

بررسی تأثیر الیاف نی در ویژگی‌های مهندسی بتن ساخته شده از رسوبات رودخانه حرمک (شمال زاهدان) و استفاده از آن در مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله

فرشته کوشا

دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

کاظم شعبانی گورجی^۱

استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

جعفر رهنما راد

دانشیار، گروه زمین‌شناسی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

امیر حمزه کیخا

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲

چکیده

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر الیاف نی در ویژگی‌های مهندسی بتن ساخته شده از رسوبات رودخانه حرمک (شمال زاهدان) و استفاده از آن در مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله می‌باشد. در این پژوهش جهت بررسی تأثیر الیاف نی در ویژگی‌های مهندسی بتن نسبت آب به سیمان در همه طرح‌ها ثابت و برابر ۱۹۵ به ۴۱۰ است و آزمایشات بر روی ۵ نمونه حاوی الیاف و بدون الیاف انجام شده است که پیش از تعیین میزان بهینه هر کدام از الیاف مذکور جهت تقویت بتن، نتیجه آزمایش‌های لازم بر روی بتن تازه و سخت شده مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق علاوه بر طرح اختلاط الیاف نی با بتن از روش‌های آزمایشگاهی همچون مقاومت فشاری و کششی نیز برای تایید صحت نتایج و اهمیت انتخاب مصالح مناسب با صرف هزینه‌های اندک در مدت زمان کوتاه قبل از اجرای طرح اختلاط بتن بهره گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد، افزودن الیاف نی به بتن سبب افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی شده است. با مقایسه نتایج این آزمایش در بتن معمولی و بتن‌های تقویت شده با الیاف، نشان داد که این افزایش مقاومت در سنین ۷ تا ۲۸ روز تنها در نمونه‌های S2 و S3 افزایش نشان داده و مشابه نمونه بتن معمولی S1 است، در حالیکه در نمونه‌های S4 و S5 که نمونه‌های الیاف سه ردیفه بودند کاهش زیادی در مقاومت فشاری دیده می‌شود. افزودن الیاف نی در ابتدا سبب افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی می‌شود ولی پس از گذشت مدت زمان باعث کاهش این مقاومت‌ها می‌شود.

کلمات کلیدی: الیاف نی، بتن، زلزله، مقاومت فشاری و کششی، رسوبات رودخانه حرمک

مقدمه

زلزله یکی از بلاهای طبیعی است که نه می‌توانیم آن را پیش‌بینی کنیم و نه می‌توانیم جلوی آن را بگیریم. بدین منظور در علم مهندسی مقاوم سازی ساختمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هنگام وقوع زلزله به سازه‌ها نیروهایی وارد می‌شود که اگر نتواند در برابر این نیروها دوام بیاورد سازه دچار خرابی شده و تلفات جانی و مالی زیادی را در پی خواهد داشت. برای حصول اطمینان از امنیت لرزه‌ای سازه‌های، در ابتدا ارزیابی دقیق رفتار لرزه‌ای سازه و سپس از آن در صورت لزوم ارائه یک راه‌حل مقاوم سازی مناسب به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای از آن ضروری است (امیدعلیزاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۶). لذا به منظور مقاوم‌سازی سازه باید از روش‌های جدید و بومی (بتن‌های الیافی) جهت مقاوم سازی بتن استفاده شود. هدف اصلی استفاده از بتن‌های الیافی، افزایش جذب انرژی و افزایش سختی است؛ اما علاوه بر موارد ذکر شده، مقاومت کششی و خمشی بتن نیز افزایش پیدا می‌کند. این الیاف همچنین می‌توانند نفوذپذیری بتن را کاهش داده و بنابراین آب‌زدگی روی دوغاب بتن را بسیار کم می‌کند. بتن یک ماده ساختمانی است که به طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. بتن از نظر فشردگی بسیار قوی است اما شکننده است. شکنندگی بتن منجر به مقاومت پایین آن در برابر تنش و در نتیجه کاهش چقرمگی می‌شود. بسیاری از محققان در تلاشند با افزودن الیاف پراکنده سختی بتن را افزایش دهند. بنابراین مدتهاست که افزودن الیاف مختلف به عنوان یک راه حل برای افزایش ظرفیت جذب انرژی، چقرمگی و افزایش مقاومت بتن در برابر ترک شناخته شده است. الیاف طبیعی به دلیل تولید فراوان، کاربری آسان، انعطاف‌پذیری و در دسترس بودن ارزان از چند دهه گذشته مورد توجه قرار گرفته‌اند و به عنوان تقویت کننده در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Farooqi and Ali, 2018: 1). امروزه کاربرد بتن الیافی به دلیل مزایای آن در حال گسترش است. الیاف، خواص مکانیکی بتن تحت بارهای فشاری، کششی، خمشی، برشی، دینامیکی و ضربه‌ای و همچنین مقاومت در برابر یخ زدن و سایش را در بتن بهبود می‌بخشند. استفاده از الیاف در بتن یکی از روش‌های اصلاح عملکرد خمشی و کششی بتن است که به واسطه آن‌ها مخلوط‌های شکننده تا حدی رفتار لاستیک از خود نشان می‌دهند. الیاف طبیعی به دلیل فراوانی، دسترسی آسان و ارزان بودن در تهیه بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Elbehiry et al, 2020: 24).

الیاف متفاوتی از قبیل شیشه، پلاستیک و فولاد در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند (Prasad & Mishra, 2019: 522). الیاف مصنوعی از نظر پارامترهای مقاومتی و شکل‌پذیری مناسب‌اند اما به دلیل وجود معایبی نظیر شرایط تولید، پرهزینه بودن و اثرات زیست‌محیطی محدودیت‌هایی دارند (Andrew et al, 2019: 6). بنابراین امروزه محققان به بررسی کاربرد الیاف طبیعی و از جمله الیاف گیاهی در بتن روی آورده‌اند. در این تحقیق استفاده از الیاف گیاه نی در مخلوط بتن جهت مقاوم سازی بتن در برابر زلزله بررسی شده است.

