



Research Article

Experimental investigation of the effect of nano-silica and nano-clay on the mechanical characteristics of plastic concrete in porous environments

Firouz Karamshahi¹, Ebrahim Nohani^{2*}, Mohammad Hossein Noorolah Dezfouli³

1- Master's student in Civil Engineering, Construction Management, Faculty of Engineering, Azad University, Khorramshahr International Branch, Persian Gulf, Khorramshahr, Iran

2* - Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Materials and Energy Research Center, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

3- Department of Civil Engineering, Khorramshahr International Branch, Islamic Azad University, Khorramshahr, Iran

Received: 06 February 2024; Revised: 13 February 2024; Accepted: 07 March 2024; Published 07 March 2024

Abstract:

Concrete is one of the most widely used materials in construction, and the reason for that is its hardness, durability and high resistance. Pores are usually filled with fluid. So far, nanostructures with regular and irregular shapes have been made from different materials, which in total form one of the most diverse categories of materials. In this regard, 30 samples were made and tested for compressive strength testing and 30 samples for tensile testing. The amount of nanosilica and nanoclay in three different ratios of 0.25, 0.50, and 0.75 of cement weight has been added to the concrete mixture. The obtained results show an increase in the compressive and tensile strength of concrete due to the addition of nanosilica and nanoclay, the percentage of increase in compressive strength of the samples was higher than the percentage of increase in tensile strength of the samples. With the presence of nanosilica, it can be said that the compressive strength changes more

Keywords: *Plastic concrete, compressive and tensile strength, porous medium, nanosilica and nanoclay*

Cite this article as: Karamshahi, F., nohani, E., & Noorolah Dezfouli, M. H. (2024). Experimental investigation of the effect of nano-silica and nano-clay on the mechanical characteristics of plastic concrete in porous environments. Civil and Project, 6(1), 24-45.. <https://doi.org/10.22034/cpj.2024.441875.1260>

ISSN: 2676-511X / **Copyright:** © 2024 by the authors.

Open Access: This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Journal's Note: CPJ remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

*Corresponding author E-mail address: Ebrahim.Nohani@iau.ac.ir



نشریه عمران و پروژه

<http://www.cpjournals.com/>

بررسی آزمایشگاهی تاثیر نانوسیلیس و نانورس بر مشخصات مکانیکی بتن پلاستیک در محیط های متخلخل

فیروز کرمشاهی^۱، ابراهیم نوحانی^{۲*}، محمدحسین نورالله دزفولی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مدیریت ساخت، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد واحد بین المللی

خرمشهر- خلیج فارس، خرمشهر، ایران

۲* - استادیار گروه عمران، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

۳- گروه عمران، واحد بین المللی خرمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خرمشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۷ بهمن ۱۴۰۲؛ تاریخ بازنگری: ۲۷ بهمن ۱۴۰۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۷ اسفند ۱۴۰۲؛ تاریخ انتشار آنلاین: ۱۷ اسفند ۱۴۰۲

چکیده:

بتن یکی از مصالحی است که در ساخت و سازها بیشترین استفاده را دارد و دلیل آن سختی، دوام و مقاومت زیاد آن است. منافذ معمولاً با سیال پر می‌شوند. تاکنون نانوساختارهایی با شکل های منظم و بی نظم از مواد مختلف ساخته شده اند که در مجموع یکی از متنوع ترین دسته مواد را تشکیل می دهند. در این راستا ۳۰ نمونه برای انجام آزمایش مقاومت فشاری، ۳۰ نمونه برای انجام آزمایش کششی ساخته شده و مورد آزمایش قرار گرفته است. میزان نانوسیلیس و نانورس در سه نسبت مختلف ۰،۲۵، ۰،۵۰ و ۰،۷۵ وزن سیمان به مخلوط بتن اضافه شده است. نتایج بدست آمده نشان دهنده افزایش مقاومت فشاری، کششی بتن در اثر افزودن نانوسیلیس و نانورس است درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه ها از درصد افزایش مقاومت کششی نمونه ها بیشتر بوده است. ب حضور نانوسیلیس میتوان بیان کرد مقاومت فشاری تغییر بیشتری دارد.

کلمات کلیدی:

بتن پلاستیک، مقاومت فشاری، کششی، محیط متخلخل، نانوسیلیس و نانورس

۱- مقدمه

در صنایع بتن، استفاده از نانو تکنولوژی به چند دهه اخیر بر می‌گردد. حدوداً از ۸۰ سال پیش تاکنون استفاده از سیلیکا در ابعاد میکرون بصورت گسترده ای در بتن پایه سیمانی مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده از ذرات کوچکتر از میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. بتن ماده ای با قالب نانو، چند فازی و با اجزا گوناگون است. فاز غیر بلوری و نانو ساختار کلسیم-سیلیکات-هیدرات (C-H-S) باعث ایجاد چسبی میشود که اجزا بتن را به هم می‌چسباند. بتن در مقیاس نانو، شامل مولکولها، سطوح (دانه ها و فیبرها) و پیوندهای شیمیایی است. [۱]

فناوری نانو می‌تواند تاثیر بسزایی در پیشرفت تکنولوژی بتن داشته باشد. با توجه به ریز ساختار سیمان هیدراته شده و وجود حفراتی در ابعاد نانو در آن، استفاده از نانو ذرات میتواند در پر نمودن تخلخل های بسیار ریز خمیر سیمان و افزایش مقاومت و بخصوص دوام بتن، موثر باشد. یکی از این موارد، استفاده از نانو اکسید سیلیسیم (نانوسیلیس) و نانورس است. [۲].

بتن پلاستیکی^۱ نوعی بتن است که به منظور کنترل تراوشات زیر سدها، جلوگیری از پخش مواد آلوده در سفره های زیرزمینی، ساخت دیوار آب بند، ایجاد سازه های زیرزمینی موقت و ... مصرف می‌شود. این نوع بتن در مقایسه با بتن معمولی ضریب الاستیک کمتری دارد و به دلیل خاصیت پلاستیسیته شکل پذیری آن بسیار بالا می‌باشد. مقاومت بتن پلاستیکی در برابر بتن معمولی کمتر است. این نوع بتن از مخلوط نمودن سیمان، شن و ماسه، آب و بنتونیت بدست می‌آید. [۹]

محیط متخلخل^۲ یا ماده متخلخل مادهای است که دارای منافذ است. سهم کالبدی ماده معمولاً شبکه یا چارچوب نامیده می‌شود. منافذ معمولاً با سیال پر می‌شوند. کالبد محیط متخلخل معمولاً یک جامد است اما ساختارهایی مانند فومها نیز به‌عنوان ماده متخلخل استفاده می‌شوند. بسته به اینکه محیط متخلخل تحت اثر نیروهای بیرونی بتواند شاره ها را از خود عبور دهد یا نه، به آن محیط متخلخل تراوا یا محیط متخلخل ناتراوا می‌گویند. [۸]

ابراهیم نوحانی و همکاران^۳ ۱۴۰۲، هدف از این تحقیق کاهش مصرف سیمان با جایگزینی نانو خاکستر بادی^۴ در مخلوط بتن و افزایش مقاومت فشاری بتن با تقویت ناحیه انتقال میان سطحی^۵ است. بدین منظور ۴ نسبت NFA با مقادیر ۰،۱، ۰،۵، ۱ و ۵ درصد وزنی در مخلوط بتن انتخاب و مقاومت فشاری بتن طی ۷ و ۲۸ روز مورد ارزیابی قرار گرفت. از میکروسکوپ الکترونی روبشی^۶ مجهز به طیف سنج پراش انرژی پرتو ایکس^۷ برای تشخیص ترکیبات حاصل از واکنش بین ذرات استفاده گردید. بر اساس نتایج حاصل در نمونه حاوی ۱ درصد NFA (نمونه بهینه)، نسبت به نمونه های بدون NFA مقاومت فشاری ۷ روزه بتن ۹۷ درصد و مقاومت فشاری ۲۸ روزه ۶۱ درصد افزایش می‌یابد. این مطلب نشان می‌دهد که NFA عملکرد بهتری در افزایش مقاومت بتن در سنین پایین دارد. [۱]

