

بررسی تأثیر الیاف بر عملکرد ضربه‌ای بتن توانمند

امین عادل

کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، مهندسی سازه، دانشگاه آزاد تهران غرب، تهران، ایران

چکیده

بتن توانمند بتنی است که حداقل یک خاصیت غیرمعمول را نسبت به بتن معمولی داشته باشد. این بتن مشخصاتی از جمله داشتن روانی بالا بدون خطر جداسازی، دوام زیاد و نفوذپذیری کم، مقاومت نهایی بالا و همچنین هزینه و قیمت اقتصادی با کاربرد تکنولوژی ساده و با مواد متداول را فراهم می‌آورد. از طرفی استفاده از الیاف به عنوان یک مصالح با قیمتی مناسب در مقایسه با سایر مصالح سبب بهبود مشخصات مقاومتی بتن می‌شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از الیاف فولادی بر عملکرد ضربه‌ای بتن توانمند می‌باشد. در تحقیق حاضر با انجام یک کار آزمایشگاهی، تأثیر میزان الیاف فولادی بکار رفته در بتنهای توانمند 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. 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 تا مرز مقاومت گسیختگی نهایی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که برای رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال با افزودن ۳۵ کیلوگرم الیاف، تعداد 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. همچنین درصد افزایش تعداد ضربه برای پیدایش اولین ترک و گسیختگی نهایی نسبت به بتن بدون الیاف، برای بتن با 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.

واژه‌های کلیدی: بتن با مقاومت بالا، بتن توانمند الیافی، مقاومت ضربه‌ای، آزمایش سقوط چکش.

۱- مقدمه

امروزه بتن یکی از پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در جهان شناخته شده است. اقتصادی بودن، در دسترس بودن مصالح تشکیل دهنده آن، مقاومت خوب در مقابل عوامل جوی و آتش سوزی، قرارگیری مناسب در قالب با شکل های مختلف و مقاومت فشاری بالا از جمله عواملی است که باعث مقبولیت عمومی استفاده از بتن به عنوان مصالح ساختمانی شده است [۱]. بتن با مقاومت بالا (توانمند) به بتن هایی اطلاق می شود که دارای مقاومت فشاری بالاتر از ۲۴ مگاپاسکال دارد [۲] و مطابق تعریف [۳] بتن خودتراکم بتنی است که تحت اثر وزن خود جاری شده و بدون نیاز به هرنوع لرزاندن قالب را پر کرده و همگنی خود را حفظ کند. از طرفی، فراوانی استفاده از بتن در ساخت انواع سازه های دفاعی، اهمیت بررسی عملکرد بتن در مقابل بارهای ضربه ای را دو چندان کرده است [۴]. مطالعات گذشته نشان داده است که بتن معمولی و غیر مسلح در مقابل ضربه نقاط ضعفی دارد [۵]. یکی از راه های بهبود رفتار بتن در مقابل بارهای دینامیکی و استاتیکی افزایش مقاومت فشاری بتن است، در صورتی که افزایش مقاومت فشاری موجب تردی بتن می شود و افزایش تردی برای تحمل بار ناشی از برخورد گلوله یک نقطه ضعف محسوب می شود [۶]. از طرفی استفاده از الیاف های مختلف می تواند مقاومت بتن را در مقابل بارهای دینامیکی مانند بار وارد شده در اثر برخورد ضربه بالا ببرد [۷]. ایده اضافه کردن الیاف به مخلوط های ترد و شکننده که توان کششی ناچیزی دارند؛ از زمان های قدیم وجود داشته است. بررسی ها نشان می دهد که تفکر استفاده از الیاف از روزگاران باستان وجود داشته است. مصریان قدیم از کاه برای مسلح کردن آجرهای گلی استفاده می کردند. علاوه بر این از الیاف پنبه نسوز و موی اسب نیز برای تسلیح استفاده می شده است [۸]. امروزه در دنیا انواع بسیار متنوعی از الیاف برای کاربردهای گوناگون در بتن وجود دارد که یکی از پرکاربردترین آنها، الیاف فولادی می باشد. الیاف فولادی دارای مدول الاستیسیته و کرنش شکست بالایی بوده که با توجه به قابلیت شکل پذیری مناسب و مقاومت کششی بالا از مناسب ترین و اقتصادی ترین نوع الیاف به حساب می آید. این نوع الیاف به اشکال ظاهری گوناگون (مستقیم، انتهای قلابدار، دندانه دار و...) جهت بهبود رفتار بتن ساخته می شود. همچنین اختلاط آنها با دیگر مواد بتن به سهولت انجام می پذیرد [۹]. این مزیت ها سبب می شود که الیاف فولادی بیشترین کاربرد را نسبت به سایر الیاف داشته باشند. از جمله کاربردهای این الیاف را می توان در ساخت سازه های تحت ضربه و انفجار، باندهای فرودگاه ها، کف سالن های صنعتی، لوله ها و پوسته های نازک، تونل ها، کفسازی خیابان ها، 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.