مصالح شن و ماسه مورد استفاده برای تهیه بتن از رسوبات رودخانه حرمتک در شمال زاهدان تامین شده است. حوضه آبریز دشت حرمتک یکی از حوضه‌های آبریز دریاچه‌ها مون هیرمند می‌باشد. نمونه‌های ۵۰ کیلویی از رسوبات در بخش‌های مختلف رودخانه برداشت شده است. این رسوبات شامل قطعات ماسه سنگ، سیلتستون، بازال،

آندزیت، کنگلومرا، سنگ آهک و چرت می‌باشد. رسوبات در آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان دانه‌بندی شده و در تهیه بتن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گیاه نی از مناطقی از دریاچه‌ها مومن زابل تامین شده و الیاف بدست آمده از ساقه آن در تهیه بتن استفاده شده است. برای ساخت بتن سبک خودمتراکم الیافی که بتواند محدودیت‌های مشخص شده برای خصوصیات بتن خود متراکم تازه را تامین کند، نیاز به تحقیقات آزمایشگاهی می‌باشد. بتن خودمتراکم سبک نیز همانند بتن خودمتراکم معمولی بسیار روان بوده و نیاز به هیچ لرزاننده‌ای ندارد و تحت وزن خود متراکم می‌شود. بتن سبک خودمتراکم الیافی در واقع ترکیبی از مزیت‌های بتن سبک، بتن خود متراکم و بتن الیافی را دارا می‌باشد. لذا تعیین نسبت‌های تشکیل‌دهنده‌ی مخلوط بتن خودمتراکم سبک حاوی از جمله مقادیر درشت دانه، ریزدانه، نسبت آب به سیمان و مقادیر لازم پرکننده و فوق روان کننده قابل توجه می‌باشد، که در ادامه آمده است. در پایان نمونه‌های بتن ساخته شده از طرح‌های اختلاط بتن سبک خود متراکم معمولی و بتن سبک خودمتراکم تقویت شده به الیاف در شرایط مرطوب نگهداری شدند. برای نگهداری در شرایط مرطوب نمونه‌ها پس از گذشت ۲۴ ساعت از قالب‌ها خارج شده و در حوضچه آب با دمای 24 ± 2 درجه سانتی گراد قرار داده شدند. برای ساخت بتن سبک خودمتراکم، ابتدا نسبت‌های مختلف از مواد طرح اختلاط، برای میزان معینی از بتن تعیین شد. بر حسب تجربه در آزمایشگاه، قبل از مخلوط کردن مواد در مخلوط کن، ابتدا به میکسر آب اضافه کرده و اجازه داده شد تا میکسر چند ثانیه‌ای همراه با آب بچرخد، تا علاوه بر کاهش اصطکاک مواد با بدنه میکسر از جذب آب اضافه شده به مواد سیمانی جلوگیری شود (Sosa et al, 2020: 3). ابتدا سنگدانه‌ها شامل سبکدانه، درشت دانه، ماسه در مخلوط کن با حجم ۱۵۰ لیتر ریخته شده و پس از مخلوط شدن مصالح به صورت خشک در حدود ۲۰ ثانیه، آب اختلاط به مصالح در حال اختلاط افزوده شد. پس از گذشت ۱ دقیقه، با خاموش کردن مخلوط کن، سیمان اضافه شد و بعد از روشن کردن دستگاه بقیه آب اضافه گردید. پس از گذشت این زمان الیاف به آرامی به مخلوط کن در حال چرخش اضافه شد و در نهایت پس از گذشت حدود ۲ دقیقه دیگر جهت پخش الیاف در مخلوط، آزمایش‌های بتن تازه و همچنین نمونه‌گیری انجام شد. آزمون‌های بتن تازه سبک خودمتراکم، بلافاصله پس از این مرحله طرح اختلاط انجام گرفت. پس از ساخت بتن مطابق الگوی فوق، عملیات نمونه‌گیری جهت بررسی خواص مکانیکی انجام شده و پس از پر کردن قالبها، نمونه‌ها در دمای $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت نگهداری خواهد شد و بعد از گذشت این زمان و باز کردن قالبهای نمونه‌ها تا زمان آزمایش تحت عمل‌آوری مرطوب در داخل وان با دمای آزمایشگاه قرار خواهند گرفت که در زیر شرح داده می‌شود:

آزمایش‌های بتن سخت شده

جهت بررسی رفتار مهندسی بتن معمولی و بتن تقویت شده به الیاف از آزمایش‌های استاندارد مقاومت فشاری و مقاومت کششی استفاده شد.

آزمایش مقاومت فشاری

در این مطالعه از آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد ASTM C۳۹-۸۶ استفاده شده است. آزمایش‌های مقاومت فشاری بر نمونه‌های مکعبی $150 \times 150 \times 150$ میلی متر انجام شده است. در آزمایش‌های مقاومت فشاری، مکعب‌ها را به نحوی در دستگاه فشاری قرار داده شدند که دو سطح مقابلی که در موقع بتن‌ریزی مجاور قالب

بودند، در تماس با رکه‌های فوقانی و تحتانی دستگاه باشند. سرعت بارگذاری باید در محدوده‌ی ۰/۱۴ تا ۰/۲۴ مگا پاسکال در ثانیه باشد. در این مطالعه سرعت بارگذاری ۰/۱۸ مگا پاسکال بر ثانیه در نظر گرفته شد.

آزمایش مقاومت کششی به روش دو نیم شدن

برای تعیین مقاومت کششی بتن به روش دو نیم شدن، نمونه‌های استوانه‌ای قالب‌گیری شده، به کار می‌رود. این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C۹۰-۴۹۶ انجام می‌شود. برای انجام این آزمایش، یک نمونه استوانه‌ای استاندارد به ابعاد (ارتفاع) ۳۰۰X (قطر) ۱۵۰ میلی‌متر را به طور افقی در امتداد محور خود در دستگاه آزمایش فشاری قرار می‌گیرد. بار پیوسته و با سرعت ثابتی در محدوده تنش کششی بتن و بین ۷ تا ۱۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (MPa) ۱/۴ تا ۰/۷) تا هنگام شکست نمونه به آن اعمال می‌شود. در این مطالعه، سرعت بارگذاری نمونه ۱/۲ مگا پاسکال بر ثانیه در نظر گرفته شد. تنش فشاری سبب ایجاد کشش یکنواختی در راستای عمود بر امتداد قطر قائم می‌شود. مقاومت کششی دو نیمه شدن از فرمول (۱) بدست می‌آید:

$$T=2p/\pi ID \quad (1)$$

در رابطه فوق (T) تنش کششی (N/mm²)، (P) بار شکست، (L) طول نمونه و (D) قطر نمونه است. مظلوم و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی به مقاوم‌سازی تیرهای بتنی توسط الیاف پلیمری شیش‌های، پرداخته‌اند. شی و پیچشی به ترتیب به میزان ۳۲ و ۴۷ درصد افزایش یافته‌اند. در صورتی که از دو لایه ورق تقویتی استفاده شود، میزان ظرفیت باربری تیرها در اثر برش و پیچش به ترتیب حدود ۴۵ و ۶۱ درصد افزایش داشته‌اند. همچنین ظرفیت باربری تیرهای بتنی که تحت اثر خمش قرار گرفته‌اند، با اضافه کردن یک و دو لایه ورق تقویتی GFRP به ترتیب به میزان ۳۲ درصد و ۴۸ درصد افزایش داشته‌اند.

ضیایی و ساجدی (۱۳۹۷)، در پژوهشی به امکان سنجی ساخت بتن سبک با استفاده از الیاف باگاس نیشکر خوزستان، پرداخته‌اند. در طرح‌های حاوی الیاف باگاس در سن ۲۸ روزه، با افزایش درصد جایگزینی، مقاومت فشاری روند نزولی نشان داد، وزن مخصوص بتن نیز کاهش پیدا نمود. در مقاومت کششی با افزایش درصد باگاس تا ۳۰ درصد جایگزینی، روند این مقاومت افزایشی بود. وزن مخصوص بتن با افزایش درصد جایگزینی روند کاهشی مناسبی داشت. به طور کلی و بر اساس نتایج، خواص مکانیکی و وزن مخصوص طرح بتن حاوی الیاف باگاس ۴۰ درصد، به عنوان طرح بهینه بتن سبک معرفی می‌شود.

