2nd International Congress on Structure , Architecture
and Urban Development
16-18 December 2014, Tabriz , Iran

تاثیر جایگزینی پوزولان خاکستر پوسته برنج بر مشخصات مکانیکی بتن خودتراکم

جواد برنجیان[1]، حسین نوری پهلوانلو[2]*

۱- استادیار و رئیس موسسه آموزش عالی طبری بابل
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- سازه موسسه آموزش عالی طبری بابل و مولف رابط
Noori_abivard@yahoo.com

چکیده

عامل اصلی جلب توجه محققین به خاکستر پوسته برنج درصد سیلیس بالای این ماده است که اگر در کوره های استاندارد سوزانده شود مقدار سیلیس آن حدود ۸۰ درصد و گاهی حتی بیشتر از ۹۰ درصد است، به این ترتیب خاکستر پوسته برنج از نظر دارا بودن درصد سیلیس می توان در کنار میکروسیلیس قرار داد. از طرفی ناحیه تماس که به اسامی مختلفی مانند لایه مرزی یا منطقه انتقالی نامیده می‌شود، بین خمیر سیمان و سنگ دانه یا میل‌گرد پدید می‌آید که نقش مهمی در نفوذپذیری، دوام و مقاومت بتن دارد. ناحیه تماس دارای میکرو ساختاری متفاوت با خمیر سیمان بوده و دارای تخلخل و ریز ترک‌های بیشتری است. ضخامت ناحیه تماس تابع نوع سیمان، نوع پوزولان مصرفی، نسبت آب به سیمان و سن بتن می‌باشد. در این بررسی آزمایشگاهی برای تقویت ناحیه تماس از خاکستر پوسته برنج به عنوان پوزولان مصنوعی بسیار فعال استفاده شده است. در این تحقیق طرح های اختلاط با دو نسبت آب به مواد پودری ۰/۳۹ و ۰/۴۴ و با درصدهای جایگزین پوزولان خاکستر پوسته برنج ۵، ۱۰و ۱۵درصد جهت بررسی خواص بتن سخت شده ساخته شد و نتایج بتن سخت شده حاکی از آن بود که با افزایش در صد جایگزین خاکستر پوسته برنج خواص مکانیکی بتن خودتراکم بهبود می یابد.

واژه‌های کلیدی: بتن خودتراکم، پوزولان، سیلیس، خاکستر پوسته برنج، خواص مکانیکی

۱- مقدمه

با افزایش جمعیت جهان و توسعه شهرها ازا ابتدای قرن بیستم میلادی که باعث مصرف بسیار زیاد سیمان در صنعت ساختمان شده است بشر همواره با چالش‌های بزرگی در زمینه‌های اقتصادی و زیست محیطی روبرو شده است زندگی در جهان امروز بدون هماهنگی بین بخش‌های مختلف صنعت امکان‌پذیر نمی‌باشد. همان طور که افزایش جمعیت جهان، توسعه بی‌رویه شهرها و مصرف زیاد مصالح ساختمانی را باعث شده است پیش از آن مصرف روزافزون مواد غذایی را در پی داشته است. محصول کشاورزی برنج همواره در بین بیش‌ترین تولیدات کشاورزی قرار دارد. یک پنجم وزن برنج تولیدی را پوسته آن تشکیل می‌دهد که با تولید قریب به ۷۰۰ میلیون تن برنج سالانه در سراسر جهان می‌توان به حجم بالای پوسته برنج تولیدی پی برد. پوسته برنج محصولی زائد است، ساختار خشن آن در برابر تجزیه طبیعی بسیار مقاوم است و سوزاندن آن به صورت سوخت در کوره‌های صنعتی به عنوان یک راهکار مصرف بهینه این محصول آلودگی‌های زیست محیطی و مشکلات دفع خاکستر ناشی از سوختن آن را در پی دارد. تلاش‌ها برای صرفه جویی اقتصادی روند تولید سیمان و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای ناشی از کارخانه‌های سیمان، محققین را متوجه مواد جایگزین کرده است. بهترین گزینه‌های جایگزین برای سیمان

