

The Effect of PVA Fibers and Nano-Particles on the Bonding Strength of Fiber Reinforced Concrete

Hossein Nematian Jelodar

Faculty of Member, Department of Civil Engineering, Chalus Branch, Islamic Azad University, Chalus, Iran

Ata Hojatkashani*

Assistant Proffessor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Rahmat Madandoust

Proffessor, Department of Civil Engineering, University of Guilan,Rasht, Iran

Abbas Akbarpour

Assistant Proffessor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Seyed Azim Hosseini

Associate Proffessor, Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

a_hojatkashani@azad.ac.ir

Keywords:

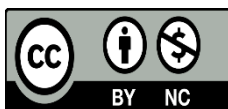
Fiber reinforced concrete,
Bond strength,
Nano-silica,
Micro-silica,
PVA fiber

Abstract

Repairing and Strengthening of concrete structures is of special importance and the mechanical properties of repair mortars and their compatibility with the base concrete are significant aspects in the field of repairing of damaged concrete structures. The bond strength parameter of materials is one of the important properties in the selection of repair mortars. In the current Experimental studies, the bond strength of 7 types of cement base mortars consisting Nano-Silica (NS), Micro-Silica (SF) and Polyvinyl Alcohol (PVA) fibers have been tested on base concrete according to ASTM C882 standard. The base concrete is made of fiber concrete with a target compressive strength of 45 MPa and consisting macrosynthetic fibers. The workability of fiber concrete was 120 mm, and the method of curing the samples was done as the wet method. The obtained results indicate that all 7 types of repair materials of this research were compatible with the base concrete and the sample with the combination of PVA fibers and Nano-Silica in cement-based mortars has increased the bond strength of the samples by 85% compared to the samples without fibers. The highest bond strength among the samples was related to cement based mortar containing PVA fibers and Nano-silica (PVA0.75NS6) with bond strength equal to 21.83 MPa.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).



تأثیر الیاف PVA و نانوذرات بر مقاومت پیوستگی بتن الیافی

حسین نعمتیان جلودار

عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران

عطا حجت کاشانی*

استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

رحمت مدندوست

استاد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

عباس اکبرپور

استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

سید عظیم حسینی

دانشیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، تهران، ایران

a_hojatkashani@azad.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۰ آذر ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: ۲۱ مرداد ۱۴۰۲

چکیده

ترمیم و تقویت سازه‌های بتنی از اهمیت ویژه برخوردار بوده و خواص مکانیکی ملات‌های ترمیمی و همچنین سازگاری با بتن پایه از نکات مهم در ترمیم سازه‌های بتنی آسیب‌دیده می‌باشد. پارامتر مقاومت پیوستگی مصالح از خواص مهم در انتخاب ملات‌های ترمیمی به شمار می‌آید. در این مطالعه آزمایشگاهی مقاومت پیوستگی تعداد ۷ نوع ملات پایه سیمانی حاوی نانوسیلیس (NS)، میکروسیلیس (SF) و الیاف پلی‌وینیل‌الکل (PVA) براساس استاندارد ASTM C882، بر روی بتن پایه مورد آزمایش قرار گرفته شده است. بتن پایه از نوع بتن الیافی با مقاومت فشاری هدف برابر ۴۵ مگاپاسگال و در طرح اختلاط آن از الیاف ماکروسیتتیک استفاده شده است. روانی نمونه بتن الیافی برابر ۱۲۰ میلی‌متر بوده و روش عمل‌آوری نمونه‌ها به صورت مرطوب انجام شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که کلیه مصالح ترمیمی در این تحقیق با بتن پایه سازگار بوده و استفاده از ترکیب الیاف PVA و نانوسیلیس در ملات‌های پایه سیمانی باعث افزایش مقاومت پیوستگی نمونه‌ها به میزان ۸۵ درصد نسبت به نمونه‌های بدون الیاف گردیده است. بالاترین مقاومت پیوستگی در بین نمونه‌ها مربوط به ملات پایه سیمانی حاوی الیاف PVA و نانوسیلیس (PVA۰/۷۵NS۶) با مقاومت پیوستگی برابر ۲۱/۸۳ مگاپاسگال بوده است.

کلید واژگان: بتن الیافی، مقاومت پیوستگی، نانوسیلیس، میکروسیلیس، الیاف PVA

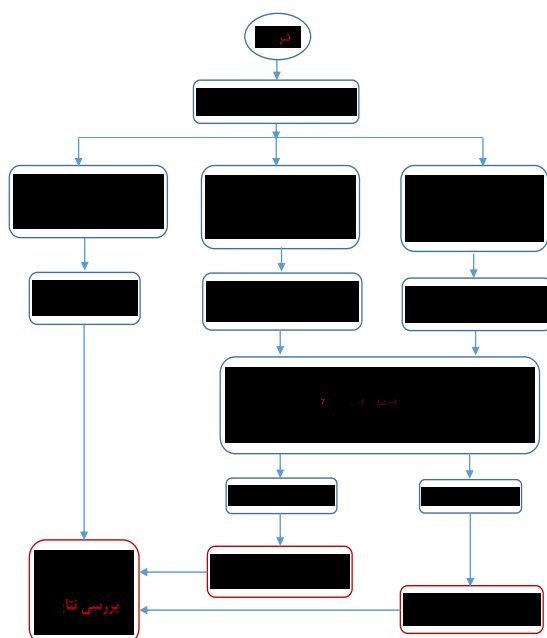
۱- مقدمه

۳(SBR)، دارای مقاومت پیوستگی بالاتری به میزان ۳۰ درصد نسبت نمونه شاهد بوده است [12]. همچنین نتایج مطالعه‌ای دیگر نشان داد که استفاده از برخی مواد همانند ژئوپلیمر در بتن باعث برتری خواص بتن گردیده است [13].

