

کاربرد نانو اکسید منیزیم بر مشخصات بتن تازه و خصوصیات مکانیکی بتن خود متراکم کد (C)

حسین ابراهیمی فرد^۱، محمد مهدی جباری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

۲- عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز

Email: hosseinebrahimifard@yahoo.com

* Email : jabbari@iaushiraz.ac.ir

چکیده:

یکی از مهمترین پیشرفت های بوجود آمده در صنعت عمران، کاربرد نانو تکنولوژی و عملکرد بتن در ترکیب با اینگونه مواد در جهت بهبود خواص و رفتار و ساختار آنها و نیز بکارگیری مصالح نانو در جهت ساخت بتن با عملکرد بالا و چند منظوره است. خواص، رفتار و عملکرد بتن بستگی به نانو ساختار ماده زمینه بتن و سیمان دارد که چسبندگی، پیوستگی و یکپارچگی را بوجود می آورد. بنابراین مطالعات بتن در مقیاس نانو و کاربرد آنها بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق کاربرد نانو اکسید منیزیم بر مشخصات بتن تازه و خصوصیات مکانیکی بتن خود متراکم مورد بررسی قرار می گیرد. طی این تحقیق بتن خود متراکم حاوی درصد های مختلف ۱٪، ۲٪، ۳٪ و ۴٪ وزن سیمان از نانو اکسید منیزیم ساخته شد و آزمایشات جریان اسلامپ، جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر، جعبه L؛ جعبه U، قیف V روی آنها صورت گرفت و پس از اینکه کلیه الزامات بتن خود متراکم را دارا شد، بتن مذکور را در قالب های مکعبی، استوانه ای و خمشی جهت محاسبه مقاومت فشاری، کششی و خمشی قرار دادیم و پس از ۲۴ ساعت نمونه ها را از قالب جدا و به نحو مناسب عمل آوری صورت گرفت و در سن های ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها شکسته و مقاومت بتن خود متراکم حاوی درصد های مختلف نانو اکسید منیزیم محاسبه گردید، و مشخص شد که افزودن نانو اکسید منیزیم به نسبت ۴٪ وزن سیمان، مقاوت فشاری، کششی و خمشی را به میزان ۳۵٪، ۲۹٫۵۰٪ و ۶۹٪ به ترتیب افزایش می دهد.

کلمات کلیدی:

بتن خود متراکم، نانو اکسید منیزیم، خصوصیات مکانیکی (مقاومت فشاری، کششی و خمشی)

۱- مقدمه

در سازه های بتنی برای رسیدن به مقاومت مورد نیاز و کاهش تخلخل و هوای درون بتن و حصول پایداری، بتن به روشهای مختلف لرزانده می شود. با توسعه روزافزون کارهای بتنی و کمبود نسبی کارگران ماهر و یا سهل انگاریهای آنان در کارگاه ها و یا به دلیل مزاحمت های جسمی و روحی و یا هزینه لرزاندن بتن در هنگام ریختن بتن در قالب، به ویژه در مواقعی که تراکم میلگرد وجود دارد، عمل لرزاندن بطور کامل و صحیح انجام نگرفته و در نهایت مشخصات مکانیکی مطلوب بتن حاصل نمی گردد. لذا ساخت بتنی بدون نیاز به لرزاندن همواره راه حلی برای این معضل به نظر می رسد و از این رو ساختن چنین بتنی رویایی برای تکنولوژیست های بتن بوده است که بتوانند با استفاده از مواد افزودنی شیمیایی مختلف و تغییر در مقادیر مصالح طرح اختلاط، به این مهم دست یابند و بتن را از نقص اجرایی لرزاندن رها سازند. بتن خود متراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط آقای اوکامورادر ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد. امروزه بتن خود متراکم همزمان با کشور ژاپن در مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشورهای اروپایی، کانادا و آمریکا تحت عنوان بتن خود تحکیم موضوع بحث، بررسی و اجرای سازه های بتنی است. در ایران نیز استفاده از بتن خود متراکم از چند سال قبل آغاز شده و از مزایای آن بهره گرفته شده است برای مثال مصرف بتن خود متراکم در تونل توحید و رسالت تهران، پل شهید صدر تهران، طرح توسعه حرم حضرت معصومه (س)، قطعات پیش ساخته متروی شیراز و پل کابلی ولیعصر شیراز را می توان نام برد. [۱]

