نشریه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست

سال اول، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، (پیاپی ۲): صص ۴۳-۳۱

علمی

ارزیابی ایمنی الیاف بتن در برابر افتان وزن و ایجاد مقاومت در سازه‌ها

احمد خزایی پول[1*]، سید رامتین رمضانی[2]، مجتبی ضیا شمامی[3]، امیرمحمد حسن‌زاده[4]، هادی باقریان[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

چکیده

با گسترش حملات تروریستی و وجود خطرات جانی و مالی، افزایش مقاومت سازه‌هایی نظیر نیروگاه‌های اتمی، ترمینال‌های حمل و نقل، پل‌های استراتژیک، کارخانجات شیمیایی، نیروگاه‌های سوختی، تجهیزات و انبارهای نظامی، ساختمان‌های دولتی مهم و مراکز پر جمعیت ضروری به نظر می‌رسد. بتن‌های الیافی دارای خواص منحصر به فردی هستند. لذا برای ساخت سازه‌هایی مقاوم در برابر بارهای ضربه می‌توان از این ماده استفاده نمود. متخصصین در سال‌های اخیر، به این نتیجه رسیده‌اند که می‌توان با افزودن الیاف مختلف به بتن، باعث بهبود مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر خستگی و مقاومت در برابر ضربه شد.استفاد از الیاف سبب ایمنی وجلوگیری از رشدترک و افزایش شکل پذیری بتن‌می شود در بتن همچنان تقاضا برای این ماده رو به رشد است. یک راه مناسب برای بهبود شکل‌پذیری و افزایش مقاومت و ایمنی‌سازه‌های بتنی در مقابل بارگذاری‌های پویا چون ضربه، زلزله و خستگی افزودن الیاف در بتن است. در این مطالعه ارزیابی الیاف فولادی و الیاف پلی پرو پیلین و نانوسیلیس کلویئدی در برابر افتان وزن‌صورت پذیرفت.

کلید واژه‌ها: الیاف فولادی و الیاف پلی پرو پیلین ، نانوسیلیس کلویئدی ، افتان وزن، ایمنی

[1] پژوهشگر و دکتری گروه عمران، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران- (akhazaie@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول
[2] دانشجو کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران
[3] استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران
[4] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران
[5] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

۱- مقدمه

سازه‌های بتنی تحت ضربه پرتابه، در مقایسه با زمانی که تحت بار استاتیکی هستند، پاسخ متفاوتی نشان میدهند. پرتابه‌ها، اثرات موضعی ایجاد می‌کنند.که بصورت نفوذ یا سوراخ کردن، خرابی وجه مقابل و خرابی وجه پشت به ضربه، به همراه انتشار ترک گسترده، مشخص می‌شوند. مقدار خرابی بستگی. به چندین عامل از جمله سرعت ضربه، جرم، شکل و نوع مصالح پرتابه، و مشخصات مصالح و مسلح شدگی سازه‌های بتنی هدف دارد [۱].

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت فشاری بالاتر، باعث افزایش مقاومت در برابر منگنه شدن دینامیکی می‌شود. اگرچه، باعث افزایش تردشکنندگی هدف و افزایش قطر دهانه باز شده در هدف در صورت خرابی نیز می‌شود. درصورت بکار بردن الیاف فولادی در بتنهای با مقاومت بالا،کاهش تردی مشاهده شده است. مقایسه ابعاد حفره ایجاد شده، در نمونه‌های بتن مسلح به الیاف و بتن معمولی، نشان داده است که الیاف باعث بستن ترکها و به حداقل رساندن خرابی شدهاند. تأثیر الیاف در کاهش خرابی ایجاد شده در وجه مقابل و وجه پشت به ضربه (بصورت حفره) تأیید شده است.همچنین وجود شن در بتن، در ممانعت از سوراخ شدگی نمونه‌ها مؤثر گزارش شده است. با این وجود، کاربرد الیاف اثر چشمگیری در کاهش عمق نفوذ. نداشته است [۲]. نتایج آزمایشهای ضربه پرتابه بر روی دال‌های مسلح به الیاف فولادی انتهای قلاب شده نشان می‌دهند که با گذشتن حجم الیاف بکار رفته از۱,۵٪ ، خرابی بصورت موضعی درآمده و دهانه‌های باز شده متقارن و گرد می‌شوند. افزودن الیاف فولادی، نه‌تنها خرابی اطراف حفره برخورد را کاهش. داده، بلکه سرعت پسماند پرتابه را نیز کاهش می‌دهد [۳]. بررسی کارایی الیاف ترکیبی (شامل الیاف فولادی چیندار و پلاستیک)در بهبود مقاومت ضربه‌ای دال‌ها نشان میدهد الیاف ترکیبی در بتن،باعث بازشدگی دهانه کوچکتر شده و خرابی وجه جلو و پشت نمونه را کاهش دادند. امّا عمق نفوذ به میزان قابل توجهی تحت تأثیر نوع و مقدار الیاف قرار نگرفت. در حالت کلی، قطر دهانه باز شده وجه پشتی نمونه‌ها بسیار بزرگتر از وجه جلویی بود. همچنین الیاف ترکیبی با جلوگیری از توسعه ترک،.اندازه ناحیه خرابی را به حداقل رساندند. [۴]. افزایش مقاومت در برابر نفوذ وکاهش خرابی وجه مقابل و پشت نمونه‌ها در صورت مسلح شدن به شبکه مفتول فولادی مشاهده شده است. ازطرف دیگر، افزایش لایه‌های شبکه فولادی مسلح کننده تأثیر کمی بر عمق نفوذ داشته است، امّا اثر قابل توجهی بر خرابی دو وجه نمونه دارد [۵]. بتن‌های با مقاومت فشاری بالاتر شکننده تر از بتن‌های معمولی هستند. اما افزودن مقدار کمی الیاف فولادی بطور چشمگیری مقاومت در برابرضربه صفحات هدف را افزایش میدهد. افزودن ۱ ٪ الیاف فولادی باعث کاهش حدود ۵۰ درصدی سطح خرابی پشت نمونه بتن با مقاومت بالا شده است.و مود خرابی از ترد به شبه پلاستیک تغییر یافته است. با افزودن ۵ ٪ الیاف فولادی، سطح خرابی پشت نمونه به شکل واضحی کاهش یافته است [۶]. استفاده از سنگدانه‌های سختتر (توده‌های بوکسیت بجای سنگدانه‌های گرانیت)، قابلیت جذب انرژی پانلها را افزایش داده و منجر به عمق‌نفوذ و دهانه باز شده کوچکتر شده است [۷]. مقاومت در برابر سوراخ شدگی بتن‌های با مقاومت بالا بیشتر از بتن‌های معمولی می‌باشد. نوع سنگدانه (سختی) و اندازه آن، مشخص‌ترین اثر برروی معیارهای مقاومت در برابر ضربه داشته است. مزیت اصلی در افزودن الیاف فولادی، اثر آنها در کاهش سطح خرابی می‌باشد. میلگرد فولادی (بدون درنظر گرفتن الیاف فولادی) تقریباً اثری بر مقاومت در برابر سوراخ شدگی ندارد و فقط تأثیر کمی در کاهش سطح خرابی وجه پشتی دارد. همچنین،نتایج نشان دهنده مقاومت در برابر سوراخ شدگی نسبتاً بیشتر مخلوطهای دارای میکرو سیلیس می‌باشد [۸]. افزایش مقاومت بتن در برابر ضربه پرتابه، با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه مشاهده شده است. نمونه‌های دارای حداکثر اندازه سنگدانه بزرگتر،انرژی بیشتری از پرتابه را جذب میکنند. در نتیجه، سرعت پرتابه پس از سوراخ کردن نمونه برای این نمونه‌ها، کاهش بیشتری داشته است. خرابی نمونه‌هادر نمونه‌های با سنگدانه بزرگتر، بیشتر است. مساحت تکه‌های جدا شده و سطح دهانه ایجاد شده با افزایش حداکثر اندازه سنگدانه، افزایش یافته است [۹]. افزودن الیاف فولادی، ضخامت لازم برای ممانعت از سوراخ شدگی را فقط به مقدار کمی کاهش می‌دهد؛ امّا، ضخامت لازم برای ممانعت ازایجاد دهانه وجه پشتی، در بتن مسلح به الیاف، بسیار کمتر از مقدار لازم برای بتن معمولی است. افزودن الیاف فولادی، باعث کاهش قطر دهانه باز شده در وجه جلو و پشت نمونه شده و قابلیت تحمل ضربات متعدد را در نمونه ایجاد کرده است [۱۰]. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهند دال‌های بتن مسلح به الیاف فولادی از قابلیت‌های جذب انرژی و ترکخوردگی بهتری در مقایسه با بتن حاوی سایر انواع الیاف برخوردارند [۱۱].

