



معاونت فنی و عمرانی

تاریخ: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴

شماره: ۸۸۴۴۸۸/۷۰:۵

پیوست: ۲

بسم الله الرحمن الرحيم

معاونین محترم شهردار تهران

مساوران محترم شهردار تهران

شهرداران محترم مناطق ۲۲ گانه شهرداری تهران

رؤسا و مدیران محترم سازمانها و شرکتهای تابعه شهرداری تهران

مدیران محترم کل ستادی

رئیس محترم سازمان بازرسی

موضوع: ابلاغیه شورای فنی "دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی اولفین"

با سلام و احترام؛

به استناد مصوبه شماره ۱۶۰/۲۴۸۲/۲۰۲۵ مورخ ۱۳۹۷/۷/۱۲ شورای اسلامی شهر تهران و با عنایت به مصوبه شورای فنی شهرداری تهران، بدینوسیله "دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی اولفین" ابلاغی سازمان برنامه و بودجه کشور به شماره ۱۴۰۰/۴۴۱۳۲۰ مورخ ۱۴۰۰/۰۹/۰۸ در چارچوب نظام فنی و اجرایی شهرداری تهران به کلیه واحدهای اجرایی شهرداری تهران ابلاغ می گردد. لازم به ذکر است مرجع رسیدگی، تفسیر، داوری و اظهار نظر درخصوص اجرای مفاد این مصوبه که در واحدهای اجرایی شهرداری تهران مورد استفاده قرار می گیرد شورای فنی شهرداری تهران می باشد.

عباس شعبانی

معاون فنی و عمرانی

رونوشت: جناب آقای مهندس اللهوردیزاده، دبیر محترم شورای فنی شهرداری تهران، جهت اطلاع؛



shaghool.ir

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی‌اولفین

ضابطه شماره ۴-۱۲۰

آخرین ویرایش: ۱۳-۰۶-۱۴۰۰

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی
امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
nezamfanni.ir

۱۴۰۰



شماره : ۱۴۰۰/۴۴۱۳۲۰	بخشنامه به دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ : ۱۴۰۰/۰۹/۰۸	
موضوع: دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی اولفین	

در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۴-۱۲۰ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران با عنوان «**دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی اولفین**» از نوع گروه سوم ابلاغ می شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۰۱ الزامی است.

دبیرخانه دائمی آیین نامه بتن ایران، دریافت کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان اعلام خواهد کرد.

سید مسعود میرکاظمی



پیشگفتار

امروزه استفاده از الیاف در بتن به دلایل گوناگونی از جمله برای کنترل و جلوگیری از گسترش ریز ترک، افزایش طاقت، بهبود مقاومت در برابر بارهای ضربه و بارهای دینامیکی و عدم از هم پاشیدگی المان‌های بتنی توسعه زیادی یافته است. این دستورالعمل شامل ضوابط و معیارهای فنی برای ارزیابی کیفیت الیاف کوتاه پلی‌اولفینی مورد استفاده در بتن الیافی شامل آزمون‌های کنترل کیفی الیاف و همچنین خواص عملکردی بتن حاوی الیاف می‌باشد. امید است این دستورالعمل راهگشای مهندسین در زمینه استفاده صحیح الیاف پلیمری در بتن باشد.

با توجه به مطالب فوق، این ضابطه پس از تهیه و کسب نظر عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال شد که پس از بررسی، براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور (Nezamfanni.ir) برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از این رو، همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین‌وسیله معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی از تلاش‌ها و جدیت رییس محترم مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

پاییز ۱۴۰۰

تهیه و کنترل «دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی‌اولفین» [ضابطه شماره ۴-۱۲۰]

گروه تهیه کننده متن:

جعفر سبحانی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
مژده زرگران	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

کمیته بازبینی، کنترل و تأیید به ترتیب الفبا:

دکتر بابک احمدی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر اویس افضلی ننیز	مدیر تحقیق و توسعه شرکت نانو نخ و گرانول سیرجان
دکتر علیرضا باقری	عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی
مهندس علیرضا پورخورشیدی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر محسن تدین	رئیس هیات مدیره انجمن بتن ایران، مهندسین مشاور سیناب غرب و عضو هیئت علمی سابق دانشگاه بوعلی سینا
دکتر عاطفه جهان محمدی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر مهدی چینی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر علی اکبر رمضانپور	استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دکتر مژده زرگران	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر جعفر سبحانی	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر محمد شکرچی زاده	استاد دانشگاه تهران و رئیس مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
دکتر بابک شایسته	مدیر عامل مجتمع شرکت نانو نخ و گرانول سیرجان
دکتر هرمز فامیلی	عضو هیات علمی سابق دانشگاه علم و صنعت ایران، رئیس موسسه آموزش عالی علاء الدوله سمنانی، بازرس انجمن بتن ایران، مدیر عامل شرکت مهندسین مشاور کوبان کاو
دکتر پرویز قدوسی	استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر فریدون مقدس نژاد	استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دکتر مهدی نعمتی چاری	عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

اعضای گروه هدایت و راهبردی (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
محمدرضا سیادت	کارشناس امور نظام فنی و اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
امیرمازیار رییس قاسمی	دبیر آیین‌نامه بتن ایران

فهرست مطالب

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
فصل اول - کلیات	۱
۱-۱- مقدمه و دامنه کاربرد	۱
۱-۲- تعاریف و اصطلاحات	۱
۱-۲-۱- بتن الیافی - Fiber Reinforced Concrete (FRC)	۱
۱-۲-۲- الیاف - Polyolefin Fibers	۱
۱-۲-۳- الیاف ماکرو - Macro Fibers	۱
۱-۲-۴- الیاف میکرو - Micro Fibers	۱
۱-۲-۵- الیاف ترکیبی (هیبرید) - Hybrid Fibers	۲
۱-۲-۶- چگالی خطی الیاف - Linear Density	۲
۱-۲-۷- درصد مواد پوششی - Spin Finish/Finish Content	۲
۱-۲-۸- تناسیتی - Tenacity	۲
۱-۲-۹- مقاومت پسماند - Residual Strength	۲
۱-۲-۱۰- مقاومت پسماند متوسط - Average Residual Strength	۲
۱-۲-۱۱- چگالی بتن تازه - Freshly Mixed Density	۲
۱-۲-۱۲- چگالی تعادلی بتن - Equilibrium Density	۳
۱-۲-۱۳- چگالی بتن در حالت خشک شده در آون - Oven-Dry Density	۳
۱-۲-۱۴- قطر معادل - Equivalent Diameter	۳
۱-۲-۱۵- اولین ترک - First Crack	۳
۱-۲-۱۶- مقاومت اولین ترک - First Crack Strength	۳
۱-۲-۱۷- طاقت (چقرمگی) خمشی - Flexural Toughness	۳
۱-۲-۱۸- اندیس طاقت (چقرمگی) - Toughness Indices	۳
۱-۲-۱۹- مدول گسیختگی - Modulus of Rupture (MOR)	۳
۱-۲-۲۰- مقاومت در برابر ضربه - Impact Strength	۳
۱-۳- کاربردهای بتن تقویت شده با الیاف	۴
۱-۴- ویژگی‌های بتن تقویت شده با الیاف	۴
فصل دوم - آزمون ها و ضوابط پذیرش	۹
۱-۲- کلیات	۹
۲-۲- الزامات کنترل کیفیت الیاف	۹
۱-۲-۲- طول الیاف و حدود پذیرش	۹
۲-۲-۲- چگالی خطی	۹
۳-۲-۲- روش تعیین قطر (معادل)	۱۰
۱-۳-۲-۲- الیاف با سطح مقطع دایره‌ای	۱۰
۲-۳-۲-۲- الیاف با سطح مقطع بیضوی	۱۰
۳-۳-۲-۲- الیاف با سطح مقطع مستطیلی	۱۰

۱۰	۲-۳-۴- الیاف با سطح مقطع نامنظم.....
۱۰	۲-۲-۴- درصد مواد پوششی.....
۱۰	۲-۲-۵- آزمون کشش و خواص مقاومتی.....
۱۱	۲-۲-۶- آزمون DSC.....
۱۱	۲-۳- الزامات سفارش بتن الیافی.....
۱۴	۲-۴- مواد ، مصالح و الزامات ساخت.....
۱۴	۲-۵- آزمون‌های بتن الیافی در حالت تازه.....
۱۴	۲-۵-۱- آزمون کارایی.....
۱۶	۲-۵-۲- آزمون مقدار هوا.....
۱۶	۲-۶- آماده‌سازی نمونه.....
۱۷	۲-۷- آزمون‌های بتن الیافی در حالت سخت شده.....
۱۷	۲-۷-۱- مقاومت فشاری.....
۱۷	۲-۷-۲- رفتار خمشی.....
۱۸	۲-۷-۳- طاقت.....
۱۸	۲-۷-۴- تواتر آزمون‌ها.....
۱۹	۲-۸- الزامات پذیرش الیاف و بتن الیافی.....
۱۹	۲-۸-۱- الزامات پذیرش الیاف.....
۱۹	۲-۸-۲- الزامات پذیرش بتن الیافی.....
۲۵	منابع و مراجع.....

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه و دامنه کاربرد

الیاف پلی‌اولفینی^۱ در بتن برای کنترل و جلوگیری از گسترش ریزترک، افزایش طاقت^۲ (چقرمگی)، بهبود مقاومت در برابر بارهای ضربه و بارهای دینامیکی و عدم از هم پاشیدگی المان‌های بتنی استفاده می‌شوند. نباید انتظار داشت در اثر استفاده از الیاف در مقدار کم تا متوسط، مقدار مقاومت فشاری یا مدول خمشی نمونه بتنی کاهش یا افزایش چشمگیری داشته باشد.

این دستورالعمل به ضوابط و معیارهای فنی برای ارزیابی کیفیت الیاف پلی‌اولفینی مورد استفاده در بتن الیافی شامل آزمون‌های کنترل کیفی الیاف و همچنین خواص عملکردی بتن حاوی الیاف می‌پردازد.

۱-۲- تعاریف و اصطلاحات

۱-۲-۱- بتن الیافی - Fiber Reinforced Concrete (FRC)

بتن تقویت‌شده با الیاف یک ماده مرکب^۳ است که از سیمان، آب، سنگدانه، الیاف و برخی مواد افزودنی شیمیایی و معدنی ساخته می‌شود. طول الیاف مورد استفاده از ۶ میلی‌متر تا ۶۴ میلی‌متر متغیر است.

۱-۲-۲- الیاف - Polyolefin Fibers

الیاف پلیمری مصنوعی^۴ که حاوی حداقل ۸۵٪ وزنی از واحدهای اتیلن، پروپیلن یا دیگر منومرهای اولفینی در ساختار شیمیایی زنجیر پلیمری باشند. الیاف پلی‌پروپیلن زیر مجموعه الیاف پلی‌اولفینی می‌باشند. توجه شود که در متن دستورالعمل هر جا کلمه "الیاف" استفاده شده، معادل "الیاف پلی‌اولفین" می‌باشد.

۱-۲-۳- الیاف ماکرو - Macro Fibers

به الیافی اطلاق می‌شود که قطر یا قطر معادل آنها بیشتر از ۰/۳ میلی‌متر باشد.

۱-۲-۴- الیاف میکرو - Micro Fibers

به الیافی اطلاق می‌شود که قطر یا قطر معادل آنها مساوی یا کمتر از ۰/۳ میلی‌متر باشد.

^۱ Chopped Strand Polyolefin Fibers

^۲ Toughness

^۳ Composite

^۴ Synthetic Polymer Fibers

۱-۲-۵- الیاف ترکیبی (هیبرید) - Hybrid Fibers

مخلوط دو یا بیش از دو نوع الیاف متفاوت از نظر ابعاد (میکرو و ماکرو) و جنس.

۱-۲-۶- چگالی خطی الیاف - Linear Density

وزن واحد طول الیاف که اغلب به صورت تکس^۵ یا دنیر^۶ اندازه‌گیری می‌شود.

۱-۲-۷- درصد مواد پوششی - Spin Finish/Finish Content

به درصد وزنی مواد شیمیایی اطلاق می‌شود که به صورت پوشش روی سطح الیاف اضافه می‌شود و به الیاف کمک می‌کند تا به خوبی در مخلوط بتنی پخش شوند.

۱-۲-۸- تناسیتی - Tenacity

تنش کششی الیاف که به صورت نیرو بر چگالی خطی نمونه کشیده نشده بیان می‌شود و عمدتاً برای الیاف میکرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. اغلب به صورت گرم بر دنیر^۷ (GPD) گزارش می‌شود.

۱-۲-۹- مقاومت پسماند - Residual Strength

تنش خمشی در مقطع تیر ترک‌خورده که از طریق محاسبات و با استفاده از بارهای حاصله از منحنی بارگذاری مجدد به عنوان مقادیر خیز مشخص به دست آمده است. قابل توجه اینکه مقاومت پسماند یک تنش واقعی نیست بلکه تنش مهندسی محاسبه شده با استفاده از فرمول خمشی برای مواد الاستیک خطی و خواص مقطع کل (ترک نخورده) می‌باشد.

۱-۲-۱۰- مقاومت پسماند متوسط - Average Residual Strength

متوسط قابلیت تحمل تنش توسط تیر ترک‌خورده که با استفاده از محاسبه مقاومت پسماند در ۴ خیز مشخص بدست می‌آید.

۱-۲-۱۱- چگالی بتن تازه - Freshly Mixed Density

چگالی بتن در حالت سخت نشده.

⁵ -Tex

⁶ - Denier

⁷ - Gram Per Denier

۱-۲-۱- چگالی تعادلی بتن - Equilibrium Density

چگالی بتن پس از قرارگیری در رطوبت $5 \pm 0.5\%$ و دمای 23 ± 2 درجه سانتی‌گراد به مدت زمان کافی که از نظر وزنی به تعادل برسد.

۱-۲-۱-۱۳- چگالی بتن در حالت خشک شده در آون - Oven-Dry Density

چگالی بتن پس از قرارگیری در آون 110 ± 5 درجه سانتی‌گراد به مدت زمان کافی که از نظر وزنی به تعادل برسد.

۱-۲-۱-۱۴- قطر معادل - Equivalent Diameter

قطر یک دایره با یک سطح مقطع معادل سطح مقطع لیف.

۱-۲-۱-۱۵- اولین ترک - First Crack

نقطه‌ای در منحنی نیرو-تغییر مکان یا منحنی نیرو-ازدیاد طول خمشی که منحنی برای اولین بار از حالت خطی خارج می‌شود.

۱-۲-۱-۱۶- مقاومت اولین ترک - First Crack Strength

تنش مربوط به نقطه اولین ترک در کشش یا خمش در کامپوزیت‌های بتنی تقویت شده با الیاف.

۱-۲-۱-۱۷- طاقت (چقرمگی) خمشی - Flexural Toughness

سطح زیر منحنی نیروی خمشی-جابجایی حاصل از آزمون استاتیکی نمونه تا یک جابجایی مشخص. این پارامتر قابلیت جذب انرژی را نشان می‌دهد.

۱-۲-۱-۱۸- اندیس طاقت (چقرمگی) - Toughness Indices

مقادیر بدست آمده از سطح زیر منحنی نیرو-جابجایی تا یک جابجایی مشخص به سطح زیر منحنی تا اولین ترک.

۱-۲-۱-۱۹- مدول گسیختگی - Modulus of Rupture (MOR)

بیشترین تنش خمشی‌ای که در آزمون مقاومت خمشی یک نمونه کامپوزیت بتنی تقویت شده با الیاف بدست می‌آید. اگرچه، در یک نمونه بتنی تقویت نشده، مدول گسیختگی با ترک خوردن ماتریس مترادف است اما این امر در خصوص بتن تقویت‌شده با الیاف برقرار نیست.

۱-۲-۱-۲۰- مقاومت در برابر ضربه - Impact Strength

مجموع انرژی موردنیاز برای شکست یک نمونه با اندازه مشخص تحت شرایط ضربه مشخص شده.

۱-۳- کاربردهای بتن تقویت‌شده با الیاف

در کاربردهای سازه‌ای، الیاف تقویت‌کننده عموماً برای جلوگیری از گسترش ریزترک، بهبود مقاومت در برابر ضربه یا بارهای دینامیکی و جلوگیری از ازهم پاشیدگی مواد استفاده می‌شوند.

در مواردی که مقاومت در برابر تنش‌های کششی چندان حائز اهمیت نباشد نظیر روسازی‌ها^۸، روکش‌ها^۹، برخی محصولات پیش‌ساخته، و پوشش‌های پاششی^{۱۰}، بهبود طاق‌خمش در اثر استفاده از الیاف می‌تواند سبب کم شدن ضخامت مقطع، بهبود عملکرد یا هر دو شود.

برخی موارد کاربرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای بتن تقویت‌شده با الیاف در ادامه آورده شده است.

- روسازی و روکش بزرگراه و فرودگاه،
- محوطه‌سازی مسکونی و صنعتی
- عرشه پل، تعمیر و بازسازی روکش پل‌ها
- سقف‌های کامپوزیت به عنوان جایگزین میلگرد حرارتی
- پوشش‌های پاششی در معادن و تونل‌ها، پایدارسازی شیب، پوشش‌های زمینی^{۱۱} و تعمیرات سازه‌ای
- در قطعات پیش‌ساخته پوشش تونل، سگمنت‌ها، مخازن فاضلاب
- سازه‌های مقاوم در برابر لرزه و انفجار و مقاوم در برابر از هم پاشیدگی ناشی از آتش‌سوزی
- سازه‌های پوسته‌ای تحت فشار

۱-۴- ویژگی‌های بتن تقویت‌شده با الیاف

بتن الیافی، اغلب با مقاومت فشاری، خمشی، نوع الیاف و مقدار آن (درصد وزنی یا حجمی) مشخص می‌شود. این روش تعیین مشخصات، در بسیاری کاربردها متداول است مانند زمانی که از مقدار کم الیاف میکرو برای کنترل ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی پلاستیک استفاده می‌شود. در حالتی که عملکرد الیاف اهمیت داشته باشد، مقاومت فشاری یا خمشی و پارامترهای عملکرد خمشی باید مشخص شود.

پارامترهای عملکرد خمشی شامل مقاومت پسماند پس از ترک، طاق‌ت و متوسط مقاومت پسماند است.

به‌طور معمول افزودن الیاف در مقدار کم تا متوسط نباید به‌طور مشخصی سبب افزایش یا کاهش مقاومت خمشی یا فشاری شود اما می‌تواند کرنش در نیروی نهایی، مقاومت پسماند پس از ترک و طاق‌ت را افزایش دهد. بنابراین مشخص کردن مقاومت فشاری یا خمشی برای تعیین نسبت‌های مخلوط بتن کاربرد خواهد داشت اما نشانگر بهبود در خواصی

⁸ Pavements

⁹ Overlays

¹⁰ Shocrete Linings

¹¹ Ground Coverings

مانند باربری پس از ترک و طاقت که مستقیماً به دلیل افزودن الیاف و بهبود خواصی نظیر افزایش کرنش کششی و مقاومت در برابر ترک خوردگی ایجاد می‌شود نیست.

زمانی که جذب انرژی پس از ترک یا مقاومت در برابر خرابی پس از ترک مهم است، طاقت، نیرو یا مقاومت پس از ترک باید به عنوان الزامات عملکردی بتن تقویت شده با الیاف مشخص شود. این خواص در کاربردهایی نظیر سازه‌هایی که در معرض زلزله یا بارهای انفجاری، بارهای ضربه‌ای، بارهای حفره‌زایی^{۱۲} و دیگر بارهای دینامیکی (نظیر بارهایی که در روسازی‌ها و کف‌های صنعتی اتفاق می‌افتد) قرار دارند مهم است.

اصولاً در پروژه‌های اجرائی، دو معیار عملکرد خمشی بعد از ترک و مقاومت فشاری برحسب نیازهای فنی پروژه، به عنوان معیارهای پذیرش عملکرد بتن‌های الیافی مورد استناد قرار می‌گیرد که در این دستورالعمل بدان پرداخته خواهد شد.

عملکرد بتن الیافی به مقاومت الیاف در برابر آسیب فیزیکی در طول عملیات اختلاط یا پاشش و تخریب شیمیایی الیاف زمانی که در محیط سیمانی با میزان قلپایی بالا قرار می‌گیرند بستگی دارد. مطابق با استاندارد ASTM C1116 و با توجه به ماهیت و ساختار شیمیایی الیاف پلی اولفین، این مواد در محیط‌های قلپایی دارای مقاومت بالایی می‌باشند و اصولاً نیازی به آزمایش مقاومت قلپایی در این الیاف نمی‌باشد. همچنین ممکن است این الیاف در معرض شرایط محیطی نظیر دی اکسید کربن، کلریدها، سولفات‌ها یا اکسیژن باشند. لذا مقاومت الیاف در این شرایط نیز از اهمیت بالایی برخوردار است که الیاف پلی اولفینی در این شرایط محیطی نیز کاملاً مقاوم می‌باشند. روش‌های نامناسب اضافه کردن الیاف به مخلوط سیمانی می‌تواند سبب گلوله شدن الیاف شود. میزان بهبود خواص مکانیکی بتن در اثر افزودن الیاف، وابسته به خصوصیات الیاف، هندسه الیاف و نوع الیاف مورد استفاده در بتن هست.

¹² Cavitation Loading

فصل ۲

آزمون‌ها و ضوابط پذیرش

۲-۱- کلیات

آزمون‌های کنترل کیفیت بتن حاوی الیاف به دو بخش تقسیم شده است. بخش اول مربوط به آزمون‌ها و ضوابط پذیرش در خصوص مشخصات الیاف مورد استفاده در بتن و بخش دوم مربوط به آزمون‌های عملکردی مربوط به بتن تقویت‌شده با الیاف می‌باشد.

۲-۲- الزامات کنترل کیفیت الیاف

۲-۲-۱- طول الیاف و حدود پذیرش

- برای اندازه‌گیری طول الیاف، ۳۰ عدد لیف از ۳ نمونه مختلف هرکدام به میزان ۱۰ عدد به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. طول الیاف در یک نمونه‌گیری به صورت مقدار میانگین طول‌های اندازه گرفته شده با دقت ۰/۱ میلی‌متر گزارش می‌شود.
- متوسط طول الیاف باید در محدوده $\pm 10\%$ طول مشخص شده باشد.
- ۹۵٪ طول الیاف اندازه گرفته‌شده باید در محدوده طول اعلام‌شده توسط تولیدکننده باشد.
- طول مجاز الیاف بریده‌شده ماکرو برای استفاده در بتن الیافی در محدوده ۱۲ تا ۶۵ میلی‌متر می‌باشد.
- طول مجاز برای الیاف میکرو در محدوده ۳ تا ۵۰ میلی‌متر است.
- در خصوص الیاف ترکیبی، طول الیاف بستگی به طراحی دارد اما لازم است حتماً توسط تولیدکننده اعلام شده و حدود رواداری رعایت گردد.

۲-۲-۲- چگالی خطی

- تمامی وسایل اندازه‌گیری باید کالیبره بوده و بازرسی دوره‌ای شوند.
- اندازه‌گیری چگالی خطی الیاف بر اساس روش مستقیم یا روش غیرمستقیم باید بر اساس استاندارد ASTM D1577 یا ASTM D1907 انجام گیرد.
- چگالی خطی مورد پذیرش برای الیاف ماکرو، ۵۸۱ دنیر یا بالاتر می‌باشد.
- چگالی خطی الیاف میکرو باید ۵۸۰ دنیر یا کمتر باشد. در خصوص الیاف هیبریدی، چگالی خطی می‌تواند با توجه به نیاز، طراحی شود.

۲-۲-۳- روش تعیین قطر (معادل)

۲-۲-۳-۱- الیاف با سطح مقطع دایره‌ای

- اگر قطر الیاف کمتر از 0.3 میلی‌متر است اندازه‌گیری قطر باید توسط میکروسکوپ نوری انجام شود.
- اگر قطر الیاف بیش از 0.3 میلی‌متر است قطر الیاف باید توسط میکرومتر با دقت 0.001 میلی‌متر اندازه‌گیری شود.

۲-۲-۳-۲- الیاف با سطح مقطع بیضوی

- اگر سطح مقطع الیاف بیضوی است، قطر معادل به صورت متوسط قطر الیاف در دو جهت گزارش می‌شود.

۲-۲-۳-۳- الیاف با سطح مقطع مستطیلی

- اگر سطح مقطع الیاف مستطیلی است، عرض و ضخامت الیاف، با استفاده از وسیله مناسب اندازه‌گیری شده و قطر معادل بدست می‌آید.

۲-۲-۳-۴- الیاف با سطح مقطع نامنظم

- اگر سطح مقطع الیاف شکل منظم یا قابل اندازه‌گیری نداشته باشد، قطر معادل با استفاده از چگالی خطی بدست می‌آید.

۲-۲-۴- درصد مواد پوششی

- روش‌ها و آزمون‌های مختلفی برای اندازه‌گیری درصد مواد پوششی وجود دارد. برای راستی آزمایی آزمون‌ها باید نتایج دو آزمایشگاه معتبر اخذ شده و باهم مقایسه شوند.
- درصد مواد پوششی به صورت نسبت وزنی اندازه‌گیری می‌شود.
- درصد گزارش شده برای الیاف ماکرو باید حداکثر ۱ درصد برای الیاف میکرو حداکثر ۱/۵٪ باشد.
- درخصوص الیاف ترکیبی، تولیدکننده باید سهم هریک از الیاف ماکرو و میکرو در مخلوط را اعلام نماید در این حالت نیز درصد مواد پوششی برای سهم الیاف میکرو حداکثر ۱/۵ درصد و برای سهم الیاف ماکرو حداکثر ۱ درصد باشد.

۲-۲-۵- آزمون کشش و خواص مقاومتی

- دستگاه آزمون کشش و روش انجام آزمون برای ارزیابی مقاومت کششی الیاف باید مطابق با استاندارد ASTM D2256 و ASTM D3218 باشد.

- نیروسنج مورد استفاده باید با اندازه و مقاومت نمونه الیاف متناسب باشد. ظرفیت نیروسنج باید با مقاومت نمونه متناسب باشد.
- فک‌های دستگاه باید به نحوی انتخاب شوند که از گسیختگی نابجا و لغزش نمونه جلوگیری شود.
- نیروی گسیختگی، سختی در نقطه گسیختگی، تنش در نقطه گسیختگی، ازدیاد طول در نقطه گسیختگی و مدول اولیه الیاف باید بدست آید و میانگین مقادیر و انحراف معیار آن گزارش شود. تنش و مدول الیاف تغییرشکل داده شده نیز باید پیش از تغییرشکل اندازه‌گیری و گزارش شود.
- درخصوص الیاف میکرو، تناسیتی به واحد GPD و در خصوص الیاف ماکرو مقاومت کششی به واحد MPa گزارش شود.
- در خصوص الیاف ترکیبی خواص مکانیکی هر کدام از الیاف باید جداگانه بدست آید. مقاومت کششی الیاف ماکرو باید بیش از ۳۴۵ MPa باشد.

۲-۲-۶- آزمون DSC

- این آزمون برای ارزیابی نقطه ذوب الیاف مورد بررسی قرار می‌گیرد. این خاصیت برای زمانی که بتن در معرض آتش‌سوزی قرار می‌گیرد حائز اهمیت است. شیوه انجام آزمون در استاندارد ASTM D7138 آورده شده است.

۲-۳- الزامات سفارش بتن الیافی

۲-۳-۱- خریدار لازم است اطلاعات زیر را مشخص نماید:

- نوع سیمان موردنیاز
- حداکثر اندازه سنگدانه
- اسلامپ لازم در محل تحویل بتن
- میزان هوا در صورت استفاده از مواد حباب‌ساز در محل تحویل

۲-۳-۲- سه حالت الف، ب و ج برای تعیین نسبت اجزا و اندازه‌گیری خواص و پذیرش بتن الیافی قابل استناد است که در ادامه جزئیات آنها ارائه می‌شود.

۲-۳-۱- حالت الف

در این حالت، خریدار مسئولیت طرح اختلاط را بر عهده دارد و لازم است موارد زیر توسط خریدار تعیین و ارائه شود:

- مقدار سیمان برحسب کیلوگرم در مترمکعب.
- درحالتی که از مواد سیمانی مکمل استفاده می‌شود، بیان مقدار مورد استفاده برحسب کیلوگرم در مترمکعب.
- بیشینه مقدار مجاز آب آزاد برحسب لیتر در مترمکعب.

- اگر مواد افزودنی حباب‌ساز مورد نیاز است، بیان نوع، نام، محدوده مقدار مورد استفاده جهت حصول میزان هوای مشخص شده
- اگر مواد افزودنی شیمیایی مورد نیاز است، بیان نوع، نام، و محدوده میزان مصرف.
- نوع الیاف مورد استفاده (میکرو یا ماکرو) و میزان مصرف آن برحسب کیلوگرم در مترمکعب.
- باید مقدار مصرف مواد افزودنی (حباب ساز، کاهنده آب، تسریع کننده و کندکننده، برای برآورده کردن الزامات عملکردی به صورت یک محدوده مصرف بیان شود.
- الزامات مربوط به کارایی، شکل پذیری، دوام، بافت سطحی و چگالی توسط خریدار در نظر گرفته شود. برای انتخاب نسبت‌هایی که بتن مناسبی را برای انواع مختلف سازه‌ها و شرایط قرارگیری فراهم کند، خریدار باید به مدارک فنی ACI 211.1 و ACI 211.2 و برای انتخاب اجزای بتن و الیاف مناسب برای بتن تقویت شده با الیاف به مدرک ACI 544.3R مراجعه کند. برای راهنمایی بیشتر در مورد انتخاب نسبت‌های بتن پاششی تقویت شده با الیاف، خریدار به مدارک ACI 506.1R و ACI 506R و ACI 506.2R مراجعه کند.
- به درخواست خریدار، فروشنده موظف است پیش از تحویل قطعی بتن، اطلاعات مربوط به چگالی، دانه‌بندی، وزن اشباع با سطح خشک سنگدانه‌های ریز و درشت و میزان آب مورد نیاز برحسب مترمکعب برای بتن مورد نیاز خریدار را ارائه کند.

۲-۳-۲-۲-حالت ب

در این حالت، مسئولیت ارائه طرح اختلاط بر عهده تولیدکننده می‌باشد. همچنین لازم است موارد زیر توسط خریدار تعیین و ارائه شود:

- الزامات مورد نیاز برای عملکرد خمشی بر اساس یکی از استانداردهای ASTM C1399، ASTM C1550 یا ASTM C1609 با استفاده از نمونه‌گیری بتن در محل تخلیه، یا هر زمانی و مکانی که مشخص شده باشد.
- زمانی که الزامات مقاومت خمشی برای اطمینان از کیفیت مخلوط بتن الیافی ناکافی باشد، مقاومت فشاری بر اساس ASTM C39 نیز باید توسط خریدار مشخص شود.
- عمل‌آوری نمونه‌ها باید در شرایط مرطوب مطابق استاندارد ASTM C31 به مدت ۲۸ روز انجام شود. در صورتی که نیاز به شرایط تسریع شده با آب گرم یا آب جوش باشد، عمل‌آوری باید مطابق استاندارد ASTM C684 انجام شود.
- خریدار باید ضمن اعلام مقاومت خمشی مورد نیاز، پارامترهای مؤثر در مقاومت فشاری بتن عادی نظیر نسبت آب به سیمان، بیشینه اندازه سنگدانه، وجود مواد شیمیایی یا مواد جایگزین سیمان را نیز مشخص کند.
- تولیدکننده باید پیش از تحویل قطعی بتن، منبع تأمین، چگالی نسبی، دانه‌بندی، وزن اشباع با سطح خشک سنگدانه‌های ریز و درشت، وزن خشک سیمان و مواد جایگزین سیمان، نوع، ابعاد و وزن الیاف، مقدار، نوع و نام

- حداقل میزان مصرف سیمان به کیلوگرم بر حسب مترمکعب.
- در صورت استفاده از مواد افزودنی، نوع، نام و میزان مصرف باید ارائه شود. میزان مصرف سیمان در صورت استفاده از مواد افزودنی نباید کاهش یابد.
- به درخواست خریدار، تولیدکننده باید پیش از تحویل قطعی بتن، منبع، چگالی نسبی، دانه‌بندی، وزن اشباع با سطح خشک سنگدانه‌های ریز و درشت، وزن خشک سیمان و مواد جایگزین سیمان، نوع، ابعاد و وزن الیاف، مقدار، نوع و نام مواد شیمیایی و حباب ساز (در صورت استفاده) و میزان آب به مترمکعب را برای بتن مورد نیاز خریدار ارائه کند.
- الزامات مورد نیاز برای تعیین عملکرد خمشی بر اساس یکی از استانداردهای ASTM C1399، ASTM C1550 یا ASTM C1609 با استفاده از نمونه‌گیری بتن در محل تخلیه، یا هر زمانی و مکانی که مشخص شده باشد.
- در صورتی که الزامات خمشی برای اطمینان از کیفیت بتن تقویت‌شده با الیاف، ناکافی تشخیص داده شود، مقاومت فشاری مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۸ باید بنا به درخواست خریدار مشخص شود.
- عمل‌آوری نمونه‌ها باید در شرایط مرطوب مطابق استاندارد ASTM C31 به مدت ۲۸ روز انجام شود.
- در صورتی که نیاز به شرایط تسریع شده با آب گرم یا آب جوش باشد، عمل‌آوری باید مطابق استاندارد ASTM C684 انجام شود.
- باید تولیدکننده شواهد و مدارک معتبر مبنی بر کیفیت مناسب بتن الیافی با توجه به مواد، نسبت اختلاط و روش‌های تولید را به خریدار ارائه نماید.

۲-۴- مواد، مصالح و الزامات ساخت

- الیاف مورد استفاده در ساخت بتن باید علاوه بر الزامات این دستورالعمل برای کیفیت الیاف، الزامات لازم برای تامین کیفیت بتن الیافی مندرج در این دستورالعمل را نیز برآورده کنند.
- مواد مورد استفاده در ساخت بتن الیافی باید الزامات ASTM C94 را رعایت کنند. مواد به کاررفته برای ساخت بتن پاششی باید الزامات استاندارد ملی شماره ۱۲۸۲۰ را برآورده کنند.
- الیاف می‌توانند به صورت وزنی یا حجمی با دقت ۳- درصد تا ۵+ درصد استفاده شوند.
- درصد وزنی الیاف برای زمانی است که از الزامات ASTM C94 و درصد حجمی برای زمانی است که از الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۳ استفاده می‌شود.
- زمانی که الیاف به صورت وزنی مورد استفاده قرار می‌گیرند باید وزن الیاف به‌طور واضح روی کیسه درج شده باشد و کیسه محتوی الیاف به خوبی آب‌بندی و درز بندی شده باشد. اگر به هر دلیلی کیسه از حالت آب بندی خارج شده باشد و یا از پروژة قبلی باقی مانده باشد باید مجدداً وزن شود.
- مواد پیش بسته بندی شده، خشک یا مخلوط شده شامل الیاف باید الزامات بسته‌بندی ASTM C387 یا ASTM C1480 را برآورده کرده و پس از مخلوط شدن با آب، بتن الیافی حاصله الزامات این دستورالعمل را برآورده نماید.
- نحوه اختلاط، شرایط مخلوط کن یا همزن و بتن تولید شده باید مطابق با الزامات ASTM C94 یا الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۳ باشد.
- به منظور جداسازی الیاف و اجتناب از تجمع الیاف پیش از اختلاط با بتن می‌توان از یک صفحه مرتعش یا هر وسیله دیگر برای جداسازی الیاف استفاده نمود.
- مخلوط کن یا همزن برای ساخت بتن الیافی باید مطابق با الزامات ASTM C94 باشد. مخلوط کن یا همزن برای تولید پیوسته بتن الیافی باید با تمهیدات استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۳ مطابقت داشته باشد.
- بتن الیافی در زمان تحویل باید عاری از الیاف گلوله شده باشد.

۲-۵- آزمون‌های بتن الیافی در حالت تازه

۲-۵-۱- آزمون کارایی

- اسلامپ بتن الیافی باید مطابق با استاندارد ASTM C143 اندازه‌گیری شود. این آزمون به عنوان آزمون کنترلی در محل کارگاه برای اطمینان از دستیابی به کارایی مورد نیاز باید انجام شود.

- مقدار اسلامپ بتن الیافی به‌طور معمول باید حداقل ۱۰ میلی‌متر باشد اما نباید از ۱۵۰ میلی‌متر بیشتر شود. این محدوده برای بتن آماده اسلامپ‌دار می‌باشد.
- اگر میزان اسلامپ در کارگاه خارج از محدوده این دستورالعمل باشد لازم است بلافاصله بخش دیگری از همان نمونه بتن تهیه شود و دو آزمون مذکور مجدداً تکرار شوند. اگر در حالت دوم نیز نتایج خارج از محدوده باشد، نشان دهنده آن است که بتن ساخته شده الزامات این دستورالعمل را برآورده نمی‌کند.
- اسلامپ بتن الیافی از اسلامپ بتن مشابه بدون الیاف کمتر است. میزان این اختلاف به نوع و میزان الیاف بستگی دارد لذا توصیه می‌شود با توجه به نوع و میزان الیاف مورد استفاده، مخلوط‌های آزمایشی تهیه شده تا از حصول اسلامپ مورد نظر پروژه اطمینان حاصل شود.
- رواداری مجاز اسلامپ: زمانی که در پروژه مشخص شده باشد بیشینه مقدار اسلامپ یا مقدار اسلامپ از این حد تجاوز نکند مقدار مجاز رواداری به قرار زیر است:

جدول ۲-۱- رواداری مجاز اسلامپ زمانی که در پروژه، اسلامپ مشخص شده باشد

اسلامپ مشخص شده		
اگر ۷۵ میلی‌متر باشد	اگر ۷۵ میلی‌متر و کمتر باشد	
-	-	بیشینه مجاز قابل قبول
۶۵ میلی‌متر	۴۰ میلی‌متر	کمینه مجاز قابل قبول

- این رواداری‌ها تنها در صورتی اعمال می‌شود که اضافه کردن آب بیش از مقدار مجاز، سبب افزایش نسبت آب به سیمان بیش از حداکثر مجاز تعیین شده در مشخصات پروژه نشود.

جدول ۲-۲- رواداری مجاز اسلامپ زمانی که در پروژه بیشینه مقدار اسلامپ مشخص نشده باشد

رواداری اسلامپ	
محدوده مورد پذیرش (میلی متر)	برای اسلامپ
± ۱۵	۵۰ میلی‌متر و کمتر
± ۲۵	۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر
± ۴۰	بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر

- بتن الیافی باید تا حدود ۳۰ دقیقه بعد از زمان تحویل بتن در محل پروژه یا پس از تنظیم اسلامپ مجاز، هر کدام دیرتر است، در محدوده اسلامپ تعیین شده باشد. یک چهارم مترمکعب ابتدایی و یک چهارم مترمکعب انتهایی بتن تحویل شده نیازی به برآورده کردن این الزام ندارد.
- اگر استفاده‌کننده برای تحویل بتن در محل پروژه آمادگی نداشته باشد، تولیدکننده تعهدی در قبال برآورده کردن حد مجاز اسلامپ پس از ۳۰ دقیقه ندارد.
- در ساخت قطعات پیش‌ساخته در کارخانه‌ها، ممکن است از بتن‌هایی با اسلامپ کمتر استفاده شود. در این حالت آزمون وی بی کاربرد خواهد داشت و نتیجه آن از ۳ ثانیه تا ۳۲ ثانیه برای وی بی اصلاح شده با وزنه کم توصیه می‌شود. هرچند ممکن است بتن‌هایی با کارایی کمتر نیز برای ساخت قطعات پرسی خشک به کار رود.
- در آزمون وی بی، رفتار بتن تحت ویبره خارجی اندازه‌گیری شده و برای اندازه‌گیری کارایی بتن الیافی که با استفاده از ویبره قالب‌گیری می‌شود قابل پذیرش است. این آزمون به خوبی قابلیت تحرک بتن الیافی که بیانگر توانایی جاری شدن بتن تحت ویبره است را مشخص کرده و هوای محبوس را کاهش می‌دهد. آزمون وی بی برای اندازه‌گیری روانی بتن‌های آماده در محل کاربردی ندارد و صرفاً در کارخانه‌های قطعات پیش‌ساخته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه در این خصوص رواداری خاصی ارائه نشده است، عموماً به دلیل اندازه و وزن تجهیزات، از آزمون اسلامپ استفاده می‌شود.

۲-۵-۲- آزمون مقدار هوا

- میزان هوا باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۲۳ یا ASTM C231 در زمان قالب‌گیری و هر زمان که لازم باشد اندازه‌گیری شود.
- محدوده قابل پذیرش مقدار هوا- زمانی که لازم است از مواد حباب ساز استفاده شود، مقدار حدود قابل پذیرش مقدار هوا ۲۰ درصد مقدار هوای مشخص شده می‌باشد.

۲-۶- آماده‌سازی نمونه

- برای آماده‌سازی نمونه‌های بتن الیافی باید از ویبره خارجی استفاده کرد. ویبره داخلی مطلوب نیست و میله زدن قابل قبول نیست چراکه این روش‌های متراکم سازی ممکن است سبب آرایش یافتگی ترجیحی الیاف و توزیع نامناسب آن‌ها شود.
- اگرچه ویبره خارجی نیز می‌تواند روی جهت‌گیری الیاف تأثیر بگذارد، اما تأثیر آن روی مقدار آرایش‌یافتگی الیاف در طول زمان کوتاه ویبره برای متراکم سازی نمونه آزمایشی قابل چشم‌پوشی است.
- روش ویبره، فرکانس آن، بزرگی و زمان ویبراسیون باید گزارش شود.
- در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی، ریختن و تراکم در یک لایه انجام می‌شود.

۷-۲- آزمون‌های بتن الیافی در حالت سخت شده

۷-۲-۱- مقاومت فشاری

- زمانی که مقاومت فشاری به عنوان بخشی از الزامات پذیرش بتن تقویت شده با الیاف مورد استفاده قرار می‌گیرد، حداقل دو آزمون مطابق با الزامات استانداردهای ASTM C31، یا استانداردهای ASTM C42 یا ASTM C1604 تهیه و مطابق با روش آزمون استاندارد ملی ایران به شماره ۶۰۴۸ مورد آزمون قرار گیرد. پذیرش نمونه نباید صرفاً بر اساس مقاومت فشاری به تنهایی باشد.
- تجهیزات و شیوه اندازه‌گیری مقاومت فشاری برای بتن معمولی می‌تواند برای بتن الیافی نیز استفاده شود.
- برای طرح مخلوط سه آزمون در سن مقرر و برای کارگاه دو آزمون در سن مقرر لازم است اندازه‌گیری شود.
- ابعاد استوانه‌ها باید 150×300 میلی‌متر بوده و باید با استفاده از ویبره خارجی یا ویبره داخلی به قطر ۲۵ میلی‌متر تهیه شود.
- ویبره خارجی نسبت به ویبره داخلی به دلیل تأثیر منفی ویبره داخلی بر جهت‌گیری و توزیع الیاف ارجحیت دارد.
- حضور الیاف حالت شکست نمونه استوانه بتنی را با کاهش تردی آن تغییر می‌دهد و مقاومت پس از ترک به دلیل افزایش شکل‌پذیری قابل مشاهده است.
- الیاف معمولاً روی مقاومت فشاری تأثیر کمی دارند و مقدار آن را کمی کاهش یا افزایش می‌دهند.
- نمونه‌های مکعبی نیز ممکن است برای تعیین مقاومت فشاری مورد استفاده قرار گیرد. اما ارتباط بین مقاومت فشاری در حالت استوانه‌ای و مکعبی برای بتن الیافی بدست نیامده است.

۷-۲-۲- رفتار خمشی

- در بررسی رفتار خمشی بتن الیافی باید به این نکته توجه داشت که در برخی کاربردها مقاومت خمشی و در برخی دیگر، عملکرد خمشی بتن الیافی اهمیت دارد.
- مقاومت خمشی متناظر با بیشینه نیرویی است که قطعه بتنی می‌تواند تحمل کند اما عملکرد خمشی مجموعه‌ای از نیروی اولین ترک، رفتار پس از ترک، مقاومت خمشی پسماند، طاقت و شکل‌پذیری است که با توجه به نیاز طراح باید مشخص شود.
- زمانی که عملکرد خمشی پس از اولین ترک، مبنای پذیرش بتن تقویت شده با الیاف است، آزمون لازم است مطابق روش مشخص شده در استاندارد ASTM C1399، ASTM C1550 یا ASTM C1609 انجام شود.

- زمانی که مقاومت خمشی مبنای پذیرش باشد، حداقل سه نمونه مطابق با الزامات استاندارد ASTM C1609 انجام شود. نمونه‌های آزمایشی با عرض کم (مطابق تعریف استاندارد C1609) یا نمونه‌های بتن پاششی با هر ضخامتی باید مطابق قالب‌گیری و بدون چرخش لبه‌های آن‌ها آزمون شوند.
- پذیرش نمونه‌ها در حالتی که رفتار پس از ترک نمونه‌ها مهم است نباید تنها بر اساس مقاومت خمشی انجام شود.
- روش آزمون ASTM C1609 برای اندازه‌گیری مقاومت خمشی اولین ترک زمانی که این پارامتر توسط خریدار مشخص می‌شود، می‌باشد. در بسیاری مخلوط‌های بتن الیافی، مقاومت خمشی اولین ترک تفاوت بسیار محسوسی نسبت به مقاومت خمشی نهایی ندارد.

۲-۷-۳- طاق

طاق میزان ظرفیت جذب انرژی یک ماده است و برای مشخص کردن توانایی ماده برای مقاومت در برابر گسیختگی، زمانی که در معرض کرنش‌های استاتیکی یا بارهای دینامیکی یا ضربه قرار می‌گیرد به کار می‌رود. به دلیل مشکلات انجام آزمون‌های کشش مستقیم روی بتن الیافی، اندازه‌گیری طاق به این روش انجام نمی‌شود. آزمون خمش برای اندازه‌گیری طاق ساده‌تر است. آزمون خمش شرایط بارگذاری را برای بسیاری از کاربردهای بتن الیافی شبیه‌سازی می‌کند.

۲-۷-۴- تواتر آزمون‌ها

تعداد نمونه‌برداری از بتن تقویت‌شده با الیاف در حالت سخت شده باید مطابق با الزامات زیر باشد:

- اختلاط ناپیوسته- از هر ۱۱۵ مترمکعب بتن باید حداقل یک نوبت نمونه‌برداری جهت آزمون‌های موردنظر انجام شود. هر آزمون باید روی یک مخلوط مجزا انجام شود. در هر روزی که مخلوط بتن الیافی تهیه می‌شود، حداقل یک آزمون روی هر رده بتن انجام شود.
- اختلاط پیوسته- آزمون‌ها باید برای هر ۱۹ مترمکعب یا هر کسری از آن و یا هنگامی که تغییرات مهمی در نسبت‌های کنترلی داده می‌شود، انجام شود در هر روز که مخلوط بتن الیافی تهیه می‌شود، حداقل باید یک آزمون روی هر رده بتن انجام شود.
- بتن پاششی- آزمون‌ها باید هر ۳۸ مترمکعب از بتن ریخته شده، با استفاده از آزمون‌هایی که از سازه یا از پنل‌های آزمون تهیه شده طبق استاندارد ASTM C1140 مغزه‌گیری یا برش داده شده‌اند، انجام شود.
- در هر روز که بتن الیافی پاششی تهیه می‌شود، حداقل باید یک آزمون روی هر رده بتن انجام شود.

۲-۸- الزامات پذیرش الیاف و بتن الیافی

۲-۸-۱- الزامات پذیرش الیاف

- در جدول (۲-۳) مشخصات فنی الیاف، الزامات و روش نمونه‌برداری برای تعیین کیفیت الیاف ارائه شده است.

جدول ۲-۳- آزمون‌ها و الزامات پذیرش برای الیاف

ردیف	مشخصات	حدود پذیرش			تعداد آزمون
		اعلام شده	هر کدام از الیاف با مقدار متوسط	مقدار متوسط با مقدار اعلام شده	
۱	طول الیاف	$> 30 \text{ mm}$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$ اختلاف با متوسط	۳۰
		$\leq 30 \text{ mm}$	$\pm 10\%$	± 1.5 میلی‌متر	
۲	چگالی خطی	tex or den	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$ اختلاف با متوسط	۳۰
۳	قطر معادل	$> 0.3 \text{ میلی‌متر}$	$\pm 50\%$	$\pm 5\%$	۳۰
		$\leq 0.3 \text{ میلی‌متر}$	-	-	-
۴	نسبت طول به قطر	--	$\pm 50\%$	$\pm 10\%$	۳۰
۵	مقاومت کششی	$\geq 345 \text{ MPa}$	$\pm 15\%$	$\pm 7.5\%$	۳۰
۶	مدول اولیه	اعلام توسط تولیدکننده	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$	۳۰
۷	نقطه ذوب و نقطه اشتعال DSC	در گزارش اعلام می‌شود			۳
۹	درصد مواد پوششی	الیاف میکرو	$\leq 1.5\%$	تشابه نتایج دو آزمایشگاه مرجع	
		الیاف ماکرو	$\leq 1\%$		

۲-۸-۲- الزامات پذیرش بتن الیافی

در حالات سفارش (ب) یا (ج) الزامات زیر باید رعایت شود مگر زمانی که توسط خریدار مشخص شده باشد:

- نتایج آزمون عملکرد خمشی پس از ترک که مطابق با استانداردهای ASTM C1399، ASTM C1550 یا ASTM C1609 انجام می‌شود باید در سن مشخص شده برابر یا بیشتر از مقادیر مورد نیاز باشد.
- الزام عملکرد خمشی پس از ترک زمانی که الیاف تنها برای کنترل ترک و جمع شدگی پلاستیک استفاده می‌شوند نباید در قضاوت رد یا قبول تعیین کننده باشد.
- زمانی که حداکثر مقاومت خمشی یا مقاومت خمشی اولین ترک مطابق استاندارد ASTM C1609 یا مقاومت فشاری مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۶۰۴۸ الزامات عملکردی هستند، نتایج آزمون‌ها در سن مقرر باید برابر یا بیشتر از مقدار مشخص شده باشد.
- زمانی که بتن تقویت شده با الیاف در معرض چرخه‌های یخ زدن و آب شدن قرار دارد، و خریدار به شواهدی دال بر دوام بتن نیازمند است، تولیدکننده باید این شواهد را برای ایشان فراهم کند. مدرک معتبر مبنی بر دوام بتن الیافی زمانی است که تولیدکننده بتواند شواهدی دال بر دوام بتنی با و بدون الیاف با استفاده از میزان هوا، سنگدانه و نسبت‌های مخلوط مشابه مطابق با بتن الیافی مشخص شده در پروژه ارائه کند که حداقل دو زمستان را با موفقیت گذرانده باشد. در غیر این صورت آزمون دوام بتن الیافی باید مطابق با روش A استاندارد ASTM C666 انجام شده و متوسط فاکتور دوام برای حداقل سه آزمون برابر ۸۰ درصد باشد.
- برای ارزیابی پذیرش بتن الیافی، بتن مرجع بر اساس جدول ۲-۴ می‌باشد.

جدول ۲-۴- مشخصات بتن مرجع

محدوده مقاومت خمشی (MPa)	حداقل مقاومت فشاری (MPa)	نسبت آب به سیمان*	عیار مواد سیمانی (Kg/m ³)
۴±۰/۵	۲۰	۰/۵۵	۳۵۰
۵±۰/۵	۳۰	۰/۴۵	۴۰۰

* برای حداکثر اندازه سنگدانه ۱۹ میلی‌متر در نظر گرفته شده است.

- در جدول (۲-۵) و (۲-۶) به ترتیب خلاصه مشخصات فنی و دامنه تغییرات مجاز برای خواص مکانیکی و دوام بتن الیافی ارائه شده است.

جدول ۲-۵- الزامات پذیرش و خواص مکانیکی

نوع سفارش	شرح حالت سفارش	مشخصات	استاندارد آزمون	کاهش مجاز مشخصات نسبت به بتن مرجع (%)	تعداد آزمون
حالت الف	خریدار مسئولیت طرح اختلاط را برعهده دارد.	میانگین مقاومت گسیختگی (خمشی)	روش آزمون و الزامات پذیرش توسط خریدار ارائه می شود. روش آزمون و الزامات خریدار نباید منجر به خروج از الزامات متن این استاندارد شود.	-	-
		میانگین ظرفیت خمشی پسماند			
		فاکتور طاقت			
		مقاومت فشاری			
حالت ب و ج	در این حالت مسئولیت طرح اختلاط بر عهده تولید کننده است.	میانگین ظرفیت خمشی پسماند	ASTM C1609 ASTM C1399	صفر	۲
		فاکتور طاقت	ASTM C1609	صفر	
		مقاومت فشاری	استاندارد ۶۰۴۸ ملی ایران	۱۰	۳
حالت ج	در این حالت خریدار، تولید کننده را ملزم به پذیرش در قبال طرح اختلاط با حداقل مقدار مجاز مصرف سیمان می کند.	میانگین ظرفیت خمشی پسماند	ASTM C1609 ASTM C1399	صفر	۲
		فاکتور طاقت	ASTM C1609	صفر	
		مقاومت فشاری	استاندارد ۶۰۴۸ ملی ایران	۱۰	۳

جدول ۲-۶- الزامات پذیرش و خواص عملکردی دوام +

ردیف	مشخصات	استاندارد آزمون	تغییرات مجاز مشخصات نسبت به بتن مرجع (%)	تعداد آزمون
۱	میانگین نفوذ آب تحت فشار	استاندارد ۵-۳۲۰۱ ملی ایران	+۲۰	۳
۲	میانگین جذب آب نیم ساعته	استاندارد ۱۲۲-۱۶۰۸ ملی ایران	+۲۰	۳
۳	میانگین جذب آب بلند مدت	استاندارد ۱۲۲-۱۶۰۸ ملی ایران	+۲۰	۳
۴	نفوذ تسریع شده یون کلر (RCPT)	ASTM C642	+۱۵	۳
۵	مهاجرت تسریع شده یون کلر (RCMT)	استاندارد ۲۰۷۹۳ ملی ایران	+۱۵	۳
۶	مقاومت الکتریکی	ASSHTO TP95-14	-۱۵	۳
۷	مقاومت سایشی	EN 1338	صفر	۳
۸	جمع شدگی ناشی از خشک شدگی	ASTM C596	-۱۰	۳
۹	جمع شدگی مقید	ASTM C1581	-۱۰	۳
۱۰	چرخه‌های یخ زدن و آب شدن	روش A استاندارد ASTM C666	-۲۰	۳
۱۱	طبقه بندی واکنش در برابر آتش	ISO1182	این آزمون یک بار باید برای طبقه‌بندی محصول در برابر آتش براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۲۹۹ انجام شود.	

• + متناسب با کاربرد بتن الیافی و ادعای تولید کننده و شرایط محیطی، یک یا چند مشخصه فوق باید کنترل گردد.

منابع و مراجع

منابع و مراجع

– استانداردهای الیاف (ASTM)

- ASTM D7508/D7508M-10: Standard Specification for Polyolefin Chopped Strands for Use in Concrete
- ASTM D2256 Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method
- ASTM D3218 Specification for Polyolefin Monofilaments
- ASTM D2256 Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method
- ASTM D3218 Specification for Polyolefin Monofilaments
- ASTM D7138 Test Method to Determine Melting Temperature of Synthetic Fibers
- ASTM D1577 Test Methods for Linear Density of Textile Fibers
- ASTM D1907 Test Method for Linear Density of Yarn (Yarn Number) by the Skein Method

– استانداردهای بتن و مصالح (BS - ASTM- INSO)

- ASTM C31 / C31M - 19a; Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
- ASTM C39/C39M-18; Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C42 / C42M – 20; Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- ASTM C94 / C94M – 20; Standard Specification for Ready-Mixed Concrete
- ASTM C78 / C78M - 18 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).
- ASTM C143 / C143M – 20; Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete
- ASTM C231 / C231M - 17a; Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
- ASTM C387 / C387M – 17; Standard Specification for Packaged, Dry, Combined Materials for Concrete and High Strength Mortar
- ASTM C596 – 18; Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.
- ASTM C642 – 13; Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- ASTM C684; Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens
- ASTM C666 / C666M – 15; Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- ASTM C1018/97; Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With

- ASTM C1116/C1116M-10a; Specification for Fiber-Reinforced Concrete
- ASTM C1140 / C1140M; Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Shotcrete Test Panels
- ASTM C1399/C1399M-10; Standard Test Method for Obtaining Average Residual-Strength of Fiber-Reinforced Concrete
- ASTM C1480/C1480M ; Standard Specification for Packaged, Pre-Blended, Dry, Combined Materials for Use in Wet or Dry Shotcrete Application
- ASTM C1550-12a; Standard Test Method for Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete (Using Centrally Loaded Round Panel)
- ASTM C1581 / C1581M - 18a; Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage
- ASTM C1609/C1609M-19; Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)
- BS EN 12390-4; Testing hardened concrete. Compressive strength. Specification for testing machines
- BS 1881-122:2011; Testing concrete. Method for determination of water absorption
- AASHTO TP 95 (2014); Standard method of test for surface resistivity indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration
- BS EN 1338:2003; Concrete paving blocks. Requirements and test methods.
- ISO 1182:2010, Reaction to fire tests for products — Non-combustibility test.

- استاندارد ملی ایران، ۵-۳۲۰۱-آزمون بتن-قسمت ۵: چگالی و عمق نفوذ آب، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۷.
- استاندارد ملی ایران، ۲۰۷۹۳، بتن-مقاومت بتن در برابر نفوذ یون کلراید با روش الکتریکی -روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۴.
- استاندارد ملی ایران، ۱-۸۲۹۹، فرآورده ها و اجزای ساختمانی - قسمت ۱- طبقه‌بندی واکنش در برابر آتش، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵.
- استاندارد ملی ایران، ۱۶۰۸-۱۲۲، بتن سخت شده - قسمت ۱۲۲- تعیین جذب آب بتن، روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۶.
- استاندارد ملی ایران، ۶۰۴۸، بتن، تعیین مقاومت فشاری آزمون‌های استوانه‌ای، روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵.
- استاندارد ملی ایران ۳۸۲۳، بتن آماده، اندازه گیری هوای بتن به روش حجمی، روش آزمون، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۵.

- ACI 544.1R: Report on Fiber Reinforced Concrete
- ACI 544.2R: Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete
- ACI 544.3R: Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete
- ACI 544.5R: Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete
- ACI 544.7R: Report on Design and Construction of of Fiber-Reinforced Precast Concrete Tunnel Segments
- ACI 544.8R: Report on Indirect method to Obtain Stress-Strain Response of Fiber-Reinforced Concrete
- ACI 544.9R: Report on Measuring Mechanical Properties of hardened Fiber-Reinforced Concrete

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization

Guideline for Concrete Containing Poly Olefin Fibers

No.120-4

Last Edition: 13-09-2021

Deputy of Technical, Infrastructure and Production
Affairs

Ministry of Road & Urban Development

Department of Technical & Executive affairs,
Consultants and Contractors

Road, Housing & Urban Development
Research Center (BHRC)

nezamfanni.ir

www.bhrc.ac.ir

2021

این ضابطه

با عنوان «دستورالعمل کنترل کیفی بتن حاوی الیاف پلی‌اولفین» که به ارائه مشخصات فنی الیاف جهت استفاده در بتن می‌پردازد در دو فصل تدوین شده که شامل: کلیات و آزمون‌ها و ضوابط پذیرش الیاف و بتن حاوی الیاف پلی‌اولفین می‌باشد.

