



## افزودن خاکستر برنج به عنوان افزودنی سیمان

گردآورنده: محمد شکوه<sup>۱</sup>

اضافی می‌کنند. که این امر هم آلودگی‌های زیست محیطی را در پی دارد و هم در مواقع بارندگی موجب اسیدی شدن آب و خاک کشاورزی و در نتیجه کاهش میزان تولیدات زراعی می‌شود. اما در سال‌های اخیر با پیشرفت سریع بشر در حوزه مسایل فنی و اجرایی در بخش ساختمان‌سازی و با تحقیقات صورت گرفته در زمینه مصالح ساختمانی و بکارگیری مواد طبیعی و تقویت و بهسازی مصالح ساختمانی مصنوعی، نوآوری‌ها و ابتکارات تازه و بسیار سودمندی صورت گرفته است.

یکی از بهترین رهیافت‌ها، سوزاندن و خاکستر کردن مواد زائد محصولات کشاورزی مثل پوسته و ساقه برنج (تولید سالیانه ۴۰۰۰۰ تن در جهان)، پوسته و غلاف برگ ارزن هندی (Sorghum) یا همان نیشکر چینی، غلاف برگ گندم، تیغه برگ ذرت، برگ و ساقه گیاه شاه‌پسند، ساقه درخت نان (Breadfruit) که بیشتر در مناطق استوایی آسیا می‌روید، باگاس (تفاله ماقه نیشکر)، برگ و ساقه آفتابگردان، قسمت داخلی گیاه بامبو (Bamboo) که در مناطق با دسترسی آب بالا مثل حاشیه دریاها و دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و باتلاق‌ها و ... رشد می‌کند، و در نهایت جایگزینی خاکستر حاصل از سوزاندن مواد فوق، البته در حدود سی تا چهل درصد، بجای سیمان مصرفی در تولید بتن و در نتیجه افزایش میزان سیمان تولیدی و کاهش قیمت آن است. همانطور که بسیاری از شما، خصوصاً عزیزان دست اندرکار امر ساخت و ساز مطلعند، نوسان قیمت سیمان که در اکثر موارد روند افزایشی داشته است، در مقطع‌های زمانی مختلف همواره مشکلات

انواع ساخت و سازها، در عصر حاضر در بسیاری از کشورها خصوصاً در کشور ایران، روندی رو به رشد داشته و خواهد داشت و این یعنی افزایش مصرف مصالح ساختمانی در جهان و در راس آنها مصالحی پرمصرف مثل بتن، فولاد و سیمان در پی دارد. بنابراین افزایش سرمایه‌گذاری و افزایش مصرف سوخت در کارخانه‌های تولیدی مصالح از جمله کارخانجات سیمان را پیش رو خواهیم داشت. که در این میان فرایند تولید سیمان و بتن بدلیل اینکه دارای بالاترین حجم تولید در بین تمام مصالح ساختمانی در جهان است، اهمیت بسیار بالایی دارد. پس باید شرایط تولید، مواد اولیه، مواد ثانویه و مواد مضاف بتن و مهمتر از همه سیمان و جایگزین‌های مناسب برای آن در تولید بتن مورد مطالعه کاملاً علمی، فنی و مهندسی قرار گیرند، تا هم از نظر بهبود مشخصات بتن و افزایش مقاومت آن پیشرفت‌هایی حاصل شود و هم از نظر اقتصادی در هزینه‌ها صرفه‌جویی شود. یکی از بهترین راهکارهای موجود، یافتن جایگزین‌های مناسب برای سیمان مصرفی در بتن است و در این زمینه استفاده از منابع و مصالح طبیعی و در راس آنها ضایعات و مواد اضافی کشاورزی می‌تواند ایده بسیار کارآمد و پربرمی باشد. در ایران و نیز در بعضی کشورها عمده استفاده‌ای که از مواد زائد کشاورزی می‌شود، یکی بعنوان خوراک دام و دیگری بعنوان سوخت مصرفی در کارخانه‌هایی مثل کارخانه تولید آجر یا برنج کشی و... است و این بخاطر ارزانی و راحتی دسترسی به این مواد است. در بسیاری موارد حتی دیده می‌شود که کشاورزان اقدام به سوزاندن این مواد به ظاهر

عبدیه‌ای را برای انجام صحیح و به موقع پروژه‌های خرد و کلان سازه‌ای کشور بوجود آورده است. از طرف دیگر تولید و عرضه کافی و بموقع سیمان به بازار، در حدی که پاسخگوی نیازهای ساخت و ساز کشور باشد، باعث می‌شود که مناطق شهری و روستایی دور افتاده کشور خصوصاً در مناطق با امکانات پایین (فاقد کارخانه‌های تولید سیمان) که در حال ساخت یا بازسازی هستند، براحتمی و در اسرع وقت به مصالح مورد نظر خود از جمله سیمان دسترسی پیدا کنند.

