

بررسی تاثیر نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن بر خواص مکانیکی و دوام بتن معمولی و بتن سبک

یعقوب محمدی^۱، فرید سیف الهی^۲

- ۱- دانشیار مهندسی عمران-سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲- دانشجوی دکترای مهندسی عمران-سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی

* yaghoubm@uma.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۵/۱۰/۱۸]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۲/۱۷]

چکیده

در این مطالعه اثر نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن روی خواص مکانیکی و دوام بتن معمولی و بتن سبک بررسی شده است. در طرح بتن سبک از سبکدانه لیکا به جای ماسه استفاده شده است. در مجموع بیش از ۳۸۴ نمونه مکعبی و استوانه‌ای براساس استانداردهای ASTM ساخته شد و آزمایش‌های مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیرمستقیم، التراسونیک و مقاومت الکتریکی روی نمونه‌ها انجام پذیرفت. نتایج حاصل از آزمایشها بیانگر افزایش قابل توجهی در مشخصات مکانیکی و دوام بتن معمولی و سبک است، نانوسیلیس به پخش مناسب الیاف کمک میکند. مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیر مستقیم، مدول الاستیسیته دینامیکی بتن معمولی بیشتر از بتن سبک و مقاومت الکتریکی بتن سبک بیشتر از بتن معمولی در نمونه‌های متناظر است. مقاومت فشاری تا ۷۱ درصد در بتن معمولی و تا ۴۳ درصد در بتن سبک و مقاومت کششی تا ۵۵ درصد در بتن معمولی و ۴۷ درصد در بتن سبک افزایش یافته است. افزایش قابل توجه مقاومت الکتریکی نیز نشان از دوام بالای این نوع بتن ها دارد. در نهایت میزان مناسب بکارگیری نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن برای حصول بتن معمولی و سبک با مشخصات بهینه تعیین شد.

واژگان کلیدی: نانوسیلیس، الیاف پلی پروپیلن، خواص مکانیکی، دوام، بتن سبک

۱- مقدمه

در هزینه، زمان و انرژی، زیان های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله را کاهش داده و صدمات ناشی از وزن زیاد ساختمان را به حداقل می‌رساند [2]. با وجود مقاومت فشاری قابل توجه، مقاومت کششی کم و شکنندگی نسبتاً زیاد بتن، استفاده از آن برای قطعاتی که تماماً یا به طور موضعی تحت کشش هستند را محدود می‌نماید. این عیب اساسی بتن در عمل با مسلح کردن آن با استقرار آرماتورهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می‌شود. با توجه به اینکه

امروزه بتن به عنوان یکی از پرمصرفترین مصالح جهان و به عنوان ماده ساختمانی قرن بیست و یکم شناخته شده است [1]. سبک سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روز به روز در حال گسترش و پیشرفت می باشد. این فن آوری عبارتست از کاهش وزن تمام شده ساختمان با استفاده از تکنیک های نوین ساخت، مصالح جدید و بهینه سازی روش های اجرا. کاهش وزن ساختمان علاوه بر صرفه جویی

اقتصادی پیرامون آن پرداخت [11]. حسینعلی بیگی و همکاران با ساخت بتن سبک با مقاومت بالا با استفاده از دانه‌های سبک لیکا و پودر سنگ و میکروسیلیس نشان دادند می‌توان به بتن سبکی با مقاومت فشاری مکعبی از ۳۴ تا ۷۱ مگا پاسکال دست یافت [12]. محمدی و داداشی درصد اختلاط بهینه ترکیب سبکدانه‌های لیکا و پرلیت، همچنین تاثیر نانوسیلیس و الیاف فولادی را روی این نوع بتن بررسی کردند [13]. محمدی و همکاران اثر نسبت‌های مختلف نانوسیلیس و میکروسیلیس را روی مشخصات مکانیکی بتن سبک بررسی کردند [14].

در ادامه این مطالعات به بررسی اثر نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن روی مشخصات بتن معمولی و سبک پرداخته می‌شود.

۲- مواد و مصالح مصرفی

در این قسمت کیفیت و کمیت مصالح استفاده شده برای تهیه نمونه‌های بتنی مورد آزمایش، شرح داده می‌شود.

۲-۱- سیمان

سیمان پرتلند پوزولانی کارخانه سیمان اردبیل با وزن مخصوص 3130 kg/m^3 (مطابق کاتالوگ کارخانه) مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۲- آب اختلاط

از آب آشامیدنی شهر اردبیل برای طرح اختلاطها استفاده شده است.

۲-۳- سنگدانه‌ها

۲-۳-۱- شن و ماسه

سنگدانه‌های استفاده شده، از نوع سنگدانه‌های با وزن معمولی و طبیعی هستند که از معدن گلمغان اردبیل تهیه شده‌اند. شن از نظر ظاهری از نوع زاویه‌ای گوشه‌دار و ماسه نیز از نوع طبیعی خرد شده است. دانه‌بندی سنگدانه‌ها براساس روش بیان شده در استاندارد ASTM-C136 انجام