۱-۱- نانو به چه معناست؟

اصطلاح «نانو» از واژه یونانی نانوس^۱ مشتق شده و معنای کوتوله^۲ دارد. عبارت «نانو» پیشوندی است مانند سایر پیشوندها که در ابتدای واحد سنجش اندازه مانند ثانیه، متر و غیره می آیند. بنابراین، نانو نیز مانند دیگر پیشوندها نظیر سانتی، دسی، دکا، کیلو و غیره بیانگر مقیاس است. یک نانو متر (10^{-9} m) به معنای 10^{-9} متر (یک میلیاردم متر) است. بتن یک ماده مرکب پیچیده است که حتی با گذشت زمان، بر پیچیدگی سازوکارهای درونی و ویژگیهای آن افزوده می شود. به ویژه اینکه این ماده پر کاربرد ساختمانی، دارای مقیاسی چند گانه است. سنگدانه های بتن، مقیاسی در حد میلی متر دارند. مقیاس ماتریس خمیر سیمان، در حدود میکرومتر (بر اساس اندازه متوسط دانه های سیمان) است. حال آنکه اصلی ترین محصول فرآیند هیدراسیون یعنی (کلسیم - سیلیکات - هیدرات)^۳ متخلخل بوده و ساختاری لایه ای در مقیاس نانو دارد. جالب اینجاست که همه این مواد و مصالح با مقیاس های متفاوت، در کنار هم عمل می کنند تا بتن حاصل شود. [۲]

۲- مصالح مصرفی

با توجه به اینکه قیمت نانو اکسید منیزیم خیلی گران است و میزان مصرف نانو اکسید منیزیم در بتن خود متراکم تابعی از وزن سیمان می باشد لذا سعی بر این شد که کمترین میزان سیمان در تهیه بتن خود متراکم استفاده شود که این مهم مستلزم طرح اختلاطی جدید است که تابعی از شکل و ابعاد و اندازه سنگ دانه های درشت (شن) و سنگدانه های ریز (ماسه) می باشد لذا بتن خود متراکم، تهیه و آزمایشات بتن تازه خود متراکم شامل (جریان اسلامپ، جریان اسلامپ $T=50$ سانتیمتر، قیف V ، جعبه L ، جعبه U) بر روی نمونه ها انجام شد و پس از اینکه تمام الزامات بتن خود متراکم برآورده گردید همان طرح اختلاط را با نانو اکسید منیزیم ترکیب کردیم. کلیه مصالح استفاده شده در این تحقیق از معادن اطراف شیراز تهیه شده است. و همچنین جهت ساخت بتن خود متراکم از پودر کربنات کلسیم (پودر سنگ آهک) استفاده شد. سیمان مصرفی، تیپ ۵۲۵-۱ کارخانه سیمان فارس نو (فیروزآباد) می باشد. شکل های ۱ تا ۵، دانه بندی مصالح استفاده شده در ساخت بتن خود متراکم را نشان می دهد. همچنین در (جدول شماره ۱) طرح اختلاط بتن خود متراکم، مشاهده می گردد.

نانو اکسید منیزیم (Nano Mgo) استفاده شده در این تحقیق، محصول شرکت نانو مواد تحقیقاتی آمریکا با مشخصات ذیل الذکر می باشد: در شکل ۷ تا ۶ آزمایش میکروسکوپ الکترونی روبشی و ایکس آر دی^۴ صورت گرفته بر روی نانو اکسید منیزیم مشاهده می گردد. [۳]

متوسط اندازه ذرات: 20 نانومتر (nm)

