

Investigation of Fiber Concrete Behavior with Macro Synthetic Fibers with GFRP Wrap under Impact Load

*Ali Kheyroddin**

*Distinguished professor, Civil Engineering Faculty, Semnan University, Iran
kheyroddin@semnan.ac.ir*

Morteza Binesh

Graduate student, Civil Engineering Faculty, Roshd Danesh insitution, Iran

Mahdi Vahidpour

Graduate student, Civil Engineering Faculty, Semnan University, Iran

Abstract

In this paper, the effects of concrete compressive strength, macro synthetic fibers named MEX-200 and its percentage, and also confinement of concrete cylinders on impact due to free fall of weights to specified mass is investigated in laboratory and the level of concrete destruction is studied. The number of specimens tested is 54 cylindrical specimens classified with 20, 30 and 40 MPa strength and 1, 1.5 and 2% fibers. Specimen weights are recorded before and after impact. In the impact test, the specimens were affected by two weights of 46.7 kg and 66.8 kg with 1.6 meters height. One layer of GFRP with a 90 degree angle was used to confine the specimens. Experimental results show that specimens with 20, 30 and 40 MPa strength without GFRP wrap, with 1 and 1.5% fibers, 33%, 25% and 20% respectively, and with 2% fibers, 66%, 50% and 40% increase the number of impact compared to specimens without fibers. For specimens with 20, 30 and 40 MPa with GFRP wrap, for without fibers, 500%, 400% and 340%, and for 1% fibers, 530%, 425% and 360%, and for 1.5% fiber, 566%, 450% and 360%, and for 2% fiber, 600%, 475% and 400% increase in the number of impacts is observed.

Keyword: Fiber, confinement, GFRP, Free fall, impact, Compressive strength, macro synthetic

بررسی رفتار ضربه ای بتن های الیافی ماکروسنتتیک

با دورپیچ کامپوزیت GFRP

دریافت مقاله: ۱۶-۱۱-۱۳۹۷

پذیرش مقاله: ۱۰-۰۲-۱۳۹۹

علی خیرالدین*

استاد ممتاز دانشکده عمران دانشگاه سمنان

kheyroddin@semnan.ac.ir

مرتضی بینش

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، موسسه رشد دانش

مهدی وحیدپور

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه سمنان

چکیده

در این مقاله اثر مقاومت فشاری، اثر الیاف ماکروسنتتیک با نام MEX-200 و درصد آن، اثر محصورشدگی نمونه های استوانه ای بتنی در برابر ضربه وارد بر اثر سقوط آزاد وزنه به جرم مشخص به صورت کار آزمایشگاهی بررسی می شود و مقدار تخریب بتن مورد مطالعه قرار می گیرد. تعداد نمونه های مورد آزمایش ۵۴ عدد نمونه استوانه ای می باشد که با مقاومت ۲۰، ۳۰ و ۴۰ مگاپاسکال و ۱، ۱/۵ و ۲ درصد الیاف طبقه بندی می شوند. وزن نمونه ها قبل از ضربه و بعد از ضربه ثبت می شود. در آزمایش ضربه، نمونه ها تحت اثر دو وزنه ۴۶/۷ کیلوگرم و ۶۶/۸ کیلوگرم قرار می گیرند. برای محصورشدگی نمونه ها از GFRP با یک لایه و با زاویه ۹۰ درجه استفاده شده است. نتایج آزمایشات نشان می دهد برای نمونه های با مقاومت ۲۰، ۳۰ و ۴۰ مگاپاسکال با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف به ترتیب ۳۳، ۲۵ و ۲۰ درصد، با ۲ درصد الیاف ۶۶، ۵۰، ۴۰ درصد افزایش تعداد ضربه نسبت به نمونه بدون الیاف مشاهده می شود. برای نمونه های با مقاومت ۲۰، ۳۰ و ۴۰ مگاپاسکال با دورپیچ به ترتیب ۵۰۰، ۴۰۰ و ۳۴۰ درصد و برای ۱ درصد الیاف ۵۳۰، ۴۲۵ و ۳۶۰ درصد برای ۱/۵ درصد الیاف ۵۶۶، ۴۵۰ و ۳۶۰ درصد برای ۲ درصد الیاف ۶۰۰، ۴۷۵ و ۴۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه مشاهده می شود.

واژگان کلیدی: الیاف، محصورشدگی، GFRP، سقوط آزاد، ضربه، مقاومت فشاری، ماکروسنتتیک

بتن مسلح الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل پذیر را فراهم می آورد. پروژه هایی که از سیستم FRP در سراسر جهان استفاده می کنند، به طور چشمگیری از سی سال پیش تا کنون رشد نموده است. اعضای سازه ای که توسط سیستم های FRP مقاوم سازی می شوند عبارت اند از تیرها، دال ها، ستون ها، دیوار ها، اتصالات و سازه هایی همانند کوره ها و دودکش ها، طاق ها، گنبدها، تونل ها، پل ها، سیلوها، لوله ها و خرپاها. سیستم های FRP همچنین جهت مقاوم سازی سازه های بنایی، چوبی، فولادی و چدنی مورد استفاده قرار گرفته اند. در این مقاله اثر الیاف ماکروسنتتیک (MEX-200)، دورپیچ GFRP و مقاومت فشاری در مقابل ضربه بررسی شده است. آزمایش انجام شده بر اساس سقوط آزاد وزنه به وزن مشخص و ارتفاع مشخص صورت گرفته است و اثر درصد الیاف، مقدار مقاومت فشاری و محصورشدگی بتن مشخص شده است.

اولین تلاش اصلی برای مسلح کردن بتن به وسیله جاگذاری الیاف فولادی توسط بتسون^۱ و رومالدی^۲ در دهه ۱۹۶۰ در کشور آمریکا صورت گرفت. بعد از آن، تحقیقات و کاربردهای صنعتی بسیار زیادی درباره بتن مسلح با الیاف فولادی صورت گرفته است [۱]. تحقیقات انجام شده توسط رومالدی و بتسون، رومالدی و مندل^۳ در اواخر دهه ۱۹۵۰ و اوایل دهه ۱۹۶۰ نشانگر اولین گام های عمده به سوی توسعه تکنولوژی ساخت بتن های مسلح به الیاف فولادی^۴ (SFRC) بود. هر چند که از ابتدای قرن بیستم مجوز رسمی برای انواع مختلف بتن های مسلح با فولاد، صادر گردید اما توسعه فناوری بتن های مسلح به الیاف فولادی تا اواخر دهه ۱۹۵۰ پیشرفت چندانی نکرد. نیلی و افروغ ثابت^۵ در سال ۲۰۰۹ میلادی، تأثیر میزان الیاف و سیلیکافوم را هم به صورت جداگانه و هم به صورت هم زمان بر روی نمونه های بتنی با مقاومت ۳۳ و ۴۸ مگاپاسکال به وسیله آزمون سقوط چکش بررسی کردند. در این سری از آزمایش ها، یک چکش فولادی به جرم ۴/۴۵ کیلوگرم بر روی گوی فولادی به قطر ۶/۳۵ سانتی متر که بر روی نمونه های بتنی به طول ۲۰۰ میلی متر و قطر ۱۰۰ میلی متر قرار می گیرد، سقوط می کند. محققان نتایج بررسی خود را در اصطلاح های ضربات لازم برای اولین ترک قابل رویت (N_I) و گسیختگی نهایی (N₂) گزارش داده اند [۲]. چندین روش آزمایش برای تعیین مقاومت ضربه ای بتن های الیافی وجود دارد که ساده ترین آنها، آزمایش سقوط وزنه است که توسط کمیته ACI 544 پیشنهاد شده است. نتایج آزمایشگاهی از نمونه های بتنی حاوی یک تا دو درصد الیاف پلی پروپیلنی نشان داده است که مقاومت ضربه ای بتن (هم در اولین ترک خوردگی قابل رویت و هم در شکست نهایی)، در مقایسه با بتن غیرمسلح افزایش یافته است [۳]. ناتاراجا و همکارانش^۶ در سال ۲۰۰۵ میلادی، مقاومت ضربه ای بتن مسلح شده را توسط ماشین سقوط چکش با الیاف فولادی با نسبت ظاهری الیاف (یعنی نسبت طول به قطر) برابر با ۴۰ را در دو مقاومت ۳۰ و ۵۰ مگاپاسکال بررسی کردند. نتایج نشان داده است که مقاومت ضربه ای برای همه نمونه ها در اولین ترک خوردگی و شکست نهایی با افزایش درصد حجمی الیاف، بالا می رود. آن ها دریافتند که افزودن ۰/۵ درصد الیاف فولادی سبب افزایش مقاومت ضربه ای نمونه بتن الیافی در

¹ Baston² Ramualdi³ Mendel⁴ Steel Fiber reinforced concrete⁵ M. Nili and V. Afrough Sabet⁶ M. C. Nataraja et al

اولین ترک و گسیختگی نهایی به ترتیب تا ۳ و ۴ برابر نسبت به بتن غیر مسلح می‌شود. این مقادیر برای بتن با مقاومت ۵۰ مگاپاسکال به ترتیب برابر با ۷ و ۱۰ ضربه گزارش شده است [۴].

