Iranian Concrete Society

Laboratory Investigation of Potentiol use of Date Palm Fibers for Internal Curing of High Performance Concrete

***Mehdi khodadad saryazdi*[1*] *, Sadaf Hajisadeghian*[2]**

1-Assistant Professor, Faculty of Civil, Structural Engineering, Yazd University, Yazd, Mkhodadad@yazd.ac.ir
2-MSc Student, Faculty of Civil, Structural Engineering, Yazd University, Yazd
***Received**: 15 November 2023* ***Revised**: 17 February 2024* ***Accepted**: 14 March 2024*
Research paper

Abstract

Incorporating natural and synthetic fibers, with regards to their specific characteristics and properties, is a foundational strategy researchers employ to enhance performance and overcome the shortcomings of concrete. The application of fibers for the internal curing of high-performance concrete is a notable area of investigation within this realm. The minimal water content and substantial volume of cementitious materials in high-performance concrete underline the critical role of effective curing in attaining superior strength and durability for such concrete. Accordingly, this study examined the physical and mechanical properties, including density, water absorption, strain at failure and tensile strength, of natural date palm (Sis) fibers, to assess their efficacy as internal curing agents in high-performance concrete. The notable absorption capacity (127.5%) and the ability of these fibers to maintain the absorbed moisture effectively counteract moisture loss in capillary pores, thereby facilitating optimal curing conditions. These fibers were subsequently utilized in varying percentages and lengths to develop mix designs for high-performance concrete. Tensile and compressive samples were fabricated per ASTM standards and stored in different conditions such as submerged in water ponds, in ambient room conditions, and a moist burlap covered with plastic sheeting. This research findings reveal that an increase in fiber percentage leads to a decrease in compressive strength, with the most pronounced decline observed with 3% long fibers, by approximately 23%. Conversely, introducing these fibers contributed to an enhancement in the concrete's tensile strength, the most notable improvement was recorded in the mixture with 2.5% long fibers, by approximately 3%.

Keywords: Date Palm Fibers Internal Curing High Performance Concrete High Moisture Absorption

---

***Corresponding Authe:** Mehdi khodadad saryazdi
Hajisadeghian, S., Khodadad saryazdi, M. Laboratory investigation of potentiol use of date palm fibers for internal curing of high performance concrete. Journal of Concrete Structures and Materials, 2023; 8(2): 1-19. http://doi.org/10.30478/jcsm.2023.425427.1350
2538-5828/ © 2024 The Authors. Published by Iranian Concrete Society
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

انجمن علمی بتن ایران

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت‌های الیاف نخل خرما به‌منظور عمل‌آوری داخلی بتن توانمند

مهدی خداداد سریزدی[1*]، صدف حاجی‌صادقیان

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، مهندسی سازه، دانشگاه یزد، یزد

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، مهندسی سازه، دانشگاه یزد، یزد

پست الکترونیک نویسنده مسئول: Mkhodadad@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

استفاده از الیاف طبیعی و مصنوعی (به تناسب ویژگی‌ها و خواص آن‌ها)، یکی از اساسی‌ترین راهکارهایی است که توسط محققین مختلف به‌منظور بهبود رفتار بتن و رفع معضلات آن، بررسی می‌گردد. استفاده از الیاف به‌منظور عمل‌آوری داخلی بتن توانمند، از جمله پژوهش‌های صورت پذیرفته در این زمینه است. آب کم و حجم بالای مواد سیمانی مصرف شده در بتن توانمند سبب اهمیت زیاد کیفیت عمل‌آوری به‌منظور دستیابی به مقاومت و دوام بالا در این نوع بتن گردیده است. بدین منظور در این پژوهش، در ابتدا خواص فیزیکی از جمله چگالی و جذب آب و خواص مکانیکی از جمله کرنش نقطه گسیختگی و استحکام کششی الیاف طبیعی نخل خرما (سیس)، مورد بررسی قرار گرفت تا عملکرد این الیاف به‌عنوان ماده عمل‌آورنده داخلی در بتن توانمند مورد ارزیابی قرار گیرد. جذب آب بالا (۱۲۷/۵٪) سبب می‌شود تا کاهش رطوبت در منافذ مویین بلافاصله جبران شده و عمل‌آوری با کیفیت مطلوبی صورت پذیرد؛ سپس، از این الیاف به‌صورت رشته‌ای و در درصد و طول‌های متغیر، به‌منظور ساخت مخلوط بتن توانمند عمل‌آوری شده استفاده گردید. نمونه‌هایی برای آزمایش کششی و فشاری بتن بر اساس استاندارد ASTM تهیه شد و در محیط‌های حوضچه آب، اتاق و گونی مرطوب با پوشش پلاستیک گردید. نتایج این پژوهش نشان داد: با افزایش درصد جایگزینی الیاف، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد؛ به‌طوری که بیشترین کاهش مربوط به جایگزینی ۳٪ الیاف با طول بلند و حدود ۲۳٪ بود؛ همچنین، استفاده از این الیاف سبب بهبود مقاومت کششی بتن گردید و با افزایش طول الیاف مقاومت کششی افزایش یافت؛ به‌طوری که بیشترین افزایش مربوط به جایگزینی ۲/۵٪ الیاف با طول بلند و حدود ۳٪ بود.

کلمات کلیدی: الیاف نخل خرما، عمل‌آوری داخلی، بتن توانمند، قابلیت جذب رطوبت بالا

۱- مقدمه

استفاده از الیاف طبیعی و مصنوعی به‌منظور تقویت بتن در برابر بارهای وارده، در دهه‌های اخیر توسط محققین زیادی بررسی گردیده است. استفاده از الیاف در بتن، علاوه بر افزایش مقاومت‌های کششی و برشی منجر به تقویت شکل‌پذیری و جذب انرژی بتن نیز می‌گردد. از طرفی الیاف نخل خرما، که حاصل از حرص درختان نخل در فصل تابستان است؛ در حال حاضر کاربردی نداشته و نگهداری یا سوزاندن آن، ضررهای جبران‌ناپذیری را بر محیط‌زیست وارد می‌سازد؛ از این رو با ارائه راهکارها و کاربردهای مناسب برای استفاده از این الیاف، نه‌تنها می‌توان از مزایای آن بهره‌مند گردید؛ بلکه از آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از نگهداری و سوزاندن این الیاف و هزینه‌های لازم برای کاهش این آلودگی‌ها جلوگیری کرد [۱]. امروزه دانشمندان بر این باورند که استفاده از منابع متداول انرژی مانند نفت، زغال‌سنگ و گاز طبیعی به‌شدت بر تغییرات آب و هوا مؤثر است؛ از این رو، امکان جایگزینی مواد مصنوعی که منشأ نفتی دارند با مواد طبیعی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. از مهمترین دلایل این جایگزینی، زیست سازگاری و زیست‌تخریب‌پذیری مواد طبیعی و همچنین، کاهش مصرف انرژی است که کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسیدکربن را به‌همراه دارد [۲]. الیاف مصنوعی و فلزی از متداول‌ترین الیاف تقویت‌کننده در ساختارهای بتنی به شمار می‌روند. این نوع بتن‌ها، با وجود دارا بودن خواص مکانیکی بسیار خوب، به‌دلیل عدم زیست‌تخریب‌پذیری، موجب آلودگی محیط می‌شوند؛ از این رو، استفاده از الیاف طبیعی در تولید بتن مورد توجه قرار گرفته است [۳و۴]. الیاف طبیعی به‌دلیل دارا بودن چگالی کمتر، مقاومت الکتریکی بیشتر، عایق بودن در برابر گرما و صدا، هزینه نسبتاً کمتر، استحکام ویژه قابل قبول، سفتی زیاد، منابع فراوان در دسترس، قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری و تجدیدشوندگی بر الیاف مصنوعی برتری دارد [۵و۶]. البته الیاف طبیعی در کنار این مزایا، معایبی نیز دارد؛ ماهیت آب‌دوست و چسبندگی ضعیف بین سطحی لیف - ماتریس، جذب رطوبت، ناهمگونی در خواص و پایداری گرمایی کم از جمله مهمترین مشکلات استفاده از این الیاف در بتن‌ها است [۳و۷و۸]؛ همچنین خواص فیزیکی و ترکیبات شیمیایی قسمت‌های مختلف یک گیاه می‌تواند در اثر شرایط رشد (آب و هوا و مقدار بارش در الیاف گیاهی)، دارای نایکنواختی و پراکندگی زیاد باشد [۹]. اصلاح سطحی الیاف طبیعی به کمک روش‌های فیزیکی یا شیمیایی در بهبود چسبندگی بین سطحی لیف - ماتریس مؤثر است [۱۰]. الیاف گیاهی را می‌توان در پنج گروه طبقه‌بندی کرد: الیاف ساقه‌ای (مانند رامی، جوت، کتان و کنف)، الیاف برگی (مانند آناناس موز و سیسال)، الیاف دانه‌ای (مانند پنبه و نارگیل)، علف و الیاف نی (مانند گندم، برنج و ذرت) و سایر انواع چوب و ریشه‌ها [۹و۱۱]. در چند سال اخیر، پژوهش‌هایی درباره الیاف نخل خرما و استفاده از آن در بتن‌ها انجام شده است. مطابق گزارش وزارت جهاد کشاورزی مهمترین استان‌های تولیدکننده خرما در ایران به‌ترتیب کرمان (به‌همراه مناطق جیرفت و کهنوج)، بوشهر، خوزستان، سیستان و بلوچستان، فارس و هرمزگان هستند؛ بنابراین، ایران پتانسیل بالقوه‌ای برای استفاده از الیاف نخل خرما در تولید انواع بتن را دارد. به‌منظور برداشت خرما با کیفیت مناسب، باید نخل خرما سالانه هرس شود. ضایعات حاصل از هرس هر نخل به‌طور متوسط در حدود ۱۷ کیلوگرم تا ۳۴ کیلوگرم است. این ضایعات با وجود آنکه منابع خوبی برای سلولوز، لیگنین و همی‌سلولوز هستند، در هیچ یک از فرآیندهای زیستی یا کاربردهای صنعتی استفاده نمی‌شوند و عموماً سوزانده می‌شوند [۱۲]؛ از این رو، با به‌کارگیری این الیاف به‌عنوان تقویت‌کننده می‌توان از ماده‌ای کم‌ارزش و ارزان، محصولی با ارزش‌افزوده زیاد تولید کرد.

