

مطالعه آزمایشگاهی نفوذ پرتابه‌ها در اهداف بتن پرمقاومت الیافی

حسین خدارحمی^{۱*}، علی عزیزیان^۲، مصطفی امینی مزرعه نو^۳

۱. دانشیار گروه مکانیک دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲. کارشناس ارشد دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۳. مربی گروه عمران دانشگاه جامع امام حسین (ع)

Hossein-khodarahmi@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۱۱/۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۱۹]

چکیده- در این پژوهش با ساخت ۱۸ نمونه استوانه‌ای به قطر ۲۸ و ارتفاع ۳۰cm و اندازه‌گیری عمق نفوذ، قطر و حجم حفره ناشی از برخورد پرتابه، به صورت میدانی، عملکرد بتن نرمال (NC)، بتن مسلح‌شده با الیاف فولادی (SFRC)، بتن پرمقاومت (HSC) و بتن پرمقاومت مسلح‌شده با الیاف فولادی (SFRHSC)، در مقابل برخورد پرتابه‌ای با دماغه اجابو، کالیبر ۷/۶۲mm، وزن ۱۲/۵gr و سرعت برخورد ۸۳۰m/s ارزیابی و مقایسه شد. نتایج به دست آمده، نشان داد که افزایش مقاومت فشاری ناشی از کاهش نسبت آب به مواد سیمانی و جایگزینی بخشی از سیمان با میکروسیلیس، موجب کاهش ۱۰٪ عمق نفوذ، ۱۵٪ قطر حفره و ۲۳٪ حجم حفره شده‌است، در حالی که افزودن ۰/۵٪ حجمی الیاف فولادی به بتن، باعث شد تا ۷٪ عمق نفوذ، ۱۰٪ قطر حفره و ۵۸٪ حجم حفره کاهش یابد. علاوه بر این در همه نمونه‌های بدون الیاف وقوع ترک‌های بزرگ و انهدام هدف مشاهده شد، ولی در نمونه‌های با الیاف فولادی، ناحیه خسارت دیده به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته بود و ترک‌های ریز به چشم می‌خورد.

واژگان کلیدی: بتن SFRHSC، برخورد پرتابه، عمق نفوذ، قطر حفره، حجم حفره

۱- مقدمه

تحمل بار ناشی از برخورد پرتابه‌ها یک نقطه‌ضعف محسوب می‌شود [۱] و [۲]. علاوه بر این بتن نرمال در مقابل برخورد پرتابه‌ها نقاط ضعفی دارد، از جمله این که زمانی که برخوردهای چندگانه و متوالی به یک سازه بتنی رخ می‌دهد، ظرفیت آن برای تحمل بارهای واردشده کاهش می‌یابد [۳]. وقوع پدیده اسپلینگ^۲ و اسکینینگ^۳ نیز از این ظرفیت بیش از پیش خواهد کاست [۴]. بنابراین برای بهبود پاسخ بتن در مقابل پرتابه‌ها، ارتقاء مشخصات بتن نرمال ضروری به نظر می‌رسد. یکی از این راه‌ها، مسلح نمودن بتن با الیاف فولادیسست [۵].

فراوانی استفاده از بتن در ساخت انواع سازه‌های دفاعی به دلیل در دسترس بودن مصالح مورد نیاز در بیشتر نقاط از یک طرف و وقوع جنگ‌ها و حوادث تروریستی متعدد در این چندسال اخیر از طرف دیگر، اهمیت بررسی عملکرد بتن در مقابل بارهای ضربه‌ای را دوچندان کرده است. رفتار بتن در برابر بارهای دینامیکی بسیار متفاوت از رفتار آن در برابر بارهای استاتیکی است، اما برای بهبود پاسخ بتن به هر نوع بارگذاری اعم از استاتیکی و دینامیکی، اولین راهی که به نظر می‌رسد، افزایش مقاومت فشاری آن است. این در حالی است که گزارش‌های متعددی حاکی از آن است که افزایش مقاومت فشاری، تردی^۱ بتن را افزایش می‌دهد، و افزایش تردی برای

۱-۱- بتن با مقاومت بالا (HSC) و بتن الیافی (FRC)

با پیشرفت فناوری در جهان امکان تولید بتن با مقاومت‌های بالا

علاقه دانشمندان مختلف بوده و در این زمینه پژوهش‌های بسیاری انجام شده‌است. نکته حائز اهمیت این است که بیشتر روابط موجود برای بتن‌های نرمال ارائه شده‌اند و در مورد بتن‌های ویژه مثل بتن الیافی و بتن با مقاومت بالا نمی‌توان از آنها استفاده کرد [۸].