الیاف ها به طور کلی می توانند از مواد طبیعی (مانند کنف و ابریشم) و یا محصولات کارخانه ای (مانند شیشه و فولاد) ساخته شده باشند از میان انواع الیاف ها در ساخت بتن، توجه عمده های به استفاده از الیاف فولادی معطوف شده است. مطالعات نشان می دهد که حضور الیاف فولادی می تواند سبب بهبود عملکرد بتن مانند افزایش مقاومت های فشاری و کششی و همچنین کاهش میزان جذب آب یکی از پارامترهای مهم مورد بررسی در بتن مسلح شده با الیاف، ارزیابی مقاومت ضربه ای آن است [۱۰ و ۱۱]. با توجه به پتانسیل بتن الیافی جهت استفاده در محل هایی مانند کف های صنعتی، سازه های هیدرولیکی و سازه های مقاوم در برابر انفجار، ضرورت مطالعه رفتار بتن الیافی در برابر بارهای ضربه ای بیشتر نمایان شده است. از میان شیوه های متفاوت ارزیابی مقاومت ضربه ای بتن که توسط کمیته ACI پیشنهاد شده است، ساده ترین آنها، آزمون سقوط وزنه می باشد. در این روش، مقاومت ضربه ای بتن بر اساس تعداد ضربات لازم جهت رویت اولین ترک و شکست ارزیابی می گردد.

عواملی مانند طبیعت آزمون و یا شرایط ناهمگن بتن باعث گردیده است که نتایج آزمون سقوط وزنه غالباً پراکندگی بالایی داشته باشد. لذا مطالعات گوناگونی به بررسی آماری و آزمایشگاهی مقاومت ضربه‌ای بتن الیافی با استفاده از ACI پرداخته اند. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی تأثیر الیاف بر مقاومت ضربه‌ای بتن توانمند می‌باشد. از این رو، طرح مخلوط بتن الیافی ساخته شد و پس از فرارگیری تحت شرایط عمل، تحت آزمایش سقوط وزنه قرار می‌گیرد. انتظار می‌رود نتایج این تحقیق بتواند ابزار مناسبی برای شناخت بهتر عملکرد بتن الیافی در برابر بارهای ضربه‌ای فراهم آورد که سبب گسترش کاربرد بتن الیافی و سودمندی از فواید مثبت آن در پروژه‌های متفاوت مهندسی گردد.

۲- ضرورت انجام تحقیق

تاکنون پژوهش‌های زیادی در زمینه تأثیر الیاف‌ها بر ویژگی‌های مکانیکی بتن انجام گرفته است. برخی محققین خواص بتن با مقاومت بالا و توانمند را با افزودن الیاف فولادی بررسی کردند و نشان دادند با افزایش الیاف فولادی مقاومت کششی بتن بصورت خطی افزایش می‌یابد و این افزایش در روز اول بیشتر است. از طرفی پژوهش‌هایی در زمینه تأثیر الیاف‌ها بر مقاومت ضربه‌ای بتن توانمند کمتر بوده است، بیشتر این پژوهش‌ها بر اساس آزمایش استاندارد پیشنهاد شده از طرف آیین نامه ACI C544 و با وزنه افتان بوده است، و پژوهش‌های بسیار کمی روی مقاومت ضربه‌ای بتن‌های الیافی تحت اثر برخورد ضربه صورت گرفته است. به همین علت در این پژوهش آزمایش ضربه‌ای برای بتن‌های توانمند الیافی انجام شده است.