۲- بتن توانمند

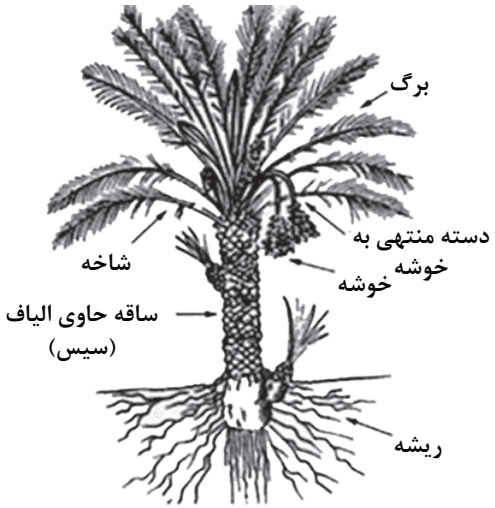
در اواخر قرن بیستم امکان ساخت مخلوط بتن توانمند با نسبت آب به مواد سیمانی کمتر از ۰/۴ و روانی مناسب فراهم شد؛ در ضمن با توجه به تغییرات ایجاد شده در طرح مخلوط (آب کمتر و مواد سیمانی بیشتر) رشد جمع‌شدگی ناشی از خود خشک‌شدگی

باعث ترک خوردن زود هنگام و کاهش دوام این بتن می‌شود؛ عمل‌آوری داخلی با الیاف نخل خرما روش مناسبی برای حل این مشکل است زیرا این الیاف دارای، ظرفیت جذب و نگهداری آب بالایی است [۱۳].

۳- برنامه آزمایشگاهی

۳-۱- الیاف نخل خرما

در زبان محلی به الیاف نخل خرما (سیس) می‌گویند. الیـاف مصـرفی در این تحقیـق از نخل‌های خرمـا در شهرستان بم تهیه شده اسـت؛ این الیاف معمولاً به رنگ قهوه‌ای روشن تا تیره در قسمت بالایی درخت نخل خرما موجود است. (شکل ۱). (شکل ۲ (الف)) طول شاخه‌های درخت خرما ۲ تا ۵ متر و طول برگ‌های آن تا ۸۰۰ میلی‌متر و عرض آن حدود ۳۵ میلی‌متر می‌باشد [۱۴]. ساختار توپر و جذب آب بالا، از ویژگی‌های شاخص این الیاف می‌باشد. از آنجایی‌که هدف از این پژوهش، استفاده از الیاف نخل خرما به‌صورت رشته‌ای و در طول‌های مشخص است؛ به‌دلیل بافت تاروپودی این الیاف پس از جداسازی از نخل (شکل ۲ (ب))، نیاز است در ابتدا الیاف را پس از گردگیری تا مدتی در آب غوطه‌ور نمود. با این کار به‌راحتی می‌توان این الیاف را رشته‌رشته کرد، و با قیچی به طول‌های مشخص درآورد (شکل ۲ (ج و د)).



شکل (۱): نمایی از درخت نخل خرما [۱۵]

(الف) **(ب)** **(ج)**

شکل (۲): الیاف نخل خرما: (الف) الیاف دور تنه درخت نخل خرما؛ (ب) الیاف پس از جداسازی از تنه درخت؛ (ج و د) الیاف رشته‌ای

۳-۱-۱- خواص الیاف نخل خرما

الیاف نخل خرما دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است که الیاف را برای استفاده در صنایع مختلف مفید می‌کند؛ بتن‌های ساخته شده حاوی الیاف نخل خرما ممکن است ویژگی‌های متفاوتی نسبت به بتن‌های معمولی داشته باشند:

قابلیت جذب آب بالا: الیاف نخل خرما می‌تواند به‌عنوان یک ماده افزودنی به بتن اضافه شود تا خصوصیات بتن را بهبود بخشد. یکی از قابلیت‌های مهم الیاف نخل خرما، قابلیت جذب آب بالا، رطوبت بالای موجود در این الیاف و همچنین، نگهداری رطوبت بالای آن است. مطالعات نشان داده‌اند، قابلیت جذب آب بالا می‌تواند در عمل‌آوری داخلی، جلوگیری از جمع‌شدگی و درنهایت کاهش ترک‌خوردگی بتن مفید باشد؛ علاوه بر این، خواص جذب آب الیاف نخل خرما می‌تواند از طریق روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف نیز افزایش یابد. این اصلاحات می‌توانند خاصیت آب‌دوستی الیاف را افزایش داده و در نتیجه باعث بهبود قابلیت جذب آب شوند؛ بنابراین این الیاف با قابلیت جذب آب قابل‌توجه، در کاربردهای مختلفی که نیاز به مدیریت رطوبت است، می‌تواند مفید واقع شود.

خواص مکانیکی: الیاف نخل خرما دارای مقاومت کششی، فشاری و انعطاف‌پذیری مناسب است و می‌تواند مقاومت بتن مخصوصاً مقاومت کششی را بهبود بخشد و از گسترش ترک جلوگیری کند.

خواص حرارتی: الیاف نخل خرما دارای خواص حرارتی مناسبی است و می‌تواند از تغییرات حرارتی ناشی از عوامل محیطی محافظت کند [۱۰].