آرامتور بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع همگن و ایزوتروپ باشد صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می‌شود متداول شده است [3]. بتن حاوی نانو مواد در مقایسه با بتن معمولی تحت تاثیر واکنش‌های شیمیایی نانو مواد با ذرات سیمان و بلورهای هیدروکسید کلسیم موجود در سیمان، عملکرد ماده مرکب بتنی را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد [4]. چونخیانگ^۱ و همکاران نشان دادند که چگونه می‌توان با ترکیب الیاف پلی پروپیلن و الیاف فلزی باعث تقویت مشخصات مکانیکی بتن شد [5]. زنگزی^۲ و همکاران با تحقیق بر آثار الیاف پلی پروپیلن روی بتن نشان دادند که این الیاف به طور قابل ملاحظه‌ای ساختمان میکروسکوپی بتن را تغییر می‌دهند و همچنین می‌توان با الیاف پلی پروپیلن، بلوره شدن Ca(OH)_2 را کاهش داد و به این ترتیب حفره‌های ریز و ترک‌های بتن را پر نمود [6]. لوسیانو^۳ و همکاران با اضافه کردن نانوسیلیس به سیمان نشان دادند که با اضافه کردن نانوسیلیس زمان گیرش و لحظه رسیدن به ماکزیمم درجه حرارت کاهش می‌یابد [7]. شیخ^۴ و همکاران با بهره‌گیری از شیوه نفوذ جیوه (MIP) نشان دادند که استفاده از نانوسیلیس موجب افزایش تراکم سیلیکات‌های هیدراته موجود در خمیر سیمان می‌شود [8]. لی^۵ و همکاران با استفاده از نانوذرات دی‌اکسید سیلیس و دی‌اکسید تیتانیوم در بتن، گزارش کردند که مقاومت سایشی بتن با افزودن نانو ذرات به طور چشمگیری افزایش نشان داده است [9]. جودی^۶ و همکاران، نفوذپذیری بتن‌های سبک در مقابل یون کلراید را با بتن‌های معمولی مقایسه کردند [10]. یداللهی به بررسی مقاومت فشاری و خمشی و مدول گسیختگی و خزش بتن سبک با استفاده از سبک دانه لیکا و مسائل

1 Chunxiang

2 Zengzhi

3 Luciano

4 Shih

5 Li

6 Jodi

۲-۵- ماده افزودنی نانوسیلیس

از محلول Colloidal Silica (Nano Silica) به صورت کلوئیدی با مشخصات جدول (۳) به عنوان نانوسیلیس استفاده شد.

جدول ۳. مشخصات نانوسیلیس

Particle size	Dissolved solid(%)	Density(kg/cm ³)	colour
Smaller than 50 nm	50.9	1.37	colorless

Table 3. Properties of nano silica

۲-۶- ماده افزودنی فوق روان کننده

فوق روان کننده، Super plasticizer 260 محصول شرکت نامیکاران است. این ماده، فوق روان کننده و کاهش دهنده آب موثری است که برای تولید بتن مرغوب به کار می رود و مطابق با ASTM C494 type 4 و استاندارد ۲۹۳۰ نوع (ز) است، شکل (۲) و جدول (۴).

جدول ۴. مشخصات فوق روان کننده

Density(kg/lit)	PH	Colour
1.112	7±1	Brown

Table 4. Properties of super plasticizer

شکل ۲. سمت راست فوق روان کننده و سمت چپ نانوسیلیس



Fig. 2. Super plasticizer in the right hand and nano-silica in the left hand

۲-۷- قالب های ساخت نمونه ها

برای انجام آزمایش های مقاومت فشاری، التراسونیک و مقاومت الکتریکی از قالب های فلزی مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متری و برای انجام آزمایش کششی غیر مستقیم از قالب های فلزی استوانه ای ۲۰×۱۰ سانتی متری استفاده شد. قبل از بتن ریزی در داخل قالب های فلزی، آنها را روغنکاری می کنند تا هیچ گونه چسبندگی بین قالب و بتن وجود نیابد.

۳- روش انجام آزمایش ها و ساخت و عمل آوری نمونه ها

۳۲ نوع طرح اختلاط بررسی شده است (۱۶ طرح اختلاط

شده است. سنگدانه های ریز و درشت با دانه بندی-ASTM C33 همخوانی کامل دارد. دانه بندی سنگدانه های مصرفی در بتن معمولی و بتن سبک در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. دانه بندی سنگدانه های مصرفی

Percentage passing at ASTM C33 Standard					
-	-	4	(3/8)"	(1/2)"	Gravel
-	-	0.15	57.42	100	
100	50	30	16	8	Sand
6.17	17.51	40.1	68.2	85.4	

Table 1. Sieve aggregates analysis

۲-۳-۲- لیکا

سبکدانه مصرفی، لیکای^۱ تولید داخل کشور با محدوده دانه بندی ۰-۵ میلی متری و وزن مخصوص ۱۲۲۵ Kg/m³ با درصد جذب آب ۲۴ ساعته برابر ۳۲ درصد است که در بتن سبک، جایگزین ماسه شده است.

۲-۴- الیاف پلی پروپیلن

الیاف پلی پروپیلن^۲ استفاده شده، الیاف ۱۸ میلی متری و به قطر ۰/۰۲ میکرون تولید شرکت دریم بتن، که مشخصات آن مطابق جدول (۲) است. الیاف پلی پروپیلن در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات الیاف پلی پروپیلن

Amount	Properties
0.9	Density(gr/cm ³)
Hydrophobe	Reaction with Water
3000-4000	Tensile Strength(kg/cm ²)
175	Melting point
18	Length(mm)

Table 2. Properties of polypropylene fibers

شکل ۱. الیاف پلی پروپیلن استفاده شده در آزمایش ها



Fig. 1. Polypropylene fibers used in the investigation

- 1 Leca
- 2 Polypropylene

سیمان بکار رفته است.

در تمامی این طرح اختلاطها میزان فوق روان کننده ثابت و برابر ۲ درصد وزن سیمان در نظر گرفته شده است.

