

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی



## بررسی اثر الیاف های پلی الفین و پلی پروپیلن بر ویژگی های مکانیکی و دوامی بتن غلتکی

علی اکبر رمضان پور<sup>۱</sup>، جعفر سبحانی<sup>۲</sup>، علیرضا پور خورشیدی<sup>۳</sup>، محمد مهدی لطفی<sup>۴</sup>

۱ و ۴- دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران

۲ و ۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

نویسنده رابط: جعفر سبحانی (sobhani@bhrc.ac.ir)

### خلاصه

بتن غلتکی یکی از انواع بتن های بدون اسلامپ است که برای تراکم نیاز به اعمال نیروی خارجی دارد. علت عدم روانی این بتن نسبت به بتن معمولی مقدار خمیر کمتر و حجم سنگدانه بیشتر آن می باشد. یکی از کاربردهای بتن غلتکی در ساخت روسازی های بتنی است. این قبیل روسازی ها معمولاً توسط فینشرهای آسفالت (با تغییراتی در شمشه، مخزن و ...) جایدهی شده و با غلتک های سنگین فلزی و چرخ لاستیکی متراکم می شوند. یکی از مشکلات اجرایی این نوع رویه ها بروز ترک پس از اجرا و تراکم آن می باشد که به دلایل مختلفی به وجود می آید. یکی از فرضیه های موجود این است که اگر از الیاف در مخلوط این نوع بتن ها استفاده شود، امکان کاهش و یا حتی حذف اینگونه ترک ها میسر خواهد شد. با این دیدگاه مطالعه حاضر تاثیر استفاده از الیاف در طرح مخلوط بتن های غلتکی را در قالب یک برنامه آزمایشگاهی بررسی می نماید. بدین منظور ۳ طرح مخلوط بتن غلتکی با استفاده از الیاف های پلی الفین و پلی پروپیلن ساخته و آزمایش های مکانیکی مقاومت فشاری و مقاومت خمشی، فیزیکی و دوامی جذب آب، نفوذ پذیری و سایش انجام گردید که مشخص شد که استفاده از الیاف باعث بهبود خواص مکانیکی و دوامی بتن غلتکی می گردد.

کلمات کلیدی: بتن غلتکی، الیاف پلی الفین، الیاف پلی پروپیلن

### ۱. مقدمه

یکی از انواع روسازی های بتنی، رویه های بتن غلتکی (RCCP) است که از انواع بتن های بدون اسلامپ می باشد که برای کاربردهایی همچون سدسازی و یا راه سازی مورد استفاده قرار می گیرد. این بتن به دلیل ساختار، دارای درصد بیشتری سنگدانه بوده که این موضوع روی خواص بتن غلتکی و بخصوص مقاومت، جمع شدگی، طاق، تراکم پذیری و سهولت در اجرا، شدت تأثیرگذار می باشد. استفاده از روسازی های بتن غلتکی در کشورهای دیگر بسیار متداول است، اما در کشور ما علیرغم وجود مصالح کافی، به دلیل ارزان بودن قیر، معرفی نشدن گزینه های مناسب جایگزین و در مواردی نبود دانش فنی - اجرایی و بعضی تجهیزات خاص، اجرا و ساخت این نوع روسازی ها متداول نشده است. با توجه به وضعیت تولید سیمان در کشور و شرایط اقلیمی، این نوع روسازی ها می تواند در بسیاری از راه های اصلی و فرعی کشور مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به آزاد شدن حامل های انرژی و افزایش قیمت ناشی از حذف پارانه ها، مزیت اقتصادی این نوع روسازی ها نسبت به روسازی های آسفالتی انکارناپذیر است و در بسیاری از کشورهای توسعه یافته به طور موفقیت آمیزی اجرا گردیده است و در حال حاضر نیز تحقیقات وسیعی در این رابطه در حال انجام است [۱-۳].

