بهبود عملکرد بتن های معمولی با استفاده از نانو لوله های کربنی چند جداره و مواد افزودنی میکروسیلیس

محمد صادق عباسی فر[1]*، قاسم خادمی[2]، سید محمد میرحسینی[3]، محمد رضا پیرمحمدی[4]

۱- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، ایران

۳- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران

۴- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران

1*:mabbasifar1996@gmail.com

چکیده

بتن به عنوان پر مصرف ترین مصالح ساختمانی شناخته میشود که استفاده از آن همچنان در حال افزایش است. با گسترش استفاده از بتن، اقتصاد، دوام و کیفیت آن اهمیت ویژه ای می‌یابد. از یکسو استفاده از نانو لوله در بتن سبب افزایش مقاومت فشاری و کششی میگردد. لذا استفاده از بتنی که خصوصیات بتن حاوی میکروسیلیس و نانو لوله را با هم داشته باشد کمک شایانی به ساخت سازه‌هایی با عملکرد بالا و با دوام می‌نماید. در این پژوهش به بررسی اثر توأم میکروسیلیس و نانو لوله پرداخته می‌شود. هدف از تحقیق حاضر، بررسی و مقایسه خصوصیات مکانیکی و مقاومتی نمونه‌های بتن سیمانی و نمونه‌های بتن‌های دارای نانولوله و هم چنین بتن‌های دارای نانولوله و میکروسیلیس است. هم چنین بررسی تاثیر تغییرات مقاومت فشاری از میکروسیلیس در دو طرح ۴٪ و ۶٪ وزنی سیمان و هم چنین دو طرح نانولوله با درصد بهینه ۰,۱۵٪ حاوی میکروسیلیس در ماتریس بتنی از دیگر اهدافی بودند که در این پژوهش دنبال شدند. در این پژوهش با انجام آزمایشات لازم بر اساس استانداردهای مربوط، به مقایسه و تحلیل طرح‌های متفاوت ماده میکروسیلیس در طرح اختلاط بتن اصلی پرداخته شده و در تمامی آزمایشات عملکرد بهتر بتن حاوی نانولوله به همراه میکروسیلیس نسبت به بتن سیمانی و بتن‌های صرفا دارای نانولوله مشاهده شد. به‌عنوان نمونه در سنین ۲۸ روزه به طور میانگین بیش از ۳۰ درصد افزایش مقاومت فشاری را در نمونه بتن‌های نانولوله کربنی حاوی میکروسیلیس نسبت به نمونه بتن های حاوی نانولوله بدون میکروسیلیس مشاهده کردیم.

کلمات کلیدی: نانو لوله، خصوصیات مکانیکی، میکروسیلیس، مقاومت فشاری، نانو تکنولوژی

Improve the performance of conventional concrete using multi-walled additives carbon nanotubes and microsilica

Mohammad sadegh abbasifar[1]*, Ghasem khademi[2], seyyed mohammad mirhosayni[3], mohammad reza pirmohammadi[4]

1- Student of Civil Engineering, Islamic Azad University of Arak, Iran

2- Master of Civil-Structural Engineering, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Iran

3- Assistant Professor department of Civil Engineering, Islamic Azad University of Arak, Iran

4- Student of Civil Engineering, Islamic Azad University of Arak, Iran

1*:mabbasifar1996@gmail.com

Abstract

Concrete is the highest consumption buildings material which know till now and to be increase. By increasing of using concrete, economy, performance and quality become more important. In one hand, using MWCNT in concrete increasing tension and compression strength, so using concrete containing both MWCNT and silica fume can help to build structure with high performance and performance. In this experimental study, performance of both silica fume and MWCNT have been surveyed. In this study, mechanical features and strength of normal concrete, concrete containing MWCNT and containing both MWCNT and silica fume have been compared. Also compression strength variation of concrete containing ۴٪ and ۶٪ silica fume and these two type of concrete containing MWCNT have been studied. in this study, by sufficient examinations due related standards, comparison and analysis on different batches containing silica fume have been done and there was a better performance in concrete containing silica fume and MWCNT than normal concrete and concrete containing MWCNT. At the age of ۲۸ days of concrete, concrete containing both silica fume and MWCNT have ۳۰٪ more compression strength than concrete containing only MWCNT have been observed.

Keywords: Nanotube (MWCNT), Mechanical Properties, Microsilica, Compressive Strength, Nanotechnology

مقدمه

فناوری نانو موج چهارم انقلاب صنعتی، پدیده‌ای عظیم است که در تمامی گرایش‌های علمی راه یافته و از فناوری‌های نوینی است که با سرعت هر چه تمام تر در حال توسعه می‌باشد. فناوری نانو فرآیند دستکاری مواد در مقیاس اتمی و تولید مواد و ابزار، به وسیله کنترل آن‌ها در سطح اتم‌ها و مولکول‌ها است. در واقع اگر همه‌ی مواد و سیستم‌ها ساختار زیر بنایی خود را در مقیاس نانو ترتیب دهند ، آن‌گاه تمام واکنش‌ها سریع تر و بهینه تر صورت می‌گیرد و توسعه پایدار پیش گرفته می‌شود [1].

از جمله دستاوردهای فراوان این فناوری کاربرد آن در تولید، انتقال، مصرف و ذخیره سازی انرژی با کارایی بالاست که تحول شگرف را در این زمینه ایجاد می کند. از این رو دست اندرکاران و محققان علوم نانو در تلاش‌اند تا با استفاده از این فناوری به آسایش و رفاه بیشتر در درون و برون ساختمان با یافتن طبقه جدیدی از مصالح ساختمانی با عملکرد بالا و صرفه جویی در هزینه ها به خصوص در مصرف منابع انرژی و در نهایت به توسعه پایدار دست یابند[2].