۲- مطالعات آزمایشگاهی

رفتار ترد و شکننده بتن در سازه‌های تحت بارهای ضربهای و دینامیکی سبب استفاده از الیاف شده است. همچنین بهخاطر

توزیع تصادفی الیاف، بتن های الیافی از رشد ترک در ماتریس بتن تا حد زیاد جلوگیری میکنند. در این مقاله(FRC) و الیافی (PC) طبق دستور العمل کمیته ACI ۵۴۴ صورت گرفته است. به منظور دستیابی به رده های مقاومتی متوسط و بالا، از نسبت اب به سیمان ۰/۵استفاده گردیده است. همچنین به منظور بررسی تاثیر الیاف در بتن، الیاف فولادی ۰/۰۷ و ۰/۰۵ درصد حجمی‌الیاف پلی‌پروپیلن در درصد های حجمی ۰/۷ و ۰/۵ و به میزان ۰/۳ درصد نانو سیلیس کلویئدی به عنوان تقویت کننده بکار رفته است.

۲-۱- بررسی مشخصات مکانیکی بتن

ویژگی‌های مکانیکی بتن مثل مقاومت فشاری، کششی، دوام و ... ، عمدتا به دلیل نسبت اختلاط سیمان، ماسه، سنگدانه‌ها، آب و دیگر مواد افزودنی متغییر است. به نوعی تغییر در این نسبت‌های اختلاط، خواص مکانیکی بتن را نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد. ویژگی‌های فیزیکی بتن، مشخصات ظاهری بتن مثل ابعاد،رنگ، تخلخل، شکل‌هندسی را به ما نشان می‌دهد.

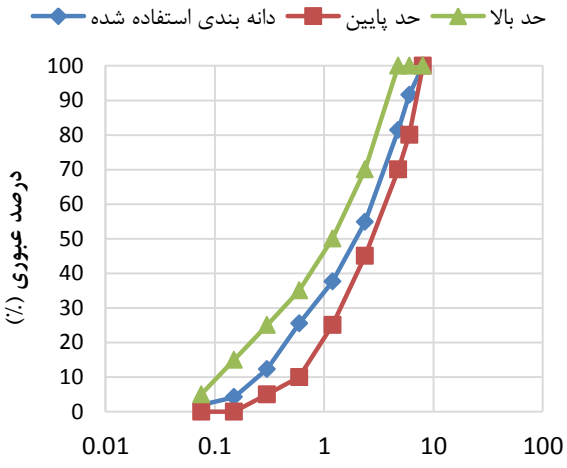
طرح اختلاط بتن مصرفی در جدول ۱ نشان داده شده است. شکل ۲ عمل‌آوری نمونه‌های بتن را نشان می‌دهد.

جدول (۱): نسبت‌های مخلوط (Kg/m^3)

عیار سیمان	۴۸۸/۶۲	نسبت آب به سیمان	۰/۵
درشت‌دانه	۸۶۹/۴۵	ریزدانه	۶۹۸/۰۳

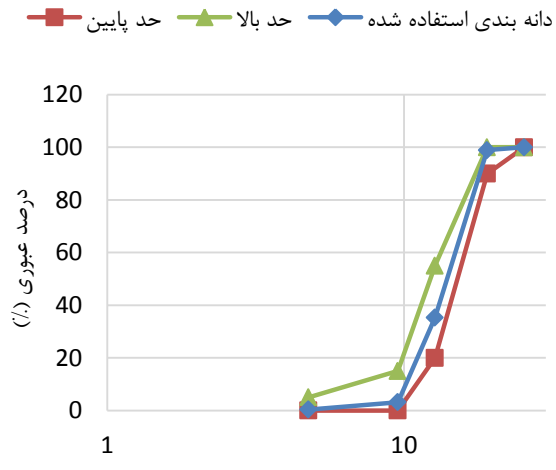
شکل (۱): مصالح جهت عمل اوری نمونه‌های بتنی

شکل (۲): عمل اوری نمونه‌های بتنی



اندازه روزنه الک در مقیاس لگاریتمی

شکل (۳): دانه بندی مصالح ریز دانه



اندازه روزنه الک در مقیاس لگاریتمی

شکل (۴): دانه بندی مصالح درشت دانه

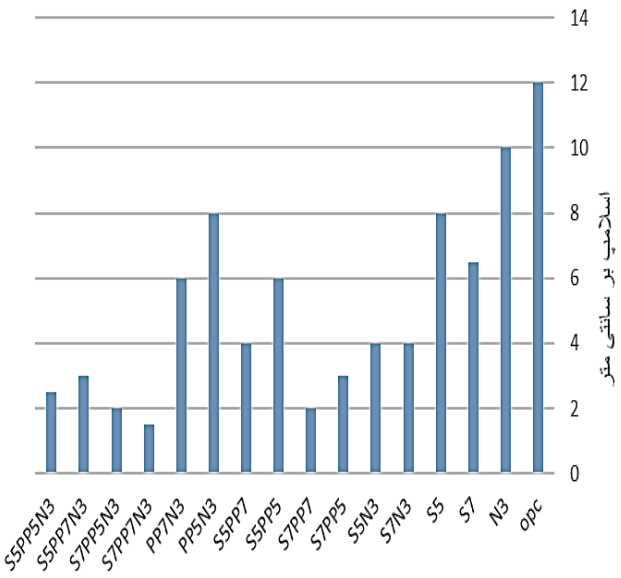
جدول (۲): نتایج آزمایشات مکانیکی انجام شده روی مصالح ریزدانه و درشت دانه

مشخصات سنگدانه‌ها	استاندارد مربوطه	نوع سنگدانه‌ها	
		درشت دانه	ریزدانه
حداکثر اندازه‌ی اسمی	ASTM C136	۱۹ Mm	۸ Mm
وزن مخصوص	ASTM C127	۲۵۶۰ Kg/m^3	۲۵۶۷ Kg/m^3
مدول نرمی	ASTM C136	-	۳/۵
درصد ارزش ماسه‌ای	ASTM D2419	-	۷۵
سایش لس‌آنجلس	ASTM C121,C535	۱۲/۳	-
SSD جذب آب	ASTM C566-89	٪۲/۴۵	٪۳/۳۹
درصد شکستگی مصالح درشت‌تر از الک #۴	B.S.63	٪۶۸	-

جدول (۳): طرح اختلاط الیاف ها در بتن

OPC	S5N3
N3	PP5N3
S7	PP7N3
S5	S7PP7N3
S7N3	S5PP5N3
S5PP7N3	S7PP7
S7PP5N3	PP5S5
S7PP5	
PP7S5	

شکل (۵): اسلامپ



شکل (۶): اسلامپ

نتایج مقایسه اسلامپ یا کارایی بتن در شکل ۶ آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، نمونه OPC با اسلامپ ۱۲ سانیتمتری در مقایسه با نمونه‌های دیگر دارای کارایی (اسلامپ) بالاتری است. افزودن ۳ درصد نانوسیلیس به بتن (N3)، کاهش ۲ سانتی‌متری اسلامپ را نسبت به نمونه شاهد به دنبال دارد. نمونه‌های بتنی حاوی ۵ و ۷ درصد الیاف فولادی (S5، S7) به