خلوص: 99%+

رنگ: سفید

سطح ویژه: $60 \text{ m}^2/\text{g}$

دانسیته بالک: 0.145 g/cm^3

مرفولوژی: چند وجهی

دانسیته واقعی: 3.58 g/m^3

1- Nanus

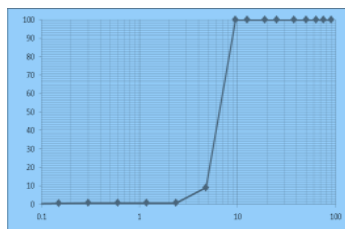
2- Dwarf

3- Calcium- Silicate- Hydrate

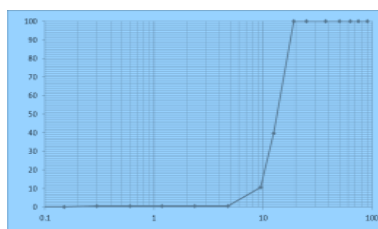
4- X-RD

جدول شماره ۱- طرح اختلاط و آزمایشات بتن تازه خود متراکم

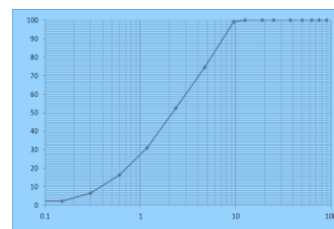
ردیف	نوع مصالح	مقدار مورد نیاز
۱	سیمان تیپ (۱-۵۲۵)	350 Kg/m^3
۲	ماسه شسته	669 Kg/m^3
۳	پودر کربنات کلسیم (سنگ آهک)	150 Kg/m^3
۴	ماسه بادی (۰,۱۵ - ۱,۱۸ mm)	546 Kg/m^3
۵	شن بادامی	351 Kg/m^3
۶	شن نخودی	234 Kg/m^3
۷	فوق روان کننده (sp)	$1.18 \times \text{Cement}$
۸	آب	156 Kg/m^3
۹	بزرگترین اندازه سنگ دانه M.A.S	۱۹ mm
۱۰	ضریب نرمی ماسه F.M	۴,۱۷



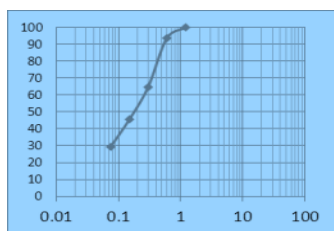
شکل ۱: شن نخودی



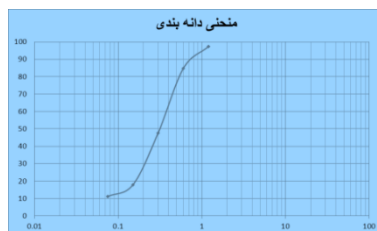
شکل ۲: شن بادامی



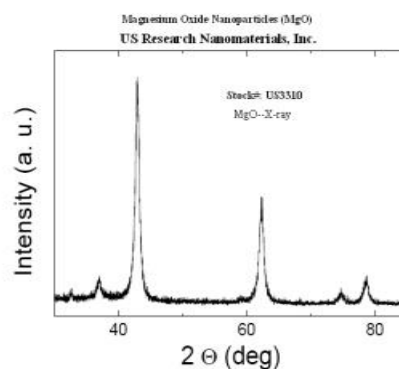
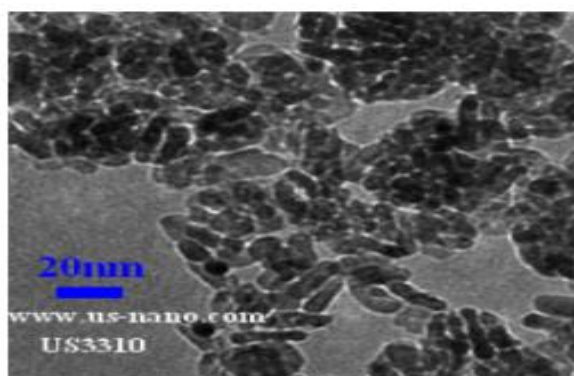
شکل ۳: ماسه شسته



شکل ۴: پودر کربنات کلسیم



شکل ۵: ماسه بادی



شکل ۶: میکروسکوپ الکترونی روبشی نانواکسید منیزیم

شکل ۷: نمودار ایکس آر دی نانوپودر اکسید منیزیم

۲-۱- خلاصه برگ اطلاعات ایمنی نانو اکسید منیزیم^۵:

نانو اکسید منیزیم بر روی پوست و چشم تأثیر می گذارد و اثر سوزش آور و خطرناکی دارد و همچنین اثرات ذیل الذکر بر روی بدن دارد:

الف) اثر بر روی مغز: تست هایی که بر روی حیوانات آزمایشگاهی صورت گرفت و همچنین نوار مغز ضبط شده از آنها، حاکی از این است که نانو اکسید منیزیم بر روی (سیستم مرکزی اعصاب) تأثیر مضر می گذارد.

ب) اثر روی خون: نانو اکسید منیزیم باعث تغییر در ترکیبات خون حیوانات آزمایشگاهی شد.

ج) نانو اکسید منیزیم باعث به وجود آمدن تومورها (غده هایی) در ریه، قفسه سینه... می گردد. [۴]

۳- آزمایش های بتن تازه خودمتراکم:

پس از اینکه بتن خود متراکم طبق طرح اختلاط فوق الذکر ساخته شد، آزمایشات (جریان اسلامپ، جریان اسلامپ $T=50$ سانتیمتر، قیف V ، جعبه L ، جعبه U) انجام گرفت و نتایج در (جدول شماره ۲) حاصل شد، و مشخص گردید که مقادیر در محدوده اعداد پیشنهادی EFNARC2002 (جدول شماره ۳) می باشد. در شکل ۸ تا ۱۲، آزمایشات بتن تازه خودمتراکم نشان داده شده است.