یا بخشی از آن موادی هستند که خود پسماند دیگر صنایع هستند چرا که تولید این مواد ناخواسته و بدون صرف هزینه مازاد انجام می‌گیرد و مصرف این مواد که پوزولان نامیده می‌شوند علاوه بر صرفه جویی اقتصادی اثرات مثبتی برکاهش تولید گازهای آلوده کننده خواهد داشت. همواره توجه به این نکته از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد که بتن ساخته شده با سیمان پوزولانی نباید کیفیت پایین تری از بتن ساخته شده با سیمان خالص داشته باشد. خاکستر پوسته برنج حاصل سوزاندن پوسته آن است. حدود یک پنجم وزن پوسته برنج پس از سوزاندن به خاکستر تبدیل می‌شود. حدوداً ۲۰ درصد وزنی برنج تولیدی شامل پوسته آن است و دارای ترکیبات ۵۰٪ سلولز، ۲۵٪ تا ۳۰٪ لیگنین و ۱۵٪ تا ۲۰٪ سیلیکا است [۱].

خاکستر پوسته برنج از سوزاندن پوسته برنج به دست می‌آید. در حین سوختن، سلولز و لینگنین[1] از بین رفته و سیلیکا باقی می‌ماند. محیطی که پوسته در آن می‌سوزد و کنترل دمای سوختن آن بر کیفیت خاکستر به دست آمده، اندازه و سطح ویژه ذرات بسیار موثر است [۱].

خاکستر تولیدشده با دمای سوخت ۵۵۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱ ساعت موجب تغییر شکل سیلیکا به فاز غیر بلوری[2] می‌شود. میزان فعالیت سیلیکای غیر متبلور به طور مستقیم با سطح ویژه خاکستر متناسب است. خاکستر تولید شده معمولاً سپس آسیاب می شود تا از نظر ریز بودن ذرات، قابلیت اختلاط با سیمان را به دست آورد. تولید خاکستر پوسته برنج عموماً در نواحی انجام می‌گیرد که تولید برنج زیادی دارند[۱].

خاکستر پوسته برنج بسته به شرایط سوزاندن و درصد ناخالصی‌ها می‌تواند به رنگ‌های خاکستری، ارغوانی یا سفید درآید. اگر سوزاندن در محیط باز یا در شرایط غیر کنترل شده انجام شود، بیشتر ذرات خاکستر به صورت غیرفعال باقی می‌ماند. این خاکستر شامل کربن زیادی است و بنابراین به رنگ سیاه در می‌آید [۲].

بلوری یا غیر بلوری بودن سیلیکا در خاکستر پوسته برنج کاملاً وابسته به شرایط سوزاندن است. اگر خاکستری در فضای باز و کنترل نشده سوزانده شود درصدی زیادی از سیلیکا باقی می‌ماند. فعالیت خاکستر پوسته برنج به دلیل حاکم بودن ساختار متخلخل ذرات به حجم سیلیکای غیر بلوری و سطح ویژه بسیار زیادش نسبت داده می‌شود [۲ و۳].

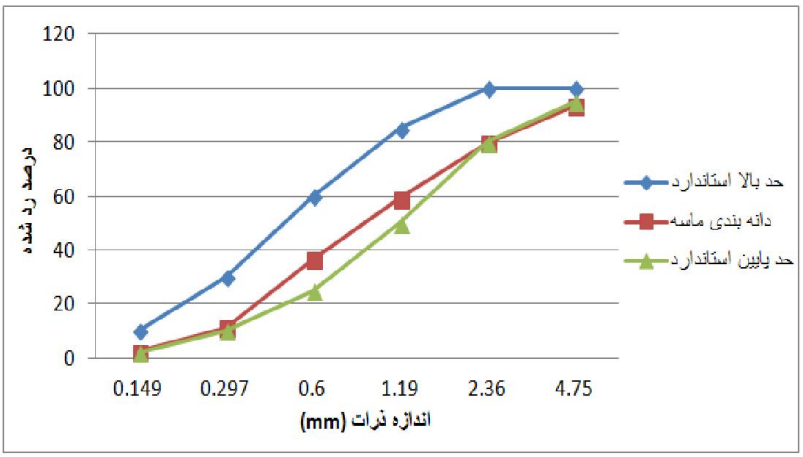
۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

شن بکار گرفته شده در ساخت بتن خودمتراکم از نوع شکسته با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر بوده است. بدین صورت که اندازه ۲۰ درصد شن مصرفی بین ۱۲/۵ تا ۱۹ میلیمتر و اندازه ۸۰ درصد شن مصرفی بین ۴/۷۵ تا ۱۲/۵ میلیمتر قرار دارد. همچنین چگالی ویژه شن بکار رفته برابر ۲/۶۸ تن بر متر مکعب بود.