در مطالعه آزمایشگاهی حاضر، تاثیر الیاف پلی‌وینیل‌الکل (PVA) بر مقاومت پیوستگی با سازه پایه بتن الیافی که تاکنون کمتر کار شده، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا ملات‌های پایه سیمانی حاوی الیاف پلی‌وینیل‌الکل PVA، نانوسیلیس و میکروسیلیس که ترکیبات با الیاف آن بعنوان نوآوری این تحقیق بوده، براساس استاندارد ASTM C882 آزمایشات مربوطه انجام پذیرفته شده است [14]. سازه پایه برای ترمیم، از نوع بتن الیافی با درصد حجمی الیاف به میزان ۰/۵ درصد بوده که طرح اختلاط بتن براساس روش ملی مخلوط ایران انجام پذیرفته است [15]. تست سازگاری نمونه‌ها براساس استاندارد ASTM C78 بوده [16] و کلیه آزمایشات نمونه‌ها در آزمایشگاه بتن، مقاومت مصالح و مکانیک سنگ دانشگاه امیرکبیر انجام گردیده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی

فلوچارت کار آزمایشگاه شامل ساخت نمونه‌های بتن الیافی و ملات‌های پایه سیمانی، عمل‌آوری نمونه‌ها و انجام تست‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات مصالح مصرفی، طرح اختلاط و ساخت نمونه‌ها، عمل‌آوری نمونه‌ها و روش‌های آزمایش به شرح ذیل در ادامه آمده است.



شکل ۱- فلوچارت کار آزمایشگاه

ترمیم سازه‌های بتنی با ملات‌های پایه سیمانی یکی از مسائل مهم در صنعت ساختمان بوده و تاکنون مطالعات زیادی در زمینه‌های مختلف بر روی بتن الیافی و ملات‌ها انجام گردیده است [1]. به منظور ترمیم بتن بر اساس مواد تشکیل دهنده در ملات‌ها، به سه گروه اصلی ملات‌های ماسه سیمانی، ملات‌های ماسه سیمانی اصلاح شده با پلیمر و ملات‌های پلیمری تقسیم می‌گردد. استفاده از هر گروه از مصالح ترمیم مستلزم رعایت شرایط خاص در مراحل اجرای ترمیم و عمل‌آوری آن می‌باشد [2]. از نانوذرات می‌توان به عنوان یکی از پرکاربردترین مواد در صنعت بتن یاد نمود. نانوسیلیس برای بهبود دوام، پایداری و افزایش قابل توجه در خواص مکانیکی مواد سیمانی بیان گردیده است ولی هنوز درصد مطلوب جهت استفاده در ملات‌ها متناقض بوده است [3]. به علاوه، مطالعات علمی انجام شده در ارتباط استفاده از نانومواد در مخلوط‌های سیمانی حاکی از ایجاد قابلیت‌های خودترمیمی، خود احساسی، خود تمیزشوندگی و کنترل ترک‌خوردگی نیز بوده است [4]. بعنوان نمونه، استفاده از نانوسیلیس به میزان ۰/۱ درصد وزنی و میکروسیلیس به میزان ۱۵ درصد وزنی باعث افزایش مقاومت در نمونه‌ها گردیده است [5]. از طرفی استفاده از الیاف در صنعت ساختمان کاربرد زیادی نیز دارد [6]. اولین مطالعه در خصوص استفاده از الیاف در بهبود رفتار بتن و ملات در دهه ۱۹۶۰ میلادی انجام گرفته بود [7]. یکی از بهترین مصالح در جهت کنترل ترک در ملات‌ها استفاده از الیاف پلی‌وینیل‌الکل (PVA) بوده که یک پلیمر سنتزی با خواص آلی به شمار آمده و در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. این محصول در حالت خشک پایدار، بدون بو، غیرسمی و دوستدار محیط زیست می‌باشد [8]. در تحقیق دیگر نوعی کامپوزیت‌های سیمانی توانمند الیافی (ECC)، با قابلیت شکل‌پذیری زیاد متشکل از الیاف کوتاه با درصد حجمی کم و با استحکام مطالعه گردیده و نتایج نشان از افزایش شکل‌پذیری و جذب انرژی کامپوزیت سیمانی با مقاومت‌های خمشی ۱۳ مگاپاسگال و فشاری ۹۵ مگاپاسگال بوده است [9]. نتایج مطالعه‌ای نشان داده است که مقاومت‌های خمشی و پیوستگی از پارامترهای مهم و تاثیرگذار بر سازگاری بتن پایه و مصالح ترمیم بوده است. پارامتر مقاومت پیوستگی (حاصل تقسیم نیرو بر سطح مایل بیضوی نمونه ترمیم شده با ملات ترمیمی)، به روش‌های مختلفی از قبیل آزمایش‌های کششی، شکافت، برشی مستقیم و برشی مایل اندازه‌گیری می‌گردد، نتایج این مطالعه آزمایشگاهی نشان داده است که سازگاری بین مصالح ترمیم و بتن پایه متاثر از روش عمل‌آوری آنها بوده است [10]. در تحقیق دیگر نشان داده شده است که رفتار پیوستگی شامل سازوکارهای انتقال تنش‌های پیوستگی و حالت‌های شکست نمونه‌ها نیز بوده است [11]. در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شده است که نمونه‌های ترمیم شده با پلیمر بر پایه لاستیک استایرن بوتادین

