Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 47, No. 1, Spring 2024, p. 53-66

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of mechanical properties of concrete lining of water conveyance channels containing bamboo nanoparticles

J. Abedi-Koupai[1*], A. Gohari[2], S. Eslamian[3] and A. Motamedi[4]

1- Corresponding author, Professor, Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Water Science and Engineering Department, (koupai@cc.iut.ac.ir).*
2- Associate Professor, Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Water Science and Engineering Department.
3- Professor, Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Water Science and Engineering Department.
4- Former MSc Student, Isfahan University of Technology, College of Agriculture, Water Science and Engineering Department.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 17 October 2021
Revised: 11 February 2023
Accepted: 15 February 2023

Keywords:
Elasticity, Compressive and tensile strength, Concrete, Pozzolan.

TO CITE THIS ARTICLE:

Abedi Koupai, J., Gohari, A., Eslamian, S., Motamedi, A. (2024). 'Investigation of mechanical properties of concrete lining of water conveyance channels containing bamboo nanoparticles', Irrigation Sciences and Engineering, 47(1), pp. 53-66. doi: 10.22055/jise.2023.38891.1996

Introduction

The use of practical methods for increasing water conveyance efficiency and optimal use of limited water resources is vital, especially in the world's arid regions, where water scarcity is always a concern. In that respect, efforts to reduce the cost of irrigation canals while maintaining the characteristics, technical standards, prevent damage to the structure, prevent leakage and loss of water at different stages of water transfer and distribution are of great interest to researchers (Abbasi, 2011). One of the solutions is to use pozzolanic materials, which replace a part of cement as cheap materials and thus reduce the finished price of cement. Changes in concrete fluidity and plastic behavior and hydration of cement are the most important physical changes that a pozzolan creates in concrete. Moreover, it can improve the strength and permeability of hardened concrete, resistance to thermal cracks, sulfates, and expansion (Luhar et al., 2019). Regarding using pozzolans to strengthen concrete, one of the most widely used plants in this field is bamboo. Bamboo is a plant that grows in tropical, subtropical and even temperate regions and any favourable regions in terms of ecological factors. On average, 20 million tons of this plant are produced annually in Asian and Latin American countries, which indicates its availability (Frías et al., 2012). Based on observations, Bamboo fibers increase the water absorption ratio (Xie et al., 2015). Furthermore, with the increase in the percentage of bamboo fiber, porosity is also growing (Da Costa Correia et al., 2014). However, Xie et al. (2015) stated that more than 25 to 35% of fiber use reduces stiffness (Xie et al., 2015). Taking these features into consideration, this study aimed to evaluate improvements in compressive strength, tensile strength, durability and elasticity of concrete with bamboo pozzolans.

Abedi-Koupai et al.,47 (1) 2024 *DOI:* 10.22055/JISE.2023.38891.1996

Methodology

Bamboo straw was used for this research. The required bamboo plant was obtained from the farms of Guilan province, Rudsar city. In order to use it in concrete mixing design, it must be pulverized**.** Five Samples (control, 20% of bamboo particles, 30% of bamboo particles, 20% of bamboo nanoparticles and 30% of bamboo nanoparticles) were tested to investigate the mechanical characteristics of samples. One hundred fourteen samples were prepared for this purpose. Compressive and tensile strength, durability, elastic modulus and strain of different samples were measured in the 7^{th}, 28^{th}, 60^{th} and 128^{th} days**.**

Results and Discussion

The compressive and tensile strength of the control concrete in the period of 128 days were 289.11 and 33.97 kg/cm3, respectively. The strength in mentioned parameters grew through time in all samples, but the one with 20% of bamboo nanoparticles performed similarly to the control concrete. Having measured the durability, we realized that all samples containing pozzolan outperformed the control concrete in a sulphate environment, which means they had greater durability. Elasticity modulus was also measured. The modulus of elasticity in the samples containing bamboo particles was at least 38.6% lower than the control sample. Thus elasticity in all pozzolanic samples decreased considerably. Turning to strain results, samples with 20% and 30% of bamboo nanoparticles had a strain ratio of 146.58 and 122.74 compared to control concrete. The study reveals that the use of nano-scale bamboo particles made desirable changes in the elastic properties of the produced concrete.

Conclusions

Based on the results, it can be claimed that the sample containing 20% of bamboo nanoparticles has the potential to be used in the concrete industry. This pozzolan improved the compressive strength, tensile strength, durability and elasticity of concrete to an acceptable level. As a result, they can be benefitial, especially as a filler for expansion joints and contraction of concrete water transfer channels, which requires sufficient elasticity to prevent cracks during the expansion and contraction of concrete.

Acknowledgments

The authors would like to thank Isfahan University of Technology for its support of this research, and also all those who cooperated in conducting this research.

References

1- Abbasi, N., 2011. The role of anions in the dispersion potential of clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3), pp.15-30. (In Persian)

2- Da Costa Correia, V., Santos, S. F., Mármol, G., Da Silva Curvelo, A. A. and Savastano Jr, H., 2014. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. *Construction and Building Materials*, 72, pp.65-71.

3- Frías, M., Savastano, H., Villar, E., De Rojas, M. I. S. and Santos, S., 2012. Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes. *Cement and Concrete Composites*, 34, pp.1019-1023.

4- Luhar, S., Cheng, T.-W. and Luhar, I., 2019. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review. *Engineering*, 175, pp.107076.

5- Xie, X., Zhou, Z., Jiang, M., Xu, X., Wang, Z. and Hui, D., 2015. Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. *Engineering*, 78, pp.153-161.

© 2024 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۷، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۳، مقاله پژوهشی، ص. ۶۵-۵۳

بررسی ویژگی‌های مکانیکی پوشش بتنی کانال‌های انتقال آب حاوی نانوذرات بامبو

جهانگیر عابدی کوپایی[1*]، علیرضا گوهری[2]، سعید اسلامیان[3] و آرمیتا معتمدی[4]

۱*- نویسنده مسئول، استاد دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، koupai@cc.iut.ac.ir

۲- دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب.

۳- استاد دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب.

