کاربرد خاکستر باگاس در بتن به عنوان پوزولان

دکتر عبدالکریم عباسی دزفولی[۱] ، مهندس امین زرگر[۲]

۱- عضو هیات علمی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان

۲- دانش آموخته کارشناس ارشد مهندسی عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان

چکیده:

استفاده از ضایعات کشاورزی و صنعتی دربتن به عنوان جایگزین بخشی از سیمان ، علاوه بر کاهش هزینه های بتن و بهبود خواص بتن با هدف کاهش آلودگی محیط زیست در دنیا انجام می گیرد. تاکنون تحقیقات وسیعی در مورد استفاده از خاکستر پوسته برنج ، کاه گندم و توفاله نیشکر (باگاس) در بتن به عنوان پوزولان انجام گردیده است. در این تحقیق امکان سنجی استفاده از خاکستر باگاس حاصل از مزارع ایرانی در بتن مورد بررسی قرار گرفته است. باگاس علارغم استفاده های زیاد در صنعت مقدار زیادی از آن به صورت ضایعات کشاورزی باقی می ماند، که علاوه بر آلودگی محیط زیست ، هزینه های زیادی را جهت سامان دهی به این حجم انبوه باگاس، بر تولید کنندگان نیشکر متحمل می کند. در این تحقیق درصد رطوبت و نحوه سوزاندن باگاس و مشخصات فیزیکی ، ترکیبات شیمیایی (آزمایشXRF) ، ساختار بلوری (آزمایش XRD) و سطح ویژه خاکستر باگاس مورد بررسی و با سیمان و میکروسیلیس مورد مقایسه قرار گرفته است. و طبق نتایج حاصله از آزمایشات، با جایگزین کردن ۱۰٪ از سیمان با خاکستر باگاس ریزدانه (با سطح ویژه $۹۰۰۰\ cm^2/gr$)، علاوه بر بهبود کارایی و روانی بتن ، مقاومت فشاری بتن مبنا ۲۵٪ افزایش یافته است ولی تاثیر چندانی در زمان گیرش سیمان ندارد. این در حالی است که به دلیل ضایعاتی بودن ماده اولیه این پوزولان، هزینه تولید بسیار پایین پیش بینی شده است و با توجه به ترکیبات شیمیایی خاکستر باگاس تولید شده در ایران ،می تواند آن را جایگزین خاکستر بادی در صنعت تولید بتن باشد.

کلمات کلیدی: خاکستر باگاس ، پوزولان ، بتن

Key words: Bagasse Ash , Pozzolan , concrete

مقدمه

جهت تولید ضایعات کشاورزی همچون محصولات کشاورزی ، آب ، مواد معدنی خاک و انرژی مصرف می شود و تنها تفاوت بین محصول کشاورزی و ضایعات کشاورزی توانایی ما در استفاده از آنها می باشند. با سرمایه گذاری اولیه، بسیاری از ضایعات کشاورزی از خود محصول اصلی، ارزش و سود دهی بیشتری خواهند داشت.

ملات ساروج که ایرانیان قدیم کف و بدنه آبگیرها را با آن اندود می کردند در واقع ملات پوزولانی بوده است که با دوغاب آهک و گرد خاکستر با کمی ماسه و خاک رس ساخته می شده است. می توان گفت اولین اقدام در استفاده از خاکستر محصولات گیاهی در صنعت ساختمان بوده است. اولین تحقیقات علمی با هدف استفاده صنعتی

از ضایعات کشاورزی در صنعت بتن مربوط به استفاده از خاکستر پوسته برنج در بتن در سال ۱۹۲۴ در کشور آلمان توسط بیگل گزارش شده است.