از سوختن مواد زاید کشاورزی که متشکل از فیبر، مواد معدنی مثل اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ )، اکسید آلومینیوم ( $Al_2O_3$ ) و مواد دیگری مثل سلولز، سیلیس، پروتئین و چربی و ... هستند، خاکستری تولید می‌شود که حاوی سیلیس است که بسته به درجه حرارت سوختن، به صورت کوارتز، کرسیتو بالیت (Crystalite) و تردیمیت (Tridymite) تولید می‌شود. که در واکنش با آهک یک ترکیب چسبنده به نام سیلیکات کلسیم تولید می‌کند که این محصول در بهبود مشخصات و مقاومت بتن ساخته شده تاثیر عمده‌ای دارد. در بین محصولات کشاورزی نامبرده بالا، پوسته برنج و باگاس یا همان تغالله ساقه نیشکر و ساقه برنج، با سوزاندن مقدار یکسان از آنها در شرایط یکسان به ترتیب بیشترین مقدار خاکستر را تولید می‌کنند که برای پوسته برنج حدود ۲۲ درصد، باگاس حدود ۱۵ درصد و ساقه آن ۵٫۱۴ درصد وزن اولیه خاکستر تولید می‌کنند. با سوزاندن هر تن پوسته برنج حدود ۲۲۰ کیلو خاکستر تولید می‌شود که حدود ۹۴ کیلو از این مقدار خاکستر، سیلیس است. البته ناگفته نماند که مقدار سیلیس تولید شده به دمای سوختن و طول مدت سوزاندن پوسته برنج بستگی دارد.

از طرف دیگر پوسته برنج بر خلاف ساقه برنج و باگاس برای خوراک دام آنچنان مناسب نیست. این در حالی است که ساقه و پوسته برنج و باگاس از نظر تولید حرارت به عنوان سوخت در کارخانه‌های تولید شکر، تولید آجر و حتی پوسته برنج در پخت و پز خانگی و در کارخانجات برنج‌کوبی کاربرد زیادی دارند. گرمای حاصل از سوختن هر تن پوسته برنج معادل گرمای آزاد شده از سوختن حدود ۳۶۰ کیلو نفت سیاه یا ۴۸۰ کیلوگرم زغال است. عمده کاربرد علمی و مهندسی خاکستر پوسته برنج در صنعت ساخت و ساز این است که، بصورت ماده پوزولانی در سیمان‌های ترکیبی و هیدرولیکی حداکثر تا حدود ۴۰ درصد وزنی جایگزین سیمان می‌شود و با هیدراتاسیون آرام و حرارت هیدراته پایین، خصوصاً در بتن‌ریزی‌های حجیم که نیاز به کنترل درجه حرارت هیدراتاسیون می‌باشد، کاربرد داشته و از همه مهم‌تر کارایی و مقاومت بتن یا ملات سیمانی را افزایش داده و هزینه تولید و اجرای بتن‌ریزی را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر وزن مخصوص کمتر پوزولان‌ها، در نهایت موجب افزایش حجم ماتریس سیمانی می‌شود. در سیمان‌های پوزولانی ابتدا

سیمان و پوزولان را با هم ترکیب کرده و آسیاب می‌کنند ولی در مورد بتن‌های حاوی خاکستر پوسته برنج (RHA Rice Husk Ash) بهتر است ابتدا خاکستر آسیاب شده و بعد با سیمان ترکیب شود و در بتن بکار رود. رفتار پوزولانی خاکستر پوسته برنج و واکنش شیمیایی آن به ویژه در ترکیب با آهک بستگی به شکل سیلیس و کربن موجود در آن و نیز درجه حرارت سوختن و زمان نگهداری در آن دما دارد. با افزایش دمای سوزاندن و زمان نگهداری بیش از حد استاندارد (حدود ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) نتیجه افزایش دما بر عکس می‌شود یعنی افزایش دما باعث تاثیرات منفی در عملکرد RHA می‌شود. نباید فراموش کرد که خاصیت پوزولانی ماده ذاتی است و در درجه اول بستگی به ترکیبات شیمیایی و ساختمان کریستالی آنها دارد و عوامل فوق در مراتب بعدی از نظر تاثیرگذاری در خواص پوزولانی مواد قرار دارند.