فرنام در سال ۲۰۰۸ میلادی، یک نوع بتن خودمتراکم مسلح شده با الیاف (که میزان الیاف دو درصد حجم بتن عنوان شده بود) را به وسیله آزمون سقوط چکش به وزن ۸/۵ کیلوگرم که از ارتفاع یک متری تحت وزن خود بر روی پانل‌های بتنی ساخته شده سقوط می‌کرد، مورد ارزیابی ضربه‌ای قرار داد. او همچنین برای این که بتواند تأثیر افزودن الیاف فولادی را بر روی نمونه‌های مسلح شده مشاهده نماید، نمونه‌های کنترلی بدون الیاف را نیز از همان طرح اختلاط تهیه نمود. مقدار مقاومت متوسط بتن خودمتراکم ساخته شده از اندازه‌گیری سه نمونه و میانگین‌گیری بین آن‌ها بدست آمد و تقریباً برابر با ۱۰۰ مگاپاسکال گزارش شده بود [۵].

تسو - لیانگ تنگ و همکارانش در سال ۲۰۰۸ میلادی، سه نوع بتن مسلح شده با الیاف فولادی را با مقاومتی در حدود ۳۰ مگاپاسکال به روش‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی تحت برخورد پرتابه با سرعت بالا مورد بررسی قرار دادند. در شبیه‌سازی‌های انجام شده، از مدل مصالح ارتجاعی - خمیری هیدرودینامیک برای مدل کردن رفتار بتن‌های الیافی استفاده شده بود. نتایج عددی بدست آمده در مؤلفه‌های قطر حفره در جلو و پشت نمونه و همچنین سرعت پسماند پرتابه، تطابق خوبی را با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند [۶].

حدود سه دهه است که از تولید بتن‌های با مقاومت بسیار بالا، می‌گذرد. اما همچنان نتایج آزمایشگاهی و عددی محدودی از رفتار این مصالح تحت بارگذاری‌های مختلف در دسترس است.

انواع مختلف الیاف پلیمری به منظور تقویت مواد با پایه سیمانی به کار گرفته شده است. بسیاری از این الیاف از قبیل پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی‌استر و آکرلیک نشان داده‌اند که به طور چشمگیری امکان تقویت را دارند و در حال حاضر به صورت تجاری در دسترس می‌باشند. انواع دیگر الیاف پلاستیکی از قبیل پلی‌آمیدهای با مقاومت بالا (نایلون)، الیاف آرامید و الیاف پلی‌اتیلن با مدول الاستیسیته بالا، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد اما نباید نقش تجاری حال حاضر آن‌ها برای تقویت ملات‌های با پایه سیمانی، ناچیز و بی‌اهمیت شمرده شود [۷].

در سال ۱۹۶۵ گروه مهندسين ارتش آمریکا الیاف پلی‌پروپیلن را به عنوان تقویت کننده بتن در ساخت سازه‌های مقاوم در برابر انفجار به کار بردند [۸]. آن‌ها دریافتند که اضافه کردن مقدار کمی از الیاف پلی‌پروپیلن به بتن (کمتر از ۰/۵ درصد حجمی) منجر به افزایش اساسی در انعطاف‌پذیری و مقاومت ضربه‌ای می‌شود. از زمان کار گلدفین در سال ۱۹۶۵ الیاف پلی‌پروپیلن نه تنها بعنوان یک منبع اولیه در تقویت بتن، بلکه بعنوان مکملی در جهت بهبود برخی خصوصیات مصالح بتن بکار رفته است.

میرمیران و همکاران [۹] در سال ۱۹۹۷، مطالعاتی به منظور بررسی اثر محصور شدگی با الیاف CFRP بر روی نمونه‌های استوانه‌ای بتنی انجام دادند. این محققین نتیجه گرفتند که دورپیچ کردن نمونه‌ها با محدود کردن اتساع جانبی بتن باعث افزایش مقاومت و شکل‌پذیری آن‌ها می‌گردد. سامان و همکاران [۱۰] در سال ۱۹۹۸، مدلی دو خطی برای منحنی تنش - کرنش لوله‌های FRP پر شده از بتن ارائه نمودند که شیب خط اول تا نزدیکی مقاومت فشاری غیر محصور بتن، معادل مدول الاستیسیته بتن است و شیب قسمت دوم تابع سختی دورپیچ محصورکننده می‌باشد. ژیانو و وو [۱۱] در سال ۲۰۰۰، اثر مقاومت بتن ساده و تعداد لایه‌های FRP را بر رفتار فشاری بتن

محصول شده بررسی نمودند و نتیجه گرفتند مود شکست حاکم بر نمونه ها، پارگی ورق FRP می باشد. لم و همکاران با انجام برنامه آزمایشگاهی بر روی نمونه های استوانه ای استاندارد دورپیچ شده با مصالح FRP ضمن ارائه روابطی برای پیش بینی منحنی تنش - کرنش، دریافتند این فرض که زمانی که ورق FRP در بتن محصور شده به مقاومت کششی خود برسد دچار گسیختگی می شود، صحیح نیست و این اتفاق قبل از رسیدن به این مقاومت رخ می دهد. این محققین بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی و تحلیل آماری آن، کرنش پارگی در نمونه های استوانه ای دورپیچ شده توسط FRP را برابر ۰/۶۳۲ کرنش نهایی آن برای جنس های متفاوت FRP در تست کشش خالص پیشنهاد نمودند. فخاری فر و همکاران [۱۲] نیز آزمایش هایی در رابطه به کامپوزیت های سیمانی فوق توانمند الیافی انجام داده اند. نتیجه مطالعات آن ها نشان داده است که مقاومت فشاری، شکل پذیری و مقاومت در برابر ضربه از توزیع طبیعی پیروی می کند، هم چنین تجزیه و تحلیل داده های آماری هم پارامتریک هم غیر پارامتریک نشان داده است که درصدهای بالاتر الیاف مشخصات مکانیکی و مقاومت ضربه را افزایش می دهد. صدرائی، خالو و سلطانی در سال ۲۰۱۹ [۱۳]، تاثیر جنس میلگردها، مقدار و نوع مسلح سازی، مقاومت بتن و ضخامت دال را بر روی رفتار مکانیکی دال های بتن مسلح، به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دارند. نتایج نشان دادند که با افزایش درصد تقویت یا ضخامت دال، رفتار دال های بتنی مسلح، تحت بار ضربه ای بهبود یافتند. با تنظیم میزان GFRP، دال های دارای GFRP کارایی بهتری را نسبت به دال های دارای فولاد، از خود ارائه دادند و با در نظر گرفتن مقاومت خوردگی این مصالح، می توانند یک جایگزین امیدبخش برای مصالح مسلح سازی فعلی باشند.