ترتیب دارای ۷ و ۵/۵ سانتی‌متر اسلامپ کمتر نسبت به بتن شاهد هستند. در حالت استفاده از الیاف بصورت ترکیبی، نمونه‌های بتنی حاوی ۵ و ۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانو سیلیس کلوئیدی (S5N3، S7N3) به‌ترتیب دارای اسلامپ ۳ و ۵ سانتی‌متر می باشند که نسبت به نمونه شاهد ۹و ۸ سانتی‌متر اسلامپ کمتری دارند. افزودن ۰/۵ و ۰/۷ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۳ درصد نانو سیلیس کلوئیدی (PP7N3،PP5N3) به ترتیب سبب کاهش اسلامپ به میزان ۴ و ۶ سانتی‌متر نسبت به بتن شاهد می‌شوند. اضافه کردن ۰/۷و۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به ۷ درصد الیاف فولادی (S7PP5،S7PP7) اسلامپ بتن به ترتیب ۱۰ و ۹ سانتی‌متر کاهش می‌یابد و نیز افزودن ۰/۷ و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به ۵ درصد الیاف فولادی (S5PP7، S5PP5) باعث کاهش اسلامپ بتن به اندازه ۸ و ۶ سانتی‌متر شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، افزودن همزمان ۷ درصد الیاف فولادی و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن و همچنین ۷ درصد الیاف فولادی و ۰/۵درصد الیاف پلی پروپیلن به ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S7PP5N3،S7PP7N3) اسلامپ بتن را ۱۰/۵ و ۱۰ سانتی‌متر کاهش می‌دهد. ترکیب ۵ درصد الیاف فولادی، ۰/۷ درصد الیاف پلی پروپیلن و ۵ درصد الیاف فولادی و ۰/۵درصد الیاف پلی پروپیلن با ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S5PP7N3، S5PP04N3) سبب کاهش اسلامپ بتن به اندازه ۹ و ۹/۵ سانتی‌متر می‌شود.

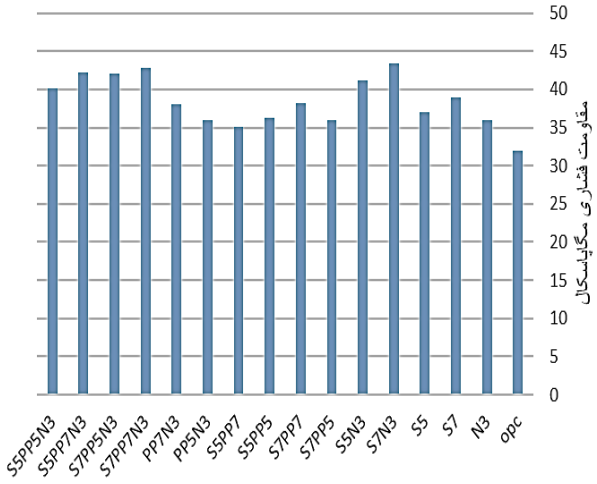
بنابراین بیشترین کاهش اسلامپ نسبت به نمونه شاهد مربوط به نمونه بتنی حاوی ۷ درصد الیاف فولادی، ۰/۷ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S7PP7N3) است. در این نمونه ۸۷ درصدی کاهش اسلامپ مشاهده شده است

۲-۲- مشخصات هندسی نمونه

نمونه دال در ابعاد ۱۰*۴۰*۴۰ سانتی متر مسلح به شبکه آرماتور که شامل شش میلگرد به قطر ۱۲ میلی متر است.

شکل (۷): نمونه دال

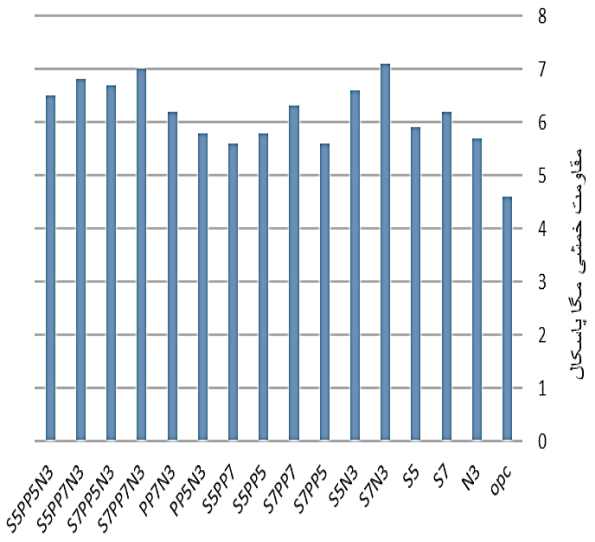
شکل (۸): نمونه دال



شکل (۹): مقاومت فشاری

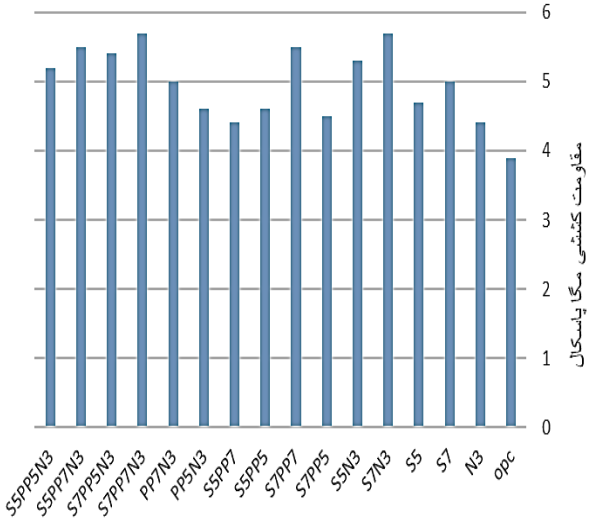
نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مختلف در شکل ۹ آورده شده است. مقاومت فشاری بتن شاهد (OPC) برابر ۳۲ مگاپاسکال است. همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، با افزودن ۳ درصد نانوسیلیس (N3) به بتن، مقاومت فشاری بتن نسبت به نمونه بتن شاهد ۴ مگاپاسکال افزایش یافته است. در نمونه‌های حاوی ۵ و ۷ درصد الیاف فولادی (S5، S7) به ترتیب مقاومت فشاری بتن به مقدار ۵ و ۷ مگاپاسکال افزایش یافته است. . همانگونه که مشاهده می‌شود با اضافه کردن الیاف فولادی با درصدهای ۵ و ۷ و نانوسلسیس کلوئیدی با درصد ۳ (S5N3، S7N3) مقاومت فشاری بتن به‌ترتیب ۹/۱ و ۱۱/۴ مگاپاسکال افزایش می‌یابد. نمونه‌های حاوی ۰/۵ و ۰/۷ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (PP07N3 ،PP04N3) به ترتیب دارای ۴ و ۶ مگاپاسکال مقاومت فشاری بیشتری نسبت به بتن شاهد هستند. اضافه کردن ۰/۷ و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به ۷ درصد الیاف فولادی (S7PP5،S7PP7) مقاومت فشاری بتن به ترتیب ۶/۲ و ۵/۹

مگاپاسکال افزایش یافته و نیز افـزودن ۰/۷ و ۰/۵ درصـد الیـاف پلی پروپیلن به ۵ درصد الیاف فولادی (S5PP7، S5PP5) باعث افزایش مقاومت فشاری بتن به اندازه ۳/۱ و ۴/۲ مگاپاسکال شده است. در بین نمونه های با الیـاف ترکیبـی، نمونـه‌ی حـاوی ۰/۵ درصـد الیـاف پلـی‌پـروپیلن و ۳ درصـد نـانو سـیلیس کلوئیـدی (PP5N3) با افزایش ۱۳ درصد مقاومت فشاری، کمتـرین میـزان افزایش را داشته است. افزودن همزمان ۷ درصد الیاف فـولادی و ۰/۷ درصد الیاف پلی پروپیلن و همچنین ۷ درصد الیاف فـولادی و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S7PP5N3،S7PP7N3) مقاومت فشاری بتن را به ترتیب ۱۰/۸ و ۱۰/۱ مگاپاسکال افزایش می‌دهد. ترکیب ۵ درصد الیاف فولادی، ۰/۷ درصد الیاف پلی پروپیلن و ۵ درصد الیـاف فـولادی و ۰/۵ درصـد الیـاف پلـی پـروپیلن بـا ۳ درصـد نانوسـیلیس کلوئیـدی (S5PP5N3 ،S5PP7N3)سبب افزایش مقاومت فشـاری بـتن بـه اندازه ۱۰/۲ و ۸/۱ مگاپاسکال می‌شود.