جهت ساخت نمونه های آزمایشی از ماسهٔ شسته رودخانه ای بابل با مدول نرمی۳/۱۷ استفاده گردید. همچنین چگالی ویژه ماسه بکار رفته برابر ۲/۶۴ تن بر متر مکعب می باشد. منحنی دانه بندی ماسه در شکل ۱ نشان داده شده است.

[1] Lignin
[2] Amorphous



شکل۱: منحنی دانه بندی ماسه مصرفی

سیمان مورد استفاده از نوع سیمان پرتلند تیپ II ساخت کارخانه سیمان مازندران (نکا) می باشد. دانسیتهٔ سیمان مذکور برابر با ۳/۱۵ بوده، همچنین خواص فیزیکی و شیمیایی این سیمان به ترتیب در جداول۱ و ۲ آورده شده است.

جدول۱: خواص فیزیکی سیمان تیپ ۲ [۴]

مقدار مشخصه فیزیکی	مشخصات فیزیکی سیمان مازندران(نکا)
۱۰۰ دقیقه	زمان گیرش اولیه
۱۸۰ دقیقه	زمان گیرش نهایی
$kg/cm^2$۲۲۰	مقاومت ۳ روزه
$kg/cm^2$۳۹۰	مقاومت ۷ روزه
$kg/cm^2$۵۲۰	مقاومت ۲۸ روزه

جدول۲: تجزیه شیمیایی سیمان تیپ ۲ مازندران [۴]

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
SiO_2	۲۱/۲۵	CaO	۶۴/۰۷
Al_2O_3	۴/۹۵	MgO	۱/۲۰
Fe_2O_3	۳/۱۹	SO_3	۲/۰۴
K_2O	۰/۶۳	Na_2O	۰/۳۸

پوزولان مورد استفاده از نوع خاکستر پوسته برنج با ترکیبات شیمیایی ارائه شده در جدول ۳ می باشد.

خاکستر پوسته برنج غنی از سیلیس است. حجم سیلیس در خاکستر پوسته برنج به طور کلی بیشتر از ۸۰ تا ۸۵ درصد است. ترکیبات شیمیایی خاکستر پوسته برنج با استاندارد مربوط به مواد پوزولانی استاندارد ASTM C618 [۵] مطابقت می‌کند. طبق این استاندارد نسبت ترکیبات SiO_2 و Al_2O_3 و Fe_2O_3 نباید کمتر از ۷۰٪ شود و مقدار کربن نباید بیشتر از ۱۲٪ شود. که در جدول ۳ مقدار سه مواد فوق‌الذکر بیشتر از ۸۶٪ است و بیش‌ترین مقدار کربن هم ۸،۵۵٪ است. در برخی منابع حتی درصدهای سیلیس ۹۰٪ و بیشتر هم اعلام شده است [۶و۷].

جدول۳: ترکیبات شیمیایی خاکستر پوسته برنج [۸]

اجزاء	درصد		
	Mehta	Bui ta al.	Ganesan et al.
Silica (SiO_2)	87.2	86.98	87.32
Alumina (Al_2O_3)	0.15	0.84	0.22
Iron oxide (Cao)	0.16	0.73	0.28
Calcium oxide (MgO)	0.55	1.4	0.48
Magnesium oxide (MgO)	0.35	0.57	0.28
Sodium oxide (Na_2O)	1.12	0.11	1.02
Potassium oxide (K_2O)	3.68	2.46	3.14
Sulfur oxide (SO3)	0.24	-	-
LOI	8.55	5.14	2.1

در ساخت مخلوط های بتنی از آب آشامیدنی شهر بابل استفاده شده است، همچنین برای دستیابی به روانی مورد نیاز برای بتن خودتراکم از فوق روان کننده با پایه کربوکسیلاتی محصول شرکت دماوند سفید استفاده شد.