۳- ساخت نمونه ها

در این آزمایش نامگذاری نمونه ها طبق مقاومت فشاری، الیاف و درصد آن صورت گرفته است. برای اختلاط از میکسر بتن و به جای استفاده از قالب فولادی از لوله های پلیکا به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر استفاده شده است. الیاف مورد استفاده در این آزمایش الیاف ماکروسنتتیک با نام تجاری MEX-200 است که مشخصات الیاف در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مشخصات الیاف ماکروسنتتیک

رزین پایه	اولفین اصلاح شده	درجه ذوب	۱۶۰ درجه سانتی گراد
طول الیاف	۴۰ میلی متر	درجه احتراق	۴۵۰ درجه سانتی گراد
چگالی نسبی	۰/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب	رنگ	طبیعی
مقاومت کششی	۴۵۰ مگاپاسکال	مقاومت قلبایی	عالی
مدول الاستیسیته	۳/۶ گیگاپاسکال	سطح بتن	تجاری
		جذب آب	صفر

نمونه ها پس از ۲۴ ساعت از لوله خارج شده و به مدت ۲۸ روز در آب قرار گرفتند و سپس آزمایش مقاومت فشاری و ضربه انجام شده است. برای محصورشدگی بتن از کامپوزیت مسلح پلیمری شیشه بصورت محیطی و عمود بر نمونه با زاویه ۹۰ درجه استفاده شده است که مشخصات الیاف شیشه مورد استفاده در آزمایش در جدول ۲ آمده است. زرین مصرف شده نیز از نوع Sikadur®-330 محصول شرکت Sika است که در جدول ۳ تمامی مشخصات آن ذکر شده است.

جدول ۲- مشخصات الیاف شیشه

نام محصول	نوع الیاف	مقاومت (MPa)	سختی (GPa)	وزن واحد سطح (g/m^2)	ضخامت الیاف (mm)
Kor-GFW600	E-Glass	2300	76	600	0.23

جدول ۳- مشخصات رزین Sikadur®-330

پایه شیمیایی	رزین اپوکسی
بسته بندی	۵ کیلوگرم (A+B)
رنگ	A: سفید B: خاکستری
عمر مفید	تا ۲۴ ماه پس از تاریخ تولید
شرایط نگهداری	نگهداری در ظرف اصلی، مهر و موم شده، باز نشده و آسیب ندیده در هوای خشک در دمای ۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد و دور از تابش مستقیم نور خورشید
چگالی	1.1 ± 0.1 کیلوگرم بر لیتر (برای مخلوط حاوی A و B در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد)
ویسکوزیته	نرخ برش 50/s +10 °C ~10000 mpas +23 °C ~6000 mpas +35 °C ~5000 mpas
مدول الاستیسیته در خمش	تقریباً ۳۸۰۰ نیوتن بر میلی متر مربع (۷ روز در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد)
مقاومت کششی	تقریباً ۳۰ نیوتن بر میلی متر مربع (۷ روز در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد)
مدول الاستیسیته در کشش	تقریباً ۴۵۰۰ نیوتن بر میلی متر مربع (۷ روز در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد)
تغییر طول تا گسیختگی	۰/۹ درصد (۷ روز در دمای ۲۳ درجه سانتی گراد)
ضریب انبساط حرارتی	$4.5 \times 10^{-5} 1/K$ (در دمای ۱۰- تا ۴۰+ درجه سانتی گراد)
نسبت اختلاط	نسبت ماده A به B = ۴ برابر وزنی
طریقه مخلوط کردن	حداقل ۳ دقیقه توسط دریل با حداکثر ۳۰۰ دور در دقیقه و در انتها بیشتر از یک دقیقه با دور کند برای باقی ماندن حداقل هوا مخلوط هم زده شود.

۴- دستگاه ضربه

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود دستگاه ضربه مورد نظر بر روی یک کف صلب ساخته شده از تیر ورق قرار داده شده است که عرض هر تیر ورق ۳۰ سانتی متر و ابعاد کلی کف ۱×۲×۳ متر (ارتفاع ۱، عرض ۲ و طول ۳ متر) می باشد. بتن کف (محل قرارگیری نمونه) از بتن با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال تهیه شده است.



شکل ۱- دستگاه ضربه

فریم کلی دستگاه به صورت خریایی از دو بل ناودانی ۲۰ و تیر آهن بالایی (محل اتصال قرقره) نمره ۱۴ می باشد. ارتفاع دستگاه ۳۱۰ سانتی متر عرض آن در قسمت تحتانی ۲۵۰ سانتی متر می باشد. وزنه های مورد استفاده از جنس چدن نشکن بوده و دارای ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی متر می باشند که توسط فرایند ریخته گری تولید شده اند. برای انجام تست ها از دو حالت وزنه به وزن های ۶۶/۸ کیلوگرم و ۴۶/۷ کیلوگرم استفاده شده و ارتفاع سقوط آزاد وزنه ۱۶۰ سانتی متر است. لازم به ذکر است که انتخاب وزن وزنه ها و ارتفاع سقوط بر اساس استانداردهای بین المللی که برای ضربه تعریف شده اند، محاسبه شده است [۱۵]. بتن کف در طول زمان آزمایش از خود مقاومت کافی نشان داده و بدون تخریب باقی ماند. همه ی نمونه ها بر روی دال بتنی قرار گرفته بودند و اتصالی بین دال بتنی و نمونه ها وجود نداشت. وزنه ها توسط یک بالابر ساختمانی و قرقره بالا برده می شود و طناب وزنه با رعایت شاقول بودن و عدم انحراف وزنه بریده می شود. مقدار وزن اولیه نمونه و وزن پس از هر ضربه اندازه گیری شده است تا درصد تخریب محاسبه شود. سطحی که به آن وزنه وارد می شود، در شکل ۲ نشان داده شده است. سیمان مصرفی در این آزمایش سیمان پرتلند تیپ ۲ می باشد. خصوصیات سیمان در جدول ۴ نشان داده شده است، رویه ساخت بتن به این صورت است که ابتدا سیمان به همراه سنگدانه به مدت یک دقیقه مخلوط شدند. در مرحله بعد آب به مخلوط اضافه شده و به مدت دو دقیقه مخلوط شدند، در نهایت الیاف اضافه شد. طرح اختلاط ساخت نمونه ها در جدول ۵ ذکر شده است.



شکل ۲- سطحی که ضربه به آن وارد می شود

جدول ۴- خصوصیات سیمان پرتلند تیپ ۲

ترکیب	C_4AF	C_3A	C_2S	C_3S	CaO	Na_2O	K_2O	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2
درصد	۱۱/۹	۵/۱	۲۲/۷	۵۱	۶۳/۳۳	۰/۳۹	۰/۵۲	۱/۵۶	۳/۸۸	۴/۳۷	۲۱/۱
خصوصیات فیزیکی											
چگالی						۳/۱۱					
سطح مخصوص						۳۰۰۰ سانتی متر مربع بر گرم					

جدول ۵- طرح اختلاط ساخت نمونه ها

نمونه	مقدار شن کیلوگرم بر متر مکعب	مقدار ماسه کیلوگرم بر متر مکعب	مقدار سیمان کیلوگرم بر متر مکعب	درصد آب به سیمان	درصد وزنی الیاف نسبت به سیمان	مقدار الیاف گرم
نمونه ۲۰۰	۵/۸	۵/۸	۱/۳۲	۰/۵	۰	۰
	۵/۸	۵/۸	۱/۳۲	۰/۵	۱	۱۳
	۵/۸	۵/۸	۱/۳۲	۰/۵	۱/۵	۱۹/۵
	۵/۸	۵/۸	۱/۳۲	۰/۵	۲	۲۶/۵
نمونه ۳۰۰	۵/۶	۵/۶	۱/۸۵	۰/۵	۰	۰
	۵/۶	۵/۶	۱/۸۵	۰/۵	۱	۱۸/۵
	۵/۶	۵/۶	۱/۸۵	۰/۵	۱/۵	۲۷/۵
	۵/۶	۵/۶	۱/۸۵	۰/۵	۲	۳۷
نمونه ۴۰۰	۵/۵	۵/۵	۲/۳۸	۰/۵	۰	۰
	۵/۵	۵/۵	۲/۳۸	۰/۵	۱	۲۳/۵
	۵/۵	۵/۵	۲/۳۸	۰/۵	۱/۵	۳۸/۵
	۵/۵	۵/۵	۲/۳۸	۰/۵	۲	۴۷/۵

همچنین لازم به ذکر است که پس از اعمال ضربه بر روی نمونه‌ها، هیچ‌گونه برجهندگی در نمونه‌ها مشخص نشد.

