

## مروری بر مطالعات با موضوع استفاده همزمان از الیاف پلی پروپیلن و میکروسیلیس، مشخصات،

### مقادیر و شیوه اختلاط آن‌ها در بتن

حسین توتنجی در مقاله ای تحت عنوان "خواص بتن سیلیسی مسلح شده با الیاف با استفاده از سیمان انبساطی" به بررسی تاثیر همزمان الیاف پلی پروپیلن و دوده سیلیس در بتن با سیمان منبسط شونده پرداخته است. در این مقاله بیان شده که از الیاف پلی پروپیلن به عنوان عامل مسلح کننده ثانویه و برای کنترل ترک جمع شدگی استفاده می‌شود. الیاف پلی پروپیلن مورد استفاده در این تحقیق طولی در حدود ۶ تا ۵۱ میلی‌متر داشته و قطر آن‌ها تعیین نشده است. مقادیر مصرف الیاف نیز ۰٫۱، ۰٫۳ و ۰٫۵ درصد حجم مخلوط انتخاب شده است. دوده سیلیس نیز حاوی ۹۶٫۵ درصد  $SiO_2$  در ابعاد ۰٫۱۵ میکرون می‌باشد. مقادیر مصرف سیلیس نیز برابر ۰، ۰٫۰۵ و ۰٫۱ وزن ماده چسباننده (شامل سیمان و دوده سیلیس) انتخاب شده است.

شیوه اختلاط مواد در این تحقیق به این صورت است که در ابتدا شن و ماسه در میکسر باهم مخلوط شده و در مرحله بعد یک سوم از مایع مخلوط (شامل آب و فوق روان کننده) به آن افزوده شده است. در گام سوم ماده چسباننده و یک سوم دیگر از مایع مخلوط به میکسر اضافه شده، در انتها الیاف پلی پروپیلن و باقی مایع مخلوط به آن اضافه شده است. پس از افزودن تمامی مواد میکسر به مدت ۵ دقیقه فعالیت داشته، سپس ۳ دقیقه متوقف بوده و در انتها مجدداً به مدت ۲ دقیقه مصالح را باهم مخلوط کرده است.

نتایج در این تحقیق کاهش کارایی با افزودن سیلیس، همچنین افزودن الیاف را نشان داده است. افزودن سیلیس در ابتدا و در مقدار ۰٫۰۵ چسبندگی مخلوط را بهبود بخشیده که با افزایش به ۰٫۱ نتیجه برعکس شده و چسبندگی کم می‌شود، اگرچه الیاف این چسبندگی را مجدداً افزایش داده است، خصوصاً در مقدار سیلیس ۰٫۱. همچنین افزودن الیاف مقاومت خمشی پس از ترک را بهبود بخشیده است، که بیشترین مقدار مقاومت خمشی در دوز الیاف ۰٫۵ درصد حاصل گردید. در بررسی نفوذ کلرید افزودن الیاف نتیجه عکس داشته و آن را افزایش داده است که ظاهراً علت آن تشکیل فضاهای خالی با افزودن الیاف به بتن است. البته افزودن سیلیس نشان داد که این نفوذپذیری به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در انتها مقدار بهینه بدست آمده از برآیند نتایج برای الیاف برابر ۰٫۳ درصد حجمی و سیلیس ۵ درصد وزنی ماده چسباننده به جهت کاهش نفوذپذیری مخلوط بتنی در عین ثابت نگه داشتن کارایی آن بوده است.

ریچاردسون و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان "تخلخل بتن با استفاده از الیاف و میکروسیلیس" به بررسی تاثیر همزمان الیاف پلی پروپیلن و دوده سیلیس در بتن پرداخته‌اند. هدف استفاده از الیاف در این تحقیق کاهش ترک‌های جمع شدگی توسط مکانیسم پل زدن و ساخت یک سازه

بتنی بدون ترک به عنوان مخزن آب عنوان شده است. در این تحقیق از دونوع الیاف پلی پروپیلن استفاده شده است، نوع یک میکرو الیاف با طول ۲۰ میلی‌متر و قطر ۲۰ میکرون و نوع دو ماکروالیاف با طول ۴۰ میلی‌متر و قطر ۱ میلی‌متر به شکل موجدار بوده‌اند. دوز مصرفی الیاف نوع یک برابر ۰,۹ کیلوگرم و الیاف نوع دو ۶ کیلوگرم در مترمکعب به پیشنهاد کارخانه تولیدکننده بوده است. دوده سیلیس مصرفی حاوی ۸۵ درصد  $SiO_2$  بوده است. دوغاب میکروسیلیس ۲۰ درصد وزن سیمان خشک بوده و با آب مخلوط ترکیب شده و سپس به مخلوط بتن اضافه شده است. نتایج نشان داده که افزودن الیاف پلی پروپیلن تخلخل بتن را افزایش داده و در نتیجه خطر نفوذ پذیری مایعات را نیز افزایش می‌دهد. در نمونه های حاوی دوده سیلیس این تخلخل به مقدار قابل توجهی کاهش داشته‌است. لذا افزودن الیاف پلی پروپیلن دارای ضعف افزایش تخلخل بوده که این ضعف با افزودن دوغاب ۲۰ درصد سیلیس به میزان قابل توجهی کاهش یافته و از نمونه بتنی خام نیز کمتر شده است. لذا این مسئله بسیار مهم است که در طراحی اگر بهره‌مندی از خواص الیاف در بتن و به طور همزمان کنترل نفوذ پذیری اهمیت داشته باشند، می‌توان ضعف الیاف در ایجاد تخلخل را توسط دوغاب سیلیس جبران کرد.

