



کاربرد نانولوله‌های کربنی به‌عنوان مواد افزودنی در مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی

امیر نادى^{*۱}

چکیده

با توجه به اینکه بتن، یکی از پر مصرف‌ترین مصالح ساختمانی می‌باشد، بهبود خواص مقاومتی آن با استفاده از انواع افزودنی‌ها، توجه بسیاری از محققان را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش به بررسی اثر وجود افزودنی نانولوله کربنی در ترکیب‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد وزنی سیمان مصرفی در بتن پرداخته شده است. تأثیر این مواد در مقاومت بتن توسط دستگاه‌های آزمایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی سنجیده شده است. افزودن نانولوله کربنی به میزان ۱/۵ درصد وزنی سیمان در بتن، سبب افزایش مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بتن به میزان ۳۴/۷۷ و ۴۵/۳۴ درصد گردید. با افزایش نانولوله کربنی به میزان ۲ درصد وزنی سیمان، باعث کاهش مقاومت فشاری و خمشی در بتن می‌گردد. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، وجود نانولوله کربنی در کامپوزیت بتنی، سبب پیوند سطح نانولوله کربنی با ماتریس بتنی پیرامون آن گردیده و در نتیجه موجب انتقال نیروی بیشتر می‌شود همچنین با توجه به افزایش مقاومت خمشی، نانولوله‌های کربنی مانند پلی روی، میکروترک‌های بتن را پوشانده و از پیشرفت ترک‌های بتن جلوگیری می‌کنند و منجر به تقویت قابل ملاحظه مقاومت کامپوزیت بتنی می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: بتن، نانولوله‌ی کربنی، مقاومت فشاری، مقاومت خمشی

۱- عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پلدختر

* نویسنده مسئول: amirnadi2000@yahoo.com

۱- مقدمه

(Costa and Cigang 2002) که از جمله آن‌ها می‌توان به بهبود دانش و درک فیزیکی و شیمیایی واکنش‌ها و ریزساختار بتن و نیز بهبود کیفیت بتن‌های موجود و روش‌های اجرایی مرتبط با آن با استفاده از مواد جدید در مقیاس نانو یا همان نانو ذرات اشاره کرد (Chen, Chen and Chen 2002). از آنجایی که ریزساختار بتن نقش مهمی در تعیین خواص آن دارد، انتظار می‌رود استفاده از نانو ذرات در آن تأثیرات قابل توجهی در خواص بتن داشته باشد (Anazawa et al. 2002). به نظر می‌رسد به لحاظ فناوری تولید و مسائل اقتصادی، استفاده از نانو ذرات از اولین کاربردهای فناوری نانو در زمینه‌ی تکنولوژی بتن باشد. با توجه به اثرات استفاده از الیاف کربنی به‌عنوان افزودنی در بتن، می‌توان استدلال نمود که استفاده از این افزودنی‌ها در مقیاس نانو بتواند تأثیرات مثبتی در بتن ایجاد کند. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند اثباتی بر درست یا غلط بودن این استدلال باشد.

۲- مواد و روش‌ها

در این طرح تحقیقاتی مبنای مطالعه‌ی بررسی عملکرد افزودنی نانولوله کربنی بر روی مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بتن حاوی آن و مقایسه با بتن معمولی می‌باشد، که بعد از ساخت نمونه‌هایی و نگهداری آن‌ها به‌صورت آزمایشگاهی صورت پذیرفته است.

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها مبنایی خواهد بود برای کارهای تحقیقاتی که به‌صورت تئوری و عملی در این زمینه انجام خواهد شد و فرضیات و نظریاتی که در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد، متعلق به این طرح می‌باشد. تمامی نمونه‌های خمشی به‌صورت مکعبی و در ابعاد $4 \times 4 \times 16$ سانتی‌متر و برای نمونه‌های فشاری از نمونه مکعبی با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ سانتی‌متر ساخته می‌شوند و کلیه ابزار و مواد و روش‌ها طبق استانداردهای ملی ایران می‌باشند و به همین دلیل جهت بررسی دقیق‌تر، آزمایش‌های زیر صورت گرفته است:

۱- آزمایش‌های انجام شده بر روی مصالح سنگی متشکل از دانه‌بندی سنگ دانه‌ها، مدول نرمی سنگ دانه، تعیین میزان درصد رطوبت سنگ دانه‌ها، ارزش ماسه‌ای.