1-Polyvinyl alcohol 2-Enginnred cementitious
composites 3-Styrene butadiene rubber

۱-۲- مشخصات مصالح

مصالح مصرفی در این تحقیق در دو بخش ملات‌های پایه سیمانی و بتن پایه بوده است. مصالح مصرفی برای ساخت ملات‌های پایه سیمانی شامل ماسه سیلیس استاندارد، نانوسیلیس کلئیدی، میکروسیلیس و الیاف PVA بوده و مصالح مصرفی برای تهیه و ساخت بتن الیافی شامل شن و ماسه، الیاف ماکروسیتتیک فورتا بوده است. سیمان، آب و فوق‌روان‌کننده برای هردو بخش مشترک بوده است.

مشخصات دانه‌بندی ماسه سیلیس استاندارد در جدول ۱ و تصویر آن در شکل ۲ آمده است. میکروسیلیس با حالت فیزیکی جامد دارای چگالی ۲۱۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نرمی ۱۹۹۹۸۰۰۰۰ سانتیمترمربع بر کیلوگرم بوده و مشخصات نانوسیلیس کلئیدی در جدول ۲ آورده شده است. الیاف پلی‌ونیل‌الکل (PVA)، برای تهیه و ساخت ملات‌های پایه سیمانی بوده و مشخصات آن در جدول ۳ و تصویر آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱- دانه‌بندی ماسه سیلیس استاندارد

ابعاد چشمه‌های الک (میلیمتر)	۲	۱/۶	۱	۰/۵	۰/۱۶	۰/۰۸
باقیمانده روی الک (درصد)	۰	۵±۷	۵±۳۳	۵±۶۷	۵±۸۷	۱±۹۹



شکل ۲- ماسه سیلیس استاندارد

جدول ۲- مشخصات نانوسیلیس

کلئیدی	نانوسیلیس
۱۰>	ویسکوزیته (پاسگال.متر.ثانیه)
۹۸/<	درصد خلوص
۱۱۲۰	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)
۱۸٪	درصد مواد جامد
۱۷۰۰۰	سطح ویژه (مترمربع بر کیلوگرم)
۱۵	ابعاد (نانومتر)
۸/۵	PH

جدول ۳- مشخصات الیاف PVA

قطر (نانومتر)	۱۶
طول (میلیمتر) <td>۶</td>	۶
مقاومت کششی (مگاپاسگال) <td>۱۶۰۰</td>	۱۶۰۰
چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب) <td>۱۳۰۰</td>	۱۳۰۰
مدول الاستیسیته (گیگاپاسگال) <td>۴۰</td>	۴۰
کرنش نهایی (%) <td>۷٪</td>	۷٪
رنگ <td>سفید</td>	سفید

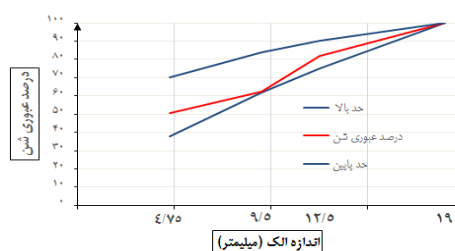


شکل ۳- PVA

جدول ۴- مشخصات الیاف ماکروسینتتیک

۶/۴	مدول الاستیسیته (گیگاپاسگال)
۱۱/۲٪	کرنش نهایی
۵۴	طول (میلیمتر)
۶۹۳	مقاومت کششی (مگاپاسگال)
مونوفیل‌امنت	شکل
۹۱۰	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)
خاکستری	رنگ

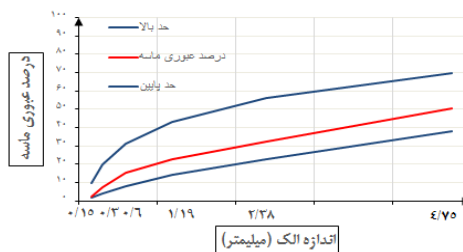
مصالح سنگی شامل شن و ماسه مصرفی برای ساخت بتن پایه از معادن غرب تهران با درصد شکستگی ۴۵ درصد تهیه گردیده است. دانه‌بندی شن و ماسه براساس روش ملی مخلوط ایران با نسبت ۵۰ درصد شن و ۵۰ درصد ماسه، مطابق شکل‌های ۴ و ۵ بوده است. چگالی، درصد رطوبت، درصد جذب آب برای شن به ترتیب برابر ۲۵۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب، ۰/۹۴۲ درصد، ۱/۹ درصد و برای ماسه به ترتیب برابر ۲۵۳۶ کیلوگرم بر مترمکعب، ۲/۳۵ درصد، ۳/۲ درصد، و ضریب نرمی ماسه برابر ۳/۴ بوده است