آلمانسا و کانواس^۶ [۸] با بررسی رفتار بتن NC و SFRC در مقابل برخورد پرتابه‌های کوچک، گزارش دادند که افزودن الیاف فولادی تأثیر کمی بر کاهش ضخامت لازم برای جلوگیری از نفوذ کامل دارد، ولی ضخامت لازم برای جلوگیری از اسکیننگ را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. همچنین ایشان مشاهده نمودند که افزودن الیاف فولادی موجب کاهش حجم حفره ناشی از برخورد پرتابه در هر دو وجه جلو و پشت هدف می‌شود و توانایی تحمل برخوردهای متوالی پرتابه به هدف را افزایش می‌دهد.

دانسیر^۷ و همکاران [۱] پاسخ بتن توانمند را در مقابل برخورد پرتابه‌های تغییرشکل‌ناپذیر بررسی و گزارش نمودند که مهم‌ترین تأثیر افزودن الیاف فولادی به بتن توانمند، کاهش ناحیه آسیب‌دیده است.

زانگ^۸ و همکاران [۹] عملکرد بتن با مقاومت بالا را در مقابل پرتابه‌ای با کالیبر ۷/۶۲mm و سرعت برخورد ۷۰۰-۶۲۰ m/s بررسی و مشاهده نمودند که افزایش مقاومت فشاری ناشی از کاهش نسبت آب به مواد سیمانی موجب کاهش عمق نفوذ و قطر حفره نمی‌شود، بلکه وجود سنگدانه‌های گرانیتهی که مقاوم‌تر از سنگدانه‌های آهکی است، کاهش عمق نفوذ و قطر حفره را به دنبال دارند. همچنین ایشان مشاهده کردند که افزودن الیاف فولادی تأثیر چندانی در کاهش عمق نفوذ ندارد بلکه قطر حفره و گسترش ترک‌ها را کاهش می‌دهد.

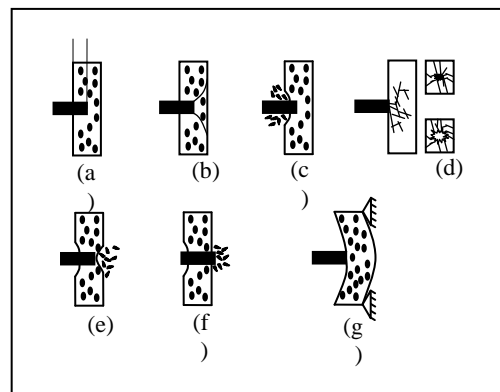
یازیکی^۹ و همکاران [۱۰] با بررسی مشخصات مکانیکی بتن مسلح شده با الیاف فولادی (SFRC)، تحت اثر بارهای ضربه‌ای گزارش نمودند بتن SFRC نسبت به بتن معمولی، در مقابل بارهای ضربه‌ای مقاومت بسیار بالاتری دارد و افزودن الیاف

افزایش یافته و تعریف بتن HSC مدام در حال تغییر است. مستوفی‌نژاد [۵]، در یک تقسیم‌بندی کلی بتن با مقاومت فشاری کمتر از ۴۰Mpa را بتن نرمال (NC)، از ۴۰ تا ۸۰Mpa را بتن با مقاومت بالا (HSC)، از ۸۰ تا ۱۵۰Mpa را بتن با مقاومت خیلی بالا (VHSC) و بالاتر از ۱۵۰Mpa را بتن با مقاومت فوق‌العاده بالا (UHSC)، می‌نامد.

رضانیانپور [۶] بتن الیافی را بر اساس آیین نامه ACI544، ترکیب مصالح معمول بتن و الیاف مجزای غیرپیوسته تعریف می‌کند که الیاف مورد استفاده می‌تواند از مواد طبیعی مانند کف و سلولزها، یا محصولات تولیدی از قبیل شیشه، فولاد، کربن و پلیمر باشد. وی هدف از مسلح کردن بتن با الیاف را به تاخیر انداختن ترک‌خوردگی و افزایش چقرمگی^۴ بتن می‌داند، به‌گونه‌ای که امکان تغییرشکل‌های بسیار بزرگتر، تحت تنش بیشینه، نسبت به بتن بدون الیاف وجود داشته باشد.

