کاربرد سیلیکافیوم و نانودی‌اکسید تیتانیم در صنعت نمای بتنی اکسپوز

سیده فاطمه خوشکلام سلیماندارابی، راحله رستمی، مهدی نژادنادری*

گروه مهندسی معماری، دانشکده معماری، دانشگاه آزاداسلامی واحد نور، نور، ایران.

چکیده

افزودنی‌ها موجود برای بتن همیشه تمامی مشخصات بتن را بهبود نمی‌بخشد. نانوفناوری نشان داده است که قابلیت بهبود عملکرد بتن را به صورت همه جانبه دارد. تعدادی از موارد استفاده از نانوفناوری در بهبود مقاومت فشاری بتن بررسی شدند. به بررسی تاثیر استفاده از سیلیکافیوم و دی اکسید تیتانیم در افزایش یا کاهش مقاومت فشاری قطعات پیش‌ساخته بتنی اکسپوز در نمای معماری سازه‌های بتنی پرداخته شده است. ۳ طرح با در نظر گرفتن صفر، ۲/۵ و ۵ درصد جایگزینی سیمان با TiO_2 مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند. افزودن TiO_2 به افزایش مقاومت فشاری منجر شده است. بهترین نتایج از نمونه با ٪۲/۵ TiO_2 به دست آمده است. این امر می‌تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO_2 باشد که در آن فراورده‌های آبپوشی می‌توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال‌تر به دست می‌آید. مقایسه SF2 و SF1 در سن ۲۸ روز نشان می‌دهد که افزایش TiO_2 موجب افزایش مقاومت فشاری بوده است. همچنین، نتایج نشان داد مصرف ۵ درصد TiO_2 نسبت به ۲/۵ درصد با کاهش جزئی مقاومت فشاری همراه است. این نشان می‌دهد که درصد بیشتر TiO_2 تاثیر مستقیم بر مقاومت فشاری ندارد.

واژگان کلیدی: دی اکسید تیتانیم، مقاومت فشاری، نمای پیش‌ساخته، نانوفناوری، سیلیکافیوم.

ایمیل نویسنده مسئول: mehdi2930@yahoo.com

۱-مقدمه

در دنباله معماری ارگانیک فرانک لوید رایت که در آن هدف خلق ساختارهایی در سازگاری با طبیعت بود، امروزه این مسئله در قالب معماری پایدار و افق جدید آن یعنی نانوفناوری مطرح و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که با استفاده از دستاوردهای فناوری نانو یک ساختمان در زمان‌ها و مکان‌های متفاوت می‌تواند رفتارهای متفاوتی از خود نشان دهد، سخت و غیرقابل انعطاف یا نرم و سیال، تئوری‌های شناخت مواد به‌طور کلی دگرگون می‌شوند. در واقع مصالح، هویت ثابت خود را از دست می‌دهند و دیگر معماری در زمان و مکان محدود نخواهد شد[۱].

شکل ۱- کلیسای جوبلی، رم، ایتالیا. در نمای این سازه از بتن با ترکیب نانوذرات در اکسید تیتانیم تشکیل شده است.

یکی از فواید کریستال‌های نانومقیاس که با استفاده از نانوذرات تشکیل شده است، پر شدن فضاها و حفرات خالی ماتریس سیمان است. افزودن نانوذرات که منجر به تشکیل نانوکریستال‌ها می‌شود، باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و برشی می‌شود [۲]. همه تولیدات با استفاده از فناوری نانو در صنعت ساختمان ما را به بیشترین پایداری اقتصادی و زیست محیطی سوق می‌دهند[۳]. نانومواد، دی‌اکسیدکربن محیط را جذب کرده و با بازگرداندن گاز اکسیژن به هوا سهم بسزایی در کاهش آلودگی هوا دارند [٤].

