

کاربرد دی اکسید تیتانیوم در آلمان های بتنی پیش ساخته برای صنعت نمای ساختمان از نظر مقاومت خمشی

- سیده فاطمه خوشکلام سلیماندارابی^۱، راحله رستمی^۲، مهدی نژادنادری^{۳*}
- ۱- گروه مهندسی معماری، دانشکده معماری، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، نور
- ۲- گروه مهندسی معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری
- ۳- گروه مهندسی عمران، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن

چکیده

افزودنی ها موجود برای بتن همیشه تمامی مشخصات بتن را بهبود نمی بخشد. نانو فناوری نشان داده است که قابلیت بهبود عملکرد بتن را به صورت همه جانبه دارد. در این مقاله تعدادی از کاربرد های نانو فناوری در بتن بررسی شدند. سپس به بررسی تاثیر استفاده از دی اکسید تیتانیوم در افزایش یا کاهش مقاومت خمشی قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه های بتنی پرداخته شده است. ۳ طرح با در نظر گرفتن صفر، ۲/۵ و ۵ درصد جایگزینی سیمان با TiO_2 مورد آزمایش مقاومت خمشی قرار گرفتند. افزودن TiO_2 به افزایش مقاومت خمشی منجر شده است. بهترین نتایج از نمونه با TiO_2 ۲.۵٪ به دست آمده است. این امر می تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO_2 باشد که در آن محصولات هیدراتاسیون می توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال تر به دست می آید. مقایسه SF_3 و SF_1 در سن ۲۸ روز نشان می دهد که افزایش TiO_2 موجب افزایش مقاومت خمشی بوده است. این نشان می دهد که TiO_2 پتانسیل زیادی برای بهبود خواص مکانیکی سیمان کامپوزیت دارد.

واژگان کلیدی: دی اکسید تیتانیوم، مقاومت خمشی، نمای پیش ساخته، نانو تکنولوژی.

ایمیل نویسنده مسئول: Mehdi2930@yahoo.com

۱-مقدمه

ذرات نانو با توجه به ابعادشان می توانند نقش پر کننده حفرات را بازی کنند. همچنین می توانند با تشکیل نانو کریستال ها مشخصات بتن را ارتقا بخشند. میکرو سیلیس از جمله افزودنی های پرمصرف امروزی است با این حال مشاهده شده که استفاده از نانو سیلیس تاثیر بهتری روی رفتار بتن دارد. در ادامه بتن خود تمیز شونده، خود پایش، نانو مسلح کننده های بتن و نانو پوشش های بتنی معرفی می شوند.

دی اکسید تیتانیوم:

خود تمیز شوندگی فوتو کاتالیتیک، یکی از مهم ترین موارد استفاده از نانو تکنولوژی در صنعت ساختمان است. آلودگی های طبیعی و صنعتی مثل NO_x ، مونوکسید کربن، VOCها، کلروفلور ها و آلهید های ناشی از اتومبیل ها و پساب های صنعتی، در اثر فوتوکاتالیزر و به کمک کاتالیزر بسیار فعال نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم تجزیه می شوند [۱]. برای فعال شدن

اثر خود تمیز شوندگی در اکسید تیتانیوم، نور طبیعی روز، رطوبت هوا و اکسیژن مورد نیاز است. نحوه فعالیت فوتو کاتالیکیتیکی های بر پایه دی اکسید تیتانیوم را به صورت جامع می توان در مقاله [۲] مطالعه نمود. هم اکنون محصولات خود تمیز کننده و ضد آلاینده بتنی توسط شرکت های مختلف برای استفاده در نمای ساختمان ها و کف پوش های جاده ها تولید می شود و در اروپا و ژاپن بسیار استفاده شده اند که برای مثال می توان از کلیسای جوبلی در رم ایتالیا نام برد. محققان همچنین نشان داده اند که استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم علاوه بر خاصیت خود تمیز کنندگی، باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش [۳] و همچنین باعث افزایش مقاومت خمشی و فشاری بتن نیز می شوند [۴،۵]. یکی از معایب این روش کاهش کارایی تجزیه کنندگی آن با گذشت زمان است [۶].

بودن (Hydrophilic) ذرات رس، کنترل مقدار آب مورد نیاز در کامپوزیت های رس-سیمان با اهمیت است [۹].