۳-۱-۲- ترکیبات شیمیایی الیاف نخل خرما

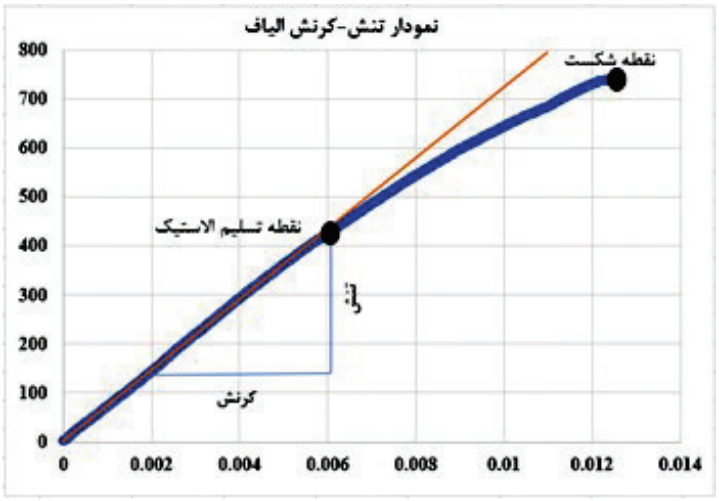
ترکیبات شیمیایی این الیاف در ادامه بررسی شده است:

جدول (۱): ترکیبات شیمیایی الیاف نخل خرما [۱۶]

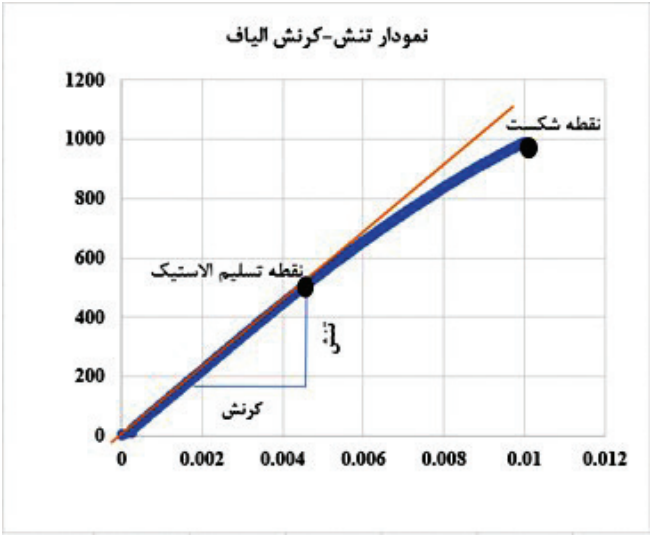
ماده	سلولوز	لیگنین	همی‌سلولوز	مقدار رطوبت (٪)
درصد وزنی	۴۶	۲۰	۱۸	۵

۳-۲- بررسی خواص مکانیکی الیاف نخل خرما

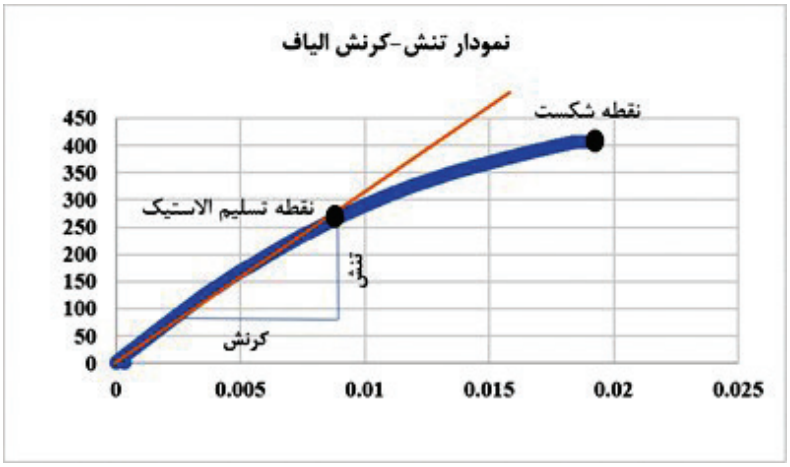
مشخصات مکانیکی الیاف شامل استحکام کششی، کرنش نقطه گسیختگی و مدول الاستیسیته بر اساس استاندارد ASTM D 3822 [۱۷] و با انجام آزمایش کشش مستقیم به‌وسیله دستگاه آزمایش سه محوری روی الیاف تعیین شده است. نمودارهای تنش - کرنش الیاف نخل خرما با قطرهای مختلف به‌وسیله دستگاه آزمایش سه محوری (قرار دادن الیاف در این دستگاه) و به کمک اکسل ترسیم شده‌اند:



نمودار (۱): تنش - کرنش الیاف با قطر ۳۶ میکرومتر



نمودار (۲): تنش - کرنش الیاف با قطر ۶۰ میکرومتر



نمودار (۳): تنش - کرنش الیاف با قطر ۹۰ میکرومتر

خواص مکانیکی الیاف نخل خرما در شرایط خشک‌شده در آون در ادامه بررسی شده است:

جدول (۲): خواص مکانیکی الیاف نخل خرما در شرایط خشک‌شده در آون

قطر (µm)	طول (mm)	نسبت قطر به طول	استحکام کششی (MPa)	مدول یانگ (GPa)	کرنش نقطه گسیختگی (٪)
۴۰	۱۳۳	۰/۰۳	۷۲/۴۵	۶/۹	۱
۶۰	۲۰۰	۰/۰۳	۹۶/۸	۹/۹۲	۱/۹۳
۹۰	۳۰۰	۰/۰۳	۴۰/۰۲	۲/۹۱	۱/۲۵

خواص مکانیکی الیاف نخل خرما در شرایط اشباع با سطح خشک در ادامه بررسی شده است:

جدول (۳): خواص مکانیکی الیاف نخل خرما در شرایط اشباع با سطح خشک

قطر (µm)	طول (mm)	نسبت قطر به طول	استحکام کششی (MPa)	مدول یانگ (GPa)	کرنش نقطه گسیختگی (٪)
۴۰	۱۳۳	۰/۰۳	۸۲/۴۵	۵/۲	۲
۶۰	۲۰۰	۰/۰۳	۱۰۶/۸	۸/۲۲	۲/۹۳
۹۰	۳۰۰	۰/۰۳	۴۵/۰۲	۱/۹۵	۲/۶۵

مراحل انجام آزمایش:

نحوه اندازه‌گیری قطر الیاف: الیاف به‌صورت رشته‌ای مورد استفاده قرار گرفته است و قطر این الیاف به‌صورت یک تک رشته در آزمایشگاه با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است.

نحوه اندازه‌گیری طول الیاف: الیاف در داخل دستگاه آزمایش سه محوری و بین دو فک بالا و پایین دستگاه قرار گرفته است و با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ طول درگیر اندازه‌گیری شده است.

برای انجام آزمون کشش مستقیم (شکل۳) مطابق با استاندارد، طول خالص هر نمونه زیر دستگاه بارگذاری ۱۳۳، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۰/۲ میلی‌متر بر دقیقه بود.

شکل (۳): آزمایش کشش مستقیم بر روی الیاف به‌وسیله دستگاه آزمایش سه محوری

با توجه به اینکه نسبت قطر الیاف به طول الیاف ثابت در نظر گرفته شد؛ با این حال به‌دلیل اینکه قطر در طول الیاف ثابت نمی‌باشد (به‌دلیل شرایط طبیعی الیاف) احتمالاً نمی‌توان نتیجه‌گیری درستی از تأثیر قطر و طول بر خواص مکانیکی الیاف نخل خرما در شرایط خشک‌شده در آون و اشباع با سطح خشک داشت.

محاسبه استحکام کششی الیاف: ابتدا باید نمودار تنش - کرنش مربوط به الیاف رسم شود؛ سپس، آخرین نقطه نمودار را در نظر گرفته؛ عدد مربوط به آن نقطه (که واحدش کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع است) به‌عنوان استحکام کششی الیاف در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه مدول یانگ الیاف: مدول یانگ الیاف همان شیب قسمت خطی نمودار تنش - کرنش($\alpha = E$) است؛ از آنجایی‌که در نقطه تسلیم الاستیک رفتار الیاف غیرخطی می‌شود خط واصل نقطه ابتدا منحنی تنش - کرنش و نقطه تسلیم الاستیک به‌عنوان قسمت خطی در نظر گرفته می‌شود.