پیشینه استفاده از پوسته برنج در بتن به سال ۱۹۲۴ میلادی در آلمان بر می‌گردد. در سالهای ۱۹۵۵ و ۱۹۵۶ آقایان Hough, MC DANIEL و Barr در زمینه کاربرد این مواد تحقیقات بیشتری انجام دادند و علی‌الخصوص عملکرد بلوک‌های ساخته شده با ترکیب سیمان و RHA را مورد بررسی قرار دادند. که نتایج آزمایشات انجام شده حاکی از افزایش تاب فشاری نمونه نسبت به حالت بدون استفاده از RHA بود. البته مقاومت نمونه در برابر سایش و قدرت رسانایی حرارتی آنها نیز مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده بسیار مثبت و امیدوارکننده بود. شایان ذکر است که از آن زمان به بعد همواره در کشورهای مختلف جهان، در زمینه بکارگیری این گونه مواد در تولید ترکیبات سیمانی تحقیقات زیادی صورت گرفته و همایش‌ها و گردهمایی‌های مختلفی در سراسر دنیا هم برگزار شده است و نتیجه این گونه فعالیت‌ها و تحقیقات، یعنی حرکت بسوی تولید بتن و ماتریس‌های سیمانی ارزان و در عین حال مقاوم.

#### • شرایط سوزاندن پوسته برنج برای تولید خاکستر اینده‌ال

تعیین دمای بهینه سوزاندن پوسته برنج، با استفاده از نتایج آزمایش پراش‌سنجی اشعه ایکس و نیز آزمایش سنجش فعالیت در برابر آهک صورت می‌گیرد. بهترین و درعین حال اقتصادی‌ترین حالت برای تولید خاکستر مناسب، همگن، دارای حداکثر فعالیت پوزولانی و با کیفیت بالا از پوسته برنج، حالتی است که عمل سوزاندن آن در دمای بین ۵۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد و در مدت زمان حدود دو ساعت صورت گیرد. بر اساس آزمایش‌ها و تحقیقات صورت گرفته مشخص شده است که اگر دمای سوختن زیر ۵۰۰ یا بالای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد، باعث بوجود آمدن سیلیس‌های بی‌شکل و غیر بلوری می‌شود. و از طرفی در دماهای بالاتر هوا (اکسیژن) کافی برای سوختن کامل پوسته و تولید خاکستر با کارایی مناسب در محیط وجود نخواهد داشت.

کربن زدایی خاکستر را کنترل می‌کند. خاکستر تولیدی از پوسته برنج را قبل از بکارگیری آن آسیاب می‌کنند. این کار باید قبل از مخلوط کردن خاکستر با سیمان صورت گیرد. زیرا اگر سیمان نیز آسیاب شود، نرم‌تر می‌شود و در نتیجه مصرف آب بیشتر شده و نهایتاً ترکیب سیمانی یا بتن حاصل کیفیت مطلوب و مورد نظر را نخواهد داشت. ولی در مورد RHA برعکس سیمان، هر چه نرم‌تر باشد، آب مصرفی کمتر خواهد بود و چسبندگی ملات بیشتر خواهد بود. هر چه نسبت آب به مخلوط سیمان و خاکستر در محدوده استاندارد کمتر باشد (نزدیک به حداقل مقدار مجاز) تاب فشاری ترکیب سیمانی حاصل، بیشتر خواهد بود. از مهم‌ترین محاسن بکارگیری خاکستر پوسته برنج در تولید بتن، افزایش دوام بتن و مقاومت آن در برابر حملات مواد مخرب شیمیایی است. مزیت دیگر اینکه ملات یا بتن ساخته شده با RHA نسبت به انواع ساخته شده با سیمان پرتلند تنها (بدون خاکستر) دارای مقاومت بالاتری در برابر شرایط محیطی اسیدی است. بر اساس آزمایشات صورت گرفته، افت وزنی بتن ساخته شده با RHA در محلول اسید سولفوریک و اسید کلریدریک به ترتیب ۱۳ و ۸ درصد است در حالی که بتن ساخته شده با سیمان پرتلند، در برابر اسیدهای فوق به ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد کاهش وزن دارد. شایان ذکر است که اسید

و نیز تخلیه گازهای مزاحم تولید شده در شرایط سخت‌تری انجام می‌شود. بلوری یا غیر بلوری بودن خاکستر تولید شده نیز به کمک اشعه ایکس و شیوه پراش سنجی مشخص می‌شود. نکته دیگر اینکه متناسب با افزایش دمای سوختن رنگ خاکستر تولید شده سفیدتر و روشن‌تر خواهد بود. البته اگر در زمان سوختن هوای کافی در محل وجود نداشته باشد، رنگ خاکستر تیره‌تر می‌شود. تا جاییکه در دمای ۹۰۰ درجه اگر سرعت سوختن بالا باشد و پوسته به درستی نسوزد، خاکستر حاصل، سیاه‌رنگ است. در سوزاندن پوسته برنج، لازم است که هوای تازه حاوی اکسیژن بجای دی‌اکسید کربن تولید شده از سوختن RH وارد کوره شود، تا ته نشینی سیلیس و بلوری شدن آنرا تنظیم نماید. کوره‌های باریک که دارای مجاری تهویه (ورود اکسیژن و خروج دی‌اکسید کربن و سایر گازهای اضافی) باشند، که سرد شدن آرام و اصولی خاکستر را در پی داشته باشند، برای تولید خاکستر از پوسته برنج مناسبند.