ایران از نظر لرزه‌خیزی در منطقه فعال جهان قرار دارد. در مهروموم‌های اخیر به‌طور متوسط هر پنج سال یک‌بار، زمین‌لرزه‌ای با خسارات مالی و جانی زیاد در نقطه‌ای از کشور رخ داده است. گرچه جلوگیری از خسارات ناشی از زلزله‌های شدید بسیار دشوار است، اما با ایمن‌سازی و مقاوم‌سازی صحیح و اصولی آن‌ها می‌توان تا حد مطلوب تلفات و خسارات ناشی از زلزله‌های آتی را کاهش داد. از این‌رو یکی از برنامه‌های در حال اجرای دولت‌ها، مطالعه و اجرای مقاوم‌سازی ساختمان‌های دولتی مهم با استفاده از مصالح ساختمانی ویژه و به‌کارگیری فناوری‌های نوین می‌باشد (Alexandrescu et al. 2003). اخیراً نانو تکنولوژی به سبب بهره‌گرفتن از یک پتانسیل جدید یعنی پتانسیل ذراتی در مقیاس نانومتر نتایج علمی مفید و مهمی را به خود اختصاص داده است (Bolshakov et al. 2002). در یک ترکیب شیمیایی مشابه، خواص مصالح با ذرات در مقیاس و اندازه نانو به‌طور چشمگیری در مقایسه با ذرات در اندازه‌ها و دانه‌بندی معمول، بهتر است. بنابراین، صنایع مختلف قادر خواهند بود با تجدیدنظر در محاسبات خود محصولات جدیدتری تولید کنند که در مقایسه با محصولات قدیمی سطح عملکرد بالاتری داشته باشند. در رابطه با ترکیب نانو ذرات در سیمان که اساس مصالح ساختمانی است، مطالب کمی موجود می‌باشد. از زمان ابداع سیمان پرتلند، میزان تولید آن در جهان همواره رو به گسترش بوده است. در ایران نیز با توجه به حجم بالای ساخت‌وساز، میزان مصرف بتن بسیار زیاد و رو به افزایش است. از سوی دیگر همواره بشر در پی این بوده تا با افزودن مواد جدید به ترکیب سنتی بتن، در میزان مصرف سیمان که یک محصول استراتژیک است، صرفه‌جویی کرده و با لحاظ نمودن مسائل اقتصادی، مقاومت و دوام آن را حفظ کرده و حتی افزایش دهد. از جمله مواردی که در سال‌های اخیر امیدهای بسیاری برای بهبود خواص مختلف در جهان پدید آورده است، استفاده از فناوری نانو ظهور نانو است (Bronikowski et al. 2001). در سال‌های اخیر، با ورود فناوری نانو دیدگاه‌های جدیدی در زمینه‌ی فناوری بتن ایجاد شده است.

۲-۲- سنگ دانه‌ها

با توجه به منابع فرضی وسیع شهرستان خرم آباد در این آزمایش از یکی از نزدیک ترین منابع فرضی این شهرستان استفاده شده که به نام مراد پور معروف است و این سنگ دانه دارای ضریب نرمی ۳/۱ و ارزش ماسه ای ۸۰ می باشد. مشخصات دانه بندی طرح در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲). مشخصات دانه بندی طرح

اندازه الک به میلیمتر (نمره الک)	درصد وزن عبوری (ISIRI ۳۰۲)	درصد وزن عبوری (دانه بندی طرح)
۹/۵ (نمره ۳/۸ اینچ)	۱۰۰	۱۰۰
۴/۷۵ (نمره ۴)	۸۹ - ۱۰۰	۹۵
۲/۳۶ (نمره ۸)	۶۰ - ۱۰۰	۷۲
۱/۱۸ (نمره ۱۶)	۳۰ - ۹۰	۴۴
۰/۶ (نمره ۳۰)	۱۵ - ۵۴	۳۸
۰/۳ (نمره ۵۰)	۵ - ۴۰	۲۷
۰/۱۵ (نمره ۱۰۰)	۰ - ۱۵	۱۴

۲-۳- آب

آب مورد استفاده در کلیه مراحل این تحقیق از آب شرب شهرستان خرم آباد می باشد.