طبق رابطه (۱) مدول یانگ به‌دست می‌آید:

$$\alpha = E = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$\alpha = E$ = مدول یانگ

y_2= تنش در نقطه تسلیم

y_1= تنش اولیه

x_2= کرنش در نقطه تسلیم

x_1 = کرنش اولیه

محاسبه کرنش نقطه گسیختگی برحسب درصد: با تقسیم عدد جابجایی نهایی بر تغییرات طول الیاف و ضرب‌در عدد ۱۰۰ می‌توان کرنش نقطه گسیختگی را برحسب درصد به‌دست آورد.

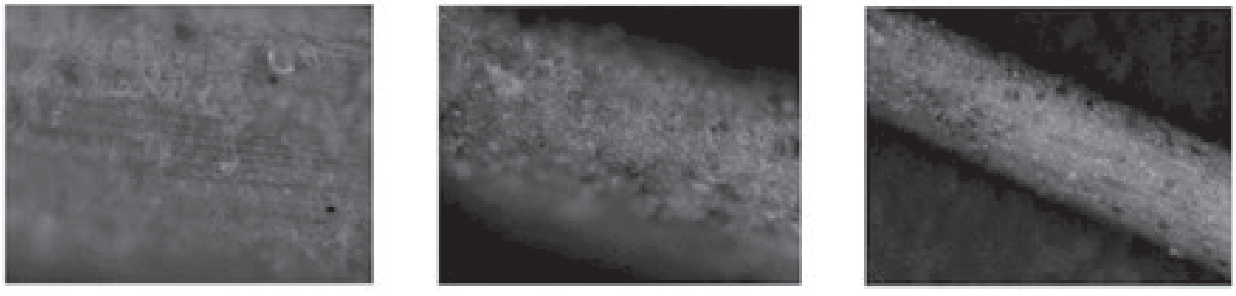
$$\frac{\text{جابجایی نهایی}}{\text{طول اولیه الیاف}} \times 100$$

طبق رابطه (۲) کرنش نقطه گسیختگی برحسب درصد به‌دست می‌آید:

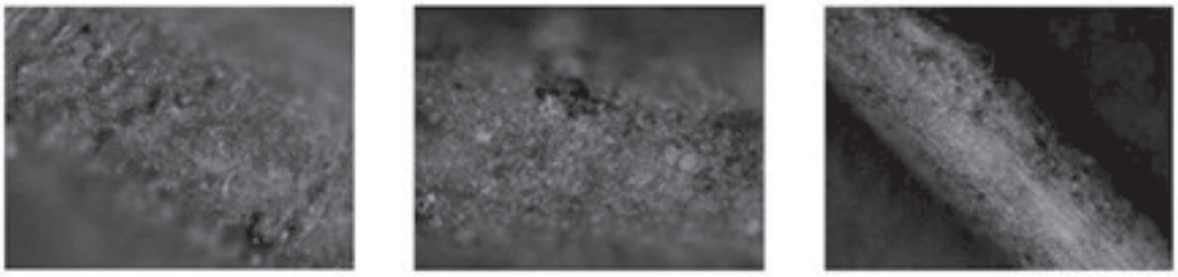
بر اساس آزمایش صورت گرفته مقدار کرنش نقطه گسیختگی برای الیاف نخل خرما حدود ۱ تا ۳ درصد است.

۳-۳- بررسی خواص فیزیکی الیاف نخل خرما

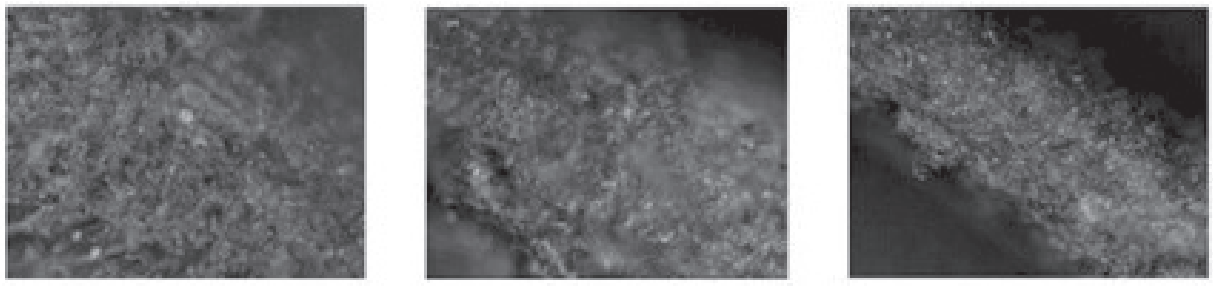
۱-۳-۳- بازرسی میکروسکوپی الیاف نخل خرما



شکل (۴): شکل و قطر یکنواخت، تخلخل کم، سطح دانه‌ای کم (الیاف با قطر ۴۰ میکرومتر)



شکل (۵): شکل و قطر یکنواخت، تخلخل کم، سطح دانه‌ای متوسط (الیاف با قطر ۶۰ میکرومتر)



شکل (۶): شکل و قطر نامنظم، تخلخل متوسط، سطح دانه‌ای متوسط (الیاف با قطر ۹۰ میکرومتر)

۳-۳-۲- خصوصیات شیمیایی الیاف نخل خرما

الیاف مصرفی در این تحقیق دارای خصوصیات شیمیایی زیر بر اساس آزمایش‌های پرتونگاری (XRF) می‌باشد.

جدول (۴): نتایج خصوصیات شیمیایی الیاف نخل خرما

نوع ترکیب	مقدار	مقدار
SiO_2	۶/۲	٪
Al_2O_3	۱/۷۲	٪
Na_2O	۰/۲۱	٪
MgO	۰/۷	٪
K_2O	۰/۵۲	٪
TiO_2	۰/۱۸	٪
MnO	۰/۰۸	٪
CaO	۴/۹۴	٪
P_2O_5	۰/۱۹	٪
Fe_2O_3	۱/۶۶	٪
SO_3	۱/۱۲	٪
L.O.I	۸۲/۱۱	٪

Ba	۱۹۴	ppm
Co	۳	ppm
Cr	۳۲۱	ppm
Cu	۲۶۵	ppm
Nb	N	ppm
Ni	۷۷	ppm
U	N	ppm
Th	۱۱۷	ppm
Ce	N	ppm
CI	۱۵۸۸	ppm
pb	۷۸	ppm
Rb	۴۰	ppm
Sr	۴۰۰	ppm
V	۴۴	ppm
Y	۱۴	ppm
Zr	۷۵	ppm
Zn	۴۵۴	ppm
Mo	۲	ppm

۳-۳-۳- محاسبه چگالی الیاف

برای محاسبه چگالی الیاف از استاندارد ASTM C128 [۱۸] استفاده می‌شود. در این پژوهش چگالی الیاف در دو حالت، اشباع با سطح خشک و در حالت رطوبت در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. بدین منظور در هر دو حالت ابتدا پیکنومتر پر از آب شد و وزن آن (A) با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید؛ سپس، مقدار انتخابی الیاف (بر اساس اینکه حدود نیمی از پیکنومتر را پر کند) در وضعیت اشباع با سطح خشک و یا در حالت رطوبت معمول در دمای اتاق وزن گردید (B)، در پیکنومتر خالی ریخته شد؛ سپس، پیکنومتر در این حالت پر از آب گردید و مجدداً وزن آن محاسبه شد (C)، در نهایت چگالی الیاف محاسبه شد.