جدول شماره ۲- نتایج آزمایشات بتن تازه

ردیف	نوع آزمایش	نتایج آزمایش
۱	جریان اسلامپ	۷۱۰ mm
۲	جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر	۳ s
۳	جعبه L	۰.۹۸
۴	جعبه U	۱۰ mm
۵	قیف V در زمان ۵ دقیقه	۱۰ S

جدول شماره ۳- ملاک پذیرش بتن خود متراکم طبق آیین نامه EFNARC 2002: [۵]

ردیف	روش آزمایش	واحد	مقادیر مورد تایید	
			ماکزیمم	مینیمم
۱	اسلامپ فلو	میلیمتر	۸۰۰	۶۵۰
۲	اسلامپ فلو $T=50$ cm	ثانیه	۵	۲
۳	حلقه J	میلیمتر	۱۰	۰
۴	قیف V	ثانیه	۱۲	۶
۵	قیف $T=5min$ V	ثانیه	۳+	۰
۶	جعبه L	(h_2/h_1)	۱	۰.۸
۷	جعبه U	(h_2-h_1) میلیمتر	۳۰	۰
۸	جعبه تخت	%	۱۰۰	۹۰
۹	تست پایداری GTM	%	۱۵	۰
۱۰	اریمت	ثانیه	۵	۰



شکل ۸: کلیه تجهیزات انجام آزمایشات بتن تازه خودمتراکم

شکل ۹: آزمایش جعبه L



شکل ۱۰: آزمایش جعبه U



شکل ۱۱: آزمایش کیف V



شکل ۱۲: آزمایش اسلامپ و جریان اسلامپ $T=50$ سانتیمتر

۴- آزمایشات بتن سخت شده :

پس از اینکه کلیه آزمایشات و تست های لازم بر روی بتن خود متراکم صورت گرفت بتن را درون قالب های مکعبی ۱۵×۱۵×۱۵ سانتیمتر، ۱۵×۳۰ سانتیمتر استوانه ای و ۱۵×۱۵×۵۰ سانتیمتر خمشی ریخته و هیچ ویبره ای نباید صورت گیرد و پس از ۲۴ ساعت قالب ها را باز کرده و درون حوضچه آب، عمل آوری صورت گرفت و در سن های ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها را از آب خارج کرده و پس از شکسته شدن نمونه ها، مقاومت فشاری، کششی و خمشی را با استفاده از روابط ذیل ذکر محاسبه نمودیم :

۴-۱- روش آزمایش مقاومت کششی بتن یا آزمایش برزلی (ASTM C496)

در این آزمایش نمونه استوانه ای استاندارد ۱۵×۳۰ سانتیمتر بصورت خوابیده یا نمونه مکعبی را متکی بر یک لبه زیر دستگاه پرس قرار می دهیم. در اثر فشار پرس در نمونه تولید کشش می شود و نمونه به دو قسمت شکسته می شود. [۶]

$$T = \frac{2P}{\pi.L.D}$$

برای نمونه استوانه ای

در فرمول فوق:

T = مقاومت کششی نمونه
P = بار وارده برای شکستن نمونه
L = طول نمونه استوانه ای (۳۰ سانتیمتری)
D = قطر نمونه استوانه ای (۱۵ سانتیمتر)

۴-۲- روش آزمایش مقاومت خمشی بتن (ASTM C78)

بتن در قالب های مکعب مستطیل ۱۵×۱۵×۵۰ سانتیمتر ریخته شده و برای آزمایش، دوبار متمرکز مساوی به فواصل مساوی از هم و از انتهای تیر روی تیر به دهانه سه برابر عرض مقطع تیر تا حد شکستن وارد می شود و مقاومت خمشی بتن از رابطه ذیل ذکر تعیین می گردد. [۶]

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

در رابطه فوق:

P = حداکثر بار شکست B = عرض نمونه D = ضخامت نمونه L = طول دهانه

۵- اجرای بتن خود متراکم با نانو اکسید منیزیم:

یکی از چالش های پیش رو در جهت ترکیب نانو اکسید منیزیم با بتن خود متراکم این بود که آیا نانو اکسید منیزیم به صورت ترکیب تر در بتن استفاده گردد یا به صورت ترکیب خشک ؟ تا سال ۲۰۱۴ ترکیب تر مرسوم بوده ولی از سال ۲۰۱۵ از ترکیب خشک استفاده شده است .