۲-۴- افزودنی‌ها

افزودنی‌ها در این آزمایش‌ها متشکل شده از:

۱- نانولولهی کربنی: نانولولهی کربنی مورد استفاده در این آزمایش‌ها ساخت کشور چین بوده و با مشخصات زیر می باشد:

- خلوص بالای ۹۵ درصد
- میزان کربوکسیک ۲ درصد
- طول ۱۰ تا ۳۰ میکرومتر
- چگالی ۲/۱ گرم در سانتی متر مکعب
- شعاع داخلی ۱۰ تا ۲۰ نانومتر

به دلیل عدم شناخت از تأثیر فوق روان کننده بر روی نانولولهی کربنی از این ماده در طرح اختلاط هیچ کدام از نمونه‌ها استفاده نشد.

۲- آزمایش‌های انجام شده بر روی بتن سخت شده اعم از تعیین وزن مخصوص بتن سخت شده، مقاومت خمشی نمونه‌ها و مقاومت فشاری آن‌ها. پس از طرح اختلاط و آماده کردن وسایل آزمایشگاه، نوبت وزن کردن مصالح و اختلاط آن‌ها می باشد. در این تحقیق همان‌طور که قبلاً گفته شد، جهت امکان بررسی دقیق در تمامی آزمایش‌ها، از مصالح یکسان استفاده شده است.

۲-۱- سیمان

در این تحقیق تمامی آزمایش‌های انجام شده به وسیله سیمان دورود بوده و سیمان مورد استفاده تپ ۲ می باشد. خصوصیات و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سیمان ۲ به قرار زیر است:

جدول (۱). مشخصات سیمان تپ ۲ دو رود

RESULT OF CHEMICAL ANALYSIS	
composition	TYPE II
SIO2	۲۲/۳۰
AL2O3	۴/۹۳
Fe2O3	۴/۰۷
CaO	۶۲/۰۷
MgO	۱/۸۰
SO3	۲/۰۸
Na2O	۰/۲۵
K2O	۰/۶۰
Loss	۱/۲۰
In-reg	۰/۶۰
Total	۹۹/۳۰
Free Cao	۱/۱۰
COMPOSITION & MODULUE	
C3S	۳۸/۲۷
C2S	۳۵/۱۳
C3A	۶/۱۹
C4AF	۱۲/۳۷
L.S.F	۸۵/۴۹
SLM	۲/۴۸
F.M	۰/۸۳
A.M	۱/۲۱
C3S+C3A	۴۴/۴۵
SPC.SURFACE	۲۹۱۰
	۲۸۰۰ cm ² /gr

۲-۵- آزمایشگاه

تمامی آزمایش‌ها توسط آزمایشگاه فنی شرکت مهندسین مشاور ساخت آزما، شعبه استان لرستان، صورت گرفته است.

۳- نتایج و بحث

در این طرح برای نمونه‌های حاوی نانولوله‌ی کربنی نیم درصد وزنی سیمان مصرفی، نام CMW1، یک درصد وزنی سیمان CMW2، یک و نیم درصد وزنی سیمان CMW3 و دو درصد وزنی سیمان CMW4، نهاده شده و همچنین برای کلیه طرح‌های بدون افزودنی نام PC گذاشته شد.