در سال ۲۰۰۶ جو و همکارانش^۸ نشان دادند که افزودن مواد نانو میتواند به بهبود مقاومت فشاری بتن کمک زیادی بنماید. آنها به مقایسه اثر افزودنی های پوزلانی معمول مانند: دوده سیلیس و نانو پرداختند. افزودنیهای نانو با وارد شدن به خمیر سیمان به شدت وارد واکنشهای هیدراسیون میشوند. [۱۰]

1 Plastic concrete

2 porous medium

3 E.Nohani, R.Farzad, M.ghabiti Hasab, AHeydary

4 NFA

5 ITZ

6 SEM

7 EDS

8 Jo, B.W. et al.

فهمیم و همکاران^۱ در سال ۲۰۲۰ به بررسی عملکرد دوام بتن اصلاح شده با خاکستر بادی و ارزیابی تاثیر میکروارگانسیم ها پرداختند. آنها ۴ درصد مختلف از خاکستر بادی شامل ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۱۰ درصد وزنی سیمان و نمونه های مختلف میکروارگانسیم با درصد های ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ استفاده کردند. نتایج آنها حاکی از افزایش مقاومت فشاری بیش از ۳۱ درصدی بتن حاوی ۱۱ درصد خاکستر بادی و میکروارگانسیم بود [۱۸]

از سال ۲۰۲۱ رویکرد آزمایشات بیش تر به سمت پیش بینی با هوش مصنوعی رفت بطوریکه فاروق و همکاران^۲ ۲۰۲۱ به مطالعه تطبیقی برای پیش بینی مقاومت فشاری بتن خود متراکم اصلاح شده با خاکستر بادی پرداختند. آنها از مدل های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و برنامه ریزی بیان ژن برای پیش بینی مقاومت فشاری بتن استفاده کردند [۱۹].

از آغاز استفاده از سیمان های پرتلند تاکنون، متناسب با رشد چشمگیر استفاده از این ماده صنعتی، آلودگی های زیست محیطی (تولید دی اکسید کربن) ناشی از فرآیند تولید سیمان به شدت افزایش یافته است. از این رو همواره محققین به دنبال این بوده اند تا با افزودن مواد جدید به ترکیب بتن، در میزان مصرف سیمان به عنوان یک محصول استراتژیک صرفه جویی کرده تا علاوه بر کاهش محدودیت های اقتصادی و زیستمحیطی، مقاومت و دوام آن را بهبود بخشند. هدف از انجام این آزمایش، بررسی تاثیر نانوسیلیس^۳ و نانورس^۴ بر روی مقاومت فشاری، کششی بتن^۵ پلاستیک در محیط متخلخل میباشد که با توجه به آزمایشات انجام شده بر روی بتن پلاستیک نتایج آنها مورد مطالعه و بررسی قرار داده شده است برای مقایسه اثرات میزان مصرف نانوسیلیس و نانورس در بتن سعی شده با تولید نمونه های بتن آزمایشگاهی با نسبت های مختلف نانوسیلیس به وزن سیمان، مقایسه ای بر روی بتن های مختلف از لحاظ مقاومت انجام شود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۱-۲ مصالح مصرفی

۱-۱-۲ سنگدانه ها^۶

مصالح سنگی تهیه شده در این تحقیق شامل درشت دانه و ریزدانه بوده است. درشت دانه خود شامل سنگدانه شکسته طبیعی و ریزدانه نیز شامل شکسته طبیعی است. مشخصات مصالح مصرفی در جدول ۱ آورده شده است.

1 Fahim.etal

2 Farooq,et al.

3 Nano silica

4 Nano clay

5 Compressive and tensile strength of concrete

6 Aggregates

جدول ۱: خواص فیزیکی مصالح سنگی مصرفی

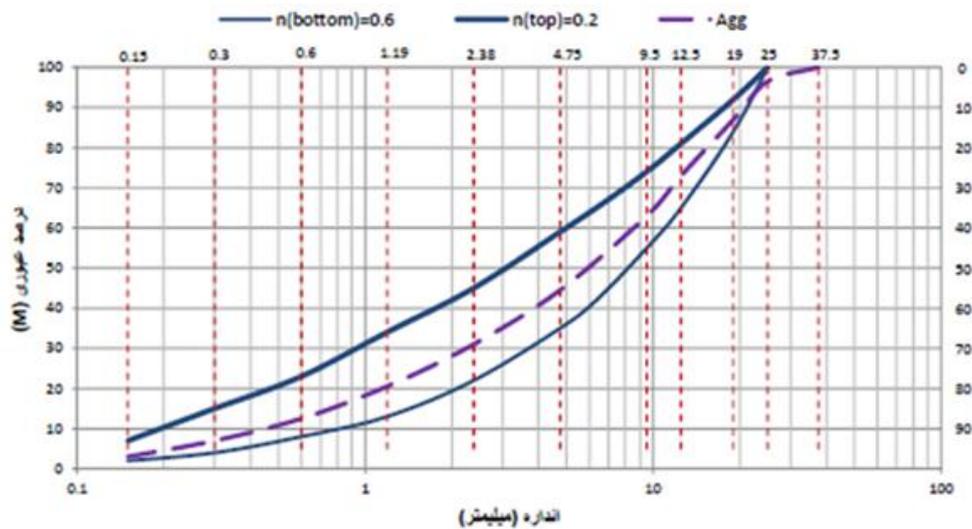
شن	ماسه	سنگدانه ها
۲,۶	۲,۶۵	ظاهری چگالی ^۱ (gr/cm^3)
۱۵۸۱,۳	۱۷۲۸,۹	وزن مخصوص ظاهری ^۲ (Kg/m^3)
۰,۲	۰,۴	رطوبت نسبی (%)
۰,۵	۰,۷	رطوبت اشباع با سطح خشک (%)
-	۲,۷۹	مدول نرمی ($F.M$)
-	۷۸	ارزش ماسه ای (%)



شکل ۱: سنگدانه ها

1 density

2 apparent specific gravity



نمودار ۱: نمودار دانه بندی

۲-۱-۲ سیمان مصرفی

سیمان^۱ مورد استفاده در این پروژه، سیمان پرتلند تیپ ۲ می باشد که بصورت یکجا تهیه و دپو شده است. ترکیبات شیمیایی سیمان در جدول ۲ گفته شده است.

جدول ۲ ترکیبات شیمیایی سیمان II

Chemical Analysis		
Compounds	Unit	Results
SiO ₂	%	21.75
Al ₂ O ₃	%	5.15
Fe ₂ O ₃	%	3.65
CaO	%	65.10
MgO	%	1.32
SO ₃	%	1.85
K ₂ O	%	0.67
Na ₂ O	%	0.32
L.O.I	%	1.02



شکل ۲: سیمان

۲-۱-۳ آب مصرفی

طبق توصیه آیین نامه بتن ایران، آب مصرفی در ساخت بتن باید تمیز و صاف باشد و به طور کلی آب آشامیدنی برای ساخت بتن رضایت بخش تلقی می شود.

۲-۱-۴ بنتونیت

بنتونیت^۱ نوعی خاک معدنی آتشفشانی و بسیار کاربردی می باشد که حداقل از ۸۵٪ خاک رس تشکیل شده است. ویژگی اصلی خاک بنتونیت این است که در صورت تماس با آب و مایعات متورم می شود. این ماده به لحاظ خاک شناسی دارای ساختمان آلومینوسیلیکاتی و غنی از مونتموریونیت - بدلیت بوده و ترکیبی از چندین کانی معدنی مختلف است. از لحاظ فیزیکی دارای دانه بندی های مختلف ، بی بو و سفید مایل به کرم رنگ می باشد. در طبیعت ، نا خالصی هایی چون پتاسیم ، سدیم ، آلومینیوم و کلسیم دارد.