۳- پیشینه تحقیق

همان‌گونه که بیان شد، مطالعات گوناگونی به بررسی آماری و آزمایشگاهی مقاومت ضربه‌ای بتن الیافی با استفاده از ACI 044 پرداخته اند. از آن جمله می‌توان به مطالعه نیکوی و همکاران در سال ۲۰۱۱، بر روی مقاومت اولین ترک و شکست در بتن حاوی الیاف پلی‌فنیل سولفید و همچنین، مطالعه سانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ بر روی مقاومت اولین ترک و شکست بتن حاوی الیاف فولادی در مقایسه با بتن حاوی ترکیب الیاف فولادی و پلی پروپیلن اشاره نمود. در مطالعه ای مجزا، سانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ نشان دادند که بتن پر مقاومت تقریباً دارای توزیع نرمال در مقاومت‌های اولین ترک و نهایی می‌باشد، در حالی که بتن پر مقاومت حاوی الیاف فولادی دارای چنین وضعیتی نمی‌باشد. همچنین رحمانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ گزارش نمودند که مقاومت شکست در برابر ضربه بتن معمولی به سختی دارای توزیع نرمال است. به علاوه نتایج آنان نشان می‌دهد که مقاومت شکست بتن حاوی الیاف سلولزی تقریباً دارای یک توزیع نرمال است در حالی که این امر برای بتن با الیاف پلیپروپیلن صادق نیست. از طرفی، فخاری فر و همکاران در سال ۲۰۱۴، در بررسی کامپوزیت‌های سیمانی با عملکرد بالا حاوی الیاف پلیپروپیلن، توزیع نرمال آن را در حیطه مقاومت اولین ترک و شکست نتیجه گرفتند. در مطالعه ونگ در سال ۲۰۱۳، با جایگزینی ۰.۱ درصد از الیاف فولادی در بتن سبک، میانگین مقاومت اولین ترک و شکست به ترتیب ۴ و ۸.۵ برابر و با جایگزینی ۲ درصدی الیاف فولادی، مقاومت اولین ترک و شکست ۱۰ و ۱۳ برابر افزایش یافته است. همچنین، مستعلی و همکاران در سال ۲۰۱۶ با مطالعه بتن خود تراکم حاوی الیاف پلیمری بازیافتی شیشه نشان دادند که ارتباط خطی میان مقاومت ضربه‌ای اولین ترک و ترک نهایی وجود دارد. در مطالعه ای دیگر نتایج مطالعه مستعلی و همکاران در سال ۲۰۱۶ نشان دهنده ارتقاء سطح مقاومت ضربه‌ای و خواص مکانیکی بتن خودتراکم با افزودن الیاف بریده شده پلیمری بازیافتی کربن می‌باشد [۱۲-۱۹]. در سال ۲۰۲۰، اوپانگ و همکاران به بررسی تجربی و پیش‌بینی مدول الاستیک بتن با عملکرد فوق‌العاده

(UHPC) بر اساس ترکیب آن پرداختند و تجزیه و تحلیل کمی اثرات عوامل کلیدی بر مدول الاستیک UHPC با استفاده از مدل پیشنهادی نشان داد که w/b مهم‌ترین عامل بوده و پس از آن محتوای درشت دانه، محتوای ماسه، محتوای سیمان، حجم الیاف فولاد، محتوای سرباره و دوده سیلیس قرار دارد [۲۰]. در سال ۲۰۲۱، رضاخانی و همکاران به تأثیر اندازه، شکل و استحکام الیاف فولادی بر خواص شبه استاتیکی بتن با عملکرد فوق‌العاده: بررسی تجربی و مدل‌سازی عددی پرداختند [۲۱]. در سال ۲۰۲۲، فنگ و همکاران به اثرات الیاف فولادی و ابعاد هندسی نمونه بر خواص مکانیکی بتن با کارایی فوق‌العاده بالا پرداختند [۲۲].

۴- برنامه آزمایشگاهی

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.

۴-۱- مصالح مصرفی

سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها از معادن اطراف تهران تهیه شده است که شامل ریزدانه طبیعی (۰ تا ۵ میلیمتر) و درشت دانه شکسته (۵ تا ۲۵ میلیمتر) مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۲ می‌باشد. حداکثر اندازه سنگدانه‌های مصرفی ۱۹ میلیمتر در نظر گرفته شده است. علیرغم اینکه شن مورد استفاده عاری از خاک و مواد اضافی می‌باشد 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 نود رودخانه‌ای می‌باشد 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 تهران و از نوع بدون پوزولان می‌باشد. الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه‌ها از جنس فولاد با انتهای قلاب دار تولید شرکت صنایع مفتولی زنجان از دسته Crimped-End wire و نوع Type I مطابق استاندارد ASTM 820 می‌باشد. مشخصات این الیاف در جدول (۱) ارائه گردیده است.

