



Use of palm leaf nanoparticles in improving the properties of concrete lining of water conveyance canals

Alireza Gohari¹ | Jahangir Abedi Koupai² | Saeid Eslamian³ | Armita Motamedi⁴

1. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: ar.gohari@iut.ac.ir
2. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: koupai@iut.ac.ir
3. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: said@iut.ac.ir
4. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. E-mail: armita.mtd@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 2 February

Received in revised form

3 March 2023

Accepted 8 November 2023

Published online 14 March 2024

Keywords:

Elasticity

Concrete

Pozzolan

Pushing resistance

Tensile strength

ABSTRACT

This research was conducted using pozzolans produced from date palm leaves at the nanoscale and some mechanical properties of concrete were investigated. The studied properties are compressive strength, tensile strength, elasticity, and durability of concrete containing date palm leaf pozzolans in a sulfated environment. The results of this study showed that in concrete made with pozzolan at low ages, the amount of compressive strength of concrete is less than control concrete, and at older ages over time, the amount of compressive and tensile strength increased; to the point that at 128 days these parameters were approximately 12.35 and 5.8 times higher than that of seven days. The modulus of elasticity values in the treatments containing pozzolan were significantly reduced by nearly 18 percent compared to the control concrete. The performance of treatments containing palm leaf nanoparticles in a sulfated environment was better than control concrete. Finally, according to the cases studied, it can be concluded that the use of 20 percent pozzolanic palm nanoparticles with a strain ratio of 318 compared to control concrete, has significant deformation values. Hence, the use of this makes the material as a filler possible for expansion and contraction joints.

Cite this article: Gohari, A. R., Abedi Koupai, J., Eslamian, S. S., & Motamedi, A. (2024). Use of palm leaf nanoparticles in improving the properties of concrete lining of water conveyance canals. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (1), 43-54. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.331248.941>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.331248.941>

Publisher: The University of Tehran Press.



استفاده از نانوذرات برگ نخل در بهبود خصوصیات پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب

علیرضا گوهری^۱ | جهانگیر عابدی کوپایی^۲ | سید سعید اسلامیان^۳ | آرمیتا معتمدی^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: Ar.gohari@iut.ac.ir

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: koupai@iut.ac.ir

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: said@iut.ac.ir

۴. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: armita.mtd@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

این پژوهش با هدف استفاده از پوزولان تولیدشده از برگ نخل خرما در مقیاس نانو اجرا گردید و برخی خصوصیات مکانیکی بتن ساخته‌شده از جمله مقاومت فشاری، مقاومت کششی، الاستیسیته و دوام بتن حاوی پوزولان برگ نخل خرما در محیط سولفات، مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در بتن ساخته‌شده با پوزولان در سنین کم میزان مقاومت فشاری بتن کم‌تر از بتن شاهد می‌باشد. در سنین بیش‌تر با گذر زمان، میزان مقاومت فشاری و کششی افزایش یافتند، به‌طوربه‌طوری‌که این پارامترها در سن ۱۲۸ روزه نسبت به هفت روزه به‌ترتیب حدوداً ۱۲/۳۵ و ۵/۸ برابر افزایش داشت. مقادیر مدول الاستیسیته در تیمارهای حاوی پوزولان کاهش چشم‌گیر حدود ۱۸ درصدی نسبت به بتن شاهد داشت. عملکرد تیمارهای حاوی نانوذرات برگ نخل در محیط‌های سولفات مناسب‌تر از بتن شاهد بود. در نهایت با توجه به موارد بررسی‌شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از پوزولان ۲۰ درصد نانوذرات نخل با داشتن نسبت کرنش ۳۱۸ نسبت به بتن شاهد، دارای مقادیر قابلیت تغییر شکل قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد، لذا استفاده از این مواد را به‌عنوان ماده پرکننده برای درزهای انبساط و انقباض امکان‌پذیر می‌سازد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

کلیدواژه‌ها:

الاستیسیته

بتن

پوزولان

مقاومت فشاری

مقاومت کششی

استناد: گوهری، علیرضا؛ عابدی کوپایی، جهانگیر؛ اسلامیان، سید سعید و معتمدی، آرمیتا (۱۴۰۳). استفاده از نانوذرات برگ نخل در بهبود خصوصیات پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴ (۱)، ۴۳-۵۴. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.331248.941>