کاربرد نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان

با توجه به جدید بودن این فناوری هر سال کاربردهای جدیدی از آن در صنایع مختلف معرفی می‌شود. در مورد کاربردهای نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان به طور خلاصه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

بهبود خواص سیمان و بتن، بهبود خواص مکانیکی، افزایش کیفیت سیمان و بتن، جلوگیری از نفوذ عوامل مخرب خارجی به داخل بتن. بر خلاف اینکه مناسب بودن اجزای تشکیل دهنده، ریختن و عمل آوری بتن موجب افزایش طول عمر و کارکرد بتن در بیشتر شرایط طبیعی و صنعتی می گردد، اما خرابی زودرس *سازه-های* بتنی نیز در بعضی مواقع رخ داده و درس‌های ارزشمندی را در مورد کنترل عامل‌های موثر در عدم دوام بتن می‌دهد[3]. بتن از جمله مواد خلل و فرج دار، با منافذ در مقیاس نانو است که این منافذ از واکنش شیمیایی سیمان و آب ایجاد می شوند. این منافذ در مقیاس نانو خصوصیات محصولات هیدراته سیلیس کلسیم را کنترل می‌کند. به همین دلیل، بتن از بعضی جهات یک نانو ماده است. فناوری نانو فرصت‌هایی را برای پیشرفت و بهبود زندگی فراهم می‌کند. نکته قابل توجه در فناوری نانو این است که اکنون به این مقیاس دسترسی داشته و می‌توان همین مسیر را برگردان کرد و از پایین به بالا از اتم به مولکول و ...تا ماده) شروع به ساختن اجسام نمود و محصولاتی را به وسیله قرار دادن اتم‌ها و مولکول‌ها درکنار هم به دست آورد [4].

روش بالا به پایین

این روش عبارت است از کوچک کردن اندازه ساختارها از میکرومتر به نانومتر در واقع این امکان وجود دارد که مواد را آن قدر تجزیه کنیم تا به حد نانومتری برسند. امروزه این عمل توسط شکست فیزیکی و شیمیایی انجام پذیر است.

روش پایین به بالا

این روش مبتنی بر در کنار هم قرار دادن توده‌های اتمی و مولکولی به صورت کنترل شده به منظور ساخت سیستم‌های بزرگتر است. روش تولید پایین به بالا را فقط برای ساخت مواد در مقیاس نانومتری می‌توان استفاده کرد ، اما در روش‌های تولید بالا به پایین هم برای تولید مواد نانو هم برای مواد میکرو کاربرد دارند. استفاده از نانو ذرات باعث بهبود خواص مکانیکی و افزایش کیفیت سیمان و بتن می‌شود. هم چنین نانوذرات و روکش‌های نانویی از نفوذ عوامل مخرب خارجی به داخل بتن که سبب کاهش دوام، پایایی و افزایش سرعت تخریب می شود، جلوگیری می کند. از کاربردهای نانو ساختارها در بتن‌ها می‌توان به استفاده از آن‌ها در بتن‌های با عملکرد بالا و بتن‌های خود تراکم اشاره کرد [5و6]. نانو لوله‌های کربنی از دیگر افزودنی‌های بتن است که با اینکه چگالی در حدود یک ششم چگالی فولاد دارند، مدول یانگ آن‌ها ۵ برابر و استحکام آن‌ها ۸ برابر بیشتر از فولاد است [7]. از این افزودنی نانویی می توان به عنوان یک مسلح کننده مناسب با قابلیت پل‌زدن بین ترک‌ها، کاهش ابعاد و تغییر شکل ترک‌ها استفاده کرد [8]. از جمله خواص منحصربه فرد نانو لوله‌های کربنی مدول الاستیسیته بالا(۱۲۰۰ گیگا پاسکال) و استحکام کششی خوب از یک طرف و طبیعت کربنی بودن نانو لوله‌ها (به این علت که کربن ماده‌ای است کم وزن، بسیار پایدارو ساده جهت انجام فرآیندها، که نسبت به فلزات برای تولید ارزان تر می‌باشند) باعث شده که در دهه گذشته شاهد تحقیقات مهمی در کارایی و پرباری نانو باشیم[9]. افزودن این مواد سبب افزایش مقاومت در برابر حملات شیمیایی می‌شود که این خود دوام و پایداری بتن را به دنبال دارد.از خواص دیگر نانو لوله های کربنی این است که می

