاب شده است. ابعاد بتن تعمیری  $50 \times 400 \times 600$  میلی متر بوده است.

که کرنش جمع شدگی خمیری مقید و  $f_c$  کرنش جمع شدگی خمیری آزاد و  $m_c$  کرنش جمع شدگی خمیری اندازه گیری شده (واقعی) است. کرنش خمیری مقید را می توان از معادلات ۲ و ۳ نیز محاسبه نمود:

$$r_c = R \cdot f_c \quad (2)$$

یا

$$m_c = (1-R) \cdot f_c \quad (3)$$

که R برابر فاکتور قید است. در صورتی که هیچ قیدی در مقابل جمع شدگی بتن تعمیری وجود نداشته باشد (بین بتن پایه و بتن تعمیری زبری و اصطکاک وجود نداشته باشد)  $R=0$  و  $m_c = f_c$  . برای یک عضو کاملاً مقید  $R=1$  و از این رو  $r_c = f_c$  . همین مساله در مورد نشست خمیری هم صادق است. به عبارت دیگر زمانی که میلگرد در بتن وجود ندارد، نشست سطحی در بتن، آزادانه اتفاق می افتد اما با حضور میلگرد، نشست خمیری مقید است.

در این تحقیق یک برآورد آزمایشگاهی از تاثیر الیاف، لاتکس و میکروسلیس روی ترک خوردگی ناشی از کرنش جمع شدگی و نشست خمیری انجام شده است.

## ۲. برنامه آزمایشگاهی

### ۲-۱. مصالح مصرفی

برای ساخت بتن پایه که از نوع بتن معمولی بوده است از سیمان پرتلند نوع ۲ محصول کارخانه تهران به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در متر مکعب، سنگ دانه ریز به مقدار ۷۱۰ کیلوگرم در متر مکعب، سنگ دانه درشت با حداکثر اندازه ۲۵ میلی متر به مقدار ۱۱۰۲ کیلوگرم در متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۵۵ استفاده شده

جدول ۱- نسبت مخلوط انواع بتن تعمیری

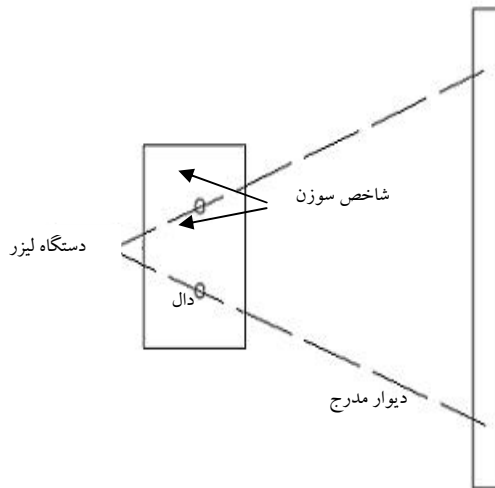
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (مگاپاسکال)	لاتکس SBR (درصد وزن سیمان)	الیاف (درصد حجمی)	فوق روان کننده (درصد وزن سیمان)	مقادیر اجزا ( $Kg/m^3$ )					گروه مخلوط
				سیمان	میکرو سلیس	ماسه	شن	پودر سنگ آهک	
۴۳	-	-	۰/۶	۴۰۰	-	۱۱۹۰	۲۸۳	۲۱۲	S
۴۸	-	-	۰/۶	۳۶۸	۳۲	۱۱۹۰	۲۸۳	۲۱۲	SS
۳۰	۱۱	-	۰/۶	۳۶۸	۳۲	۱۱۹۰	۲۸۳	۲۱۲	SSL
۳۱	۱۱	۰/۲	۰/۸	۳۶۸	۳۲	۱۱۹۰	۲۸۳	۲۱۲	SSLF

## ۲-۲. شرح آزمایش‌ها

آزمایش‌های رئولوژی بتن خودتراکم شامل آزمایش جریان اسلامپ،  $T_{50}$ ، قیف V، جعبه L، حلقه J و شاخص پایداری چشمی مطابق روش شرح داده شده در [۱۰] انجام شده است. تبخیر از سطح بتن با قرار دادن یک مکعب به ابعاد  $10 \times 10$  سانتی متر حاوی بتن به ضخامت ۵۰ میلی متر در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه اندازه گیری شده است. همچنین برای کنترل شرایط اتاقک، یک ظرف پر از آب در داخل اتاقک و در مجاور دال بتن قرار داده شده و تبخیر از ظرف آب در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه ثبت شده است. نرخ آب انداختگی بتن مطابق با استاندارد مرجع [۱۱] و بوسیله پیپت اندازه گیری شده است.