علی رغم تدوین راهنمای این نوع روسازی ها در کشور، اما به دلیل اهمیت مسائل اجرایی، روش های طرح مخلوط، بحث دوام و همچنین کنترل کیفی، لازم است تا براساس فناوری موجود در کشور و همچنین شرایط اقلیمی کشور، نکات اجرایی و مراحل کنترل کیفی و عملکرد این نوع روسازی ها بررسی گردد. از سوی دیگر امروزه انواع الیاف من جمله الیاف پلیمری به طور گسترده ای در صنعت بتن برای بهبود خواص مهندسی و

<sup>۱</sup> استاد تمام

<sup>۲</sup> استادیار

<sup>۳</sup> مربی

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد



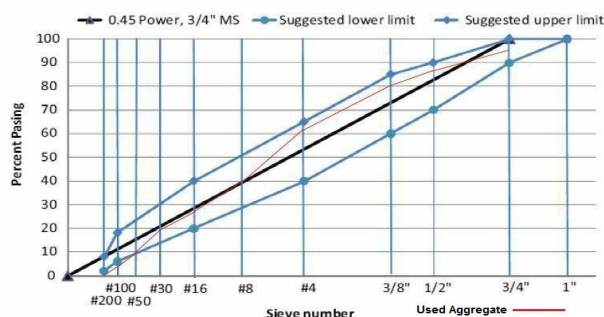
عملکردی آن کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده است. الیاف‌هایی نظیر الیاف پلی‌الفین و پلی‌پروپیلن کاربرد زیادی در صنعت بتن دارند و استفاده از این نوع الیاف‌ها تأثیر مثبتی در رفتار مکانیکی شامل مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و به‌ویژه جذب انرژی دارد [۴ و ۵]. علاوه بر این استفاده از الیاف در کنترل ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی بتن در حالت تازه و پس از خشک شدن تأثیرگذار است. استفاده از الیاف در بتن‌های معمولی در برنامه‌های تحقیقاتی مختلفی مورد بررسی قرار گرفته و اغلب تأثیر این نوع الیاف بر بتن معمولی مشخص شده است، لیکن اثر الیاف بر خواص بتن غلتکی به صورت علمی و جامع مورد تحلیل قرار نگرفته و تجربه‌ی زیادی در این زمینه وجود ندارد. این دیدگاه مطالعه حاضر تأثیر استفاده از الیاف در طرح مخلوط بتن‌های غلتکی را در قالب یک برنامه آزمایشگاهی بررسی می‌نماید. بدین منظور ۳ طرح مخلوط بتن غلتکی با استفاده از الیاف های پلی‌الفین و پلی‌پروپیلن ساخته و آزمایش‌های مکانیکی مقاومت فشاری و مقاومت خمشی، و دوامی جذب آب، نفوذ پذیری و سایش انجام گردید که مشخص شد که استفاده از الیاف باعث بهبود خواص مکانیکی و دوامی بتن غلتکی می‌گردد.

## ۲. مواد و مصالح و طرح مخلوط

بتن‌های غلتکی مورد بررسی در این تحقیق دارای دو اندازه مختلف سنگ‌دانه می‌باشند: ۷۵ میکرومتر تا ۴/۷۵ میلی‌متر و ۴/۷۵ تا ۱۹ میلی‌متر که به ترتیب مربوط به الک‌های #۲۰۰ و #۴ می‌باشند. مشخصات این سنگ‌دانه‌ها در جدول شماره ۱ ذکر شده است. نمودار دانه‌بندی بهینه بر اساس توصیه PCA و منحنی فولر-تامپسون با توان ۰/۴۵ در شکل ۱ ارائه شده است [۶]. سیمان پرتلند مصرفی در این پروژه از نوع ۴۲۵-۱ و محصول کارخانه سیمان دلیجان بوده که مشخصات مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی به ترتیب در جداول ۲ تا ۴ ارائه شده است. آب مصرفی در ساخت نمونه‌ها از آب شرب شهری تهیه شده است. در این مطالعه دو نوع الیاف شامل الیاف میکرو پلی‌پروپیلنی و ماکرو پلی‌الفین استفاده شده است [۷]، که مشخصات آنها در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات سنگ‌دانه‌های استفاده شده (شن و ماسه)

سنگ‌دانه	جذب آب (%)	چگالی در حالت اشباع با سطح خشک ( $gr/cm^3$ )	مدول نرمی	حداکثر قطر سنگ‌دانه (mm)
ماسه	۳/۱۱	۲/۵۵	۳/۲۷	۴/۷۵
شن (مخلوط)	۲/۶۵	۲/۶۲	-	۱۹