۱. مقدمه

ایجاد پوشش مناسب برای کانال‌ها با هدف افزایش مقاومت دیواره‌های خاکی آن‌ها در مقابل آب شستگی و نفوذ آب به منظور افزایش راندمان انتقال یک امر ضروری است. از آنجایی که ارزان‌ترین پوشش‌ها نیز هزینه قابل توجهی در بردارند، لذا انتخاب نوع پوشش باید با دقت زیادی صورت گیرد و ضمن انتخاب مناسب‌ترین پوشش، در جهت کاهش هزینه با حفظ مشخصات و خصوصیات مهندسی تلاش گردد (Fatxullojev *et al.*, 2020). یکی از پوشش‌های معمول کانال‌ها پوشش بتنی است. پوشش بتنی با توجه به عمر متوسط آن که در حدود ۴۰ سال است و همچنین هزینه نگهداری و عدم رشد گیاهان در اطراف و داخل آن از بهترین نوع پوشش‌هاست. برای تهیه سنگدانه‌های مصرفی در بتن مقادیر زیادی از منابع طبیعی دستخوش تخریب شده‌اند. همچنین ماده اصلی تشکیل دهنده بتن یعنی سیمان، برای تولید مقادیر بسیار زیادی از دی‌اکسید کربن را در اتمسفر زمین رها می‌کند. تولید هر تن سیمان، یک تن CO_2 در اتمسفر آزاد می‌کند (Damtoft *et al.*, 2008). این ماده به‌عنوان گاز گلخانه‌ای شناخته شده است و باعث گرم‌شدن کره زمین می‌شود. از طرفی تخریب و دفع سازه‌های بتنی منجر به شکل‌گیری حجم زیادی از مواد زائد جامد می‌شود و همچنین میزان آب موردنیاز برای ساخت بتن بسیار زیاد است، تا جایی که هر ساله بیش از چند میلیارد لیتر آب شیرین در سطح جهان البته بدون در نظر گرفتن آب برای شست‌وشوی سنگدانه‌ها و آب موردنیاز برای عمل‌آوری بتن در ساخت بتن مصرف می‌شود (Miller *et al.*, 2018). این در حالی است که آب شیرین در جهان به راحتی در دسترس نیست. موارد ذکر شده نشان می‌دهد که صنعت بتن به یک صنعت مخرب زیست‌محیطی تبدیل شده است، اما در واقع با مطالعه بر روی چرخه حیات این محصول پر مصرف در صنعت ساخت‌وساز می‌توان آن را به یک مصالح سازگار با محیط زیست تبدیل کرد. در نتیجه در درجه اول به منظور کاهش تأثیر آلاینده‌گی سیمان پرتلند بر محیط زیست باید میزان استفاده از آن را تا حد ممکن در بتن کاهش دهیم. پس بدیهی است که ما نمی‌توانیم ساخت‌وسازی پایدار بدون اعمال تغییراتی در تکنولوژی بتن داشته باشیم (Ebrahimi and Rabiei, 2015).

یکی از اقدام‌های مؤثر در حل مشکلات ذکر شده، جایگزینی بخشی از سیمان با مواد پوزولانی طبیعی و مصنوعی است. استفاده از این مواد به‌عنوان جایگزین بخشی از سیمان، نه تنها بهای تمام‌شده بتن را تقلیل می‌دهد، بلکه این مواد منجر به بهبود خواص بتن نیز می‌شود. پوزولان عبارت است از یک ماده طبیعی یا مصنوعی که حاوی سیلیس فعال می‌باشد که پودر حاصله از سوزاندن آن در حضور رطوبت و در دمای معمولی با هیدرواکسید کلسیم واکنش شیمیایی نموده و ترکیباتی را که دارای خواص چسبندگی می‌باشند به وجود می‌آورد (Mostofinejad, 2007). یکی از عوامل ترک خوردگی کانال‌های آبیاری، انجماد آب‌های محبوس می‌باشد که با توجه به دستاوردهای Değirmenci (2018) با استفاده از پوزولان‌های طبیعی، می‌توان مقاومت مناسبی در برابر یخ‌زدگی و آتش‌گرفتگی ایجاد کرد.

خاکستر پوسته برنج محصولی بسیار مناسب برای پرکردن ذرات بین سیمان و سنگدانه‌ها در بتن و افزایش قدرت و کارایی بتن است. با آزمایش‌هایی که توسط Rattanachu *et al.* (2020) انجام شده، مشخص شد که با جایگزینی ۲۰ درصد از پوزولان، می‌توان مقاومت فشاری بتن را در بتن ۶۰ روزه تا ۸۴ درصد بیش‌تر از بتن شاهد افزایش داد (Rattanachu *et al.*, 2020).

ذرت نیز که به‌صورت جهانی به‌دلیل مصارفی که دارد در سطح وسیعی کشت می‌شود، قابل استفاده به‌عنوان پوزولان است. Augustine and Michael (2016) اظهار کردند، اگرچه می‌توان از ذرت برای این منظور استفاده کرد، اما مقدار اختلاط نباید بیش از ۱۰ درصد باشد، زیرا موجب کاهش مقاومت بتن می‌گردد. آن‌ها با استفاده از اعمال درصدهای پنج، ۱۰، ۲۰ و ۲۵ و اندازه‌گیری مقاومت فشاری به مقادیر ۲۸/۷۸، ۲۶/۲۲، ۲۲/۳۳، ۲۰/۲۷ و ۱۷/۳۳ نیوتن بر میلی‌متر مربع دست یافتند (Augustine and Michael, 2016).