۳-۱- نتایج به‌دست آمده پس از شکست نمونه‌ها

جدول (۳). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های PC

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
Pc	۱۸۳/۷	۲۵۳/۳	۴۹/۳	۵۸/۸
Pc	۱۸۹/۱	۲۴۵/۱	۵۲	۵۴/۵
Pc	۱۸۷/۳	۲۴۸/۶	۵۱/۴	۵۴/۱
میانگین	۱۸۶/۷	۲۴۹	۵۰/۹	۵۵/۸

جدول (۴). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی نیم درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW1	۲۶۲/۵	۳۱۲/۴	۵۶/۹	۶۸/۶
CMW1	۲۵۴/۴	۳۱۴	۵۲/۳	۶۶/۴
CMW1	۲۵۱/۴	۳۰۷/۲	۵۶/۴	۶۵/۷
میانگین	۲۵۶/۱	۳۱۱/۲	۵۵/۲	۶۶/۶

جدول (۵). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی یک درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW2	۲۶۶	۳۲۷/۴	۶۰/۴	۷۳/۷
CMW2	۲۶۷/۹	۳۳۰/۸	۶۳/۸	۷۱/۹
CMW2	۲۸۰	۳۲۰/۱	۶۲/۴	۷۱/۳
میانگین	۲۷۱/۳	۳۲۶/۱	۶۲/۲	۷۲/۳

جدول (۶). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی

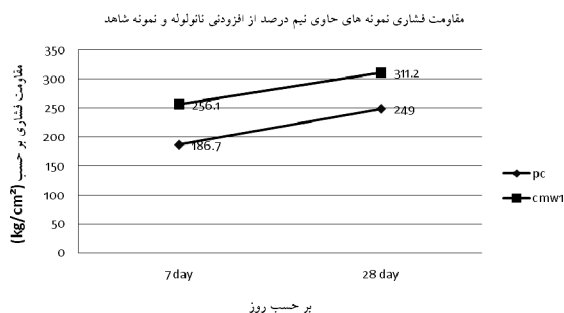
یک و نیم درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW3	۲۸۹/۲	۳۳۰/۳	۶۷/۹	۸۰/۶
CMW3	۲۸۳/۳	۳۴۰	۷۱/۱	۸۲/۳
CMW3	۲۸۵/۲	۳۳۶/۵	۷۰/۴	۸۰/۴
میانگین	۲۸۵/۹	۳۳۵/۶	۶۹/۸	۸۱/۱

جدول (۷). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی

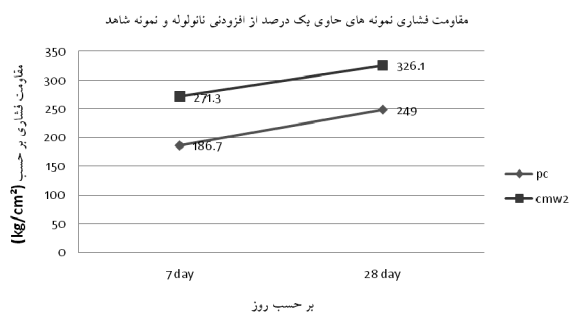
دو درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW4	۲۵۹	۳۱۴/۷	۶۷/۱	۷۴
CMW4	۲۶۱/۸	۳۲۳/۳	۶۱/۸	۷۲/۳
CMW4	۲۶۳/۱	۳۱۸/۱	۵۹/۸	۷۲/۷
میانگین	۲۶۱/۳	۳۱۸/۷	۶۲/۹	۷۳