۵- ضربه

اصل ضربه و مومنتوم، کاربردی مهم در تشریح رفتار اجسام در خلال برخورد با یکدیگر دارد. برخورد یعنی تصادف بین ۲ جسم و مشخصه آن، تولید نیروهای ضربه‌ای نسبتاً بزرگ در مدت خیلی کوتاه است. پیش از شروع بررسی این مطلب، بایستی خاطر نشان گردد که برخورد پدیده‌ای بسیار پیچیده بوده و شامل تغییر شکل ماده، بازگشت به وضعیت اولیه، تولید حرارت و تولید صوت می‌باشد. تغییراتی کوچک در شرایط برخورد، می‌تواند باعث تغییراتی بزرگ در فرایند برخورد و همچنین در شرایط بلافاصله پس از برخورد، گردد. بنابراین باید دقت نمود که به نتایج حاصل از محاسبات برخورد، زیاد اعتماد و تکیه نشود [۱۳].

با توجه به قانون اول نیوتون داریم:

$$F=ma \quad (1)$$

با توجه به فرمول ۱ نیرو برابر است با حاصلضرب جرم در شتاب، اگر از دو طرف انتگرال بگیریم داریم، در سمت چپ داریم:

$$\int_{t_i}^{t_f} F(t) dt = p(t_f) - p(t_i) = \Delta p = j$$

$$M \int_{t_i}^{t_f} a dt = M (V(t_f) - V(t_i)) = M \Delta V$$

از طرفی در سمت راست داریم:

$$J=M\Delta V \quad (2)$$

در رابطه ۲، V همان سرعت لحظه برخورد است، J ضربه و m جرم وزنه است. سرعت وزنه در هنگام برخورد از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V=\sqrt{2gh} \quad (3)$$

که g شتاب ثقل زمین و h ارتفاع سقوط است. برای محاسبه مدت زمان برخورد از یک دوربین با قابلیت فیلم برداری ۹۶۰ فریم بر ثانیه استفاده شده است و بر اساس اندازه گیری‌های انجام شده متوسط زمان برخورد ۱۰ ضربه با نمونه‌های مختلف برابر ۰/۱۲ ثانیه است. سرعت برخورد هم از رابطه ۳ مساوی ۵/۶ متر بر ثانیه و ارتفاع هم ۱/۶ متر است بنابراین داریم:

نیروی ضربه انتقالی از وزنه به نمونه برای وزنه ۴۶/۷ کیلوگرم:

$$J_{46,7}=2179.33 \text{ kg}$$

نیروی ضربه انتقالی از وزنه به نمونه برای وزنه ۶۶/۸ کیلوگرم:

$$J_{66.8}=3117.33 \text{ kg}$$

بنابراین در هر بار برخورد وزنه به نمونه به طور تقریبی مقدار نیروی ذکر شده در بالا به نمونه منتقل می‌شود. به توجه به آزمایش ضربه پیشنهاد شده در ACI Committee 544 [۳] که یک چکش به وزن ۴/۴۵ کیلوگرم به طور مکرر از ارتفاع ۴۵۷ میلی‌متری بر روی یک توپ فولادی به قطر ۶۳/۵ میلی متر رها می‌شود.

$$U=mgh$$

(۴)

در رابطه ۴، m جرم وزنه، g شتاب ثقل زمین و h ارتفاع سقوط است. با استفاده از رابطه ۴ انرژی این آزمایش با روش ACI Committee 544 [۳] در جدول ۶ مقایسه شده است.

جدول ۶- مقایسه انرژی آزمایش با روش ACI

نسبت مقدار انرژی وارد به نمونه بتنی به آزمایش ACI	ارتفاع (متر)	وزنه (کیلوگرم)
۳۶/۷۴	۱/۶	۴۶/۷
۵۲/۵۵	۱/۶	۶۶/۸

با توجه به جدول ۶ مقدار نیروی این آزمایش برای وزنه ۴۶/۷ و ۶۶/۸ به ترتیب ۳۶/۷۴ و ۵۲/۵۵ برابر آزمایش پیشنهادی ACI است.

۶- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

بر روی نمونه‌های شاهد آزمایش مقاومت فشاری صورت گرفته است و از هر مقاومت ۲ نمونه تهیه شده و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها توسط دستگاه تعیین شده که در جدول ۷ به طور خلاصه آمده است.

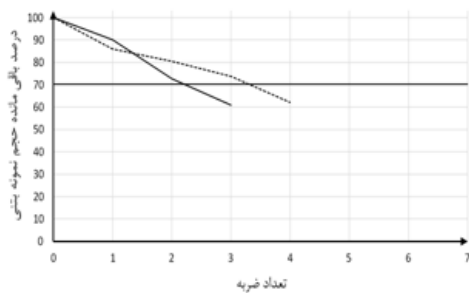
جدول ۷- مقاومت فشاری نمونه‌ها

نمونه	مقاومت فشاری نمونه ی استوانه ای (مگاپاسکال)
مقاومت ۲۰۰	۱۷/۹
	۱۸/۵
مقاومت ۳۰۰	۲۷/۷
	۲۸/۳
مقاومت ۴۰۰	۳۷/۷
	۳۹/۲

۷- نتایج آزمایش ضربه

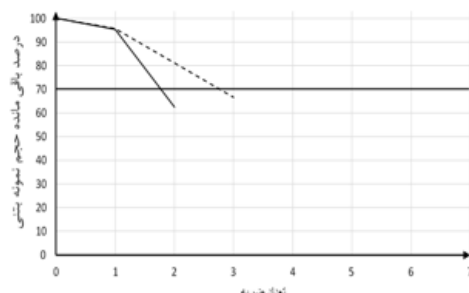
با توجه به آزمایش انجام شده بر روی نمونه‌های استوانه‌ای بتنی با دو وزنه ۶۶/۸ و ۴۶/۷ کیلوگرمی نتایج زیر حاصل می‌شود.

با توجه به شکل های ۳ تا ۶ نمونه با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال با وزنه ۴۶/۷ با ۳ ضربه و با وزنه ۶۶/۸ با ۲ ضربه ۳۰ درصد حجم خود را از دست دادند که این اعداد برای نمونه بتنی با همین مقاومت با ۱ درصد الیاف ۴ و ۳ ضربه بوده است که افزایش داشته است. برای الیاف ۱/۵ درصد این اعداد ثابت مانده و با ۲ درصد الیاف تعداد ضربات به ۵ و ۳ رسیده است که افزایش داشته است.



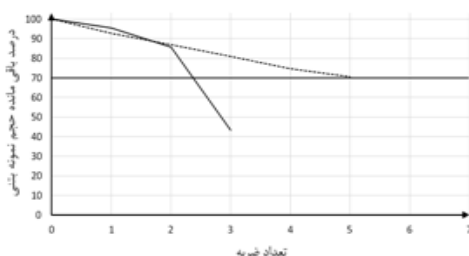
— 200-MO-1% (66.8Kg) - - - - 200-MO-1% (46.7Kg)

شکل ۴- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۱ درصد الیاف و بدون دورپیچ



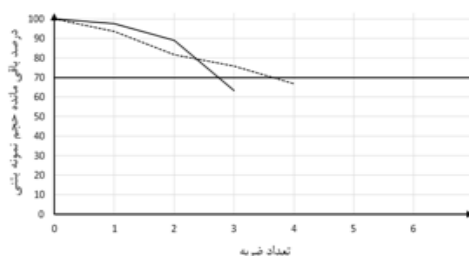
— 200-(66.8Kg) - - - - 200-(46.7Kg)

شکل ۳- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع



— 200-MO-2% (66.8Kg) - - - - 200-MO-2% (46.7Kg)

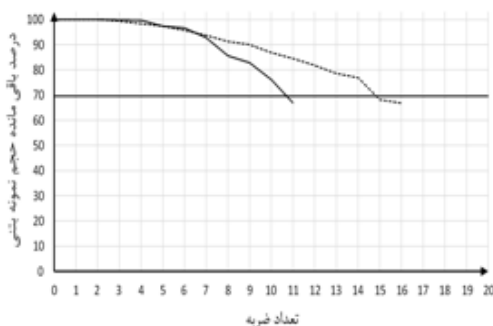
شکل ۶- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۲ درصد الیاف و بدون دورپیچ