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی سنگدانه مصرفی

جدول ۲- مشخصات مکانیکی سیمان مصرفی

ردیف	ویژگی مکانیکی	حداقل مقدار مجاز (مگا پاسکال)	سیمان پرتلند
۱	مقاومت فشاری ۳ روزه		۴۲۵-۱
۲	مقاومت فشاری ۷ روزه		۲۴/۷
۳	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	۴۲/۵	۵۲/۱



### جدول ۳- مشخصات فیزیکی سیمان مصرفی

ردیف	ویژگی های فیزیکی	مقدار مجاز	سیمان پر تلند	استاندارد (ISIRI)
۱	$cm^2/gr$ سطح مخصوص به دست آمده از آزمایش بلین	۲۸۰۰	۳۱۵۵	۳۹۰
۲	انسباط در آزمایش اتو کلاو (درصد)	۰/۸		۳۹۱
۳	زمان گیرش اولیه به دست آمده از آزمایش با سوزن و یکات (دقیقه)	۴۵	۱۲۰	۳۹۲
۴	زمان گیرش نهایی به دست آمده از آزمایش با سوزن و یکات (دقیقه)	۳۶۰	۲۲۰	۳۹۲

### جدول ۴- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

$k_2O$	$Na_2O$	$MgO$	$SO_3$	$C_aO$	$Fe_2O_3$	$Al_2O_3$	$Sio_2$	ترکیبات شیمیایی
۰/۶۶	۰/۱۹	۱/۳۱	۱/۶۳۸	۶۳/۰۷	۳/۲۹	۳/۵۶	۲۳/۱۹	سیمان نوع ۱-۴۲۵
۱۰/۰۱	$C_4AF$	۳/۸۷	$C_3A$	۳۰/۸۶	$C_2S$	۴۷/۲۲	$C_3S$	دلجان درصد

### جدول ۵- مشخصات الیاف میکرو پلی پروپیلنی

مشخصه	ویژگی مواد	استاندارد
ساختمان شیمیایی	۱۰۰٪ پلی پروپیلنی	۱۰۰٪ پلی پروپیلنی
سطح مقطع	دایره ای (قطر $20 \mu m$ )	دایره ای (قطر $2000 \mu m$ تا ۲۰)
وزن مخصوص	۰/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب	۰/۹ تا ۰/۹۵ گرم بر سانتی متر مکعب
مدول الاستیسیته (GPa)	$3.7 \pm 0.5$	۳/۵ تا ۱۵
مقاومت کششی (MPa)	$360 \pm 25$	۲۰۰ تا ۷۶۰
طول (mm)	۱۲	۳ تا ۵۰
تعداد در کیلوگرم	$> 10000000$	--
نسبت طول به قطر	۶۰۰	--

### جدول ۶- مشخصات الیاف ماکرو پلی آلفین

مشخصه	ویژگی مواد	استاندارد
ساختمان شیمیایی	آلفین اصلاح شده	۸۵٪ پروپیلن و اتیلن
سطح مقطع	دایره ای (قطر $0.3 mm$ )	دایره ای (قطر $3 mm$ ) $(\geq)$
وزن مخصوص	۰/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب	۰/۹ تا ۰/۹۲ گرم بر سانتی متر مکعب
مدول الاستیسیته (GPa)	۷	۳/۵ تا ۱۵
مقاومت کششی (MPa)	۶۲۰	$> 344$
طول (mm)	۵۸	۱۲ تا ۶۵
تعداد در کیلوگرم	۵۳۸۰۰	--
نسبت طول به قطر	۱۹۳	--



### جدول ۷- طرح مخلوط بتن غلتکی شاهد و الیافی

شناسه	نوع الیاف	نسبت آب به سیمان	واحد وزن $kg/m^3$		
			سیمان	الیاف	آب
RF	شاهد	.۳۸	۳۵۰	۰	۱۳۲/۷
FC-PO2	الیاف ماکرو	.۳۸	۳۵۰	۲	۱۳۲/۷
FC-PP2	الیاف میکرو	.۳۸	۳۵۰	۲	۱۳۲/۷