۳-۱- بتن معمولی با نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن

عیار سیمان طبق آزمایش‌هایی که روی سنگدانه‌ها و سیمان انجام شد در بهترین حالت 436.2 kg/m^3 در نظر گرفته شده است. مقدار نسبت آب به سیمان در طراحی بتن بر اساس ACI، ۰/۴۷ بدست آمد که بعد از کسر رطوبت سنگدانه‌ها این نسبت ۰/۳۸ در نظر گرفته شد. در جدول ۵ میزان مصالح مصرفی برای یک مترمکعب بتن معمولی آورده شده است.

جدول ۵. میزان مصالح مصرفی در طرح اختلاط بتن معمولی

W/C	Cement (kg/m^3)	Sand (kg/m^3)	Gravel (kg/m^3)
0.38	436.2	660	1025

Table 5. Materials amount in mix design of ordinary concrete

۳-۲- بتن سبک با نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن

عیار سیمان طبق آزمایش‌هایی که روی سنگدانه‌ها و سیمان انجام شد برابر 500 kg/m^3 در نظر گرفته شد. به دلیل آنکه جذب آب لیکای مصرفی بالاست و ما در آزمایش‌ها از لیکای خشک استفاده کردیم مقدار نسبت آب به سیمان را تا نسبت ۰/۵ بالا بردیم (با احتساب رطوبت سنگدانه‌ها) تا با کاهش شدید اسلامپ مواجه نشویم. برای تعیین نسبت‌های اختلاط اجزای تشکیل دهنده مخلوط بتن از روی مصالح ویژگی‌های بتن، از روش حجم مطلق استاندارد ACI 211 استفاده شده است.

در جدول (۶) میزان مصالح مصرفی برای یک مترمکعب بتن سبک آورده شده است.

جدول ۶. میزان مصالح مصرفی در طرح اختلاط بتن سبک

W/C	Cement (kg/m^3)	Lightweight	Gravel (kg/m^3)
		aggregate (Leca) (kg/m^3)	
0.5	500	500	455

Table 6. Materials amount in mix design of lightweight concrete

برای بتن معمولی و ۱۶ طرح اختلاط برای بتن سبک) و برای هر طرح اختلاط ۱۲ نمونه (۶ نمونه مکعبی و ۶ نمونه استوانه ای و از هر ۶ نمونه، ۳ نمونه برای دوره ۲۸ روزه و ۳ نمونه برای دوره ۹۰ روزه) ساخته شده که در مجموع ۳۸۴ نمونه ساخته شده است.

الیاف پلی پروپیلن قبل از مصرف باید خوب از هم باز شوند تا به راحتی با بتن مخلوط شوند. بهتر است الیاف ابتدا با سنگدانه‌ها مخلوط شود سپس سیمان اضافه شود، این عمل به خاطر آن است که وقتی در ابتدا الیاف با سیمان برخورد می‌کند باعث می‌شود که الیاف به طور یکنواخت در کل بتن پخش نشود و حالت گلوله‌ای به خود بگیرد. طریقه اضافه کردن نانوسیلیس هم این گونه است که ابتدا یک سوم آب با مخلوط اختلاط می‌شود سپس در یک سوم دوم نانوسیلیس اضافه می‌شود و در مرحله بعد، یک سوم آب باقیمانده مخلوط می‌شود. این عمل باعث می‌شود هم نانوسیلیس راحت‌تر به همه جای مخلوط برسد و هم روی پخش مناسب الیاف تاثیر مثبت می‌گذارد.

پس از ساخت مخلوط، بتن در داخل قالب‌ها ریخته شد و پس از ۲۴ ساعت از ساخت نمونه‌ها قالب‌ها را باز کرده و در آب معمولی ۲۰ درجه سانتیگراد برای عمل‌آوری قرار دادیم. پس از گذشت زمان عمل‌آوری (۲۸ و ۹۰ روزه) بتن‌ها را از آب در آورده و آنها را وزن کردیم سپس به مدت ۲۴ ساعت، در فر در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار دادیم تا به صورت کامل خشک شود. بعد از خشک شدن، چند ساعته نمونه‌ها را در هوای معمولی به دمای عادی رساندیم تا برای آزمایش‌ها آماده شوند. نامگذاری طرح اختلاط‌ها به این صورت است که به عنوان نمونه $ON_{0/02}P_{0/001}$ ، O نشان دهنده بتن معمولی، $N_{0/02}$ نشان دهنده این است که در طرح اختلاط به مقدار ۰/۰۲ وزن سیمان، نانوسیلیس به کار رفته است و $P_{0/001}$ نشان دهنده این است که در طرح اختلاط به مقدار ۰/۰۰۱ وزن سیمان، الیاف پلی پروپیلن به کار رفته است. همچنین L نشان دهنده بتن سبک است.

نانوسیلیس در سه مقدار ۲، ۴ و ۶ درصد و الیاف پلی پروپیلن در سه نسبت ۰/۱ و ۰/۲ و ۰/۳ درصد نسبت به وزن

۴- آزمایش‌های انجام شده

فرکانس ۵۰ هرتز و ولتاژ ۲۵۰ ولت برای انجام آزمایش‌ها تنظیم شده است (شکل ۳).

پس از اتمام عمل‌آوری، آزمایش‌های زیر را روی آنها

انجام می‌دهیم:

شکل ۳. آزمایش التراسونیک (تعیین مدول الاستیسیته دینامیکی)



Fig. 3. Ultrasonic test (determining dynamic modulus of elasticity)

۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

آزمایش مقاومت فشاری بتن سخت شده روی نمونه‌های

مکعبی ۱۰ سانتی‌متری، با دستگاه آزمایش فشاری با ظرفیت ۲۰۰۰ کیلو نیوتن (TEKNO test-Italy) با سرعت ۲/۵ کیلو نیوتن بر ثانیه، مطابق ACI C330 انجام شده است. روش انجام آزمایش مقاومت فشاری در استاندارد ASTM C39 بیان شده است.