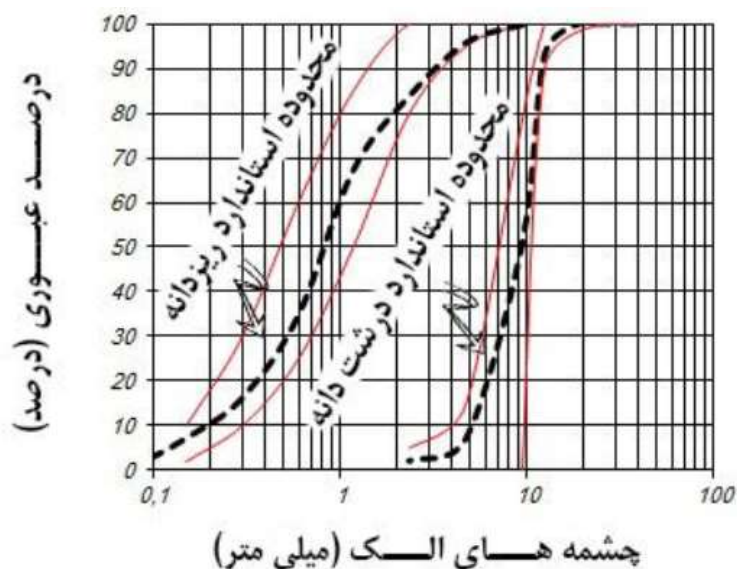
جدول (۱): مشخصات الیاف فولادی مصرفی

مشخصه	مقدار
قطر الیاف (میلیمتر)	۸.۰
طول الیاف (میلیمتر)	۵۱
نسبت طول به قطر	۷۵.۶۳
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۷۸۵۰
مقاومت کششی (مگاپاسکال)	۱۲۲۰



شکل (۱): الیاف فولادی مورد استفاده برای ساخت نمونه‌ها

نمودار دانه بندی سنگدانه های مورد استفاده در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲): دانه بندی درشتدانه و ریزدانه

۴-۲- طرح اختلاط بتن

برای طرح اختلاط بتن مورد استفاده از روش اختلاط استاندارد آئین نامه ACI-211 استفاده می‌شود [۲۳]. جزئیات طرح اختلاط برای هر یک از رده های مقاومتی بتن در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): طرح اختلاط برای بتن با رده های مقاومتی مختلف

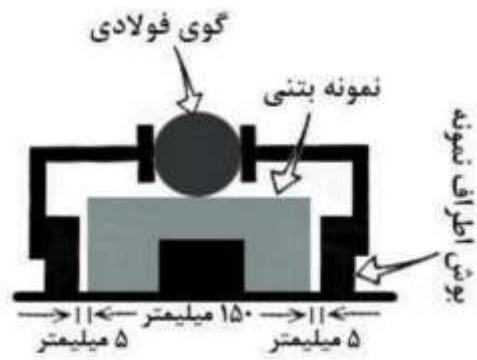
C45	C35	C25	رده مقاومتی بتن
۴۲۰	۴۰۰	۳۵۰	سیمان (کیلوگرم بر مترمکعب)
۸۷۵	۸۲۵	۶۲۵	ماسه (کیلوگرم بر مترمکعب)
۹۰۰	۹۵۰	۱۱۵۰	شن (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱۲۶	۱۶۰	۱۷۵	آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
۵.۶	۵	۰	فوق روان کننده (لیتر بر مترمکعب)
۳۵.۰	۴۰.۰	۵.۰	نسبت آب به سیمان

۴-۳- ساخت بتن ییافی

معمولاً بتن مسلح به ییاف فولادی همانند بتن ساده ریخته و متراکم می‌شود. روش طراحی مخلوط های بتن مسلح به ییاف فولادی اساساً شبیه طراحی بتن ساده است. با وجود این، باید برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت ییاف و جلوگیری از جداسدگی یا پدیده گلوله ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن، تراکم و پرداخت بتن به عمل آید. ییاف به خاطر آسانی پخش باید به صورت خشک وارد مخلوط شوند. مشکل گلوله ای شدن اغلب به دلیل استفاده از مقادیر زیاد ییاف (بیش از ۲ درصد حجمی یا حتی ۱ درصد حجمی با نسبت طول به قطر بالا) و یا اضافه کردن خیلی سریع ییاف به مخلوطی که آب کافی و یا کارایی کافی ندارد به وجود می‌آید. در این پدیده ییاف نزدیک به هم جمع شده، سبب کاهش کارایی مخلوط بتن و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده می‌گردد [۹].