استفاده از کوره‌های غیراستاندارد، بدلیل عدم کنترل دمای سوختن و سرد شدن غیرنرمال خاکستر تولیدی و در نتیجه تشکیل بلورهایی با کارایی پایین، کاری غیرفنی و غیراصولی است. خارج کردن دی‌اکسید کربن و دسترسی به هوای اکسیژن‌دار، باعث جدایی بهتر مواد معدنی پوسته از مواد سلولزی و لیگنین می‌شود. و همین مساله





حالت خمیری (PL)، میزان آب لازم نیز افزایش می‌یابد ولی نشانه حالت خمیری کاهش پیدا می‌کند

- منابع:
- سایت علمی اطلاع‌رسانی عمران ایران
  - سایت علمی بتن ایران
  - زیرنویس:
  - ۱ - شرکت سیمان داراب

کلردریک باعث حفره ای شدن و خوردگی بتن معمولی (بدون خاکستر) می‌شود در حالی بر روی بتن حاوی خاکستر پس از رسیدن به مقاومت ۷۲ روزه بی‌تاثیر است. بتنی را که در تولید آن از خاکستر پوسته برنج استفاده شده، به روش‌های مختلف عمل‌آوری می‌کنند. عمل‌آوری به روش کاربیین (Carbbean) که در اتاق با دمای بین ۲۹ تا ۳۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بین ۷۷ تا ۸۳ درصد انجام می‌شود.

**عمل‌آوری به روش استاندارد:** در اتاق با دمای ۲۰ تا ۲۱ درجه و رطوبت نسبی ۹۲ تا ۹۸ درصد.

روش تسریع شده که بیشتر برای قطعات پیش ساخته بکار می‌رود. عمل‌آوری در محیط خارجی حفاظت شده (اتاق داغ): با دما و درصد رطوبت متفاوت و افزایش تدریجی دما و رطوبت نسبی محل محافظت شده. عمل‌آوری داخلی در شرایط نسبتاً ثابت با دمای حدود ۱۹ درجه و رطوبت نسبی ۵۵ تا ۶۵ درصد. که از میان روش‌های یاد شده، روش کاربیین، مناسبتر است و موجب افزایش دوام بتن شده و مصرف انرژی پایینی دارد و نیز تاب فشاری را تا حدود ۳۰ درصد افزایش می‌دهد. در واقع روش‌هایی که رطوبت نسبی بالاتری داشته باشند مناسبترند.

بتنی می‌تواند عایق باشد که وزن مخصوص آن کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و تاب فشاری بین ۱۰ تا ۷۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع داشته باشد. برای ساخت این گروه بتن، از خاکستر عمل‌آوری شده با آهک یا خاکستر عمل‌آوری نشده استفاده می‌شود. البته پایداری و تاب فشاری گروه اول بیشتر است و نیز استفاده از خاکستر عمل‌آوری شده مانع از شوره زدگی بتن می‌شود. مهمتر از همه باعث سبکی و کاهش وزن مخصوص بتن شده و خواص عایق بودن آنرا افزایش می‌دهد. در پایان لازم به ذکر است که، علاوه بر تولید بتن، از خاکستر پوسته برنج (RHA) در تولید آجرهای سبک و نسوز و بلوک‌های بتنی نیز بهره‌برداری می‌شود. این آجرها دارای خواص ویژه بسیار ارزشمندی هستند. از جمله:

- تحمل گرمای حدود ۱۲۵۰ درجه بدون ترک خوردگی یا حداکثر با ترک خوردگی‌ها بسیار ریز و مویی
- مقاومت فشاری ۳۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع
- دوام طولانی مدت
- چسبندگی کافی و موثر با ملات‌های بنایی و اندوهای گچی و سیمانی
- وزن کم در حدود یک تن بر متر مکعب
- رنگ خاکستری روشن

در آجرهایی که با خاک لاتریتی (Lateritic)، خاک رس و خاکستر ساخته می‌شوند، با افزایش مقدار خاکستر، تاب فشاری و حدود انقباض شامل حد حالت روانی (LL)، حد