۴-۴- آزمایش مقاومت الکتریکی

خوردگی پدیده الکتروشیمیایی است که در آن میلگردها بصورت آند و بتن به صورت کاتد عمل می‌کند و یک جریان الکتریکی بین میلگرد و سطح بتن بوجود می‌آید.

۴-۲- آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

مقاومت کششی غیرمستقیم یا مقاومت کششی دونیم شدن نمونه‌های استوانه‌ای بتنی روی نمونه‌های استوانه‌ای ۲۰×۱۰ سانتی‌متری، با همان دستگاه آزمایش مقاومت فشاری با سرعت اعمال بار ۸۰ کیلو نیوتن در دقیقه، مطابق ACI 318-89 انجام شده است. روش تعیین مقاومت کششی دونیم شدن در ASTM C496 بیان شده است.

جدول ۷. رابطه بین مقاومت الکتریکی و خوردگی بتن

Corrosion probability	Electrical resistance (Ωm)
Very low	$200 \leq$
Low	100-200
High	50-100
Very high	$50 \geq$

Table. 7. Relation between electrical resistance and corrosion probability

۴-۳- آزمایش التراسونیک

روش‌های سرعت پالس برای ارزیابی سازه‌های بتنی استفاده شده‌اند و تلاش‌هایی برای ارتباط بین سرعت پالس با مقاومت و سایر ویژگی‌های بتن انجام شده‌اند. کاربردهای گسترده روش‌های سرعت پالس در زیر شرح داده می‌شود:

۱. تصدیق یکنواختی بتن

۲. تصدیق معیارهای پذیرش

۳. تعیین مدول الاستیسیته دینامیکی

۴. تخمین مقاومت بتن

۵. تخمین ویژگی‌های گیرش بتن

۶. مطالعه روی دوام بتن

۷. اندازه‌گیری تخریب بتن در معرض شرایط داغ

روش آزمایش استاندارد برای سرعت پالس التراسونیک

عبوری از بتن براساس ASTM C597 انجام شده است.

مسلماً در این حالت تحرک یونها را شاهد هستیم. هر چه این حرکت بیشتر و سهل‌تر انجام شود به مفهوم آن است که مقاومت در برابر تحرک یونی کمتر است و یا هدایت الکتریکی بتن بیشتر است [15]. بنابراین باید گفت یکی از راه‌های ساده آزمایش دوام بتن، تعیین مقاومت ویژه الکتریکی آن است. وجود رطوبت مقاومت الکتریکی را کم می‌کند. وجود ترک‌های ریز که با آب پر شود هم باعث کاهش مقاومت الکتریکی می‌شود [16]. در اینجا از دستگاه سنجش مقاومت الکتریکی بتن نوع I.S.C.R.M استفاده شده است (شکل ۴). هرچه مقاومت الکتریکی بتن بیشتر باشد، بتن

شکل ۴. دستگاه اندازه گیری مقاومت الکتریکی



Fig. 4. Electrical resistance test machine

بادوام تر و مطلوب تر خواهد بود. (جدول ۷) مقاومت الکتریکی بتن هایی را نشان می دهد که اگر کمتر از ۵۰ اهم متر باشد خطر خوردگی در آنها بیشتر است [17].

این آزمایش هنوز دارای دستورالعمل استاندارد نیست. اما به نظر خیلی از دانشمندان علم بتن، هیچ آزمایشی به سادگی و اعتبار این آزمایش برای تعیین کیفیت بتن، به ویژه از نظر تحرک یون کلر و OH در داخل بتن نیست [15].

جدول ۸. نتایج آزمایش مقاومت فشاری

Compressive Strength (kg/cm ²)				Mix Design Name	Mix Design Number
Light Weight Concrete		Ordinary Concrete			
90 days	28 days	90 days	28 days		
258	237	375	361	ON ₀ P ₀	1
265	243.8	394	386	ON ₀ P _{0.001}	2
278	255.7	397.5	393	ON ₀ P _{0.002}	3
250	230	399	397	ON ₀ P _{0.003}	4
318	311.6	450	437	ON _{0.02} P ₀	5
331.5	324.4	484.5	475	ON _{0.02} P _{0.001}	6
345	338.8	493	483	ON _{0.02} P _{0.002}	7
310.8	304.6	491	471	ON _{0.02} P _{0.003}	8
283	277	510	495	ON _{0.04} P ₀	9
295	289	555.5	544	ON _{0.04} P _{0.001}	10
306	300	560.5	550	ON _{0.04} P _{0.002}	11
277.3	272.4	555.2	546	ON _{0.04} P _{0.003}	12
242	226.1	566	552	ON _{0.06} P ₀	13
249.1	244.2	611	602	ON _{0.06} P _{0.001}	14
260.8	255.6	621	617	ON _{0.06} P _{0.002}	15
233	228.3	620	619	ON _{0.06} P _{0.003}	16