### ۳. آزمون‌ها و روش‌ها

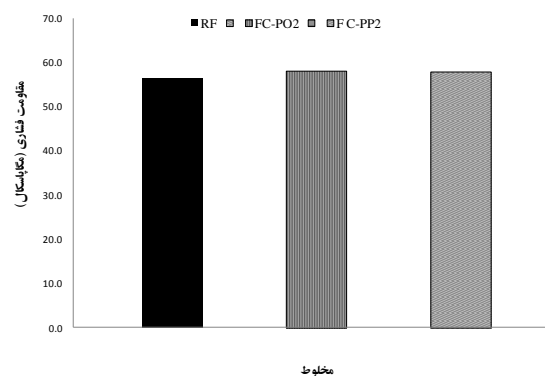
در این مطالعه، آزمایش‌های مکانیکی مقاومت فشاری [۸] و مقاومت خمشی [۹]، و دوامی جذب آب [۱۰]، نفوذ پذیری [۱۱] و سایشی [۱۲] بر روی نمونه‌های تهیه شده به ترتیب مطابق با استانداردهای BS-EN 12390-4، ASTM C 78، BS-1881-122، BS-EN 12390-8، و EN-1338-2003 انجام گردید.

### ۴. نتایج و تفسیر

#### ۴-۱ مقاومت فشاری

نتایج آزمایش مقاومت فشاری در سن ۲۸ روز، برای ۳ طرح مخلوط ساخته شده در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که در هر دو نوع الیاف میکرو (پلی پروپیلن) و ماکرو (پلی آلفین) در مقادیر مصرف ۲ کیلوگرم با افزایش کم مقاومت فشاری روبه‌رو هستیم، که می‌توان علت این افزایش در مقاومت فشاری را به دلایل زیر نسبت داد.

در رابطه با الیاف میکرو (پلی پروپیلن) می‌توان چنین بیان کرد که این الیاف‌ها به دلیل تعداد بسیار بالا و نحوه‌ی جهت‌گیری در بتن می‌توانند تمرکز تنش در نوک ترک‌ها را کاهش دهند، بنابراین باعث کاهش ترک خوردگی و افزایش مقاومت ترک خوردگی یا دوخت و دوز ترک‌های به وجود آمده در بتن شوند که این موضوع می‌تواند به افزایش مقاومت فشاری کمک کند. البته لازمه‌ی این موضوع استفاده از مقادیر مصرف کافی می‌باشد (البته باید توجه شود که در مقدار مصرف‌های بالا از پدیده‌ی توپی شدن (balling) جلوگیری شود). در رابطه با الیاف ماکرو (پلی آلفین) می‌توان چنان اظهار داشت که این الیاف به دلیل داشتن مدول الاستیسیته بالا و بافت سطحی زبری که دارد، باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود و زمانی که در مقدار زیاد استفاده می‌شود، عملکردی مشابه الیاف فولادی دارد بنابراین ممکن است بتوانند مقدار بیشتری از فشار را تحمل کنند و با انسجام بهتری که به ماتریس بتن غلتکی می‌بخشند باعث افزایش مقاومت فشاری شوند.



شکل ۲- مقاومت فشاری نمونه‌های بتن غلتکی الیافی و شاهد

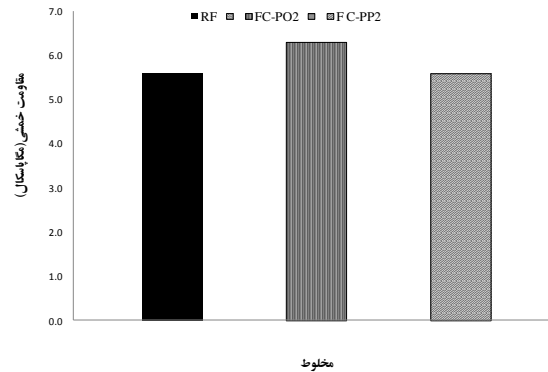


نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵  
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



#### ۴-۲ مقاومت خمشی (مدول گسیختگی)

نتایج آزمایش خمشی جهت تعیین مدول گسیختگی در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که الیاف های میکرو به دلیل طول کوتاه نتوانسته اند تغییری در مقاومت خمشی ایجاد کنند و بهبودی نسبت به نمونه‌ی شاهد حاصل نشده است، ضمناً مشاهده می‌شود الیاف ماکرو پلی‌الفینی در مقایسه با الیاف میکرو پلی‌پروپیلنی نقش مؤثرتری را در افزایش مدول گسیختگی داشته است. علت این امر مدول الاستیسیته و تنش کششی بیشتر الیاف پلی‌الفینی نسبت به الیاف پلی‌پروپیلنی (تقریباً ۲ برابر) می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، تنش کشی و مدول الیاف، علاوه بر طول الیاف عامل مؤثر بر میزان مدول گسیختگی می‌باشد.