شکل (۱۰): مقاومت خمشی

نتایج این آزمایش در شکل ۱۰ آورده شده است. میـزان مقاومـت خمشی برای نمونه شاهد برابر ۴/۶ مگاپاسکال است. با افـزودن ۳ درصد نانوسیلیس (N3) به بتن، ۱/۱ مگاپاسکال مقاومت خمشـی نسبت به نمونه شاهد افزایش یافتـه اسـت. در نمونـه‌هـای بتنـی حاوی ۵ و ۷ درصد الیاف فولادی (S5، S7) بـه ترتیـب مقاومـت کششی بتن ۱/۳ و ۱/۶ مگاپاسکال نسبت به بتن شـاهد افـزایش یافته است. بکارگیری همزمان ۵ و ۷ درصـد الیـاف فـولادی و ۳ درصد نانو سیلیس کلوئیـدی (S7N3 ،S5N3)، مقاومـت خمشـی بتن را به ترتیب به میزان ۲ و ۲/۵ مگاپاسکال نسـبت بـه نمونـه شاهد افزایش می‌دهد. در نمونه‌های بتنی حاوی ۰/۵ و ۰/۷ درصد الیـــاف پلـــی‌پـــروپیلن و ۳ درصـــد نانوســـیلیس کلوئیـــدی (PP7N3،PP5N3) نیز مقاومت خمشی نسـبت بـه نمونـه شـاهد افزایش یافتـه اسـت کـه مقـدار آن بـه ترتیـب برابـر ۱/۲ و ۱/۴ مگاپاسکال اسـت. ، اضـافه کـردن ۰/۷و ۰/۵ درصـد الیـاف پلـی پروپیلن به ۷ درصـد الیـاف فـولادی (S7PP5،S7PP7) مقاومـت خمشی بتن به ترتیب ۱،۷ و ۱ مگاپاسکال افزایش می‌یابـد و نیـز افزودن ۰/۷و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن بـه ۵ درصـد الیـاف فولادی (S5PP7، S5PP5) باعث افزایش مقاومت خمشی بتن به اندازه ۱ و ۱/۲ مگاپاسکال شده است. بنابراین بیشترین مقاومـت خمشی در نمونه‌های حاوی دو افزودنی مربـوط بـه نمونـه بتنـی حاوی۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نـانو سـیلیس کلوئیـدی (S7N3) است. در این نمونه مقاومت خمشی به اندازه ۵۴ درصـد بیشتر از نمونه شاهد است. از طرفـی کمتـرین افـزایش مقاومـت خمشی با افزایش ۲۶ درصدی مربوط به نمونه بتنی حـاوی ۰/۵ درصـد الیـاف پلـی‌پـروپیلن و ۳ درصـد نـانو سـیلیس کلوئیـدی (PP5N3) می‌باشد. افزودن همزمان ۷ درصد الیاف فولادی و ۰/۷ درصد الیاف پلی پروپیلن و همچنین ۷ درصد الیاف فولادی و ۰/۵ درصد الیـاف پلـی پـروپیلن بـه ۳ درصـد نانوسـیلیس کلوئیـدی (S7PP5N3،S7PP7N3) مقاومت خمشی بتن را به ترتیـب ۲/۴ و ۲/۱ مگاپاسکال افزایش می‌دهد. ترکیب ۵ درصد الیـاف فـولادی، ۰/۷ درصد الیاف پلی پـروپیلن و ۵ درصـد الیـاف فـولادی و ۰/۵ درصـد الیـاف پلـی پـروپیلن بـا ۳ درصـد نانوسـیلیس کلوئیـدی (S5PP5N3 ،S5PP7N3) سبب افزایش مقاومت خمشی بـتن بـه اندازه ۲/۲ و ۱/۹ مگاپاسکال می‌شود. در بین تمام نمونه‌ها، نمونه شاهد دارای کمتری میزان مقاومت خمشی است.



شکل (۱۱): مقاومت کششی

نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها در شـکل ۹ نشـان داده شـده است. مقاومت کششی نمونه شاهد برابـر ۳/۹ مگاپاسـکال اسـت. مطابق نتایج، افزودن ۳ درصد نانوسیلیس (N3) به بتن، مقاومـت کششی نسبت به نمونه شاهد ۰/۵ مگاپاسکال افزایش می‌یابد. در نمونه‌های حاوی الیاف فولادی با درصدهای ۵ و ۷ (S5، S7)، بـه ترتیب مقاومت کششی بتن ۰/۸ و ۱/۱مگاپاسکال نسبت بـه بـتن

شاهد بیشتر است. همچنین در نمونه‌های حاوی ۵ و ۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S7N3، S5N3) مقاومت کششی بتن به ترتیب ۱/۴ و ۱/۸ مگاپاسکال نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. در نمونه‌های حاوی ۰/۵ و ۰/۷ درصد الیاف پلی‌پروپیلن و ۳ درصد نانو سیلیس کلوئیدی (PP7N3،PP5N3)، به ترتیب مقاومت کششی بتن ۰/۷ و ۱/۱ مگاپاسکال نسبت به بتن شاهد را افزایش می‌دهد؛ اضافه کردن ۰/۷ و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به ۷ درصد الیاف فولادی (S7PP5،S7PP7) مقاومت کششی بتن به‌ترتیب ۱/۶ و ۰/۶ مگاپاسکال افزایش می‌یابد و نیز افزودن ۰/۷ و ۰/۵ رصد الیاف پلی پروپیلن به ۵ درصد الیاف فولادی (S5PP7، S5PP5) باعث افزایش مقاومت خمشی بتن به اندازه ۰/۵ و ۰/۷ مگاپاسکال شده است. افزودن همزمان ۷ درصد الیاف فولادی و ۰/۷درصد الیاف پلی پروپیلن و همچنین ۷ درصد الیاف فولادی و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن به ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S7PP5N3،S7PP7N3) مقاومت خمشی بتن را به ترتیب ۱/۸ و ۱/۵ مگاپاسکال افزایش می‌دهد. ترکیب ۵ درصد الیاف فولادی، ۰/۷ درصد الیاف پلی پروپیلن و ۵ درصد الیاف فولادی و ۰/۵ درصد الیاف پلی پروپیلن با ۳ درصد نانوسیلیس کلوئیدی (S5PP7N3، S5PP5N3) سبب افزایش مقاومت کششی بتن به اندازه ۱/۶ و ۱/۳ مگاپاسکال می‌شود. بیشترین مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های بتنی حاوی ۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانوسیلیس (S7N3) و ۷ درصد الیاف فولادی، ۰/۷درصد الیاف پلی پروپیلن و ۳ درصد نانوسیلیس (S7PP7N3) می‌باشد. در این نمونه‌ها مقاومت کششی به اندازه ۴۶ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش داشته است. و کمترین مقاومت کششی مربوط به نمونه شاهد می‌باشد.

۲-۲-۱- آزمایش ضربه سقوط وزنه

برای محاسبه مقاومت‌ضربه بتن الیافی استفاده از یک وزنه افتان ۶۰ کیلوگرم که از ارتفاع ۱۷۰۰ میلیمتری یک وزنه فلزی از جنس CK ۴۵ است به‌قطر ۳۰۰ میلی‌متر که خود مورد استفاد شده است.