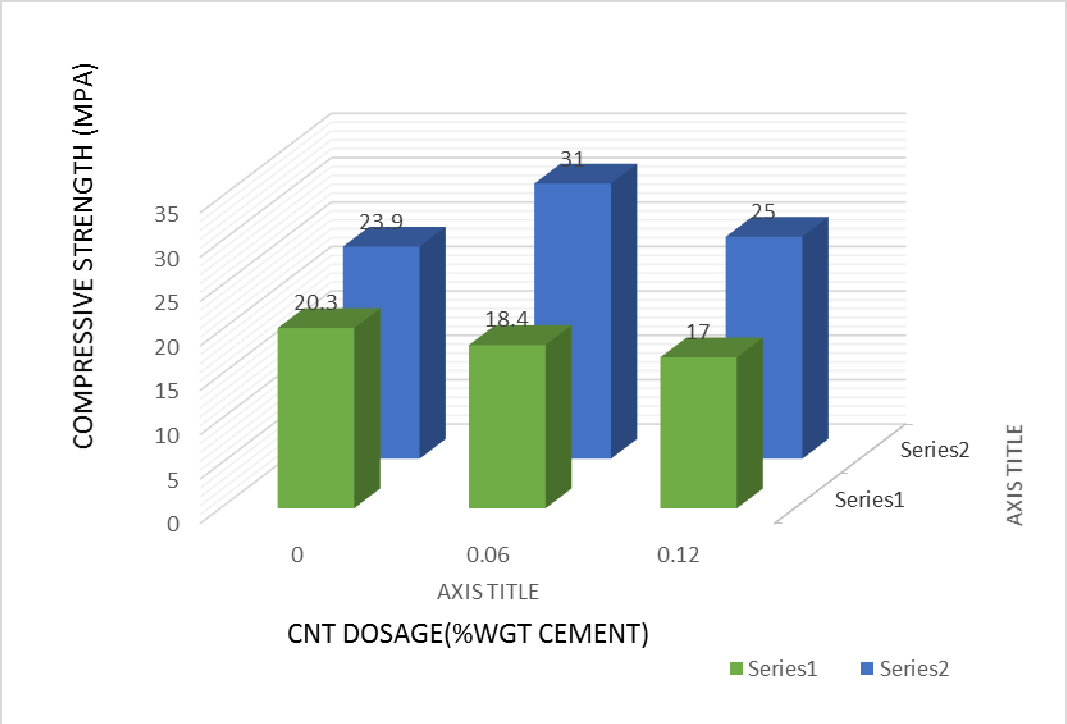
توانند دوران و خم بسیار بالایی را بدون شکستن تحمل کنند. محققان بر این باور بودند که نانو لوله های کربنی چند دیواره عامل دار برای بهبود خواص مقاومت سیمان پرتلند به کار گرفته شد. دلیل ارائه این بود که نانو لوله‌های کربنی عامل دار می‌توانند پیوندهای شیمیایی بین گروه COOH از نانو لوله‌ها و فاز هیدرات سیلیکات کلسیم، از ماتریس سیمان که انتقال تنش را فراهم می‌کند افزایش دهد [10]. مقایسه‌ی خواص نانو لوله‌های کربنی با سایر افزودنی‌های بتن در جدول۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱: مقایسه خواص نانو لوله‌های کربنی با سایر افزودنی‌ها

name	SWNT	DWNT	MWNT	VGCNF	Carbon Fibre	Zylon	Spectra	Kevlar ۴۹	Steel fibers۰٫۱ %
Tensile Strength (GPa)	-	23-63	-	3-20	4-7	5.8	3.1	3.6-4.1	500-2000
Tensile Modulus (GPa)	640	-	1060	50-775	150-950	270	105	130	-
Elongation at break (%)	5.8	28	-	-	0.5-2.5	2.5	2.5	2.8	5-35
Density (g/cm^3)	1.3-1.5	1.5	1.8-2.0	1.9-2.1	1.7-2.2	1.56	0.97	1.44	7900
Electrical Conductivity (S/m)		~10^6			$5.5*10^4$ to $9 * 10^5$		<10^{-13}		-
Typical diameter	1 nm	~۵ nm	~۲۰ nm	60-100 nm		5-10 μm			0.3-0.7 mm

تاثیر نانو لوله‌های کربنی بر مقاومت فشاری کامپوزیت سیمان:

فناوری نانو در ساخت و ساز در سال ۲۰۰۹ توسعه داده شد. مطالعات قبلی نشان داده اند که قدرت مواد سیمانی را افزایش می‌دهند. هم چنین با مقدار کمی از نانو لوله‌ها اگر در سطح ماتریس به طور موثری پراکنده شوند می‌توانند مقاومت‌های مورد نظر را بهبود بخشند. می‌توان خاطر نشان کرد جهت اینکه نانو لوله‌ها اثر مفید روی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های سیمان داشته باشند، پراکندگی آن‌ها بسیار الزامی است. در پژوهشی که توسط مالگورزاتا للوز آلمانی انجام شد، تاثیر افزایش نانولوله‌های کربنی را روی مقاومت فشاری بتن در سنین ۷ و ۲۸ روزه مورد بررسی قرار داد[11]. نکته حائز اهمیت در این پژوهش این است که اگر مقدار کمی نانو لوله در ماتریس بتنی بطور موثر پراکنده شود می‌توانند بطور قابل توجهی استحکام خمشی را افزایش دهد. لازم بذکر است که حتی نتایج بهتری روی مقاومت فشاری بدست آمده است. در این پژوهش از پلی کربوکسیلات (فوق روان کننده) به مقدار ۱٪ وزن سیمان و CNT در درصد وزنی‌های ۰/۰۶ و۰/۱۲ درصد استفاده گردید. نتایج نمونه‌ها در شکل ۱ آمده است.



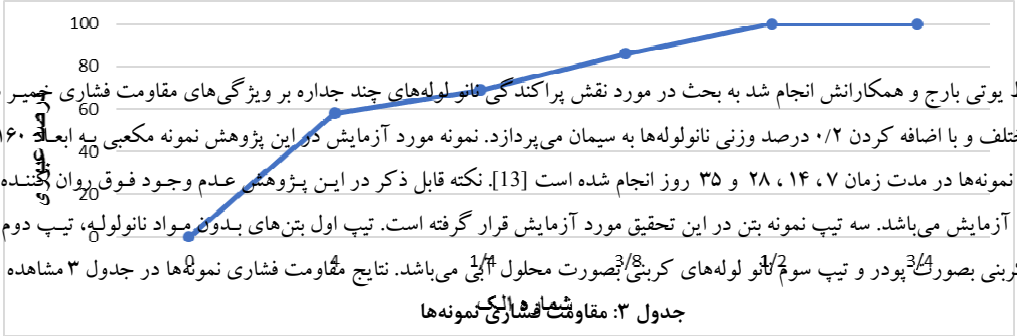
شکل ۱: نمودار مقاومت فشاری و درصد نانو لوله ی کربنی

همان‌طور که در نمودار بالا مشاهده می شود با مقدار ۰/۰۶ و ۰/۱۲ درصد نانو لوله، مقاومت فشاری نمونه ۷ روزه کاهش نشان داده است، این در حالی است که در مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها با ۰/۰۶ و ۰/۱۲ درصد ، به ترتیب ۲۹/۷و ۴/۶ درصد بالاتر از مقاومت فشاری بتن بدون نانو لوله می‌باشد.