Table 8. Compressive strength test results

شکل ۵. مقایسه نتایج آزمایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه

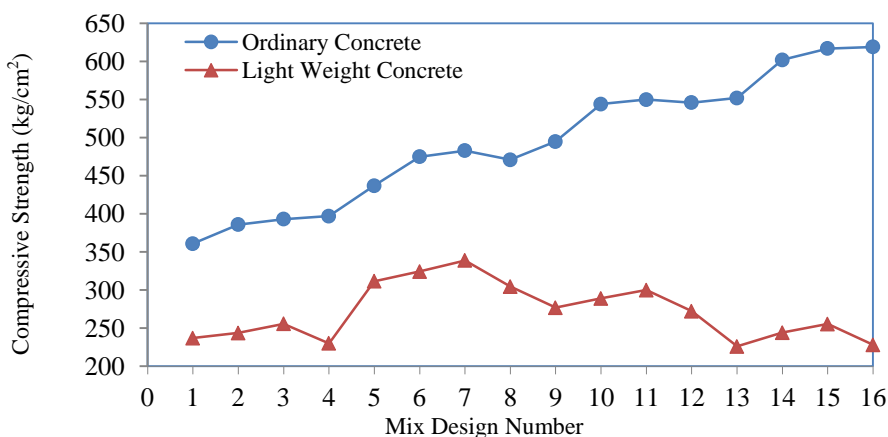


Fig. 5. 28 days Concrete compressive strength diagram

جدول ۹. نتایج آزمایش مقاومت کششی غیر مستقیم

Indirect Tensile Strength(kg/cm ²)				Mix Design Name	Mix Design Number
Light Weight concrete		Ordinary Concrete			
90 days	28 days	90 days	28 days		
22.8	20.5	28	26.5	ON ₀ P ₀	1
26.1	24.5	32	30	ON ₀ P _{0.001}	2
26.9	25.5	32.5	31.3	ON ₀ P _{0.002}	3
27.4	26	33.3	31.5	ON ₀ P _{0.003}	4
28.1	25.3	33.6	32.3	ON _{0.02} P ₀	5
32.2	29	39	37.8	ON _{0.02} P _{0.001}	6
33.1	29.7	38	37.2	ON _{0.02} P _{0.002}	7
33.6	30.2	37	35.1	ON _{0.02} P _{0.003}	8
25.6	23.1	34.7	33.1	ON _{0.04} P ₀	9
30.5	27.6	39.4	37.5	ON _{0.04} P _{0.001}	10
30.9	27.9	41.6	41	ON _{0.04} P _{0.002}	11
31.4	28.3	41.6	39.1	ON _{0.04} P _{0.003}	12
21.7	19.6	33.6	32.6	ON _{0.06} P ₀	13
24.9	22.4	37.4	36.3	ON _{0.06} P _{0.001}	14
25.6	23	39	28.2	ON _{0.06} P _{0.002}	15
26	23.4	40.3	39.7	ON _{0.06} P _{0.003}	16

Table.9. Indirect tensile strength results

شکل ۶. نمودار مقایسه نتایج آزمایش مقاومت کششی ۲۸ روزه

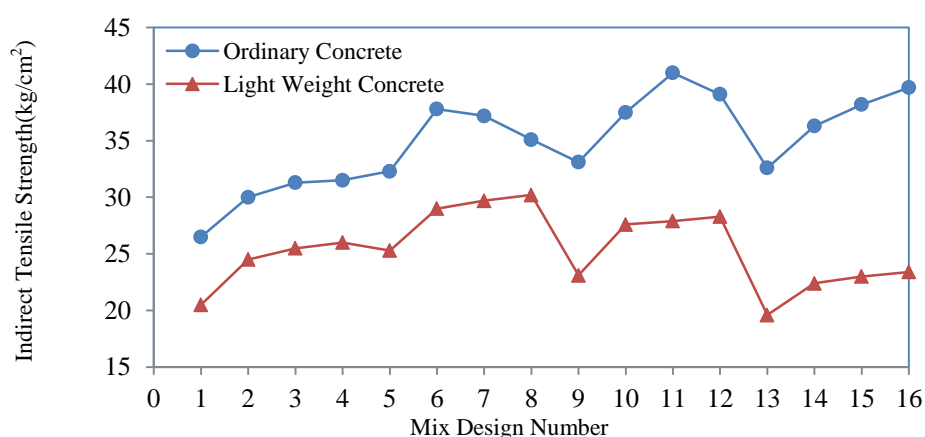


Fig. 6. 28 days Concrete indirect tensile strength diagram

۵- بررسی نتایج حاصل از آزمایش ها

روشنی برای بتن الیافی به ویژه در صنایع خاص مانند صنایع نظامی و هسته‌ای داشته باشد.

- در نسبت الیاف ۰/۰۰۳ بیشتر مشخصه‌های بتن معمولی و سبک کاهش می‌یابد و با نسبت الیاف ۰/۰۰۲ تغییر چندانی نمی‌کند که علت آن پخش نامناسب الیاف در نسبت‌های بالا است.

نتایج حاصل از آزمایش های ۲۸ و ۹۰ روزه در جدول‌های (۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) و نمودار مقایسه آزمایش‌های ۲۸ روزه در شکل‌های (۵، ۶، ۷ و ۸) ثبت شده و مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است.

- در بتن‌های حاوی الیاف پلی‌پروپیلن، کمک نانوسیلیس به پخش مناسب الیاف در همه آزمایش‌ها مشهود بوده است و این عملکرد مناسب الیاف در حضور نانوسیلیس می‌تواند افق

جدول ۱۰. نتایج آزمایش التراسونیک

Dynamic Modulus of Elasticity (kg/cm ²)				Mix Design Name	Mix Design Number
Light Weight Concrete		Ordinary Concrete			
90 days	28 days	90 days	28 days		
25287	25042	36891	35134	ON ₀ P ₀	1
25743	25508	37444	35731	ON ₀ P _{0/001}	2
26077	25812	37600	36258	ON ₀ P _{0/002}	3
26131	25880	37666	36329	ON ₀ P _{0/003}	4
30462	30251	38588	36893	ON _{0/02} P ₀	5
30853	30633	39241	37589	ON _{0/02} P _{0/001}	6
31257	31045	38628	37530	ON _{0/02} P _{0/002}	7
30985	30858	38567	37509	ON _{0/02} P _{0/003}	8
26825	26590	39510	37593	ON _{0/04} P ₀	9
27215	27028	40065	38161	ON _{0/04} P _{0/001}	10
27610	27395	40922	39267	ON _{0/04} P _{0/002}	11
27497	27256	40378	38629	ON _{0/04} P _{0/003}	12
22369	22141	39252	37312	ON _{0/06} P ₀	13
22726	22510	39728	37911	ON _{0/06} P _{0/001}	14
23088	22867	39965	38579	ON _{0/06} P _{0/002}	15
229520	22731	40190	38827	ON _{0/06} P _{0/003}	16