۱-۲- اثر برخورد پرتابه‌ها به اهداف بتنی

لی^۵ و همکاران [۷]، مطابق شکل (۱) اثر برخورد پرتابه‌ها به اهداف بتنی را شامل نفوذ ناقص (a) (Penetration)، ترک‌های مخروطی (b) (Cone Cracking)، قله‌کنی از وجه نزدیک (c) (Spalling)، ترک‌های شعاعی در وجه نزدیک و دور (d) (Radial Cracking)، قله‌کنی از وجه دور (e) (Scabbing)، نفوذ کامل (f) (Perforation) و پاسخ کلی هدف (g) (Overall Target Response) گزارش دادند.



شکل (۱) اثر برخورد پرتابه‌ها به اهداف بتنی [۷]

۱-۳- مطالعات انجام شده

بررسی رفتار بتن در مقابل برخورد پرتابه‌ها، سالهاست که مورد

6 Almansa and Canovas

7 Dancygier

8 Zhang

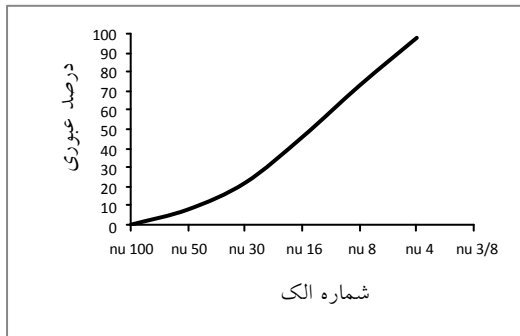
9 Yazici

4 Toughness

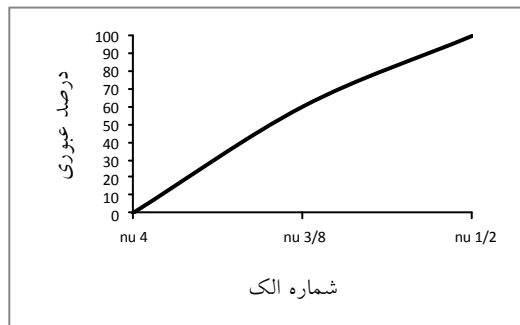
5 Li

۳-۲- سیمان

سیمان مورد استفاده، از نوع پرتلند، تیپ یک ویژه سپاهان (Type I-425)، محصول کارخانه سیمان سپاهان اصفهان است که در جدول (۲) آنالیز ترکیبات آن ارائه شده است.



شکل (۲) منحنی دانه‌بندی ریزدانه



شکل (۳) منحنی دانه‌بندی درشت‌دانه

جدول (۲) آنالیز ترکیبات سیمان استفاده شده

درصد	ترکیبات	درصد	ترکیبات
۲۲/۷	SiO ₂	۵/۷	Al ₂ O ₃
۰/۷	LOSS	۲/۹	Fe ₂ O ₃
۰/۴	IR	۶۱/۳	CaO
۱	Free Cao	۲/۶	Mgo
۰/۷۵	Total Alkalies	۲/۲	So ₃

۴-۲- میکروسیلیس

از پودر میکروسیلیس، به عنوان جایگزین درصدی از وزن سیمان استفاده شد. به این ترتیب که در سری M، ۸٪ و در سری S، ۱۰٪ از وزن سیمان با میکروسیلیس جایگزین شد.

۵-۲- فوق روان کننده

در طرح اختلاط سری M و S از فوق‌روان‌کننده پایه پلی-کربوکسیلاتی و به میزان ۰/۵٪ وزن سیمان استفاده شد.

فولادی، انرژی شکست بتن را تا چندین برابر افزایش می‌دهد. در این پژوهش با ساخت ۱۸ نمونه استوانه‌ای ۲۸×۳۰cm، رفتار بتن پرمقاومت مسلح‌شده با الیاف فولادی^۱ (SFRHSC) (مقاومت فشاری ۴۶۴ تا ۸۶۰kg/cm² در دو حالت با و بدون ۰/۵٪ حجمی الیاف فولادی)، در مقابل برخورد پرتابه‌ای با دماغه اجایو، وزن ۱۲/۵gr و سرعت برخورد ۸۳۰m/s مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- ساخت نمونه‌ها

۱-۲- طرح اختلاط

در این پژوهش، سه طرح اختلاط به نام‌های سری N، M و S در نظر گرفته شد. سری N برای بتن نرمال و سری‌های M و S برای بتن با مقاومت بالا. در هر سری، سه نمونه با افزودن ۰/۵٪ حجمی الیاف فولادی (با نام‌های MF، NF و SF) و سه نمونه بدون الیاف فولادی ساخته شد. جزئیات طرح اختلاط این سه سری در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) طرح اختلاط بتن‌های ساخته شده