جدول ۳: مشخصات بنتونیت

Viscometer Dial Reading at 600 rpm	30 Min
Yield Point/Plastic Viscosity Ratio	3 Max
Filtrate Volume	150m3 Max
Residue Greater Than 75 Micrometers	4.0 wt. % Max
Poking: 30kg PP/PE, Paper Sacks, 1 mt Big Bag	



شکل ۳: بنتونیت

۲-۱-۵ نانوسیلیس

ذرات نانو سیلیس که با نام ذرات نانو سیلیکا نیز شناخته شده است، از جمله مواد افزودنی کاربردی محسوب می شود که به منظور افزایش مقاومت و استحکام ترکیبات گوناگون در صنایع مختلف همچون صنعت تولید بتن مورد استفاده قرار می گیرد. امروزه نانو سیلیس به سه صورت ژل، کلویید و پودر مورد استفاده قرار می گیرد که هر کدام کاربرد مختص به خود را دارند. این محصول شیمیایی در ساختار خود یک عدد عنصر سیلیسیوم با نماد شیمیایی Si و دو عدد عنصر اکسیژن با نماد

1 Bentonite

شیمیایی O دارد و فرمول شیمیایی آن به صورت SiO_2 می باشد. در رابطه با نقطه ذوب و جوش ذرات نانو سیلیس نیز می توان گفت که در دمایی معادل ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد به نقطه ذوب خود می رسد و در دمایی معادل ۲۲۳۰ درجه سانتی گراد به نقطه جوش خود می رسد.



شکل ۴: نانوسیلیس

۲-۱-۶ نانورس

طبق پژوهش های انجام گرفته، بهترین خواص نانورس^۱ ایرانی زمانی به دست می آید که از آن به مقدار کمتر از ۵٪ وزنی به عنوان پر کننده استفاده گردد. استفاده از نانو کلی ایرانی تأثیری بر خواص اپتیکی پلیمر ندارد و این یک امتیاز محسوب می شود. بنابراین از نظر اپتیکی، شفافیت حفظ می شود. سایر خواص فیزیکی بهبود یافته عبارتند از: مقاومت در برابر شعله، و هدایت نوری و استحکام مکانیکی.

جدول ۴: مشخصات نانورس

نوع کانی	مونت موریلونیت خالص
نوع سطح	اصلاح شده
عامل اصلاح کننده	ترکیبات آمونیومی نوع چهارم
شکل ظاهری	پودر
رنگ	سفید مایل به کرمی
اندازه ذرات	کمتر از ۲۵ نانومتر
رطوبت	۱-۳ درصد
وزن مخصوص	۷۵،۰
قابلیت اختلاط با آب	ندارد
قابلیت ماندگاری	نامحدود

¹ nano clay

۲-۱-۷ فوق روان کننده مصرفی

اندازه گیری دقیق روانکننده پیش از افزودن به مخلوط بتنی، به دلیل کم بودن مقدار مصرف الزامی است. این میزان با توجه به در نظر گرفتن عوامل مختلف، بین ۰/۵ تا ۱/۵٪ وزن سیمان توصیه شده است. عامل مؤثر بر میزان مصرف روان کننده بتن، سطح ویژه ذرات سیمان است؛ یعنی هر چه ذرات سیمان ریزتر باشد، مصرف روان کننده بتن بیشتر می‌شود.

اصالت عملکرد روان کننده بتن، جدا کردن این ذرات از یکدیگر است تا آب به راحتی از میان ذرات عبور کند. حال در صورتی که ذرات ریز شده و تعداد آن زیاد شود، مقدار بیشتری روان کننده برای جدا کردن ذرات نیاز خواهد بود. برای بکارگیری این مواد، لازم است آن را همانند دیگر مواد تشکیل‌دهنده بتن به دیگ اختلاط اضافه کرده و به خوبی مخلوط کنید تا بتنی یکنواخت حاصل شود. اما میزان مصرف روان کننده بتن در هر مخلوط بتنی به عوامل زیر وابسته است

۱. نسبت آب به سیمان یا همان طرح اختلاط و مقاومت نهایی مورد نیاز

۲. اسلامپ بتن

۳. انتظارات اصلی پروژه از بتن مصرفی، مثل: بتن نما یا قطعات پیش‌ساخته بتنی

۴. شرایط آب و هوایی، چون گرمای بیش از حد بتن و از دست رفتن آب بتن

۵. نوع و غلظت روان کننده بتن

در این پژوهش از فوق روان کننده P10-3R که تولید شده در شرکت شیمی ساختمان بوده استفاده شده خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: مشخصات فیزیکی و شیمیایی فوق روان کننده

P10-3R	نام
پلی کربوکسیلیک اتر	نوع
زرد روشن	ظاهر
1.1 ± 0.02	وزن مخصوص
7 ± 1	PH
مابع	حالت فیزیکی
آنیونی	طبیعت یونی

۲-۲ طرح اختلاط و شرح آزمایش

در تهیه بتن مورد آزمایش از سیمان، آب، شن، ماسه، روان کننده، نانوسیلیس و نانورس استفاده شده است. از یک نوع طرح اختلاط استفاده شده و نانوسیلیس با سه میزان مختلف به آن اضافه شده است بنابراین تمام آزمایشات بر روی یک طرح اختلاط انجام پذیرفته است. نانوسیلیس و نانورس با درصدهای ۰،۲۵ و ۰،۵۰ و ۰،۷۵ نسبت به وزن سیمان به نمونه اصلی اضافه شده اند.

پس از تهیه بتن ها برای انجام آزمایش فشاری از قالب های مکعبی با ابعاد ۱۵ سانتیمتر، آزمایش دونیم شدن از قالب های استوانه ای به قطر ۱۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر و برای آزمایش نفوذپذیری از قالب های استوانه ای به قطر ۱۵ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر استفاده می شود. تعداد ۹ نمونه از هر طرح تهیه شده است تا ۳ بار آزمایش برای هر طرح انجام شود.

جدول ۶: طرح اختلاط

شن	ماسه	آب	سیمان	بنئونیت	روان کننده
800Kg	710Kg	300Kg	250Kg	20Kg	1.5L

برای این کار نمونه ها ابتدا ۲۴ ساعت در قالب ها باقی می ماند و سپس از قالب ها خارج شده و در تشتک آب قرار داده می شوند تا فرایند هیدراسیون بتن بصورت مناسبی تکمیل گردد.



شکل ۶: اندازه گیری اسلامپ بتن



شکل ۷: مراحل ساخت بتن



شکل ۸: جایگذاری بتن ها در استخر

جدول ۷: محدوده مقدار مصالح مورد نیاز جهت ساخت بتن متخلخل

مقدار مصالح (Kg/m^3)	مصالح
۲۷۰-۴۱۵	مواد سیمانی
۱۱۹۰-۱۴۸۰	سنگدانه
۰,۲۷-۰,۳۴	نسبت آب به سیمان
۴:۱-۴,۵:۱	سیمان به سنگدانه نسبت

۳- تجزیه تحلیل و بررسی نتایج

۳-۱ آزمایش مقاومت فشاری

یکی از مشخصه های مهم در بتن، مقاومت فشاری بتن است که در طراحی سازه های بتن آرمه از اهمیت بالایی برخوردار است. افزودن نانوسیلیس و نانورس میتواند در بالا بردن مقاومت فشاری بتن موثر واقع شود که در این تحقیق از سه رده سنی ۳ روزه و ۷ روزه و ۲۸ روزه با افزودن درصدهای ۰,۲۵ و ۰,۵ و ۰,۷۵ وزن سیمان نانوسیلیس به مخلوط بتن و مقایسه آن در حالت بدون نانوسیلیس پرداخته شده است.