تحقیقات درباره کاربرد خاکستر باگاس در بتن از سالیان گذشته در دنیا شروع شده به طوری که در سایت اداره ثبت و علائم تجاری ایالات متحده آمریکا (http://patft.uspto.gov/) مقاله ای با عنوان تولید محصولات پوزولانی از خاکستر باگاس حاصل تحقیقات .Keogh; Boyd T در تاریخ ۱۹۷۸ به ثبت رسیده است. ولی همچنان مقالات تازه ای در این زمینه در مجلات معتبر دنیا چاپ می شود. در ایران با توجه به جستجو های به عمل آمده ، تحقیق عملی ای در این زمینه انجام نشده است و نیاز به بررسی خاکستر باگاس های ایران احساس می گردید.

نیشکر و باگاس :

نیشکر از گیاهان مهم زراعی است که در نواحی گرمسیر می‌روید و از منابع عمده تولید انرژی محسوب می شود. بر اساس آخرین اطلاعات موجود سطح زیر کشت نیشکر در ایران حدوداً ۸۰۰۰۰ هکتاراست که بالغ بر ۹۹٪ آن در استان خوزستان می باشد. متوسط عملکرد نیشکر در خوزستان حدود ۹۰ تا ۱۰۰ تن در هکتار است که بمراتب از متوسط عملکرد کشورهای نیشکرخیز دنیا که حدود ۶۵ تن در هکتار است ، بالاتر می باشد. بیشترین رکورد تولید نیشکر در جهان متعلق به مزارع نیشکر استان خوزستان و بالغ بر ۲۲۰ تن در هکتار بوده که به‌عنوان یک رکورد مستند در گزارشات سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (فائو) ذکر شده است.

باگاس یکی از تولیدات جنبی نیشکر است که پس از عصاره‌گیری نیشکر به‌صورت قطعات ریزتراشه چوب به دست می‌آید و به‌رنگ زرد کاهی می‌باشد. ترکیب شیمیایی آن عبارتست از الیاف سلولزی، آب و مقداری مواد جامد قابل حل همچون قند، که با گذشت زمان قند به الکل تبدیل شده و همچنین تخمیر فیبر باگاس باعث تولید گاز متان می شود که در صورت وجود شرایط مساعد باعث آتش گرفتن باگاس می شود. به همین دلیل باگاس های مازاد سریعاً از کارخانه های تولید شکر دور می شود در محل های مخصوصی انبار می شوند و بعد از گذشت مدتی، کنترل شده یا خارج از کنترل آتش می گیرند. سوختن آنها با دود بسیار غلیظی همراه است که مشکلاتی برای شرکت های تولیدکننده نیشکر و مناطق مسکونی اطراف ایجاد می کند.

با وجود کاربردهای وسیع باگاس همچون تولید نوپان ، ام دی اف ، کاغذ ، خوراک دام ، کود کومپوس و عایق حرارتی، در حال حاضر بسیاری از آنها سوزانده می شود. در مقطع کنونی که کارخانه های جانبی شرکت های تولید نیشکر راه اندازی نشده اند، آمارها نشان دهنده تولید یک میلیون تن باگاس مازاد در کشور هستند. هدف از این تحقیق بررسی استفاده از خاکستر باگاس (Bagasse Ash) به عنوان پوزولان در بتن به عنوان راه حل کوتاه مدت و سریعترین روش جهت استفاده از این محصول جانبی و ارزشمند نیشکر می باشد. انرژی حاصل از سوزاندن باگاس نیز قابل استفاده است، همانطور که در گذشته انرژی مورد نیاز بعضی از کارخانه های شکر کشور از سوزاندن باگاس تامین می شد.

سیمان و پوزولان ها :

یکی از محصولات هیدراسیون سیمان، آهک آزاد ($Ca(OH)_2$) است. مهندسان باید از تشکیل آهک آزاد با خبر باشند زیرا وجود آن، از مقاومت بتن در مقابل آبهای زیان آور می کاهد. بتنی که در معرض آب قرار دارد، در اثر تاثیر آب بر آهک و حل شدن آن، پوک می شود و به آسانی آب بداخل آن نفوذ می کند. در نتیجه این عمل، به اشکال مختلف، سبب کاهش مقاومت بتن می گردد.