S	M	N	مصالح
۰/۳	۰/۳	۰/۵۵	W/CM
۵۴۰	۴۸۷/۶	۳۵۰	سیمان (Kg)
۶۰	۴۲/۴	-	میکروسیلیس (Kg)
۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	درشت‌دانه (Kg)
۷۵۰	۷۵۰	۷۵۰	ریزدانه (Kg)
۳	۲/۷	-	فوق‌روان‌کننده (Kg)

۲-۲- سنگدانه‌ها

سنگدانه‌های مصرفی همه از نوع سنگدانه‌های آهکی بوده و طبق مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۱۱] دانه‌بندی شدند. منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ها و درشت‌دانه‌های مورد استفاده در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. بیشینه اندازه درشت‌دانه‌ها به ۱۲/۵mm محدود شد.

البته در مورد انتخاب ابعاد نمونه‌های تست میدانی، مطالعات دیگران در این زمینه بررسی شد. به عنوان نمونه زانگ و همکاران [۹] در مطالعه برخورد پرتابه‌ای شبیه پرتابه استفاده شده در این پژوهش، ضخامت ۱۵cm را برای هدف بتنی انتخاب کردند تا نفوذ کامل رخ ندهد. همچنین آلمانسا و کانواس [۷]، معتقدند که انتخاب ابعاد هدف باید به گونه‌ای باشد که این ابعاد تأثیری بر پدیده برخورد و نفوذ پرتابه نداشته باشد.

۳- مشخصات پرتابه و تست میدانی نفوذ

۳-۱- پرتابه

برای تست میدانی نفوذ، از گلوله اسلحه تک‌تیرانداز دراگونوف (SVD) استفاده شد. گلوله گفته شده دارای دماغه اجایو، کالیبر ۷/۶۲mm، وزن مرمی ۱۲/۵gr، هسته سخت فولادی با وزن ۵/۵gr و سرعت برخورد ۸۳۰m/s است، که در شکل (۶) نشان داده شده است. طول مرمی ۳۳mm و طول هسته سخت آن ۱۹mm است.

۳-۲- تست میدانی نفوذ

برای اینکه برخورد پرتابه به هدف به صورت عمود اتفاق بیفتد (برخورد نرمال)، در شرایط میدانی، مطابق شکل (۷) اسلحه بر روی یک پایه قابل تنظیم قرار گرفت و ارتفاع هدف و اسلحه به طور یکسان تنظیم شد تا با کاهش خطای انسانی، تا حد ممکن برخورد نرمال اتفاق بیفتد.



شکل (۶) پرتابه مورد استفاده

۳-۳- طول عمر نمونه‌ها

در جدول (۳) طول عمر نمونه‌های بتنی، هنگام تست میدانی نفوذ ارائه شده است.

۲-۶- الیاف فولادی

از تنها الیاف فولادی تولید داخل، با نسبت جناحی^{۱۱} (نسبت طول به قطر) ۵۰ (طول ۵۰mm و قطر ۱mm)، و به میزان ۵٪ درصد حجم بتن استفاده شد. الیاف یاد شده از نوع فولاد ST37 بوده و طبق استاندارد ASTM A820 تولید شده است شکل (۴).



شکل (۴) الیاف فولادی مصرفی

۲-۷- ابعاد نمونه‌ها

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری بتن، از نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵cm استفاده شد. همچنین با توجه به اینکه برای انتخاب ابعاد نمونه‌های تست میدانی نفوذ، استاندارد مشخصی وجود ندارد، در این پژوهش با در نظر گرفتن اینکه پدیده مورد بررسی، نفوذ ناقص و اسپلینگ است، از استوانه‌ای به قطر ۲۸ و ارتفاع ۳۰cm برای ساخت نمونه‌های تست میدانی نفوذ استفاده شد. در شکل (۵) نمونه استوانه‌ای گفته شده نشان داده شده است.



شکل (۵) نمونه استوانه‌ای تست نفوذ

۴- نتایج و بحث و بررسی

۴-۱- نتایج تست استاتیکی

آزمایش استاتیکی انجام شده در این پژوهش، اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۲۸ روزه انواع بتن‌های ساخته شده است که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.