۲-۲- طرح اختلاط

در این برنامه آزمایشگاهی به منظور بررسی اثر پوزولان بر خواص بتن خودتراکم ۸ طرح اختلاط با مقادیر مختلف پوزولان در نظر گرفته شد بدین منظور پودر خاکستر پوسته برنج با ۵، ۱۰و ۱۵ درصد قرار گرفت که در جدول۴ آورده شده است. در طرح ها از دو نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۹ و ۰/۴۴ استفاده شد. در این تحقیق مقدار فوق روان کننده ثابت انتخاب شده است.

جدول۴: طرح اختلاط مخلوط ها

کد طرح	W/P	سیمان Kg/m^3	خاکستر پوسته برنج Kg/m^3	درشت دانه Kg/m^3	ریزدانه Kg/m^3	فوق روان کننده (درصد وزنی مواد سیمانی)
C1	۰/۳۹	۵۷۳/۶	۰	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
RHA5	۰/۳۹	۵۴۴/۹	۲۸/۷	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
RHA10	۰/۳۹	۵۱۶/۲	۵۷/۴	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
RHA15	۰/۳۹	۴۸۷/۶	۸۶	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
C2	۰/۴۴	۵۷۳/۶	۰	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
RHA5	۰/۴۴	۵۴۴/۹	۲۸/۷	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
RHA10	۰/۴۴	۵۱۶/۲	۵۷/۴	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳
RHA15	۰/۴۴	۴۸۷/۶	۸۶	۷۳۰	۸۹۴	۱/۳

۲-۳- آزمایش های انجام شده

آزمایش های بتن خودتراکم در حالت سخت شده مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های بتن سخت شده خودتراکم شامل مقاومت فشاری در سنین مختلف ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بر روی نمونه های مکعبی ۱۰×۱۰ سانتیمتری مورد ارزیابی قرار گرفته است. علاوه بر مقاومت فشاری، نمونه های استوانه ای cm ۳۰×۱۵جهت بررسی مقاومت کششی و مدول الاستیسیته بتن خودتراکم در سن ۲۸ روزگی نیز مورد بررسی قرار گرفتند.

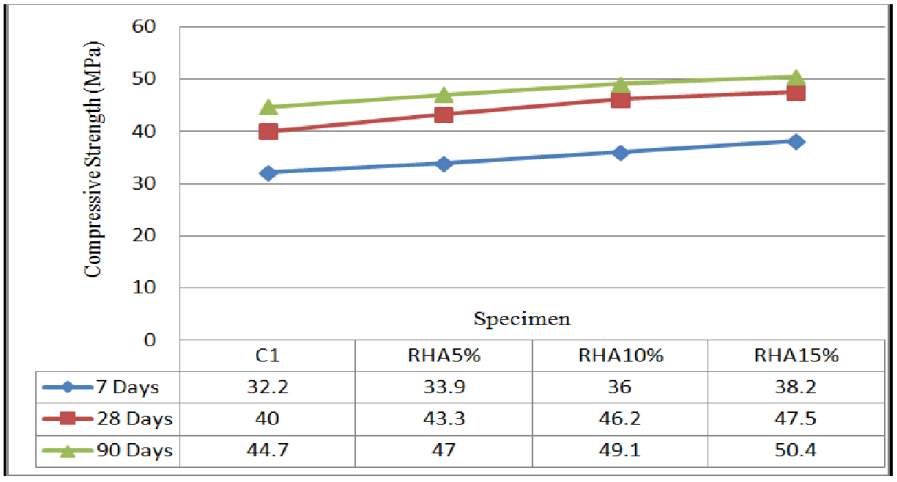
۲-۴- نحوه عمل آوری

بعد از اتمام اختلاط، این نمونه ها در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۲۴ ساعت در قالب نگهداری می‌شدند و سپس از قالب در آورده شده و در حوضچه‌های آب در دمای بین ۲۲-۲۵ درجه سانتیگراد تا سن مورد نظر برای هرآزمایش نگهداری شدند.