حبیب‌پور و فرحبد (۱۳۹۴)، در پژوهشی به بررسی مقاوم‌سازی ستون‌های بتن مسلح با استفاده از کامپوزیت‌های FRP چند جهته، پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده از تحلیل مدل‌های اجزای محدود این نمونه‌ها نشان داد که کامپوزیت‌های FRP چند جهته، ظرفیت باربری محوری ستون‌های تقویت شده را ۴۳/۱ تا ۲/۷ برابر و شکل‌پذیری آن‌ها را ۵/۵ تا ۱۳ برابر افزایش می‌دهند. مقاوم‌سازی به وسیله کامپوزیت‌های FRP با لایه‌های در جهت ۰ و ۴۵ و ۴۵- درجه، راه‌کار خوبی برای افزایش شکل‌پذیری ستون‌های بتن مسلح است. همچنین اثر مقاوم‌سازی روی نمونه‌های با فولاد مقطع دو درصد، ۸ الی ۱۶ درصد بیش از نمونه‌های با فولاد مقطع چهار درصد می‌باشد.

ژو و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به بررسی بهینه سازی طراحی عملکرد مبتنی بر قابلیت اطمینان برای مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های بتنی مسلح با کامپوزیت‌های پلیمری تقویت شده با فیبر پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که مقاومت سازه‌های بتنی با فیبر تقویت می‌شوند.

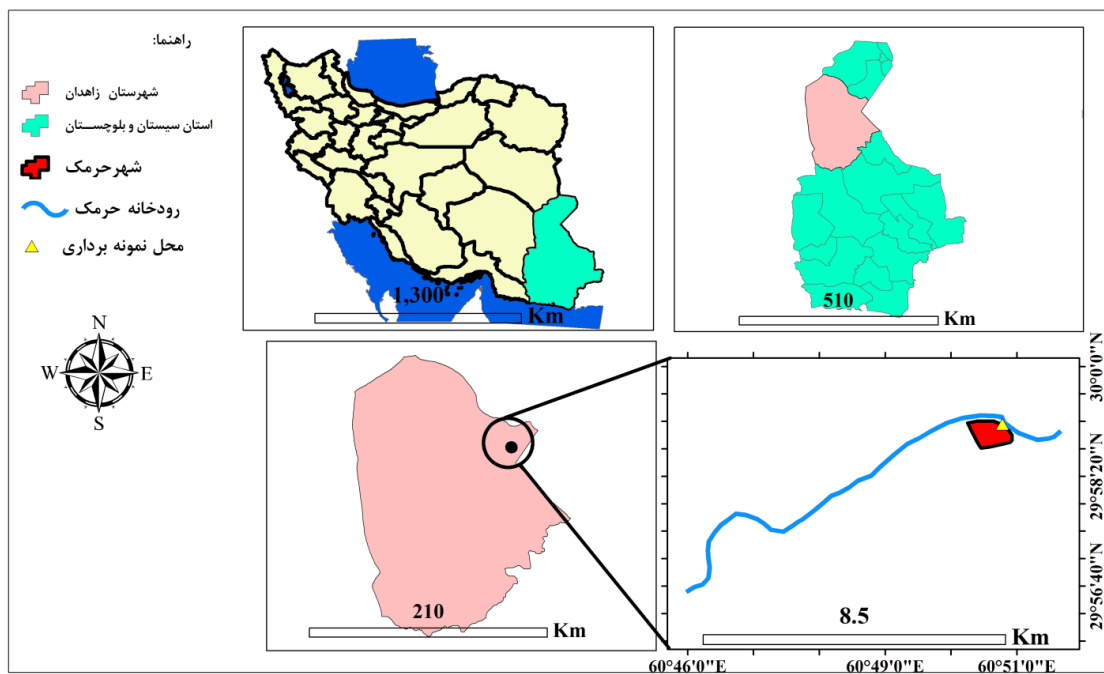
موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دشت حرمک یکی از حوضه‌های آبریز دریاچه‌ها مون هیرمند می‌باشد. مختصات این حوضه بین طول-های جغرافیایی $21^{\circ} 61'$ تا $34^{\circ} 60'$ شرقی و عرض جغرافیایی $29^{\circ} 46'$ تا $29^{\circ} 08'$ شمالی می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در زون‌بندی‌های زمین ساختاری ایران در منتهی‌الیه شرق ایالت زمین شناختی سیستان (پهنه فلیش شرق ایران) قرار دارد. این حوضه آبریز در شمال دشت زاهدان قرار دارد و شامل حوضه آبریز مسیل‌هایی که بین مسیل بلوچ آب و رودخانه لار به رودخانه شيله می‌ریزد (رودخانه حرمک و واویلا) می‌باشند. از نظر چینه‌شناسی واحدهای سنگی که در این حوضه رخنمون دارد از کرتاسه تا عهد حاضر است. قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون شده شامل سازند بوک متشکل از گل‌سنگ‌های آتشفشانی و گریواک‌های سبز است. سازند بوک توسط نهشته‌های گل‌سنگی همراه با لایه‌های نازکی از گریواک و ماسه سنگ به طور همشیب پوشیده شده که این رسوبات مربوط به اواخر کرتاسه تا اوایل پالئوسن است. واحدهای سنگی پالئوسن شامل سازند گوری و سازند پلنگ است. سازند گوری شامل سنگ-های آذرآواری همراه با توف و ماسه سنگ‌های آتشفشانی است و در غرب منطقه گسترش دارد و به سمت شرق ضخامت آن کمتر شده و به سنگ‌های آهکی سازند پلنگ تبدیل می‌شود. نهشته‌های پالئوسن پایینی به تدریج تغییر رخساره داده و به گریواک و گل‌سنگ تبدیل می‌شود و به سازند دوکوهانه نامیده می‌شود (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۴۰۰).

نهشته‌های ائوسن تنها در جنوب غرب منطقه گسترش دارد و این واحد از گریواک و گل‌سنگ تشکیل شده است و به صورت همشیب بر روی سازند دوکوهانه قرار دارد. نهشته‌های الیگوسن شامل کنگلومرا و ماسه سنگ است و فقط در ناحیه جنوب غربی گسترش دارد. رسوبات الیگومیوسن شامل کنگلومرا و ماسه سنگ است که به نام سازند حرمک نامگذاری شده است. نهشته‌های میوسن در این محدوده شامل ماسه سنگ و کنگلومرا بوده که در جنوب شرقی آبرفت‌ها و تراس‌های آبرفتی و رسوبات بادرفتی در بخش‌های مختلف دشت دیده می‌شود.