همان‌گونه که در جدول (۴) مشخص است، با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، افزایش عیار سیمان و جایگزینی درصدی از وزن سیمان با میکروسلیس، مقاومت فشاری نمونه‌ها از سری N تا سری S، نزدیک به دوبرابر افزایش یافته است. در نمونه‌های بتن الیافی نسبت به بتن نرمال، کاهش مقاومت رخ داده است. این کاهش مقاومت، نتیجه باقی‌مانده حباب‌های هوا و فضای خالی در نمونه‌های الیافی است که ممکن است دو علت داشته باشد. اول اینکه کارایی بتن، با استفاده از الیاف فولادی کاهش می‌یابد و بر اثر این کاهش کارایی، در زمان قالب‌گیری نمونه‌ها ویریه مناسب انجام نشده و حباب‌های هوا داخل بتن باقی می‌ماند. دوم اینکه ابعاد الیاف استفاده شده (نسبت طول به قطر) مناسب نبوده و این، خود موجب بهم خوردن پیوستگی بین سنگدانه‌ها شده و در پایان فضاهای خالی در بتن باقی می‌ماند و موجب کاهش مقاومت فشاری می‌شود.

جدول (۴) میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن‌های ساخته شده

نمونه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی ۱۵×۱۵cm (kg/cm ²)
N	۴۶۴
NF	۴۵۲
M	۷۶۷
MF	۶۰۸
S	۸۶۰
SF	۷۷۷

البته لازم به گفتن است افزودن الیاف فولادی به بتن برای افزایش مقاومت فشاری، مرسوم نیست ولی کاهش مقاومت ایجاد شده را می‌توان با تغییر طرح اختلاط در نمونه‌های الیافی و افزایش ریزدانه‌ها از بین برد.



شکل (۷) اسلحه دراگونوف

۴-۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده

در این پژوهش به دنبال مطالعه و بررسی پدیده‌های نفوذ ناقص و اسپلینگ در وجه نزدیک هدف، پارامترهای عمق نفوذ (P_d)، کمینه و بیشینه قطر حفره (d_1, d_2)، قطر حفره معادل (D_{eq}) و حجم حفره ناشی از برخورد پرتابه (V) به شرح زیر اندازه‌گیری شدند:

عمق نفوذ: فاصله بین سطح نمونه تا عمیق‌ترین نقطه ایجادشده به وسیله پرتابه

قطر حفره: کمینه و بیشینه قطر حفره ایجادشده در اثر برخورد پرتابه به وجه نزدیک هدف، مطابق آنچه دانسیجر و یانکولوسکی [۱] انجام دادند.

قطر حفره معادل: مطابق همان مرجع و از رابطه زیر:

$$D_{eq} = \sqrt{d_1 \cdot d_2} \quad (1)$$

حجم حفره: به کمک ماسه نرم، و مطابق آنچه گومز^{۱۲} و شوکلا^{۱۳} انجام دادند.

جدول (۳) طول عمر نمونه‌ها هنگام تست نفوذ

سری	طول عمر (روز)
N	۸۴
NF	۷۸
M	۷۱
MF	۶۳
S	۴۴
SF	۳۶

۴-۲- نتایج تست نفوذ

در جداول (۵) تا (۷) نتایج تست میدانی نفوذ ارائه شده است. (در جدول (۸) نتایج تست نفوذ همه نمونه‌ها قابل مشاهده است).

جدول (۵) میانگین عمق نفوذ سری‌های مختلف بتن

نمونه	$\sim P_d$ (mm)
N	۷۲
NF	۶۷
M	۶۷
MF	۶۴
S	۶۵
SF	۶۱

بر اساس جدول (۵)، افزودن الیاف فولادی در هر رده مقاومت فشاری، بیشینه موجب کاهش ۷٪ عمق نفوذ شده است. همچنین از سری N به S (افزایش مقاومت فشاری از ۴۶۴ به ۸۶۰ kg/cm^2)، ۱۰٪ عمق نفوذ را کاهش داده است.

بنابراین بر اساس نتایج تست‌های نفوذ انجام شده، تاثیر افزودن ۰/۵٪ حجمی الیاف فولادی و افزایش مقاومت فشاری تا حدود دو برابر، در کاهش عمق نفوذ، تقریباً یکسان و اندک بوده است. از آنجایی که افزایش مقاومت فشاری بتن در این پژوهش، تنها با کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، افزایش عیار سیمان و جایگزین کردن درصدی از وزن سیمان با میکروسیلیس، اتفاق افتاده، و سنگدانه‌های مصرفی در همه نمونه‌ها، یکسان و از نوع آهکی بوده‌اند، می‌توان نتیجه گرفت که این نوع افزایش مقاومت فشاری، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش عمق نفوذ پرتابه ندارد و بهتر است، افزایش مقاومت بتن به کمک سنگدانه‌های مقاوم‌تر مثل سیلیس و کوارتز صورت گیرد. به این موضوع در مطالعات سایرین اشاره شده است ولی به بررسی بیشتری نیاز دارد.