۳- نتایج آزمایش ها و بررسی آن ها

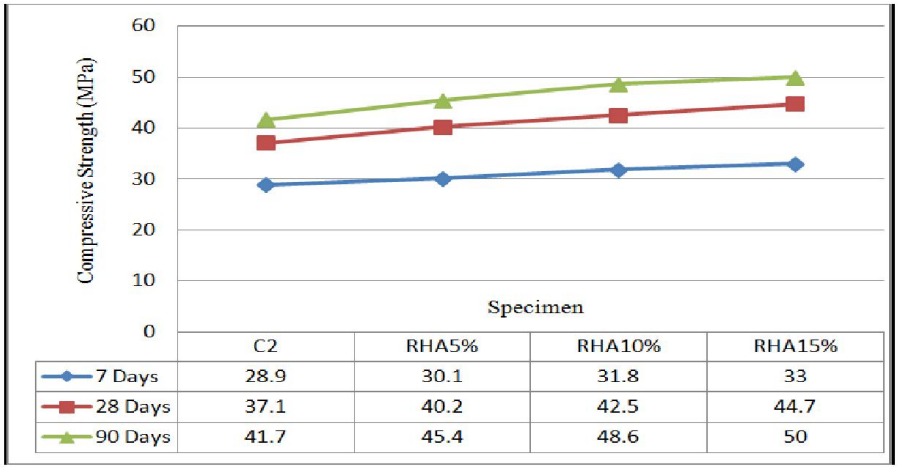
۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری

مقاومت فشاری بتن در دو نسبت آب به مواد سیمانی و درصد مختلف جایگزینی سیمان در سنین۷، ۲۸ و۹۰ روزه مورد بررسی قرار گرفت. و نتایج در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است. در تمامی طرح ها مقاومت فشاری نمونه ها با افزایش سن بتن افزایش می یابد و با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی کاهش مقاومت رخ داده است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری حاکی از آن است که با افزایش درصد جایگزین خاکستر پوسته برنج افزایش مقاومت فشاری را در تمام سنین داریم. در سنین مختلف بیشترین افزایش مقاومت فشاری برای حضور ۱۵ درصد خاکستر پوسته برنج اتفاق افتاده است.



	C1	RHA5%	RHA10%	RHA15%
7 Days	32.2	33.9	36	38.2
28 Days	40	43.3	46.2	47.5
90 Days	44.7	47	49.1	50.4

شکل۲: نتایج مقاومت فشاری با نسبت آب به مواد چسباننده ۰/۳۹

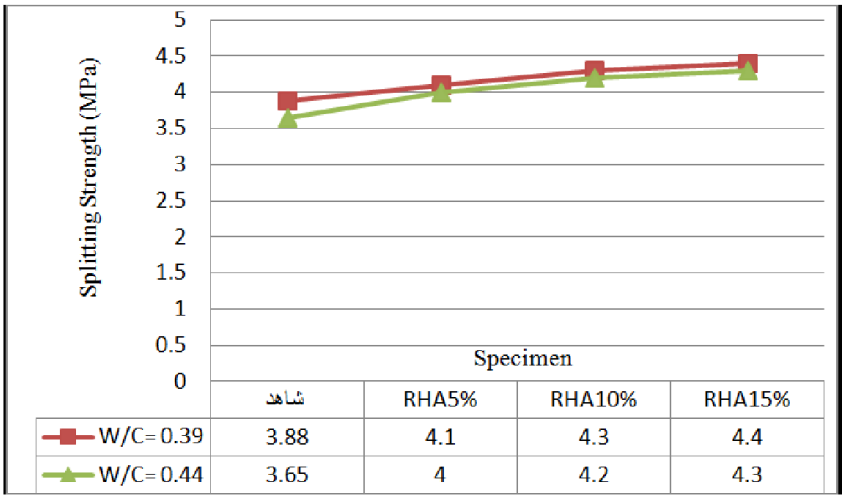


	C2	RHA5%	RHA10%	RHA15%
7 Days	28.9	30.1	31.8	33
28 Days	37.1	40.2	42.5	44.7
90 Days	41.7	45.4	48.6	50

شکل۳: نتایج مقاومت فشاری با نسبت آب به مواد چسباننده ۰/۴۴

۳-۲- آزمایش مقاومت کششی

آزمایش مقاومت کششی نمونه ها در سن ۲۸ روز برای تمامی طرح ها مورد برررسی قرار گرفت همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است افزودن پوزولان خاکستر پوسته برنج همانند مقاومت فشاری سبب بهبود مقاومت کششی نمونه های بتنی نسبت به طرح های شاهد شده است.