۴- دانش آموخته ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۲۲ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶

چکیده

تلاش به‌منظور کاهش هزینه اجرای کانال‌های آبیاری ضمن حفظ خصوصیات، معیارهای فنی، جلوگیری از صدمات وارد بر این سازه، جلوگیری از نشت و هدر رفت آب در مراحل مختلف انتقال و توزیع آب بسیار مورد توجه پژوهشگران است. استفاده از مواد پوزولانی که به‌عنوان موادی ارزان قیمت جایگزین بخشی از سیمان شده و بنابراین موجب کاهش قیمت تمام شده سیمان می‌گردد، یکی از راهکارها می‌باشد. یکی از گیاهان پرکاربرد در این زمینه، بامبو است. به‌همین دلیل، در این پژوهش، مقادیر ۲۰ و ۳۰ درصد ذرات بامبو در دو شکل طبیعی و در مقیاس نانو به جای سیمان جایگزین شد و ویژگی‌های بتن حاصله از جهت مقاومت فشاری، کششی، دوام در محیط سولفاته و مدول الاستیسیته بررسی شد. مقاومت فشاری و کششی بتن کنترل در دوره ۱۲۸ روزه، به‌ترتیب ۲۸۹/۱۱، ۳۳/۹۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب بود و در همه نمونه ها با افزایش سن بتن افزایش یافت. اما تنها نمونه حاوی ۲۰ درصد از نانو ذرات بامبو، عملکردی مشابه بتن کنترل داشت. در محیط سولفاته بتن کنترل بیشترین کاهش وزن را با ٤/٤٣ درصد داشت که بیانگر دوام بهتر نمونه‌های ساخته شده با پوزولان بامبو است. مدول الاستیسیته نیز در نمونه‌های حاوی ذرات بامبو حداقل ۳۸/٦ درصد کمتر از نمونه کنترل بود. در نهایت می‌توان ادعا نمود که نمونه حاوی ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو پتانسیل استفاده به‌عنوان مواد پرکننده درزهای انبساط و انقباض کانال‌های بتنی انتقال آب را دارا می‌باشد، زیرا مقاومت فشاری، کششی، دوام و الاستیسیته بتن را بهبود بخشید.

کلید واژه‌ها: الاستیسیته ، بتن، پوزولان، مقاومت فشاری و کششی، بامبو.

مقدمه

ایجاد پوشش مناسب برای کانال‌های آبیاری به‌منظور جلوگیری از تلفات نشت آب، ایجاد بستر مقاوم در برابر فرسایش و افزایش سرعت و ظرفیت انتقال آب، از روش‌های عملی افزایش راندمان انتقال و استفاده بهینه از منابع محدود آب است که در نیم قرن اخیر مورد توجه خاص بهره‌برداران و متولیان صنعت آب در مناطق خشک جهان و به‌ویژه ایران بوده است. در ایران پوشش بتنی بیش از سایر پوشش‌ها رواج دارد که غالباً با هزینه‌های بسیار زیادی نیز همراه است (Abbasi, 2011). علی‌رغم اختصاص سرمایه‌های کلان به توسعه منابع آب، عملکرد شبکه‌های آبیاری در طولانی مدت کمتر از حد انتظار است. این مطلب کلیت دارد و در مورد کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته صدق می‌کند. بنابراین از یک طرف، توجه به پوشش کانال‌ها با هدف افزایش مقاومت دیواره‌های خاکی آن‌ها در مقابل آب شستگی و نفوذ آب و تلفات دیگر آب به‌منظور افزایش راندمان انتقال یک امر ضروری است. از طرفی دیگر، تلاش به‌منظور کاهش هزینه اجرای کانال‌های آبیاری ضمن حفظ خصوصیات و معیارهای فنی و جلوگیری از صدمات وارد بر این سازه و جلوگیری از نشت و هدر رفت آب در مراحل مختلف انتقال و توزیع آب نیز از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

بتن مخلوطی از دو جزء اصلی مصالح ریزدانه و خمیر چسبانده می‌باشد. امروزه استفاده از مواد پوزولانی به‌عنوان مصالحی دارای خاصیت سیمانی و جایگزین شونده در قسمتی از سیمان پرتلند مخلوط‌های بتنی مورد توجه می‌باشد. پوزولان‌ها به‌عنوان موادی ارزان قیمت جایگزین بخشی از سیمان شده و بنابراین موجب کاهش قیمت تمام شده سیمان می‌گردد. استفاده از پوزولان‌ها نیازمند عملیات حرارتی پرهزینه مورد نیاز برای پخت کلینکر سیمان پرتلند، نمی‌باشد. آسیاب پوزولان به دلیل سختی کمتر آن بسیار ساده تر از آسیاب کلینکر سیمان می باشد (Pekmezci and Akyüz, 2004).

تغییر در روانی بتن و تحول در الاستیسیته و هیدراتاسیون سیمان از مهمترین تغییرات فیزیکی است که یک پوزولان در بتن

به‌وجود می‌آورد همچنین مقاومت و نفوذپذیری بتن‌های سخت شده، مقاومت در مقابل ترک‌های حرارتی، مقاومت در مقابل اثر سولفات‌ها و انبساط در اثر پدیده ترکیب اکسیدهای قلیایی و مواد سنگی از جمله خواصی است که در یک بتن ساخته شده از سیمان‌های پوزولانی غالباً مشاهده می گردد (Luhar et al., 2019).

پوزولان‌ها بر اساس منشاء و بر مبنای تولیدشان به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

الف- پوزولان‌های مصنوعی یا صنعتی، که منبع اصلی آن‌ها تأسیسات تولید انرژی، که از ذغال سنگ به‌عنوان سوخت استفاده می‌کنند، می‌باشد.

ب- پوزولان‌های طبیعی، شامل خاکسترهای آتشفشانی و حتی بقایای گیاهی.

بقایا و برگ بسیاری از گیاهان جمله گندم، نخل، زیتون، موز، و ذرت به صورت وسیعی بررسی شده‌اند (Luhar et al., 2019). به‌طور مثال با به‌کارگیری ۲۰ درصد از پوزولان گندم، می‌توان مقاومت فشاری را تا ۲۵ درصد افزایش داد (Ataie and Riding, 2013). ویژگی‌های بتن‌های ساخته شده از پوزولان ذرت پنج، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد در دوره‌های نگهداری هفت، ۱۴ و ۲۸ روزه اندازه‌گیری شد. در روز ۲۸ ام مقاومت فشاری و خمشی نمونه پنج درصدی بیشتر از سایر گزینه ها بود و با افزایش درصد استفاده از پوزولان، این مقدار کاهش یافت. بر همین اساس، توصیه شد که از پوزولان ذرت بیش از ۱۰ درصد استفاده نشود (Augustine and Michael, 2016). بر اساس یافته‌های Eisa (2014) نیز جایگزینی ۳۰ درصدی پوزولان هسته زیتون، مقاومت فشاری را در بتن ۲۸ روزه به‌میزان ۷۵ درصد و درجه اسلامپ را تا ۲۰۰ درصد نسبت به بتن کنترل کاهش می‌دهد. (Eisa, 2014).