(الف) (ب) (ج) (د) (ه)

شکل ۷: (الف) وزن الیاف در هر دو حالت؛ (ب) وزن پیکنومتر پر از آب؛ (ج) وزن پیکنومتر پر از آب و الیاف؛ (د و ه) پر کردن آب در پیکنومتر به‌وسیله قطره‌چکان

بر این اساس:

$$B+A-C=D \quad (۳)$$

و درنهایت:

$$\text{چگالی الیاف} = \frac{B}{D} \quad (۴)$$

بر اساس محاسبات، چگالی الیاف در حالت اشباع با سطح خشک برابر ۱/۱۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب و در وضعیت رطوبت معمول برابر ۰/۶۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. لازم به ذکر است که اختلاف بین چگالی الیاف در دو وضعیت با رطوبت متفاوت نشان‌دهنده میزان جذب آب بالا و ساختار متخلخل این الیاف است؛ این ویژگی استفاده از این الیاف را به‌منظور عمل‌آوری داخلی بتن ایده آل می‌نماید.

۴-۳-۳- محاسبه درصد جذب آب الیاف

به‌دست آوردن درصد جذب آب الیاف در آزمایشگاه با توجه به استاندارد ASTM D570 [۱۹] به شرح زیر است:

ابتدا باید الیاف را در آب غوطه‌ور کرد؛ سپس، سطح رویی الیاف را به‌وسیله حوله خشک کرده و وزن الیاف در حالت اشباع با سطح خشک به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شود؛ الیاف را در داخل آون گذاشته (به مدت ۲۴ ساعت با دمای ۵ ± ۵۵ درجه سانتی‌گراد) و بعد از آن وزن الیاف در حالت خشک‌شده در آون به‌وسیله ترازو اندازه‌گیری شود؛ شایان ذکر است که مدت‌زمان اشباع کامل الیاف حدوداً ۶۰ دقیقه بود.

طبق رابطه (۵) جذب آب الیاف به‌دست می‌آید:

$$\frac{\text{وزن الیاف خشک شده در آون - وزن الیاف اشباع با سطح خشک}}{\text{وزن الیاف خشک شده در آون}} \times ۱۰۰ \quad (۵)$$

(الف) (ب) (ج)

شکل (۸): (الف و ب) نحوه خشک کردن الیاف در آون؛ (ج) اشباع سازی الیاف

جذب آب الیاف در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و عدد ۱۲۷/۵ درصد به‌دست آمد.

۵-۳-۳- محاسبه درصد رطوبت موجود در الیاف

به‌دست آوردن درصد رطوبت موجود در الیاف در آزمایشگاه با توجه به استاندارد ASTM D570 [۱۹] به شرح زیر است:

طبق رابطه (۶) جذب رطوبت الیاف به‌دست می‌آید:

$$\frac{\text{وزن الیاف خشک شده در آون - وزن الیاف موجود}}{\text{وزن الیاف خشک شده در آون}} \times ۱۰۰ \qquad (۶)$$

رطوبت موجود در الیاف در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و عدد ۸/۷۲ درصد به‌دست آمد.

۶-۳-۳- نرخ کاهش رطوبت الیاف در دمای اتاق

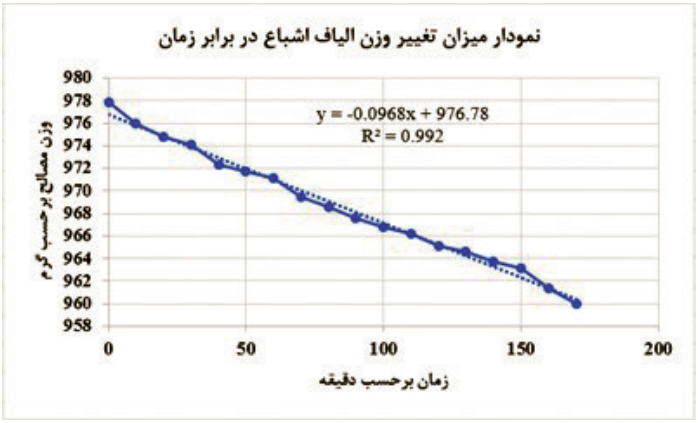
از آنجایی‌که عمل‌آوری داخلی فرآیندی زمان‌بر است؛ نیاز است تا رطوبت کافی در طول فرآیند هیدراتاسیون مهیا گردد. بدین منظور هر چه توانایی الیاف مصرفی در حفظ رطوبت جذب شده تا زمان اشباع بیشتر باشد؛ الیاف عملکرد مناسب‌تری را در زمان عمل‌آوری خواهد داشت. بر این اساس به‌منظور بررسی عملکرد الیاف و ظرفیت استفاده از آن در عمل‌آوری لازم است تا نرخ کاهش رطوبت الیاف در دمای اتاق محاسبه گردد. بدیهی است که هر چه نرخ از دست دادن رطوبت در برابر زمان کمتر باشد؛ توانایی الیاف در عمل‌آوری داخلی بیشتر است.

بدین منظور ابتدا الیاف را به مدت ۲۴ ساعت داخل آب گذاشته شد تا به حالت اشباع برسد؛ سپس، سطح آن به‌وسیله حوله خشک گردید. در ابتدا الیاف به‌وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم وزن و در محیط اتاق نگهداری شد. با انتخاب گام زمانی مناسب (حدود ۱۰ دقیقه) وزن‌کشی تکرار گردید. این مرحله بهتر است تا زمانی که دیگر تغییر محسوسی در وزن الیاف مشاهده نشود (حدود ۶ ساعت) تکرار گردد.

نمودار(۴): کاهش وزن الیاف برحسب زمان در معرض تبخیر در دمای اتاق

با توجه به نمودار (۵) می‌توان نتیجه‌گیری کرد که الیاف مورد استفاده به‌طور متوسط در هر ده دقیقه ۱ گرم رطوبت از دست می‌دهد. نرم‌افزارهای تحلیلی و آماری نظیر اکسل این امکان را دارند که با استفاده از داده‌های موجود، روابطی را برای محاسبه داده‌های اندازه‌گیری نشده ارائه دهند. بدین منظور از ابزار رگرسیون خطی برای برازش داده‌های ناموجود استفاده می‌گردد.

نمودار (۵): میزان از دست دادن آب الیاف در برابر زمان



نمودار (۶): تغییر وزن الیاف اشباع در برابر زمان

از برازش خطی داده‌های فوق، معادله (۷) به‌دست می‌آید و این معادله نشان می‌دهد به‌طور تقریبی در هر ده دقیقه ۱ گرم از وزن مصالح کاسته می‌شود.

$y=-0.0968x + 976.78$ و $R^2=0.992$ (۶)

y = وزن برحسب گرم

x = زمان (از ابتدا آزمایش) برحسب دقیقه

R^2= ضریب تغییرات

۴- بررسی مقاومت فشاری و کششی بتن توانمند ساخته شده با الیاف نخل خرما

همان‌طور که می‌دانید استفاده از الیاف در بتن به‌عنوان جایگزین سنگدانه، باعث کاهش مقاومت فشاری آن می‌شود؛ به‌همین منظور برای بررسی این موضوع در این پژوهش آزمایش مقاومت فشاری انجام شد تا بتوان به بررسی بهتر این مشکل پرداخت.

به‌همین منظور ۷ طرح مخلوط با عیار سیمان ۴۰۹ کیلوگرم و نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در نظر گرفته شد و یک مخلوط شاهد (بدون الیاف نخل خرما) و ۳ مخلوط با مقادیر ۲٪، ۲/۵٪ و ۳٪ الیاف نخل خرما در طول کوتاه و ۳ مخلوط دیگر با مقادیر

۲٪، ۲/۵٪ و ۳٪ الیاف نخل خرما در طول بلند به‌عنوان جایگزین حجمی سنگدانه‌ها ساخته شد. برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری ۶۳ نمونه استوانه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۱۰۰ میلی‌متر ساخته شد؛ همچنین، برای انجام آزمایش‌های مقاومت کششی نیز ۴۲ نمونه استوانه‌ای به ابعاد ۲۰۰×۱۰۰ میلی‌متر ساخته شد؛ آزمایش مقاومت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روزه و آزمایش مقاومت کششی در سن ۲۸ روزه انجام شد.