با توجه به این که استفاده از مواد افزودنی در طرح اختلاط بتن، جهت بهبود خواص بتن یک امر متداول است، اما باید به این نکته توجه داشت که در استفاده از مواد افزودنی، یکی از مهم‌ترین پارامترها، اقتصادی بودن بتن ساخته شده با مواد افزودنی موردنظر است. برگ نخل، یکی از مواد طبیعی، ارزان و در دسترس است، که در استان‌های جنوبی کشور به وفور یافت می‌شود. تاکنون مطالعات متعددی بر روی استفاده از این ماده در صنعت بتن صورت گرفته است. در پژوهشی *Djouidi et al.* (2012) از پوزولان برگ نخل خرما به عنوان ماده‌ای با خواص جالب فیزیکی و مکانیکی یاد شد (*Djouidi, 2012*). *González-Kunz et al.* (2017)، مرور کاملی بر روی استفاده از ۱۲ پوزولان طبیعی و ویژگی‌های آن‌ها به عمل آوردند. آن‌ها دریافته‌اند، با استفاده از برگ نخل می‌توان مقاومت بتن در مقابل خوردگی کلرید را بهبود بخشید هم‌چنین این ماده تأثیر مثبتی بر روی مقاومت فشاری دارد (*González-Kunz et al., 2017*). در یکی دیگر از پژوهش‌ها توسط *Al-Kutti et al.* (2019)، با توجه به آزمایش‌های متعدد انجام شده روی پوزولان برگ نخل، این ماده به عنوان بهبوددهنده ویژگی‌های بتن معرفی شد، آن‌ها دریافته‌اند که بهترین ترکیب برای بهبود مقاومت فشاری بتن استفاده از ۱۰ درصد پوزولان برگ نخل می‌باشد که موجب افزایش ۲/۵ درصدی مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد می‌شود (*Al-Kutti et al., 2019*). در پژوهشی دیگر، از ذرات بسیار ریز خاکستر برگ خرما استفاده شد. آن‌ها بیان کردند که استفاده از ذرات بسیار ریز به دلیل سطح تماس بیش‌تر و اندازه کوچک‌تر ذرات دارای واکنش پوزولانی بیش‌تر و در نتیجه گزینه مناسب‌تری برای استفاده می‌باشد. هم‌چنین، استفاده از پوزولان خرما میزان جذب آب را کاهش می‌دهد (به‌ویژه در درصد‌های بیش‌تر)، پس انتظار می‌رود که این نوع سیمان از مقاومت بیش‌تری در مقابل خوردگی سولفات‌ها و اسیدی برخوردار باشد (*Hamada et al., 2020*).

در حال حاضر پژوهش‌های گسترده‌ای در سطح جهان بر روی انواع پوزولان‌ها و نیز دوام بتن‌های ساخته شده از پوزولان‌های مصنوعی متمرکز است. در این پژوهش سعی بر آن است تا استفاده از مواد نانومقیاس در طرح اختلاط بتن موردآزمایش قرار گیرد. فناوری نانو امکان ایجاد تغییر در فرایند ساخت را حداقل به دو روش فراهم می‌سازد: ۱- با کاهش مصرف مواد، ۲- استفاده از نانومواد به‌عنوان کاتالیزور و جداکننده برای افزایش بازده فرایند ساخت (*Abedi-Koupai, 2007*). به‌طور کلی هدف مطالعه حاضر شامل بررسی خصوصیات مهندسی (مقاومت فشاری، مقاومت کششی و الاستیسیته) بتن ساخته شده حاصل از اختلاط درصدی از ذرات نانوی برگ نخل خرما با بتن معمولی در محیط آب و دوام بتن در محیط سولفات‌ها می‌باشد.

۲. مواد و روش‌ها

براساس ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، نوع سیمان مورد استفاده برای تهیه بتن به‌جز در مواردی که در دفترچه مشخصات فنی و خصوصی به نحو دیگری تصریح شده باشد، باید از نوع سیمان پرتلند تیپ دو یا تیپ پنج باشد (Report, 108). بنابراین، سیمان مصرفی در این پژوهش از نوع سیمان پرتلند تیپ دو انتخاب گردید. چگالی این نوع سیمان ۳/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. برای اجرای این پژوهش پس از تهیه مصالح و تعیین مشخصات مورد نیاز، طرح اختلاط بتن را به روش آیین‌نامه ACI 211 و با در نظر گرفتن ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری به دست آمده و براساس طرح اختلاط موردنظر نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شد (ACI 211, 2009). با جایگزینی مقادیر صفر، ۲۰ و ۳۰ درصد از هر یک از ذرات خرد شده برگ نخل به جای سیمان در طرح اختلاط مربوطه، ۱۲ نمونه بتن توسط قالب‌های استوانه‌ای به قطر ۵/۰۸ سانتی‌متر (دو اینچ) و ارتفاع ۱۰/۱۶

سانتی‌متر (چهار اینچ) و قالب‌های مکعبی به ابعاد هفت سانتی‌متر در شرایط آزمایشگاهی ساخته شد. مقادیر مقاومت فشاری و مقاومت کششی برای تک‌تک نمونه‌های ساخته‌شده در سنین هفت روزه، ۲۸ روزه و ۱۸۰ روزه اندازه‌گیری شد. به منظور تعیین مقاومت فشاری بتن نمونه‌های مکعبی و به منظور تعیین مقاومت کششی نمونه‌های استوانه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. درصد مواد مورد استفاده در تیمارهای مختلف در جدول (۱) و دستگاه تعیین مقاومت فشاری و کششی در شکل (۱) آورده شده است.

Table 1. Characteristics of different treatments

Treatment	A	P1	P2
Proportion of cement to the control concrete (%)	100	80	70
Amount of nano particles of palm leaf (%)	-	20	30



Figure 1. Measuring the compressive strength (left picture) and tensile strength (right picture)

مصالح مورد نیاز برای انجام این آزمایش سیمان، مصالح سنگی و پوزولان بودند که با توجه به مطالب گفته‌شده بقایای گیاهی مورد استفاده در این پژوهش، برگ درختان نخل بود. به منظور استفاده از این مواد در طرح اختلاط بتن بایستی این مواد را به صورت پودر درآورد. به منظور تهیه پودر مورد نظر نخست مواد مذکور برگ نخل توسط دستگاه چایر به قطعات کوچک‌تر و سپس، به وسیله نوعی آسیاب به صورت پودر درآمد. مواد آسیاب‌شده از الک ۲۵۰ میکرون متر عبور داده شد و مواد به دو دسته بزرگ‌تر از ۲۵۰ میکرومتر و کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرومتر تقسیم گردید. با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی موجود در دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، اقدام به آنالیز ذرات مربوط به دسته کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرومتر تولیدشده در مرحله قبل گردید و در نهایت از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای استفاده شد که یکی از انواع آسیاب‌های متداول در آلیاژسازی مکانیکی و تولید نانوذرات هستند که تا چند صد گرم پودر را در هر بار آسیاب می‌کنند. طرح اختلاط بتن مورد استفاده در این پژوهش با در نظر گرفتن ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری در جدول (۲) خلاصه شد.