شکل ۹: جاگذاری نمونه در جک

جدول ۸: نتایج بدست آمده از آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های بدون نانوسیلیس و نانورس^۱

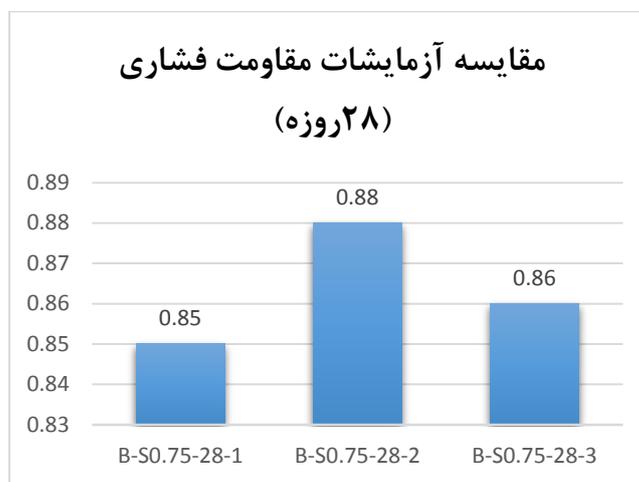
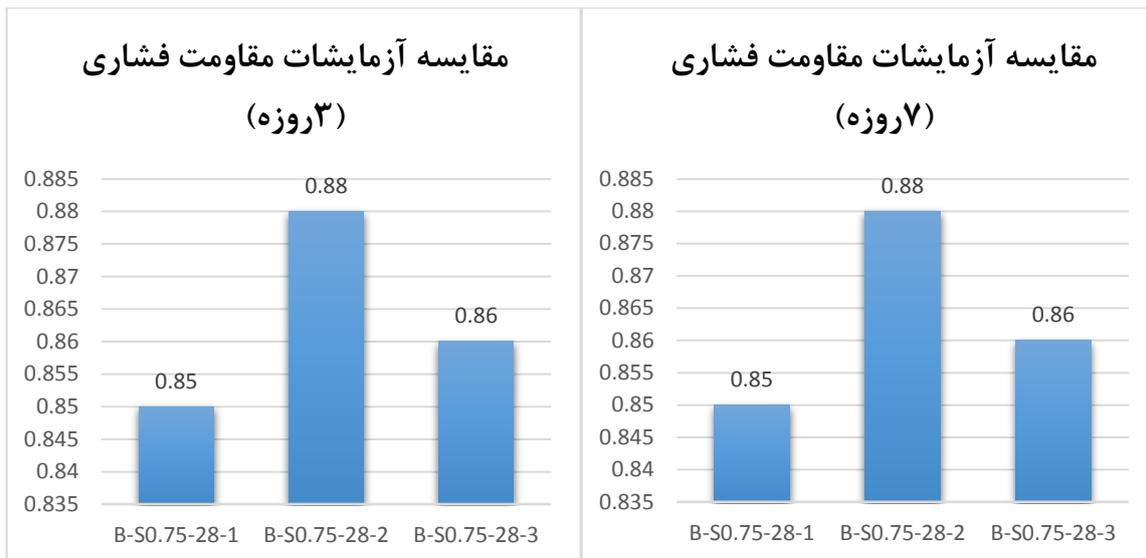
نام بتن	وزن بتن ۱ روزه	وزن بتن ۲۸	مقاومت فشاری
C-B-3-1	7.06	7.13	46.24
C-B-3-2	7.08	7.11	45.33
C-B-3-3	7.12	7.15	47.11
C-B-7-1	7.04	6.91	83.56
C-B-7-2	7.10	7.01	80.89
C-B-7-3	7.07	6.95	80.00
C-B-28-1	7.15	7.05	118.75
C-B-28-2	7.10	7.15	107.9
C-B-28-3	7.06	7.01	108.54

جدول ۹: نتایج بدست آمده از آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های با نانوسیلیس و نانورس^۲

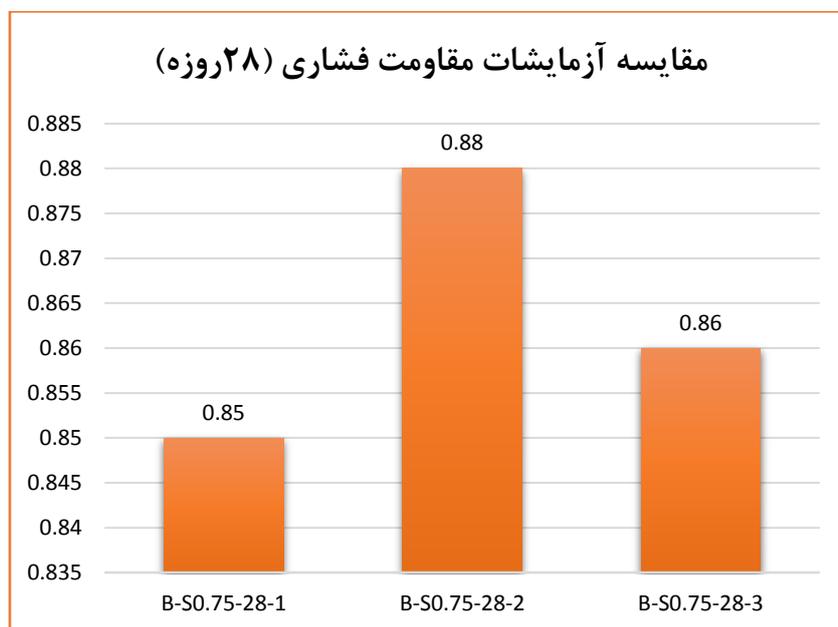
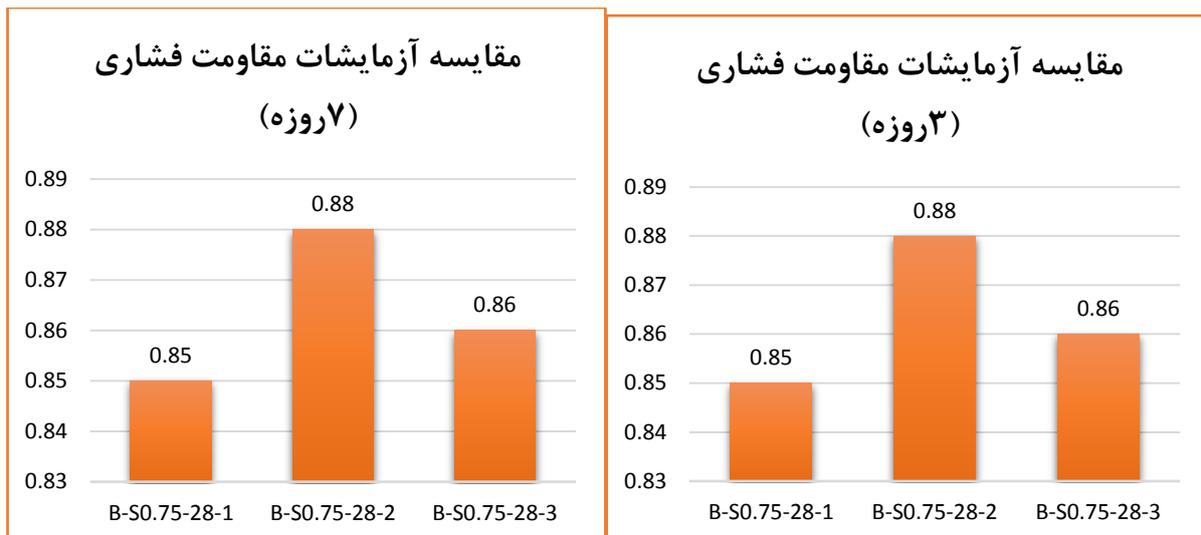
نام بتن	وزن بتن ۱ روزه	وزن بتن ۲۸	مقاومت فشاری
C-S0.25-3-1	7.17	7.20	47.12
C-S0.25-3-2	7.26	7.29	50.26
C-S0.25-3-3	7.22	7.22	50.02
C-S0.25-7-1	7.23	7.15	93.38
C-S0.25-7-2	7.20	7.11	94.70
C-S0.25-7-3	7.19	7.09	93.62
C-S0.25-28-1	7.17	7.09	124.48
C-S0.25-28-2	7.22	7.13	124.38
C-S0.25-28-3	7.12	7.01	126.75
C-S0.5-3-1	7.18	7.16	50.00
C-S0.5-3-2	7.16	7.16	49.99
C-S0.5-3-3	7.25	7.28	50.02
C-S0.5-7-1	7.16	7.06	93.52
C-S0.5-7-2	7.17	7.09	94.26
C-S0.5-7-3	7.15	7.06	103.56
C-S0.5-28-1	7.14	7.12	129.85
C-S0.5-28-2	7.18	7.13	132.72
C-S0.5-28-3	7.21	7.09	129.93
C-S0.75-3-1	7.17	7.18	50.74
C-S0.75-3-2	7.14	7.23	49.18
C-S0.75-3-3	7.18	7.26	50.52
C-S0.75-7-1	7.19	7.08	98.93
C-S0.75-7-2	7.14	7.12	97.36
C-S0.75-7-3	7.19	7.14	98.38
C-S0.75-28-1	7.23	7.13	133.82
C-S0.75-28-2	7.21	7.16	129.81
C-S0.75-28-3	7.23	7.18	132.11

۱ حرف C-B نشان دهنده نمونه بدون نانوسیلیس و نانورس و بعد از آن عدد اول سن بتن و عدد دوم شماره نمونه است که از ۳ نمونه از هر رده سنی ساخته شده است.