نانوسیلیس:

میکروسیلیس یکی از موادی است که در دهه های اخیر استفاده از آن در بتن به طور جدی مورد توجه مهندسين ساختمان قرار گرفته است. به دليل خصوصيات بارز پوزولانی میکروسیلیس، استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشور های پیشرفته رو به افزایش است. استفاده از آن در بتن دارای فواید بسیار زیادی از جمله: کاهش ترکهای ناشی از هیدراتاسیون سیمان، دوام بهتر در مقابل آسیب های سولفات ها و آب های اسیدی و دست یافتن به مقاومت های نهایی بالا با استفاده از انواع سوپر روان کننده های بتن می باشد. 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 می باشد. از موارد مصرف آن می توان در بتن ریزی های مربوط به ساخت اسکله های دریائی، شمع ها، ستون ها 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.

در سال های اخیر مطالعات بر روی نانو ذرات سیلیس متمرکز شده، با این هدف که بتوان با استفاده از این ماده، مشخصات بتن را بیش از پیش افزایش داد. افزودن نانو سیلیس به بتن موجب افزایش مقاومت فشاری، کششی و خمشی، کاهش زمان گیرش و کاهش نفوذ پذیری آب درون بتن و همچنین مقاومت بالاتر در برابر حمله های شیمیایی می شود. آزمایشاتی که بر روی نانو سیلیس انجام شده، نشان داده اند که این ذرات تنها برای محیط زیست مشکل ساز نیستند بلکه نتایج بهتری در مقایسه با میکرو سیلیس ارائه می کنند [۱۰]. تحقیقات نشان داده است که اضافه کردن نانو سیلیس بیشتر از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت در بتن می شود [۱۱]. نانو سیلیس مخلوط شده با بتن در دراز مدت باعث حفظ سلامت کارگران، بتن و محیط زیست می شود.

نانو سیلیس همچنین می تواند باعث کاهش مصرف سیمان، بهبود کیفیت بتن و افزایش کارایی آن شود [۱۲، ۱۳، ۱۰]. اضافه کردن ۱۰ درصد نانو سیلیس باعث افزایش ۲۶ درصدی مقاومت فشاری بتن گردید در حالی که همین مقدار میکروسیلیس افزایش ۱۵ درصدی مقاومت فشاری بتن در را در بر داشت [۱۳]. حتی اضافه کردن مقدار اندک ۰/۲۵ درصدی نانو سیلیس باعث ۱۰ درصد افزایش مقاومت فشاری و ۲۵ درصد افزایش مقاومت خمشی می گردد [۱۴].

نانو ذرات اکسید آهن:

مشاهده شده است که استفاده از نانو ذرات اکسید آهن در ملات سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری و خمشی و



شکل ۱- کلیسای جوبلی، رم، ایتالیا. در نمای این سازه از بتن با ترکیب نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم استفاده شده است.

نانو ذرات سیمان:

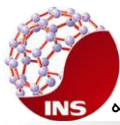
یکی از فواید کریستال های نانو مقیاس که با استفاده از نانو ذرات تشکیل شده است، پر شدن فضا ها و حفرات خالی ماتریس سیمان است. اضافه کردن نانو ذرات که منجر به تشکیل نانو کریستال ها می شود، باعث افزایش مقاومت فشاری، کششی و برشی می شود [۷].

سیمان در صنعت به صورت پودر تولید و مصرف می شود. ابعاد ذرات سیمان معمولی عموماً در حد میلی و میکرو هستند. اخیراً نانو ذرات سیمان برای بهبود عملکرد سیمان پیشنهاد شده است. دو روش برای ساخت نانو ذرات سیمان پیشنهاد شده است: ۱) خرد کردن ذرات سیمان معمولی به وسیله آسیاب های پر قدرت (کل به جزء و ۲) ترکیبات شیمیایی (جزء به کل). چسب های سیمانی که با استفاده از نانو ذرات سیمان به وجود می آیند، زمان عمل آوری کمتر و مقاومت فشاری اولیه بالاتری نسبت به سیمان های معمولی دارند [۸].

نانو رس ها:

استفاده از ذرات نانو رس باعث بهبود رفتار مکانیکی مثل مقاومت در مقابل نفوذ کلرید ها، ایجاد بتن خود متراکم، کاهش نفوذ پذیری و کاهش افت در بتن می شود. رس و مشخصات رس که در ترکیب با سیمان تاثیر گذار می باشد در مقیاس نانو وجود دارد. ابعاد ذرات رس در طبیعت در حد میکرو و ریز تر از میکرو است. ساختار رس شامل لایه های کریستالی فیلوسیلیکات آلومینیوم با ضخامت تقریبی در حد یک نانو متر است.