Table 2. Concrete mix design for different treatments (Kg)

Treatment	Concrete	Water	Gravel	Sand	Pozzolan
A	350	186	914.75	870.58	--
P1	280	198	914.75	870.58	70
P2	245	206	914.75	870.58	105

۳. نتایج و بحث

همان‌طور که در قسمت قبل بیان شد، با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی موجود در دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان اقدام به آنالیز ذرات مربوط به دسته کوچک‌تر از ۲۵۰ میکرون‌متر تولیدشده گردید. نتایج حاصل از آنالیز میکروسکوپ الکترونی در شکل (۲) آورده شده است.

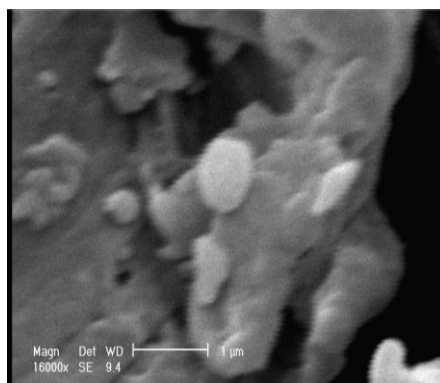


Figure 2. Result of electron microscope analysis

با توجه به مقیاس موجود در شکل (۲) کاملاً واضح است که درصد کمی از ذرات در مقیاس زیر یک میکرون‌متر قرار دارند و قسمت اعظم ذرات دارای اندازه‌ی بزرگ‌تر از یک میکرومتر می‌باشند. با توجه به این که در این پژوهش باید اقدام به ریزترنمودن ذرات و افزایش سطح مخصوص ذرات نمود، در این مرحله اقدام به استفاده از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای گردید. مواد حاصله دوباره توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که در شکل (۳) آورده شده است.

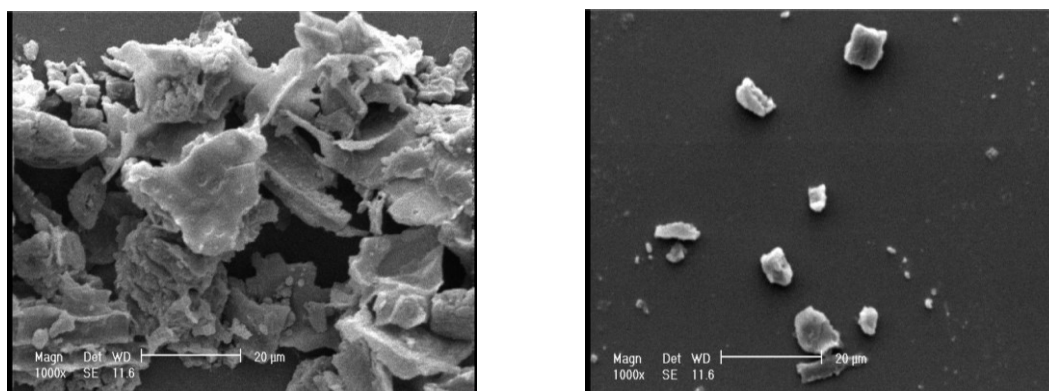


Figure 3. Result of electron microscope analysis

با توجه شکل (۳) واضح است که در این مرحله اندازه ذرات کوچک‌تر و سطح مخصوص ذرات نسبت به مرحله قبل افزایش یافته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشخص است که درصد مواد کوچک‌تر از یک میکرون‌متر نسبت به مرحله قبل افزایش یافته است.

۱.۳. نتایج آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری و کششی

برای تعیین مقاومت بتن‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف پوزولان برگ نخل، تعداد ۳۶ نمونه مکعبی و استوانه‌ای از تیمارهای A، P₁ و P₂ تهیه شد. تعداد ۱۲ نمونه مکعبی از هر تیمار برای آزمایش مقاومت فشاری و ۱۲ عدد هم برای آزمایش مقاومت کششی، برای نگهداری در آب ساخته شد (جدول ۳). تمامی نمونه‌ها در سنین هفت، ۲۸، ۶۰ و ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج به دست آمده برای هر بتن و در سن مورد نظر در جدول‌های (۴) و (۵) آمده است. همچنین تأثیر زمان بر رشد مقاومت فشاری بتن ساخته شده با پوزولان نیز در شکل (۴) آورده شده است.