ASTM C-۶۱۸ و ISIRI ۳۴۳۳ ، پوزولان ها را چنین تعریف می کند : پوزولان ها مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومین داری است که به خودی خود خاصیت

چسبانندگی کمی داشته و یا ندارد ولی بصورت گـرد نـرم در مجاورت رطوبت و در دمـای معمـولی بـا هیدروکسـید کلسیم واکنش شیمیایی نشان داده و ترکیباتی با خـواص سیمانی بوجود می آورد.

استفاده از پوزولان های در بتن به عنوان جایگزین بخشی از سیمان، به طور کلی، علاوه بـر بهبـود روانـی و کـارایی، باعث افزایش مقاومت های مکـانیکی و افـزایش دوام بـتن می گردد.

مواد و روش ها

باگاس بکار رفته در آزمایشات این تحقیق از شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی واحد دعبل خزاعی در کیلومتر ۲۵ جاده اهواز – آبادان در جنوب شرقی اهواز ،تهیه گردیده است. در ابتدای طرح میزان رطوبت باگاس ، میزان خاکستر حاصله و جرم حجمی مشخص گردید. ترکیبات شیمیایی خاکستر باگاس توسط روش XRF مشخص گردید و با سیمان پرتلند تیپ II و میکروسیلیس و همچنین با محدودیت های ذکر شده در استاندارد ASTM C٦١٨ مقایسه گردید. سیلیس موجود در خاکستر باگاس در صورت آمورف بودن با آهک حاصل از هیدراسیون سیمان واکنش می دهد. دما و زمان سوزاندن باگاس از فاکتورهای مهم در آمورف شدن و یا بلوری شدن خاکستر حاصله می باشد. روش دیگر جهت آمورف کردن خاکستر باگاس آسیاب کردن بلند مدت خاکستر باگاس می باشد. میزان بلوری بودن و نوع بلورهای سیلیس با استفاده از آزمایش XRD قابل تشخیص می باشد. جهت مشخص کردن میزان واکنش پذیری پوزولان ، از روشهای شیمیایی موسوم به شاخص فعالیت پوزولانی استفاده می کنند که در این تحقیق چند روش تعیین شاخص فعالیت پوزولانی مورد آزمایش قرار گرفت که تعیین هدایت الکتریکی محلول آب آهک اشباع و پوزولان دقیق ترین و سریع ترین روش تشخیص داده شد.

پس از انجام آزمایشات اولیه، جهت آزمایشات بتن، کوره ای جهت سوزاندن باگاس و آسیاب گلوله ای جهت آسیاب کردن خاکستر حاصله ساخته شد. قبل از استفاده خاکستر در بتن، سطح ویژه که ارتباط مستقیم با ریزدانگی دارد، با استفاده از دستگاه نفوذ پذیری هوا (دستگاه بلین) مورد آزمایش قرار گرفتند . جهت تعیین تاثیر استفاده از خاکستر باگاس بر واکنش های هیدراسیون سیمان ، زمان گیرش سیمان پرتلند تیپ II را با مخلوط سیمان و خاکستر باگاس به نسبت (۹ به ۱) مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفت. در تحقیقات انجام شده درباره استفاده از خاکستر باگاس و خاکستر پوسته برنج در بتن، میزان استفاده بهینه جهت افزایش مقاومت فشاری ۱۰٪ گزارش شده است، به همین دلیل در این تحقیق، مقاومت فشاری بتن با جایگزینی ۱۰ ٪ از سیمان بتن با خاکستر باگاس، مورد آزمایش قرار گرفت. طرح های اختلاط در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱) دو طرح اختلاط جهت آزمایش مقاومت فشاری