پژوهشی در دانشگاه راماپورام توسط گروهی از دانشجویان بر روی ۳۶ نمونه بتن انجام شد که برخی نمونه ها بتن معمولی و ۲۷ نمونه دارای بتن با نانو لوله-های چند جداره بودند. شایان ذکر است که در نمونه‌ها از فوق روان کننده سورفاکتانت (کربوکسیلات) استفاده شده است. درصدهای وزنی نانولوله‌ها بر حسب درصد وزنی سیمان و از قرار ۰/۰۱۵ و ۰/۰۳ و ۰/۰۴۵ می باشد [12]. بتن استفاده شده از درجه M۳۰ ، ماسه عبوری از الک ۴,۷۵ میلیمتر و درشت دانه به قطر ۲۰ میلیمتر و نسبت آب به سیمان ۰,۴ می‌باشد. افزایش مقاومت فشاری نمونه ۲۸ روزه با ۰/۰۴۵ درصد نانو لوله، ۲۷ درصد افزایش نشان داده، این در حالی است که مقاومت کششی ۴۵ درصد افزایش داشته است. انتشار ترک کاهش داشته و جذب آب ۱۷درصد کمتر شده است. جدول ۲ افزایش نفوذناپذیری نمونه‌های ساخته شده با نانو لوله‌های چند جداره را نشان می‌دهد. با افزایش درصد نانولوله‌ها جذب آب کاهش پیدا کرده است. با اضافه کردن نسبت ۰/۰۴۵ درصد نانولوله، جذب آب ۱۷/۷۶ درصد کاهش نشان داده است.

جدول ۲: درصد نانو لوله و درصد جذب آب و کاهش جذب آب

Si.No	% of MWCNT	% of water absorption	% Reduction in water absorption
1	Conventional concrete	0.5873	-
2	0.015	0.5273	10.22
3	0.030	0.5027	14.41
4	0.045	0.483	17.76



در پژوهشی که توسط یوتی بارج و همکارانش انجام شد به بحث در مورد نقش پراکندگی نانو لوله‌های چند جداره بر ویژگی‌های مقاومت فشاری خمیر سیمان با روش اختلاط‌های مختلف و با اضافه کردن ۰/۲ درصد وزنی نانولوله‌ها به سیمان می‌پردازد. نمونه مورد آزمایش در این پژوهش نمونه مکعبی به ابعاد ۴۰*۴۰*۱۶۰ میلیمتر و عمل آوری نمونه‌ها در مدت زمان ۷، ۱۴، ۲۸ و ۳۵ روز انجام شده است [13]. نکته قابل ذکر در این پژوهش عدم وجود فوق روان کننده در طرح اختلاط بتن‌های مورد آزمایش می‌باشد. سه تیپ نمونه بتن در این تحقیق مورد آزمایش قرار گرفته است. تیپ اول بتن‌های بدون مواد نانولوله، تیپ دوم بتن‌های حاوی نانو لوله‌های کربنی بصورت پودر و تیپ سوم نانو لوله‌های کربنی بصورت محلول آبی می‌باشد. نتایج مقاومت فشاری نمونه‌ها در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳: مقاومت فشاری نمونه‌ها

Curing days	Pure cement aqueous mixing without mwcnts	Mwcnts. cement powder form	Mwcnts.cement aqueous form
7	12.53	13.5	15
14	14.47	15.65	17.37
28	17.05	18.5	20.08
35	17.20	18.63	20.20

خواص نانو لوله‌های کربنی

خواص مکانیکی و حمل و نقل ذاتی نانو لوله‌ها، آن‌ها را به الیاف کربن کاملی تبدیل کرده در جدول ۴ مقایسه این خواص با سایر مواد مهندسی مشاهده می‌شود.

جدول ۴: خواص مکانیکی نانو لوله ی کربنی

Fiber Material	Specific Density	E (TPa)	Strength (GPa)	Strain at Break (%)
Carbon Nanotube	1.3 - 2	1	10 - 60	10
HS Steel	7.8	0.2	4.1	< ۱۰
Carbon Fiber - PAN	1.7 - 2	0.2 - 0.6	1.7 - 5	0.3 - 2.4
Carbon Fiber - Pitch	2 - 2.2	0.4 - 0.96	2.2 - 3.3	0.27 - 0.6
E/S - glass	2.5	0.07 / 0.08	2.4 / 4.5	4.8
Kevlar* ۴۹	1.4	0.13	3.6 - 4.1	2.8

جزییات آزمایش

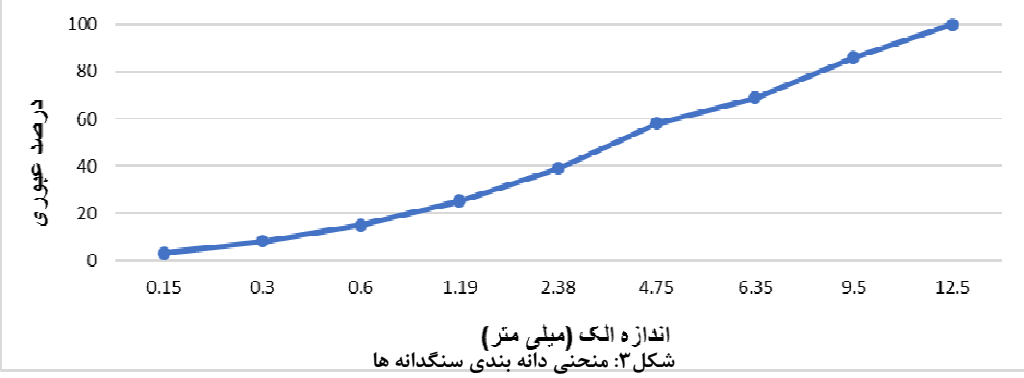
۱– مصالح مصرفی

۱–۱–سنگدانه‌ها:

در این پژوهش، از شن کوهی موجود در شهر اراک با منحنی دانه‌بندی شکل ۲ و ماسه کوهی با منحنی دانه‌بندی شکل ۳ استفاده شد. حداکثر اندازه درشت دانه 12/5 mm می‌باشد.