شکل ۱- تصویر بتن پایه با شاخص قید ایجاد شده بر روی بتن پایه



شکل ۲- نحوه اندازه گیری جمع شدگی خمیری



شکل ۳- دستگاه ویژه پایش ترک

برای ایجاد زبری بر 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 خشک شدن در آن اتفاق نیفتاده است فرورفتگی‌هایی به صورت نیم دایره در هر دو جهت مقطع روی سطح بتن ایجاد می‌شود. شکل ۱ بتن پایه با ایجاد قید بر روی آن را نشان می‌دهد. شرایط محیطی دال‌های بتنی به صورت کنترل شده بوده تا آب و هوای گرم را شبیه‌سازی کند. برای این منظور یک اتاقک که مجهز به گرم کننده و تولیدکننده باد بود ساخته شد. باد با سرعت  $3 \text{ km/hr}$  از طرف پنکه تولید و بر روی بتن تعمیری دمیده شده و دمای این رطوبت نسبی این اتاقک بین ۳۰ تا ۳۵ درصد بوده است. برای اینکه تأثیر جمع شدگی ناشی از بتن پایه بر روی بتن تعمیری حذف شود تا بتوان تنها جمع شدگی خمیری بتن تعمیری را اندازه گرفت دال‌های بتن پایه پس از ساخته شدن و قبل از ساخت بتن تعمیری به مدت سه ماه به همراه یک لایه پوشش پلاستیکی در داخل آزمایشگاه نگهداری شده‌اند. در روز قبل از آزمایش، بتن پایه درون حوضچه آب قرار داده شده تا ۲۴ ساعت در این حوضچه باقی بماند و در روز آزمایش به صورت اشباع با سطح خشک بوده و سپس دور آن قالب بندی شده و بتن تعمیری بر روی آن ریخته می‌شود. سپس سطح آن با یک ماله فلزی پرداخت شده و بتن پایه به همراه لایه تعمیری روی آن به درون اتاقک باد انتقال داده شده است.

آزمایش اندازه گیری نشست شبیه اندازه گیری جمع شدگی است. با این تفاوت که یک سوزن که پایه های آن در داخل بتن فرو رفته است و بعد از تاییده شدن نور لیزر در فواصل زمانی ۲۰ دقیقه تصویر قائم بر روی دیوار در لحظه ای که نور لیزر دقیقاً در نوک سوزن قرار دارد اندازه گیری شده و کرنش نشست خمیری اندازه گیری شده است.



شکل ۴ - تصویر گرفته شده از ترک با دوربین

## ۲-۴. اندازه گیری پارامترهای ترک خوردگی

عرض ترک در فاصله زمانی هر ۲۰ دقیقه با یک میکروسکوپ ویژه پایش ترک به دقت ۰/۰۲ میلی متر و با قدرت بزرگ نمایی ۲۵ برابر اندازه گیری شده است. همچنین طول ترک با یک خط کش با دقت یک میلی متر ثبت شده است. زمان شروع ترک خوردگی نیز در زمان مشاهده اولین ترک با چشم ثبت شده است. سپس پارامترهای ترک خوردگی شامل کل مساحت ترک، حداکثر و میانگین عرض ترک تعیین شده است. برای محاسبه میانگین عرض ترک، عرض ترک در ۱۰ نقطه متفاوت اندازه گیری شده است. شکل های ۳ و ۴ این دستگاه و تصویر گرفته شده از ترک را نشان می دهند.

## ۲-۳. اندازه گیری کرنش جمع شدگی و نشست

روند اندازه گیری کرنش جمع شدگی بدین صورت است که در لحظه ای که بتن تازه ریخته شده است دو شاخص شبیه سوزن با پایه های پلاستیکی که مخصوص این کار ساخته شده است و پایه های آن درون بتن تازه قرار داده می شود. سپس با یک دستگاه لیزر، نور بر روی نوک این سوزن ها افتاده و تصویر آن روی دیوار مدرج که در فاصله دور از دال قرار می افتد. این فاصله دور دیوار از دال و دستگاه باعث می شود فاصله افقی بین دو سوزن در روی بتن تازه بر روی دیوار بزرگ نمایی شده (حدود ده برابر) سپس تصویر بزرگ نمایی شده در فواصل ۲۰ دقیقه اندازه گیری شده و کرنش جمع شدگی خمیری محاسبه شده است. در شکل ۲ این موضوع نشان داده شده است. نحوه