— 200-MO-1.5% (66.8Kg) - - - - 200-MO-1.5% (46.7Kg)

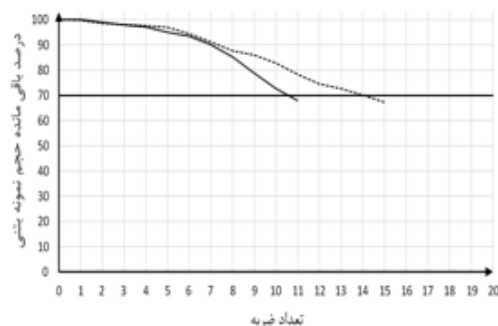
شکل ۵- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۱/۵ درصد الیاف و بدون دورپیچ

با توجه به شکل های ۷ تا ۱۰ با دورپیچ کردن نمونه با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال تعداد ضربات بطور قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته است و برای نمونه ساده ۱۵ و ۱۱، با ۱ درصد الیاف ۱۶ و ۱۱، با ۱/۵ درصد الیاف ۱۷ و ۱۲، با ۲ درصد الیاف ۱۸ و ۱۲ ضربه به ترتیب برای وزنه ۴۶/۷ و ۶۶/۸ کیلوگرم است که محصورشدگی تاثیر زیادی داشته است.



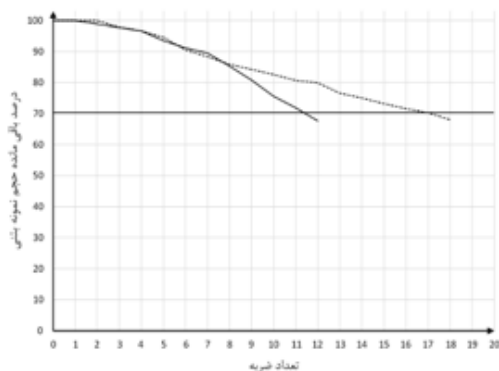
— 200-GFRP-MO-1% (66.8Kg) - - - - 200-GFRP-MO-1% (46.7Kg)

شکل ۸- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۱ درصد الیاف و دورپیچ

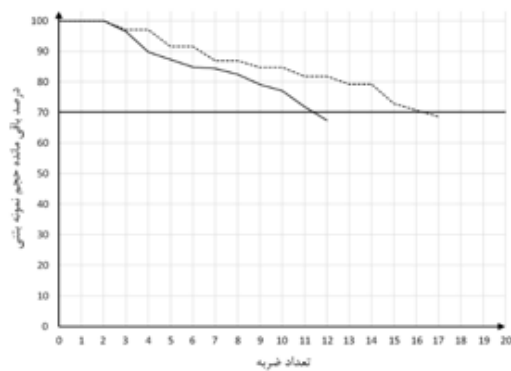


— 200-GFRP-(66.8Kg) - - - - 200-GFRP-(46.7Kg)

شکل ۷- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با دورپیچ

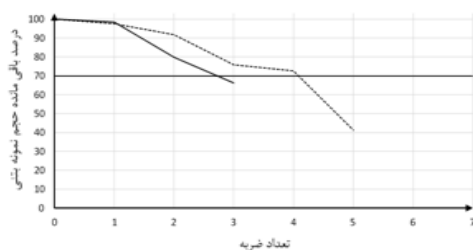


شکل ۱۰- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۲ درصد الیاف و دورپیچ

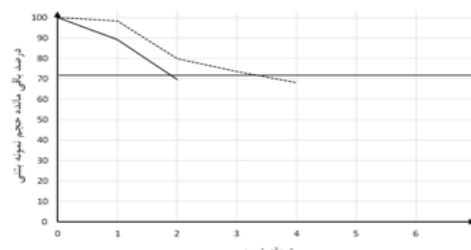


شکل ۹- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۱/۵ درصد الیاف و دورپیچ

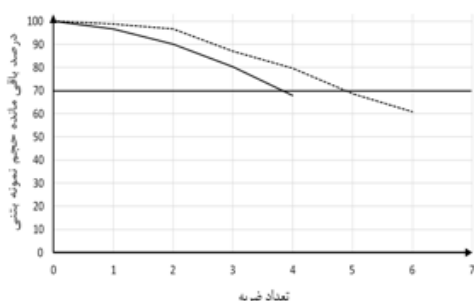
با توجه به شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ نمونه با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال با وزنه ۴۶/۷ با ۴ ضربه و با وزنه ۶۶/۸ با ۲ ضربه ۳۰ درصد حجم خود را از دست دادند که این اعداد برای نمونه بتنی با همین مقاومت با ۱ درصد الیاف ۵ و ۳ ضربه بوده است که افزایش داشته است. برای الیاف ۱/۵ درصد این اعداد ثابت مانده و در این ضربه مقدار افزایش ۰/۵ درصدی الیاف تاثیری در تعداد ضربه نداشته است ولی با ۲ درصد الیاف تعداد ضربات به ۶ و ۴ رسیده است که افزایش داشته است.



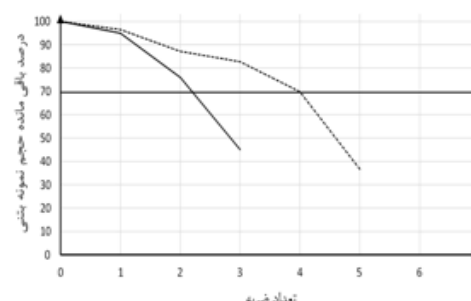
شکل ۱۲- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۱ درصد الیاف و بدون دورپیچ



شکل ۱۱- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع

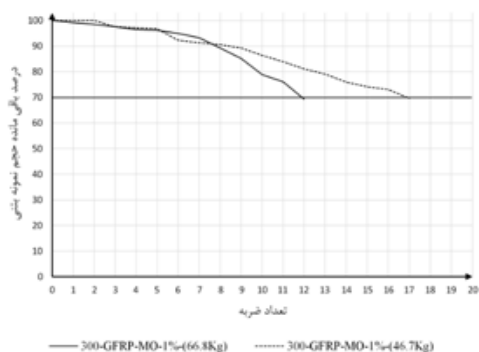


شکل ۱۴- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۲ درصد الیاف و بدون دورپیچ

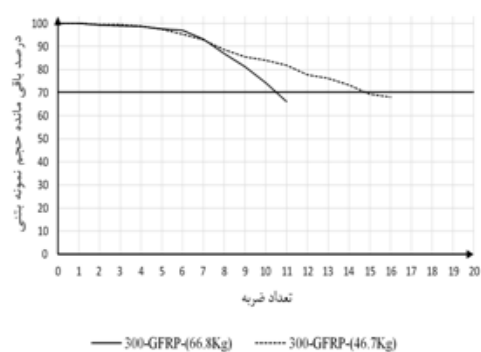


شکل ۱۳- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۱/۵ درصد الیاف و بدون دورپیچ

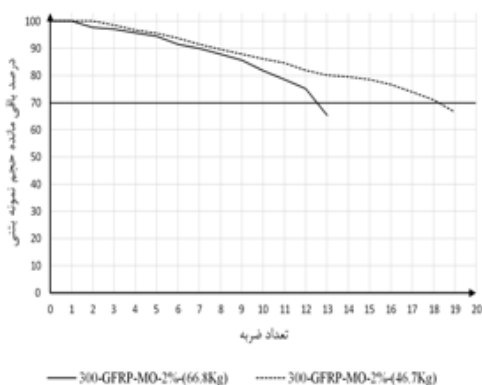
با توجه به شکل‌های ۱۵ تا ۱۸ با دورپیچ کردن نمونه با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال مربع تعداد ضربات افزایش چشمگیری داشته است و برای نمونه ساده ۱۶ و ۱۱، با ۱ درصد الیاف ۱۷ و ۱۲، با ۱/۵ درصد الیاف ۱۸ و ۱۲، با ۲ درصد الیاف ۱۹ و ۱۳ ضربه به ترتیب برای وزنه ۴۶/۷ و ۶۶/۸ کیلوگرم است که محصورشدگی تاثیر زیادی داشته است.