Table 10. Ultrasonic test results

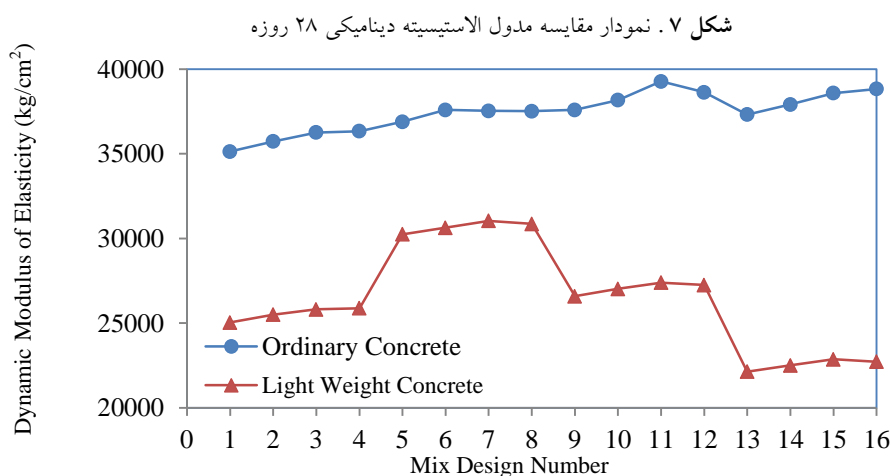


Fig. 7. 28 days dynamic modulus of elasticity diagram

عیب در مخلوط برطرف شود. در مواردی که نانوسیلیس کم است این عیب را فوق روان کننده اصلاح می کند ولی وقتی مقدار نانوسیلیس بیشتر می شود این نقیصه فقط با افزودن نانوسیلیس اصلاح نخواهد شد و باید از روش های دیگر مثل افزایش آب مخلوط استفاده کرد که از این مرحله به بعد مقاومت های فشاری کاهش خواهد یافت.

- در بتن معمولی انتظار می رود با افزایش نسبت نانوسیلیس به بیش از ۰/۰۶، مقاومت فشاری، کششی و مدول الاستیسیته باز هم افزایش یابد ولی در نسبت های بالاتر نانوسیلیس روند افزایش کندتر شده است که علت آن به فعالیت پوزولانی نانوسیلیس مربوط می شود. هر چقدر مقدار نانوسیلیس بیشتر می شود مقادیری از نانوسیلیس مانند سیمان رفتار کرده و مخلوط نیازمند آب بیشتری خواهد بود که باید به نحوی این

جدول ۱۱. نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

Electrical Strength (Ωm)				Mix Design Name	Mix Design Number
Light Weight concrete		Ordinary Concrete			
90 days	28 days	90 days	28 days		
176	156	109	107	LN ₀ P ₀	1
202.4	178	131	130	LN ₀ P _{0/001}	2
290.3	255	183	180	LN ₀ P _{0/002}	3
396	349.2	251	243	LN ₀ P _{0/003}	4
417.6	367	137	130	LN _{0/02} P ₀	5
480	422.4	170	167	LN _{0/02} P _{0/001}	6
688	605.5	238	234	LN _{0/02} P _{0/002}	7
934.4	822	323.3	316	LN _{0/02} P _{0/003}	8
582	512.3	137.3	137	LN _{0/04} P ₀	9
670.3	590	169	167.7	LN _{0/04} P _{0/001}	10
960.5	845	237.9	235.8	LN _{0/04} P _{0/002}	11
1303.7	1146.6	323.8	318.3	LN _{0/04} P _{0/003}	12
714	628	147.2	146.6	LN _{0/06} P ₀	13
821.2	722.6	186	183.3	LN _{0/06} P _{0/001}	14
1178	1036.6	243.4	238	LN _{0/06} P _{0/002}	15
1590	1399	359	354.8	LN _{0/06} P _{0/003}	16

Table 11. Electrical strength test results

شکل ۸. نمودار مقایسه نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی ۲۸ روزه

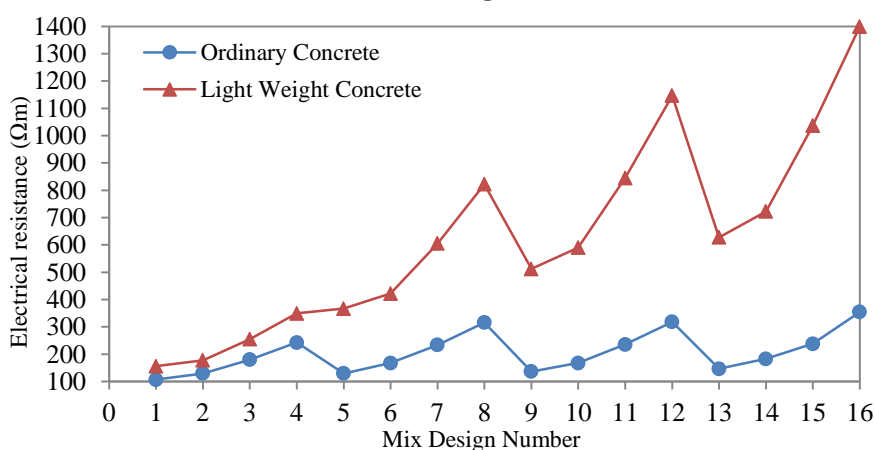


Fig. 8. 28 days electrical strength diagram

در بتن سبک بیشترین افزایش را در طرح اختلاط شماره ۸ داشته است که برابر ۴۷ و ۴۷ درصد به ترتیب در مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه است.