یکی از گیاهانی که بسیار در این زمینه مورد توجه قرار گرفته است، بامبو می‌باشد. بامبوها از خانواده علوفه (گراس یا گرامینه و یا گندمیان) هستند که در زیر خانواده Bambusoidae قرار دارند. گیاه بامبو در اندازه‌ها و اشکال متفاوت از کوچک گلدانی و حتی به‌صورت چمن و تعداد زیادی از گونه‌های آن بلند، قطور و دارای خصوصیات درخت و درختچه وجود دارند. ساقه‌ی آن‌ها گاهی پیچیده و گاهی مستقیم و بلند است. بامبو گیاهی است که در مناطق حاره‌ای، نیمه حاره‌ای و حتی معتدل و هر منطقه‌ای که عوامل اکولوژیک مساعد باشد، می‌روید. به‌طور متوسط در کشورهای آسیایی و آمریکای لاتین سالانه ۲۰ میلیون تن از این گیاه تولید می‌شود که نشان از در دسترس بودن آن می‌باشد (Frías et al., 2012). به‌همین دلیل امروزه استفاده از بامبو برای استحکام بخشیدن به بتن توجه بسیاری را معطوف خود ساخته است. خاکستر بامبو را می‌توان با سوزاندن برگ‌های خشک شده آن در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد طی دو ساعت به‌دست آورد (Villar-Cociña et al., 2011). ماده طوسی رنگ حاصل، سیلیکون دی اکسید است و بیش از ۸۰ درصد مواد تشکیل دهنده خاکستر را تشکیل می‌دهد و نمایانگر پتانسیل زیاد استفاده از این گیاه به‌عنوان پوزولان طبیعی می‌باشد. لازم به ذکر است که سیلیکون دی‌اکسید باعث بهبود ویژگی‌های بتن می‌گردد.

بجز خاکستر برگ بامبو از فیبرهای بامبو نیز می‌توان در این راستا استفاده نمود، که در طی مشاهدات انجام شده، با استفاده ازاین ماده نسبت جذب آب افزایش یافت (Xie et al., 2015). این امر با زیاد کردن درصد فیبر بامبو و در نتیجه افزایش تخلل، بیشتر هم شد (Da Costa Correia et al., 2014). اگرچه مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته کاهش داشت، اما سختی بتن ساخته شده با فیبر بامبو به مقدار چشم گیری با افزودن به درصد فیبر، افزایش یافت (Da Costa Correia et al., 2014). Xie et al. 2015) اظهار داشتند که بیش از ۲۵ تا ۳۵ درصد استفاده از فیبر، سختی را کاهش می‌دهد.

با توجه به مطالب ذکر شده، در این تحقیق سعی بر آن است تا استفاده از مواد طبیعی نانو مقیاس در طرح اختلاط بتن مورد آزمایش قرار گیرد و عملکرد آن‌ها با نمونه‌های حاوی ذرات با اندازه بزرگتر مقایسه گردد. فناوری نانو امکان ایجاد تغییر در فرآیند ساخت را حداقل به دو روش فراهم می سازد: ۱- کاهش مصرف مواد اولیه و انرژی ۲- افزایش بازده فرآیند ساخت با استفاده از نانو مواد به‌عنوان کاتالیزور و جداکننده (Abedi-Koupai, 2007). با توجه به اینکه فرآیند تولید ذرات نانو پیچیده‌تر و زمان‌بر تر از ذرات با اندازه معمول هست، لازم است در این پژوهش مقاومت فشاری، کششی، دوام و الاستیسیته بتن کنترل با بتن تهیه شده با پوزولان بامبو در مقیاس نانو و بزرگتر در سنین ۷، ۲۸، ۶۰ و ۱۸۰ روزه مقایسه و بررسی شود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از ساقه گیاه بامبو (نی بامبو) استفاده شده است. گیاه بامبوی موردنیاز از مزارع استان گیلان شهرستان رودسر تهیه شد. به منظور استفاده از آن در طرح اختلاط بتن بایستی آن را به‌صورت پودر درآورد. در مرحله اول نی بامبو توسط دستگاه چاپر موجود در سوله ماشین های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان به قطعات کوچکتر تبدیل گردید. سپس، مواد خرد شده توسط چاپر به‌وسیله نوعی آسیاب شکن به‌صورت پودر درآورده شد. در این مرحله مواد آسیاب شده از الک ۲۵۰ میکرومتر عبور داده شده و مواد به دو دسته بزرگتر از ۲۵۰ میکرومتر و کوچکتر از ۲۵۰ میکرومتر تقسیم گردید (شکل ۱). با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی موجود در دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، اقدام به آنالیز ذرات مربوط به دسته کوچکتر از ۲۵۰ میکرومترتولید شده در مرحله قبل گردید. پس از تهیه مصالح و تعیین مشخصات موردنیاز، طرح اختلاط بتن را به روش آیین‌نامه ACI 211 و با در نظر گرفتن ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌دست آورده و براساس طرح اختلاط موردنظر

DOI: 10.22055/JISE.2023.38891.1996

نمونه‌های آزمایشگاهی ساخته شد. برای بررسی خصوصیات مکانیکی نمونه‌های آزمایشگاهی، پنج نمونه بتن مورد آزمایش قرار گرفت. بتن یکی از نمونه‌ها بدون پوزولان، به‌عنوان بتن کنترل و بتن دو نمونه بعدی با تقلیل حجم سیمان به مقدار۷۰ درصد و ۸۰ درصد حجم سیمان بتن کنترل و جایگزین کردن پوزولان به میزان درصدهای سیمان حذف شده در دو اندازه ذرات، به شرح جدول (۱) ساخته شد.