دشت حرمک به موازات ارتفاعات کشیده شده و محصور بین بخش تپه ماهوری (شرق) و کوهستانی (غرب) است. شیب این دشت در نزدیکی ارتفاعات نسبتاً تند بوده و به طرف شرق ملایم‌تر گشته و تا کمتر از ۵ در هزار می‌رسد. مسیل‌های متعددی با جهت تقریبی غرب به شرق دشت را بریده و پستی و بلندی‌های زیاد مخصوصاً در بخش جنوبی دشت ایجاد کرده است. مسیل شيله در بخش انتهایی دشت از سمت شمال به شرق جریان دارد و سرریز دریاچه‌ها مون را به سوی مرز افغانستان (گود زره) هدایت می‌نماید. به موازات مسیل شيله پهنه وسیعی از تپه‌های ماسه‌ای گسترده شده که وسعت آن‌ها بالغ بر ۱۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد. این دشت شامل مخروط افکنه‌های متعدد

است که از کناره شرقی ارتفاعات شروع می‌شوند و تقریباً بهم پیوسته‌اند (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۴۰۰).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

یافته‌ها

با توجه به طرح اختلاط بهینه که در بخش قبل بدست آمد، برای ساخت بتن سبک خودمتراکم الیافی، برای الیاف نی مکعبی پنج مقدار شاهد (S1-۰)، تک ردیف (S2-۳/۶۲)، دوبل (S3-۷/۰۶)، تک ردیف ۳*۳ (S4-۵/۵۲) و دوبل ۳*۳ (S5-۱۱/۳۲) و برای الیاف استوانه‌ای پنج مقدار شاهد (S1-۰)، سه تایی تک (S2-۵/۸۸)، سه تایی دوبل (S3-۱۲/۰۸)، ۵ تایی تک (S4-۹/۸۶) و ۵ تایی دوبل (S5-۱۹/۱۴) گرم بر مترمکعب برای افزودن به طرح اختلاط نهایی بتن سبک خودمتراکم در نظر گرفته شد و پس از انجام آزمایش یک طرح اختلاط به عنوان طرح اختلاط مناسب برای بتن سبک خودمتراکم حاوی الیاف در نظر گرفته شد. (جدول ۱).

جدول (۱): نسبت‌های اختلاط

ردیف	رده بتن	کد طرح	نسبت‌های اختلاط			حداکثر قطر سنگدانه (mm)	نسبت آب به سیمان	وزن مصالح مصرفی در یک متر مکعب					
			بادامی %	نخودی %	ماسه %			آب جذبی	آب	سیمان	بادامی	نخودی	ماسه
1	C25	--	22	34	44	۰/48	25	195	410	390	602	779	22
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتایج آزمایش‌های بتن سخت شده

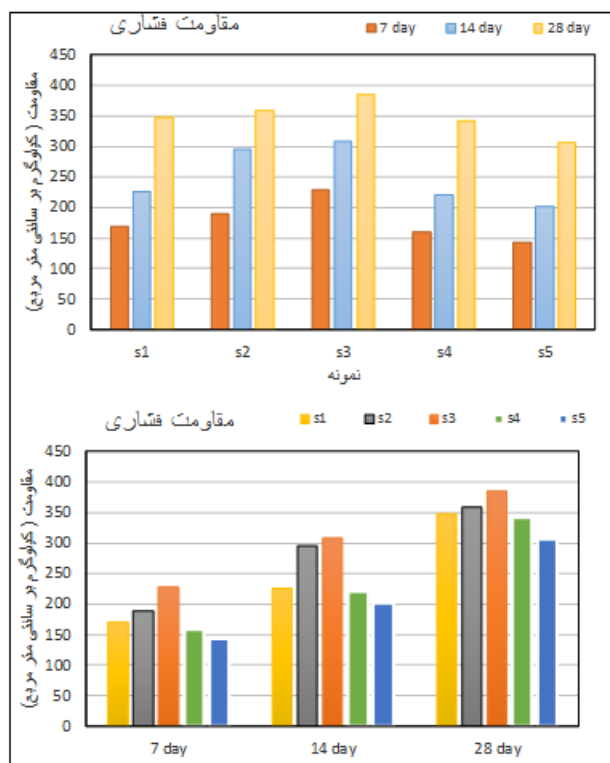
بررسی خواص مکانیکی بتن سبک خودمتراکم با انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و مقاومت کششی، بر نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد (ارتفاع) ۲۰۰× (قطر) ۱۵۰ میلی‌متر تعیین شد.

نتایج آزمایش مقاومت فشاری

در این مطالعه از آزمایش مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ASTM C۳۹-۸۶ استفاده شد. آزمایش‌های مقاومت فشاری بر نمونه‌های مکعب $150 \times 150 \times 150$ میلی متر انجام شده است. در آزمایش‌های مقاومت فشاری، مکعب‌ها را به نحوی در دستگاه فشاری قرار داده شدند که دو سطح مقابلی که در موقع بتن‌ریزی مجاور قالب بودند، در تماس با فکهای فوقانی و تحتانی دستگاه باشند. آزمایش مقاومت فشاری پس از نگهداری در شرایط مرطوب در سنین ۷ تا ۲۸ روز انجام شد. سرعت بارگذاری باید در محدوده $0/14$ تا $0/24$ مگا پاسکال در ثانیه باشد. در این مطالعه سرعت بارگذاری $0/18$ مگا پاسکال بر ثانیه در نظر گرفته شد. نتایج مقاومت فشاری مقاومت فشاری نمونه‌های بتن معمولی (Control)، بتن سبک خود متراکم مسلح به الیاف نی در جدول (۲) و شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): نتایج مقاومت فشاری بتن در پنج نمونه بتن تقویت شده توسط الیاف نی منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

شماره نمونه	مقاومت فشاری (Mpa)		
	سن نمونه (۷ روز)	سن نمونه (۱۴ روز)	سن نمونه (۲۸ روز)
S1	۱۶۹/۸۵	۲۲۵/۳۳	۳۴۸/۱۹
S2	۱۸۹/۶۶	۲۹۴/۹۷	۳۵۹/۵۱
S3	۲۲۸/۱۶	۳۰۸/۵۶	۳۸۵/۵۶
S4	۱۵۹/۶۶	۲۲۱/۳۷	۳۴۱/۴
S5	۱۴۳/۲۴	۲۰۱/۵۵	۳۰۷/۴۳