- مرادپور، طاهری و همکاران (۲۰۱۳). ابتدا فوق روان کننده و آب را ترکیب کردند و سپس نانو اکسید منیزیم بتدریج وارد فوق روان کننده و آب شد و به مدت ۵ دقیقه باهم ترکیب شدند و سپس ماسه و سیمان را به مدت ۲ دقیقه از قبل باهم ترکیب کرده و نهایتاً مخلوط ماسه و سیمان را با محلول فوق روان کننده، آب و نانو اکسید منیزیم درون میکسر ریخته و به مدت ۲ دقیقه ترکیب کردند. [۷]
- یوان، شی و همکاران (۲۰۱۴). ابتدا نانو اکسید منیزیم و فوق روان کننده و آب به مدت ۵ دقیقه ترکیب شدند و سپس محلول ذکر شده را با سیمان مخلوط کردند. [۸]
- یی کونینگ، کای کای و همکاران (۲۰۱۵): جهت ساخت ملات سیمان : ابتدا نانو اکسید منیزیم و سیمان به صورت خشک باهم ترکیب می شوند و سپس آب و ماسه به مخلوط ذکر شده اضافه شد. [۹]
- پولات، دمیربوگاوهکاران (۲۰۱۵). ابتدا نانو اکسید منیزیم و سیمان به صورت خشک به مدت ۷ دقیقه به طور کامل ترکیب می شوند در مرحله آخر آب و فوق روان کننده به مخلوط درون میکسر اضافه می گردد. [۱۰] بنابراین مشخص شد که جهت ساخت بتن خود متراکم و ترکیب با نانو اکسید منیزیم، باید از روش ترکیب خشک استفاده کنیم .

۵-۱- روش ساخت بتن خود متراکم حاوی نانو اکسید منیزیم:

ابتدا شن بادامی و سیمان و نانو اکسید منیزیم را به صورت خشک در میکسر ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه ترکیب می کنیم، با توجه به اینکه نانو اکسید منیزیم ماده ای خطرناک می باشد، دهانه میکسر را با پلاستیک پوشاندیم که هیچگونه گرد و غباری از درون میکسر به بیرون نیاید سپس شن نخودی را اضافه کرده و به مدت ۲ دقیقه ترکیب می کنیم و در مرحله بعد ماسه شسته و فیلرمادی و پودر کربنات کلسیم را اضافه کرده و مدت ۲ دقیقه ترکیب می کنیم و نهایتاً آب و فوق روان کننده را بتدریج وارد

میکسر می کنیم و ترکیب می کنیم تا بتن خود متراکم حاصل گردد. نتایج آزمایشات حاصل شده از بتن خود متراکم حاوی نانواکسید منیزیم به میزان ۱٪ وزن سیمان در جدول ۴ مشخص شده است.

جدول ۴- نتایج آزمایشات بتن تازه خود متراکم حاوی ۱ درصد نانواکسید منیزیم

ردیف	نوع آزمایش	نتایج آزمایش
۱	جریان اسلامپ	۷۰۰ mm
۲	جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر	۳ ^s
۳	جعبه L	۰/۹۷
۴	جعبه U	۱۵ mm
۵	قیف V در زمان ۵ دقیقه	۱۰ ^s

نکته: با افزودن نانو اکسید منیزیم به میزان ۱٪ وزن سیمان، مصرف روان کننده به ۱/۵٪ وزن سیمان رسید و قوام (لزجت) بتن خود متراکم بیشتر شد. نمونه های بتن خود متراکم دیگر با مقادیر مختلف نانو اکسید منیزیم یعنی ۲٪، ۳٪ و ۴٪ وزن سیمان نیز به صورت فوق ساخته شد و کلیه آزمایشات بتن تازه بر روی آنها صورت گرفت و در جدول ۵ نتایج مشاهده می گردد.