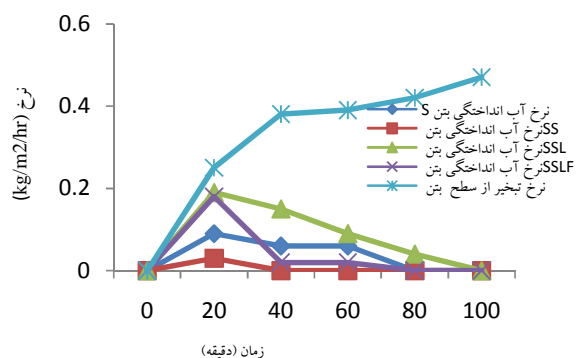
جدول ۳- نتایج آزمایش های رئولوژی بر روی انواع بتن خودتراکم تعمیری

شاخص پایداری چشمی	جریان اسلامپ		قیف (S)V	جعبه L (H <sub>2</sub> / H <sub>1</sub> )	حلقه J (mm)	گروه مخلوط
	جریان اسلامپ (mm)	T <sub>50</sub> (S)				
۱	۷۳۰	۳	۳/۵	۱	۶	S
۱	۶۲۰	۱/۶	۳/۷	۰/۹۶	۷	SS
۲	۷۶۰	۱/۲	۲/۷	۰/۹	۹	SSL
۲	۶۱۰	۲/۵	۶	۰/۸۱	۱۵	SSLF

## ۳. نتایج و تفسیر

### ۳-۱. خواص بتن تازه

نتایج اندازه گیری خواص بتن تازه برای انواع بتن های تعمیری در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود افزودن الیاف باعث کاهش جریان اسلامپ و افزایش مقدار حلقه J می شود. شکل ۵ منحنی نرخ تبخیر از سطح بتن و نرخ آب انداختگی را برای بتن های مختلف نشان می دهد. شرایط محیطی به گونه ای انتخاب شده است تا نرخ تبخیر از سطح طرف همواره بیشتر از ۱ kg/m<sup>2</sup>/hr باشد. همان طور که در شکل مشاهده



شکل ۵- منحنی نرخ تبخیر و آب انداختگی انواع بتن

کمترین کرنش مرتبط با بتن SSLF با مقدار ۱۹۱۷ میکرو کرنش است. می توان نسبت mean را به صورت زیر تعریف کرد.

$$\text{mean} = \frac{cr, reinforced}{cr, plain}$$

این نسبت با عنوان فاکتور تقویت کرنش توسط سوله و پروگل [۲۸] معرفی شده است که cr, reinforced کرنش قبل از ترک خوردگی برای بتن حاوی میلگرد و cr, plain کرنش قبل از ترک خوردگی برای بتن بدون میلگرد است. این فاکتور برای بتن های S و SS و SSL کوچک تر از یک است که به معنی اضافه نشدن به ظرفیت تحمل کرنش بتن حاوی میلگرد است اما این فاکتور برای بتن SSLF بزرگ تر از یک است. بر پایه مطالب ذکر شده در بالا می توان نتایج زیر را عنوان نمود.

جدول ۴- جمع شدگی خمیری بتن های مختلف تعمیری بدون میلگرد (rc) و حاوی میلگرد (rs)

جمع شدگی خمیری مقید بدون میلگرد و بتن حاوی میلگرد در ارتفاع ۲۵ میلی متری در بتن های مختلف تعمیری								زمان (دقیقه)
S		SS		SSL		SSLF		
rc	rs	rc	rs	rc	rs	rc	rs	
۹۳۹	۲۹۶	۲۶۵	۸۳۸	۴۹۸	۱۱۷۶	۶۴۵	۸۴۴	۲۰
۲۸۹۹	۱۶۹۲	۱۶۶۹	۱۹۲۹	۱۰۸۱	۲۰۸۱	۱۷۷۹	۱۴۵۹	۴۰
۳۰۴۱	۲۲۸۴	۲۸۸۹	۲۲۲۲	۲۴۷۰	۳۲۸۲	۲۱۳۶	۱۸۹۷	۶۰
۳۸۹۶	-	۴۴۳۰	-	۳۳۷۱	-	۲۲۹۰	۲۳۹۵	۸۰
-	-	-	-	۳۳۷۱	-	۱۹۷۱	۲۳۹۵	۱۰۰