شکل (۱). مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی نیم درصد از

افزودنی نانولوله و نمونه شاهد

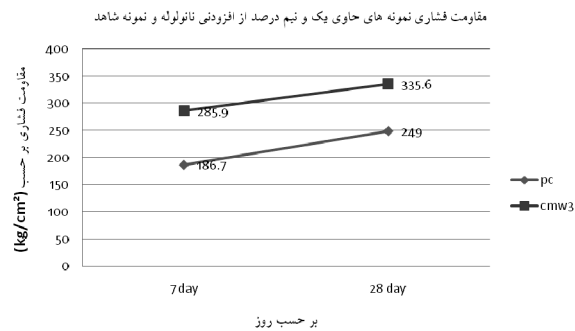


شکل (۲). مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های محتوی

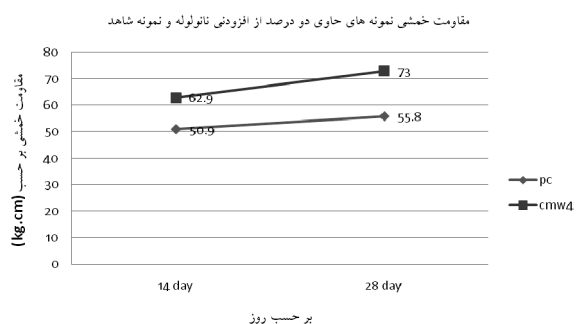
یک درصد از افزودنی نانو و نمونه شاهد



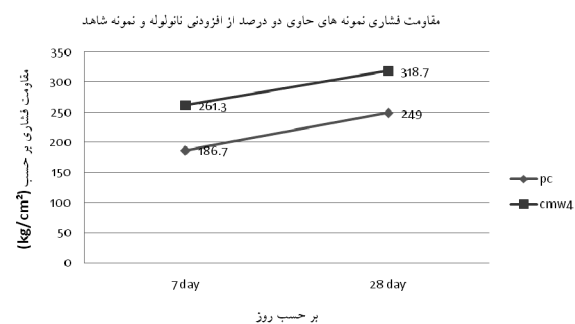
شکل (۷). مقایسه مقاومت خمشی نمونه های حاوی یک و نیم درصد از افزودنی نانولوله و نمونه شاهد



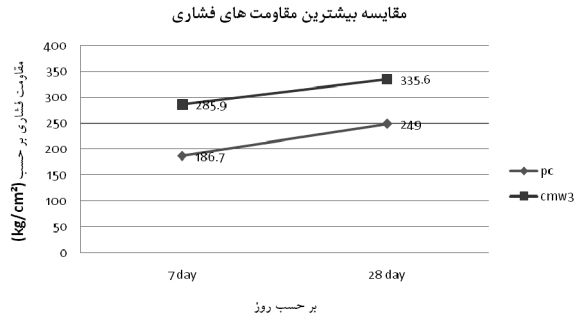
شکل (۳). مقایسه مقاومت فشاری نمونه های حاوی یک و نیم درصد از افزودنی نانولوله و نمونه شاهد



شکل (۸). مقایسه مقاومت خمشی نمونه های حاوی دو درصد از افزودنی نانولوله و نمونه شاهد



شکل (۴). مقایسه مقاومت فشاری نمونه های حاوی دو درصد از افزودنی نانولوله و نمونه شاهد



شکل (۹). مقایسه بیشترین مقاومت های فشاری



شکل (۵). مقایسه مقاومت خمشی نمونه های حاوی نیم درصد از افزودنی نانولوله و نمونه شاهد



شکل (۱۰). مقایسه بیشترین مقاومت های خمشی



شکل (۶). مقایسه مقاومت خمشی نمونه های حاوی یک درصد از افزودنی نانولوله و نمونه شاهد

۳-۲- تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از شکست نمونه‌ها

۳-۲-۱- تحلیل نتایج نمونه‌های CMW1

در این نمونه‌ها، همان‌طور که اشاره شد، نیم درصد وزنی سیمان مصرفی به بتن نانولوله‌ی کربنی اضافه شد و ملاحظه گردید که مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی نمونه حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۲۴/۹ درصد و مقاومت خمشی ۲۸ روزه نمونه‌ی حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۱۹/۹ درصد افزایش را نشان می‌داد. از نتایج چنین استنباط می‌شود که نانولوله‌ی کربنی همان‌طور که انتظار می‌رفت با شبکه ماتریس بتن پیوند برقرار کرده است و با تقویت آن موجب پیوند قوی‌تری شده، که منجر به افزایش مقاومت فشاری و خمشی در بتن شده است.