جدول ۵- نتایج آزمایش های بتن تازه خود متراکم بدون و حاوی نانو اکسید منیزیم

ردیف	اسلامپ (میلیمتر)	جریان اسلامپ ۵۰ سانتیمتر (ثانیه)	جعبه U (میلیمتر)	جعبه L	قیف V (ثانیه)
بتن خود متراکم	۷۱۰	۳	۱۰	۰/۹۸	۱۰
بتن خود متراکم حاوی ۱٪ نانو اکسید منیزیم	۷۰۰	۳	۱۵	۰/۹۷	۱۰
بتن خود متراکم حاوی ۲٪ نانو اکسید منیزیم	۶۸۰	۴	۲۰	۰/۹۷	۱۲
بتن خود متراکم حاوی ۳٪ نانو اکسید منیزیم	۶۷۵	۴	۲۰	۰/۹۶	۱۳
بتن خود متراکم حاوی ۴٪ نانو اکسید منیزیم	۶۵۰	۵	۳۰	۰/۹۶	۱۴

در هر مرحله از ساخت بتن خود متراکم و پس از انجام آزمایشات بتن تازه، نمونه گیری (مکعبی، استوانه ای و خمشی) صورت گرفته و پس از عمل آوری مانند بند ۴ در سن های ۷ و ۲۸ روزه نمونه ها شکسته شده و نتایج ذیل الذکر در جداول ۶ تا ۸ مشاهده شد:

جدول ۶- مقایسه افزایش مقاومت فشاری نمونه های مکعبی

نوع بتن	۷ روزه (kg/cm ²)	افزایش مقاومت ۷ روزه (%)	۲۸ روزه (kg/cm ²)	افزایش مقاومت ۲۸ روزه (%)
بتن خود متراکم بدون نانو اکسید منیزیم	۱۴۶/۷۱	-	۱۹۰/۴۷	-
بتن خود متراکم حاوی ۱٪ نانو اکسید منیزیم	۱۷۳/۲۸	۱۸٪	۲۰۱/۸۰	۶٪
بتن خود متراکم حاوی ۲٪ نانو اکسید منیزیم	۲۱۶/۶۰	۴۷/۶۰٪	۲۵۳/۹۰	۳۳٪
بتن خود متراکم حاوی ۳٪ نانو اکسید منیزیم	۲۱۷/۱۹	۴۸٪	۲۵۵/۲۲	۳۴٪
بتن خود متراکم حاوی ۴٪ نانو اکسید منیزیم	۲۱۷/۱۹	۴۸٪	۲۵۷/۸۷	۳۵٪

جدول ۷- مقایسه افزایش مقاومت کششی نمونه های استوانه ای

نوع بتن	۷ روزه (Kg/cm^2)	افزایش مقاومت ۷ روزه (%)	۲۸ روزه (Kg/cm^2)	افزایش مقاومت ۲۸ روزه (%)
بتن خود متراکم بدون نانو اکسید منیزیم	۱۸,۹۶	-	۲۳,۱۰	-----
بتن خود متراکم حاوی ۱٪ نانو اکسید منیزیم	۲۱	۱۰٪	۲۶,۵۹	۱۵٪
بتن خود متراکم حاوی ۲٪ نانو اکسید منیزیم	۲۴,۵۷	۲۹,۵۰٪	۲۷,۷۶	۲۰٪
بتن خود متراکم حاوی ۳٪ نانو اکسید منیزیم	۲۴,۷۰	۳۰٪	۲۹,۳۳	۲۷٪
بتن خود متراکم حاوی ۴٪ نانو اکسید منیزیم	۲۴,۷۰	۳۰٪	۲۹,۹۲	۲۹,۵۰٪

جدول ۸- مقایسه افزایش مقاومت خمشی

سن بتن نوع بتن	۷ روزه (Kg/cm^2)	افزایش مقاومت ۷ روزه (%)	۲۸ روزه (Kg/cm^2)	افزایش مقاومت ۲۸ روزه (%)
بتن خود متراکم بدون نانو اکسید منیزیم	۲۴,۲۷	-	۳۰,۴۷	-
بتن خود متراکم حاوی ۱٪ نانو اکسید منیزیم	۳۱,۸۵	۳۱٪	۳۷,۹۱	۲۴٪
بتن خود متراکم حاوی ۲٪ نانو اکسید منیزیم	۳۸,۸۶	۶۰٪	۴۸,۵۹	۵۹٪
بتن خود متراکم حاوی ۳٪ نانو اکسید منیزیم	۴۱,۲۶	۷۰٪	۵۰,۵۸	۶۶٪
بتن خود متراکم حاوی ۴٪ نانو اکسید منیزیم	۴۲,۹۶	۷۷٪	۵۱,۵۶	۶۹٪

بنابراین با افزایش مقدار نانو اکسید منیزیم به بتن خود متراکم، مقاومت فشاری، کششی و خمشی بتن خود متراکم افزایش می یابد.