شکل۴: نتایج مقاومت کششی

۳-۳- آزمایش مدول الاستیسیته

آزمایش مدول الاستیسیته نمونه ها در سن ۲۸ روز برای تمامی طرح ها مورد برررسی قرار گرفت همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است افزودن پوزولان متاکائولین همانند مقاومت فشاری و مقاومت کششی سبب بهبود مدول الاستیسیته نمونه های بتنی نسبت به طرح های شاهد و طرح حاوی زئولیت شده است.

شکل۵: نتایج مدول الاستیسیته

۴- نتیجه گیری

۴-۱- در تمامی طرح ها مقاومت فشاری نمونه ها با افزایش سن بتن افزایش می یابد و با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی کاهش مقاومت رخ داده است.

۴-۲- بهبود مقاومت کششی و مدول الاستیسیته نمونه های بتن خودتراکم با افزودن خاکستر پوسته برنج را می توان از دیگر مشخصه های مثبت حضور خاکستر پوسته برنج ارزیابی نمود.

۴-۳- از بررسی های انجام شده به نظر می رسد که مقدار مقاومت فشاری در بتن های خود تراکم به طور کلی وابسته به نوع و نسبت پودر مصرفی و همچنین نسبت w/p می باشد.

۴-۴- در این تحقیق نشان داده شد که استفاده از خاکستر پوسته برنج با درصد بهینه ۱۵ درصد سبب افزایش مقاومت فشاری، کششی و مدول الاستیسیته می شود.

۴-۵- افزایش نسبت آب به سیمان سبب کاهش مقاومت فشاری و کششی و مدول الاستیسیته در تمامی طرح ها در تمام سنین می شود.

۴-۶- نتایج جداول و اشکال خواص مکانیکی بتن های حاوی خاکستر پوسته برنج (مقاومت فشاری، کششی، مدول الاستیسیته) نشان دهندهٔ کیفیت بالای پوزولان تولید شده می باشد. به نحوی که با در نظر گرفتن روند افزایش خواص مکانیکی می توان پیش بینی نمود که خصوصیات مکانیکی نمونه های دارای خاکستر پوسته برنج در سنین بالاتر باز هم بیشتر شود.

۴-۷- ذرات پوزولان می توانند با هیدروکسید کلسیم واکنش نشان داده و تشکیل ژل C-S-H (سیلیکات کلسیم هیدراته شده) دهند و از فرار ترکیبات قابل حل به سطح جلوگیری کنند و موجب افزایش دانسیته سیمان و کاهش در فضاهای خالی بتن شوند. کاهش فضاهای خالی، خود منجر به افزایش مقاومت بتن می شود و در دراز مدت می تواند اثرات مطلوبی بر روی مقاومت بتن داشته باشد.

مراجع

[1] Rafat Siddique, Mohammad iqbal Khan, 2011. "Supplementry cementing Materials". Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Book).

[2] Mehta, P.K., 1979. "The chemistry and technology of cement made from RHA". Proceedings UNIDO/ESCAP/RCTT Workshop on RHA Cements, Peshawar, Pakistan, January 1979, Regional Centre for Technology Transfer, Bangalore (India) p. 113–22.

[3] Mehta P.K, 1992. "Rice Husk Ash-a unique supplementary cementing material". Proceedings of the international Symposium on advance in concrete Technology, p.p. 407-430, Athens , Greece.

[۴] رضوی، م. بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی ذرات نانو، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران، اردیبهشت ۱۳۸۹.

[5] ASTM C618. 2004. "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete". Annual Book of ASTM Standards.

[6] Andres Salas, Silvio Delvasto , Ruby Mejía de Gutierrez , David 2009. "Lange Comparison of two processes for treating rice husk ash for use in high performance concrete". Cement and Concrete Research 39, 773–778.

[7] Agarwal S.K., 2006. "Pozzolanic activity of various siliceous materials". Cement and Concrete Research, Volume 36, Issue 9, September 2006, Pages 1735-1739.

[8] Wikipedia encyclopedia (www. Wikipedia .org).