شکل (۲): مقاومت فشاری پنج نمونه تقویت شده توسط الیاف نی در سنین مختلف منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتایج نشان می‌دهند که حضور الیاف نی، به خاطر پیوند قوی بین الیاف و اجزای بتن و از نقطه نظر دیگر همچنین الیاف در بتن می‌توانند نقش خاموت را ایفا کنند. خاموت‌ها در دور ستون با جلوگیری از افزایش کرنش قطری مانع از ترک و افزایش تنش جانبی شده و با مهار کرش جانبی باعث افزایش مقاومت فشاری می‌شود (Gholampour et al, 2019). الیاف نیز به نحوی در بتن همین نقش را ایفا می‌کنند. البته الیاف بر خلاف خاموت که از بیرون بتن را مهار می‌کند، از درون با ایجاد پیوستگی و اصطکاک سبب افزایش مقاومت فشاری می‌گردد. پس در الیاف توجه به این نکته ضروری می‌باشد که با دقت در انتخاب نوع الیاف اصطکاک را افزایش داد (Peyre et al, 2019). ولی افزودن الیاف کاهش مقاومت فشاری را در پی خواهند داشت. این کاهش مقاومت فشاری شاید به این دلیل باشد که استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک خودمترکم سبب کاهش تراکم‌پذیری بتن می‌گردند که این امر ممکن است باعث ایجاد نقاط ضعف در بافت بتن (به دلیل ایجاد تخلخل موضعی ناشی از نفوذ حباب هوا) شود و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری را فراهم می‌آورد (Liu et al, 2019). با توجه به نکته اشاره شده الیاف نی به دلیل سطحی صاف (کم بودن اصطکاک) باعث افزایش نامحسوس مقاومت فشاری و وجود مدول الاستیسیته پایین در مقایسه با بتن باعث کاهش مقاومت فشاری شده است که در مجموع کاهش افت غالب می‌باشد.

در هر دو نوع نمونه‌های بتن الیافی در حین بارگذاری فشاری، از شکست ترد ناگهانی به شکست نرم و تدریجی تغییر ماهیت پیدا کرده است (Pham et al, 2019). علت این امر را می‌توان در چند علت جستجو نمود ماتریس سیمان و سنگ دانه به علت خاصیت شکل‌پذیری کم در هنگام بهره برداری با ایجاد کرنش خیلی کم تا حد گسیختگی بار را تحمل می‌کند و پس از گسیختگی ناگهانی مسئولیت الیاف نگه داشتن تکه‌های بتن در کنار هم است شکست را از حالت ناگهانی به حالت ترد تبدیل می‌کند (شکل ۳).



شکل (۳): تبدیل شکست از حالت ترد به نرم، منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتایج آزمایش مقاومت کششی به روش دو نیم شدن استوانه

این روش آزمایش برای تعیین مقاومت کششی بتن به روش دو نیم شدن نمونه‌های استوانه‌ای قالب‌گیری شده، به کار می‌رود (شکل ۵). این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C۴۹۶-۹۰ انجام می‌شود. برای انجام این آزمایش، یک نمونه استوانه‌ای استاندارد به ابعاد (ارتفاع) ۲۰۰ (قطر) ۱۵۰ میلی‌متر را به طور افقی در امتداد محور خود در دستگاه آزمایش مقاومت فشاری قرار می‌دهیم. بار پیوسته و با سرعت ثابتی در محدوده تنش کششی بتن و بین ۷ تا

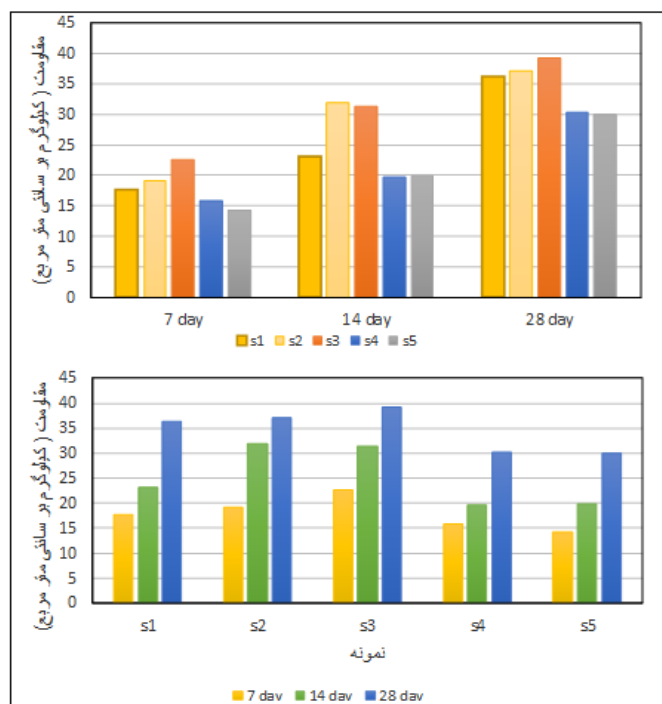
۱۴ کیلوگرم بر سانتی متر مربع (MPA ۱/۴ تا ۰/۷) تا هنگام شکست نمونه به آن اعمال می‌شود. تنش فشاری سبب ایجاد کشش یکنواختی در راستای عمود بر امتداد قطر قائم می‌شود. مقاومت کششی دو تیمه شدن از رابطه (۲) بدست می‌آید (Qian and Stroeven, 2000):

$$T=2P/\pi ID \quad (2)$$

پارامترهای مورد استفاده در این رابطه عبارت اند از: (T) تنش کششی (N/mm²), (P) بار شکست، (L) طول نمونه و (d) قطر نمونه است. آزمایش مقاومت کششی برای تعیین مقاومت کششی بتن به روش دونیم شدن روی نمونه‌های استوانه‌ای انجام شد. نمونه‌ها در سنین ۷ تا ۲۸ روز و در شرایط مرطوب آزمایش شدند. مقاومت کششی برای هر پنج مخلوط، در شرایط نگهداری اشاره شده در سنین ۷ تا ۲۸ روز در جدول (۳) و همچنین مقایسه‌ی آنها در شکل (۴) نشان داده شده‌اند.

جدول (۳): نتایج مقاومت فشاری بتن در پنج نمونه بتن تقویت شده توسط الیاف نی منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

شماره نمونه	مقاومت کششی (Mpa)		
	سن نمونه (۷ روز)	سن نمونه (۱۴ روز)	سن نمونه (۲۸ روز)
S1	۱۷/۵۸	۲۳/۰۳۹	۳۶/۳۰
S2	۱۹/۱۷	۳۱/۹۵	۳۷/۱۳
S3	۲۲/۵۶	۳۱/۳۸	۳۹/۳۰
S4	۱۵/۸۲	۱۹/۷۰	۳۰/۳۱
S5	۱۴/۲۱	۱۹/۹۱	۲۹/۹۹