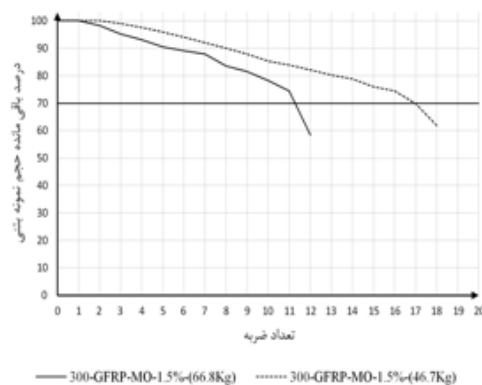
شکل ۱۵- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۱ درصد الیاف و دورپیچ



شکل ۱۶- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با دورپیچ

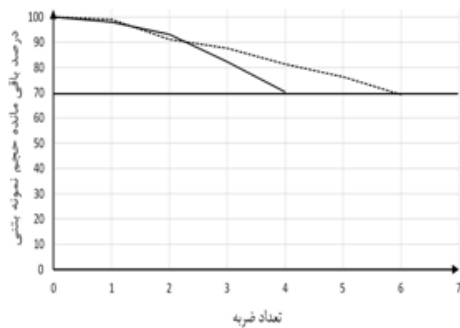


شکل ۱۷- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۲ درصد الیاف و دورپیچ



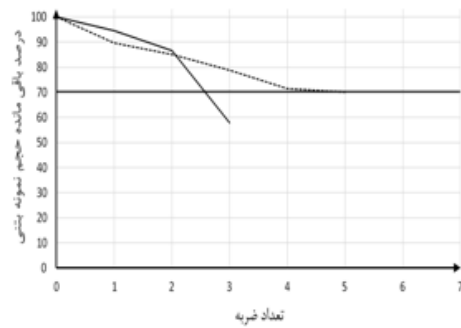
شکل ۱۸- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۱/۵ درصد الیاف و دورپیچ

با توجه به شکل‌های ۱۹ تا ۲۲ نمونه با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال با وزنه ۴۶/۷ با ۵ ضربه و با وزنه ۶۶/۸ با ۳ ضربه ۳۰ درصد حجم خود را از دست دادند که این اعداد برای نمونه بتنی با همین مقاومت با ۱ درصد الیاف ۶ و ۴ ضربه بوده است که افزایش داشته است. برای الیاف ۱/۵ درصد این اعداد ثابت مانده و در این ضربه مقدار افزایش ۰/۵ درصدی الیاف تاثیری در تعداد ضربه نداشته است، با ۲ درصد الیاف تعداد ضربات به ۷ و ۵ رسیده است که افزایش داشته است.



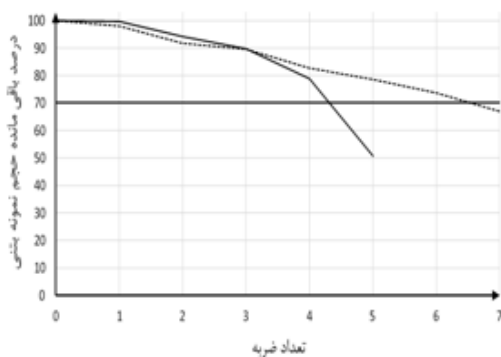
— 400-MO-1% (66.8Kg) 400-MO-1% (46.7Kg)

شکل ۲۰- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۱ درصد الیاف و بدون دورپیچ



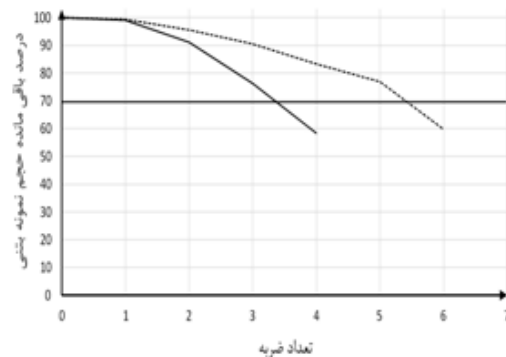
— 400-(66.8Kg) 400-(46.7Kg)

شکل ۱۹- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع



— 400-MO-2% (66.8Kg) 400-MO-2% (46.7Kg)

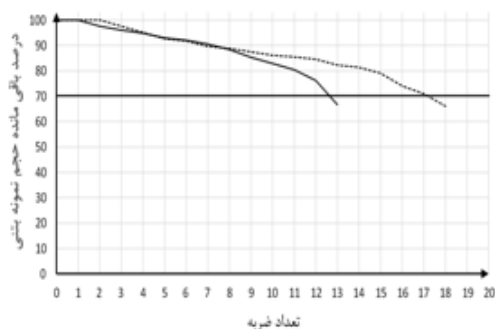
شکل ۲۲- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۲ درصد الیاف و بدون دورپیچ



— 400-MO-1.5% (66.8Kg) 400-MO-1.5% (46.7Kg)

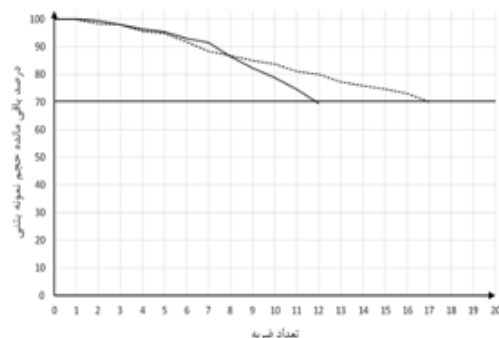
شکل ۲۱- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و با ۱/۵ درصد الیاف و بدون دورپیچ

با توجه به شکل‌های ۲۳ تا ۲۶ با دورپیچ کردن نمونه با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال تعداد ضربات افزایش می‌یابد و برای نمونه ساده ۱۷ و ۱۲، با ۱ درصد الیاف ۱۸ و ۱۳، با ۱/۵ درصد الیاف ۱۸ و ۱۳، با ۲ درصد الیاف ۲۰ و ۱۴ است که محصورشدگی تاثیر زیادی داشته است.



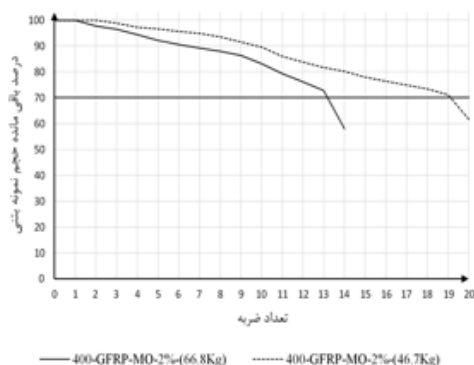
— 400-GFRP-MO-1% (66.8Kg) 400-GFRP-MO-1% (46.7Kg)

شکل ۲۴- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۱ درصد الیاف و دورپیچ

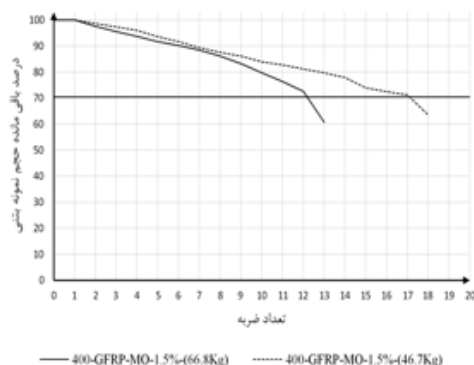


— 400-GFRP (66.8Kg) 400-GFRP (46.7Kg)