در هر کدام از نمونه ها سه تکرار به مرحله اجرا درآمد. پوزولان‌های مورد استفاده در این تحقیق بامبو می‌باشد. برای بررسی مقاومت فشاری، کششی و افت وزن نمونه‌های آزمایشگاهی نگهداری شده در داخل آب و محلول سولفات، تعداد ۱۱۴ نمونه با استفاده از قالب‌های مکعبی به ابعاد هفت سانتی‌متر و ۱۰ سانتی‌متر و سه نوع قالب استوانه‌ای با اندازه‌هایی به قطر ۵/۰۸ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰/۱۶ سانتی‌متر، قطر ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در شرایط آزمایشگاهی ساخته شد. مقاومت فشاری توسط جک بتن شکن شکل (۲) و مقاومت کششی با آزمایش شکاف (تست برزیلی) شکل (۲) با استفاده از فرمول ذیل محاسبه شد:

$$T = 2P/(\pi LD) \qquad (۱)$$

که در آن :

T: مقاومت کششی برحسب پوند بر اینچ مربع (کیلوپاسکال)

P: بیشترین بار اعمال شده بر حسب پوند (کیلونیوتن)

L: طول نمونه بر حسب اینچ (متر)

D: قطر نمونه بر حسب اینچ (متر)

برای معرفی رفتار مصالح از لحاظ عکس‌العمل تغییر شکلی آن‌ها در مقابل بارهای وارده، از پارامتری بنام مدول یانگ به‌صورت عام و مدول الاستیسیته به‌صورت خاص استفاده می‌شود. روش ASTM-C469، یکی از روش‌های اندازه‌گیری مدول الاستیسیته بتن است. در این پژوهش از روش موسوم به دو پیچه در استاندارد ASTM-C469 استفاده شد (شکل۲). در این روش بعد از آنکه نمونه داخل یقه قرار گرفت و برای اثرات خزش، چندین بار بارگذاری و باربرداری انجام شد، بارگذاری اصلی آغاز گردیده و در حین افزایش میزان بار، بار اعمالی و کرنش طولی در دو حالت زیر قرائت می‌گردد:

الف- کرنش معادل ۵×۱۰^{-۶} (ϵ_1)

ب- کرنش معادل ۴۰ درصد بار نهایی (ϵ_2)

یادآور می‌گردد که تنش از نسبت بار نهایی به سطح مقطع و کرنش از نسبت مقدار تغییر شکل بر طول موثر نمونه تحت آزمایش مطابق فرمول (۲) به‌دست می‌آید.

$$E = (S_2 - S_1)/ (\epsilon_2 - \epsilon_1) \qquad (۲)$$

که در آن:

E: مدول الاستیسیته

S_2: تنش متناظر با ۴۰ درصد بار نهایی

S_1: تنش متناظر با کرنش طولی معادل با ϵ_1 معادل با ۰/۰۰۰۰۵۰

ϵ_2: کرنش متناظر با تنش S_2

نمونه استاندارد مورد استفاده در این آزمایش نمونه‌های استوانه‌ای به ابعاد ۱۵×۳۰ سانتی‌متر می باشند.

تعداد ۳۶ نمونه بتنی ساخته شده در داخل محلول چهار درصد سولفات منیزیم قرار گرفت. باقی‌مانده نمونه‌ها داخل آب نگه‌داری گردید و آزمایش‌های لازم برای کلیه نمونه ها در سنین هفت، ۲۸، ۶۰ و ۱۸۰ روزه انجام گردید.

Fig. 1- Standard sieves

شکل ۱- الک‌های استاندارد

جدول ۱- مقدار پوزولان استفاده شده در هر نمونه

Table 1- Amount of pozzolan used in each Sample

Sample	A	B1	B2	B3	B4
Amount of particles of bamboo (%)	0	20	30	0	0
Amount of nano particles of bamboo (%)	0	0	0	20	30

Fig. 2- From right to left, Machines for measuring compressive strength, tensile strength and elasticity

شکل ۲- از راست به چپ، دستگاه تعیین مقاومت فشاری، مقاومت کششی نمونه‌های بتنی و اندازه‌گیری مدول الاستیسیته

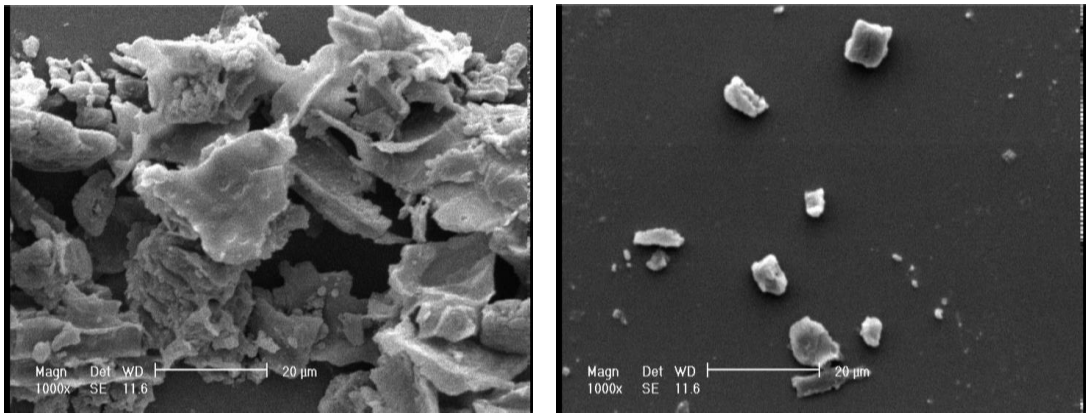

Fig. 3- Result of electron microscope analysis

شکل ۳- نتایج آنالیز دستگاه میکروسکوپ الکترونی

نتایج و بحث

۱- نتایج مربوط به تهیه پودر بامبوی مورد استفاده در این تحقیق

در این مرحله با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی موجود در دانشکده مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان اقدام به آنالیز ذرات مربوط به دسته کوچکتر از ۲۵۰ میکرومتر تولید شد. از آنجایی که در این تحقیق بایستی اقدام به ریزتر نمودن ذرات و افزایش سطح مخصوص ذرات نمود، از آسیاب گلوله‌ای سیاره‌ای استفاده شد. مواد تهیه شده وارد دستگاه آسیاب گلوله ای سیاره‌ای شده و برای مدت ۳۰ ساعت با نسبت وزنی گلوله به پودر ۱:۱۰ گردید. مواد حاصله توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است که نتیجه در شکل (۳) ارائه شده است. با توجه شکل (۳) و مقیاس آن، واضح است که بخشی از ذرات دارای اندازه کوچکتر از یک میکرومتر می‌باشند و سطح مخصوص مناسبی دارند.

۲- نتایج آزمایش‌های تعیین مقاومت فشاری

برای تعیین مقاومت فشاری بتن‌های ساخته شده با درصدها و اندازه ذرات مختلف پوزولان بامبو، تمامی نمونه‌ها در سنین هفت، ۲۸ و ۶۰ و ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. با نرم‌افزار SAS، تجزیه و تحلیل‌های آماری با توجه به اینکه اثر متقابل نمونه و زمان معنی‌دار بود، انجام گرفت. نتایج آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در جدول (۲) آمده است. براساس این آزمون، نمونه هایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. همچنین تاثیر زمان بر رشد مقاومت فشاری بتن ساخته با پوزولان‌های مختلف نیز در جدول (۲) آورده شده است.