با افزودن نانوسیلیس به بتن‌های حاوی الیاف دو حالت پیش می‌آید. حالت اول مربوط به دانسیته بتن است که با افزودن نانوسیلیس دانسیته بتن افزایش می‌یابد و موجب افزایش مدول الاستیسیته می‌شود. حالت دوم نیز به خاصیت پرکنندگی نانوسیلیس مربوط می‌شود که تا جایی که خلل و فرج سیمان و بتن پر نشده باشد، افزایش نانوسیلیس موجب افزایش مدول الاستیسیته خواهد شد، ولی زمانی که مقدار نانوسیلیس بیش از حد در مخلوط افزایش می‌یابد موجب کاهش مدول الاستیسیته دینامیکی می‌شود.

هم در بتن معمولی و هم در بتن سبک در نسبت الیاف ۰/۰۰۲ و در تمامی نسبت‌های نانوسیلیس، بیشترین افزایش در مقاومت فشاری رخ می‌دهد.

مقاومت فشاری در بتن معمولی بیشترین افزایش را در طرح اختلاط شماره ۱۵ داشته است که برابر ۷۱ و ۶۶ درصد و در بتن سبک بیشترین افزایش را در طرح اختلاط شماره ۷ داشته است که برابر ۴۳ و ۳۴ درصد به ترتیب در مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه است.

در بتن سبک در نسبت الیاف ۰/۰۰۳ و در تمامی نسبت‌های نانوسیلیس، بیشترین افزایش در مقاومت کششی رخ می‌دهد.

مقاومت کششی در بتن معمولی بیشترین افزایش را در طرح اختلاط شماره ۱۱ داشته است که برابر ۵۵ و ۴۹ درصد و

مقاومت فشاری در بیشتر نمونه‌های ۲۸ روزه نسبت به نمونه های ۹۰ روزه بیشتر است.

مدول الاستیسیته دینامیکی در بتن معمولی با افزایش الیاف و با افزایش نسبت نانوسیلیس افزایش می‌یابد. در بتن سبک بیشترین افزایش در نسبت نانوسیلیس ۰/۰۰۲ اتفاق می‌افتد.

تاثیر الیاف در حضور نانوسیلیس در مقاومت الکتریکی و به تبع آن در دوام بتن مشهودتر است. نوع تاثیر نانوسیلیس بر مقاومت الکتریکی نیز می‌تواند شامل ویژگی پرمکنندگی نانوسیلیس، کمک به پخش مناسب الیاف و خاصیت پوزولانی آن باشد. مورد اول زمانی در بتن تعیین کننده خواهد بود که میزان نانوسیلیس کم باشد. در مورد دوم هم نسبت بهینه‌ای برای مصرف هم زمان الیاف و نانوسیلیس وجود دارد که با سعی و خطا در طرح اختلاط می‌توان به آن دست یافت. خواص پوزولانی نانوسیلیس هم زمانی خود را نشان خواهد داد که میزان نانوسیلیس مصرفی از حالت دوم بیشتر باشد.

- در هر دو نوع بتن معمولی و سبک در نسبت الیاف ۰/۰۰۳ بیشترین مقاومت الکتریکی رخ می‌دهد.

- در بتن سبک با افزایش نسبت نانوسیلیس مقاومت الکتریکی افزایش می‌یابد ولی در بتن معمولی افزایش نسبت نانوسیلیس تاثیری در مقاومت الکتریکی ندارد و تنها افزایش نسبت الیاف باعث افزایش مقاومت الکتریکی می‌شود.

- در حالت کلی و بر اساس آزمایش های انجام یافته، در بتن معمولی نسبت نانوسیلیس ۰/۰۴ و نسبت الیاف ۰/۰۰۲ و در بتن سبک نسبت نانوسیلیس ۰/۰۲ و نسبت الیاف ۰/۰۰۲ مناسب ترین نسبت اختلاط است.

۶- نتیجه گیری

افزودن نانوسیلیس و الیاف پلی پروپیلن به بتن معمولی و بتن سبک، بتن توپرتری را بدست می‌دهد که هم نسبت به موارد خواسته شده از بتن الیافی جوابگوست و هم مشخصات مکانیکی به مراتب بالاتری دارد. البته باید به ملاحظات اقتصادی استفاده از آنها نیز توجه کافی مبذول داشت. مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیر مستقیم، مدول الاستیسیته دینامیکی بتن معمولی بیشتر از بتن سبک و مقاومت الکتریکی بتن سبک بیشتر از بتن معمولی در نمونه‌های متناظر است. هم در بتن معمولی و هم در بتن سبک، درصد افزایش در