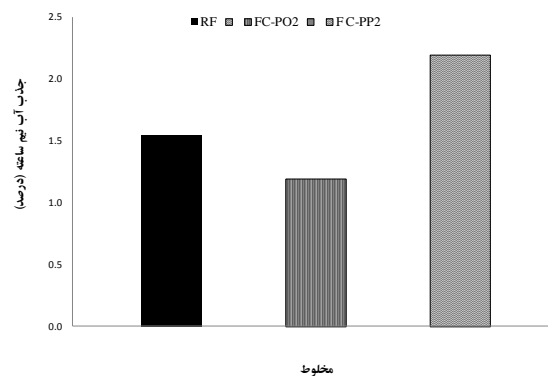


شکل ۳- مقاومت خمشی نمونه‌های بتن غلتکی الیافی و شاهد

#### ۴-۳ آزمایش جذب آب کوتاه و بلندمدت

نتایج آزمایش جذب آب کوتاه مدت (۳۰ دقیقه) و بلندمدت (۲۴ ساعته) در سن ۲۸ روز، برای ۳ طرح مخلوط در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که الیاف‌های ماکرو (پلی‌الفین) نسبت به نمونه‌ی شاهد جذب آب کمتر و الیاف‌های میکرو (پلی‌پروپیلن) نسبت به نمونه‌ی شاهد جذب آب بیشتری داشته‌اند.

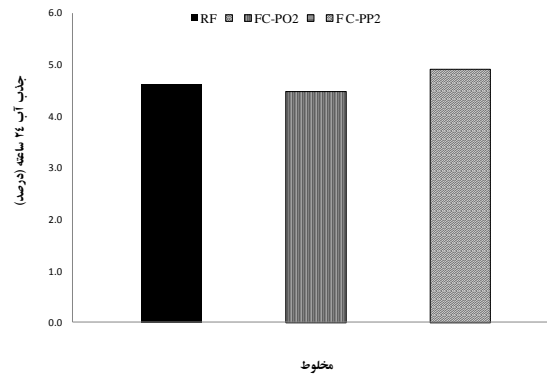
در بتن غلتکی به دلیل نسبت آب به سیمان کم و در نتیجه خشک بودن بتن و نداشتن شیره و هم چنین به دلیل تعداد بسیار زیاد الیاف میکرو شاهد افزایش تخلخل در بتن هستیم که این افزایش تخلخل در بتن باعث جذب آب لوله‌های موینه‌ی بیشتری شده است و به دلیل تعداد بسیار زیاد این الیاف‌ها اثر پدیده‌ی تخلخل نسبت به پدیده‌ی کاهش ترک خوردگی مشهودتر است و اثر بیشتری بر جذب آب داشته است. از طرفی شاید این موضوع که با افزایش مقدار الیاف جذب آب بیشتر شده را بتوان به شرایط آماده‌سازی نمونه پیش از انجام آزمایش نیز نسبت داد. از آنجاکه نمونه‌ها قبل از انجام آزمایش به مدت چند روز در آون با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار گرفته‌اند، احتمالاً این قرارگیری در معرض شرایط دمایی شدید بتواند باعث ترک خوردگی بتن شود و از آنجاکه ناحیه انتقال این الیاف‌ها مستعد ترک خوردگی در گرا دیان‌های شدید حرارتی می‌باشد با افزایش مقدار الیاف و در نتیجه ناحیه‌های انتقال بیشتر نفوذ آب به داخل نمونه‌ها بیشتر شده است.