شکل ۴- دانه‌بندی شن

۲-۲- طرح اختلاط و ساخت نمونه‌ها

مشخصات طرح اختلاط مخلوط ملات‌های پایه سیمانی نمونه شاهد شامل: ماسه سیلیس، سیمان و آب با نسبت‌های وزنی براساس استاندارد شماره ۳۹۳ ایران [18]، در جدول ۵ آورده شده است. مشخصات طرح اختلاط ملات پایه سیمانی و ترکیب آن با درصد‌های مختلف نانو سیلیس، میکروسیلیس و الیاف پلی‌ونیل‌الکل (PVA) به شرح جدول ۶ شامل ۷ طرح برگرفته از نتایج تحقیق نعمتیان جلودار و همکاران [17]، اخذ و ساخته گردیده است. با توجه به کارایی نمونه‌های شاهد که برابر ۱۵۵ میلیمتر به دست آمده است برای یکسان‌سازی کارایی کلیه ترکیبات طرح، در محدوده 10 ± 155 میلیمتر از فوق‌روان‌کننده نوع نسل سوم بر پایه پلی‌کربوکسیلات‌های اصلاح شده اتر با نام تجاری PS-۱۰ به صورت سعی و خطا استفاده گردیده است.



شکل ۵- دانه‌بندی ماسه

جدول ۵- مشخصات طرح اختلاط ملات پایه سیمانی

نمونه شاهد

۰/۵	نسبت آب به سیمان
۳	نسبت ماسه به سیمان
۴۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب	سیمان
۱۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب	ماسه سیلیس
۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب	آب

مشخصات الیاف ماکروسینتتیک فورتا برای ساخت بتن الیافی بعنوان بتن پایه در جدول ۴ آمده است. الیاف ماکروسینتتیک فورتا به میزان ۰/۵ درصد حجم بتن برای ساخت بتن پایه لحاظ گردیده است. آب مصرفی برای ساخت ملات‌های پایه سیمانی و بتن پایه، آب شرب تهران بوده است. سیمان مصرفی برای ساخت ملات‌های پایه سیمانی و بتن پایه از پرتلند نوع یک (۴۲۵-۱) از کارخانه دلجان تهیه گردیده است. فوق‌روان‌کننده برای ساخت ملات‌های پایه سیمانی و بتن پایه از نوع نسل سوم بر پایه پلی‌کربوکسیلات‌های اصلاح شده اتر با نام تجاری PS-۱۰ با رنگ قهوه‌ای روشن و بصورت مایع بوده و میزان مصرف فوق‌روان‌کننده در ملات‌های پایه سیمانی به صورت سعی و خطا تا رسیدن به کارایی نمونه شاهد بوده است.

جدول ۶- طرح‌های انتخابی ساخت ملات‌های پایه سیمانی

شماره طرح	نام مواد	ترکیب انتخابی
۱	نانوسیلیس ۶٪	NS۶
۲	میکروسیلیس ۱۰٪	SF۱۰
۳	نانوسیلیس ۲٪ + میکروسیلیس ۸٪	ASF۲NS
۴	الیاف PVA ۵٪	۵/PVA
۵	نانوسیلیس ۶٪ + الیاف PVA ۷۵٪	۶NS۷۵/PVA
۶	میکروسیلیس ۱۰٪ + الیاف PVA ۷۵٪	۱۰SF۷۵/PVA
۷	نانوسیلیس ۲٪ + میکروسیلیس ۸٪ + الیاف PVA ۷۵٪	ASF۲NS۷۵/PVA

جدول ۷- مصالح در طرح اختلاط بتن الیافی (یک مترمکعب)

ردیف	نوع مصالح	مقدار (کیلوگرم)
۱	شن	۸۷۳
۲	ماسه	۸۵۶
۳	سیمان	۴۰۰
۴	آب	۱۷۹
۵	الیاف ماکروسینتتیک فورتا	$۴/۵۵ = ۹۱۰ \times ۰/۰۰۵$
۶	فوق‌روان کننده	۲

جدول ۸- تعداد و ابعاد نمونه‌ها

ردیف	نوع آزمایش	استاندارد	ابعاد نمونه (میلیمتر)	تعداد
۱	مقاومت پیوستگی	ASTM C882	۷۵ × ۱۵۲	۱۴
۲	سازگاری	ASTM C78	۱۰۰ × ۱۰۰ × ۴۰۰ ۱۰ × ۱۰۰ × ۲۰۰	۱۴
۳	مقاومت فشاری	ASTM C39	۱۵۰ × ۱۵۰ × ۱۵۰	۴



شکل ۶- مصالح برای ساخت ملات پایه سیمانی با الیاف PVA

طرح اختلاط بتن پایه متشکل از الیاف ماکروسینتتیک فورتا برای مقاومت فشاری هدف ۴۵ مگاپاسگال با شکستگی مصالح سنگی برابر ۴۵ درصد و الیاف ماکروسینتتیک با ۵٪ درصد حجم بتن و به میزان ۴/۵۵ کیلوگرم در مترمکعب و نسبت آب به سیمان ۰/۴۴۸، آب آزاد به میزان ۱۷۹ لیتر، مواد فوق‌روان کننده به میزان ۵٪ درصد وزن سیمان برای اسلامپ ۱۲۰ میلیمتر و با وزن بتن برابر ۲۳۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب بر طبق روش ملی طرح مخلوط ایران تعیین و مشخصات و میزان مصالح مصرفی شامل: شن، ماسه، سیمان، آب، الیاف و فوق‌روان کننده در جدول ۷ آمده است.