۳-۲-۲- تحلیل نتایج نمونه‌های CMW2

در این نمونه‌ها، همان‌طور که اشاره شد، یک درصد وزنی سیمان مصرفی به بتن نانولوله‌ی کربنی اضافه شد و ملاحظه گردید که مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی نمونه حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۳۰/۹ درصد و مقاومت خمشی ۲۸ روزه‌ی نمونه‌ی حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۲۹/۵ درصد افزایش را نشان می‌داد. بازم طبق انتظار افزودن نانولوله‌های کربنی باعث افزایش مقاومت شد و با افزایش درصد افزودنی نانو، به دلایل فوق‌الذکر مقاومت فشاری و خمشی به نسبت نمونه‌ی حاوی، نیم درصد رشد را نشان داد.

۳-۲-۳- تحلیل نتایج نمونه‌های CMW3

در این نمونه‌ها، همان‌طور که اشاره شد، یک و نیم درصد وزنی سیمان مصرفی به بتن نانولوله‌ی کربنی اضافه شد و ملاحظه گردید که مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی نمونه حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۳۴/۷ درصد و مقاومت خمشی ۲۸ روزه‌ی نمونه حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۴۵/۳ درصد افزایش را نشان می‌داد. روند افزایش مقاومت بتن در این نمونه‌ها

به اوج خود رسید و این به دلیل پیوند فوق‌العاده‌ای بود که نانولوله‌ی کربنی در ماتریس بتن به وجود آورده بود.

۳-۲-۴- تحلیل نتایج نمونه‌های CMW4

در این نمونه‌ها، همان‌طور که اشاره شد، دو درصد وزنی سیمان مصرفی به بتن نانولوله‌ی کربنی اضافه شد و ملاحظه گردید که مقاومت فشاری ۲۸ روزه‌ی نمونه‌ی حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۲۸ درصد و مقاومت خمشی ۲۸ روزه‌ی نمونه‌ی حاوی افزودنی به نسبت نمونه‌ی معمولی، ۳۰/۸ درصد افزایش را نشان می‌داد.

قابل ذکر است که در این نمونه‌ها نه تنها مقاومت افزایش پیدا نکرد، بلکه باعث کاهش زیاد مقاومت نیز می‌گردد. احتمالاً دلیل این امر خوب حل نشدن نانولوله در آب بود. زیرا دو درصد نانولوله‌ی کربنی برای حل شدن در مقدار آب موردنیاز نمونه‌ها زیاد به نظر می‌رسید و در هنگام حل شدن نانولوله در آب با دستگاه آلتراسونیک نیز این امر مشهود بود و به نسبت نمونه‌های دیگر به سختی در آب حل شد. به احتمال قوی خوب حل نشدن نانولوله‌ی کربنی در آب موجب بروز پوکی در بتن و به طبع آن کاهش مقاومت در بتن گردید.

۳-۳- تحلیل نتایج حاصل از شکست نمونه‌ها به لحاظ اقتصادی

اگر از دید اقتصادی به این موضوع بنگریم، به این نتیجه می‌رسیم که برای دستیابی به مقاومت بیشتر در بتن استفاده از نانولوله‌ی کربنی با شرایط امروزی مقرون‌به‌صرفه نیست و از طرق دیگر همانند افزایش عیار سیمان مصرفی، با هزینه‌ای به مراتب کمتر به مقاومت بیشتر دست خواهیم یافت. اما باید این موضوع را هم بپذیریم که اگر نانولوله‌ی کربنی در ایران به تولید انبوه برسد، مسلماً قیمت آن کاهش خواهد یافت. ضمن اینکه با تحقیقات بیشتر و گسترده‌تر در این زمینه قطعاً معایب و کاستی‌هایی که در این پژوهش وجود دارد برطرف خواهد شد و آن زمان استفاده از این افزودنی جالب در بتن به لحاظ اقتصادی

درصد وزنی سیمان مصرفی از این ماده در بتن که موجب افزایش تقریباً ۲۵ درصدی مقاومت فشاری و ۲۰ درصدی مقاومت خمشی در بتن حاوی این افزودنی در مقایسه با نمونه‌ی شاهد گردید، به لحاظ اقتصادی از سایر نمونه‌ها بهینه‌تر می‌باشد.