 DOI: 10.22055/JISE.2023.38891.1996

جدول ۲- مقایسه میانگین مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) نمونه‌های مختلف

Table 2- Comparison means of compressive strength (Kg/cm^2) in different Samples

Sample	7th day	28th day	60th day	180th day
A	195.24 ^{a}	248.29 ^{a}	276.87 ^{a}	289.11 ^{a}
B1	7.48 ^{d}	35.37 ^{e}	123.81 ^{d}	148.98 ^{d}
B2	17.00 ^{c}	68.03 ^{d}	143.54 ^{c}	166.67 ^{c}
B3	44.22 ^{b}	166.67 ^{b}	242.86 ^{b}	292.51 ^{a}
B4	7.48 ^{d}	105.44 ^{c}	146.26 ^{c}	176.87 ^{b}

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول (۲) و شکل (۲) مشاهده می‌گردد که در تمام موارد مقاومت فشاری بتن با سن آن افزایش می‌یابد. با توجه به بیشتر بودن نسبت آب به سیمان در بتن‌های حاوی پوزولان به غیر از نمونه B3 (بتن با ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو) نسبت به بتن کنترل، مقاومت این نمونه‌ها در تمام سنین کمتر از بتن کنترل می‌باشد. اما با این وجود نتایج به‌دست آمده نشان دهنده فعالیت پوزولانی در بتن‌های حاوی پوزولان با گذشت زمان می‌باشد. در نمونه B3 (بتن با ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو) در ابتدا و سنین کم میزان مقاومت فشاری بتن ۴۴/۲۲ و بتن کنترل ۱۹۵/۲۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود. اما در سنین بیشتر با افزایش روند کسب مقاومت در مقایسه با سایر نمونه‌ها، میزان مقاومت فشاری به بتن کنترل نزدیک شده و نهایتا در سن ۱۸۰ روزه به میزان حدودی یک درصد بیشتر از بتن کنترل شد. علت این امر را می‌توان استفاده از ذرات نانو بامبو عنوان کرد که عملکرد مقاومت فشاری بسیار بیشتری در مقایسه با سایر نمونه‌های مورد مطالعه دارا می‌باشد. در نمونه بامبو مقدار ۲۰ و۳۰ درصد پوزولان به‌ترتیب باعث افزایش ۹۴/۹ و ۸۹/۹ درصدی مقاومت شد. درحالی که، این مقادیر برای نانو ذرات بامبو ۸۴/۸ و ۹۵/۷۷ درصد بود. صرف نظر از میزان افزایش، بیشترین مقاومت فشاری نهایی مربوط به نمونه های B3، A، B4، B2 و B1 بود. بدین معنا که در بین نمونه‌های حاوی ذرات بامبو نمونه حاوی ۳۰ درصد ذرات و در نمونه نانو ذرات بامبو، مقدار ۲۰ درصد پوزولان بهترین عملکرد را داشته است.

نتایج این پژوهش در راستا و تایید کننده دستاوردهای دیگر محققین است. طی بررسی‌های انجام شده روی تغییرات مقاومت فشاری در بتن ساخته شده با ریز ذرات پوزولان بامبو، Umoh and Odesola (2015) مشاهده کردند که طی زمان مقاومت فشاری همه نمونه‌ها تقویت شده و همچنین به افزایش مقاومت فشاری در بتن ۲۸ روزه در پنج و ۱۰ درصد استفاده از پوزولان دست یافتند. همچنین تخلل و جذب آب نیز نسبت به بتن کنترل بهبود یافته بود (Umoh and Odesola, 2015). در یکی از به روزترین پژوهش‌ها، Silva et al. (2021) درصدهای مختلف پوزولان را در سنین ۷، ۲۸ و ۹۱ بررسی کردند و در نهایت این نتیجه حاصل شد که استفاده از پوزولان بامبو بیش از ۳۰ درصد، مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد (Silva et al., 2021).

همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان دهنده عملکرد بهتر ریز ذرات بامبو نسبت به ذرات با اندازه بزرگتر بود، مطالعه دیگری توسط Yusra et al. (2020) نیز که از فیبر بامبو با درصدهای ۰/۵، یک و ۱/۵ استفاده کرد، به این نتیجه دست یافت که با جایگزینی درصد بیشتری از فیبر، مقاومت فشاری تا ۱۲ درصد کاهش می‌یابد (Yusra et al., 2020). Dhinakaran و Gangava (2016) نیز در دو سن هفت و ۲۸ روزه، آزمایش مقاومت فشاری را روی بتن‌های ساخته شده با درصدهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰، انجام دادند که در نهایت مقاومت فشاری بتن کنترل از همه بیشتر بوده و کاهش مقاومت فشاری در هر دو زمان، با افزایش درصد فیبر مشاهده شد (Dhinakaran and Gangava, 2016).

در نهایت می‌توان جمع بندی نمود که واکنش‌های پوزولانی در نمونه‌ای که از ذرات با مقیاس نانو استفاده کرده بیشتر بوده و همین موضوع باعث افزایش مقاومت فشاری در این نمونه شده. طبق دستورالعمل مشخصات فنی عمومی سامانه های آبیاری و زهکشی و با توجه به حداقل مقاومت مشخصه تعیین شده، می‌توان از نمونه B3، در شرایطی که بتن در معرض یخ زدن و آب شدن در
شرایط مرطوب و تر خشک شدن مکرر یا مواد شیمیایی یخ زدا می‌باشد، استفاده کرد (Vice presidency for strategic planning and supervision., 2013).