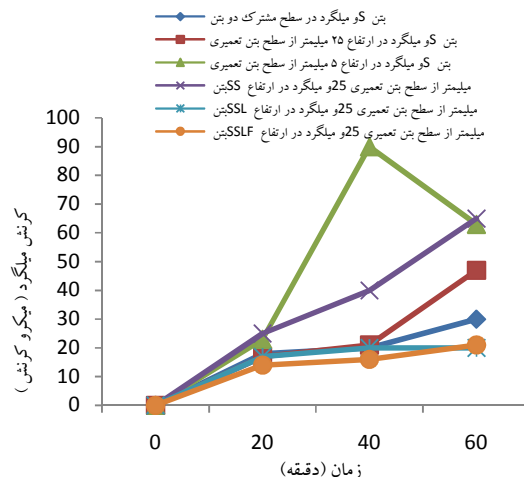
برای یک بتن بدون میلگرد، کاهش در کرنش مقید بتن SSLF در مقایسه با بتن SS از نقطه نظر تغییر شکل جمع شدگی سودمند است.

فاکتور تقویت کرنش برای بتن حاوی میلگرد در سطح مشترک بین بتن پایه و بتن تعمیری، در ارتفاع ۲۵ میلی متری از سطح بتن تازه و در ارتفاع ۵ میلی متری از سطح بتن تازه به ترتیب برابر ۱/۱۳، ۰/۳ و ۰/۷۴ می باشد. این نتایج نشان می دهد هنگامی که میلگردها در سطح مشترک بین دو بتن قرار دارند بهبود نسبی کمی در ظرفیت کرنش حاصل می شود اما برای موقعیت های دیگر میلگردها در ارتفاع های دیگر بهبودی حاصل نمی شود. به عبارت دیگر می توان گفت، زمانی که میلگرد در سطح مشترک بین دو بتن قرار دارد به عنوان یک قید اضافی در کنار قید ناشی از بتن پایه نقش ایفا می کند. اما هنگامی که میلگردها به ارتفاع بالاتر (۲۵ میلی متر از سطح و ۵ میلی متر از سطح بتن تازه) می آیند

می شود مخلوط حاوی میکروسلیس (بتن نوع SS) کمترین نرخ آب انداختگی را نشان می دهد (نزدیک به صفر). مقایسه نرخ آب انداختگی بتن های نوع SSL و SSLF نشان می دهد که افزودن الیاف به طور چشمگیری نرخ آب انداختگی را کاهش می دهد. این مطلب مطابق با نتایج به دست آمده مرجع [۸] نیست.

### ۳-۲. اثر میلگرد در جمع شدگی خمیری

در جدول ۴ کرنش مقید بتن بدون میلگرد و کرنش مقید بتن حاوی میلگرد در ارتفاع ۲۵ میلی متر از سطح بتن های مختلف مشاهده می شود. به وضوح در این جدول مشخص است که برای بتن های بدون میلگرد، بیشترین مقدار قبل از ترک خوردگی متعلق به بتن SS است که حدود ۴۴۳۰ میکرو کرنش است و



شکل ۶- کرنش میلگرد برای بتن های مختلف در طول زمان

تغییر شکل از نوع نشست بر تغییر شکل از نوع جمع شدگی و ایاف باعث کاهش جمع شدگی می شود. همچنین در شکل ۶ خمیری غلبه می کند و تغییر شکل از نوع نشست خمیری تعیین کننده می شود از نظر افزایش ریسک ترک خوردگی بتن. شکل ۶ رابطه بین کرنش میلگرد برای بتن های مختلف در طول زمان را نشان می دهد، همان طور که از شکل مشخص است بتن حاوی میکروسیلیس بیشترین کرنش را دارد و کمترین کرنش متعلق به بتن حاوی لاتکس و ایاف است و تأییدی بر این مطلب است که میکروسیلیس جمع شدگی خمیری را افزایش و لاتکس

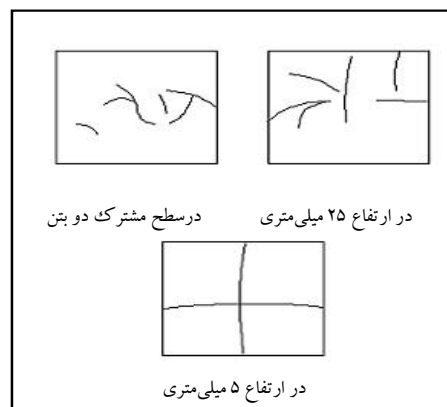
جدول ۵- کرنش نشست مقید و اندازه گیری شده در بتن نوع S