بارتس یکی از پژوهشگران در زمینه علم نانو در کتاب خود با بررسی شرایط و منابع تولید مصالح نانو بیان می‌دارد که در طی سال‌های ۲۰۰٤ تا ۲۰۳۰ بدون شک نانو بیشترین تاثیر را در صنعت ساختمان‌سازی خواهد داشت وی در ادامه پیشنهاداتی را به منظور ایجاد تولیدات نوین در زمینه سازه‌های ساختمانی برشمرد که عبارتند از: مساله کیفیت پایه(واکنش متقابل پروسه-ها) در مقیاس نانو همانند ترکیبات سیمانی و نانوساختارها. ابعاد مصالح ساختمانی سنتی با یک ساختار نانو اصلاح و متناسب‌تر شود. نحوه اجرای مصالح ساختمانی، استفاده از عایق‌ها و پوشش‌های خود پاک شونده. استفاده از مصالح و ترکیبات چندمنظوره و چند کاربردی (نانوربات‌ها). ایجاد ساختمان‌های هوشمند و استفاده از نانوحسگرهای زیستی[۵].

در صنعت بتن، سیلیس یکی از معروف‌ترین موادی است که نقش مهمی در چسبندگی و پرکنندگی بتن با عملکرد بالا (HPC)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۳ تاریخ چاپ: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

ایفا می‌کند. فراورده معمولی همان سلیکیافیوم یا میکروسیلیکا است که دارای قطری در حدود ۰/۱ تا ۱۰ میلیمتر است و دارای اکسید سیلیس حدود ۹۰ درصد است. می‌توان گفت که میکروسیلیکا فراورده‌ای است که در گستره بالای اشل اندازه نانومتر برای افزایش عملکرد چندسازه مواد سیمانی به کار برده می‌شود[۶].

استفاده از میکروسیلیس در بتن دارای فواید بسیار زیادی از جمله: کاهش ترک‌های ناشی از آبپوشی سیمان، دوام بهتر در مقابل آسیب های سولفات‌ها و آب های اسیدی و دست یافتن به مقاومت های نهایی بالا با استفاده از انواع سوپر روان‌کننده-های بتن است. از دیگر مزایای مصرف میکروسیلیس کاهش تحرک یون های کلر و در نتیجه کاهش عمق نفوذ کلر در بتن بویژه در نواحی ساحلی جنوب ایران است. از موارد مصرف آن می توان در بتن ریزی های مربوط به ساخت اسکله‌های دریائی، شمع‌ها، ستون‌ها و قطعات پیش ساخته، فونداسیون ماشین آلات و کلیه سازه های بتنی که در معرض حملات شیمیایی بویژه یون کلر و سولفات ها قرار دارند نام برد [۷].

اثر سیلیکافیوم بر ویژگی تازه بتن، مقاومت فشاری در ۲۸ روز و رفتار شکستگی بتن چندسازه حاوی Fly Ash را در مقاله ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون نشان داد که قابلیت سیالیت و جریان از بتن چندسازه حاوی Fly Ash کاهش می‌یابد. افزون بر این، مقاومت فشاری چندسازه بتنی مایع به دلیل افزایش حجم سیلیکا افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان داد که تمام پارامترهاي شكست در طول تركيب موثر، سختي شكست، انرژي شكست، جابجايي تركيب بحراني و جابجايي حداكثر باز شدن تركيب بتن چندسازه حاوی Fly Ash با افزودن سيليس مايع كاهش يافت. هنگامی که محتوای دی اکسید سیلیکا از ۳٪ تا ۱۲٪ افزایش می یابد، این پارامترهای شکستگی به تدریج با افزایش محتوای سیلیکا کاهش می‌یابد[۸].