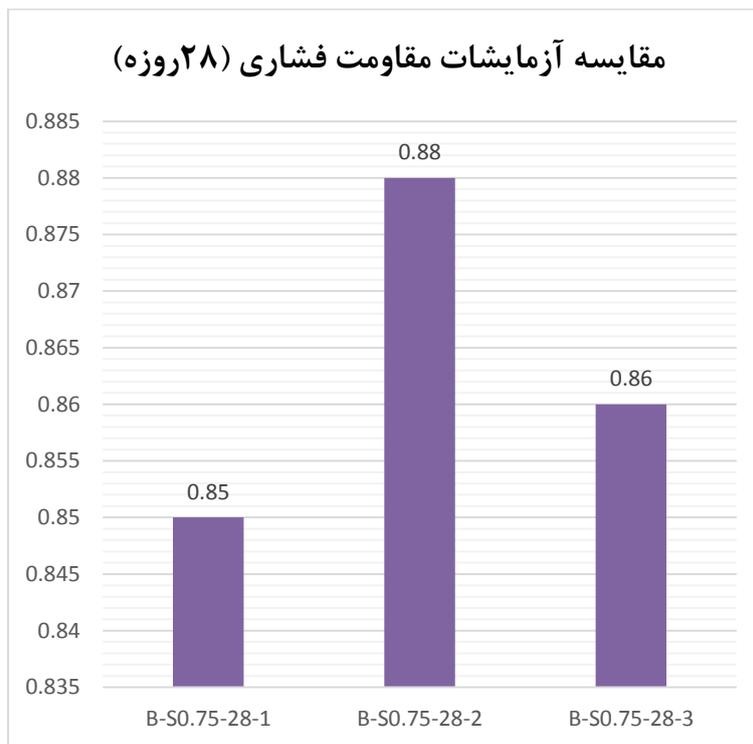
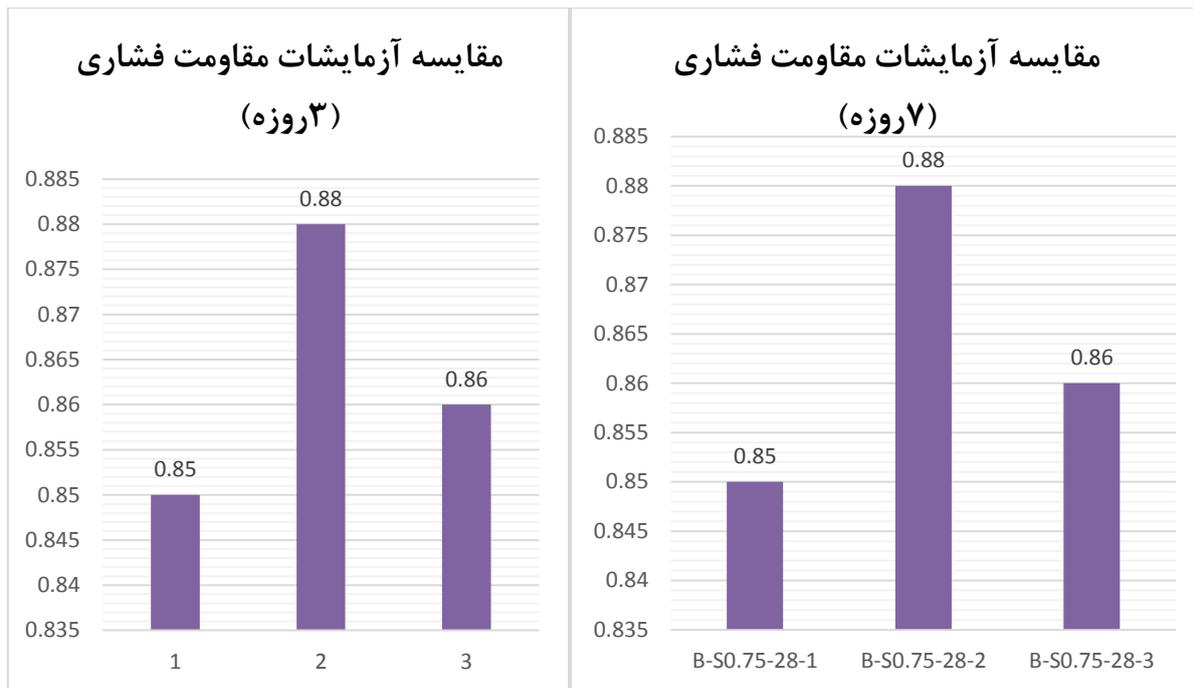
۲ حرف C-S نشان دهنده نمونه با نانوسیلیس و نانورس و بعد از آن عدد اول سن درصد نانوهای موجود و عدد دوم سن بتن و عدد سوم شماره نمونه است



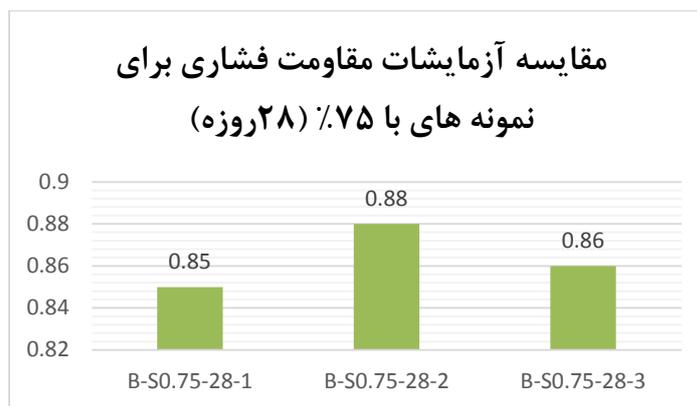
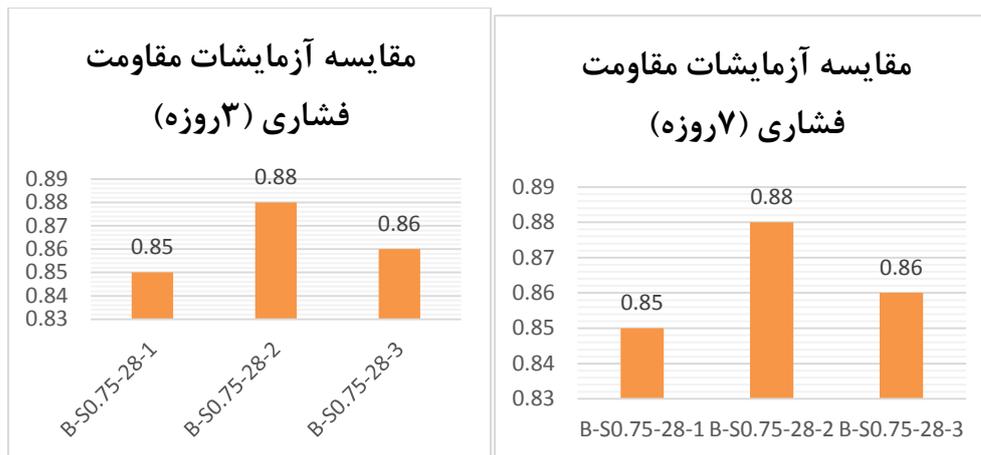
شکل ۲: مقایسه آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های بدون نانوسیلیس و نانورس



شکل ۳: مقایسه آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های با ۲۵٪ نانوسیلیس و نانوس



شکل ۴: مقایسه آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های با ۵۰٪ نانوسیلیس و نانورس



شکل ۵: مقایسه آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های با ۷۵٪ نانوسیلیس و نانورس

همانطور که مشاهده می شود در شکل ۱ تا ۵ با افزودن نانوسیلیس و نانورس مقاومت فشاری در سنین مختلف افزایش یافته است. درصد تغییر مقاومت فشاری نمونه ها با افزودن نانوسیلیس و نانورس برای نمونه ها آورده شده است. با افزایش درصد آنها میزان افزایش مقاومت فشاری بیشتر شده است. بیشترین درصد هم در سن ۷ روزگی است.