تعداد و ابعاد نمونه‌های ساخته شده از بتن الیافی برای تست مقاومت پیوستگی در جدول ۸ آمده است. تصویر مصالح برای ساخت ملات پایه سیمانی با الیاف PVA در شکل ۶ و تصویر مصالح برای ساخت بتن پایه در شکل ۷ و تصویر نمونه‌ها برای تست پیوستگی و سازگاری در شکل ۸ آمده است.



شکل ۹- تست سازگاری بتن پایه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی حاوی الیاف PVA



شکل ۷- مصالح برای ساخت بتن پایه با الیاف ماکروسیتتیک فورتا



شکل ۸- نمونه‌ها برای تست پیوستگی و سازگاری

در این مطالعه آزمایشگاهی برای تعیین مقادیر مقاومت پیوستگی از روش برش مایل استفاده شده است. برای انجام آزمایشات مقاومت پیوستگی نمونه‌ها، که سطح بین مصالح ترمیم و بتن پایه در حالت ترکیبی فشار و برش قرار گرفته، از استاندارد ASTM C882 استفاده گردیده است. در آزمایش مقاومت پیوستگی، پس از خروج نمونه‌ها از حوضچه آب، برش مایل نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد 152×76 میلی‌متر تحت زاویه 30° با راستای قائم انجام شده و سطوح به مدت ۷ روز جهت خشک شدن در هوای آزاد قرار گرفته‌اند. سطح تماس دو ماده نیز قبل از اعمال ماده ترمیم با شیارزنی به سطح زبر آماده گردیده بود. نمونه‌های برش خورده مجدداً در داخل قالب قرار گرفته و عملیات ترمیم نمونه‌ها و عمل آوری رطوبتی آنها مجدداً به مدت ۲۸ روز انجام گردیده است.

ملات‌های پایه سیمانی که در این بخش استفاده شده شامل: SF۱۰، NS۶، PVA۰/۷۵SF۱۰، PVA۰/۷۵NS۶، PVA۰/۷۵NS۶، PVA۰/۷۵NS۶، NS۶SF۱۰، NS۶SF۱۰ بوده که این ترکیب‌ها به علت دارا بودن بالاترین مقاومت‌های فشاری و خمشی در بین ۱۱۲ ترکیب تحقیق نعمتیان و همکاران [17] مورد استفاده قرار گرفته است. قبل از انجام آزمایش مقاومت پیوستگی عملیات کلاهی گذاری نمونه‌های استوانه‌ای با ملات کوگرد انجام گرفته است.

پس از شکستن استوانه‌های ترمیم شده تحت بار فشاری، سه مود کلی شکست می‌تواند اتفاق بیافتد، حالت اول: شکست در سطح تماس دو ماده (مود اول)، در این نوع شکست، استوانه‌هایی که با این مود دچار گسیختگی گردیده‌اند، بدون آسیب دیدگی در بتن پایه و یا ملات پایه سیمانی از محل اتصال جدا می‌گردند. حالت دوم: شکست در سطح تماس دو ماده و ملات پایه سیمانی (مود دوم)، در این شکست ملات پایه سیمانی گسیخته شده و همزمان در سطح تماس دو ماده نیز جداشدگی دیده می‌شود بطوری‌که شکست ملات پایه سیمانی می‌تواند به صورت خردشدگی کامل و یا ایجاد ترک‌های ریز باشد. حالت سوم: شکست ترکیبی در سطح تماس بتن پایه و ملات پایه سیمانی (مود ۳)، در این حالت در عین حال که نمونه از سطح تماس دچار جداشدگی شده است، هر دو ماده بتن پایه و ملات پایه سیمانی نیز دچار گسیختگی می‌گردند [10]. مقاومت پیوستگی به صورت حداکثر بار محوری تحمل شده تقسیم بر مساحت سطح مایل بیضوی برابر 9116 میلی‌متر مربع محاسبه گردیده است. نمایی از نمونه‌های برش خورده، قالب‌گیری مجدد و تست مقاومت پیوستگی برش مایل در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

۲-۳- عمل آوری نمونه‌ها

پس از قالب‌گیری، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیطی مرطوب نگهداری شده و بعد از آن نمونه‌ها را از قالب خارج نموده و در آب با دمای ثابت 20 ± 1 درجه سانتیگراد قرارداده تا به مقاومت نهایی خود برسند پس از آنکه نمونه‌ها به مقاومت ۲۸ روزه خود رسیدند آنها را از حوضچه آب خارج و مرحله دوم عملیات عمل آوری شامل ۷ روز خشک شدن در هوای آزاد و سپس ۲۸ روز عمل آوری رطوبتی بر اساس استاندارد ASTM C882 انجام گرفته است.