شکل ۴- جذب آب نیم ساعته نمونه‌های بتن غلتکی



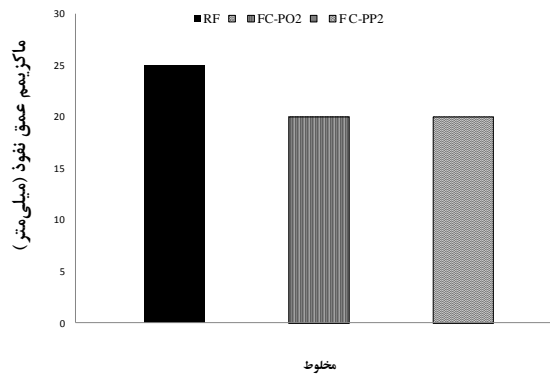
نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵  
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



شکل ۵- جذب آب ۲۴ ساعته بتن غلتکی

#### ۴-۴ آزمایش نفوذپذیری تحت فشار آب

نتایج آزمایش نفوذپذیری تحت فشار آب در سن ۲۸ روز، برای ۳ طرح مخلوط ساخته شده در شکل ۶ ارائه شده است. با مشاهده نتایج آزمایش در می یابیم که به طور کلی نفوذپذیری آزمون‌های بتنی با استفاده از الیاف کاهش می یابد. با توجه به شکل مشاهده می شود که الیاف میکرو و ماکرو در مقدار مصرف ۲ کیلوگرم در مترمکعب می تواند نفوذپذیری بتن غلتکی را به میزان قابل توجهی تا حدود ۲۰ درصد کاهش دهد. احتمالاً بتوان علت این کاهش در نفوذپذیری را به دلایل همافند کاهش ترک خوردگی ناشی از مصرف الیاف و جلوگیری از گسترش ترکها و به هم پیوستن ترکها و در نتیجه ایجاد ترکهای عمیق و عریض نسبت داد. هم چنین الیاف باعث برقراری پلی بین ترکهای ایجاد شده می شود و عملکرد بتن را در بلندمدت بهبود می بخشد با توجه به این عملکردها، الیاف می تواند نفوذپذیری بتن را تا حد بسیار زیادی بهبود بخشد و بدین ترتیب دوام آن را افزایش دهد.

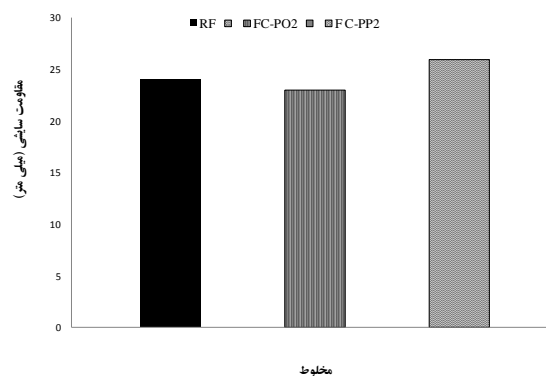


شکل ۶- نفوذپذیری نمونه های بتن غلتکی



#### ۴-۵ آزمایش تعیین مقاومت سایشی

نتایج آزمایش سایش در سن ۲۸ روز برای ۳ طرح مخلوط ساخته شده در شکل ۷ ارائه شده است. از آنجا که مقاومت در برابر سایش مانند مقاومت فشاری یک ویژگی مربوط به حجم نیست بلکه ویژگی مربوط به سطح است عوامل مؤثر در عمل آوری سطح مانند عمل آوری مرطوب و یا پرداخت سطح تأثیر بسیار زیادی بر روی این مشخصه بتن دارند و همان طور که از نتایج پیداست درمی یابیم که استفاده از الیاف های پلیمری خیلی تأثیری بر کاهش و یا افزایش این مشخصه بتن غلتکی ندارد. با توجه به شکل مشاهده می شود که الیاف ماکرو (پلی آلفین) نسبت به الیاف میکرو (پلی پروپیلن) عملکرد نسبی بهتری داشته است (و در رده ۲ (سایش متوسط کف پوش بتنی) طبق استاندارد BS EN 1338 قرار می گیرند در این رده مقدار سایش باید بین ۲۰ تا ۲۳ میلی متر قرار گیرد.) که احتمالاً بتوان این موضوع را به بافت سطحی بهتر الیاف ماکرو و ایجاد تخلخل کمتر در سطح بتن نسبت داد.