۲-۳ آزمایش دونیم کردن

یکی دیگر از مشخصه های بتن که در ترک خوردگی و گسترش آن نقش اساسی دارد مقاومت کششی بتن است.

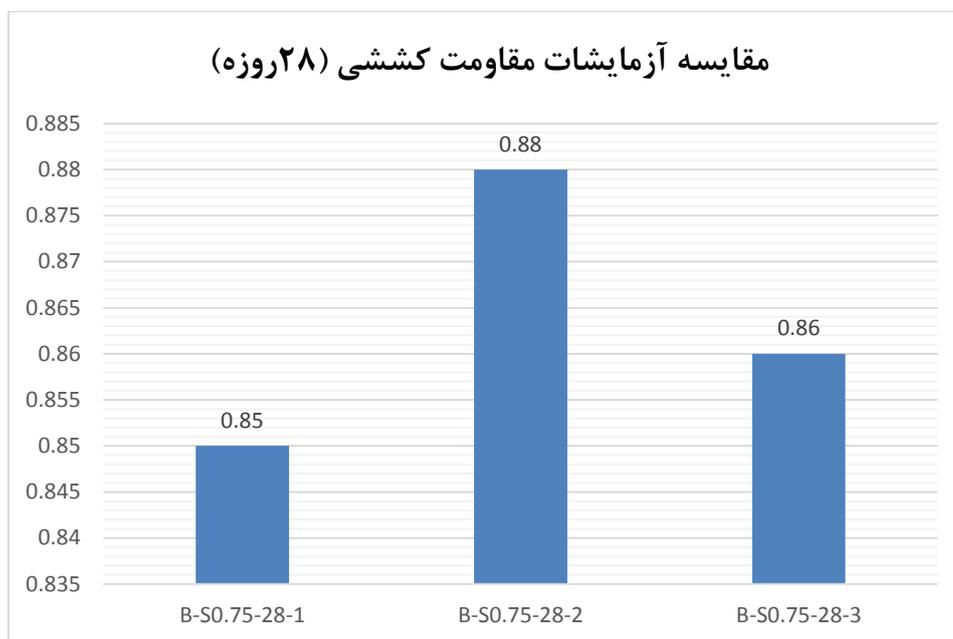
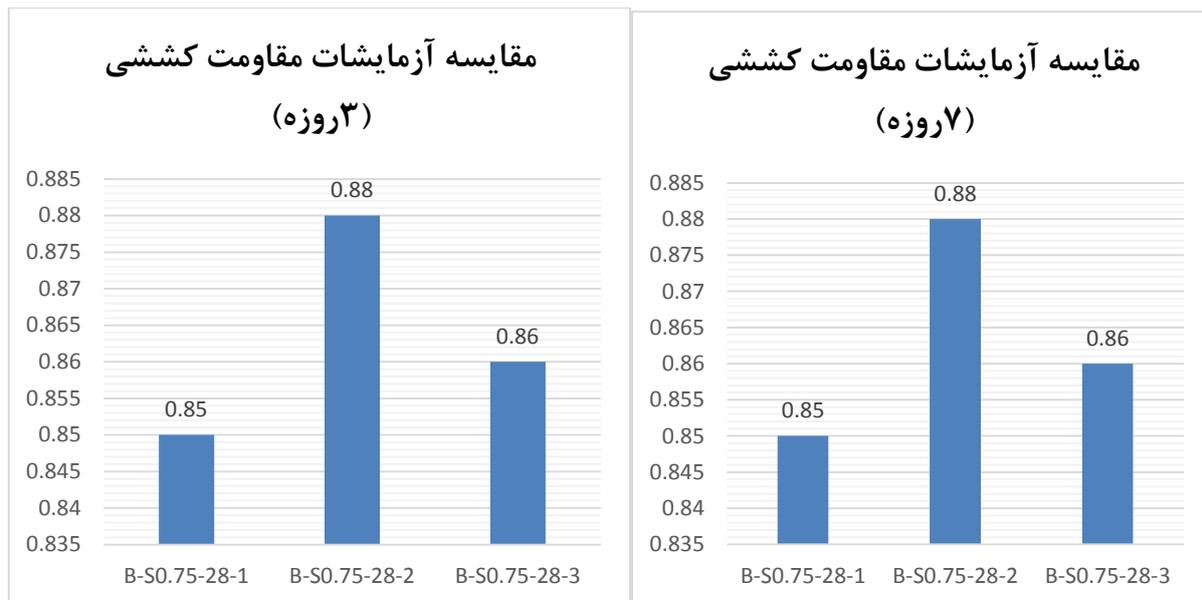
جدول ۱۰: نتایج بدست آمده از آزمایش دو نیم شدن برای نمونه های بدون نانوسیلیس و نانورس

نام بتن	وزن بتن ۱ روزه	وزن بتن ۲۸	مقاومت کششی
B-B-3-1	3.6	3.62	0.33
B-B-3-2	3.59	3.6	0.29
B-B-3-3	3.6	3.6	0.31
B-B-7-1	3.56	3.49	0.52
B-B-7-2	3.58	3.55	0.62
B-B-7-3	3.41	3.49	0.63
B-B-28-1	3.63	3.58	0.79
B-B-28-2	3.62	3.52	0.74
B-B-28-3	3.57	3.49	0.76

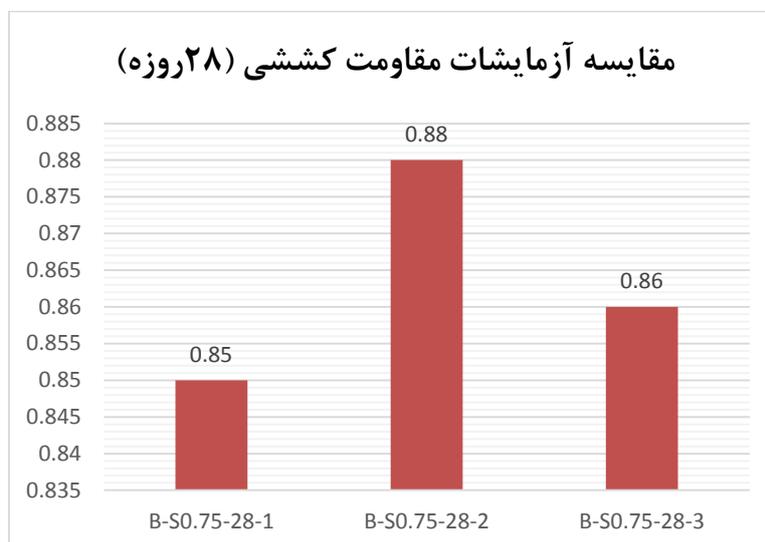
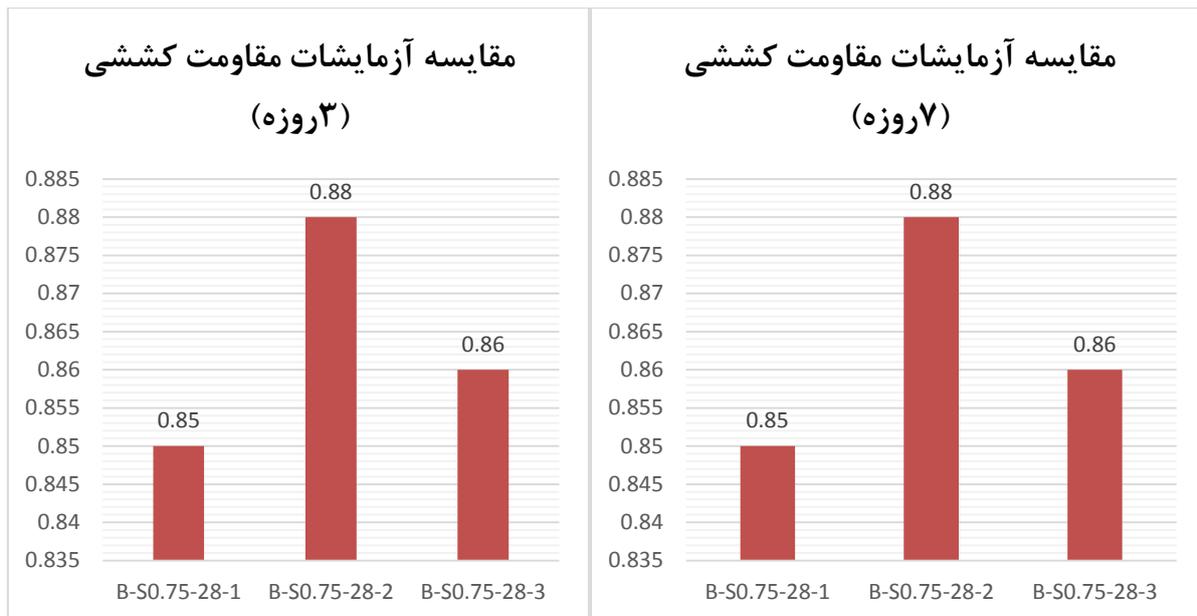
جدول ۱۱: نتایج بدست آمده از آزمایشات مقاومت فشاری برای نمونه های با نانوسیلیس و نانورس