لی یو و همکاران در تحقیقی به بررسی تاثیر الیاف پلی پروپیلن و دوده سیلیس در کامپوزیت سیمانی پرداخته‌اند. مشخصات الیاف پلی پروپیلن و دوده سیلیس مورد استفاده در جداول شماره ۱ و ۲ نشان داده شده‌اند. مقدار مصرف سیلیس برابر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزن سیمان و مقدار الیاف برابر ۰,۱، ۰,۳ و ۰,۵ درصد حجم سیمان انتخاب شده‌است.

Density ( $g \cdot cm^{-3}$ )	Diameter ( $\mu m$ )	Length (mm)	Fracture Strength (MPa)	Fracture Elongation (%)	Young's Modulus (GPa)	Melting Point ( $^{\circ}C$ )
0.91	31	9	$\geq 400$	$\leq 2$	$\geq 3.5$	160

جدول ۱. مشخصات الیاف پلی پروپیلن

Type	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO + MgO_2$	$K_2O + Na_2O$	Loss	Water
Cement	21.28	5.32	3.37	70.15	-	0.74	-
SF	$\geq 90$	$\leq 1.5$	$\leq 2$	$\leq 2$	$\leq 2$	-	$\leq 5$

جدول ۲. ترکیب شیمیایی مواد سازنده دیده سیلیس

شیوه اختلاط مواد در این تحقیق به این شکل بوده که در ابتدا مصالح خشک شامل پودر سیمان، الیاف پلی پروپیلن، دوده سیلیس و یک افزودنی دیگر به شکل پودر در میکسر و به مدت ۳ دقیقه مخلوط شده و در آخر آب به آن اضافه شده و به مدت ۴ دقیقه دیگر مخلوط می‌شوند.

نتایج نشان داد مخلوط حاوی دوده سیلیس به طور قابل توجهی مقاومت را افزایش داده و آب انداختگی دوغاب را کنترل می‌کند، و مخلوط حاوی الیاف رفتار ترد شکنی را به حالت شکل پذیر و جاذب انرژی تغییر می‌دهد. استفاده همزمان از الیاف پلی پروپیلن و دوده سیلیس در این مخلوط مقاومت خمشی و فشاری را تا بیش از ۳۰ درصد افزایش داده‌است. همچنین روانی این مخلوط برابر ۱۳۲ میلی‌متر بوده که نشان‌دهنده قابلیت پمپ پذیری آن است.

ژانگ و همکاران در تحقیقی به بررسی تاثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن و دوده سیلیس بر مشخصات مکانیکی بتن حاوی خاکستر بادی پرداخته‌اند. مشخصات الیاف مصرفی در جدول شماره ۳ نشان داده شده‌است. ۶۰ درصد الیاف‌ها دارای طولی در بازه ۱۰ تا ۱۶ میلی‌متر بوده و ۴۰ درصد در بازه ۱۵ تا ۲۰ میلی‌متر بوده‌اند. الیاف در مقادیر ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ درصد حجم مخلوط استفاده شده‌است. دوده سیلیس مصرفی نیز حاوی ۹۳٫۷۵ درصد  $SiO_2$  بوده و در مقادیر ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد وزن سیمان مورد استفاده قرار گرفته‌است.

Density ( $g/cm^3$ )	Linear density (dtex)	Fiber length (mm)	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)	Melting point ( $^{\circ}C$ )
0.91	10-20	10-20	$\geq 450$	$\geq 4100$	160-170

جدول ۳. مشخصات فیزیکی الیاف پلی پروپیلن

به منظور پراکندگی یکنواخت الیاف در مخلوط، از یک دستگاه همزن قدرتمند با یک محور و تعداد زیادی پره استفاده شده‌است. به جهت پراکندگی بهتر الیاف قبل از افزودن به مخلوط با دست از هم باز شده‌اند. شیوه اختلاط از طریق سعی و خطا به دست آمده و به این ترتیب است که در ابتدا مصالح سنگی ریز و درشت به مدت ۱ دقیقه مخلوط شده، بعد از آن ماده چسباننده و الیاف به آن اضافه شده و به مدت ۱ دقیقه باهم مخلوط شدند. در نهایت آب و فوق روان‌کننده اضافه شده و ۳ دقیقه دیگر مخلوط می‌شوند.

نتایج آزمایش‌های فشاری و کششی نشان داد که در اغلب نمونه‌ها در مقدار سیلیس ۱۲ درصد و مقدار الیاف ۰٫۱ درصد مقادیر بالاتر مقاومتی حاصل گردیده‌است.

## منابع

1. Toutanji, H.A., Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete. *Construction and Building Materials*, 1999. 13(4): p. 171-177.
2. Richardson, A. and P. Carrielies. Concrete porosity with polypropylene fibres and silica fume. in *Conference proceedings*. 2012. Athens Institute for Education and Research (ATINER).
3. Liu, J., et al., Developing a Polypropylene Fabric, Silica Fume, and Redispersible Emulsion Powder Cementitious Composite for Dynamic Water Environment. *Polymers*, 2019. 11(1): p. 47.
4. Zhang, P., Q. Li, and H. Zhang, Combined effect of polypropylene fiber and silica fume on mechanical properties of concrete composite containing fly ash. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2011. 30(16): p. 1349-1355.