طرح	سیمان (kg)	خاکستر باگاس (kg)	آب (Lit)	نسبت آب به سیمان	فوق روان کننده(kg)	ماسه (kg)	شن (kg)
A (C)	۳۰۰	۰	۱۲۰	۰,۴	۳,۱۵۰	۹۷۷,۲۵	۹۷۷,۲۵
B (C + BA)	۲۷۰	۳۰	۱۲۰	۰,۴	۳,۱۵۰	۹۷۷,۲۵	۹۷۷,۲۵

پس از ساخت طرح های اختلاط اسلامپ بتن های ساخته شده سنجیده شد. و از هر طرح اختلاط نمونه های استوانه ای ۱۰×۲۰ سانتیمتر ساخته شد که در آب آهک اشباع عمل آوری انجام گردید. و نمونه ها در سنین ۷

روزه و ۲۸ روزه تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند.

آزمایشات و تحلیل و بررسی نتایج

مشخصات فیزیکی :

باگاس مورد آزماش دارای ۵۳,۲۸ ٪ رطوبت بوده است و میزان خاکستر حاصل از سوزاندن باگاس کاملا خشک ۶,۱۷ ٪ بوده است.

جرم حجمی خاکستر باگاس ۲,۵۲ gr/cm^3 بوده است که بین جرم حجمی سیمان ۳,۳۳ gr/cm^3 و جرم حجمی میکروسیلیس ۱,۴۷ gr/cm^3 می باشد.

تجزیه شیمیایی :

جهت تعیین ترکیبات شیمیایی ، خاکستر باگاس تحت آزمایش XRF قرار گرفت. در جدول (۲) ترکیبات شیمیایی خاکستر باگاس ، سیمان پرتلند تیپ II و میکروسیلیس حاصل از آزمایش XRF و همچنین ترکیبات شیمیایی ذکر شده در منابع مختلف مربوط به خاکستر باگاس کشور برزیل و خاکستر بادی کلاس C جهت مقایسه ارائه گردیده است.

جدول (۲) درصد ترکیبات شیمیایی موجود در سیمان ، میکروسیلیس ، خاکستر باگاس و خاکستر بادی

ردیف	عنوان ماده	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	MgO	K_2O	TiO_2	MnO	CaO	P_2O_5	Fe_2O_3	SO_3	LOI
۱	سیمان پرتلند تیپ II	۲۲,۴	۳,۳	۰,۴	۲,۳	۱	۰,۳	۰,۱	۵۲,۲	۰,۱	۲,۹	۱۳,۵	۱,۳
۲	میکروسیلیس	۸۷,۶	۰,۶	۰,۶	۱,۶	۱,۵	۰	۰,۱	۰,۸	۰,۱۳	۱,۶	۰,۶	۴,۶
۳	خاکستر باگاس	۴۴,۷	۲,۴	۱,۵	۳,۵	۴,۴	۰,۳	۰,۱	۱۴,۹	۱	۲,۹	۶,۱	۱۶,۷
۴	خاکستر باگاس (برزیل)	۷۸,۳	۸,۶	۰,۱		۳,۵			۲,۱۵	۱,۱	۳,۶		۰,۴
۵	خاکستر بادی کلاس C	۴۸-۶۸	۱۸-۳۴		۳-۶				۱۵-۳۹		۲-۸	۱-۵	۰,۱-۱۲

با توجه به مقایسه محدوده های مجاز در استاندارد ASTM C۶۱۸ با نتایج آزمایشات تجزیه شیمیایی، خاکستر باگاس دارای ترکیباتی نزدیک به خاکستر بادی کلاس C ذکر شده در استاندارد مذکور می باشد. مجموع درصدهای اکسید سیلیس(SiO_2)، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)، اکسید آهن(Fe_2O_3) که در خاکستر باگاس وجود دارند و دارای قابلیت واکنش با آهک هستند ۵۰ ٪ می باشد که در محدوده مجاز می باشد. میزان تری اکسید گوگرد (SO_3) و همچنین حداکثر درصد قلیایی های موجود در خاکستر ($N_2O+0.65K_2O$) بیش از حد مجاز بوده است. اختلاف اصلی نتایج با استاندارد میزان افت سرخ شدن می باشد که قسمت عمده ای از آن مربوط به کربن نسوخته باقیمانده در خاکستر می باشد و با تغییر شرایط سوزاندن باگاس میزان کربن نسوخته در خاکستر تغییر می کند.