نشست خمیری اندازه گیری شده (ms) و مقید (rs) در بتن نوع S حاوی میلگرد در ارتفاع مختلف از سطح بتن تعمیری						زمان (دقیقه)
میلگرد در ارتفاع ۵ میلی متری از سطح بتن تعمیری		میلگرد در ارتفاع ۲۵ میلی متری از سطح بتن تعمیری		میلگرد در سطح مشترک		
ms	rs	ms	rs	ms	rs	
۹۶۰	۱۷۷۲	۱۱۳۳	۱۷۲۱	۶۷۰	۰	۲۰
۱۹۱۳	۲۸۵۲	۳۳۹۲	۱۶۰۵	۴۰۱۶	۰	۴۰
۱۹۱۳	۲۸۵۲	۳۳۹۲	۱۶۰۵	۶۰۲۴	۰	۶۰
-	-	-	-	۶۰۲۴	۰	۸۰
-	-	-	-	-	-	۱۰۰

سمت سطح بتن تعمیری (کاهش کاور) نشست خمیری اندازه گیری شده کاهش و کرنش نشست مقید افزایش می یابد. به عبارت دیگر احتمال ترک خوردگی ناشی از نشست مقید افزایش می یابد.

### ۳-۴. الگو و پارامترهای ترک خوردگی

جدول ۶ پارامترهای ترک خوردگی بتن های مختلف را در حالت بدون میلگرد و با میلگرد مقایسه می کند. میلگرد در همه بتن ها در ارتفاع ۲۵ میلی متر از سطح بتن تازه قرار دارد همان طور که از جدول مشاهده می شود بتن SSLF در هر دو حالت ترک نمی خورد. همچنین مشاهده می شود در بتن های S, SS و SSL زمانی که درون بتن تعمیری میلگرد وجود دارد همه پارامترهای ترک خوردگی بحرانی تر می شود، در مقایسه با زمانی که درون بتن میلگرد وجود ندارد، همچنین شکل و ماهیت تولید ترک در زمانی که درون بتن میلگرد وجود دارد دقیقاً بر روی میلگرد



شکل ۷- اثر ارتفاع قرارگیری میلگرد بر شکل و زاویه ترک

### ۳-۳. اثر میلگرد در نشست خمیری:

در جدول ۵ کرنش نشست خمیری بدون میلگرد و حاوی میلگرد در بتن نوع S در ارتفاع های مختلف را نشان می دهد. مشاهده میشود با بالا آمدن میلگرد از سطح مشترک بین بتن پایه و بتن تعمیری به

(زمانی که ارتفاع میلگرد نسبت به سطح کاهش می‌یابد) است در حالی که زمانی که درون بتن میلگرد وجود ندارد شکل ترک‌ها به صورت تصادفی و غیر قابل پیش بینی است. شکل ۷ به وضوح نشان می‌دهد زمانی که در بتن نوع S ارتفاع میلگرد نسبت به

جدول ۶ مقایسه پارامترهای ترک خوردگی بتن با و بدون میلگرد

نوع بتن	نوع دال	مساحت کل ترک (میلی متر مربع)	میانگین عرض ترک (میلی متر)	طول ترک (میلی متر)	تعداد ترک	زمان مشاهده اولین ترک (دقیقه)
S	بدون میلگرد	۲۵۳۳	۰/۳	۷۶۰	۶	۹۵
	حاوی میلگرد	۲۰۳۳	۰/۵۹	۱۲۰۰	۵	۶۵
SS	بدون میلگرد	۱۶۴۸	۰/۵۴	۸۹۰	۹	۸۵
	حاوی میلگرد	۱۱۵۷	۱/۳	۸۹۰	۳	۶۰
SSL	بدون میلگرد	۱۰۹۶	۰/۳۱	۳۴۰	۲	۱۲۰
	حاوی میلگرد	۳۱۹	۰/۴۲	۷۶۰	۲	۷۵
SSLF	بدون میلگرد	-	-	-	-	-
	حاوی میلگرد	-	-	-	-	-

UANL academic group on concrete technology, Mexico, pp121-141, 2005.

[2]. O.S.B. Al-Amoudi, M. Moslehuddin, M. Shameem, M. Ibrahim, "Shrinkage of plain and silica fume concrete under hot weather," Cement and Concrete Composites; vol. 29; pp 690-699, 2007.

[3]. S.D. Hwang, K.H. Khayat, "Effect of mixture composition on restrained shrinkage cracking of self-consolidating concrete used in repair," ACI Materials journal, vol. 105(5), pp 499-509, 2008.