شکل ۲ : منحنی دانه بندی درشت دانه

وزن مخصوص درشت دانه نیز ۲/۷۱ گرم بر سانتی متر مکعب مطابق با ASTM C۱۲۷-۸۸ بدست آمد. جذب آب درشت دانه‌های مصرفی نیز ۵/۱درصد بدست آمد. وزن مخصوص خشک میله خورده برای شن ۱۵۹۴ کیلوگرم برمترمکعب، مطابق با ASTM C۲۹-۷۸ بدست آمد. وزن مخصوص و جذب آب ماسه مصرفی مطابق با ASTM C۱۲۸-۸۸ بترتیب ۲/۵۹ گرم بر سانتی متر مکعب و ۴/۷ درصد بدست آمد. لازم به ذکر است آزمایش‌ها با ماسه دارای SE = ۹۸/۴ و مدول نرمی ۲/۷۹ انجام گرفت (شکل۳).



شکل۳: منحنی دانه بندی سنگدانه ها

۲-۱سیمان

در این پژوهش برای ساخت نمونه‌های بتنی از سیمان پرتلند تیپ ۲ دلیجان با چگالی دانه‌ای ۳/۱ گرم بر سانتی متر مکعب و با مشخصات مندرج در جدول ۵ استفاده شده است.

جدول ۵: مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی

ترکیب شیمیایی سیمان	درصد تشکیل دهنده	ترکیب شیمیایی سیمان	درصد تشکیل دهنده
Sio۲	20.90	K۲o	0.60
Al۲o۳	5.5	Cl	0.013
Fe۲o۳	4.30	Loi	0.93
Cao	65.02	C۳s	60.80
SO۳	1.80	C۳a	6.0
Mgo	1.02	C۴af	13.00

۳–۱ نانو لوله های کربنی چندجداره (MWCNT)

این مواد به صورت پودری شکل تهیه شد و مشخصات فنی آن در جدول ۶ مشخص شده است.

جدول۶: مشخصات فنی نانو لوله کربن چندجداره (MWCNT)

خلوص (ذرات نانو کربن)	>98 wt%
خلوص (عنصر کربن)	>99 wt%
قطر خارجی	5-15 (nm)
قطر داخلی	3-5 (nm)
طول	50 (μm)
مدول یانگ	1200 (GPa)
استحکام کششی	150 (GPa)
چگالی	2.6 (g/cm۳)

۴–۱میکروسیلیس

میکروسیلیس مصرفی تهیه شده از شرکت فروآلیاژ ازنا می‌باشد. مشخصات شیمیایی میکروسیلیس مصرفی در جدول ۷مشخص شده است.

جدول ۷: مشخصات فنی میکروسیلیس

شکل ظاهری	**پودر خاکستری رنگ**
پایه شیمیایی	پوزولان متشکل از ۹۸درصد ذرات فعال sio۲
وزن مخصوص	۱۵۰–۳۰۰ کیلوگرم در متر مکعب
قطر ذرات	۰,۰۲–۰,۰۵ میکرون
قلیاییت	۰/۹۷۴درصد
سطح ویژه	۲۰ متر مربع بر گرم

۲– برنامه ی آزمایشگاهی

ساخت بتن نانو لوله همانند بتن سیمانی انجام می‌شود و قبل از اینکه فرآیند مخلوط کردن مصالح انجام گیرد بخصوص سیمان، ابتدا پودر نانو لوله کربنی را در حمام آلتراسونیک به مدت ۳۰ دقیقه با آب همگن می کنیم. زیرا این نوع پودر با آب به هیچ عنوان همگن نمی‌شود. گیج دستگاه مقدار آب مشخص شده در ظرف مخصوص اختلاط را نشان می‌دهد. بعد از همگن شدن پودر نانو لوله با آب، سیمان را به مخلوط اضافه می کنیم. دلیل این کار این است که باید مخلوط آب و نانو

لوله در ذرات سیمان نفوذ کند.

شن را شسته و در دستگاه اون خشک می‌کنیم. سپس شن و ماسه توزین شده را درون سینی آزمایشگاهی ریخته و در گام بعدی سیمان را به مخلوط اضافه کرده و به مدت ۳۰ ثانیه اختلاط انجام می‌شود.در مرحله بعد نیمی از آب را به مخلوط اضافه کرده و مخلوط را بهم می‌زنیم و در پایان آب باقی مانده را به مخلوط اضافه می‌کنیم و فرآیند اختلاط انجام می‌شود. سپس مصالح را در ۳ الی ۴ لایه در قالبی که از قبل به وسیله روغن سطح داخلی آن‌ها خوب چرب شده است می‌ریزیم و به وسیله یک میله با کوبیدن آن عملیات ویبره را انجام می‌دهیم. بعد از پر شدن قالب‌ها عملیات پرداخت سطح نمونه‌ها را انجام می‌دهیم. سپس نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت زیر پوشش پلاستیکی به منظور حفظ رطوبت بتن قرار می‌دهیم.