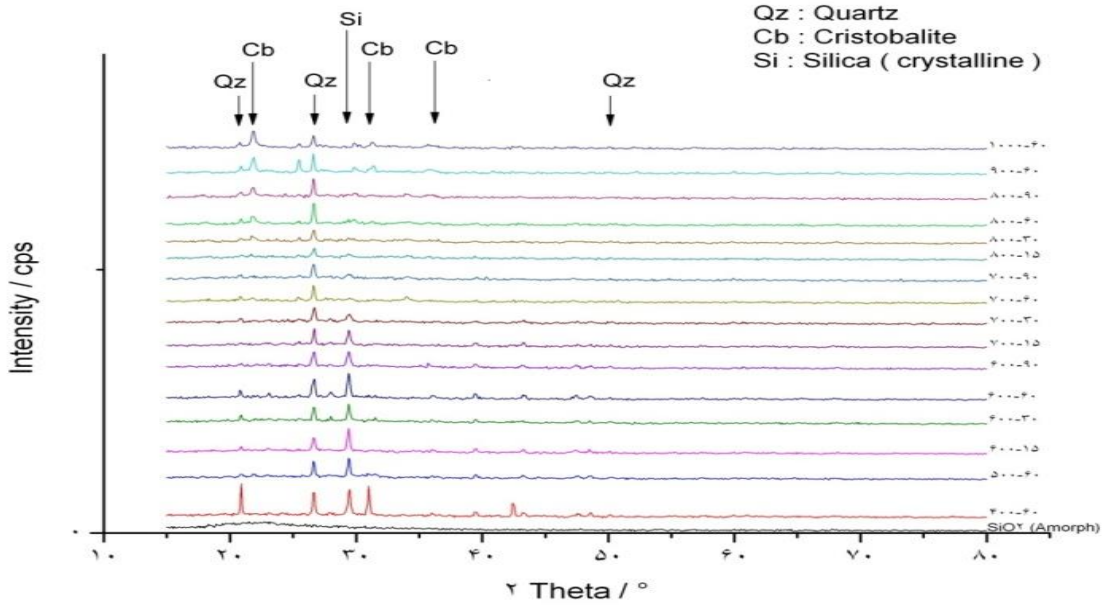
ترکیبات شیمیایی خاکستر باگاس مورد آزمایش در مقایسه با ترکیبات خاکستر باگاس کشور برزیل (و دیگر کشورها که در همین حدود می باشند) دارای سیلیس کمتر و آهک زیادی می باشد (حدود ۱۵ درصد) که نشان دهنده خاصیت سیمانی خاکستر باگاس ایران می باشد.

ساختار بلوری خاکستر باگاس :

اصلی ترین ترکیب در خاکستر باگاس ، اکسید سیلیسیم SiO_2 است که با آهک آزاد حاصل از هیدراسیون سیمان

واکنش می دهد و ترکیب پایداری را بوجود می آورد. ولی فقط اکسید سیلیس آمورف (غیر بلوری) خاصیت واکنش پذیری دارد. دما و زمان سوزاندن، از اساسی ترین فاکتورهای موثر بر ساختار بلوری خاکستر حاصله می باشد. به همین دلیل جهت تعیین آمورف ترین حالت ،نمونه هایی در دما و زمان های مختلف سوزانده شده و با استفاده از آزمایش XRD میزان بلوری بودن آنها مورد بررسی قرار گرفت که نتیجه حاصله در شکل (۱) ارائه گردیده است.