در مقاله‌ای به بررسی تاثیر استفاده از الترا دی‌اکسیدتیتانیم و سیلیکافیوم بر عملکرد بتن مسلح و غیر مسلح به الیاف پرداخته شد. در این مقاله، به بررسی عملکرد بتن سیمان ساده (PCC) و بتن مسلح الیاف (FRC) با دوده سیلیس (SF) و TiO2 بسیار ریز (UFTiO2)، ۱۰۰ نانومتر، به‌عنوان ترکیبات معدنی پرداخته شد. اندازه UFTiO2 با استفاده از آنالیزور اندازه Zeta انجام شد. بتن با مقاومت فشاری مشخصه ۵۰ مگاپاسکال انتخاب شد. سیمان در سه درصد متفاوت ۴/۵، ۹/۵ و ۱۴/۵ با سیلیکافیوم جایگزین شد و ۰/۵ درصد ثابت UFTiO2 استفاده شد تا سطح جایگزینی در کل سیمان به ۵، ۱۰ و ۱۵درصد برسد. الیاف فولادی در ۵/۵ درصد حجم بتن افزوده شدند. نمونه‌ها برای پارامترهای متفاوت مانند مقاومت در برابر فشار، جذب آب و جذب سطحی بررسی شدند. افزون بر این، آزمایشات مربوط به کشش، خمش و ضربه به منظور بررسی ویژگی های بتن با الیاف انجام شد. نتایج با بتن معمولی مقایسه شد. بتن با ۹/۵ درصد SF و ۰/۵ درصدUFTiO2 به‌عنوان یک ترکیب بهینه در بین کلیه ترکیبات آزمایش شده در سیمان ساده و بتن مسلح با الیاف شناخته شده است [۹].

در این پژوهش، با استفاده از ۲۰ درصد جایگزینی سیلیکافیوم و درصدهای متفاوت استفاده از نانودی اکسید تیتانیم صفر درصد، ۲/۵ و ۵ درصد به بررسی مقاومت فشاری بتن پرداخته شده است. دلیل استفاده این دو ماده با هم برای جبران افزایش درصد جذب آب با دی اکسید تیتانیم در بتن با استفاده از سیلیکافیوم می باشد که نقش کاهندگی درصد جذب آب را دارد و در المان های بتنی پیش ساخته بتنی کاربرد دارند.

۲- بخش تجربی یا فعالیت‌های آزمایشگاهی

در این مقاله، با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده از دی اکسید تیتانیم و سیلیکافیوم در افزایش یا کاهش مقاومت فشاری قطعات پیش‌ساخته بتنی در نمای معماری سازههای بتنی پرداخته شده است.

سیمان نوع I-42.5 مطابق مشخصات استاندارد انجمن آمریکا برای آزمایش و مواد (ASTM) -C150 مورد استفاده قرار گرفت[۱۰]. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول۱: ترکیب شیمیایی سیمان و سیلیکافیوم

Compound	Cement(%)	Silica Fume(%)
CaO	64.38	1.87
SiO_2	21.08	89.22
Al_2O_3	5.36	1.2
Fe_2O_3	3.64	2.12
MgO	2	1.61
K_2O	0.82	1.056
Na_2O	0.5	0.556
L.O.I(Loss On Ignition)	0.9	2.6

TiO2 با قطر حدود ۸۰۰ نانومتر و وزن مخصوص ۳/۹۱ گرم بر سانتی متر مکعب در نسبت مخلوط استفاده شد.

مخلوط کردن با روش انجام شده در ASTM C109 [11] انجام شد. ابتدا مواد خشک به آرامی مخلوط شدند تا یک مخلوط خشک همگن به دست آید. مخلوطی از آب و سوپرپلاستی

کننده به آرامی افزوده و مخلوط کردن به مدت ۵ دقیقه با سرعت بالا ادامه پیدا کرد تا یک ملات همگن دریافت شود. در تمام طرح‌های مخلوط آب به نسبت مواد سیمانی ثابت برای جلوگیری از از دست دادن قدرت مکانیکی ثابت نگه داشته شد. اما با توجه به استفاده از TiO2 به جای سیمان در مخلوط نسبت، برای به دست آوردن مخلوط با کارایی مطلوب، superplasticizer در درصد حجمی متفاوت اضافه شد. نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت تخلیه شدند و تا زمان تست غوطه ور شدند. جدول ۲ طرح‌های مربوط به مخلوط این مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- طرح‌های اختلاط مورد استفاده