طبق جدول (۶) افزایش مقاومت فشاری تا حدود دو برابر (از سری N به سری S)، ۱۵٪ از قطر حفره معادل ناشی از شکست اسپلینگ را کاهش داده است. همچنین مشاهده می‌شود که افزودن ۰/۵٪ حجمی الیاف فولادی، در هر رده مقاومتی،

بیشینه ۱۰٪ از قطر حفره اسپلینگ را کاهش داده است.

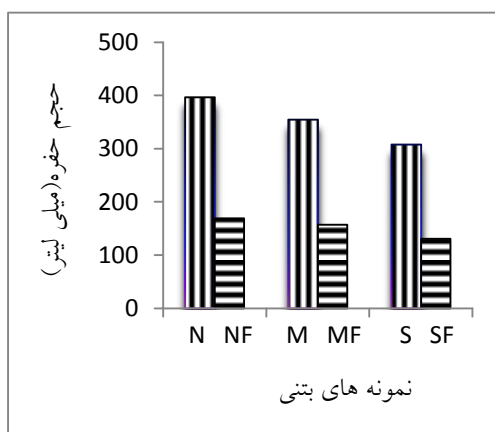
جدول (۶) میانگین قطر حفره وجه نزدیک (حفره اسپلینگ)

سری	$\sim d_1$ (mm)	$\sim d_2$ (mm)	$\sim D_{eq}$ (mm)
N	۱۳۴	۱۷۹	۱۵۵
NF	۱۱۶	۱۳۲	۱۲۴
M	۱۲۳	۱۶۰	۱۴۰
MF	۱۰۵	۱۲۲	۱۱۳
S	۱۱۷	۱۵۲	۱۳۳
SF	۹۶	۱۲۲	۱۰۸

بر اساس جدول (۷)، افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌های بدون الیاف، از ۴۶۴ به ۸۶۰ kg/cm^2 موجب کاهش ۲۳٪ حجم حفره ناشی از شکست اسپلینگ شده است. همچنین با مقایسه نتایج نمونه‌های N با NF (بتن نرمال بدون الیاف و با الیاف) مشاهده می‌شود که افزودن الیاف فولادی به میزان ۰/۵٪ حجمی، ۵۸٪ از حجم حفره اسپلینگ را کاهش داده است.

جدول (۷) میانگین حجم حفره ناشی از برخورد پرتابه (حفره اسپلینگ)

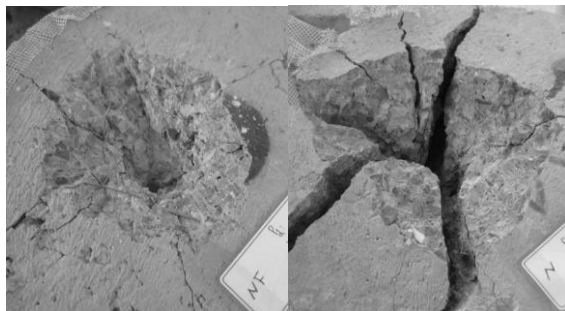
سری	$\sim V$ (ml)
N	۳۹۷
NF	۱۶۹
M	۳۵۵
MF	۱۵۷
S	۳۰۸
SF	۱۳۱



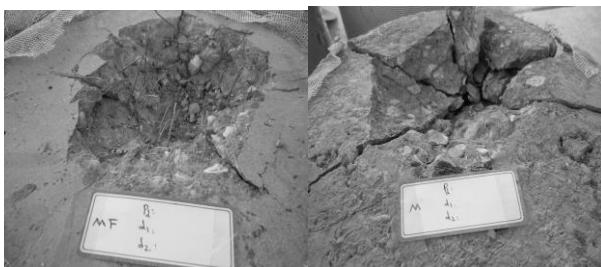
شکل (۸) مقایسه حجم حفره اسپلینگ در سری‌های مختلف بتن