شکل (۱) نمودار های حاصل از آزمایش XRD خاکستر باگاس سوزانده شده در دما و زمان های مختلف



جهت اطمینان از نتایج آزمایش XRD ، شاخص فعالیت پوزولانی آمورف ترین حالت ها با استفاده از تعیین هدایت الکتریکی محلول آب آهک اشباع و خاکستر باگاس تعیین گردید که حاصل آزمایشات نشان می داد آمورف ترین خاکستر از سوزاندن باگاس در دمای ۷۰۰ درجه سانتیگراد و زمان ۹۰ دقیقه و همچنین دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد و زمان ۱۵ دقیقه بدست می آید.

آسیاب کردن و زیردانگی خاکستر باگاس :

از راه های دیگر آمورف کردن سیلیس موجود در خاکستر باگاس ، آسیاب کردن بلند مدت آن است. با توجه به عدم کنترل بر دمای کوره سوزاندن باگاس در این پروژه، آسیاب گلوله ای ساخته شده که در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل (۲) آسیاب گلوله ای جهت آسیاب خاکستر باگاس

زمان آسیاب ۱۲۰ دقیقه انتخاب گردید و سرعت چرخش طوری انتخاب گردید که آسیاب به روش ضربه ای انجام

گردد تا باعث شکست بلورهای سیلیس موجود در خاکستر شود. پس از آسیاب، سطح ویژه که با ریزدانگی ارتباط مستقیم دارد اندازه گیری شد که نتیجه آزمایش نشان می داد که خاکستر حاصله دارای سطح ویژه ای ۲,۵ برابر سیمان پرتلند تیپ II می باشد. (سطح ویژه خاکستر آسیاب شده ۹۰۳۱ cm^2/gr و سطح ویژه سیمان پرتلند تیپ II ۳۵۵۸ cm^2/gr)

زمان گیرش سیمان :

جهت تعیین تاثیر استفاده از خاکستر باگاس بجای سیمان بر سرعت واکنش های هیدراسیون سیمان ، با استفاده از دستگاه ویکات، زمان گیرش اولیه و نهایی سیمان پرتلند تیپ II و مخلوط سیمان و خاکستر باگاس به نسبت (۹ به ۱) اندازه گیری و نتایج درجدول (۴) ارائه گردیده است. که نتیجه آزمایشات نشان می دهد استفاده از خاکستر باگاس در بتن باعث تاخیر حدود ۱۵ دقیقه ای در زمان گیرش اولیه و ثانویه می گردد.

جدول(۴) نتایج آزمایش زمان گیرش

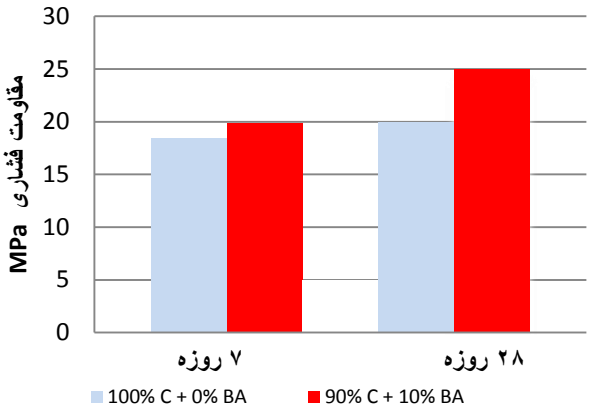
نمونه	سیمان (گرم)	خاکستر باگاس (گرم)	آب (سی سی) غلظت نرمال	زمان گیرش اولیه (دقیقه)	زمان گیرش نهایی (دقیقه)
۱ (C)	۶۵۰	۰	۱۵۱,۵	۱۶۵	۲۲۵
۲ (C + BA)	۵۸۵	۶۵	۱۶۱,۵	۱۸۲	۲۴۰
اختلاف :				۱۷	۱۵