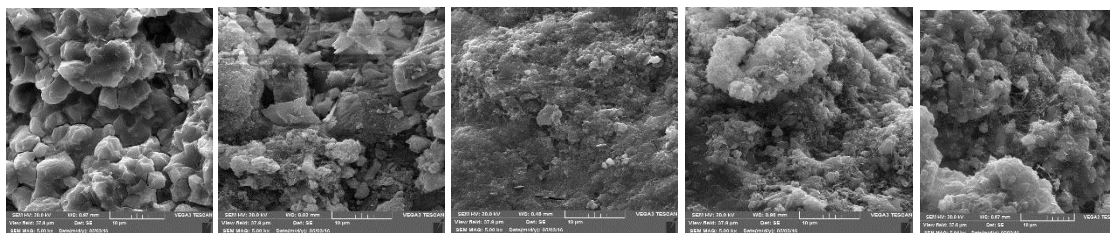
۶- میکروسکوپ الکترونی روبشی^۷: (SEM)

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی جهت بررسی مکانیزم پیش بینی شده خصوصیات مکانیکی بتن و همچنین بررسی اثر نانو ذرات اکسید منیزیم بر روی ماتریس سیمان انجام گرفت. نتایج مشخص کرد که ذرات نانو اکسید منیزیم بر روی رفتار نانو ساختاری خمیر سیمان سخت شده تاثیر می گذارد. در نمونه های بتنی حاوی نانو اکسید منیزیم، زمانیکه اکسید منیزیم هیدراته می شود، محصول نهایی هیدروکسید منیزیم خواهد بود که به دلیل افزایش حجم بالا باعث می گردد تا نانو اکسید منیزیم اثر پرکنندگی بیشتر و بالاتری نسبت به سایر نانو ذرات داشته باشد، زیرا چگالی بار^۸ یون منیزیم از یون کلسیم بیشتر است. یک تبادل کاتیونی بین لایه داخلی یون کلسیم و یون کلسیم دیگر در فاز (کلسیم - سیلیکات - هیدرات)^۹ صورت گرفته و بنابراین ممکن است (منیزیم - سیلیکات - هیدرات) اتفاق بیفتد و این می تواند دلیلی بر تغییرات در روند خصوصیات مکانیکی ملات حاوی نانو اکسید منیزیم باشد. [۷].

در شکل ۱۳ تا ۱۷ بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر نمونه های بتن خود متراکم بدون و حاوی نانو اکسید منیزیم مشاهده می گردد.

^۷ - Scanning Electron Micrograph

^۸ - Charge Density



شکل ۱۳-نمونه بدون نانو اکسید منیزیم	شکل ۱۴-نمونه حاوی یک درصد نانو اکسید منیزیم	شکل ۱۵-نمونه حاوی دو درصد نانو اکسید منیزیم	شکل ۱۶-نمونه حاوی چهار درصد نانو اکسید منیزیم	شکل ۱۷-نمونه حاوی سه درصد نانو اکسید منیزیم
---	---	---	---	---

۷- نتیجه گیری:

(۱) همانطور که در تحقیقات آقای مرادپور و همکاران در سال ۲۰۱۳ مشخص شده است، نانو ذرات اکسید منیزیم، ذرات بسیار ریز انبساط شونده ای هستند که با سطح مخصوص بالایی که دارند، می توانند در هنگام اختلاط، متورم شده و باعث افزایش لزجت در بتن گردند. لزجت نمونه بتن حاوی نانو اکسید منیزیم با افزایش میزان نانو ذرات اکسید منیزیم افزایش می یابد.

(۲) افزودن نانو اکسید منیزیم به میزان ۱٪ وزن سیمان به بتن خود متراکم، مقاومت فشاری، کششی و خمشی را به میزان ۶٪، ۱۵٪ و ۲۴٪ در سن ۲۸ روزه به ترتیب افزایش می دهد.

(۳) افزودن نانو اکسید منیزیم به میزان ۲٪ وزن سیمان به بتن خود متراکم، مقاومت فشاری، کششی و خمشی را به میزان ۳۳٪، ۲۰٪ و ۵۹٪ در سن ۲۸ روزه به ترتیب افزایش می دهد.

(۴) افزودن نانو اکسید منیزیم به میزان ۳٪ وزن سیمان به بتن خود متراکم، مقاومت فشاری، کششی و خمشی را به میزان ۳۴٪، ۲۷٪ و ۶۶٪ در سن ۲۸ روزه به ترتیب افزایش می دهد.

(۵) افزودن نانو اکسید منیزیم به میزان ۴٪ وزن سیمان به بتن خود متراکم مقاومت فشاری، کششی و خمشی را به میزان ۳۵٪، ۲۹/۵۰٪ و ۶۹٪ در سن ۲۸ روزه به ترتیب افزایش می دهد.