نام بتن	وزن بتن ۱ روزه	وزن بتن ۲۸	مقاومت فشاری
B-S0.25-3-1	3.57	3.58	0.34
B-S0.25-3-2	3.6	3.62	0.35
B-S0.25-3-3	3.62	3.63	0.32
B-S0.25-7-1	3.59	3.53	0.56
B-S0.25-7-2	3.62	3.57	0.61
B-S0.25-7-3	3.59	3.53	0.64
B-S0.25-28-1	3.63	3.67	0.8
B-S0.25-28-2	3.58	3.53	0.84
B-S0.25-28-3	3.54	3.49	0.8
B-S0.5-3-1	3.57	3.58	0.35
B-S0.5-3-2	3.6	3.61	0.37
B-S0.5-3-3	3.56	3.58	0.37
B-S0.5-7-1	3.55	3.5	0.61
B-S0.5-7-2	3.58	3.52	0.64
B-S0.5-7-3	3.59	3.55	0.59
B-S0.5-28-1	3.57	3.52	0.83
B-S0.5-28-2	3.55	3.49	0.86
B-S0.5-28-3	3.54	3.48	0.88
B-S0.75-3-1	3.61	3.63	0.37
B-S0.75-3-2	3.58	3.59	0.39
B-S0.75-3-3	3.56	3.58	0.41
B-S0.75-7-1	3.62	3.56	0.63
B-S0.75-7-2	3.6	3.54	0.64
B-S0.75-7-3	3.57	3.5	0.65
B-S0.75-28-1	3.55	3.49	0.85
B-S0.75-28-2	3.56	3.51	0.88
B-S0.75-28-3	3.59	3.54	0.86

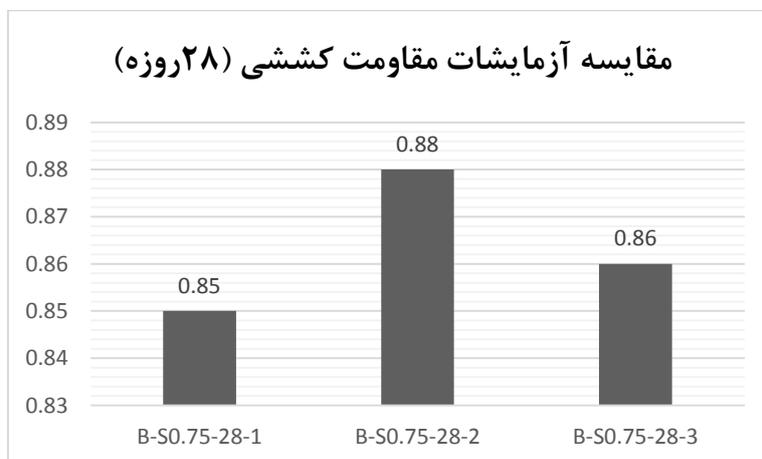
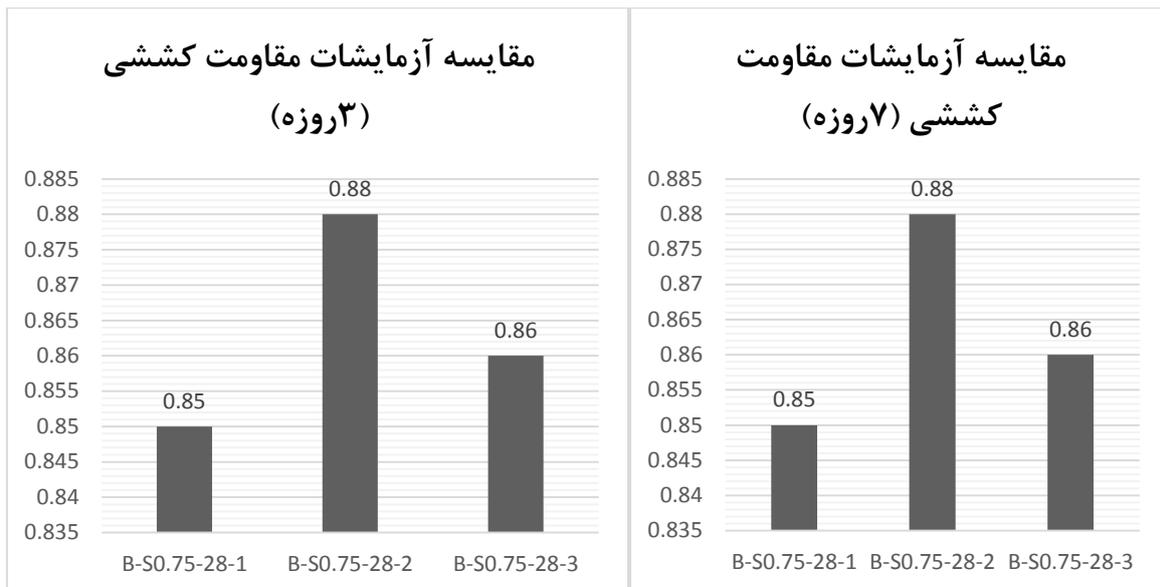
همچنانکه از جداول ۹-۱۰ فوق مشاهده میشود افزودن نانوسیلیس باعث افزایش مقاومت کششی بتن شده است.