به‌منظور نگهداری نمونه‌ها برای آزمایش مقاومت فشاری ۳ روش نگهداری در نظر گرفته شده است:

۱) نگهداری نمونه‌ها در اتاق (بدون عمل‌آوری)

۲) نگهداری نمونه‌ها در حوضچه آب (عمل‌آوری اشباع)

۳) نگهداری نمونه‌ها زیر گونی مرطوب با پوشش پلاستیک

به‌منظور نگهداری نمونه‌ها برای آزمایش مقاومت کششی ۲ روش نگهداری در نظر گرفته شده است:

۱) نگهداری نمونه‌ها در اتاق (بدون عمل‌آوری)

۲) نگهداری نمونه‌ها در حوضچه آب (عمل‌آوری اشباع)

(ج) (ب) (الف)

شکل (۹): شرایط نگهداری نمونه‌ها: (الف) اتاق؛ (ب) حوضچه آب؛ (ج) گونی مرطوب با پوشش پلاستیک

۴-۱- طرح مخلوط بتن به روش ملی

نتایج حاصل از طرح مخلوط بتن شاهد (بدون الیاف) در جدول (۵) ارائه گردیده است.

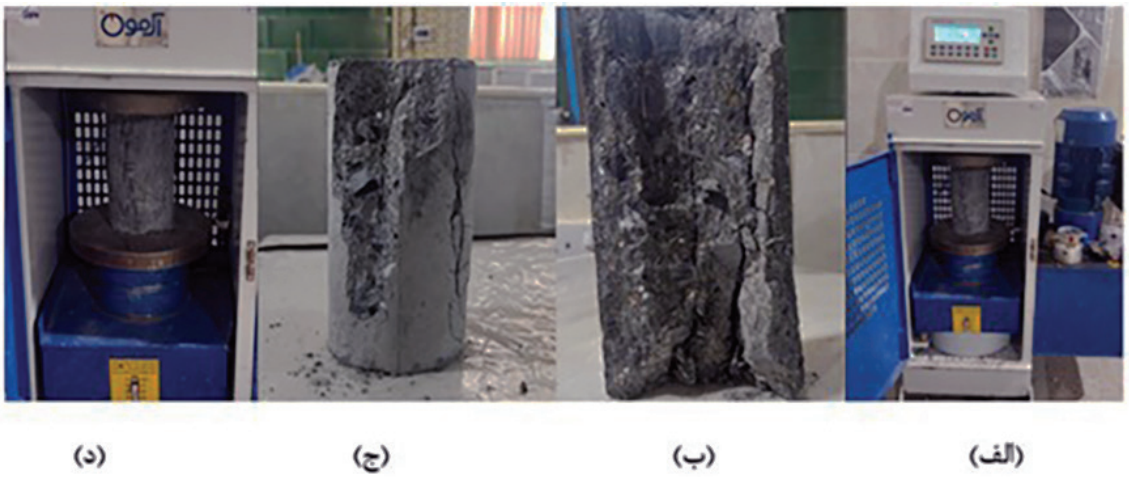
جدول (۵): طرح مخلوط یک مترمکعب نمونه‌های بتنی با نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳

(کیلوگرم بر مترمکعب)							
نام طرح	سیمان	میکروسیلیس	آب	فوق روان‌کننده	ماسه	شن	الیاف نخل خرما
نمونه شاهد	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۹۰	-
نمونه با ۲ درصد الیاف کوتاه	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۷۰	۱۰
نمونه با ۲/۵ درصد الیاف کوتاه	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۶۵	۱۲/۶
نمونه با ۳ درصد الیاف کوتاه	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۶۰	۱۵/۱
نمونه با ۲ درصد الیاف بلند	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۷۰	۹/۳
نمونه با ۲/۵ درصد الیاف بلند	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۶۵	۱۱/۶
نمونه با ۳ درصد الیاف بلند	۴۰۹	۴۱	۱۴۴	۲/۲۰۵	۶۹۰	۹۶۰	۱۳/۹

۴-۲- نتایج آزمایش‌ها

۴-۲-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای مطابق با استاندارد ASTM C39 [۲۰] ساخته شد و با استفاده از دستگاه جک فشاری بتن شکن و با سرعت بارگذاری ۱۹۶۳ نیوتن بر ثانیه مورد آزمایش قرار گرفت؛ مقاومت فشاری با استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد۲۰۰×۱۰۰میلی‌متر و در سه محیط نگهداری اتاق، حوضچه آب و گونی مرطوب با پوشش پلاستیک در سنین ۷ و ۲۸ روزه اندازه‌گیری شد.



شکل (۱۰): (الف) دستگاه جک فشاری بتن شکن؛ (ب و ج) نمایی از نمونه‌های فشاری شکسته شده؛

(د) محفظه قرارگیری نمونه، مجهز به LVDT

مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای مطابق با استاندارد به‌دست آمده است. نتایج ناشی از این نوع آزمایش بر روی نمونه‌ها در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): مشخصات و نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها

ردیف	نام طرح	کد نمونه‌ها	شرایط نگهداری نمونه‌ها	مقاومت متوسط ۷ روزه	مقاومت متوسط ۲۸ روزه
۱	نمونه شاهد	33-C-0-R	اتاق	۴۳/۲	۶۸
۲	نمونه شاهد	33-C-0-W	حوضچه آب	۵۰/۴	۷۴
۳	نمونه شاهد	33-C-0-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۴۸/۲	۷۲
۴	نمونه با ۲ درصد الیاف کوتاه	33-S-2-R	اتاق	۳۸/۹	۶۰
۵	نمونه با ۲ درصد الیاف کوتاه	33-S-2-W	حوضچه آب	۴۴/۶	۶۳/۴
۶	نمونه با ۲ درصد الیاف کوتاه	33-S-2-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۴۲/۹	۶۲/۷
۷	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف کوتاه	33-S-2.5-R	اتاق	۳۷/۵	۵۷/۵
۸	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف کوتاه	33-S-2.5-W	حوضچه آب	۴۲/۸	۶۱/۵
۹	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف کوتاه	33-S-2.5-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۴۱/۲	۶۰/۵

۱۰	نمونه با ۳ درصد الیاف کوتاه	33-S-3-R	اتاق	۳۶/۱	۵۵/۲
۱۱	نمونه با ۳ درصد الیاف کوتاه	33-S-3-W	حوضچه آب	۴۱/۲	۵۹/۶
۱۲	نمونه با ۳ درصد الیاف کوتاه	33-S-3-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۳۹/۹	۵۸/۴
۱۳	نمونه با ۲ درصد الیاف بلند	33-S-2-R	اتاق	۳۷/۱	۵۷/۱
۱۴	نمونه با ۲ درصد الیاف بلند	33-L-2-W	حوضچه آب	۴۲/۴	۶۰/۱
۱۵	نمونه با ۲ درصد الیاف بلند	33-L-2-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۴۱/۳	۵۹
۱۶	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف بلند	33-L-2.5-R	اتاق	۳۵/۴	۵۴/۴
۱۷	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف بلند	33-L-2.5-W	حوضچه آب	۴۰/۹	۵۸/۴
۱۸	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف بلند	33-L-2.5-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۳۹/۶	۵۷/۱
۱۹	نمونه با ۳ درصد الیاف بلند	33-L-3-R	اتاق	۳۴	۵۲/۵
۲۰	نمونه با ۳ درصد الیاف بلند	33-L-3-W	حوضچه آب	۳۹/۳	۵۶/۶
۲۱	نمونه با ۳ درصد الیاف بلند	33-L-3-G	گونی مرطوب با پوشش پلاستیک	۳۷/۹	۵۵/۲

۴-۲-۲- تجزیه و تحلیل نتایج

۴-۲-۲-۱- اثرات طول و میزان الیاف نخل خرما بر مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سنین و حالت‌های نگهداری مختلف در نمودار (۷) ارائه گردیده است.