[4]. T.A. Hammer, "Effect of silica fume on the plastic shrinkage and pore water pressure of high-strength concretes," Materials and structures; vol. 34, pp 273-278, 2001.

[5]. P. Turcry, A. Loukili, "A evaluation of plastic shrinkage cracking of self-consolidating concrete," ACI Materials Journal, vol. 103(4), pp 272-279, 2006.

[6]. J. Branch, A. Rawling, D.J. Hannat, M. Mulheron, "The effect of fibers on the plastic shrinkage cracking of high strength concrete"; Materials and structures; vol. 35, pp189-194, 2002.

[7]. Y. Ma, Z.M. Tan, K. Wu, "Effect of Y type polypropylene fiber on plastic shrinkage cracking of cement mortar," Materials and structures, vol. 37, 2004, pp 92-95.

#### ۴. نتیجه گیری

- در مطالعه جمع شدگی و نشست خمیری مقید، مقادیر اندازه گیری شده (واقعی) تصویر درستی از مفهوم ارائه نمی‌دهد بلکه کرنش نشست و جمع شدگی اندازه گیری شده باید به کرنش نشست و جمع شدگی مقید تبدیل شود.  
- با استفاده از الیاف پلی پروپیلین و لانتکس استایرن بوتادین هیچ ترکی در بتن نوع SSLF مشاهده نشده است.  
- هر قدر ارتفاع قرارگیری میلگرد نسبت به سطح بتن کم می‌شود (کاهش پوشش بتن)، علت ترک خوردگی از جمع شدگی خمیری مقید به نشست خمیری مقید تغییر پیدا می‌کند.  
- ترک‌های ناشی از جمع شدگی خمیری به صورت زاویه‌ای و قطری و ترک‌های ناشی از نشست خمیری به صورت عمودی و درست بر روی میلگرد رخ می‌دهد.

#### ۵. منابع

[1]. K.H.Khayat, S.D. Hwang, "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-



- [11]. ASTM Standard Designation C 232, Standard test method for bleeding, Annual book of ASTM standards, Pennsylvania, United State; vol. 4.02.
- [12]. P. Ghoddousi, A.M. Raiss ghasemi, T. Parhizkar, "A comparison between plastic shrinkage of concrete containing silica fume and the normal concrete," International Journal of civil Engineering (IUST), vol. 5(4), pp 266-273, 2007.
- [13]. T. Samman, W.H. Mirza, F.F. Wafa, "Plastic shrinkage cracking of normal and high-strength concrete: a comparative study" ACI materials journal, vol.93(1), pp 36-40, 1996.
- [8]. T. Wongtanakitcharoen, A. Naaman, "Unrestrained early age shrinkage of concrete with polypropylene, PVA, and carbon fibers," Materials and structures, pp 289-300, 2007.
- [9]. R. Abbasnia, P. Ghoddousi, J. Ahmadi, "Prediction of restrained shrinkage based on restraint factors in patching repair mortar," Cement and Concrete Research, vol.35, pp 1909-1913, 2005.
- [10]. PCI, "Interm guidelines for the use of self-consolidating concrete institute member plants," PCI, 2003.

Archive of SID

## Effect of rebar as a restraint against plastic shrinkage and settlement of self-consolidating concrete

P. Ghoddosi\*

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology

A.A. Shirazi Javid

PhD student, Iran University of Science and Technology

( Received: 2012/4/14, Accepted: 2012/7/1)

### Abstract:

Plastic shrinkage and settlement occurs when concrete is in the fresh state. In reinforced concrete structures, the presence of rebar is effective on the shrinkage and settlement. In this study, four types of self-consolidating concrete (SCC) that are evaluated including: simple self-consolidating concrete (S), SCC containing silica fume (SS), SCC containing silica fume and styrene butadiene rubber latex (SSL) SCC containing silica fume and styrene butadiene rubber latex and fiber (SSLF). Then effect of changing in rebar placing on plastic shrinkage and settlement of SCC has been evaluated. The results show that reducing the height of the rebar placing in concrete (reducing in concrete cover), cause to change cracking due from plastic shrinkage to plastic settlement. Therefore cracking pattern has changed from Angle to the vertical. SCC containing fibers and latex shows the lowest plastic shrinkage and settlement and cracking area. Also cracking has not been observed in SCC containing fibers (SSLF).

**Key words:** plastic settlement, plastic shrinkage, rebar, restrained shrinkage, cracking.

---

\* Corresponding author: ghoddousi@iust.ac.ir