Table 3. Amount of different pozzolans in treatments

Treatment	Amount of palm leave nano particles (%)
A	0
P1	20
P2	30

Table 4. Compressive strength of different treatments

Treatment	Compressive strength (Kg/cm ²)			
	7 th Day	28 th Day	60 th Day	180 th Day
A	194.57	248.30	276.88	289.12
P1	11.57	47.63	105.45	119.91
P2	10.20	47.63	121.77	129.26

Table 5. Tensile strength of different treatments

Treatment	Tensile strength (Kg/cm ²)			
	7 th Day	28 th Day	60 th Day	180 th Day
A	25.48	29.82	31.33	33.97
P1	2.65	6.60	12.08	15.85
P2	2.83	8.68	11.14	14.91

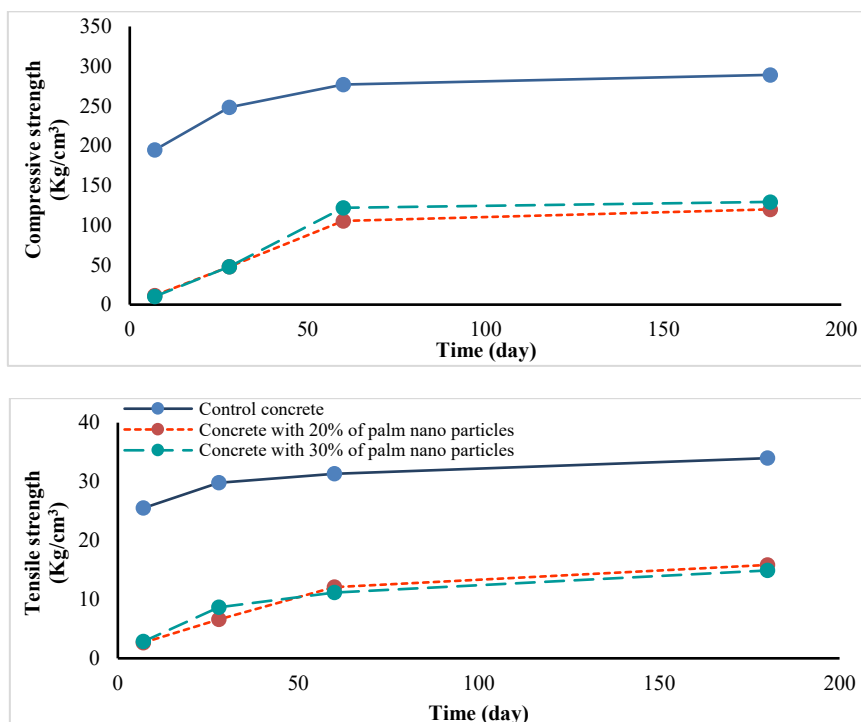


Figure 4. Compressive and tensile strength of different treatments through time

با توجه به نتایج به دست آمده از جدول‌های (۴) و (۵) و شکل (۴)، مشاهده می‌گردد که در هر دو اختلاط مقاومت فشاری و کششی بتن با سن آن افزایش می‌یابد. با توجه به بیش‌تر بودن نسبت آب به سیمان در بتن‌های حاوی پوزولان نسبت به بتن شاهد، مقاومت این تیمارها در تمام سنین کم‌تر از بتن شاهد می‌باشد. اما با این وجود نتایج به دست آمده نشان‌دهنده فعالیت پوزولانی در بتن‌های حاوی پوزولان با گذشت زمان می‌باشد.

با انجام تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS و با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل تیمار و زمان، تیمارها در هر هفته به‌طور جداگانه به وسیله آزمون مقایسه میانگین LSD، باید بررسی شود. نتیجه در جدول (۶) ارائه شده است. براساس این آزمون، تیمارهایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Table 6. Comparison means of compressive strength

Treatment	7 th Day	28 th Day	60 th Day	180 th Day
A	195.24 ^a	248.29 ^a	276.87 ^a	289.11 ^a
P1	11.56 ^b	47.62 ^c	105.42 ^c	129.25 ^c
P2	10.20 ^b	47.62 ^c	121.76 ^b	139.45 ^b

با توجه جدول (۶) واضح است که تیمار شاهد در همه زمان‌ها دارای بیش‌ترین مقاومت فشاری و تیمار P1 (بتن با ۳۰ درصد برگ نخل) تقریباً در همه هفته‌ها دارای کم‌ترین مقدار مقاومت فشاری بوده است. هم‌چنین مشخص شد که مقاومت فشاری با اضافه‌نمودن این ماده، بسیار کاهش می‌یابد و تخلل افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه با دستاوردهای دیگر پژوهش‌گران مطابقت دارد. (Kriker *et al.*, 2008)، ادعا کردند که مقاومت فشاری در بتن معمول ۲۸ روزه حدوداً ۳۰ مگاپاسکال بوده اما تنها با اضافه‌نمودن سه درصد از فیبر نخل، این مقدار تا ۱۷ مگاپاسکال کاهش یافت (Kriker *et al.*, 2008). (Alatshan *et al.*, 2015) نیز ضمن بیان این که مقاومت فشاری رابطه مستقیمی با زمان داشته و با گذر زمان افزایش می‌یابد، اظهار داشتند که با اضافه‌نمودن فیبر برگ نخل، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد که از علل آن ممکن است افزایش تخلل بتن باشد (Alatshan *et al.*, 2015). پژوهش‌گران دیگر (Benmansour *et al.*, 2014) با استفاده از فیبر برگ درخت نخل، بتن تهیه کرده و امکان‌سنجی استفاده از این بتن را برای ساخت دیوار انجام داد. نتایج حاکی از آن بود که استفاده از این فیبر در درصد‌های پایین بلامانع و حتی اثربخش می‌باشد. به‌طوری که قادر است هدایت گرمایی، مقاومت فشاری و هم‌چنین وزن بتن را کاهش دهد و از آن به‌عنوان گزینه بسیار مناسبی برای عایق گرما نام برد (Benmansour *et al.*, 2014).