۷- مراجع

References

- [1] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. "Concrete : Microstructure, Properties, and Materials. (Advanced Concrete Technology)", *Amirkabir University of Technology Publication (Tehran Polytechnic)*, Tehran, 2009. (In Persian)
- [2] Makhdumi, H., Rahgozar, R. "Lightening of Concrete and its Additives – Advantages and Application", *International Conference on Light Weight Construction and Earthquake*, Kerman, 2010. (In Persian)
- [3] Ebrahimpzade Najafabadi, M. "The Effect of Three Internal Fibers on the Cohesion of Concrete and Steel", *Islamic Azad University Kerman Branch, Unpublished MSc Thesis*, 2009. (In Persian)
- [4] Khanzadi, M., Tadayon, M., Sepehri, H., Sepehri, M. "Influence of Nano-Silica Particles on Mechanical Properties and Permeability of Concrete", *Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Italy, 2009.
- [5] Chunxiang, Q., Piet, S. "Fracture Properties of Concrete Reinforced with Steel-Polypropylene Hybrid Fibres", *Southeast University Nanjing 210096*, People's Republic of China, 2006.
- [6] Zengzhi, S., Qinwu, X. "Microscopic, Physical and Mechanical Analysis of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete", *University of Texas at Austin*, TX 78712, USA, 2009.
- [7] Luciano, S., Joao, A.L., Victor, M.F., Dachamir, H., Wellington, L.R. "Effect of Nano-Silica on Rheology", 2009.
- [8] Shih, J.Y., Chang, T.P., Hsiao, T.C. "Effect of Nanosilica on Characterization of Portland Cement Composite", *Materials Science and Engineering*, 2006, A424, 266-274.
- [9] Li, H., Zhang, M.H., Ou, J. "Abrasion Resistance of Concrete Containing Nano-Particles for Pavement" *Water 260*, 2006, 1262-1266.
- [10] Jodi, R.W., Charles, F. "Chloride Permeability of Structural Light Weight Aggregate Concrete Compared with Normal Density Concrete Having Similar Proportions", *Carrollina Stalite Company Research Lab*, 2003.
- [11] Yadollahi, M. "Producing High-Strength Light Weight Concrete and its Cost Analysis", *University of Science and Technology, Unpublished MSc Thesis*, Tehran, 2001. (In Persian)
- [12] Hoseinali Beigi, M., Hoseinian, S.B., Shafigh, P. "Construction of Light Weight Concrete Using Light Weight Aggregate with Stone Powder and Micro Silica", *Engineering Journal of Mazandaran University*, 2003. (In Persian)
- [13] Newman, J., Choo, B. "Advanced Concrete Technology(Concrete Properties)", *First Published*,

Containing Leca, Perlite and Steel Fibers”, University of Mohaghegh Ardabili, *Unpublished MSc Thesis*, 2014. (In Persian)

[17] Dana, H. “Effect of Nano-Silica and Micro-Silica on the Mechanical Properties of Lightweight Concrete Containing Leca Lightweight Aggregates.”, University of Mohaghegh Ardabili, *Unpublished MSc Thesis*, 2011. (In Persian)

Elsevier Ltd, 2003, 280-290.

[14] Ramezaniapur, A.A., Tahuni, Sh., Peydayesh, M. “The Handbook of Concrete”, *Elm o Adab Publication*, Tehran, 2001. (In Persian)

[15] Quercia, G., Brouwers, H. “Application of Nano-Silica (ns) in Concrete Mixture” *8th fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby*, Denmark, 2010.

[16] Dadashi, M. “Effect of Nano-Silica on the Mechanical Properties of Lightweight Concrete

Effects of Nano-Silica and polypropylene Fibers on Mechanical Properties and Durability of Normal and Lightweight Concretes

Y. Mohammadi^{1*}, F. Seifollahi²

1- Assoc. Prof., Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

2- Ph.D. Student, Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

* yaghoumbm@uma.ac.ir

Abstract:

Over the course of time into the 21th century, concrete has been known as one of the most high usage materials in the construction industry. As a consequence, trying to produce light concrete is an active and developing area within the new field of construction science. In spite of considerable amount of compressive strength, low tensile strength and relatively high fragility of the concrete, are limitations in using it in some parts of structures which are partially or fully faced with tensile forces. This fundamental defect of concrete in practice can be eliminated by reinforcing it using steel bars in the direction of traction forces. Having in mind that the steel bar just constitutes a small part of the whole cross section of the structure, it will not be correct to conceive of the cross section of concrete as an isotropic and homogeneous surface. In recent decades, in order to come up with the isotropic condition and decrease the fragility, weakness and retrogression of concrete, new techniques and trends of applying slender fibers running through the internal section of the bulk of concrete has become prevalent and common practice. Nano materials - compared to the normal concrete affected by Nano chemical materials with cement particles and calcium hydroxide crystals which exist in cement - have a severe effect on the performance of concrete composites.

In this study, the effect of Nano-silica and polypropylene fibers on mechanical properties and durability of normal and lightweight concretes are examined. In the design of lightweight concrete, Leca lightweight aggregates were used. More than 384 cubic and cylindrical samples were made based on ASTM standards and compressive strength, indirect tensile strength, ultrasonic and electrical resistance experiments were carried out.

Results of the experiments showed considerable increase in mechanical characteristics and durability of normal and lightweight concretes. Nano-silica contributes to the proper spread of fibers. Compressive strength, indirect tensile strength, and the dynamic elasticity module of the ordinary concrete were higher than those of the light weight concrete, while the electrical resistance of the light weight concrete was higher compared to the corresponding samples.

Compressive strength and indirect tensile strength of Nano-fiber concrete are increased up to 71% and 55% in normal weight concrete and up to 43% and 47% in lightweight concrete, respectively. Considerable increase in electrical resistance indicates high durability of these kinds of concretes. Of course, economic considerations of using Nano-silica and polypropylene fibers require special attention. Finally, the proper amount for the polypropylene fibers and Nano silica were determined in order to achieve normal concrete and lightweight concrete with optimal properties.

Keywords: Nano-silica, polypropylene fibers, mechanical properties, durability, light weight concrete