۱-۲ طرح اختلاط :

روش تعیین طرح اختلاط روش حجمی مطابق با ACI ۲۱۱-۰۹ است. در این روش حجم بتن تازه تهیه شده با جمع حجم‌های مطلق مواد سیمانی، سنگدانه‌ها، آب و هوای محبوس مساوی در نظر گرفته می‌شود. طرح اختلاط بتن سیمانی در جدول ۸ مشاهده می کنیم.

جدول۸: طرح اختلاط بتن سیمانی

شماره طرح	سمان	آب	آب به سیمان	شن	ماسه
TC	۳۵۰	۱۵۷,۵	۰,۴۵	۷۵۷	۱۰۴۵

برای بتن دارای نانو لوله نیز از طرح اختلاط جدول ۹ استفاده می کنیم. لازم به ذکر است که این نمونه حاوی ۰,۱۵ درصد وزنی سیمان، نانو لوله کربنی چندجداره می‌باشد.

جدول ۹: طرح اختلاط بتن نانو لوله ی کربنی

شماره طرح	سیمان kg/m^3	آب kg/m^3	آب به سیمان	شن kg/m^3	ماسه kg/m^3	MWCNT
$TCNT_2$	۳۵۰	۱۵۷,۵	۰,۴۵	۷۵۷	۱۰۴۵	۰,۱۵

۲-۲طراحی آزمایشات

مقاومت فشاری بتن

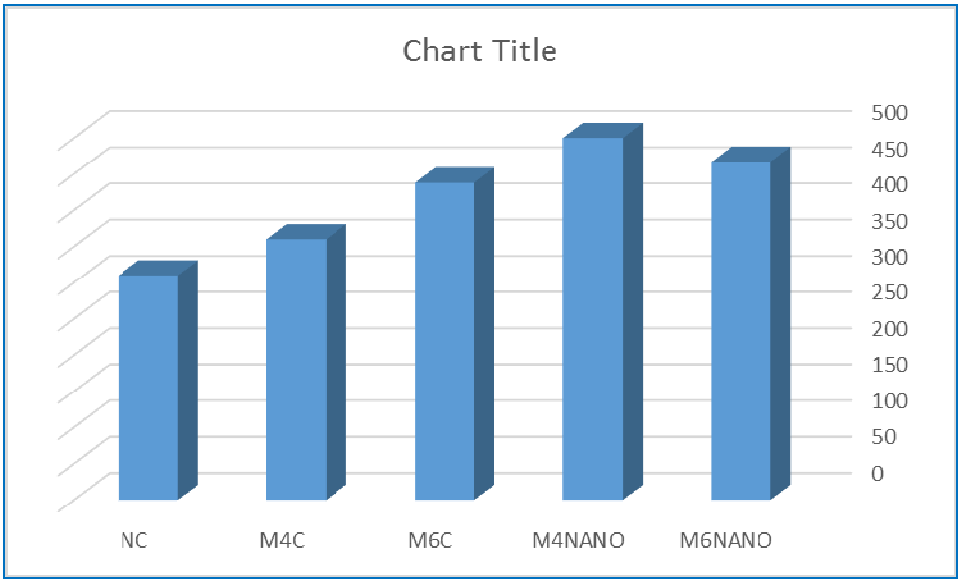
در پژوهش انجام گرفته تمامی آزمایش‌های مقاومت فشاری روی نمونه‌های مکعبی (cm 10×10×10) صورت گرفته است و همچنین به دلیل وجود اطلاعات جامع در مورد انواع نمونه‌ها، در اینجا فقط نوع مکعبی شرح داده‌شده است. در این آزمایش نمونه‌های مکعبی در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه مورد تست و بررسی قرار گرفتند. شایان ذکر است که تمامی نمونه‌ها ۲۴ ساعت قبل از این که زیر جک مقاومت فشاری قرار بگیرند در محیط آزمایشگاه در دما ۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده شده‌اند. در جدول ۱۰ نتیجه آزمایش مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه آورده شده است.

جدول ۱۰: نتایج تست مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ و ۹۰ روزه

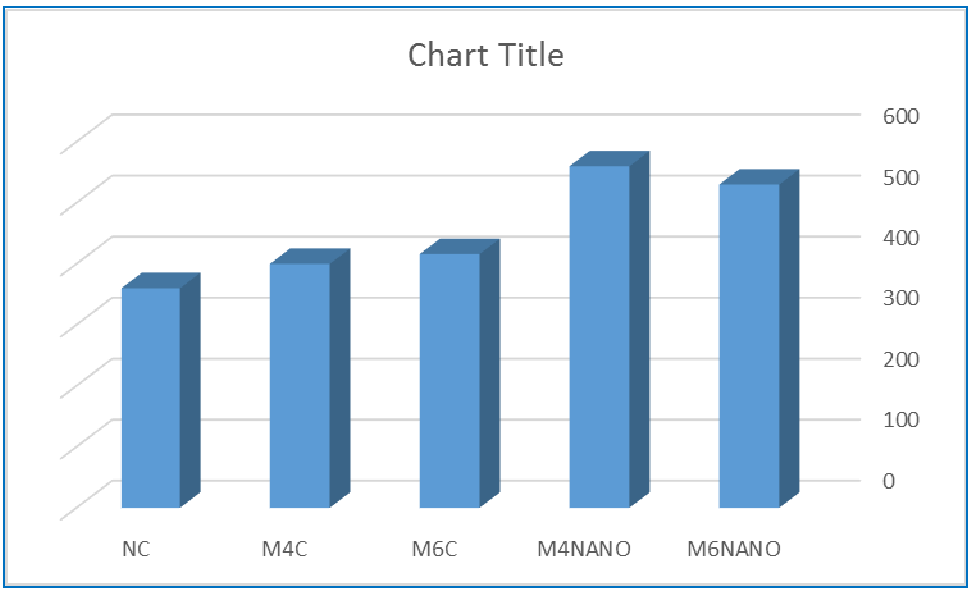
	مقاومت فشاری kg/cm۲		
نوع بتن	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
M۴C	۳۶۰	۴۰۰	۴۵۶
M۶C	۴۳۸	۴۱۶	۴۶۰
M۴NANO	۵۰۰	۵۶۰	۵۷۱
M۶NANO	۴۶۷	۵۳۰	۵۵۰
NC	۳۱۰	۳۶۰	۳۶۰