برای آزمایش ضربه از سیستم آسانسور شکل(۶) استفاده شده است به صورتی که در شکل (۷) وزنه ضربه زننده با استفاده از آهنربا الکتریکی به‌وسیله آسانسور به ارتفاع موردنظر رسیده و رها شده و در محور مستقیم و بدون انحراف از مسیر به نمونه دال‌ها برخورد می‌کند.

شکل (۸): آسانسور

شکل (۹): وزن افتان

شکل (۱۰): دال های که به ان ها ضربه وارد شده

به خاطر تعداد زیاد دال های که به ان ها ضربه وارد شده.تصویر کلی و تعدادی از دال ها به نمایش می‌گذاریم.

۲-۲-۲- ابزار اندازه‌گیری

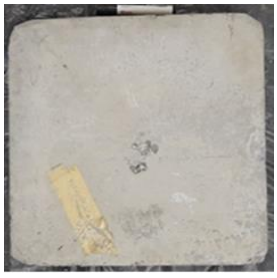
با وسایلی مانند کولیس دیجیتال، استوانه مندرج استفاده کردیم. که اندازه گیری طول و عمق از کولیس و از استوانه مندرج حجم داخل شکاف بررسی کردیم. در ادامه میزان عمق دال و میزان مقاومت براساس درصد و اندازه ترک در وجه کناری و میزان حجم عمق شکاف در دال نشان داده می شود.

۲-۲-۲-۱- میزان عمق دال

نمای پایین دال F7N3 بعد از ضربه

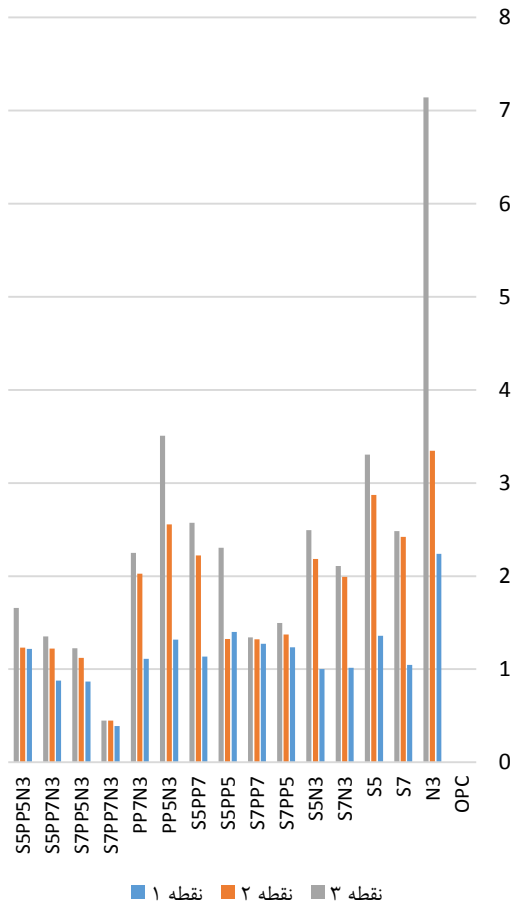
نمای پایین دال F7N3 بعد از ضربه

نمای پایین دال F7PP7 بعد از ضربه



نمای بالای دال F7PP7 بعد از ضربه

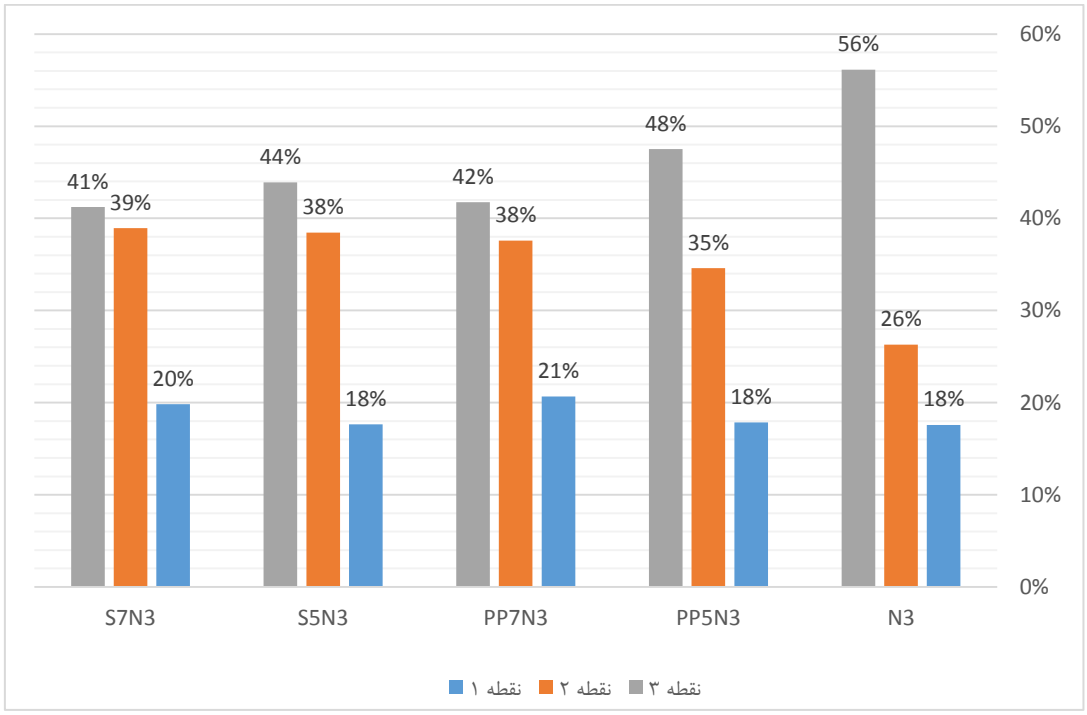
شکل (۱۱): اثرات برخورد پرتابه بر روی دال



شکل (۱۲): میزان عمق دال

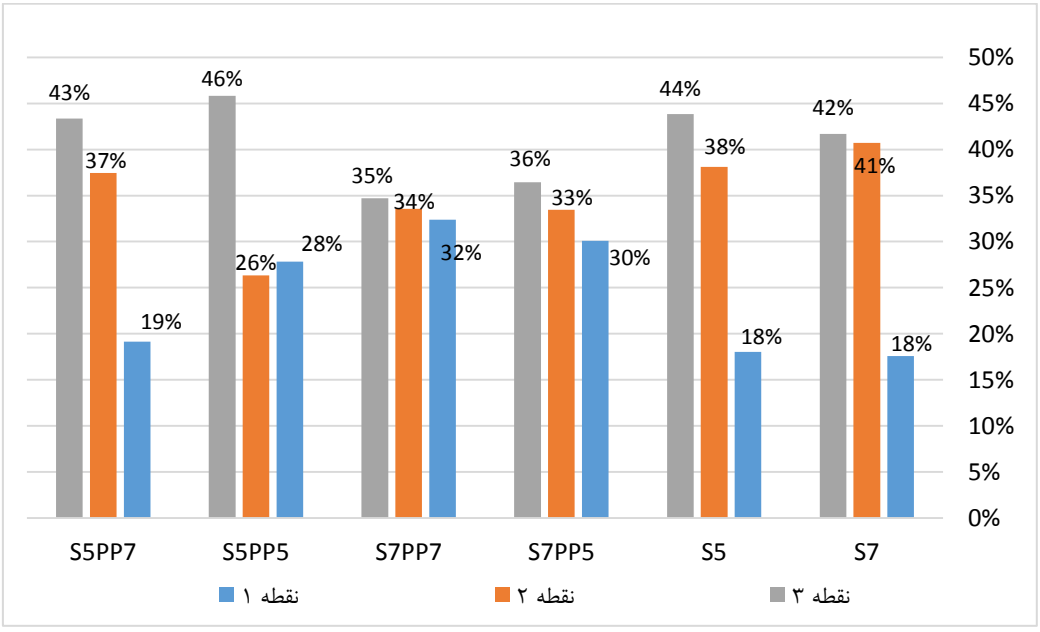
در شکل ۱۲ مشاهدات نشانگر این است که N3 که بیشترین اندازه عمق ترک ان ۷ سانتی‌متر بوده است. که میزان ۳ سانتی‌متر مقاومت بهتری نسبت به بتن شاهد که کامل شکست شده است نشان می دهد. بررسی‌های کلی انجام شده نشان می‌دهد که اضافه‌کردن N3 در بتن مقاومت نسبتا ضعیف برخودار است. اما ترکیب این افزودنی با الیاف PP عمق ترک انها به حدود۳ سانتی متر بوده و نسبت به بتن شاهد ۷ سانتی‌متر مقاومت نشان داد و عملکرد نسبتان خوب نسبت به N3 و OPC داشته است.وافزونی با الیاف فولادی حدود ۲/۵سانتی متر عمق ترک ان بود که نسبت نمونه OPC ۷/۵ سانتی‌متر عملکرد بهتر نشان داده. مشاهدات نشان می دهد که الیاف PP و فولادی بدون افزودنی حدود ۲ سانتی متر عمق ان بوده که نسبت به بتن OPC ۸/۵ و نسبت به نانو ۵ سانتی‌متر عملکر خیلی بهتر از نانو و ترکیب آن به یک الیاف نشان داده است. اما ترکیب نانو با دو الیاف مقاومت بالا که حدود عمق ان ۱ سانتی‌متر می‌باشد. که نسبت به بتن OPC ۹ سانتی متر و نسبت به نانو ۶ سانتی‌متر مقاومت به ما نشان می‌دهد.