تاثیر رس بر روی سیمان موضوع جدیدی نیست و در اکثر کاربرد ها از رس کلسینه (Calcined clay) شده استفاده می شود. با این حال در بازبینی های اخیر تمرکز بر روی امکانات مهندسی نانو در رس قرار گرفته است. اکثر این تحقیقات بر روی رس طبیعی (کلسینه نشده) انجام می شود. به دلیل آب دوست



جدول ۲ طرح های مربوط به مخلوط این مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۲- طرح اختلاط مورد استفاده

Mix designation	Cement content(kg/m ³)	Replacement percentage		Water/cement
		UFTiO ₂		
SFT0	800	0		0.38
SFT2.5	800	2.5		0.38
SFT5	800	5		0.38

آزمون مقاومت خمشی:

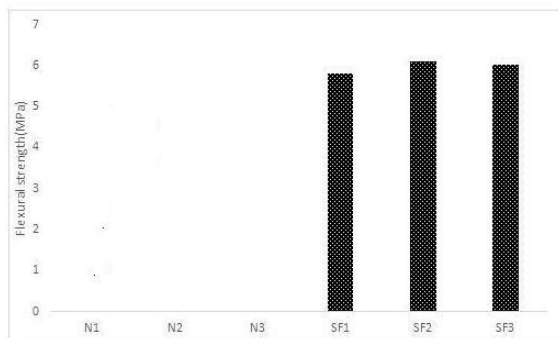
این آزمایش بر اساس روش ASTM C348 انجام شد [۱۷]. نمونه ها با ابعاد ۴۰ * ۴۰ * ۱۶۰ میلی متر ساخته شده و در سن ۲۸ روزگی بارگیری خمشی انجام گرفت.

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

شکل ۲ نتایج آزمون قدرت خمشی در سنین ۲۸ روز را نشان می دهد. افزودن TiO₂ به افزایش مقاومت خمشی منجر شده است.

بهترین نتایج از نمونه با ۲.۵٪ TiO₂ به دست آمده است. این امر می تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO₂ باشد که در آن محصولات هیدراتاسیون می توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال تر به دست می آید.

مقایسه SF1 و SF3 در سن ۲۸ روز نشان می دهد که افزایش TiO₂ موجب افزایش مقاومت خمشی بوده است. این نشان می دهد که TiO₂ پتانسیل زیادی برای بهبود خواص مکانیکی سیمان کامپوزیت دارد.



شکل ۲- مقایسه مقاومت خمشی نمونه های ۲۸ روزه در ۳ حالت طرح اختلاط مورد بررسی.

همچنین عامل ایجاد قابلیت خود-پایش هوشمند بودن (Self-sensing capabilities) بتن می گردد [۱۳].

توده ملات سیمان که با نانو ذرات اکسید آهن مخلوط گردیده است، تحت اثر بارگذاری های مختلف، مقاومت الکتریکی متفاوتی نشان می دهد. وجود این قابلیت فوق العاده گرانبه است و به خصوص برای سازه هایی که از حس گر های مدفون داخل سازه بهره مند نیستند قابل استفاده است. با توجه به این خاصیت منحصر به فرد همچنین می توان عملکرد حس گر های سنجش تنش را بهینه سازی کرد.

جدول ۱: ترکیب شیمیایی سیمان

Compound	Cement(%)
CaO	64.38
SiO ₂	21.08
Al ₂ O ₃	5.36
Fe ₂ O ₃	3.64
MgO	2
K ₂ O	0.82
Na ₂ O	0.5
L.O.I.(Loss On Ignition)	0.9

۲- بخش تجربی یا فعالیت های آزمایشگاهی

در این مقاله با کمک روش آزمایشگاهی به بررسی تاثیر استفاده از دی اکسید تیتانیوم در افزایش یا کاهش مقاومت خمشی قطعات پیش ساخته بتنی در نمای معماری سازه های بتنی پرداخته شده است.

سیمان نوع I-42.5 مطابق مشخصات استاندارد انجمن آمریکا برای آزمایش و مواد C150- (ASTM) مورد استفاده قرار گرفت [۱۵]. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول ۱ ارائه شده است. 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 [16] ASTM C109 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 اضافه شد و مخلوط کردن به مدت ۵ دقیقه با سرعت بالا ادامه پیدا کرد تا یک ملات همگن دریافت شود. در تمام طرح های مخلوط آب به نسبت مواد سیمانی ثابت برای جلوگیری 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 مختلف اضافه شد. نمونه ها پس از ۲۴ ساعت تخلیه شدند و تا زمان تست غوطه ور شدند.