۴-۴- آزمایش مقاومت ضربه‌ای

آزمایش تعیین مقاومت ضربه‌ای بتن ۲۸ روزه مسلح به ییاف 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 بتن های ساخته شده جهت دستیابی به سه رده مقاومتی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ مگاپاسکال تنظیم گردیده است. تعداد ۳ نمونه در هر یک از رده های ذکر شده با ۴ مقدار بدون ییاف، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ کیلوگرم ییاف 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 گرفته اند. مقاومت نمونه‌ها پس از ۲۸ روز اندازه گیری و میانگین آنها ثبت گردیده است. برای تعیین مقاومت ضربه‌ای بتن روش استاندارد وجود ندارد. آزمایش ضربه پرتابه، آزمایش شارپی، آزمایش وزنه افتان و آزمایش میله هاپکینسون، از جمله آزمایش های متداولی هستند که برای بررسی رفتار ضربه‌ای بتن توسط کمیته ACI544-2R پیشنهاد شده است [۲۴]. 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. همان گونه که در شکل (۳) نمایش داده شده است، این آزمون متشکل است از انداختن مکرر چکشی به وزن ۵۴ کیلوگرم از ارتفاع ۴۵۷ میلیمتری بر روی توپ فولادی به شعاع ۶۳.۵ میلیمتر که در مرکز سطح رویی نمونه قرار گرفته است. تعداد ضرباتی که باعث رخداد اولین ترک قابل رویت می‌شوند به عنوان مقاومت اولین ترک ثبت می‌گردد، در حالی که مقاومت شکست به تعداد ضربات مورد نیاز برای لمس سه بوش از چهار بوش فلزی دستگاه ضربه توسط دیسک بتنی اطلاق می‌شود.



شکل (۳): محل قرارگیری نمونه بتنی در دستگاه آزمایش ضربه



شکل (۴): وزنه افتان با ضربات تکرارشونده



شکل (۵): پیدایش اولین ترک در بتن

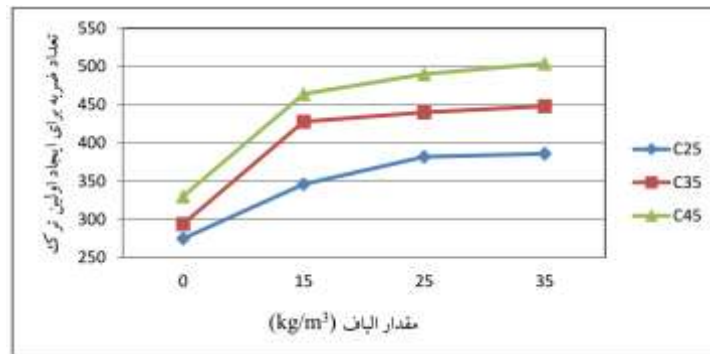
۵- نتایج آزمایشات و تحلیل آن

در ادامه نتایج به دست آمده برای آزمایشات انجام شده درج خواهد شد. در جدول (۳) نتایج مربوط به آزمایش مقاومت ضربه نشان داده شده است.

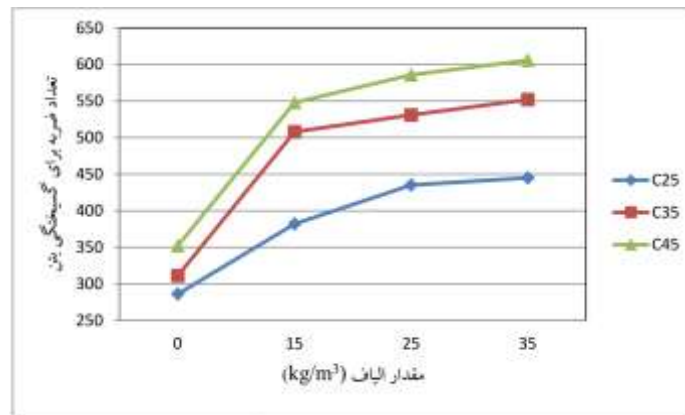
جدول (۳): مقاومت های ضربه ای بتن الیافی برای رده های مقاومتی مختلف