۲-۲-۲-۲- میزان مقاومت براساس درصد



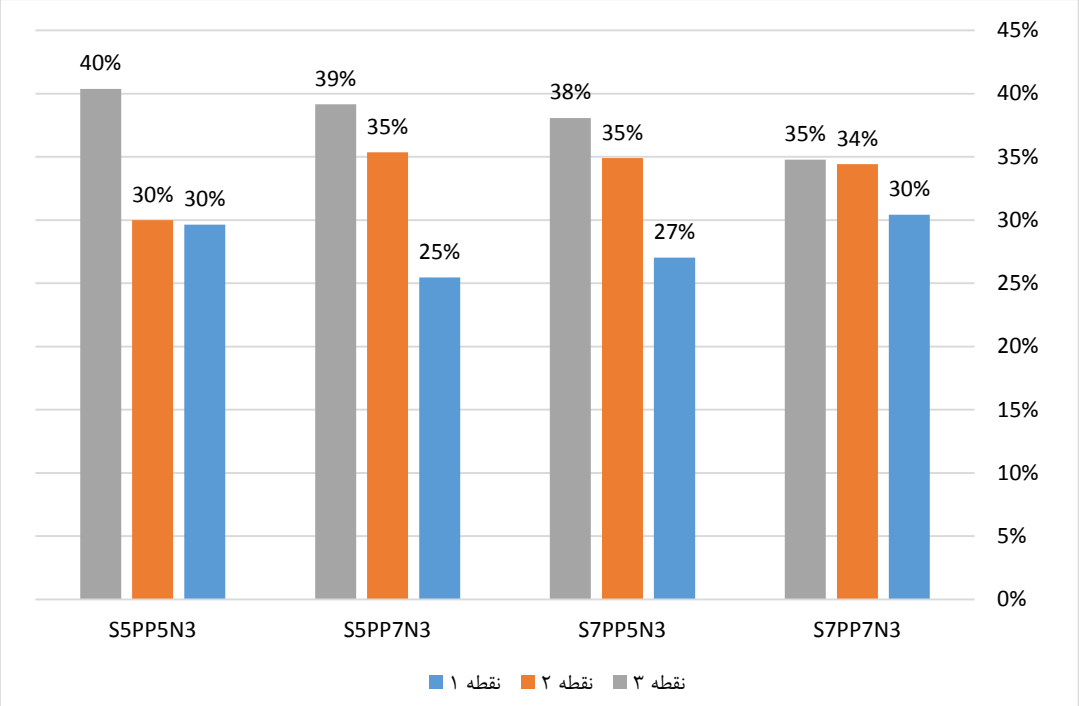
شکل (۱۳): بررسی مقاومت دال

همانطوردر شکل۱۳مشاهد می‌کنید.بیانگر این است که N3 به مقدار ۴۴ درصد بهتر از بتن OPC عمل کرده بهتری نشان داد.وترکیب الیاف PP5N3 به اندازه ۵۲ درصد بهتر از نمونه OPC و نسبت‌به N3 به‌میزان ۸درصد مقاومت بهتری بروز دادند.و الیاف PP7N3 نسبت به نمونه OPC ۵۸ درصد و به نسبت N3 مقدار ۱۴ درصد و S5N3 نسبت به نمونه OPC ۵۶ درصد و نسبت به نمونه N3 ۱۲درصد و نسبت به S7N3 به اندازه ۵۹ درصد و نسبت به N3 ۱۵ درصد مقاومت بهتر در برابر ضربه نشان می‌دهد.



شکل (۱۴): بررسی مقاومت دال

در شکل۱۴نشان دهنده این است کهS5 دبه مقدار ۵۶درصد بهتر از بتن OPCعمل کرده‌بهتری نشان داد.و الیاف S7به اندازه۵۵ درصد بهتر از نمونه OPCمقاومت بهتری بروز دادند.و الیاف S7PP7و نسبت به OPCمقدار۶۴و۶۵درصد و نسبت به S5PP5به اندازه ۵۴درصد نسبت به OPC مقاومت بهتر نشان داد و S5PP7 و به میزان ۵۷ در صد نسبت OPC به در برابر ضربه مقاومت نشان می دهد.



شکل (۱۵): بررسی مقاومت دال

با توجه‌به شکل۱۵ ترکیبS5PP5N3 نسبت به نمونه OPC ۶۰ درصد و نسبت N3 ۱۶درصد افزایش نشان داده. ونمونه S5PP7N3 وS7PP7N3نسبت به نمونه OPC ۶۵ درصد و به N3 ۲۱ درصد و S7PP5N3 نسبت به نمونه OPC ۶۲ درصد به نسبت N3 ۲۰درصد ونمونه S5PP7N3 نسبت به نمونه OPC ۶۱ درصد و نسبت به N3 ۱۷ درصد مقاومت نشان داده است

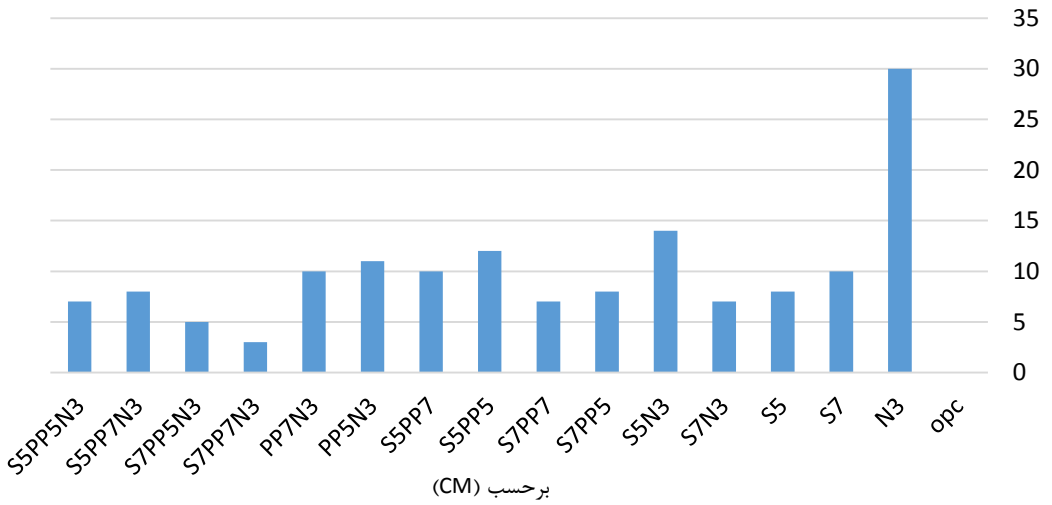
۲-۲-۲-۳- طول ترک در وجه کنار دال‌ها

با بررسی ترک دال در دو وجه کناری نمونه دال‌ها حداکثر مقدار طول ترک را به عنوان طول ترک در نظر گرفته شده است. که مقدار به‌عنوان ترک سراسری در نظر گرفته ایم که این نوع ترک‌ها، ترک‌های خمشی نام دارند.