شکل ۲۳- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با دورپیچ

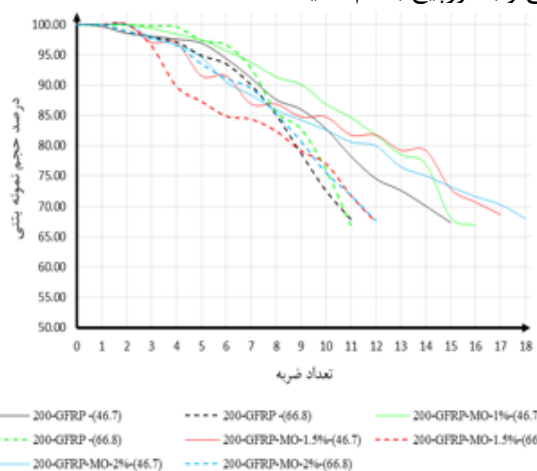


شکل ۲۶- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۲ درصد الیاف و دورپیچ

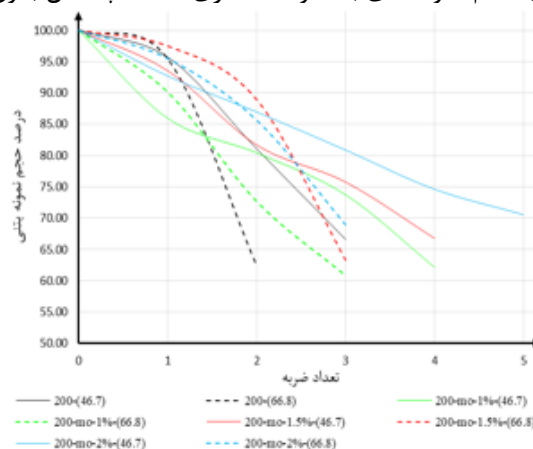


شکل ۲۵- تعداد ضربه وارد شده به حجم نمونه بتنی با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با ۱/۵ درصد الیاف و دورپیچ

در شکل‌های ۲۷ تا ۳۲ تعداد ضربات بر حسب درصد باقی مانده حجم نمونه بتنی آمده است. در شکل ۲۷ و ۲۸ به ترتیب تمام نمونه‌های با مقاومت فشاری ۲۰ مگاپاسکال بدون دورپیچ و با دورپیچ با هم مقایسه شده است.

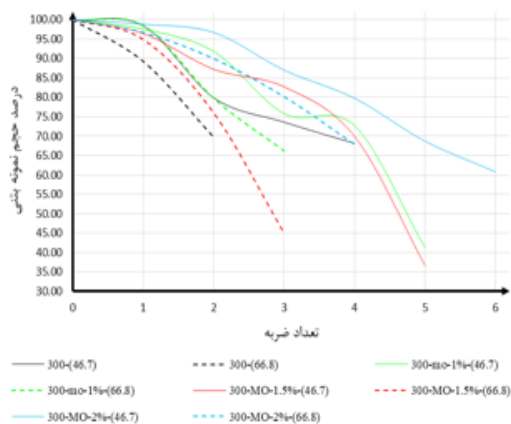
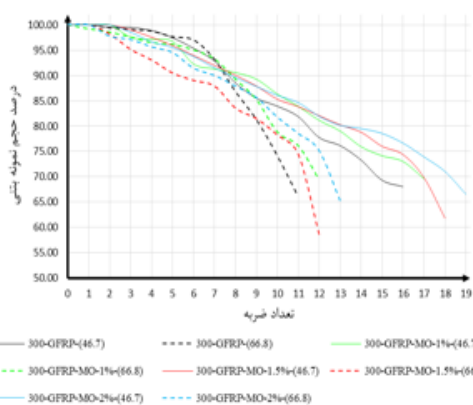


شکل ۲۸- تعداد ضربه به حجم از دست رفته نمونه‌های با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با دورپیچ



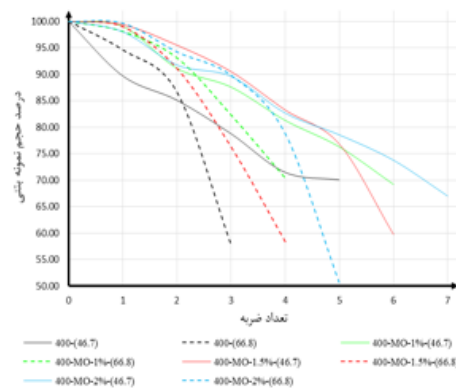
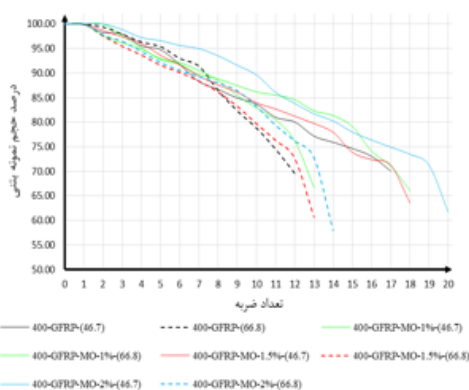
شکل ۲۷- تعداد ضربه به حجم از دست رفته نمونه‌های با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدون دورپیچ

در شکل ۲۹ و ۳۰ به ترتیب تمام نمونه‌های با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال بدون دورپیچ و با دورپیچ در یک نمودار با هم مقایسه شده است، هم‌چنین در شکل ۳۱ و ۳۲ به ترتیب تمام نمونه‌های با مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال بدون دورپیچ و با دورپیچ هم مقایسه شده است. در شکل ۳۳ نیز تعداد ضربات نهایی برای تخریب ۳۰ درصد حجم نمونه بتنی برای کل نمونه‌ها با هم مقایسه شده است.



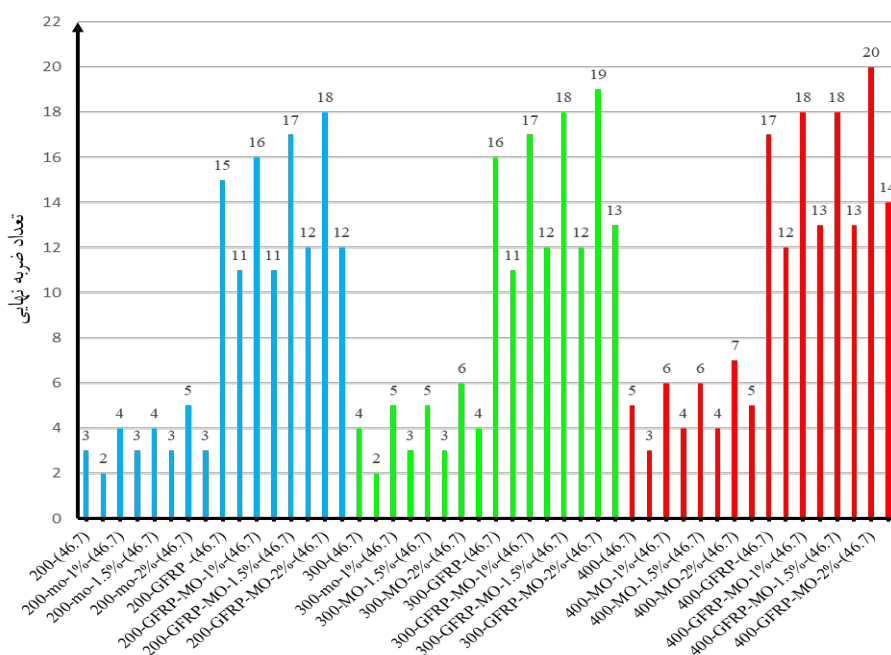
شکل ۳۰- تعداد ضربه به حجم از دست رفته نمونه های با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با دورپیچ

شکل ۲۹- تعداد ضربه به حجم از دست رفته نمونه های با مقاومت ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدون دورپیچ



شکل ۳۲- تعداد ضربه به حجم از دست رفته نمونه های با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع با دورپیچ

شکل ۳۱- تعداد ضربه به حجم از دست رفته نمونه های با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدون دورپیچ



شکل ۳۳- تعداد ضربه نهایی برای نمونه های استوانه ای بتنی

مد شکست نمونه‌ها خردشدگی بتن فشاری گزارش شد که انطباق خوبی با سایر نمونه‌های آزمایشگاهی داشت. در نمونه‌های با دورپیچ GFRP، عمق شکست کاهش یافت و سطحی‌تر شد و می‌توان گفت دورپیچ GFRP عملکرد نمونه‌ها را بهبود بخشید که این امر حاکی از عملکرد مطلوب دورپیچ GFRP است. هم‌چنین مد شکست نمونه‌های با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در شکل ۳۴ ارائه شده است.