۳- نتایج آزمایش‌های تعیین مقاومت کششی

در این قسمت نیز تمامی نمونه‌ها در سنین هفت، ۲۸ و ۶۰ و ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. با نرم‌افزار SAS، تجزیه و تحلیل‌های آماری با توجه به اینکه اثر متقابل نمونه و زمان معنی‌دار بود، انجام گرفت. نتایج آزمون حداقل اختلاف معنی دار (LSD) در جدول (۳) آمده است. براساس این آزمون، نمونه هایی که در یک حرف مشترک هستند، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند. همچنین تاثیر زمان بر رشد مقاومت فشاری بتن ساخته با پوزولان‌های مختلف در شکل (۴) آورده شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین مقاومت کششی (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در نمونه‌های مختلف

Table 3- Comparison means of tensile strength (Kg/cm^2) in different Samples

Sample	7th day	28th day	60th day	180th day
A	25.47 a	30.19 a	31.32 a	33.97 a
B1	3.01 d	9.24 de	13.21 e	17.92 c
B2	2.64 d	8.30 e	11.89 fg	16.23 d
B3	14.53 b	23.21 b	29.25 b	33.78 a
B4	6.79 c	15.09 c	20.00 c	24.15 b

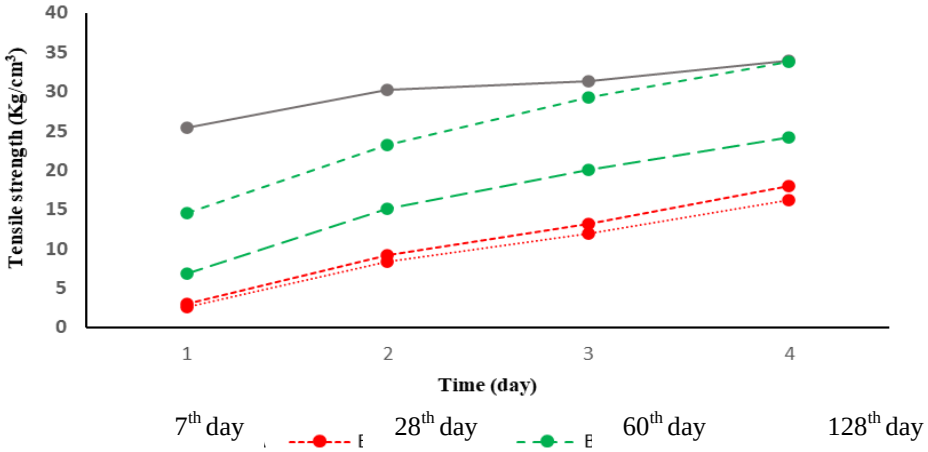

Fig. 4-Tensile strength of different Samples through time

شکل ٤- مقاومت کششی نمونه‌های مختلف طی زمان

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول (۳) و شکل (۴) مشاهده می‌گردد که در تمام موارد مقاومت کششی بتن نیز همانند مقاومت فشاری با سن آن افزایش می‌یابد. بیشترین مقاومت کششی نهایی مربوط به نمونه‌های A، B3، B4، B1 و B2 بود. اگرچه نمونه های حاوی نانوذرات بامبو مقاومت کششی بیشتری نسبت به نمونه های حاوی ذرات بامبو داشتند، اما بیشترین شباهت به بتن کنترل را نمونه B3 داشته است. مقاومت کششی این نمونه در سن ۱۸۰ روزه، با اختلاف کمتر از ۰/۵ درصد مشابه نمونه کنترل گشته است. دو نمونه‌ای که به‌وسیله ذرات بزرگتر بامبو ساخته شده، با مقاومت کششی ۱۷/۹۲ و ۱۶/۲۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، ۴۷/۲ و ۵۲/۲ درصد مقدار کمتری نسبت به بتن کنترل داشته اند. که مطابق با نتایج اعلام شده توسط دیگر محققین از جمله Kumarasamy et al. (2020) است. آن‌ها نیز اعلام کردند با افزایش سن بتن، مقاومت کششی نیز افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که در نمونه حاوی دو درصد فیبر بامبو، پس از گذشت ۲۸ روز، نمونه حاوی ذرات فیبر بامبو، حدود ۳۰ درصد افزایش در مقاومت کششی داشته‌اند. اما با این حال، بتن‌های ساخته شده با فیبر بامبو را شکننده توصیف نموده‌اند (Kumarasamy et al., 2020). Shitote et al. (2019) نیز افزایش مقاومت کششی در نمونه‌های حاوی خاکستر برگ بامبو را گزارش کرده‌اند. آن‌ها با بررسی درصدهای ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ از پوزولان خاکستر برگ بامبو و اندازه‌گیری مقاومت کششی در آن‌ها، مشاهده کردند که افزایش این پارامتر در نمونه های ۵ و ۱۰ درصدی چشم‌گیرتر بوده و در نهایت نمونه ۱۰ درصدی را به عنوان نمونه بهینه معرفی کردند. البته لازم به ذکر است که در مواردی هم کاهش مقاومت کششی در نمونه‌های حاوی ذرات نانو بامبو گزارش شده است (Ikumapayi and Akingbonmire, 2017).

٤- نتایج تعیین تغییرات وزنی نمونه های نگهداری شده در محیط سولفات

برای تعیین تغییرات وزنی نمونه‌های ساخته شده با درصدها و اندازه مختلف ذرات در پوزولان‌های بامبو، ابتدا نمونه‌ها به مدت ۱۴ روز به منظور عمل‌آوری در داخل حوضچه آب با دمای ۲±۲۰ 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 سولفات منیزیم 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 (۴) آورده شده‌است که هر کدام میانگین سه نمونه می‌باشند.

جدول ٤- آنالیز دوام نمونه های مختلف

Table 4- Durability analysis of different Samples

 DOI: 10.22055/JISE.2023.38891.1996

Sample	Weight loss (Kg)	The proportion of remained weight	Percentage of weight loss
A	30.5	95.56	4.43
B1	24.65	96.05	3.94
B2	22.43	96.41	3.58
B3	16.77	97.31	2.68
B4	17.11	97.26	2.73

جدول ۵- مقایسه میانگین الاستیسیته (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) در نمونه‌های مختلف

Table 5- Comparison means of elasticity (Kg/cm^2) in different Samples

Sample	Percentage of weight loss	Elastic modulus
A	37.23 [a]	321048 [a]
B1	28.17 [b]	196923 [b]
B2	24.17 [cd]	196923 [b]
B3	20.17 [f]	186732 [b]
B4	22.33 [e]	152188 [c]

Ademola و Buri (2014) بیان کردند که نمونه های حاوی پوزولان بامبو در محیط سولفات منیزیم مقاوم‌تر هستند، آن‌ها پس از قرار دادن بتن کنترل، بتن با پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد پوزولان بامبو در این ماده، مقاومت فشاری آن را اندازه گرفتند. در بتن کنترل، مقاومت فشاری به مقدار قابل توجهی کاهش یافت اما در بقیه نمونه ها افزایش داشت. قابل ذکر است که میزان بهبود مقاومت فشاری در نمونه ۱۰ درصدی بیش از بقیه بود. او این امر را ناشی از واکنش میان سولفات منیزیم، گچ موجود در ملات سیمان و آب ($CaSO4 – 32H2O$) و اترینگات دانست ($3CaO – Al2O3 – 3CaSO4 – 32H2O$) Dhinakaran و Gangava (2016) نیز با بررسی دوام سیمان‌های حاوی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ ، ۳۰ درصد و کنترل، نمونه ۱۵ درصدی را نمونه‌ای با بهترین دوام معرفی کردند.