نمای سمت چپ و راست دال S5N3 بعد از ضربه

نمای سمت چپ و راست دال N3 بعد از ضربه

شکل (۱۵): ثرات برخورد پرتابه در وجه کناری دال

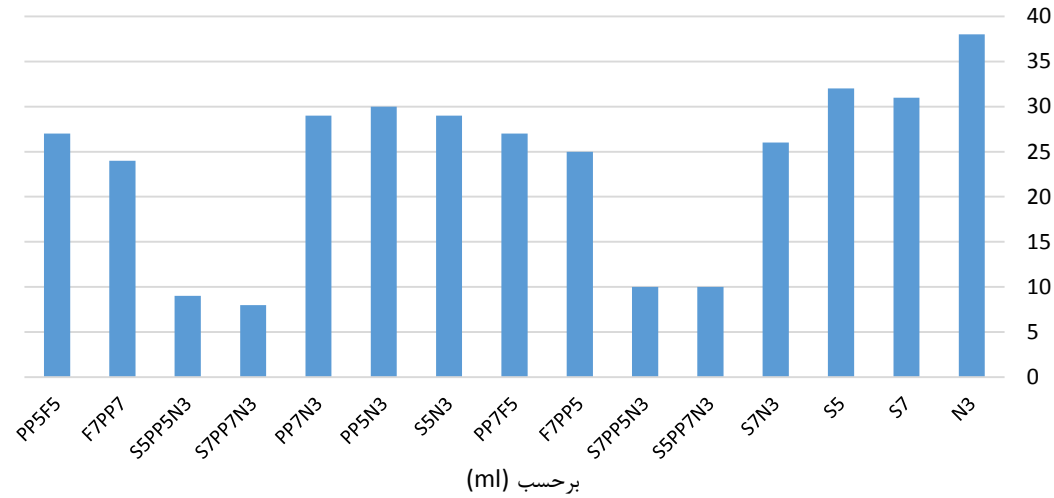


شکل (۱۶): ثرات برخورد پرتابه در وجه کناری دال

بررسی نشان می دهد که همانند عمق ترک در دال ها در وجه کنار دال ها به همین اندازه ترک برداشته است.

ما به وسیله ماسه و استونه مندرج حجم شکاف های ایجاد شده در بتن را اندازه گیری کردیم.

۲-۲-۲-۴- استونه مندرج



شکل (۱۷): میزان حجم شکاف

همانطور که مشاهد می‌شود که به میزان عمق ترک که اندازه گرفته شده است.نتایج که به وسیله استوانه اندازه‌گیری حجم صورت گرفت است. مطابق آن می‌باشد.

۳- در ایمنی سازه

استفاده از بتن تقویت شده با الیاف فولادی، الیاف پلی پروپیلن و نانوسیلیس کلوئیدی می‌تواند در بهبود ایمنی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این ترکیبات به دلیل ویژگی‌های خاص خود، می‌توانند اثراتی مثبت در مقاومت ساختمان به افتان وزن داشته باشند.

- **افزایش مقاومت فشاری و کششی:** الیاف فولادی و پلی پروپیلن به عنوان تقویت‌کننده‌های مکانیکی در بتن عمل می‌کنند. این الیاف به ساختمان مقاومت بیشتری در برابر فشار و کشش می‌بخشند. بنابراین، ساختمان‌های تقویت شده با این الیاف به خصوص در برابر نیروهای فشاری و کششی بهتری مقاومت خواهند داشت.
- **کاهش ترک‌ها و شکست‌ها:** الیاف مختلف می‌توانند کمک کنند تا ترک‌ها و شکست‌ها در بتن کاهش یابند. این امر به افتان وزن ساختمان مقاومت بیشتری می‌بخشد.

- **افزایش انعطاف‌پذیری:** الیاف به بتن انعطاف‌پذیری بیشتری می‌دهند. این انعطاف‌پذیری می‌تواند افتان وزن ساختمان را جذب کرده و از شکست سریع آن جلوگیری کند.
- **کاهش نیاز به تعمیرات:** با افزایش مقاومت و انعطاف‌پذیری، ساختمان‌های تقویت شده با الیاف ممکن است نیاز کمتری به تعمیرات داشته باشند، این موجب کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیرات می‌شود.
- **افزایش عمر مفید:** به دلیل کاهش ترک‌ها و شکست‌ها، ساختمان‌های تقویت شده با الیاف ممکن است دارای عمر مفید بیشتری باشند و از لحاظ ایمنی، پایداری بیشتری داشته باشند.
- **مقاومت در برابر نیروهای دینامیکی:** الیاف می‌توانند به ساختمان‌ها مقاومت در برابر نیروهای دینامیکی مانند زلزله کمک کنند.

در کل می‌توانند بهبود قابل توجهی در ایمنی ساختمان‌ها ایجاد کنند. برای استفاده از این تکنولوژی‌ها در ساختمان‌ها و ایمنی ساختمانی، می‌توانید اقدامات زیر را انجام دهید:

- **طراحی مناسب:** در مرحله طراحی ساختمان، مهندسان باید از این تکنولوژی‌ها در نظر بگیرند و برای تقویت سازه‌ها و کاهش افتان وزن از آنها استفاده کنند.
- **انتخاب مواد مناسب:** انتخاب مواد با کیفیت و مطابق با استانداردهای مورد نیاز بسیار مهم است. از بتن با الیاف فولادی، الیاف پلی پروپیلن و نانوسیلیس کلوئیدی با کیفیت استفاده کنید.
- **آزمایش و کنترل کیفیت:** قبل از استفاده از بتن تقویت شده با الیاف و نانوسیلیس کلوئیدی، باید آن را آزمایش کنید و اطمینان حاصل کنید که مطابق با استانداردها و نیازهای ساختمانی است.
- **مدیریت اجرا:** در فرآیند اجرای ساختمان، مدیریت صحیح و کنترل کیفیت باعث می‌شود که این تکنولوژی‌ها به درستی در ساختمان اعمال شوند.
- **تحلیل دینامیکی:** برای ساختمان‌هایی که در مناطق زلزله‌زده واقع می‌شوند، تحلیل دینامیکی به منظور ارتقاء عملکرد در برابر زلزله مهم است. این تکنولوژی‌ها ممکن است به تقویت سازه و کاهش آسیب در زمان زلزله کمک کنند.
- **مدیریت نگهداری و بازرسی دوره‌ای:** پس از اتمام ساختمان، نیاز به مدیریت نگهداری و بازرسی دوره‌ای دارید تا از عملکرد بهینه ساختمان در طول زمان اطمینان حاصل کنید.

استفاده از بتن تقویت شده با الیاف و نانوسیلیس کلوئیدی می‌تواند ایمنی ساختمان‌ها را در برابر افتان وزن و عوامل خارجی دیگر بهبود بخشد و عمر مفید ساختمان‌ها را افزایش دهد.