۵- تشکر و قدردانی

نتایج این مقاله حاصل طرح پژوهشی اجرا شده در دانشگاه آزاد پل دختر می‌باشد. در اینجا لازم است از دانشگاه آزاد پل دختر برای تقبل هزینه‌های اجرای طرح و فراهم آوردن وسایل و تجهیزات انجام آزمایش تشکر و قدردانی گردد.

۶- پیوست‌ها

پیوست ۱: کاتالوگ نانولوله‌ی کربنی خریداری شده

 **Neutrino**
www.neutrino.com info@neutrino.com
Tel: +98 21 44289249 / 44288211 Fax: +98 21 44205692

Carboxyl Multi-walled carbon nanotubes 10-20 (MWNTs-COOH)

Specification:
Purity: >95%
-COOH Content: 2.00wt%
OD: 10-20nm [OD=Outer Diameter]
ID: 5-11nm [ID=Inner Diameter]
Length: 10-30 μm
SSA: >200m²/g [SSA=Special Surface Area]
Color: Black
Tap density: 0.23g/cm³
True density: ~2.1 g/cm³
EC: >100s/cm [EC=Electric Conductivity]
Making method: CVD

Testing pictures
Transmission Electron Microscopy (TEM)



پیوست ۲:

جدول (۱). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی یک درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW2	۲۶۶	۳۲۷/۴	۶۰/۴	۷۳/۷
CMW2	۲۶۷/۹	۳۳۰/۸	۶۳/۸	۷۱/۹
CMW2	۲۸۰	۳۲۰/۱	۶۲/۴	۷۱/۳
میانگین	۲۷۱/۳	۳۲۶/۱	۶۲/۲	۷۲/۳

نیز به صرفه خواهد شد. نکته دیگر اینکه تأثیرات دیگر این افزودنی مانند خزش، سایش و ... مورد بررسی قرار نگرفت. با پژوهش‌های بیشتر در این زمینه‌ها و پی بردن تأثیر نانولوله بر آن‌ها ممکن است استفاده از آن حتی در پروژه‌های عظیم مقرون به صرفه باشد.

۴- نتیجه‌گیری

نانولوله ماده‌ای نوین با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی منحصر به فرد است، که شکل تازه‌ای از پیوندهای اتم کربن می‌باشد. در این قسمت به برخی از نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، که در این تحقیق بر روی درصدهای مختلف افزودنی نانولوله‌ی کربنی در بتن صورت گرفته است، اشاره می‌شود: نتایج به دست آمده به این صورت بود که افزودن نانولوله‌ی کربنی به بتن به عنوان یک ماده‌ی افزودنی سبب افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن می‌شود و این افزایش مقاومت‌ها در نمونه‌های حاوی نیم درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی تا نمونه‌های حاوی یک و نیم درصد وزنی افزودنی ادامه دارد. در نمونه‌ی چهارم که حاوی دو درصد وزنی از افزودنی بود، شاهد کاهش چشمگیر مقاومت فشاری و خمشی در بتن بودیم، که نشان دهنده‌ی این است که افزودن دو درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی به بتن نتیجه عکسی در افزایش مقاومت‌ها در پی خواهد داشت. آزمایش‌های انجام شده در این طرح نشان داد که بیشترین مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی نانولوله‌های کربنی ۳۴/۷۷ درصد و بیشترین مقاومت خمشی آن حدود ۴۵/۳۴ درصد بیشتر از نمونه بتن بدون افزودنی بوده است، که این دو مقدار مربوط به نمونه با ۱/۵ درصد وزنی نانولوله‌ی کربنی می‌باشد. در انجام این طرح با توجه به نتایج حاصل از آنالیز نرم افزار برای یک قاب یک دهانه چنین نتیجه شد که برای مقاطع بتنی حاوی نانولوله‌ی کربنی در ستون‌ها به میزان ۱۷/۲۹۱ سانتی متر مربع و در تیر طراحی شده به میزان ۴/۴۳۹ سانتی متر مربع کاهش آرماتور داریم، که این موضوع به دلیل افزایش مقاومت فشاری بتن حاوی نانولوله‌ی کربنی می‌باشد. با توجه به قیمت نسبتاً بالای نانولوله‌ی کربنی، استفاده‌ی نیم