۲-۴- روش‌های آزمایش و استانداردها

برای انجام آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی از استاندارد ASTM C39 و برای انجام آزمایش سازگاری نمونه‌ها از استاندارد ASTM C78 استفاده گردیده است. سازگاری یا ناسازگاری مصالح ترمیم و بتن پایه با مود شکست مشخص می‌گردد. اگر شکست در قسمت ترمیم شده و یا یک سوم کناری تیر رخ دهد، مصالح ترمیم و بتن پایه سازگار بوده است [16]. در شکل ۹ نمایی از آزمایش سازگاری نمونه‌ها آورده شده است.

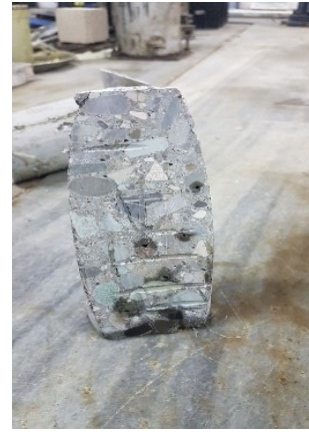
میلیمتر حاصل گردیده است. نتایج مقاومت‌های ۲۸ روزه ملات‌های پایه سیمانی NS۶، SF۱۰، NS۲SF۸، PVA۰/۵، PVA۰/۷۵NS۶، PVA۰/۷۵SF۱۰، PVA۰/۷۵NS۲SF۸ به ترتیب برابر ۶۰، ۶۴/۶۹، ۶۵، ۶۴/۹۴، ۴۶/۵۶، ۴۵/۷۸ مگاپاسگال بوده است. نتایج مقاومت فشاری ملات‌های پایه سیمانی نشان داده است که نانوسیلیس و میکروسیلیس دارای اثر مثبت و الیاف PVA دارای اثر منفی بر مقاومت فشاری ملات‌های پایه سیمانی بوده است.

در کلیه تست‌های سازگاری انجام شده، ناحیه شکست در قسمت میانی محل ترمیم شده تیرهای بتن پایه رخ داده است که نشان دهنده سازگار بودن ملات‌های ترمیمی با بتن پایه بوده است. در شکل ۱۳ ناحیه شکست تیر ترمیم شده با ملات NS۲SF۸ به عنوان نمونه نشان داده است.



شکل ۱۳- ناحیه شکست تست سازگاری بتن پایه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی NS۲SF۸

نتایج آزمایشات مقاومت پیوستگی ۷ نوع ملات پایه سیمانی شامل نوع ملات، نوع شکست و مقاومت پیوستگی به همراه انحراف معیار در جدول ۹ آورده شده است. برای تعیین مقاومت پیوستگی بر مبنای میانگین دونمونه بوده است. مقاومت پیوستگی نمونه با ملات پایه سیمانی NS۶ برابر ۱۱/۸۱ مگاپاسگال و مود شکست در حالت مود اول مطابق شکل ۱۴ بوده است. مقاومت پیوستگی نمونه با ملات پایه سیمانی SF۱۰ برابر ۱۲/۵۱ مگاپاسگال با مود شکست در حالت مود اول مطابق شکل ۱۵ و مقاومت پیوستگی نمونه با ملات پایه سیمانی NS۲SF۸ برابر ۱۳/۳۱ مگاپاسگال با مود شکست در حالت مود اول مطابق شکل ۱۶ بوده است. نتایج نشان داده است که ملات حاوی نانوسیلیس به میزان ۶ درصد، دارای کمترین مقاومت پیوستگی بوده است. بررسی‌ها نشان داده است که افزودن میکروسیلیس به ملات پایه سیمانی حاوی نانوسیلیس باعث افزایش مقاومت پیوستگی گردیده است، همچنین شکست نمونه‌های ملات حاوی نانوسیلیس و میکروسیلیس، در سطح تماس دو ماده بوده و با نیروی نه چندان زیاد و بدون آسیب دیدگی در بتن پایه و ملات، از محل اتصال جدایی افتاده است.



شکل ۱۰- ایجاد سطح زبر با شیارزنی سطح بتن پایه



شکل ۱۱- برش نمونه‌های استوانه‌ای بتن پایه و قالب‌گیری مجدد با ملات‌های پایه سیمانی در تست مقاومت پیوستگی



شکل ۱۲- تست مقاومت پیوستگی بتن پایه با ملات پایه سیمانی حاوی نانوسیلیس ۶ درصد

۳- نتایج آزمایشگاهی و تفسیر نتایج

نتایج آزمایشات بتن پایه و ملات‌های پایه سیمانی شامل مقاومت فشاری، آزمایش سازگاری و مقاومت پیوستگی آورده شده است. نتایج مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های مکعبی بتن پایه که از نوع بتن الیافی بوده به ترتیب برابر ۳۸/۵ و ۴۹/۴ مگاپاسگال بوده است. مقاومت فشاری بدست آمده نشان داده است که مقاومت فشاری هدف نمونه‌های بتن الیافی با کارایی ۱۲۰