۵- نتایج تعیین مدول الاستیسیته بتن

برای تعیین مدول الاستیسیته بتن‌های ساخته شده با پوزولان‌های مختلف بامبو، تمامی نمونه‌ها در سن ۱۸۰ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند. با انجام تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SAS و تشکیل جدول تجزیه واریانس خصوصیات کاهش وزن و مدول الاستیسیته، با توجه به اینکه اثر متقابل نمونه بر میزان دوام و مدول الاستیسیته معنی‌دار است. مقایسه نمونه‌های مختلف از نظر دوام و مدول الاستیسیته در جدول (۵) آورده شده‌است.

با توجه جدول (۵) مشخص می‌گردد که مقدار کاهش وزن در نمونه کنترل (بتن کنترل) حداکثر و در نمونه B3، حداقل بوده‌است.

با بررسی مقادیر مدول الاستیسیته در جدول (۵)، مشاهده می‌گردد که نمونه کنترل دارای بیشترین مقدار مدول الاستیسیته می‌باشد. البته مقادیر مدول الاستیسیته در نمونه‌های حاوی پوزولان کاهش چشم‌گیری نسبت به بتن کنترل داشته است. در این تحقیق با استفاده از پوزولان‌های بامبو در تمام نمونه‌ها مقادیر مدول الاستیسیته کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته‌است. همان‌طور که دیگر محققین نیز طی پژوهش‌های خود به نتیجه‌ای مشابه دست یافتند. Da Costa Correia et al. (2014) ویژگی‌های بتن ساخته شده با پوزولان بامبو با درصدهای شش ۸،۱۰ و ۱۲ را بررسی کرد و مشاهده کرد که با افزایش درصد، مدول الاستیسیته کاهش می‌یابد (Da Costa Correia et al., 2014).

با توجه به اینکه قابلیت الاستیک بودن مواد پرکننده درزهای انبساط و انقباض کانال‌های بتنی انتقال آب از اهمیت زیادی برخوردار است و با توجه به کاهش مقادیر مقاومت نمونه‌های تهیه شده نمی‌توان با داشتن مقادیر مدول الاستیسیته با قاطعیت در مورد قابلیت الاستیک بودن این مواد نظر داد. از آنجایی که با داشتن مقادیر مدول الاستیسیته مربوط به هر نمونه و داشتن مقاومت فشاری می‌توان مقادیر کرنش مربوط به هر نمونه را به‌دست آورد، به‌همین منظور در این تحقیق از مقادیر مقاومت فشاری نهایی۱۸۰ روزه مربوط به هر نمونه استفاده نموده و مقادیر تنش معادل هر یک را به‌دست آورده و اقدام به برآورد مقدار کرنش می‌گردد. مقادیر کرنش به‌دست آمده برای هر نمونه در جدول (۶) آورده شده است.

جدول ٦- مقادیر کرنش مربوط به هر نمونه

Table 6- Strain in different Samples

Sample	Strain	Ratio of strain to the control concrete
A	0.0017	100
B1	0.001135	66.98
B2	0.00107	63.04
B3	0.0025	146.58
B4	0.0021	122.74

با توجه به جدول (۶) مشخص است که نمونه‌های با ۲۰ درصد ذرات بامبو و ۳۰ درصد ذرات بامبو الاستیسیته بسیار کمتری نسبت به بتن کنترل دارند. نمونه ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو با داشتن نسبت کرنش ۱۴۶/۵۸ نسبت به بتن کنترل و نمونه ۳۰ درصد نانو ذرات بامبو با داشتن نسبت کرنش ۱۲۲/۷۴ نسبت به بتن کنترل دارای قابلیت تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر نمونه ها می باشد.

با توجه به این‌که یکی از مهم‌ترین خصوصیات مواد پرکننده درزهای انبساط و انقباض کانال‌های بتنی انتقال آب الاستیسیته کافی به‌منظور جلوگیری از ایجاد ترک در مواقع انبساط و انقباض بتن است، بنابراین استفاده از ذرات بامبو در مقیاس نانو منجر به تغییر خواص الاستیسیته بتن تولیدی در جهت مطلوب گردیده است. به‌طوری که نمونه‌های ۲۰ درصد نانوذرات بامبو و۳۰ درصد نانو ذرات بامبو با داشتن نسبت کرنش ۱۴۶/۵۸ و ۱۲۲/۷۴ نسبت به بتن کنترل، دارای مقادیر قابلیت تغییر شکل قابل ملاحظه‌ای می باشند، که استفاده از این مواد را به‌عنوان ماده پر کننده برای درزهای انبساط و انقباض مناسب می‌سازد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر با استفاده از ذرات بامبو در دو اندازه نانو و بزرگ‌تر، با جایگزینی ۲۰ و ۳۰ درصدی از این مواد به‌جای سیمان، بتن ساخته شد و ویژگی‌های این بتن اعم از مقاومت فشاری، کششی، دوام در محیط سولفاته و الاستیسیته در مقابل بتن کنترل، بررسی شد. نتایج حاصل را می‌توان در چند بند زیر خلاصه نمود:

– روند افزایش مقاومت‌های فشاری و کششی در بتن حاوی ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو در سنین بالا، نسبت به بتن کنترل بیشتر می‌باشد. به‌طوری‌که بتن حاوی ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو با وجود مقاومت فشاری ۷۷/۳ درصدی کمتر نسبت به بتن کنترل در سنین پائین، در سن ۱۸۰ روزه به مقاومت فشاری تقریبا معادل (با اختلاف حدودی ۱ درصد) بتن کنترل دست می‌یابد.

– مقاومت فشاری و کششی بتن حاوی پوزولان بامبو در تمام سنین از مقاومت فشاری بتن کنترل (۳۳/۹۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب) کمتر می‌باشد. با مقایسه مقادیر مقاومت کششی بین نمونه‌های مختلف بامبو مشخص می‌گردد که نمونه با ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو در سن ۱۸۰ روزه با مقاومت کششی ۳۳/۷۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مکعب، نسبت به سایر نمونه‌های پوزولان بامبو دارای مقدار بیشتری می‌باشد.