Table 7. Comparison means of tensile strength

Treatment	Tensile strength (Kg/cm ²)			
	7 th Day	28 th Day	60 th Day	180 th Day
A	25.47 ^a	30.19 ^a	31.32 ^a	33.97 ^a
P1	2.46 ^c	6.60 ^c	12.07 ^{ef}	15.85 ^{cd}
P2	2.83 ^c	8.68 ^{cd}	11.13 ^f	14.90 ^d

با توجه جدول (۷) واضح است که در همه هفته‌های مطالعه‌شده، تیمار شاهد به‌صورت معنی‌دار، دارای بیش‌ترین مقدار مقاومت کششی بوده است. می‌توان اظهار داشت که درست است که با افزایش زمان در همه تیمارها، مقاومت کششی افزایش یافته اما با زیادکردن درصد فیبر برگ نخل، از مقاومت کششی کاسته شده است. نتایج پژوهش‌گران دیگر تأییدکننده دستاورد این پژوهش است، به‌طوری که (Kriker *et al.*, 2008) تنها با جایگزینی سه درصد از فیبر برگ نخل به جای سیمان افزایش شکل‌پذیری را مشاهده کردند (Kriker *et al.*, 2008). در این پژوهش بتن با ۲۰ درصد

پوزولان عملکرد مناسب‌تری نسبت به ۳۰ درصد در مقاومت کششی داشته است که Al-Kutti *et al.* (2019) نیز با مقایسه درصدهای مختلف پوزولان برگ نخل و اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف آن، ۱۰ درصد را بهترین گزینه دانست (Al-Kutti *et al.*, 2019).

۲.۳. نتایج تعیین تغییرات وزنی نمونه‌های نگهداری شده در محیط سولفات

برای تعیین تغییرات وزنی نمونه‌های ساخته شده با درصدهای مختلف پوزولان‌های برگ نخل، تعداد ۱۲ نمونه مکعبی از تیمارهای A، P₁ و P₂ سه نمونه مکعبی از هر تیمار، برای نگهداری در محیط سولفات‌منیزیم ساخته شد. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۱۴ روز به منظور عمل‌آوری در داخل حوضچه آب با دمای ۲۰±۲ نگهداری گردید. پس از ۱۴ روز بلافاصله بعد از خارج کردن نمونه‌ها از داخل آب، سفیدک و جرم‌های سطح رویی تمامی نمونه‌ها به دقت تمیز گردید و سپس توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی، تک‌تک نمونه‌ها توزین و سپس به داخل محلول‌های چهار درصد سولفات‌منیزیم قرار داده شدند و در سنین مختلف بلافاصله بعد از خارج کردن از محلول‌های سولفات، دوباره سفیدک و جرم سطحی نمونه‌ها را تمیز کرده و سپس وزن گردید. نتایج حاصل از این آزمایش برای هر بتن در سن ۱۸۰ روزه در جدول (۸) آورده شده است که هر کدام میانگین سه نمونه می‌باشند.

Table 8. Durability of different treatments

Treatment	Weight loss (Kg)	The proportion of remained weight	Percent of weight loss
A	30.5	95.56	4.43
P ₁	18.74	97.00	2.99
P ₂	20.12	96.78	3.21

با توجه به جدول (۸) مشخص است که بیش‌ترین مقدار کاهش وزن مربوط به بتن شاهدو کم‌ترین مقدار کاهش وزن در تیمار P₁ (بتن با ۲۰ درصد نانوذرات درخت نخل) قابل مشاهده است که دارای کاهش وزنی در حدود ۵۰ درصد بتن شاهد می‌باشد. پژوهش‌های دیگری نیز عملکرد پوزولان برگ نخل را در محیط‌هایی حاوی هیدروکسید کلسیم و سدیم هیدروکسید بررسی نموده‌اند (Kriker *et al.*, 2008). (Kaid *et al.*, 2009) نیز بیان نمودند که پوزولان‌های طبیعی، مقاومت بتن را در محیط‌های سولفات‌افزایش داده و عملکرد بهتری نسبت به بتن شاهد نشان می‌دهند. بنابراین استفاده از پوزولان‌های برگ نخل باعث بهبود خصوصیت دوام گردیده است و بتن با ۲۰ درصد نانوذرات نخل دارای بیش‌ترین مقدار دوام می‌باشد.

۳.۳. نتایج تعیین مدول الاستیسیته بتن

برای تعیین مدول الاستیسیته بتن‌های ساخته شده با درصدهای مختلف پوزولان برگ نخل، تعداد ۱۲ نمونه استوانه‌ای از تیمارهای A، P₁ و P₂ (سه نمونه استوانه‌ای از هر تیمار) برای نگهداری در آب ساخته شد. تمامی نمونه‌ها در سن ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج به دست آمده برای هر بتن در جدول (۹) آمده است.