شکل ۷- سایش نمونه های بتن غلتکی

#### ۵. نتیجه گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته و با در نظر گرفتن این مطلب که این نتایج منحصرأ مربوط به مواد و روش های به کاررفته در این پروژه آزمایشگاهی بوده و در بسیاری موارد جهت اظهار نظر قطعی نیاز به برنامه آزمایشگاهی گسترده تری وجود دارد، موارد زیر قابل استنتاج و نتیجه گیری است:

- برای افزایش مقاومت و تراکم بهتر بتن غلتکی، استفاده از سنگ دانه های خوب دانه بندی شده (شامل طیف گسترده از اندازه ها) پیشنهاد می شود و در نهایت هر چه بتوان به منحنی دانه بندی فولر- تامپسون، توان ۰/۴۵ نزدیک تر شد مخلوط متراکم تری خواهیم داشت.
- استفاده از الیاف برای افزایش مقاومت فشاری گزینه ی مناسبی نیست.
- نتایج آزمایش خمش نشان دهنده ی این موضوع است که در مخلوط های بتن الیافی ماکرو (پلی آلفین) و مخلوط بتن الیافی میکرو (پلی پروپیلن)، الیاف ماکرو نقش مؤثرتری را در افزایش مدول گسیختگی نسبت به الیاف میکرو ایفا نموده است. در واقع دو فاکتور مؤثر بر میزان مدول گسیختگی تنش کششی الیاف و طول الیاف توأما می باشد.





نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵  
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



- به‌طور کلی فاکتورهای مؤثر بر میزان جذب انرژی و طاقتمندی بتن‌های الیافی نوع الیاف (میزان مدول الاستیسیته، انعطاف‌پذیری و ...)، درصد الیاف، طول و نسبت ظاهر الیاف و شکل الیاف می‌باشد.
- استفاده از الیاف (پلی‌آلفین و پلی‌پروپیلن) می‌تواند نفوذپذیری را تا حدود ۲۰ درصد کاهش دهد.
- استفاده از الیاف تغییر محسوسی در مقاومت سایشی نمونه‌ها ایجاد نکرد با این‌وجود مطابق با مشاهدات آزمایشگاهی استفاده از الیاف ماکرو (پلی‌آلفین) ۴ درصد افزایش و استفاده از الیاف میکرو (پلی‌پروپیلن) موجب ۸ درصد کاهش مقاومت سایشی نسبت به نمونه‌ی شاهد شده است.
- بتن غلتکی الیافی ماکرو (پلی‌آلفین) نسبت به نمونه‌ی شاهد جذب آب کمتر و الیافی میکرو (پلی‌پروپیلن) نسبت به نمونه‌ی شاهد جذب آب بیشتری داشته‌اند.

## ۶. مراجع

۱. راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور، نشریه شماره ۳۵۴. وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸۸.
۲. کمیته تدوین دستورالعمل اجرایی و کنترل کیفی روسازی بتن غلتکی، دستورالعمل اجرایی و کنترل کیفی روسازی بتن غلتکی، ویرایش دوم، دی ماه ۱۳۹۳.
3. State of the-art report on roller compacted concrete pavement. American Concrete Institute (ACI); 1995 [325.10R].
4. N. Banthia, R. Gupta. "Hybrid fiber reinforced concrete : fiber synergy in high strength matrices" , RILEM, J.Materials and Structures 37 (274) (2004)707-716.
5. M.Hsie, Ch.Tua, P.S. Songb. "Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete", J. Materials Science and Engineering A 494 (2008) 153-157.
6. ASTM C 1176. Standard practice for making roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating Table ; 2005.
7. ACI 325.6 R-88 (Reap proved 1997), Texturing Concrete Pavements. s.l : American Concrete Institute, 2000.
8. BS EN 12390-3:2009, Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens, British Standards, 2009.
9. ASTM C 1018 – 97, Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), 1997.
10. BS 1881-122:2011, Testing Concrete, Part 122: Method for determination of water absorption, British Standards, 2011.
11. BS EN 12390-8:2009, Testing hardened concrete – Part 8: Depth of penetration of water under pressure, British Standards, 2009.
12. BS EN 1338:2003 (E), Testing hardened concrete: Measurement of abrasion resistance, British Standards, 2003.



نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵  
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی