

بررسی تأثیر مقدار الیاف و رده مقاومت بر مشخصات مکانیکی بتن با الیاف فولادی

مهراوه رخشانی مهر*

استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه الزهراء

حسین بخشی

استادیار گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

در پژوهش حاضر با انجام یک سری کارهای آزمایشگاهی، تأثیر میزان الیاف فولادی بکار رفته در بتن‌هایی با رده مقاومتی مختلف بر مؤلفه‌های رفتار بتن از حیث جنبه‌های مختلف مقاومت آن بررسی می‌شود. طرح اختلاط نمونه‌ها برای دست‌یابی به سه رده مقاومتی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ مگاپاسکال تنظیم می‌شود. پارامترهای مقاومتی که برای شناسایی رفتار بتن انتخاب می‌شود؛ شامل مقاومت کششی، مقاومت ضربه‌ای، مقاومت فشاری و مقاومت خمشی می‌باشد. نمونه‌ها همچنین در هر رده مقاومتی با چهار مقدار بدون الیاف، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ کیلوگرم الیاف در مترمکعب ساخته می‌شود. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که استفاده از الیاف فولادی مقاومت ضربه‌ای، زمان ظهور اولین ترک و مقاومت نهایی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. همچنین افزودن این نوع الیاف مقاومت کششی و خمشی را به خوبی افزایش داده اما تأثیر چندانی بر مقاومت فشاری بتن ندارد.

واژه‌های کلیدی: مشخصات مکانیکی، بتن الیافی، الیاف فولادی، چقرمگی، رده مقاومتی.

* نویسنده مسئول: rakhsh_77@yahoo.com

۱- مقدمه

طول ۱۰۰ میلی متر و قطر ۱۰ میلی متر که به الیاف فولادی مورد استفاده در بتن امروزی بسیار شبیه بود استفاده کرد و نتیجه گرفت که مقاومت‌های فشاری، کششی و برشی افزایش می‌یابد [۴]. از اوایل دهه ۱۹۶۰ تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه بتن مسلح به الیاف فولادی صورت گرفته است. اولین تلاش جدی برای مسلح کردن بتن به وسیله جاگذاری الیاف فولادی توسط Baston و Ramualdi در اوایل دهه ۱۹۶۰ در کشور آمریکا صورت گرفت. بعد از آن، تحقیقات و کاربردهای صنعتی بسیار زیادی درباره بتن مسلح با الیاف فولادی انجام گرفته است [۵]. L A Qureshi و همکاران خواص بتن با مقاومت بالا را با افزودن الیاف فولادی بررسی کردند. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش الیاف فولادی، مقاومت کششی به صورت خطی افزایش می‌یابد و سرعت افزایش در ۷ روز اول بیشتر می‌باشد [۶]. M N Hadi آزمایشی را جهت مقایسه رفتار دال بتنی مسلح با استفاده از الیاف فولادی و پلی پروپیلن انجام داد. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که افزایش یک درصد حجمی الیاف فولادی بهترین تأثیر را در شکل پذیری دال‌ها دارد [۷].

بررسی نتایج تحقیق Gupta و Dhang ، Nataraja در سال ۲۰۰۵ نشان می‌دهد که با کاربرد ۵/۵ درصد حجمی الیاف فولادی موج دار مقاومت ضربه‌ای اولین ترک و مقاومت ضربه‌ای نهایی بتن معمولی به ترتیب ۱/۵ برابر و ۱/۸ برابر می‌شود [۸]. همچنین بررسی نتایج تحقیق Song و همکاران در سال ۱۹۹۹ نشان می‌دهد با کاربرد یک درصد حجمی الیاف فولادی قلاب دار مقاومت ضربه‌ای اولین ترک و مقاومت ضربه‌ای نهایی بتن با مقاومت بالا به ترتیب ۳/۹ برابر و ۲/۴ برابر می‌شود [۹].

۱-۲- ساخت بتن الیافی

معمولاً بتن مسلح به الیاف فولادی همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط‌های بتن مسلح به الیاف فولادی اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با وجود این، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداشدگی یا پدیده گلوله‌ای شدن^۲ و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید [۲].

ایده اضافه کردن الیاف به مخلوط‌های ترد و شکننده که توان کششی ناچیزی دارند؛ از زمان‌های قدیم وجود داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تفکر استفاده از الیاف از روزگاران باستان وجود داشته است. مصریان قدیم از کاه برای مسلح کردن آجرهای گلی استفاده می‌کردند. علاوه بر این از الیاف پنبه نسوز و موی اسب نیز برای تسلیح استفاده می‌شده است [۱].

امروزه در دنیا انواع بسیار متنوعی از الیاف برای کاربردهای گوناگون در بتن وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آن‌ها، الیاف فولادی می‌باشد. الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده که با توجه به قابلیت شکل پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع الیاف به حساب می‌آید. این نوع الیاف به اشکال ظاهری گوناگون (مستقیم، انتهای قلاب دار، دندانه دار و...) جهت بهبود رفتار بتن ساخته می‌شود. همچنین اختلاط آن‌ها با دیگر مواد بتن به سهولت انجام می‌پذیرد [۲]. این مزیت‌ها سبب می‌شود که الیاف فولادی بیشترین کاربرد را نسبت به سایر الیاف داشته باشند. از جمله کاربردهای این الیاف را می‌توان در ساخت سازه‌های تحت ضربه و انفجار، باندهای فرودگاه‌ها، کف سالن‌های صنعتی، لوله‌ها و پوسته‌های نازک، تونل‌ها، کف‌سازی خیابان‌ها، قسمت‌هایی که در معرض تغییرات بالای دما و حتی در دماهای بسیار بالا هستند اشاره کرد. با توجه به مزایای ویژه و کاربردهای وسیع بتن مسلح به الیاف فولادی جا دارد، ضمن شناخت بیشتر این تکنولوژی اقدامات لازم برای به کارگیری عملی آن صورت گیرد.

در سال ۱۸۴۷، Joseph Lambot پیشنهاد کرد که با اضافه کردن الیاف پیوسته به شکل سیم به بتن یک ماده ساختمانی جدیدی می‌توان تولید کرد [۳]. در سال ۱۹۱۰ یک سری آزمایشات برای مقاومت بتن به وسیله الیاف کوتاه توسط Porter انجام شد. او با اضافه کردن گل میخ^۱ افزایش مقاومت کششی و خردشدگی بتن را بدست آورد. در سال‌های بعد از ۱۹۱۰ ساخت المان‌های کامپوزیت شامل سیمان و پنبه نسوز توسط Lhatshelev توسعه یافت. در سال ۱۹۳۹ Zitkevic یک روش برای بهبود رفتار بتن مسلح یافت. او از الیاف سیم آهنی تقریباً به

^۱ nail^۲ Balling

تکراری تا رسیدن به سطوح مشخص از ترک خوردگی (اولین ترک خوردگی و گسیختگی پایانی) ادامه می‌یابد [۱۲]. در این تحقیق، از این روش برای بررسی مقاومت ضربه‌ای بتن و تأثیر الیاف فولادی در میزان بهبود عملکرد آن تحت این نوع بارگذاری استفاده شده است.



شکل ۱- وزنه افتان با ضربات تکرار شونده



شکل ۲- بتن در حالت گسیختگی نهایی



شکل ۳- پیدایش اولین ترک در بتن

الیاف به خاطر آسانی پخش باید به صورت خشک وارد مخلوط شوند. مشکل گلوله‌ای شدن اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد الیاف (بیش از ۲ درصد حجمی یا حتی ۱ درصد حجمی با نسبت طول به قطر بالا) و یا اضافه کردن خیلی سریع الیاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد به وجود می‌آید [۱۰]. در این پدیده الیاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارایی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌گردد [۲].

۲- برنامه آزمایش و روش تحقیق

تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر میزان الیاف و رده مقاومتی بتن بر پارامترهای مقاومتی بتن با الیاف فولادی به انجام آزمایش‌هایی بر روی این بتن در مقادیر مختلف الیاف با رده‌های مقاومتی مختلف می‌پردازد. در ادامه به شرح هر کدام از مؤلفه‌های مقاومتی و رفتار بررسی شده در این تحقیق پرداخته می‌شود.

۱-۲- آزمایش مقاومت ضربه‌ای

آزمایش تعیین مقاومت ضربه‌ای بتن ۲۸ روزه مسلح به الیاف فولادی مطابق با روش Drop-weight test (آزمایش وزنه افتان) روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد $150 \times 150 \times 150$ میلی‌متر در سه رده مقاومتی انجام می‌شود. طرح اختلاط بتن‌های ساخته شده جهت دستیابی به سه رده مقاومتی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ مگاپاسکال تنظیم گردیده است. تعداد ۳ نمونه در هر یک از رده‌های ذکر شده با ۴ مقدار بدون الیاف، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ کیلوگرم الیاف در مترمکعب ساخته شده است. تمامی نمونه‌ها به مدت دو روز پس از ساخت در پارچه مرطوب نگهداری شده و سپس در حوضچه آب قرار گرفته‌اند. مقاومت نمونه‌ها پس از ۲۸ روز اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها ثبت گردیده است. برای تعیین مقاومت ضربه‌ای بتن روش استاندارد وجود ندارد. آزمایش ضربه پرتابه، آزمایش شاری، آزمایش وزنه افتان و آزمایش میله هاپکینسون، از جمله آزمایش‌های متداولی هستند که برای بررسی رفتار ضربه‌ای بتن توسط کمیته ACI544-2R [۱۱] پیشنهاد شده است. با دستگاه آزمایش وزنه افتان با ضربات تکرار شونده، تعداد ضربه برای ایجاد سطح مشخصی از گسیختگی بدست می‌آید که معیاری از ظرفیت جذب انرژی مصالح است. این آزمایش با سقوط وزنه $4/54$ کیلوگرمی از ارتفاع ۴۵۷ میلی‌متری انجام می‌شود و ضربات

۲-۲- آزمایش مقاومت کششی

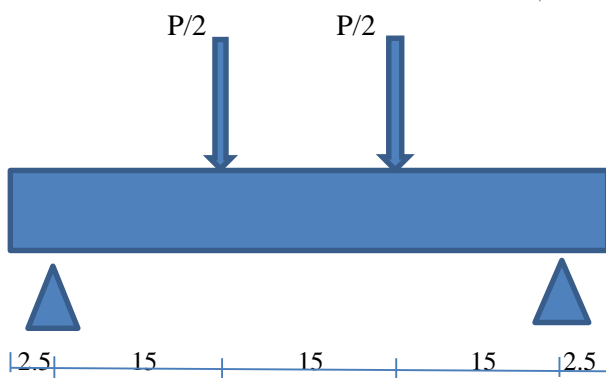
برای مقاومت کششی، نمونه‌های استوانه‌ای بتن مسلح به الیاف فولادی در سه رده مقاومتی با استفاده از آزمایش شکافت نمونه (آزمایش برزیلی) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج با یکدیگر و با نمونه بدون الیاف مقایسه می‌شوند. آزمایش اندازه‌گیری مقاومت کششی در سن ۲۸ روز براساس استاندارد ASTM C496 انجام گرفت. در این آزمایش از نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد ۱۵۰×۳۰۰ میلی‌متر استفاده می‌گردد. تعداد ۳ نمونه در هر یک از رده‌های ذکر شده با چهار مقدار بدون الیاف، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ کیلوگرم الیاف در مترمکعب ساخته شده است.



شکل ۴- نمونه استوانه‌ای در حال تست کشش به روش شکافت نمونه (برزیلی)

۴-۲- آزمایش مقاومت خمشی

مقاومت خمشی نمونه‌های مکعب مستطیلی بتن مسلح به الیاف فولادی در سه رده مقاومتی با استفاده از آزمایش بارگذاری دو نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج با یکدیگر و با نمونه بدون الیاف مقایسه می‌شوند. ابعاد نمونه‌های مکعب مستطیلی به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد. طرح اختلاط بتن‌های ساخته شده جهت دستیابی به سه رده مقاومتی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ مگاپاسکال تنظیم گردیده است. تعداد سه نمونه در هر یک از رده‌های ذکر شده با چهار مقدار بدون الیاف، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ کیلوگرم الیاف در مترمکعب ساخته شده است.



شکل ۶- بارگذاری دو نقطه‌ای برای تعیین مقاومت خمشی مقاومت بتن در خمش (مدول گسیختگی) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$Fr = MC/I = PL/bh^2 \quad (1)$$

Fr = مقاومت خمشی بتن الیافی بر حسب N/mm^2

P = حداکثر بار وارده توسط دستگاه بر حسب N

L = طول فاصله دو تکیه‌گاه بر حسب mm

b = عرض نمونه بر حسب mm

h = ارتفاع نمونه بر حسب mm



شکل ۷- نمونه خمشی پس از آزمایش به روش بارگذاری دو نقطه‌ای

۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه‌ها در سن ۲۸ روز براساس استاندارد ASTM C39 روی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج آن‌ها با یکدیگر و با نمونه بدون الیاف مقایسه می‌گردد.



شکل ۵- نمونه‌های مکعبی در حال آزمایش فشاری

۲-۵- مصالح مصرفی

انتهای قلاب دار تولید شرکت صنایع مفتولی زنجان از دسته Crimped-End wire و نوع I مطابق استاندارد ASTM 820 می باشد. مشخصات این الیاف در جدول شماره (۱) ارائه گردیده است.



شکل ۸- الیاف فولادی مورد استفاده برای ساخت نمونه‌ها

همچنین فوق روان کننده نوع Fabcrete-101 ساخت شرکت فن آوران بتن ایران فایبر استفاده گردیده است که براساس آیین نامه ASTM-C494 در رده Type-G قرار دارد.

سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها از معادن شهرستان سبزواری تهیه شده است که شامل ریزدانه طبیعی (۰-۵ میلی متر) و درشت‌دانه شکسته (۵-۲۵ میلی متر) مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ می باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌های مصرفی ۱۹ میلی متر در نظر گرفته شده است. علی‌رغم اینکه شن مورد استفاده عاری از خاک و مواد اضافی می باشد به منظور اطمینان بیشتر، شن مورد استفاده قبل از شروع آزمایشات مجدداً شسته و پس از آن تدابیر لازم برای رسیدن مجموعه شن به رطوبت یکسان برای آزمایشات به کار گرفته شد. ماسه مصرفی نیز از نوع رودخانه‌ای می باشد که مشابه شن مصرفی در محل آزمایشگاه شسته شد.

آب مصرفی در ساخت کلیه نمونه‌ها آب شرب شهری و سیمان مورد استفاده در ساخت کلیه نمونه‌ها سیمان تپ دو تولیدی کارخانه سیمان لار شهرستان سبزواری و از نوع بدون پوزولان می باشد. الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها از جنس فولاد با

جدول شماره ۱- مشخصات الیاف فولادی مصرفی

مقاومت کششی (Mpa)	چگالی (kg/m ³)	نسبت طول به قطر	طول الیاف (mm)	قطر الیاف (mm)
۱۲۲۰	۷۸۵۰	۶۳/۷۵	۵۱	۰/۸

۲-۶- طرح اختلاط

برای طرح اختلاط بتن مورد استفاده از روش اختلاط استاندارد آیین نامه ACI-211 استفاده می شود [۱۳]. جزئیات طرح (۲) نشان داده شده است.

جدول شماره ۲- طرح اختلاط برای بتن با رده‌های مقاومتی مختلف

رده مقاومتی بتن (Mpa)	سیمان (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	آب (kg/m ³)	فوق روان کننده Lit/m ³	W/C
C25	۳۵۰	۶۲۵	۱۱۵۰	۱۷۵	۰	۰/۵
C35	۴۰۰	۸۲۵	۹۵۰	۱۶۰	۵	۰/۴
C45	۴۲۰	۸۷۵	۹۰۰	۱۲۶	۶/۵	۰/۳۵

۳- نتایج آزمایشات

در ادامه نتایج به دست آمده برای آزمایشات انجام شده درج خواهد شد. در جدول شماره (۳) نتایج مربوط به آزمایش مقاومت ضربه نشان داده شده است. مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای با استفاده از آزمایش شکافت نمونه (آزمایش برزلی) و با اعمال نیروی فشاری قطری روی آزمون استوانه‌ای بتن که بصورت افقی بین دو صفحه دستگاه آزمایش قرار گرفته تعیین گردید.

جدول شماره ۳- مقاومت های ضربه ای بتن الیافی برای رده های مقاومتی مختلف

رده بتن (MPa)	مقدار الیاف (Kg/m ³)	تعداد ضربه در اولین ترک روی سطح	تعداد ضربه در گسیختگی نهایی	افزایش تعداد ضربه بعد از ایجاد اولین ترک تا گسیختگی نهایی	درصد افزایش تعداد ضربه بعد از ایجاد اولین ترک تا گسیختگی نهایی	درصد افزایش تعداد ضربه در اولین ترک نسبت به بتن بدون الیاف	درصد افزایش گسیختگی نهایی نسبت به بتن بدون الیاف
C 25	بدون الیاف	۲۷۵	۲۸۶	۱۱	۴	۰	۰
	۱۵	۳۴۶	۳۸۲	۳۶	۱۱	۲۶	۳۶
	۲۵	۳۸۲	۴۳۵	۵۳	۱۴	۳۹	۵۲
	۳۵	۳۸۶	۴۴۵	۷۹	۲۲	۴۱	۵۶
C 35	بدون الیاف	۲۹۴	۳۱۱	۱۷	۶	۰	۰
	۱۵	۴۲۸	۵۰۸	۸۰	۱۴	۴۶	۶۴
	۲۵	۴۴۰	۵۳۱	۹۱	۲۱	۵۰	۷۱
	۳۵	۴۴۸	۵۵۲	۱۰۴	۲۳	۵۲	۷۸
C 45	بدون الیاف	۳۳۰	۳۵۲	۲۲	۷	۰	۰
	۱۵	۴۶۴	۵۴۸	۸۴	۱۸	۴۱	۵۶
	۲۵	۴۹۰	۵۸۶	۹۶	۲۰	۴۹	۶۷
	۳۵	۵۰۴	۶۴۵	۱۴۱	۲۸	۵۳	۸۳

برای محاسبه مقاومت کششی نمونه های استوانه ای با استفاده از آزمایش $L = \text{طول نمونه (سانتی متر)}$ ؛

شکافت نمونه (آزمایش برزلی)، از فرمول ۲ استفاده شده است. $d = \text{قطر نمونه (سانتی متر)}$ ؛

همچنین برای تعیین مقاومت فشاری و خمشی مطابق استانداردهای $T = 2p/\pi L \cdot d^2$ (۲)

$T = \text{مقاومت کششی (کیلوگرم بر سانتی متر مکعب)}$ ؛ ذکر شده آزمایش ها بر روی نمونه ها انجام گردید. نتایج حاصل

$P = \text{حداکثر بار اعمال شده (کیلوگرم)}$ ؛ در جدول شماره ۴ نمایش داده شده است.

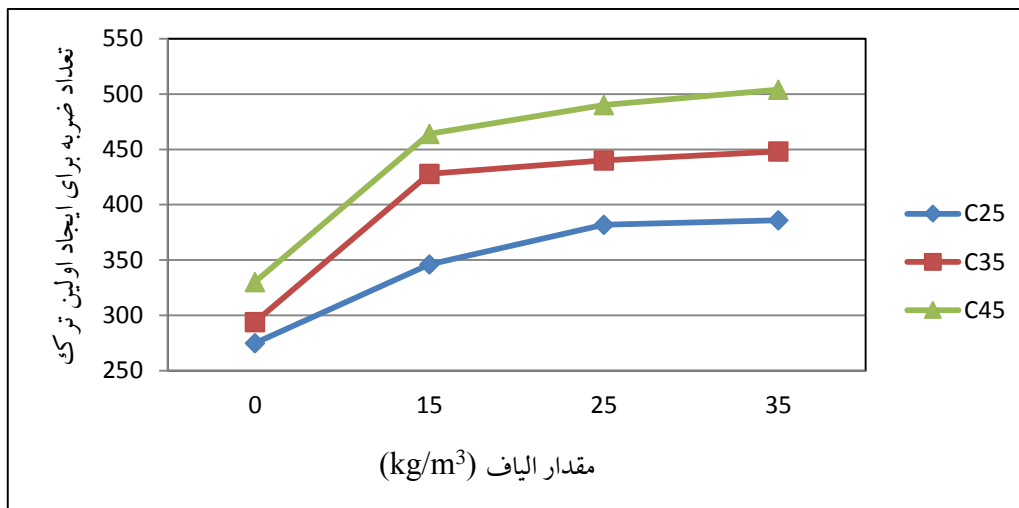
جدول شماره ۴- مقاومت های کششی، فشاری و خمشی بتن برای رده های مقاومتی مختلف

رده بتن (Mpa)	مقدار الیاف (Kg/m ³)	مقاومت کششی (Mpa)	تغییرات مقاومت نسبت به بتن بدون الیاف (درصد)	مقاومت فشاری (Mpa)	تغییرات مقاومت نسبت به بتن بدون الیاف (درصد)	مقاومت خمشی (Mpa)	تغییرات مقاومت نسبت به بتن بدون الیاف (درصد)
C 25	بدون الیاف	۳/۲	۰	۳۲	۰	۲/۳	۰
	۱۵	۳/۶	۱۲/۵	۳۳	۳/۱	۵/۳	۱۳۰
	۲۵	۴/۱	۲۸/۱۲	۳۵	۹/۴	۶/۱	۱۶۵
	۳۵	۵/۲	۶۲/۵	۳۱	-۳/۱	۷/۱	۲۰۸
C 35	بدون الیاف	۵/۳	۰	۳۶	۰	۲/۶	۰
	۱۵	۳/۸۵	۱۰	۳۴	-۵/۵	۶/۵	۱۵۰
	۲۵	۴/۶	۲۵/۷۴	۴۰	۱۱/۲	۷/۲	۱۸۰
	۳۵	۵/۷	۶۲/۸۶	۳۹	۸/۴	۸/۱	۲۱۱
C 45	بدون الیاف	۳/۸	۰	۴۴	۰	۳	۰
	۱۵	۴/۵	۱۸/۴۲	۴۶	۴/۵	۷/۸	۱۶۰
	۲۵	۵/۱	۳۴/۲۱	۴۸	۹	۸/۹	۱۹۷
	۳۵	۶/۶۵	۷۵	۴۹	۱۰/۵	۹/۴۵	۲۱۵

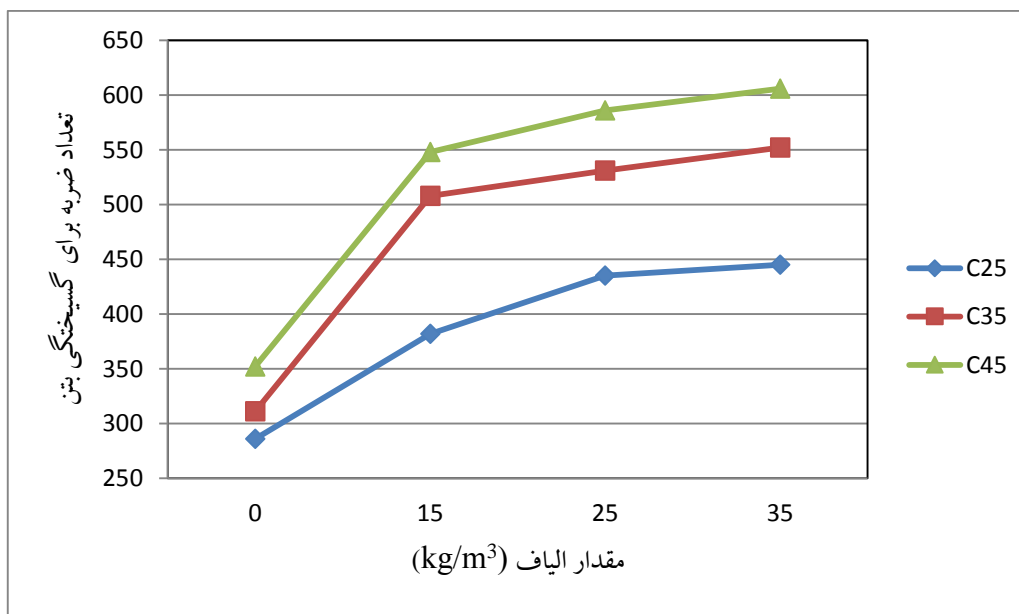
۴- تحلیل و بررسی نتایج

ضربه برای ظهور اولین ترک نسبت به بتن بدون الیاف تا ۵۳ درصد و تعداد ضربه تا گسیختگی نهایی نسبت به بتن بدون الیاف تا ۸۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد؛ مصرف الیاف حتی به مقدار کم تأثیر قابل توجهی در افزایش مقاومت ضربه‌ای بتن دارد.

نمودارهای ۱ و ۲ نشان می‌دهند که استفاده حداقلی از الیاف فولادی مقاومت ضربه‌ای برای ایجاد اولین ترک و مقاومت نهایی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. به طوری که برای رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال با افزودن ۳۵ کیلوگرم الیاف، تعداد



نمودار ۱- تأثیر مقدار الیاف در مقاومت ضربه‌ای برای اولین ترک با توجه به رده بتن

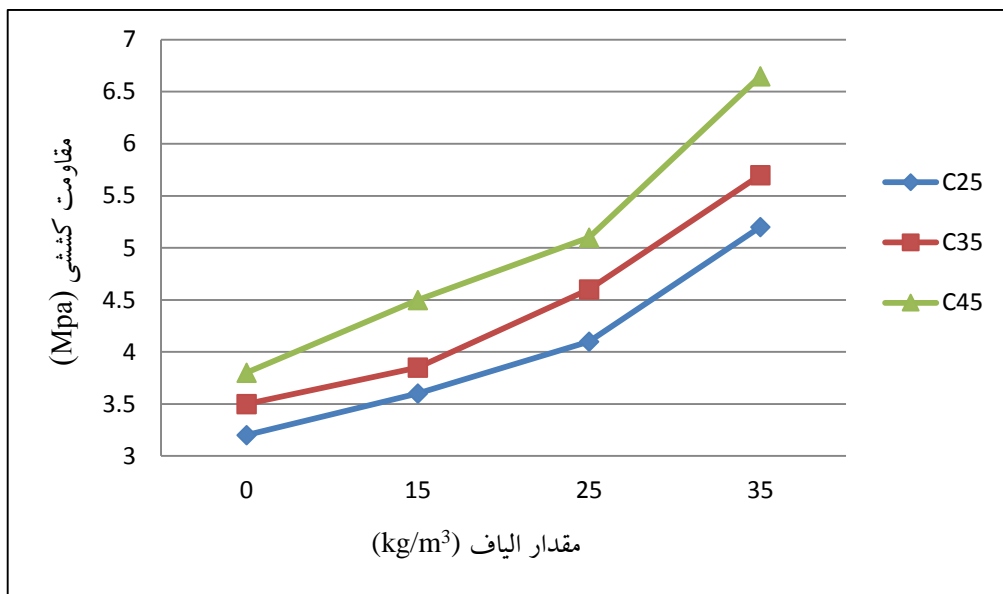


نمودار ۲- تأثیر مقدار الیاف در مقاومت ضربه‌ای برای گسیختگی نهایی با توجه به رده بتن

۳۵ کیلوگرم الیاف و مقاومت ۲۵ مگاپاسکال به ترتیب برابر ۴۱ درصد و ۵۶ درصد می‌باشد ولی همین درصد در بتن با مقاومت ۴۵ مگاپاسکال به ترتیب برابر ۵۳ درصد و ۸۳ درصد می‌باشد. با توجه به جدول شماره ۴ و نمودار شماره ۳ می‌توان گفت که الیاف فولادی باعث افزایش چشمگیر مقاومت

نمودارهای ۱ و ۲ همچنین نشان می‌دهند که در بتن‌هایی با رده مقاومتی بالاتر، تأثیر الیاف بر مقاومت ضربه‌ای تا بروز اولین ترک و گسیختگی نهایی بیشتر است. همان‌گونه که در جدول ۳ نیز ذکر شده، درصد افزایش تعداد ضربه برای پیدایش اولین ترک و گسیختگی نهایی نسبت به بتن بدون الیاف، برای بتن با

کششی بتن می گردد. نمودار ۳ حاکی از این است که با افزایش رده مقاومتی بتن تأثیر افزایش الیاف در افزایش مقاومت کششی بتن الیافی افزایش می یابد به طوری که در بتن با رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال با مصرف ۳۵ کیلوگرم الیاف، الیافی می گردد. ۷۵ درصد مقاومت کششی بتن الیافی افزایش می یابد؛ درحالی که مصرف همین مقدار الیاف در بتن با رده مقاومتی ۲۵ مگاپاسکال، موجب افزایش ۶۲/۵ درصد مقاومت کششی بتن الیافی می گردد.



نمودار ۳- تأثیر مقدار الیاف در مقاومت کششی بتن الیافی

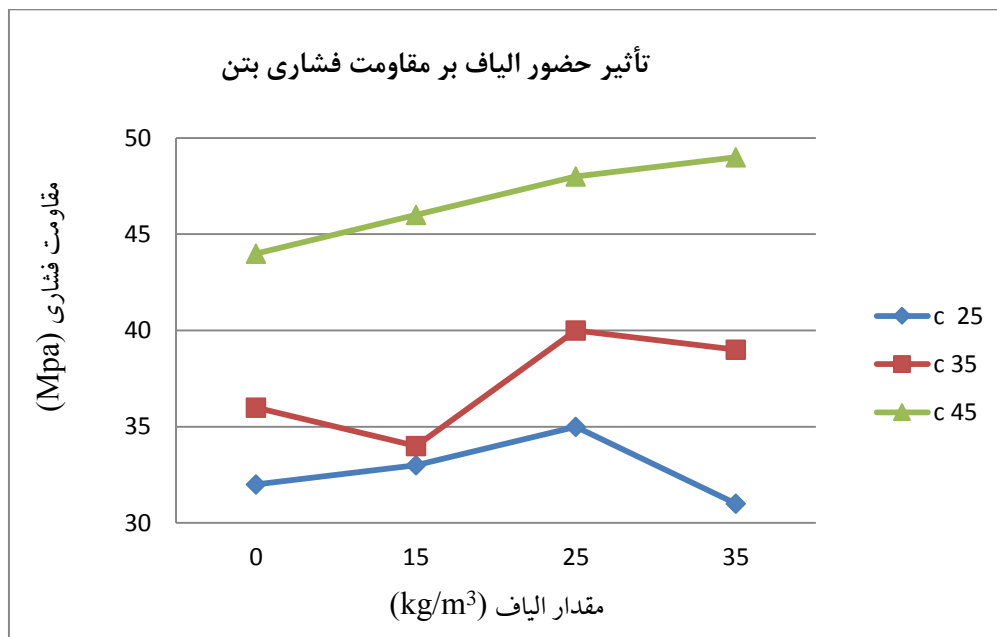
یکی دیگر از نتایج مهمی که افزودن الیاف به بتن ایجاد می کند از آزمایش شکافت را نشان می دهد. ملاحظه می گردد با وجود افزایش چقرمگی و قدرت جذب انرژی می باشد؛ که نقش مهمی در نوع شکست بتن ایفا می کند. شکل ۹ نمونه های تست شده پس رفتار بتن نرم تر می گردد.



شکل ۹- تأثیر الیاف بر میزان چقرمگی کششی بتن

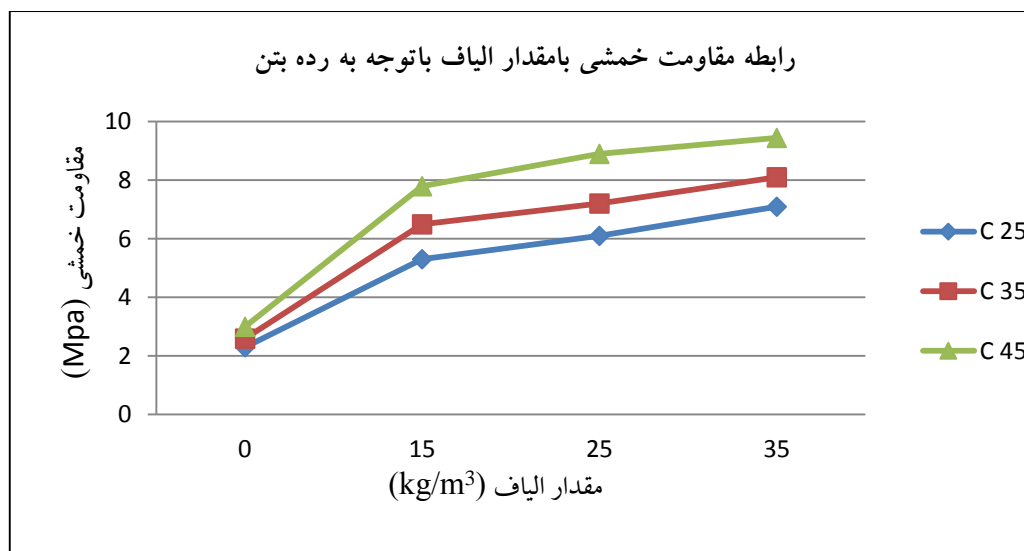
نکته دیگری که در این خصوص قابل توجه است، این که در رده مقاومت های بالاتر تأثیر حضور الیاف بر افزایش چقرمگی کششی بتن ملموس تر می باشد. نمودار شماره ۴ نشان می دهد که با هر چند افزایش الیاف، مقاومت فشاری بتن افزایش می دهد؛ اما این افزایش چندان قابل ملاحظه نیست. آن گونه که از جدول شماره ۴ برمی آید؛ مقاومت فشاری در بهترین شرایط یعنی با مصرف ۳۵

کیلوگرم الیاف آن هم در رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال بیشتر از الیاف این مقدار افزایش در مقاومت فشاری در ازای هزینه انجام ۱۰/۵ درصد افزایش نیافته است. بدیهی است با توجه به قیمت شده مقرون به صرفه نمی باشد.



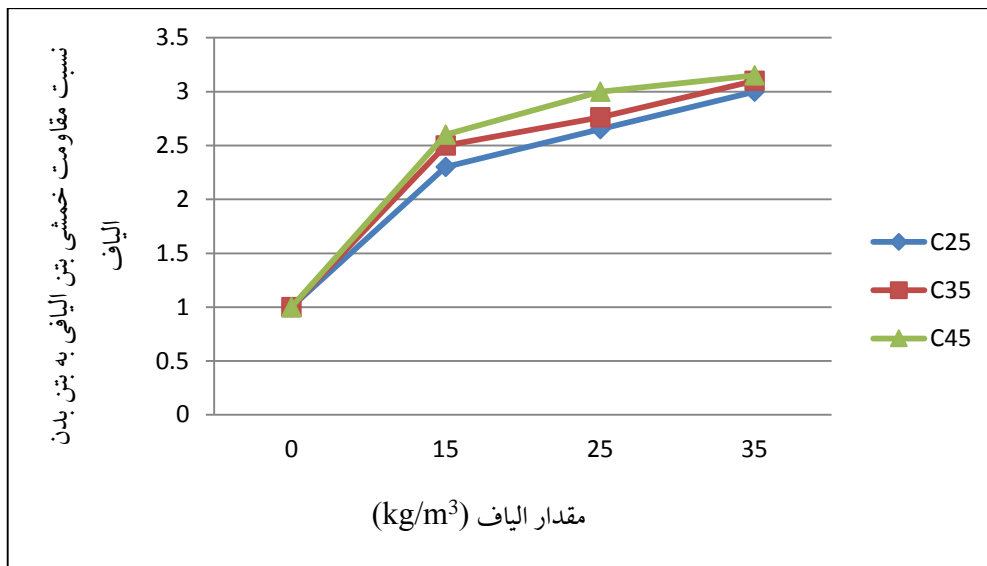
نمودار ۴- تأثیر مقدار الیاف در مقاومت فشاری

اما شاید مزیت حاصل از افزایش میزان چقرمگی بتن الیافی، که الیاف فولادی، مقاومت خمشی بتن را به طور چشم گیری افزایش باعث نرم تر شدن بتن می گردد توجه قانع کننده تر و منطقی تری می دهد. نکته مهم در این باره این است که در حجم های پایین برای استفاده از الیاف در بتن باشد تا افزایش مقاومت فشاری آن. الیاف دارای تأثیر بهتری می باشند. با توجه به قیمت نسبتاً بالای همان گونه که در نمودار شماره ۵ ملاحظه می شود؛ استفاده از الیاف، ۱۵ کیلوگرم به عنوان بهترین مقدار توصیه می شود.



نمودار ۵- تأثیر مقدار الیاف در مقاومت خمشی بتن الیافی با توجه به رده بتن

با توجه به جدول شماره ۴ با مصرف ۳۵ کیلوگرم الیاف برای بتن هایی با رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال رشد ۲۱۵ درصد در مقاومت خمشی رخ می دهد. این مقدار که بیشترین رشد در مقاومت خمشی نیز می باشد تأثیر بالای الیاف بر مقاومت خمشی بتن را نشان می دهد. این نمودارها همچنین نشان می دهند که افزایش مقاومت به واسطه افزودن الیاف ارتباطی کاملاً ملموس با رده مقاومتی بتن دارد. به سخن دیگر تأثیر وجود الیاف در بتن های با رده مقاومتی بالاتر مشهودتر می باشد.



نمودار ۶- نسبت مقاومت خمشی بتن الیافی به بتن بدون الیاف تحت تأثیر افزایش مقدار الیاف

بررسی نمونه‌ها پس از بارگذاری - همان‌گونه که از شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نیز مشخص می‌باشد- نشان می‌دهد که استفاده از الیاف چقرمگی خمشی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. موضوع افزایش چقرمگی را می‌توان در سه حالت زیر بررسی کرد: الف: نمونه‌های خمشی در بتن‌های بدون الیاف و از هر رده بتنی از وسط دو نیم شده و کاملاً از هم جدا می‌گردد. ب: نمونه‌های خمشی در بتن‌های با الیاف کم و مقاومت پایین ترک خورده، به طوری که ابعاد ترک قابل توجه می‌باشد. ج: نمونه‌های خمشی با افزایش الیاف ترک برداشته اما ابعاد ترک‌ها به طور کاملاً محسوسی کاهش می‌یابد. ترک‌ها در این حالت به گونه‌ای است که با چشم غیرمسلح به سختی رؤیت می‌شود.



شکل ۱۰- تأثیر الیاف در چقرمگی مخصوص خمشی



شکل ۱۱- تأثیر الیاف در چقرمگی مخصوص خمشی

[3] Antoine, E.N., (1985), "Fiber reinforced for concrete", Concrete international, March 1985, PP 21-25.

[4] Beddar, M., (2008), "Development of steel fiber reinforced concrete from antiquity until the present day", Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee, UK, pp 35-44.

[5] Darwish et al, (2008), "Influence of fiber ratio in the size effect", Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee, UK, PP 123-130

[6] Quresh L A et. al, (2008), "Effect of mixing steel fibers and silica fume on properties of high strength concrete", Proceedings. Int Conference Concrete: Constructions sustainable option, Dundee, UK, pp 173-185.

[7] Hadi M et al, (2008), "An investigation of steel and polypropylene fiber reinforced concrete slabs", Proceedings. Int Conference Concrete Constructions sustainable option, Dundee. UK, pp 233-244.

[8] Nataraja M.C., Dhang N., Gupta A.P., "Statistical variations in impact resistance of steel fiber reinforced concrete subjected to drop weight test", Cement and Concrete Research, Vol.29, pp. 989-995, 1999.

[9] Song, Wu, Hwang, Sheu, "Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete", Cement and Concrete Research, Vol.35, pp. 393-399, 2005.

[10] ACI Committee 544, (1998), "Guide for specifying, proportioning, mixing, placing, and finishing steel fiber reinforced concrete", American Concrete Institute (ACI), report No. ACI 544.3R-93.

[11] American Concrete Institute (ACI)-544.2R Committee report on Fiber Reinforced Concrete 1999.

[۱۲] باقری، علیرضا، «مقاومت ضربه ای بتن مبتنی بر پودر واکنش‌زا مسلح به الیاف فولادی»، مجموعه مقالات کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه امیرکبیر، تهران، ایران، دوره ۴۲، شماره ۳، صفحه ۷۴، زمستان ۱۳۸۹.

[13] ACI Committee 211, (1991), "Standard practice for selecting proportions for normal, heavy-weight and mass concrete", American Concrete Institute (ACI), report No. ACI 211.1.

۵- نتیجه گیری

۱- استفاده حداقلی از الیاف فولادی مقاومت ضربه‌ای تا ظهور اولین ترک و رسیدن به مقاومت نهایی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. حتی مقدار کم الیاف نیز تأثیر قابل توجهی در بهبود مقاومت ضربه‌ای بتن دارد.

۲- تأثیر الیاف بر مقاومت ضربه‌ای تا بروز اولین ترک و رسیدن بتن به مرحله گسیختگی در بتن‌های با رده مقاومتی بالا به مراتب بیشتر است.

۳- افزایش الیاف فولادی باعث افزایش چشم‌گیر مقاومت کششی بتن می‌گردد. هرچه مقدار الیاف بیشتر باشد روند افزایش مقاومت کششی بتن نیز افزایش می‌یابد. با افزایش رده مقاومتی بتن تأثیر افزایش الیاف در افزایش مقاومت کششی بتن الیافی نیز بیشتر می‌شود. همچنین افزایش الیاف فولادی موجب افزایش قابل ملاحظه چقرمگی مخصوص کششی و نرم‌تر شدن رفتار بتن می‌گردد.

۴- افزایش مقاومت فشاری بتن با افزایش الیاف قابل ملاحظه نمی‌باشد. هر چند با افزودن الیاف چقرمگی فشاری بتن افزایش می‌یابد و رفتار بتن نرم‌تر می‌شود.

۵- استفاده از الیاف، مقاومت خمشی بتن را به طرز چشم‌گیری افزایش می‌دهد و این موضوع ارتباط کاملاً ملموسی با رده مقاومتی بتن نیز دارد؛ به طوری که تأثیر افزایش الیاف در بتن‌های با رده مقاومتی بالاتر بیشتر می‌باشد.

۶- بررسی ظاهری نمونه‌ها پس از بارگذاری نشان می‌دهد که استفاده از الیاف چقرمگی مخصوص خمشی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد.

۶- مراجع

[1] Mehta, P.k, (1986), "Concrete: structure, properties, and materials", prentice-hall inc., Englewood cliffs, New Jersey.

[۲] خالو، علیرضا، «رفتار و کاربردهای بتن الیافی»، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، ۴ اسفند، ۳۰-۱، (۱۳۷۸).

Effect of Steel Fibers and Concrete Strength on Mechanical specifications of Steel Fiber Reinforced Concrete

Mehrollah Rakhshani mehr *

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Alzahra University
Hossein Bakhshi

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University

Abstract

In order to select the most suitable concrete for the construction of high-rise buildings, method of analytic hierarchy process (AHP) based on expert knowledge has been used.

In this study conducted a series of laboratory works, to compare the effect of steel fibers used in various categories of resistance on concrete behavior parameters. Mixing the samples is set for the three categories of resistance 25, 35 and 45 MPa. Strength parameters that are chosen to identify concrete actions are tensile strength, impact strength, compressive strength and flexural strength. Also the samples in each resistance category are made with four fibers quantity: without fibers, 15, 25 and 35 kg fibers per cubic meter. The results suggest that using of steel fibers, increases the impact resistance, time of the first crack and ultimate strength of concrete significantly. Also the addition of this type of fibers, increases tensile strength and flexural strength but don't have significant effect on the compressive strength of concrete.

Keywords: Mechanical specifications, Miber reinforced concrete, Mteel fibers, Toughness, Categories of resistance.

* Corresponding Author: rakhsh_77@yahoo.com