جدول (۸) نتایج کامل تست میدانی نفوذ

نمونه	مقاومت فشاری kg/cm^2	میانگین ~	عمق نفوذ $P_d(\text{mm})$	میانگین ~	عمق نفوذ نرمال شده $P_{dn}(\times 10^3 \text{mm/m/s})$	میانگین ~	انحراف معیار	قطر حفره $d_1(\text{mm})$	قطر حفره $d_2(\text{mm})$	قطر حفره معادل $D_{eq}(\text{mm})$	میانگین ~	انحراف معیار	حجم حفره $V(\text{ml})$	میانگین ~	انحراف معیار
N_1	۴۵۶	۴۶۴	۶۸/۴	۷۲	۸۲/۴	۸۷	۴/۰۵	۱۷۰	۱۳۰	۱۴۹	۱۵۵	۵/۲۹	۳۷۱/۶	۳۹۷	۲۶/۰۵
N_2	۴۹۳		۷۲/۳		۸۷/۱۱			۱۸۶	۱۳۲	۱۵۷			۳۹۶/۹		
N_3	۴۴۳		۷۵/۱		۹۰/۴۸			۱۸۱	۱۳۹	۱۵۹			۴۲۳/۷		
NF_1	۴۶۱	۴۵۲	۶۶	۶۷	۷۹/۵۲	۸۰	۲/۹۳	۱۲۶	۱۱۰	۱۱۸	۱۲۴	۷/۳۷	۱۴۴/۸	۱۶۹	۲۶/۳۸
NF_2	۴۴۴		۶۴/۳		۷۷/۴۷			۱۴۰	۱۲۵	۱۳۲			۱۹۷/۱		
NF_3	۴۵۰		۶۹/۱		۸۳/۲۵			۱۲۹	۱۱۴	۱۲۱			۱۶۴/۹		
M_1	۷۷۰	۷۶۷	۶۷/۵	۶۷	۸۱/۳۲	۸۰	۳/۷۱	۱۷۱	۱۱۰	۱۳۷	۱۴۰	۳/۶	۳۵۵/۴	۳۵۵	۱۱/۴
M_2	۷۶۶		۶۹/۳		۸۳/۴۹			۱۶۰	۱۳۰	۱۴۴			۳۶۶/۱		
M_3	۷۶۴		۶۳/۳		۷۶/۲۶			۱۴۹	۱۲۹	۱۳۹			۳۴۳/۳		
MF_1	۶۱۲	۶۰۸	۶۲/۱	۶۴	۷۴/۸۲	۷۷	۱/۶۶	۱۱۸	۹۵	۱۰۶	۱۱۳	۷/۰۲	۱۶۹	۱۵۷	۱۳/۶۵
MF_2	۵۸۷		۶۴		۷۷/۱۱			۱۲۲	۱۰۶	۱۱۴			۱۴۲/۱		
MF_3	۶۲۴		۶۴/۸		۷۸/۰۷			۱۲۷	۱۱۴	۱۲۰			۱۵۹/۶		
S_1	۸۷۴	۸۶۰	۶۶/۲	۶۵	۷۹/۷۶	۷۸	۱/۵۲	۱۴۵	۱۴۰	۱۴۲	۱۳۳	۹/۰۷	۳۳۷/۹	۳۰۸	۳۶/۰۷
S_2	۷۹۶		۶۳/۷		۷۶/۷۵			۱۵۳	۱۱۲	۱۳۱			۲۶۸/۲		
S_3	۹۱۱		۶۴/۶		۷۷/۸۳			۱۵۷	۹۸	۱۲۴			۳۱۹/۲		
SF_1	۷۸۵	۷۷۷	۶۵/۱	۶۱	۷۸/۴۳	۷۳	۴/۵۴	۱۳۵	۱۰۰	۱۱۶	۱۰۸	۱۰/۴	۱۲۸/۷	۱۳۱	۶۳/۵
SF_2	۷۵۵		۶۰/۳		۷۲/۶۵			۱۳۰	۹۵	۱۱۱			۱۳۸/۱		
SF_3	۷۹۱		۵۷/۶		۶۹/۴			۱۰۰	۹۳	۹۶			۱۲۶		



شکل (۸) بتن نرمال، با الیاف (چپ) و بدون الیاف (راست)



شکل (۹) بتن با مقاومت بالا، با الیاف (چپ) و بدون الیاف (راست)

در شکل (۸)، به وضوح کاهش حجم حفره ناشی از برخورد پرتابه در نمونه‌های الیافی نسبت به نمونه‌های بدون الیاف قابل مشاهده است.