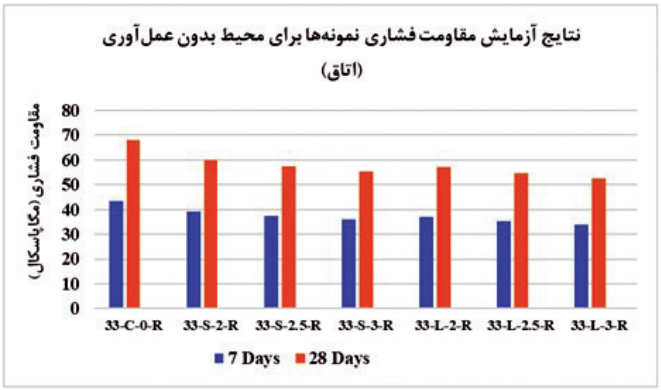
نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری که به‌صورت نمودار ارائه شده است؛ نشان می‌دهد که:

استفاده از طول و درصدهای الیاف باعث کاهش مقاومت فشاری بتن می‌شود.

بهترین شرایط عمل‌آوری در حوضچه آب و بعد از آن به‌ترتیب گونی مرطوب با پوشش پلاستیک و بدون عمل‌آوری (اتاق) است.

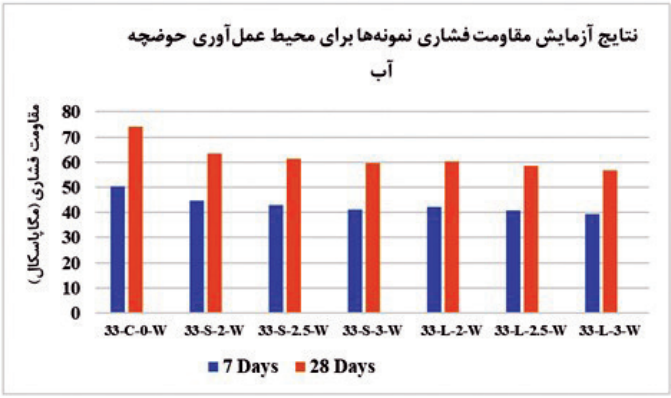
همان‌طور که گفته شد این الیاف جذب آب بالایی دارد پس این الیاف برای عمل‌آوری داخلی مناسب است و می‌تواند گزینه بسیار خوبی برای استفاده در بتن توانمند با هدف کاهش ترک‌خوردگی و جمع‌شدگی این نوع بتن باشد.

کمترین کاهش مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های با ۲٪ الیاف طول کوتاه و عمل‌آوری در حوضچه آب است و بیشترین کاهش مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های با ۳٪ الیاف طول بلند و بدون عمل‌آوری (اتاق) است.

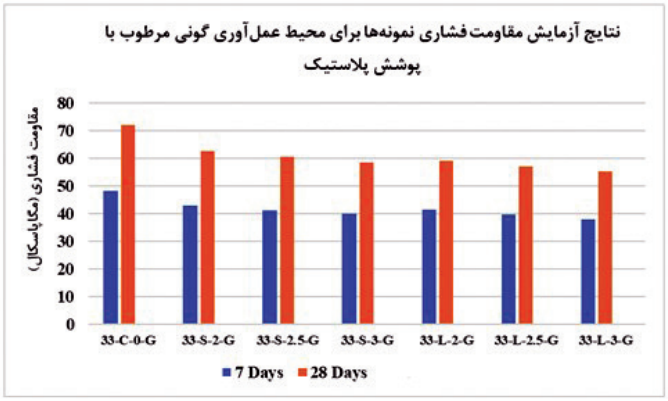


نمودار (۷- الف): نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سنین ۷ و ۲۸ روزه برای محیط بدون عمل‌آوری (اتاق)

۴-۲-۳- نتایج آزمایش مقاومت کششی



نمودار (۷- ب): نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سنین ۷ و ۲۸ روزه برای محیط عمل‌آوری حوضچه آب



نمودار (۷- ج): نتایج مقاومت فشاری نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سنین ۷ و ۲۸ روزه برای محیط عمل‌آوری گونی مرطوب با پوشش پلاستیک

۴-۲-۳- نتایج آزمایش مقاومت کششی

مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای مطابق با استاندارد ASTM C496 [۲۱] ساخته شد و با استفاده از دستگاه جک بتن شکن و با سرعت بارگذاری ۵۵۰ نیوتن بر ثانیه مورد آزمایش قرار گرفت؛ مقاومت کششی با استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد ۱۰۰×۲۰۰ میلی‌متر و در دو محیط نگهداری اتاق و حوضچه آب در سن ۲۸ روزه اندازه‌گیری شد.

(د) (ج) (ب) (الف)

شکل (۱۱): دستگاه جک فشاری بتن شکن؛ (ب وج) نمایی از نمونه‌های کششی شکسته شده؛ (د) محفظه قرارگیری نمونه، مجهز به LVDT

مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای مطابق با استاندارد به‌دست آمده است. نتایج ناشی از این نوع آزمایش بر روی نمونه‌ها در جدول (۷) ارائه‌شده است.

جدول (۷): مشخصات و نتایج مقاومت کششی نمونه‌ها

ردیف	نام طرح	کد نمونه‌ها	شرایط نگهداری نمونه‌ها	مقاومت متوسط ۲۸ روزه
۱	نمونه شاهد	33-C-0-R	اتاق	۵/۶۲
۲	نمونه شاهد	33-C-0-W	حوضچه آب	۶/۷۳
۳	نمونه با ۲ درصد الیاف کوتاه	33-S-2-R	اتاق	۵/۷۳
۴	نمونه با ۲ درصد الیاف کوتاه	33-S-2-W	حوضچه آب	۶/۸۷
۵	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف کوتاه	33-S-2.5-R	اتاق	۵/۶۹
۶	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف کوتاه	33-S-2.5-W	حوضچه آب	۶/۸۲
۷	نمونه با ۳ درصد الیاف کوتاه	33-S-3-R	اتاق	۵/۶۷
۸	نمونه با ۳ درصد الیاف کوتاه	33-S-3-W	حوضچه آب	۶/۸۰
۹	نمونه با ۲ درصد الیاف بلند	33-L-2-R	اتاق	۵/۷۷
۱۰	نمونه با ۲ درصد الیاف بلند	33-L-2-W	حوضچه آب	۶/۹۱
۱۱	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف بلند	33-L-2.5-R	اتاق	۵/۸۰
۱۲	نمونه با ۲/۵ درصد الیاف بلند	33-L-2.5-W	حوضچه آب	۶/۹۶
۱۳	نمونه با ۳ درصد الیاف بلند	33-L-3-R	اتاق	۵/۷۱
۱۴	نمونه با ۳ درصد الیاف بلند	33-L-3-W	حوضچه آب	۶/۸۹

۴-۲-۴- تجزیه و تحلیل نتایج

۴-۲-۴-۱- اثرات طول و میزان الیاف نخل خرما بر مقاومت کششی بتن

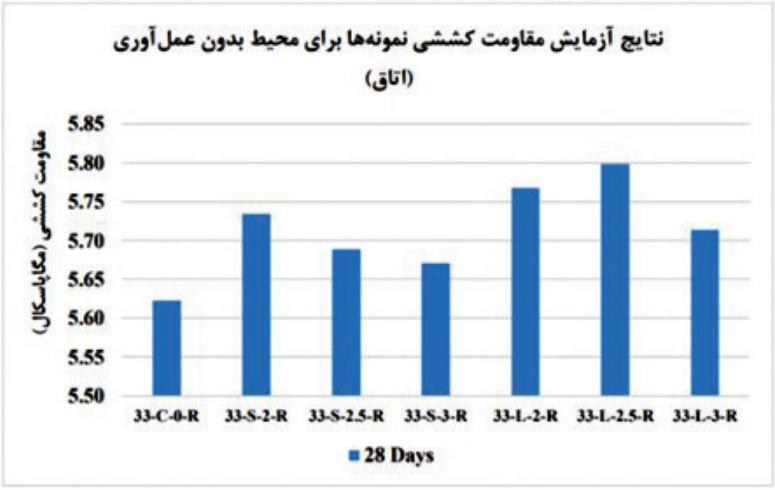
مقاومت کششی نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سنین و حالت‌های نگهدای مختلف در نمودار (۸) ارائه گردیده است.