Table 9. Elasticity modulus of different treatments

Treatment	Elastic modulus (Kg/cm ²)		
	First replication	Second replication	Third replication
A	29892.21	326290.32	33792.33
P ₁	14123.5	13085.7	16951.4
P ₂	19654.2	21853.4	20989.3

با انجام تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS و معنی‌دار بودن اثر متقابل تیمار بر میزان دوام و مدول الاستیسیته، مقایسه تیمارهای مختلف از نظر دوام و مدول الاستیسیته در جدول (۱۰) آورده شده است. براساس این آزمون، تیمارهایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Table 10. Comparison means of elasticity

Treatment	Percentage of weight loss	Elastic modulus
A	37.23 ^a	321048 ^a
P1	20.67 ^d	14720 ^b
P2	23.33 ^{bc}	20832 ^b

با بررسی مقادیر مدول الاستیسیته در جدول (۱۰) مشاهده می‌گردد که تیمار شاهد (بتن شاهد) دارای بیش‌ترین مقدار مدول الاستیسیته می‌باشد. البته مقادیر مدول الاستیسیته در تیمارهای حاوی پوزولان کاهش چشم‌گیری نسبت به بتن شاهد داشته است. با این‌که *Alatshan et al.* (2015) افزایش الاستیسیته بتن را در هنگام استفاده از فیبر برگ نخل، گزارش نمودند در پژوهش دیگری، *Djouidi* (2012) بیان کرد، اگرچه فیبرهای برگ نخل خواص فیزیکی و مکانیکی قابل‌توجهی دارند، با این‌حال، ضعیف‌بودن مدول الاستیسیته مسئله‌ای است که باید در نظر داشت (*Alatshan et al.*, 2012; *Djouidi*, 2015). *Al-Kutti et al.* (2019) نیز طی پژوهشی که انجام دادند، اذعان کردند که مقدار مدول الاستیسیته در بتن تهیه‌شده با ۱۰ درصد پوزولان برگ نخل کاهش یافت.

با توجه به این‌که قابلیت الاستیک‌بودن مواد پرکننده درزهای انبساط و انقباض کانال‌های بتنی انتقال آب از اهمیت زیادی برخوردار است و با توجه به کاهش مقادیر مقاومت تیمارهای تهیه‌شده نمی‌توان با داشتن مقادیر مدول الاستیسیته با قاطعیت در مورد قابلیت الاستیک‌بودن این مواد نظر داد. از آنجایی‌که با داشتن مقادیر مدول الاستیسیته مربوط به هر تیمار و داشتن مقاومت فشاری می‌توان مقادیر کرنش مربوط به هر تیمار را به‌دست آورد، به‌همین منظور در این پژوهش از مقادیر مقاومت فشاری نهایی ۱۸۰ روزه مربوط به هر تیمار استفاده نموده و مقادیر تنش معادل هر یک را به‌دست آورده و اقدام به برآورد مقدار کرنش می‌گردد. مقادیر کرنش به‌دست‌آمده برای هر نمونه در جدول (۱۱) آورده شده است.

Table 11. Strain in different treatments

Treatment	Strain	Proportion of strain to the control concrete
A	0.0017	100
P1	0.0054	318.10
P2	0.00058	221.44

با توجه به جدول (۱۱) مشخص است که تیمار ۳۰ درصد نانوذرات نخل دارای قابلیت الاستیک بسیار کم‌تری نسبت به بتن شاهد دارد. در صورتی‌که تیمار ۳۰ درصد نانوذرات نخل با داشتن نسبت کرنش ۳۱۸/۱۰ نسبت به بتن شاهد دارای بیش‌ترین قابلیت تغییر شکل می‌باشد. همچنین تیمارهای ۲۰ درصد نانوذرات نخل با داشتن نسبت کرنش ۲۲۱/۴۴ نسبت به بتن شاهد، دارای قابلیت تغییر شکل قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به سایر تیمارها می‌باشند.

با توجه به این‌که یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد پرکننده درزهای انبساط و انقباض کانال‌های بتنی انتقال آب قابلیت الاستیک کافی به‌منظور جلوگیری از ایجاد ترک در مواقع انبساط و انقباض بتن می‌باشد، بنابراین استفاده از ذرات برگ نخل در مقیاس نانو منجر به تغییر خواص الاستیسیته بتن تولیدی در جهت مطلوب می‌گردد. به‌طوری‌که تیمارهای ۳۰ درصد نانوذرات نخل و ۲۰ درصد نانوذرات نخل با داشتن نسبت کرنش ۳۱۸/۱۰ و ۲۲۱/۴۴ نسبت به بتن شاهد دارای مقادیر قابلیت تغییر شکل قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشند که استفاده از این مواد را به‌عنوان ماده پرکننده برای درزهای انبساط و انقباض مناسب می‌سازد.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتایج زیر را جمع‌بندی نمود:

۱- مقاومت فشاری بتن حاوی پوزولان برگ نخل در تمام سنین از مقاومت فشاری بتن شاهد، کم‌تر می‌باشد. با مقایسه مقادیر مقاومت فشاری بین تیمارهای مختلف با درصد مختلف پوزولان برگ نخل مشخص می‌گردد که مقاومت فشاری بتن با ۲۰ درصد نانوذرات نخل در سن ۱۸۰ روزه نسبت به سایر تیمارهای پوزولان برگ نخل دارای مقادیر کم‌تری بود.

۲- مقاومت کششی بتن حاوی پوزولان برگ نخل نیز در تمام سنین از مقاومت کششی بتن شاهد کم‌تر می‌باشد. اما در بین تیمارهای حاوی پوزولان، مقاومت کششی بتن با ۳۰ درصد نانوذرات نخل در سن ۱۸۰ روزه نسبت به سایر تیمارهای پوزولان برگ نخل دارای مقادیر کم‌تری می‌باشد.