۴-۳- نتایج مشاهده‌ای

بر اساس مشاهدات صورت گرفته، افزودن الیاف فولادی هم در بتن نرمال و هم در بتن با مقاومت بالا، به طور محسوسی از گسترش ترک‌های ناشی از برخورد پرتابه جلوگیری نموده است، به شکلی که در نمونه‌های با الیاف، برخلاف نمونه‌های بدون الیاف، انسجام هدف حفظ شده و سطح آسیب‌دیدگی بسیار کمتر است. این موضوع در شکل (۸) و (۹) به وضوح قابل مشاهده است.

همچنین اندازه ترکش‌های حاصل از برخورد پرتابه در نمونه‌های الیافی کوچکتر از نمونه‌های بدون الیاف مشاهده شد.

علاوه بر این، گسیختگی نمونه‌های مسلح شده با الیاف فولادی، از نوع بیرون کشیدگی الیاف بوده، به شکلی که در محل برخورد پرتابه، الیاف‌های فولادی از بتن جدا شده و کاملاً سالم، بیرون کشیده شده‌اند (شکل ۹).

۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

fiber-reinforced high-strength concrete to projectile impact"; M.Sc Thesis; National University of Singapore; 2005.

[۵] مستوفی‌نژاد، د؛ "سازه‌های بتن‌آرمه جلد اول"؛ ایران؛ انتشارات ارکان دانش؛ ۱۳۹۰؛ ۲۷-۲۶.

[۶] نویل، آ، و بروکس، جی‌جی؛ "تکنولوژی بتن"؛ ترجمه رضانیانپور، ع.ا؛ و اعرابی، ن؛ ایران؛ انتشارات نگارنده دانش؛ ۱۳۹۰؛ ۳۶۹-۳۶۶.

Li Q.M., Reid S.R., Wen H.M., Telford A.R.; "Local [۷] impact effects of hard missiles on concrete targets"; International Journal of Impact Engineering; 32; 2005; 224-284.

[۸] Almansa E.M., Canovas F.M.; "Behaviour of normal and steel fiber-reinforced concrete under impact of small projectiles"; Cement and Concrete Research; 29; 1999; 1807-1814.

[۹] Zhang M.H., Shim V.P.W., Chew C.W.; "Resistance of high-strength concrete to projectile impact"; International Journal of Impact Engineering ; 31; 2005; 825-841.

[۱۰] Yazici S.Y., Arel H.S., Tabak V.; "The effects of impact loading on the mechanical properties of the SFRCs"; Construction and Building Materials; 41 ;2013;68-72.

[۱۱] دفتر امور مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و

شهرسازی؛ "مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه"؛ ایران؛ نشر توسعه دانش؛ ۱۳۸۸؛ ۳۰-۲۹.

[۱۲] Gomez J.T., Shukla A.; "Multiple impact penetration of semi-infinite concrete"; International Journal of Impact Engineering; 25; 2001;965-979.

۱- بر اساس مشاهدات صورت گرفته افزایش مقاومت فشاری ناشی از کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، افزایش عیار سیمان و جایگزین کردن درصدی از وزن سیمان با میکروسیلیس، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش عمق نفوذ و قطر حفره ناشی از برخورد پرتابه نداشته است.

۲- اثر افزودن الیاف فولادی و افزایش مقاومت فشاری، در کاهش عمق نفوذ و قطر حفره، تقریباً یکسان و اندک مشاهده شد (کمتر از ۱۵٪)، ولی استفاده از ۵/۰٪ حجمی الیاف فولادی ۵۸٪ از حجم حفره، و افزایش دو برابری مقاومت فشاری، ۲۳٪ حجم حفره را کاهش داد.

۳- مهم‌ترین اثر افزودن الیاف فولادی، کاهش حجم حفره ناشی از برخورد پرتابه، جلوگیری از گسترش ترک‌ها، حفظ انسجام و کاهش ناحیه آسیب دیده هدف مشاهده شد.

۶- مراجع

[۱] Dancygier A.N., Yankelevsky D.Z., Jaegermann C.; "Response of high performance concrete plates to impact of non-deforming projectiles"; International Journal of Impact Engineering; 34;2007;1768-1779.

[۲] Pramana J.H., Abdul Samad A.A., Ahmad Ziadi A.M. and Riza F.V; " Preliminary study on lightweight concrete under ballistic loading"; European Journal of Scientific Research; 44;2010; 285-299.

[۳] Richard P. and Cheyrezy M.H.; "Composition of Reactive Powder Concrete"; Cement and Concrete Research; 25;1995; 1501-1511.

[۴] Hossain Sharif M.S.; " Resistance of plain and