شکل ۳۴- مد شکست نمونه‌ها با مقاومت ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع. (الف) - نمونه بدون الیاف. (ب) - نمونه با درصد الیاف. (پ) - نمونه با ۱/۵ درصد الیاف. (ت) - نمونه با ۲ درصد الیاف.

نتیجه گیری

بطور کلی با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش مقاومت تعداد ضربات افزایش می‌یابد و با اضافه کردن الیاف افزایش ضربه مشاهده می‌شود. اما تغییر الیاف از ۱ به ۱/۵ درصد تاثیری در تعداد ضربات ندارد. با ۲ درصد الیاف تعداد ضربات افزایش و با دورپیچ کردن تعداد ضربات ۳ تا ۵ برابر افزایش می‌یابد.

با توجه به آزمایش انجام شده نتایج ریز برای آزمایش ضربه با وزن ۴۶/۷ کیلوگرم حاصل می‌شود.

۱- نمونه با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال با ۳ ضربه ۳۰ درصد از حجم خود را از دست می‌دهد. با اضافه کردن ۱ درصد الیاف تعداد ضربات به ۴ افزایش می‌یابد (۳۳ درصد افزایش تعداد ضربه). برای ۱/۵ درصد الیاف هم با ۴ ضربه نمونه ۳۰ درصد حجم خود را از دست می‌دهد. با ۲ درصد الیاف تعداد ۵ ضربه (۶۶ درصد افزایش تعداد ضربه)، با دورپیچ ۱۵ (۲۶۶ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱ درصد الیاف ۱۶ ضربه (۴۳۳ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱/۵ درصد الیاف ۱۷ ضربه (۴۶۶ درصد افزایش تعداد ضربه) و دورپیچ با ۲ درصد الیاف ۱۸ ضربه (۵۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه) تحمل می‌کند.

۲- نمونه با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال با ۴ ضربه ۳۰ درصد حجم خود را از دست می‌دهد. با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۵ ضربه (۲۵ درصد افزایش تعداد ضربه)، با ۲ درصد الیاف ۶ ضربه (۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، با دورپیچ ۱۶ ضربه (۳۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱ درصد الیاف ۱۷ ضربه (۳۲۵ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ

با ۱/۵ درصد الیاف ۱۸ ضربه (۳۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۲ درصد الیاف ۱۹ ضربه (۳۷۵ درصد افزایش تعداد ضربه) تا از دست دادن ۳۰ درصد حجم خود تحمل می‌کند.

۳- نمونه با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال با ۵ ضربه، با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۶ ضربه (۲۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، با ۲ درصد الیاف ۷ ضربه (۴۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، با دورپیچ ۱۷ ضربه (۲۴۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۱۸ ضربه (۲۶۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۲ درصد الیاف ۲۰ ضربه (۳۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه) تا از دست دادن ۳۰ درصد حجم خود تحمل می‌کند. همچنین برای آزمایش ضربه با وزنه ۶۶/۸ کیلوگرم حاصل می‌شود.

۱- نمونه با مقاومت ۲۰ مگاپاسکال با ۲ ضربه ۳۰ درصد از حجم خود را از دست می‌دهد. با اضافه کردن ۱/۵ و ۲ درصد الیاف تعداد ضربات به ۳ افزایش می‌یابد (۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه). با دورپیچ بدون الیاف و دورپیچ با ۱ درصد الیاف ۱۱ ضربه (۴۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱/۵ و ۲ درصد الیاف ۱۲ ضربه (۵۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه) تحمل می‌کند.

۲- نمونه با مقاومت ۳۰ مگاپاسکال با ۲ ضربه ۳۰ درصد حجم خود را از دست می‌دهد. با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۳ ضربه (۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، با ۲ درصد الیاف ۴ ضربه (۱۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، با دورپیچ ۱۱ ضربه (۴۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۱۲ ضربه (۵۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۲ درصد الیاف ۱۳ ضربه (۵۵۰ درصد افزایش تعداد ضربه) تا از دست دادن ۳۰ درصد حجم خود تحمل می‌کند.

۳- نمونه با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال با ۳ ضربه، با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۴ ضربه (۳۳ درصد افزایش تعداد ضربه)، با ۲ درصد الیاف ۵ ضربه (۶۶ درصد افزایش تعداد ضربه)، با دورپیچ ۱۲ ضربه (۳۰۰ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۱ و ۱/۵ درصد الیاف ۱۳ ضربه (۳۳۳ درصد افزایش تعداد ضربه)، دورپیچ با ۲ درصد الیاف ۱۴ ضربه (۳۶۶ درصد افزایش تعداد ضربه) تا از دست دادن ۳۰ درصد حجم خود تحمل می‌کند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان صمیمانه از مسئول محترم آزمایشگاه سازه دانشگاه سمنان، مهندس محمد بخشایی به خاطر تلاش‌های فراوانشان تشکر می‌کنند.

مراجع

1- Darwish, F. A., Oliveira, T. M., Coura, C. G., Kitamura, S., Barbosa, M. T. G., Santos, W", Influence of Fiber Ratio in the Size Effect, "Proceedings, Int'l Conference Concrete: Construction's sustainable option, Dundee, UK, 2008, pp 123-130.

2- M., Nili; V., Afrough-Sabet; An Experimental and Numerical Study on How Steel and Polypropylene Fibers Affect the Impact Resistance in Fiber-reinforced Concrete, International Journal of Impact Engineering, Vol. 46, pp. 62-73, 2009.

3- ACI Committee 544, State-of-the-Art Report on Fiber reinforced Concrete, ACI Committee 544 Report 544.1R- 96., Detroit: American Concrete Institute, 1996.

4- M. C., Nataraja; T. S., Nagaraj; S. B., Basavaraja; Report portioning of Steel Fiber Reinforced Concrete Mixes and their Impact Resistance, Cement Concrete Res., Vol. 35, No. 12, pp. 2350-2359, 2005.

5- Farnam Y. "Experimental and numerical study of impact behavior of composite panels based on fiber reinforced high performance cementitious materials", Thesis of Master of Science in Civil Engineering, Tehran University, Iran, 2007.

- 6- T. L., Teng; Y. A., Chub; F. A., Chang, B. C., Shen, D. S., Cheng; *Development and Validation of Numerical Model of Steel Fiber Reinforced Concrete for High velocity Impact*, Computational Materials Science, Vol. 42, pp. 90-99, 2008.
- 7- Portland cement association, N. Akbarzade, Editor. *Fiber concrete*, Tehran, Noavar, 2018.
- 8- Goldfein, S., "Fibrous Reinforcement for Portland Cement.," *Modern Plastics*, Vol.42, No. 8, 1965, pages 156-160
- 9- Mirmiran, A. and Shahawy, M., "Dilation characteristics of confined concrete", *Mechanics of Cohesive-frictional Material*, Vol.2, 237-249, 1997
- 10- Samaan, M., Mirmiran, A., and Shahawy, M., "model of concrete confined by fiber composite" *structural engineering (ASCE)*, Vol. 124, No. 9, pp. 1025-1031. 1998
- 11- Xiao, Y. and Wu, H., "Compressive behavior of concrete confined by carbon fiber composite jackets", *Journal of Material in civil Engineering*, 12(2), pp.139-146
- 12- M. FakhariFar, A. Dalvand, M. Arezoumandi, M. K. Sharbatdar, G. Chen, A. Kheyroddin (2014). "Mechanical Properties Of High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites" *Construction and building materials*, 71 (2014) 510-520
- 13- H. Sadraie, A. Khaloo, H. Soltani., "Dynamic Performance of Concrete Slabs Reinforced with Steel and GFRP Bars Under Impact Load", *Engineering Structure: Eng*, Vol 191, pp. 62-81, 2019.
- 14- J. Meriam, J. Grig, A. Sinaii, Editor. *Engineering Mechanism Dynamic*, Mashhad, Jahan Farda, 2008.
- 15- ASTM Committee, *standard test method for measuring the damage resistance of a fiber reinforced polymer matrix composite to a Drop-weight impact event*, 2012.