بتن نقش مهم و بسزایی در توسعه پایدار از طریق صرفه جویی انرژی و دوام را دارا هست. رویکرد مبتنی بر عملکرد به دوام بتن بنظر می‌رسد یکی از ابزارهای ضروری است. این مهم زمانی اتفاق می‌افتد که اختلاط بتن بهینه انجام گیرد و همچنین در ترکیبات بتن از مواد ترکیبی درستی انتخاب شود تا یک سطح ایمنی مناسبی برای کاربر به وجود بیاورد [۱۳].قدرت و دوام بتن را می‌توان با ایجاد تغییرات مناسب در مواد تشکیل دهنده آن مانند سیمان دانه های سنگی آب و با اضافه نمودن مواد مناسب افزایش داد [۱۴]. با این حال، با وجود یکسری کاستی‌ها در بتن همچنان تقاضا برای این ماده رو به رشد است یک راه مناسب برای بهبود شکل پذیری و افزایش مقاومت سازه های بتنی در مقابل بارگذاری‌های پویا چون ضربه زلزله و ... مورد استفاد قرار می گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق خواص مکانیکی بتن با الیاف فولادی، الیاف پلی-پروپیلن و نانوسیلیس کلوئیدی با ساختن نمونه‌های استاندارد مورد ارزیابی قرارگرفت. از این پژوهش به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که:

با افزایش مقدار مصرف الیاف فولادی و پلی‌پروپیلن، مقاومت فشاری، کششی و خمشی افزایش می‌یابد و بتن کاهش می‌یابد.

با افزایش مقدار مصرف نانوسیلیس کلوئیدی، مقاومت فشاری، کششی و خمشی افزایش می‌یابد و اسلامپ کاهش می‌یابد.

نمونه بتنی S7N3 (۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانوسیلیس) بیشترین مقاومت خمشی را دارند.

با توجه به نتایج به‌دست آمده در نمونه‌های ۲۸ روزه بیشترین افزایش مقاومت فشاری برای S7N3 (۷درصد الیاف فولادی و۳ درصد نانوسیلیس) می‌باشد.

نمونه‌های استوانه‌ای دارای ۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانوسیلیس (S7N3) بیشترین افزایش مقاومت کششی را نسبت به نمونه شاهد دارا می‌باشد. پس از آن نمونه حاوی ۵ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانو سیلیس بیشترین افزایش مقاومت

کششی را نسبت به نمونه‌ی بدون الیاف را دارا می‌باشد. همچنین اضافه کردن ۰/۵ درصد و ۰/۷ درصد الیاف پلی‌پروپیلن به بتن تاثیر چندانی در افزایش مقاومت کششی بتن را ندارند.

بتن بدون الیاف رفتاری ترد و شکننده دارد این درحالی است که بتن مسلح به الیاف‌های فولادی و پلی‌پروپیلن، رفتار شکنندگی بتن را به دلیل جلوگیری از انتشار ترک و دوزندگی ترک‌ها، به طور قابل توجه‌ای کاهش می‌دهد.

بهترین طرح اختلاط مربوط به نمونه‌ی ۷ درصد الیاف فولادی و ۳ درصد نانو سیلیس کلوئیدی (S7N3) می‌باشد، که مقاومت خمشی، مقاومت فشاری و مقاومت کششی به‌ترتیب ۵۴/۳۴، ۳۵/۶۲ و ۲۶/۳۱ درصد نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد.

در قبال ضربه بر این اساس است که‌افزودن الیاف PP باعث بهبود مقاومت بتن تحت خمش و فشار در برابر ضربه می‌شود. همچنین الیاف PP طویل، مقاومت در برابر ضربه بهتری نسبت به الیاف کوتاه از خود نشان می‌دهند.

مقاومت کششی بتن در صورت استفاده از الیاف بعد از ترک خوردن افزایش می یابد اما این افزایش نمی‌تواند با افزایشی که آرماتوربندی معمولی ایجاد می‌کند مقایسه شود افزودن الیاف باعث افزایش قابل ملاحظه ای در انرژی شکست و چقرمگی نمونه ها شده و رفتار بتن را بسیار نرم‌تر می‌کند چقرمگی مخصوص کششی و فشاری نسبت به نمونه بدون الیاف افزایش می یابد افزایش الیاف باعث کاهش نفوذ پذیری نمونه‌های ترک خورده می‌شود.

بهترین نوع بتن الیافی مقاوم به ضربه بتن با الیاف فولادی و بهترین نوع مقاوم به انفجار بتن الیافی با ترکیب فولاد- پلی‌پروپیلن است.

با کاهش نسبت ابعاد، عملکرد بتن الیافی در برابر بار ضربه ای کاهش می‌یابد. این نشان می‌دهد که الیاف کوچک کمترین تأثیر را در مهار ترک‌های ناشی از بارگذاری ضربه ای دارند، ممکن است به دلیل طول کوچک آنها باشد، پیوند کمتری ایجاد می‌کنند و به راحتی از ماتریس بیرون کشیده می‌شوند.استفاده از الیاف فولادی باعث افزایش مقاومت کششی خمشی بتن می شود که باعث کاهش عمق نفوذ می‌شود.

تقویت فیبر هیبریدی می تواند مقاومت کلی در برابر ضربه دال های بتنی را تا حد زیادی بهبود بخشد، رشد ترک را متوقف کند و در نتیجه اندازه ناحیه آسیب دیده را کاهش دهد.

۵- مراجع

[1] J. LEPPÄNEN, "Concrete Structures Subjected to Fragment Impacts," CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 2004.

[2] M. H. Zhang, V. P. W. Shim, G. Lu, and C. W. Chew, "Resistance of high-strength concrete to projectile impact," Int. J. Impact Eng., vol. 31, pp. 825-841, 2005.

[3] T.-L. Teng, Y.-A. Chu, F.-A. Chang, B.-C. Shen, and D.-S. Cheng, "Development and validation of numerical model of steel fiber reinforced concrete for high-velocity impact," Comput. Mater. Sci., vol. 42, no. 1, pp. 90-99, Mar. 2008.

[4] T. H. Almusallam, N. a. Siddiqui, R. a. Iqbal, and H. Abbas, "Response of hybrid-fiber reinforced concrete slabs to hard projectile impact," Int. J. Impact Eng., vol. 58, pp. 17-30, Aug. 2013.

[5] I. M. Kamal and E. M. Eltehewy, "Projectile penetration of reinforced concrete blocks: Test and analysis," Theor. Appl. Fract. Mech., vol. 60, no. 1, pp. 31-37, Aug. 2012.

[6] Y. S. Tai, "Flat ended projectile penetrating ultra-high strength concrete plate target," Theor. Appl. Fract. Mech., vol. 51, no. 2, pp. 117-128, Apr. 2009.

[7] S. T. Quek, V. W. J. Lin, and M. Maalej, "Development of functionally-graded cementitious panel against high-velocity small projectile impact," Int. J. Impact Eng., vol. 37, no. 8, pp. 928-941, Aug. 2010.

[8] A. N. Dancygier, D. Z. Yankelevsky, and C. Jaegermann, "Response of high performance concrete plates to impact of non-deforming projectiles," Int. J. Impact Eng., vol. 34, pp. 1768-1779, 2007.

[9] S. Werner, K.-C. Thienel, and A. Kustermann, "Study of fractured surfaces of concrete caused by projectile impact," Int. J. Impact Eng., vol. 52, pp. 23-27, Feb. 2013.

[10] E. M. Almansa and M. F. Cánovas, "Behaviour of normal and steel fiber-reinforced concrete under impact of small projectiles," Cem. Concr. Res., vol. 29, no. 11, pp. 1807-1814, Nov. 1999.

[11] K. C. G. Ong, M. Basheerkhan, and P. Paramasivam, "Resistance of fibre concrete slabs to low velocity projectile impact," Cem. Concr. Compos., vol. 21, pp. 391-401, 1999.

[۱۲] مقررات ملی ساختمان، شابک: ۷-۵۷-۷۵۸۸-۹۶۴، نشر توسعه ایران، چاپ ۱۳۹۷

[13] Linger, L.; Roziere, E.; Loukili, A.; Cussigh, F.; Rougeau, P. Concrete Equivalent Pereormance Concept for Durability-an Operational Guide for the Comparative Approach. In Conference: At Mumbai (India); 2014.

[14] Vairagade, V.; Kene, K.; Deshpande, N. Investigation of Compressive and Tensile Behavior of Fibrillated Polypropylene Fibers Reinforced Concrete. Int. J. Eng. Res. Appl. 2012, 2 (3), 1111–1115.