C45				C35				C25				رده بتن (مگاپاسکال)
۳۵	۲۵	۱۵	بدون الیاف	۳۵	۲۵	۱۵	بدون الیاف	۳۵	۲۵	۱۵	بدون الیاف	مقدار الیاف (کیلوگرم بر مترمکعب)
۵۰۴	۴۹۰	۴۶۴	۳۳۰	۴۴۸	۴۴۰	۴۲۸	۲۹۴	۳۸۶	۳۸۲	۳۴۶	۲۷۵	تعداد ضربه در اولین ترک
۶۴۵	۵۸۶	۵۴۸	۳۵۲	۵۵۲	۵۳۱	۵۰۸	۳۱۱	۴۴۵	۴۳۵	۳۸۲	۲۸۶	تعداد ضربه در گسیختگی نهایی
۱۴۱	۹۶	۸۴	۲۲	۱۰۴	۹۱	۸۰	۱۷	۷۹	۵۳	۳۶	۱۱	اختلاف تعداد ضربات از اولین ترک تا گسیختگی نهایی
۵۳	۴۹	۴۱	۰	۵۲	۵۰	۴۶	۰	۴۱	۳۹	۲۶	۰	درصد تغییرات تعداد ضربات نسبت به بتن بدون الیاف در اولین ترک
۸۳	۶۷	۵۶	۰	۷۸	۷۱	۶۴	۰	۵۶	۵۲	۳۶	۰	درصد تغییرات تعداد ضربات نسبت به بتن بدون الیاف در گسیختگی نهایی
۲۸	۲۰	۱۸	۷	۲۳	۲۱	۱۴	۶	۲۲	۱۴	۱۱	۴	درصد تغییرات تعداد ضربات از اولین ترک تا گسیختگی نهایی

شکل های (۶) و (۷) نشان می دهند که استفاده حداقلی از الیاف فولادی مقاومت ضربه‌ای برای ایجاد اولین ترک و مقاومت نهایی بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. به‌طوریکه برای رده مقاومتی ۴۵ مگاپاسکال با افزودن ۳۵ کیلوگرم الیاف، تعداد 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.



شکل (۶): تأثیر مقدار الیاف در مقاومت ضربه‌ای برای اولین ترک با توجه به رده بتن



شکل (۷): تأثیر مقدار الیاف در مقاومت ضربه‌ای برای گسیختگی نهایی با توجه به رده بتن

شکل های (۶) و (۷) همچنین نشان می دهند که در بتن هایی با رده مقاومتی بالاتر، تأثیر الیاف بر مقاومت ضربه‌ای تا بروز اولین ترک و گسیختگی نهایی بیشتر است. همان گونه 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 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.

۶- نتیجه گیری

- استفاده حداقلی از الیاف فولادی مقاومت ضربه‌ای تا ظهور اولین ترک و رسیدن به مقاومت نهایی بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. حتی مقدار کم الیاف نیز تأثیر قابل توجهی در بهبود مقاومت ضربه‌ای بتن دارد.
- تأثیر الیاف بر مقاومت ضربه‌ای تا بروز اولین ترک و رسیدن بتن به مرحله گسیختگی در بتن‌های توانمند با رده مقاومتی بالا به مراتب بیشتر است.
- نتایج این تحقیق نشان داد که نمونه‌های بتنی فوق توانمند مسلح شده با الیاف در هر شرایط تکیه گاهی، بیشترین مقاومت ضربه‌ای را در مقایسه با بتن با مقاومت بالا از خود نشان می‌دهند.