شکل (۴): نتایج مقاومت کششی در هر پنج نمونه مورد مطالعه منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتایج نشان می‌دهند که حضور الیاف باعث افزایش مقاومت کششی می‌شوند، به طوری که این افزایش در نمونه S3 محسوس تر بوده که این می‌تواند به دلیل بیشتر بودن مقاومت کششی الیاف نسبت به الیاف دیگر باشد (Wang et al, 2019). یکی از ضعف‌های عمده بتن در برابر الیاف نی به عنوان یک ماده ساختمانی تنش کششی پایین می‌باشد از این رو در هنگام اجرای بتن از همان ابتدا با ایجاد ترکهای سطحی ناشی از جمع‌شدگی تا هنگام بهره‌داری ناشی از تنش کششی ناشی از بارگذاری با ترک‌های ریز و درشت مواجه می‌باشیم (Shon et al, 2019). الیاف‌ها با ایجاد یک پل ارتباطی در ترکها منع از گسترش ترک می‌شود. مکانیزم افزایش مقاومت کششی توسط الیاف نیز از این قانون تبعیت می‌کند زمانی که بتن تحت تنش کششی قرار گیرد بعد از به نهایت رسیدن مقاومت کششی بتن و ایجاد ترک در هر ناحیه مسئولیت انتقال بار در آن ناحیه به عهده الیاف موجود در آن ناحیه می‌باشد (Krahl et al, 2020). این امر بیانگر الزام پخش یکنواخت الیاف است و الیاف همانند پل عمل می‌کند. حال اینکه مقاومت را تا چه حد بالا می‌برد با بررسی بین الیاف‌های کاربرده در طرح دریافتیم که به چند علت از جمله: شکل الیاف، میزان چسبندگی به بتن، طول الیاف و غیره بستگی دارد.

نحوه‌ی شکست نمونه‌های بتن الیافی حاوی الیاف تحت آزمایش کششی، متفاوت با نمونه بتن معمولی بوده و از حالت شکست ترد (ناگهانی) به حالت نرم و تدریجی تبدیل شده است. آنچه به هنگام افزایش مقاومت کششی در نتیجه استفاده از الیاف اتفاق می‌افتد را می‌توان بدین صورت تشریح کرد که الیاف به هنگام شکافته شدن در بین بخش‌های شکافته شده از ماتریس، از طریق انتقال تنش‌ها از ماتریس به الیاف، کرنش کششی بزرگتری را تحمل می‌کنند، در نتیجه، افزایش در مقاومت کششی مشاهده می‌شود (Singh et al, 2020).



شکل (۵): مقاومت کششی به روش برزیلی در نمونه‌های استوانه‌ای منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتایج آزمایش مدول الاستیسیته

اگر دو جز تشکیل‌دهنده بتن یعنی خمیر هیدراته شده سیمان و سنگدانه‌ها، جداگانه تحت تأثیر تنش واقع شوند، رابطه‌ای نسبتاً خطی بین تنش و تغییر شکل نسبی از خود نشان خواهند داد (Zhang et al, 2019). البته نظریه‌هایی در مورد غیرخطی بودن رابطه بین تنش - تغییر شکل نسبی خمیر هیدراته سیمان ارائه شده است (Rahimi-Aghdam et al, 2019, Tao et al, 2019, Páez-Flor et al, 2019). علت انحنا دار بودن رابطه تنش - کرنش برای ماده مرکب (بتن) در وجود سطح مشترک بین خمیر سیمان و سنگدانه‌های آن و توسعه یافتن ریز ترک‌های چسبندگی در این

سطوح است. یک پیامد توسعه ترک‌ها، کاهش سطح موثری که در برابر بار وارده مقاومت می‌نماید، خواهد بود. به طوری که تنش موضعی زیادتر از تنش اسمی که بر مبنای کل سطح مقطع نمونه محاسبه می‌شود، می‌گردد (Moody et al, 2020).

وقتی تنش وارده به بیش از ۷۰ درصد مقاومت نهایی افزایش می‌یابد، ترک خوردگی در ملات توسعه می‌یابد و انحنای منحنی تنش - تغییر شکل نسبی با روند فزاینده‌ای زیادتر می‌شود. این نقطه اوج منحنی تنش - کرنش نسبی می‌باشد.

مدول الاستیسیته به دو صورت تعیین می‌گردد:

- مدول الاستیسیته استاتیکی

- مدول الاستیسیته دینامیکی

شیب رابطه تنش و کرنش، مدول الاستیسیته را مشخص می‌کند. مدول الاستیسیته دینامیکی، از ارتعاش نمونه‌های بتنی به دست می‌آید و به علت عدم وجود تنش قابل توجه اعمال شده، هیچ گونه ریز ترک در بتن ایجاد نمی‌شود و خزش وجود نخواهد داشت. لذا مدول الاستیسیته دینامیکی از مدول الاستیسیته استاتیکی بیشتر خواهد بود (Neville, 1995).

برای تعیین مدول الاستیسیته در اندازه‌گیری مقاومت فشاری، با نصب کرنش سنج بر روی سیستم امکان تعیین کرنش نمونه را در اثر نیروهای مختلف فراهم نمودیم. تعیین مدول الاستیسیته شامل اندازه‌گیری کرنش به ازای بارهای مختلف و رسم منحنی تنش - کرنش می‌باشد. مدول الاستیسیته طبق استاندارد از کرنش مربوط به ۰.۴۵٪ مقاومت نهایی مطابق با فرمول (۳) محاسبه می‌شود (Euro light concrete, 1998)

$$E = \sigma_{45\%} / \varepsilon \quad (3)$$

که در این معادله (E) مدول الاستیسیته بر حسب مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع)، ($\sigma_{45\%}$) تنش مربوط به ۰.۴۵ درصد مقاومت نهایی بر حسب مگاپاسکال و (ε) کرنش مربوط به ۰.۴۵ درصد مقاومت نهایی.

مدول الاستیسیته با افزایش مقاومت فشاری بتن افزایش می‌یابد. مدول الاستیسیته بتن به نوع سنگدانه، نسبت‌های اختلاط، شرایط عمل‌آوری، نرخ بارگذاری و روش اندازه‌گیری بستگی دارد و دامنه تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده، معمولاً بین مقدار ۸۰٪ تا ۱۲۰٪ تعیین شده است. بر اساس آیین‌نامه ACI318-05، مدول الاستیسیته بتن (E_c) برای بتن‌های با زون حجمی W_c متغیر بین ۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب از رابطه (۴) بر حسب مگاپاسکال محاسبه می‌شود. E_c به عنوان شیب خط ترسیم شده از تنش صفر به نقطه نظیر تنش فشاری f_c می‌باشد (Euro light concrete, 1998)