– با بررسی مقادیر کاهش وزن نمونه‌های حاوی پوزولان بامبو در سن ۱۸۰ روزه مشخص می‌گرددکه بتن‌های حاوی نانو ذرات بامبو دارای کم‌ترین مقادیر کاهش وزن و بتن کنترل دارای بیش‌ترین مقادیر کاهش وزن می‌باشند. نتایج آزمایش دوام بتن-های حاوی پوزولان بامبو به‌خوبی مزیت استفاده از بامبو را به-عنوان پوزولان در بتن آشکار می‌سازد. به‌طوری که نتایج نشان می‌دهند در محیط سولفات منیزیم مورد آزمایش، مقادیر کاهش وزن بتن کنترل در سن ۱۸۰ روزه ۳۰/۵ کیلوگرم بوده که حداقل ۱۹/۱۸ درصد بیشتر از مقادیر کاهش وزن بتن‌های حاوی پوزولان‌های بامبو می‌باشد.

– با بررسی مقادیر مدول الاستیسیته مشاهده می‌گردد که نمونه کنترل (بتن کنترل) دارای بیشترین مقدار مدول الاستیسیته می‌باشد. البته مقادیر مدول الاستیسیته در نمونه‌های حاوی پوزولان کاهش چشم‌گیری نسبت به بتن کنترل (۳۲۱۰۴۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)، داشته است اما نمونه حاوی نانو ذرات بامبو ۳۰ درصد، دارای کمترین مقدار مدول الاستیسیته (۱۵۲۱۸۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) بوده است اما دارای مقادیر قابلیت تغییرشکل قابل ملاحظه ای می‌باشد.

درنهایت می‌توان ادعا نمود که نمونه حاوی ۲۰ درصد نانو ذرات بامبو پتانسیل استفاده در صنعت بتن را داراست به‌ویژه به عنوان مواد پرکننده درزهای انبساط و انقباض کانال‌های بتنی انتقال آب که لازم است قابلیت الاستیک به اندازه کافی به‌منظور جلوگیری از ایجاد ترک در مواقع انبساط و انقباض بتن داشته-باشد،. زیرا مقاومت فشاری، کششی، دوام و الاستیسیته بتن را تا حد قابل قبولی بهبود بخشید.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از حمایت دانشگاه صنعتی اصفهان و کلیه عزیزانی که به‌نحوی در انجام این پژوهش همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1- Abbasi, N., 2011. The role of anions in the dispersion potential of clayey soil. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 12(3), pp.15-30. (In Persian)

2- Abedi-Koupai, J., 2007. The application of nano technology in environment. In *the 1st Conference on the Application of Nano-technology in Environment, Isfahan University of Technology, Iran*. (In Persian)

3- Ademola, S. and Buari, T., 2014. Behaviour of bamboo leaf ash blended cement concrete in sulphate environment. *IOSR Journal of Engineering*, 4(6), pp.1-8.

4- Ataie, F. F. and Riding, K. A., 2013. Thermochemical preSamples for agricultural residue ash production for concrete. *Journal of Materials in Civil Engineerin*, 25, pp.1703-1711. Doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.000072.

5- Augustine, A. and Michael, T., 2016. Partial Replacement of cement with corn cob ash. *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field*, 2, pp.159-166.

6- Da Costa Correia, V., Santos, S. F., Mármol, G., Da Silva Curvelo, A. A. and Savastano Jr, H., 2014. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. *Construction and Building Materials*, 72, pp.65-71. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.005.

7- Dhinakaran, G. and Gangava, H. C., 2016. Compressive Strength and Durability of Bamboo Leaf Ash Concrete. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 10(3), pp.279-289.

8- Eisa, A., 2014. Properties of concrete incorporating recycled post-consumer environmental wastes. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 8, pp.251-258.

9- Frías, M., Savastano, H., Villar, E., De Rojas, M. I. S. and Santos, S., 2012. Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes. *Cement and Concrete Composites*, 34, pp.1019-1023. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.05.005.

10- Ikumapayi, C. M. and Akingbonmire, S. L., 2017. Effects of Elevated Temperature on Splitting Tensile Strength of OPC and BLA Pozzolanic Concrete and Mortar. *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, 2(1), pp.124-128.

11- Kumarasamy, K., Shyamala, G. and Gebreyowhanse, H., 2020. Strength Properties of Bamboo Fiber Reinforced Concrete. In *International Conference on Recent Advancements in Engineering and Management, Warangal, India*.

12- Luhar, S., Cheng, T.-W. and Luhar, I., 2019. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review. *Engineering*, 175, pp.107076. Doi: 10.1016/j.compositesb.2019.107076.

13- Pekmezci, B. and Akyüz, S., 2004. Optimum usage of a natural pozzolan for the maximum compressive strength of concrete. *Cement and Concrete Research*, 34, pp.2175-2179. Doi: 10.1016/j.cemconres.2004.02.008.

14- Shitote, S., Onikeku, O., Mwero, J. and Adedeji, A., 2019. Evaluation of Characteristics of Concrete Mixed with Bamboo Leaf Ash. *The Open Construction* and *Building Technology Journal*, 13, pp.67-80.

15- Silva, L. H. P., Tamashiro, J. R., De Paiva, F. F. G., Dos Santos, L. F., Teixeira, S. R., Kinoshita, A. and Antunes, P. A., 2021. Bamboo leaf ash for use as mineral addition with Portland cement. *Journal of Building Engineering*, 42, pp.102769. Doi: 10.1016/j.jobe.2021.102769.

16- Vice presidency for strategic planning and supervision., 2013. Review of General Technical Specification for Irrigation and Drainage Systems In, Report n. 108. (In Persian)

17- Umoh, A. A. and Odesola, I. A., 2015. Characteristics of bamboo leaf ash blended cement paste and mortar. *Civil Engineering Dimension*, 17, pp.22-28.

18- Villar-Cociña, E., Morales, E. V., Santos, S. F., Savastano Jr, H. and Frías, M., 2011. Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters. *Cement and Concrete Composites*, 33, pp.68-73. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2010.09.003.

19- Xie, X., Zhou, Z., Jiang, M., Xu, X., Wang, Z. and Hui, D., 2015. Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. *Engineering*, 78, pp.153-161. Doi: 10.1016/j.compositesb.2015.03.086.

20- Yusra, A., Triwulan, T., Safriani, M. and Ikhsan, M., 2020. Use of bamboo fiber on the relationship between compressive strength and split tensile strength of high strength concrete. In *the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *Banda, Indonesia.*