۴. نتیجه گیری

استفاده از نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم باعث افزایش سرعت هیدراتاسیون و کاهش زمان گیرش همچنین باعث افزایش خمشی بتن نیز می شود. در این مقاله به بررسی درصدهای صفر، ۲/۵ و ۵ درصد TiO_2 به جای سیمان برای مقاومت خمشی نمونه ها پرداخته شد. افزودن TiO_2 تاثیر معنی داری بر مقاومت خمشی داشت. با افزودن TiO_2 نمونه ها مقاومت خمشی بیشتری را نشان می دهند. بهترین نتایج از نمونه با ۲/۵٪ TiO_2 به دست آمده است. این امر می تواند به علت اثر پرکنندگی ذرات TiO_2 باشد که در آن محصولات هیدراتاسیون می توانند رشد کنند و در نتیجه یک میکروساختار چگال تر به دست می آید. مقایسه SF_1 و SF_3 در سن ۲۸ روز نشان می دهد که افزایش TiO_2 موجب افزایش مقاومت خمشی بوده است. این نشان می دهد که TiO_2 پتانسیل زیادی برای بهبود خواص مکانیکی سیمان کامپوزیت دارد.

۵. منابع

- [1] Y. Murata, T. Obara, K. "Takeuchi. Air purifying pavement: development of photocatalytic concrete blocks", J Adv Oxidat Technol, 4(2):227-30, 1999.
- [2] J. Chen, C.S. Poon, "Photocatalytic construction and building materials: from fundamentals to applications", Build Environ, 44(9):1899-906, 2009.
- [3] A.R. Jayapalan, K.E Kurtis, "Effect of nano-sized titanium dioxide on early age hydration of Portland cement In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors", Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic, p. 267-73, 2009.
- [4] H. Li, M.H. Zhang, J.P. Ou, "Abrasion resistance of concrete containing nanoparticles for pavement", Wear, 260(11-12):1262-6, 2006.
- [5] H. Li, M.H. Zhang, J.P. Ou, "Flexural fatigue performance of concrete containing nano-particles for pavement", Int J Fatig, 29(7):1292-301, 2007.
- [6] M. Lackhoff, X. Prieto, N. Nestle, F. Dehn, R. Niessner, "Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement-influence of semiconductor type and cement ageing", Appl Catal B Environ, 43(3):205-16, 2003.
- [7] محمود گلابچی، کتابیون تقی زاده، احسان سروش نیا، "نانو فناوری در معماری و مهندسی ساختمان"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۹۰.
- [8] S.J. Lee, W.M. Kriven, S. Mater, "Synthesis and hydration study of Portland cement components prepared

by the organic steric entrapment method", 38(1):87-92, 2005.

[9] F. Sanchez, K. Sobolev, "Const. and Building Mat", J, Nanotechnology in concrete - A review, 24 2060-2071, 2010.

[10] K. Sobolev, M. Ferrada-Gutiérrez, "How nanotechnology can change the concrete world: Part 1", Am Ceram Soc Bull, 84(10):14-7, 2005.

[11] Y. Qing, Z. Zenan, K. Deyu, C. Rongshen, "Influence of nano- SiO_2 addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume", Construct Build Mater, 21(3):539-45, 2007.

[12] H. Li, H.G. Xiao, J. Yuan, J. Ou, "Microstructure of cement mortar with nanoparticles", Compos B Eng, 35(2):185-9, 2004.

[13] J.J. Gaitero, I. Campillo, A. Guerrero, "Reduction of the calcium leaching rate of cement paste by addition of silica nanoparticles", Cem Concr Res, 38(8-9):1112-8, 2008.

[14] K. Sobolev, I. Flores, L.M. Torres-Martinez, P.L. Valdez, E. Zarazua, E.L. Cuellar, "Engineering of SiO_2 nanoparticles for optimal performance in nano cementbased materials", In: Bittnar Z, Bartos PJM, Nemecek J, Smilauer V, Zeman J, editors. Nanotechnology in construction: proceedings of the NICOM3 (3rd international symposium on nanotechnology in construction). Prague, Czech Republic, p. 139-48, 2009.

[15] ASTM C150-07, Standard Specification for Portland Cement, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA. 2007.

[16] ASTM C494-08, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2008.

[17] ASTM C348-08, Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2008.