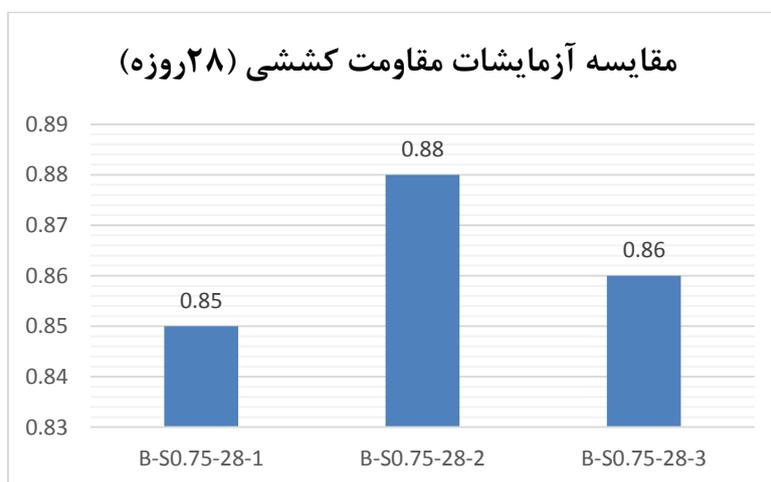
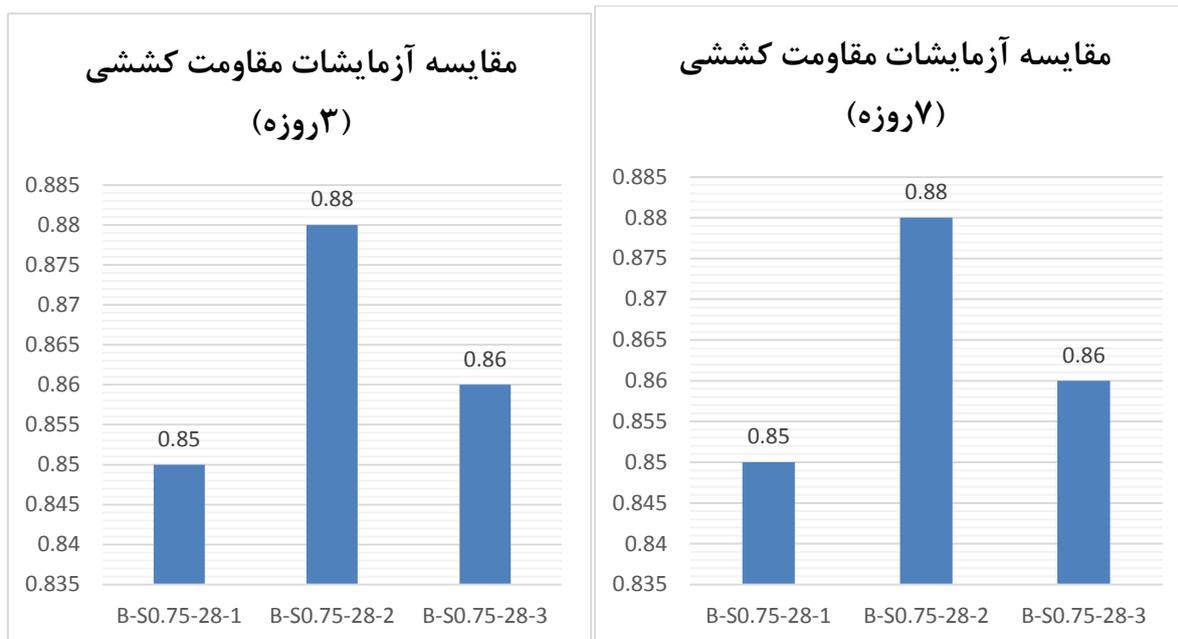
شکل ۷: مقایسه آزمایش دو نیم شدن برای نمونه های بدون نانوسیلیس و نانورس



شکل ۸: مقایسه آزمایش دو نیم شدن برای نمونه های با ۲۵٪ نانوسیلیس و نانورس



شکل ۹: مقایسه آزمایش دو نیم شدن برای نمونه های با ۵۰٪ نانوسیلیس و نانورس



شکل ۱۰: مقایسه آزمایش دو نیم شدن برای نمونه های با ۷۵٪ نانوسیلیس و نانورس

۴- نتیجه گیری

- در این تحقیق تاثیر نانوسیلیس و نانورس بر مقاومت فشاری و کششی بتن سبک با مصالح ذکر شده در بخش های قبلی و با درصد های ۰،۲۵، ۰،۵ و ۰،۷۵ آزمایشات صورت گرفته است که نتایج زیر بدست آمده است؛
۱. با بررسی و بدست آوردن مقاومت نمونه های آزمایش شده بتن به نتایج مورد قبولی دست یافته شده است.
 ۲. مقاومت فشاری و کششی نمونه های بتن با افزایش درصد نانوسیلیس و نانورس افزایش یافته است.
 ۳. افزایش مقاومت فشاری و کششی نمونه ها با افزودن نانوسیلیس و نانورس به میزان درصدهای ۰،۲۵ و ۰،۵۰ و ۰،۷۵ بوده است.
 ۴. درصد افزایش مقاومت فشاری نمونه ها از درصد افزایش مقاومت کششی نمونه ها بیشتر است.
 ۵. افزودن نانوسیلیس تاثیر بیشتری بر مقاومت فشاری نمونه ها نسبت به مقاومت آن ها دارد.

مراجع

- [1] R.Farzad, E.Nohani, M.ghabiti Hasab, AHeydary; 1402, Improving the compressive strength of concrete by using nano fly ash and investigating the interfacial transition zone,10(6)
- [2]Zhang, P. Guan, Q. and Li, Q. (2013),” Mechanical Properties of Plastic Concrete Containing Bentonite,” Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 5(4), 1317-1322.
- [3]B. Domènech, J. Bastos-Arrieta, A. Alonso, J. Macanás, M. Muñoz, and D. N. Muraviev, 2012,—Bifunctional polymer-metal nanocomposite ion exchange materials,|| Ion Exch. Technol., pp. 35–72, 2012
- [4]Z. Rizlan and O. Mamat, 2014,—Process parameters optimization of silica sand nanoparticles production using low speed ball milling method,|| Chinese J. Eng., vol. 2014, 2014.
- [5]M. Zhang, 2016,—The effect of clay minerals on copper and gold flotation,|| 2016.
- [6]H. Z. Harraz, 2017,—Nano clay and it ' s applications By :,|| no. April 2016, 2017.
- [7]S. M. A. El-Gamal, M. S. Amin, and M. Ramadan,2017, —Hydration characteristics and compressive strength of hardened cement pastes containing nano-metakaolin,|| HBRC J., vol. 13, no. 1, 2017.
- [8]Wang, X.; Cheng, F.; Wang, Y.; Zhang, X.; Niu, H. 2020, Impact properties of recycled aggregate concrete with nanosilica modification. Adv. Civ. Eng. 2020, 1–10.
- [9]Younis, K.H.; Mustafa, S. Feasibility of Using Nanoparticles of SiO₂ to Improve the Performance of Recycled Aggregate Concrete. Adv. Mater. Sci. Eng. 2018, 2018, 1–11.
- [10]Jo, B.W. et al., 2006, Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles, Construction and Building Materials, Article in press, doi:9.1016/j.conbuildmat.2005.12.020
- [11]Hui Li , Hui-gang Xiao, Jie Yuan, Jinping Ou,2002 " Microstructure of cement mortar with nano-particles" 10 August 2002.
- [12]Byung-Wan Jo a, Chang-Hyun Kim a,2007*, Ghi-ho Tae b, Jong-Bin Park a,” Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles”, Construction and Building Materials 21.
- [13]Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K. and Rongshen, k., (2007),“Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume”, Construction and Building Materials, Vol.21, pp.539-545.
- [14]Colleparidi, M., Ogoumah O., J., Troli, R., Simonelli, F., and Colleparidi, S., (2007), “Combination of Silica Fume, Fly Ash and Amorphous Nano-Silica in Superplasticized High-Performance Concretes”, Enco, Engineering Concrete, Ponzano Veneto, Italy, 2007.
- [15]Golewski, 2017,G.L. Generalized Fracture Toughness and Compressive Strength of SustaConcrete Including Low Calcium Fly Ash. Materials 10, 1393.
- [16]Tam, V.W.; Soomro, Y.; Evangelista, 2018,A.C.J. A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). Constr. Build. Mater. 172, 272–29

- [17] G. Fahim et al., "Durability performance of modified concrete incorporating fly ash and effective microorganism," *Constr. Build. Mater.*, no. xxxx, p. 120947, 2020, doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.120947.
- [18] Fahim, G., Hussein, Z., Hafizah, N., Khalid, A., Rahman, A., Sam, M., Tahir, M., Hasanah, N., Shukor, A., Alyousef, R., Mirza, J., 2020. Durability performance of modified concrete incorporating fly ash and effective microorganism. *Constr. Build. Mater.* 120947. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120947>
- [19] S. C. Modified, F. Farooq, S. Czarnecki, P. Niewiadomski, and F. Aslam, "A Comparative Study for the Prediction of the Compressive," 2021.
- [20] An Experimental Study on the Effect of High Temperatures on Performance of the Plastic Lightweight Concrete Containing Steel, Polypropylene and Glass Fibers, *Journal of Structural and Construction Engineering* 8 (12), 284-307, 2022
- [21] A Study on the Cementitious Mortars Containing Multi-Walled Carbon Nanotubes and Nanographene, *Journal of Testing and Evaluation* 51 (2), 2022
- [22] A study of mechanical and microstructures properties of autoclaved aerated concrete containing nanographene, *Journal of building engineering* 43, 103106, 2021
- [23] An Investigation on the Effect of High Temperatures on the Mechanical Properties and Microstructure of Concrete Containing Multiwalled Carbon Nanotubes, *Materials Performance and Characterization* 8 (3), 503-517, 2019