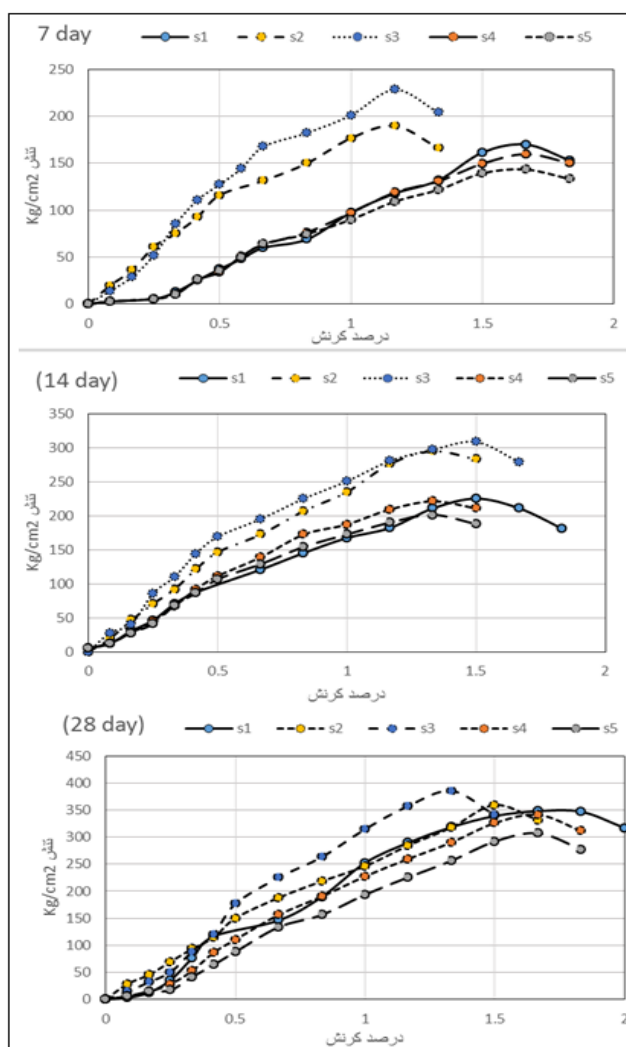
$$E_c = 0.043 W_c^{1.5} \sqrt{f_c} \quad (4)$$

در این رابطه W_c وزن مخصوص بتن می‌باشد که بین ۱۴۴۰ الی ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است که در آن f_c مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای استاندارد به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر و بر حسب مگاپاسکال می‌باشد و E_c

مدول الاستیسیته استاتیکی بر حسب گیگاپاسکال است. بر اساس آیین نامه ASTM C576 چگالی استفاده شده در فرمول فوق، چگالی تعادل بتن می‌باشد و مقرر می‌داند که چگالی تعادلی بتن را می‌توان ۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب کمتر از چگالی بتن تازه در نظر گرفت. رابطه مطرح شده برای محدوده مقاومت‌های پایین بوده و آیین نامه ACI213 رابطه دیگری را برای محدوده مقاومت بالا پیشنهاد می‌کند که عبارتست از:

$$E_c = CW_c^{1.5} \sqrt{f_c} \quad (۵)$$

که در آن برای مقاومت‌های تا ۳۵ مگاپاسکال $C=0.038$ و برای مقاومت‌های بالاتر از ۳۵ مگاپاسکال $C=0.04$ است.



شکل (۶): نتایج آزمایش مدول الاستیسیته منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

نتیجه‌گیری و دستاورد علمی پژوهشی

سابقه حرکت استمراری علم در عرصه مهندسی سازه زلزله موجب گردیده است تا بهسازی و مقاومسازی در سال‌های اخیر از روش‌های نوین و مصالحی جدید بهره‌گیرند که در پیشینه طولانی ساخت و ساز سابقه نداشته

است. در میان این نوآوریها، مواد نوین از جمله مواد کامپوزیت پلیمری تقویت شده با الیاف که به اختصار FRP نامیده میشوند، از جایگاه ویژه برخوردار می‌باشد.

هدف اصلی استفاده از بتن‌های الیافی، افزایش جذب انرژی و افزایش سختی است؛ اما علاوه بر موارد ذکر شده، مقاومت کششی و خمشی بتن نیز افزایش پیدا می‌کند. این الیاف همچنین می‌توانند نفوذپذیری بتن را کاهش داده و بنابراین آبزدگی روی دوغاب بتن را بسیار کم می‌کند.

الیاف طبیعی مدت‌ها پیش از پیدایش بتن مسلح معمولی، به عنوان تقویت کننده بتن استفاده می‌شدند. به کارگیری الیاف طبیعی به عنوان تقویت کننده بتن مورد توجه بسیاری از کشورهای جهان سوم و کمتر توسعه یافته است، که مصالح معمول ساختمانی در آنجا به راحتی در دسترس نیست و یا بسیار گران می‌باشد.

بتن الیافی با توجه به مزایای ویژه خود کاربردهای وسیعی از جمله بهبود رفتارهای فشاری، خمشی، مقاومت سایش، فرسایش و کاویتاسیون، برشی، مقاومت خستگی، خزش و جمع شدگی، مقاومت در برابر یخ زدن و آب، عملکرد تحت بار دینامیکی و ضربه، دوام، جذب انرژی دارد. امروزه خصوصیات مهندسی بسیاری از الیاف طبیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند تا به درستی روشن شود که آیا مناسب اختلاط با مصالح با پایه سیمانی هستند.

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر استفاده از الیاف نی، بر روی مشخصات مهندسی بتن پس از تعیین میزان بهینه الیاف جهت تقویت بتن، آزمایش‌های لازم بر روی بتن تازه و سخت شده انجام شد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده، نتایج زیر حاصل شده است:

- ساخت بتن تقویت شده توسط الیاف نی، نشان می‌دهد که با افزودن الیاف از خصوصیات جریان‌پذیری و پرکنندگی بتن کاسته می‌شود.

- افزودن الیاف نی به بتن سبب افزایش مقاومت فشاری در نمونه‌های بتنی شده است. با مقایسه نتایج این آزمایش در بتن معمولی و بتن‌های تقویت شده با الیاف، نشان داد که این افزایش مقاومت در سنین ۷ تا ۲۸ روز تنها در نمونه‌های S2 و S3 افزایش نشان داده و مشابه نمونه بتن معمولی S1 است، در حالیکه در نمونه‌های S4 و S5 که نمونه‌های الیاف سه ردیفه بودند کاهش زیادی در مقاومت فشاری دیده می‌شود.

- در نتایج مقاومت کششی نیز همان نتایج آزمایش فشاری دیده می‌شود، بدین صورت که در تمامی نمونه‌ها افزایش مقاومت کششی دیده می‌شود، در حالیکه در نمودارهای مقایسه‌ای بین نمونه بتن معمولی و بتن‌های تقویت شده توسط الیاف در نمونه‌های S4 و S5 که از سه ردیف الیاف در ساخت آن‌ها استفاده شده است، کاهش مقاومت کششی دیده می‌شود.

- در نهایت می‌توان گفت افزودن الیاف نی در ابتدا سبب افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی می‌شود ولی پس از گذشت مدت زمان باعث کاهش این مقاومت‌ها می‌شود.

- تنها مزیت استفاده از نی در بتن‌سازی بر اساس مطالعه تقی زاده قهپی (۱۳۸۳)، را می‌توان تأمین چسبندگی بسیار خوب بین بتن، قالب و اندود نازک کاری دانست. همچنین عایق مناسبی در مقابل انتقال حرارت و صوت می‌باشد.