۳- نتایج آزمایش دوام بتن‌های حاوی پوزولان برگ نخل، به‌خوبی مزیت استفاده از برگ نخل را به‌عنوان پوزولان در بتن آشکار می‌سازد. به‌طوری‌که نتایج نشان می‌دهند در محیط سولفات‌منیزیم موردآزمایش، مقادیر کاهش وزن بتن شاهد در سن ۱۸۰ روزه بیش‌تر از مقادیر کاهش وزن بتن‌های حاوی پوزولان برگ نخل بود و تیمار حاوی ۲۰ درصد پوزولان، عملکرد مناسب‌تری داشت.

۴- با بررسی مقادیر مدول الاستیسیته مشاهده می‌گردد که تیمار شاهد (بتن شاهد) دارای بیش‌ترین مقدار مدول الاستیسیته می‌باشد. البته مقادیر مدول الاستیسیته در تیمارهای حاوی پوزولان کاهش چشم‌گیری نسبت به بتن شاهد داشته است، اما تیمار حاوی نانوذرات برگ نخل ۲۰ درصد دارای کم‌ترین مقدار مدول الاستیسیته بوده است اما دارای مقادیر قابلیت تغییر شکل قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشند.

در نهایت می‌توان ادعا نمود که بهترین تیمار، تیمار حاوی ۲۰ درصد نانوذرات پوزولان بوده و با توجه به هدف این پژوهش که بهبود ویژگی‌های بتن و استفاده از آن در کانال‌های انتقال آب می‌باشد، استفاده از این مواد را به‌عنوان ماده پرکننده برای درزهای انبساط و انقباض مناسب می‌سازد.

در پژوهش‌های آینده، پیشنهاد می‌شود بتن تهیه‌شده با پوزولان طبیعی در کانال‌های انتقال آب به‌کار برده شود تا ویژگی‌های دیگر دارای اهمیت از جمله نفوذپذیری نیز موردبررسی قرار گیرد.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. منابع

- Abedi-Koupai, J. (2007). The application of nano technology in environment. In: *Proceeding of the 1st Conference on the Application of Nano-technology in Environment*, 21 Feb, Isfahan University of Technology, Iran, 1-11. (In Persian).
- ACI 211.1. (2009). *Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*, American Concrete Institute.
- Al-Kutti, W., Islam, A. S., & Nasir, M. (2019). Potential use of date palm ash in cement-based materials. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 31, 26-31.
- Alatshan, F., Altimate, A., & Mashiri, F. (2015). The behavior of concrete reinforced with high proportion of date palm fibers. In: *Proceeding of the 13th Arab structural engineering conference*, 13-15 Dec. University of Blida, Algeria, 1-7.

- Augustine, A., & Michael, T. (2016). Partial Replacement of cement with corn cob ash. *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field*, 2, 159-166.
- Benmansour, N., Agoudjil, B., Gherabli, A., Kareche, A., & Boudenne, A. (2014). Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. *Energy and Buildings*, 81, 98-104.
- Damtoft, J.S., Lukasik, J., Herfort, D., Sorrentino, D., & Gartner, E.M. (2008). Sustainable development and climate change initiatives. *Cement and concrete research*, 38(2), 115-127
- Değirmenci, F. N. (2018). Freeze-thaw and fire resistance of geopolymer mortar based on natural and waste pozzolans, *Ceramics-Silikáty*, 62 (1), 41-49
- Djoudi, A., Khenfer, M., Bali, A., Kadri, E., & Debicki, G. (2012). Performance of date palm fibres reinforced plaster concrete. *International Journal of Physical Sciences*, 7, 2845-2853.
- Ebrahimi, H., & Rabiei Far, H. (2015). In: Proceeding of *the International conference on modern research in civil engineering*, Tehran, Iran. (In Persian).
- Fatxulloyev, A., Allayorov, D., & Otakhonov, M. (2020). Study of hydraulic parameters for concreting channels. In: Proceeding of *1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering*, 14-16 Oct., Tashkent, Uzbekistan.
- Gonzalez-Kunz, R.N., Pineda, P., Bras, A., & Morillas, L. (2017). Plant biomass ashes in cement-based building materials. Feasibility as eco-efficient structural mortars and grouts. *Sustainable Cities and Society*, 31, 151-172.
- Hamada, H.M. *et al.* (2020). Effect of high-volume ultrafine palm oil fuel ash on the engineering and transport properties of concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 12, e00318.
- Kaid, N., Cyr, M., Julien, S., & Khelafi, H. (2009). Durability of concrete containing a natural pozzolan as defined by a performance-based approach. *Construction and Building Materials*, 23, 3457-3467.
- Kriker, A., Bali, A., Debicki, G., Bouziane, M., & Chabannet, M. (2008). Durability of date palm fibres and their use as reinforcement in hot dry climates. *Cement and Concrete Composites*, 30, 639-648.
- Miller, S.A., Horvath, A., & Monteiro, P.J. (2018). Impacts of booming concrete production on water resources worldwide. *Nature Sustainability*, 1(1), 69-76.
- Mostofinejad, D. (2007). *Technology and Concret Mix Design*. Arkan danesh. (In Persian).
- Rattanachu, P., Toolkasikorn, P., Tangchirapat, W., Chindaprasirt, P., & Jaturapitakkul, C. (2020). Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder. *Cement and Concrete Composites*, 108, 103533.
- Vice presidency for strategic planning and supervision. (2013). *Review of General Technical Specification for Irrigation and Drainage Systems* In, Report n. 108. (In Persian).