آزمایش اسلامپ و مقاومت فشاری :

طرح های اختلاط بتن مطابق جدول (۱) ساخته و روانی بتن های ساخته شده (اسلامپ) اندازه گیری شد که اسلامپ بتن مبنا ۴,۵ سانتیمتر و بتن دارای ۱۰ ٪ خاکستر باگاس ۶ سانتیمتر اندازه گیری شد و علاوه بر افزایش اسلامپ، با توجه به افزایش حجم خمیر سیمان در بتن حاوی خاکستر باگاس ، کارایی نیز بهبود پیدا کرد.

آزمایش مقاومت فشاری بر روی بتن مبنا و بتن حاوی خاکستر باگاس در سنین ۷ روزه و ۲۸ روزه مطابق شکل (۳) انجام گردید که نتایج که در شکل (۴) ارائه شده است،نتایج آزمایشات نشان دهنده افزایش مقاومت فشاری بتن حاوی ۱۰٪ خاکستر باگاس در تمام سنین بوده است. و استفاده از خاکستر باگاس باعث افزایش مقاومت بتن مبنا را در سن ۲۸ روزه به میزان ۲۵٪ بوده است.

شکل (۳) بارگذاری نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک راه و ترابری استان خوزستان



شکل (۴) نتایج آزمایش مقاومت فشاری

نتیجه گیری

خاکستر باگاس (شکل (۵)) دارای ترکیبات شیمیایی مشابه خاکستر بادی کلاس C می باشد و با سوزاندن باگاس در دمای ۷۰۰ و زمان ۹۰ دقیقه و همچنین دمای ۸۰۰ و زمان ۱۵ دقیقه آمورف ترین خاکستر حاصل می شود. استفاده از خاکستر باگاس ریزدانه در بتن به میزان ۱۰٪ جایگزین با سیمان باعث افزایش اسلامپ و افزایش مقاومت فشاری بتن می گردد و باعث تاخیر زیادی بر زمان گیرش نهایی سیمان نمی گردد.

با توجه به اینکه هم اکنون شرکت های تولید کننده نیشکر، هزینه ای بابت دور کردن باگاس ها از اطراف کارخانه می نمایند، نصب کوره مخصوص سوزانده باگاس در اطراف کارخانه های تولید شکر باعث کاهش هزینه ها و با فروش خاکستر حاصله به عنوان پوزولان باعث افزایش درآمد شرکت های مذکور می شود. همچنین با جایگزین کردن خاکستر باگاس با بخشی از سیمان، علاوه بر بهبود کیفیت بتن، باعث کاهش هزینه تولید بتن می گردد.

شکل (۵) باگاس و خاکستر باگاس آسیاب شده

منابع

- رمضانیان پور علی اکبر ، جعفر پور فاطمه و ماجدی اردکانی محمد حسین / ۱۳۷۴ / بررسی تحقیقات انجام شده بر روی مصارف پوسته برنج و خاکستر آن در صنعت ساختمان / مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

- کسماتکا استیون اچ. ، پانارس ویلیام سی. ، ترجمه: خالو علیرضا ، ایراجیان محمود / ۱۳۸۲. چاپ چهارم ۱۳۸۵ / طراحی و کنترل مخلوط های بتن / موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف ، تهران.

- نویل آدام ، ترجمه : فامیلی هرمز / ۱۳۷۸ / خواص بتن / ابوریحان بیرونی ، تهران.

- ASTM C٦١٨-٩٩ / *Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete.*

- CORDEIRO G. C. ، TOLEDO FILHO R. D. ،FAIRBAIRN E. M. R. / March، ٢٠١٠/ *Ultrafine sugar cane bagasse ash: high potential pozzolanic material for tropical countries* / Ibracon structures and materials journal ، Volume ٣، Number ١ (March، ٢٠١٠) p. ٥٠ – ٦٧.