- نتایج این پژوهش مشابه نتایج پژوهش وانگ وهان (۲۰۱۸) می‌باشد، که آمده است الیاف نی می‌توانند به طور موثری کارایی ساخت و ساز را بهبود بخشند، اما نمی‌توانند مقاومت را افزایش دهند.
- افزودن الیاف در صنعت با توجه به کثرت سازه‌های بتنی و ضعف‌های متعددی که دارند، ایجاد و بکارگیری راهکارهایی جهت رفع و بهبود این نواقص ضروری و مهم می‌باشد.
- بر مبنای مطالعه حاضر پیشنهاد می‌گردد:
- در ابتدا به رفع این نواقص در استفاده از الیاف نی در بتن پرداخته شود.
- تأثیر افزودن الیاف به صورت ترکیبی بر خواص مکانیکی بتن‌های خود متراکم (مثل ترکیب الیاف نی با سایر الیاف‌ها) پرداخته شود.
- بررسی رفتار این بتن در محیط‌های مخربی چون: محیط‌های اسیدی، نمکی و سولفاته نیز بررسی شود.
- بررسی تأثیر بتن حاوی الیاف نی در محیط با افزایش و کاهش دما بررسی شود.
- بررسی تأثیر بتن حاوی الیاف نی و بتن معمولی با نتایج تئوری به روش المان محدود بررسی شود.

منابع

- امیدعلیزاده میثم، شایان فر جواد، نعمت‌زاده مهدی، (۱۳۹۷)، ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح مقاوم‌سازی شده با استفاده از سیستم ژاکت بتنی، نشریه مهندسی عمران مدرس، ۱۸ (۳)، صص ۲۵-۳۵.
- حبیب‌پور، مصطفی، فرحبد، فرهنگ، (۱۳۹۴). مقاوم‌سازی ستون‌های بتن مسلح با استفاده از کامپوزیت‌های FRP چند جهته، تحقیقات بتن، ۸ (۲)، صص ۱۱۳-۱۲۴.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، (۱۴۰۰).
- ضیایی، مهرداد، ساجدی، سیدفتح‌اله، (۱۳۹۷)، امکان سنجی ساخت بتن سبک با استفاده از الیاف باگاس نیشکر خوزستان، پانزدهمین همایش پژوهش‌های نوین در علوم و فناوری، تهران.
- مظلوم، موسی، مهروند، مرتضی، سواری پور، عظیم، (۱۳۹۸)، مقاوم‌سازی تیرهای بتنی توسط الیاف پلیمری شیش‌های، نشریه مهندسی سازه و ساخت، شماره ویژه (۴)، صص ۲۷-۴۲.
- Andrew, J. J., Srinivasan, S. M., Arockiarajan, A., & Dhakal, H. N. (2019). Parameters influencing the impact response of fiber-reinforced polymer matrix composite materials: A critical review. *Composite Structures*, 224, 111007.
- [Elbehiry](#), A. [Elnawawy](#), O. [Kassem](#), M. [Zaher](#), A. [Uddin](#), N. and [Mostafa](#), M. (2020), Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars, [Case Studies in Construction Materials](#), V13.
- Euro light concrete (1998) Definitions and international consensus Report, European Union BE 96-3942/R1
- Farooqi, MU, Ali, M., (2018), Contribution of plant fibers in improving the behavior and capacity of reinforced concrete for structural applications. [Construction and Building Materials](#). V182, PP 94-107
- Gholampour, A., Fallah Pour, A., Hassanli, R., & Ozbakkaloglu, T. (2019). Behavior of actively confined rubberized concrete under cyclic axial compression. *Journal of Structural Engineering*, 145(11), 04019131.
- Krahl, P. A., Pereira, M. F., Dalfré, G. M., & Siqueira, G. H. (2020). A novel approach to characterize the direct shear pullout behavior of single hooked steel fibers. *Cement and Concrete Composites*, 103685.

- Liu, X., Wu, T., Yang, X., & Wei, H. (2019). Properties of self-compacting lightweight concrete reinforced with steel and polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 226, PP 388-398.
- Moody, L. C., Powell, I. J., Lewis, D. O., Johnson, M. C., Butler, B. G., & Paramore, J. D. (2020). Cross-sectional area measurement by optical and electrical resistance methods for subscale mechanical testing of near-net-shape titanium components. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 105265.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete* (Vol. 4). London: Longman.
- Páez-Flor, N. M., Rubio-Hernández, F. J., & Velázquez-Navarro, J. F. (2019). Microstructure-at-rest evolution and steady viscous flow behavior of fresh natural pozzolanic cement pastes. *Construction and Building Materials*, 194, PP 360-371.
- Peyre, K., Tournalias, M., Bueno, M. A., Spano, F., & Rossi, R. M. (2019). Tactile perception of textile surfaces from an artificial finger instrumented by a polymeric optical fibre. *Tribology International*, 130, PP 155-169.
- Pham, P. N., Zhuge, Y., Turatsinze, A., Toumi, A., & Siddique, R. (2019). Application of rubberized cement-based composites in pavements: Suitability and considerations. *Construction and Building Materials*, 223, PP 1182-1195.
- Prasad, P. K., & Mishra, R. S. (2019). Study in Stress Behaviour of Fibre (Steel & Glass) Reinforced Concrete, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6 (6), PP 520-527.
- Qian, C.X., Stroeven P. (2000) .Development of hybrid polypropylene and steel fiber reinforced concrete. *Cem. Concr. Res.* 30, PP 63–69.
- Rahimi-Aghdam, S., Masoero, E., Rasoolinejad, M., & Bažant, Z. P. (2019). Century-long expansion of hydrating cement counteracting concrete shrinkage due to humidity drop from self-desiccation or external drying. *Materials and Structures*, 52(1), 11.
- Shon, C. S., Mukashev, T., Lee, D., Zhang, D., & Kim, J. R. (2019). Can common reed fiber become an effective construction material? Physical, mechanical, and thermal properties of mortar mixture containing common reed fiber. *Sustainability*, 11(3), 903.
- Singh, D. K., Vaidya, A., Thomas, V., Theodore, M., Kore, S., & Vaidya, U. (2020). Finite Element Modeling of the Fiber-Matrix Interface in Polymer Composites. *Journal of Composites Science*, 4(2), 1-13.
- Sosa, I., Thomas, C., Polanco, J. A., Setián, J., & Tamayo, P. (2020). High Performance Self-Compacting Concrete with Electric Arc Furnace Slag Aggregate and Cupola Slag Powder. *Applied Sciences*, 10(3), PP 1-17
- Tao, J., Wei, X., & Luo, Y. (2019). Comparison of non-contact autogenous shrinkage measurements and the stress ratio of capillary stress to compressive strength. *Construction and Building Materials*, 206, PP 226-235.
- Wang, D., Ju, Y., Shen, H., & Xu, L. (2019). Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*, 197, PP 464-473.
- Zhang, D., Mao, M., Zhang, S., & Yang, Q. (2019). Influence of stress damage and high temperature on the freeze–thaw resistance of concrete with fly ash as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 229, 116845.
- Zoul, X, Wang, Q, Wu, J, (2017), Reliability-based performance design optimization for seismic retrofit of reinforced concrete buildings with fiber-reinforced polymer composites, *Advances in Structural Engineering*, PP 1-14.