نتایج حاصل از آزمایش مقاومت کششی که به‌صورت نمودار ارائه شده است؛ نشان می‌دهد که:

طول و درصد الیاف در افزایش مقاومت کششی بتن تأثیر دارد (با افزایش طول و درصد الیاف مقاومت کششی بتن نیز افزایش می‌یابد).

درصد بهینه برای افزایش مقاومت کششی بتن ۲٪ الیاف با طول کوتاه و ۲/۵٪ الیاف با طول بلند می‌باشد.

بهترین شرایط عمل‌آوری در حوضچه آب است.



نمودار (۸- الف): نتایج مقاومت کششی (برزیلی) نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سن ۲۸ روزه برای محیط بدون عمل‌آوری (اتاق)

نمودار (۸- ب): نتایج مقاومت کششی (برزیلی) نمونه‌های دارای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۳ در سن ۲۸ روزه برای محیط عمل‌آوری حوضچه آب

۵- نتیجه‌گیری

الیاف نخل خرما می‌تواند به‌عنوان یک ماده افزودنی به بتن اضافه شود تا خصوصیات بتن را بهبود بخشد. یکی از قابلیت‌های مهم الیاف نخل خرما قابلیت جذب آب بالا، جذب رطوبت و همچنین، نگهداری رطوبت بالای آن است.

الیاف نخل خرما دارای مزایای قابل‌توجهی مانند ساختار متخلخل، چگالی کم در واحد حجم، استحکام کششی ویژه و کرنش نسبتاً خوب نقطه گسیختگی در هنگام شکست؛ همچنین، مقرون‌به‌صرفه بودن این الیاف در مقایسه با الیاف مصنوعی حائز اهمیت است.

به‌طور کلی استفاده از الیاف نخل خرما سبب کاهش مقاومت فشاری بتن می‌گردد؛ طول و درصد الیاف مصرفی بر مقاومت فشاری بتن تأثیر دارد.

کاهش مقاومت فشاری بتن توانمند در کمترین حالت نسبت به بتن شاهد مربوط به نمونه‌های با ۲٪ الیاف طول کوتاه و عمل‌آوری در حوضچه آب و مقدار ۱۴٪ می‌باشد.

کاهش مقاومت فشاری بتن توانمند در بیشترین حالت نسبت به بتن شاهد مربوط به نمونه‌های با ۳٪ الیاف طول بلند و نگهداری در اتاق و مقدار ۲۳٪ می‌باشد.

بهترین محیط نگهداری برای نمونه‌های بتنی جهت داشتن مقاومت فشاری بیشتر؛ حوضچه آب است و بعد از آن به‌ترتیب گونی مرطوب با پوشش پلاستیک و اتاق است.

به‌طور کلی استفاده از الیاف نخل خرما سبب افزایش مقاومت کششی بتن می‌گردد؛ طول و درصد الیاف مصرفی بر مقاومت کششی بتن تأثیر دارد.

افزایش مقاومت کششی بتن توانمند در کمترین حالت نسبت به بتن شاهد مربوط به نمونه‌های با ۳٪ الیاف طول کوتاه و نگهداری در حوضچه آب و اتاق حدود ۱٪ می‌باشد.

افزایش مقاومت کششی بتن توانمند در بیشترین حالت نسبت به بتن شاهد مربوط به نمونه‌های با ۲٪ الیاف طول کوتاه و ۲/۵٪ الیاف طول بلند و عمل‌آوری در حوضچه آب؛ به‌ترتیب مقدار ۲٪ و ۳٪ می‌باشد.

بهترین محیط عمل‌آوری برای نمونه‌های بتنی جهت داشتن مقاومت کششی بیشتر؛ حوضچه آب است.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از پرسنل و کارشناسان محترم آزمایشگاه بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) جهت همکاری در انجام آزمایش‌های مربوطه کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

منابع

[۱] میرابی مقدم، م.ح.، ۱۴۰۰، «اثر شکل و میزان الیاف سیس نخل خرما بر مقاومت فشاری و کششی بتن»، مهندسی سازه و ساخت.

[2] Monteiro S. N. Lopes F. P. D. Ferreira A. S. & Nascimento D. C. O. (2009). Natural-fiber polymer-matrix composites: cheaper tougher and environmentally friendly. Jom 61 17-22.

[3] Saba N. Paridah M. T. & Jawaid M. (2015). Mechanical properties of kenaf fibre reinforced polymer composite: A review. Construction and Building materials 76 87-96.

[4] Mahjoub R. Yatim J. M. Sam A. R. M. & Hashemi S. H. (2014). Tensile properties of kenaf fiber due to various conditions of chemical fiber surface modifications. Construction and Building materials 55 103-113.

[5] Thakur V. K. Thakur M. K. & Gupta R. K. (2014). Raw natural fiber–based polymer composites. International Journal of Polymer Analysis and Characterization 19(3) 256-271.

[6] Biagiotti J. M. K. J. Puglia D. & Kenny J. M. (2004). A review on natural fibre-based composites-part I: structure processing and properties of vegetable fibres. Journal of Natural Fibers 1(2) 37-68.

[7] Alsaeed T. Yousif B. F. & Ku H. (2013). The potential of using date palm fibres as reinforcement for polymeric composites. Materials & Design 43 177-184.

[8] Gandini A. & Belgacem M. N. (2011). Modifying cellulose fiber surfaces in the manufacture of natural fiber composites. In Interface engineering of natural fibre composites for maximum performance (pp. 3-42). Woodhead Publishing.

[9] Rowell R. M. (2008). Natural fibres: types and properties. In Properties and performance of natural-fibre composites (pp. 3-66). woodhead publishing.

[10] Taj S. Munawar M. A. & Khan S. (2007). Natural fiber-reinforced polymer composites. Proceedings-Pakistan Academy of Sciences 44(2) 129.

[11] Muniyasamy S. Anstey A. Reddy M. M. Misra M. & Mohanty A. (2013). Biodegradability and compostability of lignocellulosic based composite materials. Journal of Renewable Materials 1(4) 253-272.

[12] Al-Oqla F. M. Alothman O. Y. Jawaid M. Sapuan S. M. & Es-Saheb M. H. (2014). Processing and properties of date palm fibers and its composites. Biomass and Bioenergy: processing and Properties 1-25.

[۱۳] فامیلی، ه.، خداداد سریزدی، م.، پرهیزکار، ط.، ۱۳۸۹، «جمع‌شدگی خودزا و عمل‌آوری داخلی بتن خودمتراکم پر مقاومت»، نشریه مهندسی و محیط‌زیست دانشگاه تبریز، ۴۰(۲)، ۵۱.

[14] Khaloo A. R. (1998). Behavior of date-leaf fiber reinforced mortar. Concrete international 20(8) 59-61.

[15] Amroune S. Bezazi A. Dufresne A. Scarpa F. & Imad A. (2021). Investigation of the date palm fiber for green composites reinforcement: thermo-physical and mechanical properties of the fiber. Journal of Natural Fibers 18(5) 717-734.

[16] Al-Oqla F. M. & Sapuan S. M. (2014). Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm fibers for sustainable automotive industry. Journal of Cleaner Production 66 347-354.

[17] ASTM D3822, (2020). Standard Test Method for Tensile Properties of Single Textile Fibers.

[18] ASTM C128, (2023). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.

[19] ASTM D570, (2022). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

[20] ASTM C39/C39M, (2020). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimen.

[21] ASTM C496/C496M, (2017). Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.