جدول ۹- مقاومت پیوستگی بتن پایه با ملات‌های پایه سیمانی ۲۸ روزه (مگاپاسگال)

شماره	طرح	ترکیب انتخابی	نوع شکست	مقاومت پیوستگی (مگاپاسگال)	انحراف معیار
۱	A	NS۶	مود اول	۱۱/۸۱	۰/۱۴
۲	B	SF۱۰	مود اول	۱۲/۵۱	۰/۳۴
۳	C	ASF۲NS	مود اول	۱۳/۳۱	۰/۱۱
۴	D	۵/۰PVA	مود اول	۱۳/۷۱	۰/۲۱
۵	E	۶NS۷۵/۰PVA	مود دوم	۲۱/۸۳	۰/۱۸
۶	F	۱۰SF۷۵/۰PVA	مود دوم	۲۰/۶۵	۰/۲۴
۷	G	ASF۲NS۷۵/۰PVA	مود دوم	۱۸/۴۰	۰/۲۵



شکل ۱۵- شکست در حالت مود اول نمونه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی SF۱۰

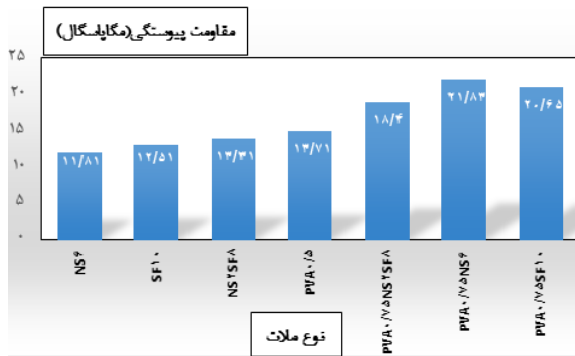


شکل ۱۶- شکست در حالت مود اول نمونه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی NS۲SF۸



شکل ۱۴- شکست در حالت مود اول نمونه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی NS۶

مقاومت پیوستگی ملات پایه سیمانی حاوی ۰/۵ درصد الیاف PVA برابر ۱۳/۷۱ مگاپاسگال با مود شکست از نوع مود اول بوده است. مقاومت پیوستگی ملات PVA۰/۷۵NS۶ با مقاومت برابر ۲۱/۸۳ مگاپاسگال با مود شکست از نوع دوم حاصل گردیده و در بین ۷ نوع ملات پایه سیمانی، بالاترین بوده و در هنگام شکست مطابق شکل ۱۷، قسمتی از ملات به بتن پایه چسبیده بود. مقاومت پیوستگی ملات‌های پایه سیمانی PVA۰/۷۵SF۱۰ و PVA۰/۷۵NS۲SF۸ به ترتیب برابر ۲۰/۶۵ و ۱۸/۴۰ مگاپاسگال بوده و شکست نمونه‌ها از نوع مود دوم بوده و گسیختگی در این دو نوع ملات با ایجاد ترک در قسمت ماده ترمیم کننده مطابق شکل ۱۸ روی داده بود.



شکل ۱۹- نمودار میله‌ای مقاومت پیوستگی ملات‌های پایه سیمانی



شکل ۱۷- شکست در حالت مود دوم نمونه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی PVA-۰/۷۵NS^۶

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه آزمایشگاهی، مقاومت پیوستگی نمونه‌های ترمیم شده با ملات‌های پایه سیمانی مختلف بر اساس ASTM C882 مورد بررسی قرار گرفته شده است. اهم نتایج حاصل از آزمایشات این تحقیق به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

۱- شکست کلیه تیرها در آزمایش سازگاری در ناحیه میانی تیر یعنی محل ترمیم شده اتفاق افتاده که نشان از سازگار بودن مصالح ترمیم استفاده شده با بتن پایه بوده است.

۲- استفاده از الیاف PVA در ملات‌های پایه سیمانی باعث افزایش مقاومت پیوستگی گردیده بطوری که بالاترین مقاومت پیوستگی در بین نمونه‌ها مربوط به ملات پایه سیمانی با ترکیب‌های حاوی الیاف PVA + نانوسیلیس (PVA-۰/۷۵NS^۶) با مقاومت پیوستگی برابر ۲۱/۸۳ مگاپاسکال بوده است.

۳- شکست نمونه‌ها در مقاومت پیوستگی ملات‌های پایه سیمانی که حاوی درصد الیاف PVA به میزان ۰/۷۵ بوده‌اند، از نوع مود دوم با ایجاد ترک و خرابی در ماده ترمیم بوده است.

۴- استفاده از الیاف PVA در ملات‌های پایه سیمانی باعث افزایش مقاومت پیوستگی ملات به میزان ۸۵ درصد در مقایسه با ملات‌های پایه سیمانی بدون الیاف بوده است.