- Bolshakov, Alexey P., S.A. Uglova, A.V. Savelieva, V.I. Konova, A.A. Gorbunovb, W. Pompeb and A. Graffc .2002. A novel CW laser–powder method of carbon single-wall nanotubes production. diamond and related materials 11(3-6): 927- 930.
- Bronikowski. Michael J., Peter A Willis. Daniel TColbert. Kendall A Smith. and Richard ESmalley.2001. Gas-phase production of carbon single-walled nanotubes from carbon monoxide via the hiPco process: A aarametric study. journal of vacuum science and technology 19(4):1800-1805.
- Chen, mi., chieng-ming chen and chia-fu chen. 2002. Journal of Materials Science 37 : 3561-3567.
- Costa, Pedro., and Xu Cigang. 2002. Correlation of diameters of single-walled carbon nanotubes formed using the same catalst in separate chemical vapour deposition and arc discharge methods. Applied Physics A-Materials Science and Processing 90: 240-242.

جدول (۲). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی یک و نیم درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW3	۲۸۹/۲	۳۳۰/۳	۶۷/۹	۸۰/۶
CMW3	۲۸۳/۳	۳۴۰	۷۱/۱	۸۲/۳
CMW3	۲۸۵/۲	۳۳۶/۵	۷۰/۴	۸۰/۴
میانگین	۲۸۵/۹	۳۳۵/۶	۶۹/۸	۸۱/۱

جدول (۳). مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌های حاوی دو درصد نانولوله‌ی کربنی

نام نمونه	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه	مقاومت خمشی ۱۴ روزه	مقاومت خمشی ۲۸ روزه
CMW3	۲۵۹	۳۱۴/۷	۶۷/۱	۷۴
CMW3	۲۶۱/۸	۳۲۳/۳	۶۱/۸	۷۲/۳
CMW3	۲۶۳/۱	۳۱۸/۱	۵۹/۸	۷۲/۷
میانگین	۲۶۱/۳	۳۱۸/۷	۶۲/۹	۷۳

۷- منابع

- Alexandrescu, Rodica. , Aurelian Crunteanu. Robert E Morjan, Ion G, Morjan, Frank Rohmund,LKL Falk, and Gilles Ledoux. 2003. Synthesis of carbon nanotubes by CO2-laser-assisted chemical vapour deposition. infrared physics and technology 44(1):43- 50.
- Anazawa, Kazolnori., Kei Shimotani, Chikara Manabe, Hiroyuki Watanabe, and Masaaki Shimizu. 2002. Manufacturing apparatus and method for carbon nanotube. Applied Physics Letters 81: 739-741.

The Use of Carbon Nanotubes as Additives in Retrofitting of Concrete Buildings

Amir Nadi^{1,*}

Abstract

Since concrete is one of the most used building materials, improving its strength properties by using additives has been a point of attention by many researchers. This study examines the combined effect of carbon nanotube additives 0.5, 1, 1.5 and 2% by weight of cement used in concrete. The impact of this additive on compressive and bending strength of the concrete has been measured. Addition of 1.5% carbon nanotube cement in concrete increases the compressive and Bending strength of concrete at a rate of 77% and 34% respectively. With 2 % carbon nanotube cement concrete, bending and compressive strength were decreased. According to the results, carbon nanotube composites created a matrix surrounding the nearby concrete, and therefore increasing its load transmission ability. Also regarding to bending strength, carbon nanotubes in concrete created a bridge effect and may prevent the progress of concrete micro cracks. As a result, reinforced concrete composites will lead to considerable compressive and bending strength.

Keywords: *Concrete, Carbon nanotube, Compressive strength, Bending strength*

1- faculty members Poldokhtar University

* Corresponding Author: amirnadi2000@yahoo.com