(۶) با توجه به تغییرات ناچیز مقاومت فشاری در درصد های ۲ و ۴، بنابراین به نظر می رسد که میزان ۲ درصد از نانو اکسید منیزیم میتواند به عنوان میزان بهینه مصرف، در نظر گرفته شود.

۸- تشکروقدردانی :

ساخت و آزمایش نمونه ها در شرکت ساوانا بتن شیراز و آزمایشگاه بتن و بسترآزما انجام شد . لذا بدینوسیله نگارنده، مراتب تشکر و قدردانی خود را ازمديریت محترم ساوانا بتن آقای مهندس فتاح و مدیریت آزمایشگاه بتن و بسترآزما آقای دکتر سعادت اعلام می دارد .

۹- فهرست منابع :

- [۱]- شکرچی زاده محمد و علی لیبر نیکلاس، بتن خود تراکم، فروغی اصل علی، فامیلی هرمز، بررسی ویژگی های عمومی بتن خود تراکم و دلایل گسترش آن در دنیا، چاپ اول، انتشارات علم و ادب، ص ۱-۱۲، ۱۳۸۵.
- [۲]- گلابچی محمود، تقی زاده کتایون و سروش نیا احسان، نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان، چاپ اول، موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۳-۴۲، ۱۳۹۰.
- [3]- Us Research nano Material,Inc. Available from: [http://www.us_nano.com.magnesium oxid nano particles \(Mgo\).](http://www.us_nano.com.magnesium oxid nano particles (Mgo).)
- [4]- Us Research nano Material,Inc. Available from: http://www.us_nano.com.Material safety data sheet.
- [5]- EFNARC,"Specification and Guidelines for self-Compacting Concrete",European Federation, 2002
- [۶]- مهتا کومارو مونته ئیرو پائولو، ریز ساختار، خواص و اجزای بتن، [مترجم] علی اکبررمضانیانپور، پرویزقدوسی، اسماعیل گنجیان، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ص ۷۸-۸۰، ۱۳۹۱.
- [7]- Moradpour R, Taheri-Nassaj E, Parhizkar T, Ghodsian M., "The effect of nanoscale expansive agent on the mechanical properties of nano-shrink cement-based composites", Composites, B55, 2013, 193-202.
- [8]- Yuan H, Shi Y, Xu Z. Lu C, Ni Y, Lan X., "Effect of nano-mgo on thermal and mechanical properties of aluminate cement composite thermal energy storage materials", Ceramics international, 40, 2014, 4811-4817.
- [9]- Qing Y, Kaikai Y, Zenan Z., "Expansion of ordinary Portland cement paste varied with nano-mgo. Construction and building Materials", 78, 2015, 189-193.

- [10]- Polat R, Demirboga R, Khushefati W., "Effect of nano and micro size of cao and mgo , nano-clay and expanded perlite aggregate on the autogenous shrinkage of mortar", Construction and building Materials, 81, 2015, 268-275.

Application of Nano-magnesium Oxide on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete

Abstract:

One of the main advances in the construction industry is the application of nano technology and the performance of concrete in the combination with these kind of materials in order to improve the properties, behaviors, and their structures and also is the application of nano technology for the construction of concrete with high multiple functionality. Properties, behavior, and the performance of the concrete depend on the nano structure of the concrete area and cement that create cohesion, conjunction, and integration. So concrete studies on the nanoscale and their application are of great importance. In this research, application of nano-magnesium oxide on fresh and mechanical properties of self-compacting concrete is under discussion. In this study, the self- compacting concrete contains different percentages of 1%, 2%, 3%, and 4% is made of the concrete weight and the slump flow tests and slump flow at T=50cm, L box, U box and V funnel are on them and after possessing all the concrete necessities, we put the said concrete in cubical, cylindrical, and flextural forms to be calculated compressive, tensile, and flextural resistance. After 24 hours, we separated the samples from the forms and put them in the water pool to suitable curing. then in the ages of 7 and 28 days, we put them under the specific jacks and after their fracture, we checked the strength of the self- compacting concrete that contained different percentages of nano-magnesium oxide. it was found that, the addition of 4% nano-magnesium oxide of cement weight, increases compressive, tensile and flextural resistance about 35%, 29.50% and 69% respectively. And also consumption of superplasticizer increases.

Keywords: self- compacting concrete, nano-magnesium oxide, mechanical properties (compressive, tensile and flextural resistance)