منابع

- 1-Nematian Jelodar H, Hojatkashani A, Madandoust R, Akbarpour A, Hosseini, SA. Experimental Study of Fiber Concrete Slab behavior Against High Electric Heat. International Journal of Advanced Structural Engineering. 2023; 13 (1): 607-619.
- ۲- قدوسی، پ، تعمیر سازه‌های بتنی مصالح و روش‌ها، تهران، انتشارات شهر و سازه، ۱۳۸۰، چاپ اول، ۱۰۹.
- 3-Aggarwal P, Pratap singh R, Aggarwal Y. Use of nano-silica in cement based materials-Areview. Congent Engineering. 2015; 2(1): 1-11.
- ۴- سازمان ملی استاندارد ایران، فناوری نانو - نانوذرات پودری و نانوکلوئیدهای مورد استفاده در مخلوط‌های سیمانی - ویژگی‌ها



شکل ۱۸- شکست در حالت مود دوم نمونه ترمیم شده با ملات پایه سیمانی PVA-۰/۷۵SF^{۱۰}

نتایج تست‌های مقاومت پیوستگی نشان داده است که ملات‌های پایه سیمانی حاوی الیاف PVA که در ترکیب آنها از نانوسیلیس و میکروسیلیس استفاده شده بود دارای مقاومت پیوستگی بالاتر و رفتار و مد شکست بهتر نسبت دیگر ملات‌ها بوده‌اند. تمامی ملات‌های پایه سیمانی حاوی ۰/۷۵ درصد الیاف PVA، دارای شکست از نوع مود دوم با گسیختگی در ماده ترمیم اتفاق افتاده بود. ملات‌های پایه سیمانی حاوی الیاف PVA در مقایسه با ملات‌های بدون الیاف دارای مقاومت پیوستگی بالاتری بوده است بطوریکه مقاومت پیوستگی ملات PVA-۰/۷۵NS^۶ به میزان ۸۵ درصد بیشتر از مقاومت پیوستگی ملات NS^۶ بوده است. نمودار میله‌ای مقاومت پیوستگی ملات‌های پایه سیمانی در شکل ۱۹ آورده شده است.

۱۶- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، سیمان، تعیین مقاومت فشاری و خمشی، روش آزمون، استاندارد ملی ایران ۳۹۳، ویرایش دوم، ۱۳۸۳، ۳۶.

17-Nematian Jelodar H, Hojatkashani A, Madandoust R, Akbarpour A, Hosseini SA. Experimental Investigation on the Mechanical Characteristics of Cement-Based Mortar Containing Nano-Silica, Micro-Silica, and PVA Fiber. *Journal of Processes*. 2022; 10 (9): 1-15.

18- ASTM. Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. United States, C39, 2016.

وروش های اندازه گیری، استاندارد ملی ایران ۱۵۵۰۹، چاپ اول، ۱۳۹۷، ۲۷.

5-Zapata LE, Portela G, Suarez OM, Carrasquillo O. Rheological performance and compressive strength of superplasticized cementitious mixtures with micro/nano-sio additions. *Construction and Building Materials*. 2013; 41(5): 708-716.

6-Kim MO. Influence of polymer types on the mechanical properties of polymer-modified cement mortars. *Journal of Applied Sciences*. 2020; 10(3): 1-12.

7-Romualdi JP, Mandel JA. Tensile strength of concrete affected by uniformly distributed and closely spaced short lengths of wire reinfor cement. In *Journal proceeding*. 1964; 61: 657-672.

8-Feldman D, Barbalata A. Synthetic polymers: technology, properties, applications, Springer Science and Business Media, London, Chapman & Hall. 1996, 361.

۹- پاکروان، ح ر، جمشیدی، م، لطیفی، م، کامپوزیت سیمانی توانمند الیافی با شکل پذیری و جذب انرژی زیاد، اولین کنفرانس ملی فناوری های نوین بتن، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ۱-۸.

۱۰- آراین منش، س، اصفهانی، م ر، سازگاری بین بتن اولیه و مصالح ترمیم در فرایند ترمیم بتن، *مجله مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز*، ۴۳(۱)، ۱۳۹۲، ۱-۱۳.

۱۱- خاکسپیدی، س، قلعه نوی، م، ارزیابی اثر نوع بتن و قطر میلگرد بر مقاومت پیوستگی در سازه های بتن آرمه، *نشریه مهندسی سازه و ساخت*، ۱۸(۱)، ۱۴۰۰، ۳۶۷-۳۸۷.

۱۲- صدر ممتازی، ع، کهنی خشکبیجاری، ر، ملکی خشکبیجاری، م، عمومی، م، بررسی و مقایسه مشخصات مکانیکی و پیوستگی بتن های پلیمری و پلیمری اصلاح شده به عنوان لایه تعمیری بر بستر بتنی، *نشریه مهندسی سازه و ساخت*، ۱۷(۱)، ۱۳۹۹، ۴۱-۵۵.

۱۳- منصورقناعتی، م ح، بیکلریان، م، مردوخ پور، ع، بررسی آزمایشگاهی مقاومت فشاری بتن ژئوپلیمری براساس آزمون XRF و SEM، *فصلنامه آنالیزسازه-زلزله*، ۱۸(۴)، ۱۴۰۰.

14- ASTM. Standard test method for bond strength of epoxy-resin systems used concrete by slant shear. United States, C882, 2013.

۱۵- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، راهنمای روش طرح ملی مخلوط بتن، ویرایش اول، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۶، ۴۷.

16- ASTM. Standard test method for flexural strength of concrete specimens, Using Simple Beam with Third-Point Loading. United States, C78, 2016.