Mix designation	Cement content(kg/m³)	Replacement percentage $UFTiO_2$	Water/cement
SFT0	800	0	0.38
SFT2.5	800	2.5	0.38
SFT5	800	5	0.38

آزمون مقاومت فشاری

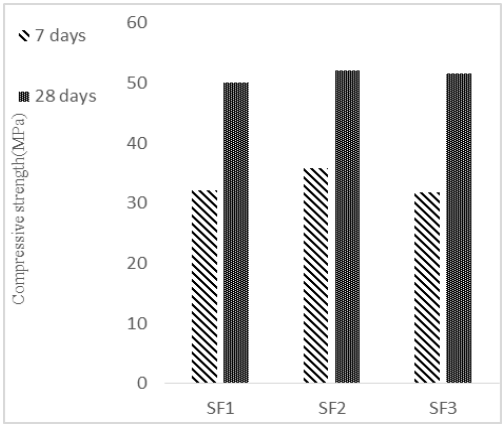
این آزمون مطابق با ASTM C109 [۱۱]، انجام شد. نمونه‌های مکعبی با ابعاد ۵۰ میلیمتر ساخته شده و به مدت ۷ و ۲۸ روز آزمون مقاومت فشاری قرار گرفتند.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

شکل ۲، نتایج آزمون قدرت فشاری در سنین ۷ و ۲۸ روز را نشان می‌دهد. افزودن TiO2 به افزایش مقاومت فشاری منجر شده است. بهترین نتایج از نمونه با ۲/۵ درصد TiO2 به دست آمده است. این امر می‌تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO2 باشد که در آن فراورده آبپوشی می‌توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال‌تر به دست می‌آید.

در مطالعه کارتیکیان و همکارانش (۲۰۱۸) سیمان در سه درصد متفاوت ۴/۵، ۹/۵ و ۱۴/۵ توسط سیلیکافیوم جایگزین شد و ۰/۵ درصد ثابت UFTiO2 استفاده شد تا سطح جایگزینی در کل سیمان به ۵، ۱۰ و ۱۵درصد برسد. نمونه‌ها برای پارامترهای متفاوت مانند مقاومت در برابر فشار بررسی شدند. بتن با ۹/۵ درصد SF و ۰/۵ درصد UFTiO2 به‌عنوان یک ترکیب بهینه در بین همه ترکیبات آزمایش شده در سیمان ساده و بتن مسلح با الیاف شناخته شده است. مقاومت مشخصه بتن موردنظر ۵۰ مگاپاسکال بوده است. در این مقاله، با جایگزینی ۲۰ درصد سیلیکافیوم و ۲/۵ درصد تیتانیم بهترین نتیجه به‌دست آمد. مقادیر مقاومت فشاری سایر طرح های این مطالعه نشان می دهند افزایش ۱۰ درصد بیشتر سیلیکافیوم نسبت به مطالعه قبلی تاثیر خیلی زیادی در افزایش مقاومت مشخصه بتن از حد ۵۰ مگاپاسکال نداشته است. بنابراین، افزودن از ۹/۵ درصد سیلیکافیوم به حد ۲۰ درصد امری بی تاثیر در افزایش مقاومت فشاری به طور چشمگیر بوده است. جدول ۳ نتایج مقادیر مقاومت فشاری نمونه‌ها را نشان می‌دهد.

مقایسه SF3 و SF1 در سن ۷ و ۲۸ روز نشان می دهد که افزایش TiO2 موجب افزایش مقاومت فشاری بوده است. این نشان می‌دهد که TiO2 پتانسیل زیادی برای بهبود ویژگی مکانیکی سیمان چندسازه دارد.