در جدول ۱۰، طرح NC طرح شاهد بتن سیمانی می‌باشد. طرح M۴C و M۶C همان طرح بتن سیمانی می‌باشند که به آن‌ها بترتیب ٪۴ و ٪۶ وزن سیمان میکروسیلیس اضافه شده است و دو طرح M۴NANO و M۶NANO همان طرح‌های حاوی میکروسیلیس می‌باشند که به آن‌ها مقدار ٪۰/۱۵ وزن سیمان، نانو لوله کربن چند جداره اضافه شده است.

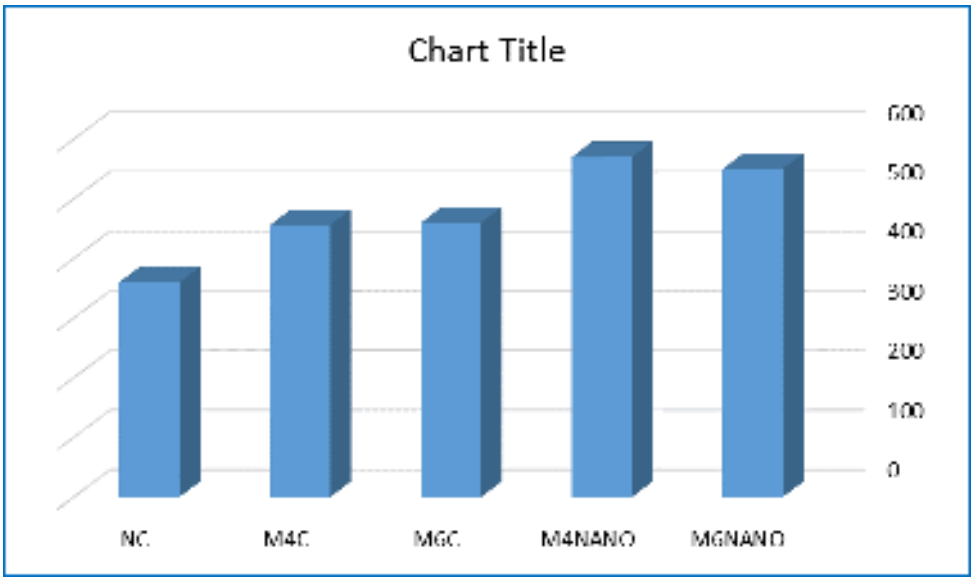
در نمودارهای میله‌ای شکل‌های ۴، ۵و ۶ بصورت کمی تغییرات مقاومت فشاری نمونه‌ها در سنین مختلف مشاهده می‌شود.



شکل ۴: نمودار مقاومت فشاری ۷ روزه با درصدهای میکروسیلیس و نانولوله کربنی



شکل ۵ : نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه با درصدهای میکروسیلیس و نانولوله کربنی



شکل ۶ : نمودار مقاومت فشاری ۹۰ روزه با درصدهای میکروسیلیس و نانولوله کربنی

در نمونه‌های ۷ روزه در طرح M۴C، ۱۶ درصد افزایش، طرح M۶C، ۴۰ درصد افزایش، طرح M۴NANO، ۶۰ درصد افزایش و طرح M۶NANO، ۵۰ درصد افزایش مقاومت فشاری را مشاهده کردیم. درنمونه‌های ۲۸ روزه در طرح M۴C ، ۱۱ درصد افزایش، طرح M۶C، ۱۵درصد افزایش، طرح M۴NANO، ۵۵درصد افزایش و در طرح M۶NANO، ۴۷درصد افزایش مقاومت را شاهد بودیم. در نمونه‌های ۹۰ روزه در طرح M۴C ، ۲۶ درصدافزایش، در طرح M۶C، ۲۷درصد افزایش، در طرح M۴NANO، ۵۸ درصد افزایش و در طرح M۶NANO، ۵۲ درصد افزایش مقاومت فشاری را مشاهده کردیم. از نتایج سنین آزمایش مشاهده می-شود که نمونه‌های بتن نانولوله در مدت زمان بیشتر کارایی بالاتری را نشان می‌دهند. همان‌طور که می‌بینیم نمونه‌های ۹۰ روزه افزایش چشمگیری را نسبت به نمونه-های ۲۸ روزه نشان می‌دهند. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری نمونه حاوی ۰/۱۵ درصد وزنی سیمان نانو لوله کربنی در مقایسه با نتایج پژوهش شهرجردی[۱۴] که افزایش مقاومت فشاری ۲۵ و ۳۷درصد بترتیب برای سنین ۲۸ و ۹۰ روزه را نشان داده بود که نشان دهنده صحت و درستی انجام آزمایشات و

نحوه اختلاط مواد نانولوله کربنی در ترکیب بتن می‌باشد.