منابع

- [1] Subramanian, N. (2013). *Design of reinforced concrete structures*. Oxford University Press.
- [2] Wild, S. , Sabir, B. B. , & Khatib, J. M. (1995). Factors influencing strength development of concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1567-1580.
- [3] Zhu, W. , Gibbs, J. C. , & Bartos, P. J. (2001). Uniformity of in situ properties of self-compacting concrete in full-scale structural elements. *Cement and concrete composites*, 23(1), 57-64.
- [4] Dancygier, A. N. , Yankelevsky, D. Z. , & Jaegermann, C. (2007). Response of high performance concrete plates to impact of non-deforming projectiles. *International Journal of Impact Engineering*, 34(11), 1768-1779.
- [5] Richard, P. , & Cheyrezy, M. (1995). Composition of reactive powder concretes. *Cement and concrete research*, 25(7), 1501-1511.
- [6] Pramana, J. H. , Samad, A. A. , Zaidi, A. M. A. , & Riza, F. V. (2010). Preliminary study on lightweight concrete under ballistic loading. *European Journal of Scientific Research*, 44(2), 285-299.
- [7] Ramakrishna, G. , & Sundararajan, T. (2005). Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study. *Cement and concrete composites*, 27(5), 547-553.
- [8] Mehta, P. k, (1986), "Concrete: structure, properties, and materials", prentice-hall inc. , Englewood cliffs, New Jersey.
- [۹] اشرفی، حمیدرضا و ممتاز جهرمی، آزاده، ۱۳۹۲، بررسی رفتار و کاربرد بتن های فوق توانمند با الیاف فولادی UHPFRC، دومین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط زیست، تهران.
- [10] Nili, M. , & Afroughsabet, V. (2012). Property assessment of steel-fibre reinforced concrete made with silica fume. *Construction and Building Materials*, 28(1), 664-669.
- [11] El-Dieb, A. S. (2009). Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultra-high-strength self-compacting concrete incorporating steel fibers. *Materials & Design*, 30(10), 4286-4292.
- [12] Nikoui, A. , Dalvand, A. , Sharbatdar, M. , & Kheyroddin, A. (2015). Experimental and statistical investigation on mechanical properties and impact resistance of synthetic fiber reinforced concrete. *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*, 39(2), 449-468.
- [13] Song, P. S. , Wu, J. C. , Hwang, S. , & Sheu, B. C. (2005). Statistical analysis of impact strength and strength reliability of steel-polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. *Construction and building materials*, 19(1), 1-9.
- [14] Song, P. S. , Wu, J. C. , Hwang, S. , & Sheu, B. C. (2005). Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete. *Cement and concrete research*, 35(2), 393-399.
- [15] Rahmani, T. , Kiani, B. , Shekarchi, M. , & Safari, A. (2012). Statistical and experimental analysis on the behavior of fiber reinforced concretes subjected to drop weight test. *Construction and Building Materials*, 37, 360-369.

- [16] Fakharifar, M. , Dalvand, A. , Arezoumandi, M. , Sharbatdar, M. K. , Chen, G. , & Kheyroddin, A. (2014). Mechanical properties of high performance fiber reinforced cementitious composites. *Construction and building materials*, 71, 510-520.
- [17] Wang, H. T. , & Wang, L. C. (2013). Experimental study on static and dynamic mechanical properties of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 38, 1146-1151.
- [18] Mastali, M. , & Dalvand, A. (2016). The impact resistance and mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with recycled CFRP pieces. *Composites Part B: Engineering*, 92, 360-376.
- [19] Mastali, M. , Dalvand, A. , & Sattarifard, A. R. (2016). The impact resistance and mechanical properties of reinforced self-compacting concrete with recycled glass fibre reinforced polymers. *Journal of Cleaner Production*, 124, 312-324.
- [20] Ouyang, X. , Shi, C. , Wu, Z. , Li, K. , Shan, B. , & Shi, J. (2020). Experimental investigation and prediction of elastic modulus of ultra-high performance concrete (UHPC) based on its composition. *Cement and Concrete Research*, 138, 106241.
- [21] Rezakhani, R. , Scott, D. A. , Bousikhane, F. , Pathirage, M. , Moser, R. D. , Green, B. H. , & Cusatis, G. (2021). Influence of steel fiber size, shape, and strength on the quasi-static properties of ultra-high performance concrete: Experimental investigation and numerical modeling. *Construction and Building Materials*, 296, 123532.
- [22] Fang, H. , Gu, M. , Zhang, S. , Jiang, H. , Fang, Z. , & Hu, J. (2022). Effects of Steel Fiber and Specimen Geometric Dimensions on the Mechanical Properties of Ultra-High-Performance Concrete. *Materials*, 15(9), 3027.
- [23] ACI Committee 211, (1991), "Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete", American Concrete Institute (ACI), report No. ACI 211. 1.
- [24] American Concrete Institute (ACI)-544. (1999) 2R Committee report on Fiber Reinforced Concrete.