شکل۲- مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه در ۳ حالت طرح اختلاط مورد بررسی حاوی سیلیکافیوم و دی‌اکسید تیتانیم

جدول۳- نتایج عددی مقاومت فشاری در طرح‌های اختلاط مورد استفاده

کد طرح	مقاومت فشاری ۷ روزه	مقاومت فشاری ۲۸ روزه
SF1	32.2	50.2
SF2	35.9	52.2
SF3	31.8	51.7

۴. نتیجه‌گیری

استفاده از نانوذرات دی اکسید تیتانیم تا حد ۲/۵ درصد جایگزینی سیمان، باعث افزایش سرعت آبپوشی و کاهش زمان گیرش همچنین، باعث افزایش فشاری بتن نیز می‌شود. در این مقاله به بررسی درصدهای صفر، ۲/۵ و ۵ درصد TiO2 به جای سیمان برای مقاومت فشاری نمونه‌ها پرداخته شد. افزودن TiO2 تاثیر معنی‌داری بر مقاومت فشاری داشت. با افزودن TiO2 نمونه‌ها مقاومت فشاری بیشتری را نشان می‌دهند. بهترین نتایج از نمونه با ۲/۵ درصد TiO2 به دست آمده است. این امر می‌تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO2 باشد که در آن فراورده‌های آبپوشی می‌توانند رشد کنند و در نتیجه یک

میکروساختار چگال‌تر به دست می‌آید. مقایسه SF3 و SF2 و SF1 در سن ۷ و ۲۸ روز نشان می‌دهد که افزایش TiO2 تا حد ۲/۵ موجب افزایش مقاومت فشاری بوده است ولی با افزایش آن تا حد ۵ درصد این افزایش مقاومت کاهش می یابد. این نشان می دهد که مقدار جایگزینی ۲/۵ درصد TiO2 پتانسیل بهینه برای بهبود خاصیت مقاومت فشاری چندسازه دارد. افزودن از ۹/۵ درصد سیلیکافیوم به حد ۲۰ درصد امری بی‌تاثیر در افزایش مقاومت فشاری به طور چشمگیر بوده است.

۵. منابع

[۱]. مریم حق‌پناه، فرنوش سقائی، مرجان دهقان، "سازه‌های نو در ساختمان‌های هوشمند با رویکرد معماری پایدار"، همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری، بوکان، ۱۷-۱، ۱۳۹۲.

[۲]. محمود گلابچی، کتایون تقی زاده، احسان سروش نیا، "نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۹۰.

[3] S. lijima, "Helical microtubules of graphitic carbon",12, 56-58, (1991).

[4] W.Zhu, J.C. Gibbs, P.J.M. Bartos, "Application of nanotechnology in construction current statuse and Future potentials" proceedings of the 1st International Symposium on Nanotechnology in Construction held at the university of paisley. 24, 23-25, (2003).

[5] P.J.M. Bartos, "Nanotechnology in cinstruction: a roadmap for development, proc of the Nanotechnology in construction", prugue, Czech Republic, (3), 15-26, (2009).

[۶]. هومن مسگریان، عباس ارمغان، علی صمدیان، "بررسی کاربرد فناوری نانو در ساختمان و تأثیر آن بر پایداری محیط زیست"، اولین همایش ملی معماری، مرمت، شهرسازی و محیط زیست پایدار، همدان، دانشکده فنی شهید مفتح همدان، ۱۳۹۲.

[۷]. محمدحسین توکلی دستجربی، "کاربرد نانوفناوری در بتن"، نشریه جهان گستر، شماره۱۲۱. ۴۵-۳۵، ۱۳۹۳.

[8] P. Zhang, G. Ji-Xiang, D. Xiao-Bing, Z. Tian-Hang and W. Juan, "Fracture behavior of fly ash concrete containing silica fume", Structural Engineering and Mechanics, An Int'l Journal, 59(2), 23-28, (2016).

[9] B. Karthikeyan and G. Dhinakaran, "Influence of ultrafine TiO2 and silica fume on performance of unreinforced and fiber reinforced concrete", Construction and Building Materials, 161,570-576, (2018).

[10] ASTM C150-07, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.12, 54-60,(2007).

[11] ASTM C109-08, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2008.