از نتایجی که در پژوهش حاضر حاصل می‌شود نانولوله‌های کربنی در ماتریس سیمانی نقش پل زنی بین اجزای تشکیل دهنده ماتریس که این موضوع ناشی از پراکندگی صحیح این مواد در نمونه بتنی مورد نظر می‌باشد را دارد. میکروسیلیس نقش پرکننده را در بین سایر اجزا تشکیل دهنده مخلوط بتنی دارد. از این رو نمونه بتنی مورد آزمایش مقاومت فشاری قابل قبولی را نسبت به نمونه شاهد بتنی کسب کرده است. تاثیر افزایش درصد وزنی افزودنی میکروسیلیس باعث افزایش تاثیر منفی در خواص بتن تازه گشته است. بیشترین مقاومت فشاری در سنین ۷ روزه و ۹۰ روزه مربوط به طرح M۴NANO می‌باشد. این در حالی است که نمونه‌ی M۶NANO که دارای درصد میکروسیلیس بیشتری نسبت به M۴NANO می‌باشد مقاومت کمتری را نشان می‌دهد. استفاده از نانولوله‌های کربنی تاثیر قابل توجهی بر رفتار مکانیکی بتن تحت فشار و مقابله با ریزترکها می‌گذارد.

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی مقاومت فشاری بتن‌های دارای نانولوله‌های کربنی حاوی میکروسیلیس پرداخته شد. شایان ذکر است نمونه‌های بتن سیمانی نیز جهت مقایسه عملکرد ساخته شده در زمان ها و سنین مشابه مورد تست و بررسی قرار گرفت. در سن ۷ روز کمترین میزان مقاومت فشاری برای نمونه‌های شاهد بتن سیمانی بوده است. در سن ۲۸ روز نیز بهترین عملکرد مربوط به نمونه بتن دارای نانولوله‌ی کربنی حاوی میکروسیلیس با ۴ درصد وزنی سیمان میکروسیلیس و ۶ درصد وزنی سیمان میکروسیلیس بوده و با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی نمونه دارای ۴ درصد میکروسیلیس به همراه نانولوله بهترین عملکرد را دارا است. مقاومت‌های فشاری ۲۸ روزه در طرح M۴C ، ٪۱۱ افزایش مقاومت و در طرح M۶C، ٪۱۵ افزایش مقاومت و در طرح M۴NANO، ٪۵۵ افزایش مقاومت و در طرح M۶NANO، ٪۴۷ افزایش مقاومت را شاهد بودیم. مقاومت‌های فشاری نمونه‌های ۹۰ روزه با طرح M۴C ساخته شده ۲۶ ٪ افزایش مقاومت فشاری را شاهد بودیم، در طرح M۶C، ٪۲۷ افزایش مقاومت و در طرح M۴NANO، ۵۸ ٪ افزایش مقاومت و در طرح M۶NANO، ۵۲ ٪ افزایش مقاومت فشاری را مشاهده کردیم. شایان ذکر است نمونه‌های ۹۰ روزه درصد افزایش مقاومت چشمگیری را حتی نسبت به نمونه‌های ۲۸ روزه نشان دادند. شاید بتوان گفت علت این افزایش مقاومت واکنش‌هایی باشد که طی زمان در نمونه‌های بتنی مذکور نمایان نمی‌شود.

پیشنهادات

۱- با توجه به نتیجه‌های به عمل آمده مشخص می‌شود نانولوله‌های کربنی در مدت زمان بیشتر تاثیر قابل توجهی نشان می‌دهند بنابراین پیشنهاد می‌شود آزمایشات در بازه‌های زمانی طولانی‌تری مورد پژوهش قرار گیرند.

۲- آزمایشات بر روی بتن سیمانی با روکشی از محلول نانولوله‌های کربنی انجام شود.

۳- از فوق روان کننده هایی مانند سورفاکتانت جهت بهتر پراکنده شدن مواد نانو در ماتریس سیمان استفاده شود.

مراجع

[1] عابدینی، ف. (۱۳۹۲). "بررسی و تحلیل چگونگی بهره‌گیری ازفناوری نانو در توسعه معماری پایدار". همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری، بوکان.

[۲] Kahn, J. (۲۰۰۶). "Nanotechnology". National Geographic, ۹۸-۱۱۹.

[3] هورنهاد، ه. (۱۳۶۳). " طراحی، ساخت و بررسی خواص مکانیکی بتن های خودمتراکم". پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنرکرمان.

[4] نادرپور، ر. (۱۳۶۳). "پلی به سمت امنیت و پیشرفت". مجله فناوری نانو، شماره اول.

[۵] http://nanopac.org/fa/nanotech.aspx

[۶] http://www.exirsharg.com

[7] بیگدلی، ع.، پیشرو، علی. (۱۳۸۸). "فن آوری نانو و پوشش های نانو ساختار بهترین راه حل برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان". فصل نامه پوشش های سطحی، شماره ۲۸.

[8] ستاد ویژه توسعه فن آوری نانو. (۱۳۸۸). "فن آوری نانو و صنعت ساختمان".مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

[9] پناهی، م ا.، ابراهیمی، ک. (۱۳۸۵). "کاربرد نانو لوله های کربنی در صنعت بتن".
[۱۰] Nochaiya, T., Chaipanich, A. (۲۰۱۱). “Behavior of multi-walled carbon nanotubes on the porosity and microstructure of cement-based materials”. Appl Surf Sci vol ۲۵۷, no ۶, pp ۱۹۴۱–۱۹۴۵.
[۱۱] lelusz, M. (۲۰۱۴). “carbon nanotubes influence on the compressive strength of cement composites”.
[۱۲] Madhavi, T. (۲۰۱۳). “Effect of Multiwalled Carbon Nanotubes On Mechanical Properties of Concrete”. no. 2277, pp 2–4.
[۱۳] Bharj, J. (۲۰۱۴). “Role of Dispersion of Multiwalled Carbon Nanotubes on Compressive Strength of Cement Paste”. no. ۲, pp ۳۴۰–۳۴۳.
[14] شهرجردی، ع. (۱۳۹۴). " بهبود عملکرد بتن‌های معمولی با استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره". پایان نامه کارشناسی ارشد، بخش مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی اراک.