

سنتر بتن سبز مقاوم در محیط‌های اسیدی با استفاده از بیوچار بقایای کشاورزی

زهرا اسدی^۱، سمیه بختیاری^{۲*}، علی رضا غنی زاده^۳، حانیه عباسلو^۴، میثم شهرآشوب^۵، رضا لنگری زاده^۶

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران
- ۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران
- ۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران
- ۴- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران
- ۵- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران
- ۶- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، سیرجان، ایران

bakhtiari@sirjantech.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۷

چکیده

در صنعت ساختمان، از بتن به مقدار زیادی استفاده می‌شود. به‌منظور کاهش تولید سیمان و متعاقب آن کاهش آلودگی هوای ناشی از انتشار گاز CO₂ به اتمسفر و همچنین افزایش مقاومت بتن از مواد افزودنی جایگزین سیمان می‌توان استفاده کرد. یکی از افزودنی‌هایی که می‌تواند در بتن مورد استفاده قرار گیرد، بیوچار حاصل از ضایعات کشاورزی در طی فرآیند پیرولیز است. پیرولیز فرآیندی است که در طی آن، ضایعات در غیاب اکسیژن و در درجه حرارت‌های بالا تجزیه می‌شوند. ضایعات کشاورزی قبل از اضافه شدن به بتن پیرولیز می‌شوند و این عمل باعث تولید زیست سوخت می‌شود که می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود و بقایای حاصل از فرآیند پیرولیز نیز می‌توانند به‌عنوان ماده افزودنی جایگزین سیمان در بتن شوند. در این مطالعه امکان استفاده از بیوچار خاکستر سبوس برنج و باگاس نیشکر تیمار شده با اسیدکلریدریک به‌عنوان افزودنی جهت جایگزینی سیمان در مقادیر ۰، ۵ و ۱۰ درصد بررسی شد. برای شبیه‌سازی محیط فاضلاب از اسیدسولفوریک با pH=۱ استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی اثرات محیط اسیدی بر خصوصیات نمونه‌های بتنی، کاهش وزن، مقاومت فشاری و مقاومت کششی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و آنالیزهای دستگاهی SEM و EDS بر روی نمونه‌های غوطه‌ور در اسید پس از ۲۸ روز انجام گرفت. نتایج نشان داد پیش تیمار سبوس برنج و باگاس نیشکر توسط اسید کلریدریک رقیق، خاصیت پوزولانی نمونه‌ها را با کاهش مقدار پتاسیم و کلسیم موجود در ترکیب می‌تواند بهبود بخشد. نتایج مقاومت فشاری مویید افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی ۵ درصد بیوچار پوسته برنج تیمار شده و بیوچار باگاس نیشکر به ترتیب ۳۵/۹ و ۵۴ درصد نسبت به نمونه بدون پوزولان (شاهد) بود. تغییرات مقاومت کششی نمونه‌های حاوی پوزولان در مقایسه با نمونه شاهد نسبت به مقاومت فشاری چندان چشمگیر نبود. وزن و مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در مجاورت اسید سولفوریک کاهش یافت. کاهش وزن همه نمونه‌ها نسبت به شاهد کمتر بود، ولی مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های حاوی پوزولان با شاهد نشان داد که تنها مقاومت فشاری نمونه بتن حاوی ۵ درصد

بیوپچار سبوس برنج تیمار شده ۱۶ درصد نسبت به شاهد بیشتر است. مقاومت کششی نمونه‌های بتنی حاوی ۵ درصد بیوپچار سبوس برنج تیمار شده و باگاس تیمار شده به ترتیب ۱۲ و ۱۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده تاثیر مثبت پوزولان بیوپچار بر خصوصیات مکانیکی بتن بود.

واژگان کلیدی: بیوپچار، ضایعات کشاورزی، بتن سبز، اسیدشویی، اسیدسولفوریک

۱- مقدمه

تخریب قابل توجه بتن در محیط‌های خورنده مانند سازه‌های مربوط به سیستم جمع‌آوری فاضلاب، در سراسر دنیا باعث ایجاد مشکلات حادی از قبیل کاهش توانایی انتقال در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، آلودگی زمین و آب‌های زیرزمینی، نشست و یا فرورفتن زمین می‌شود [1]. تخریب بتن به‌وسیله اسیدسولفوریک، شامل دو مرحله است که در مرحله اول، اسیدسولفوریک با محصولات هیدراتاسیون مانند هیدروکسید کلسیم و سیلیکات کلسیم هیدراته شده واکنش می‌دهد و سنگ گچ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ تولید می‌کند. در مرحله دوم، سنگ گچ با تری کلسیم آلومینات $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ واکنش داده و اترینگایت $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ را به‌وجود می‌آورد. سنگ گچ و اترینگایت در مقایسه با محصولات اولیه حجم زیادی را اشغال کرده که در نتیجه باعث انقباض شده و ترک‌هایی را در بتن ایجاد می‌کنند که به کاهش ظرفیت سازه منجر می‌شود [1, 2].

همگام با تشدید فزاینده قوانین زیست‌محیطی در دهه گذشته، مفاهیم و تکنولوژی‌های استفاده مجدد مواد پس از عمر مفید آن‌ها به‌طور مداوم توسعه یافته است؛ بنابراین استفاده از مواد بازیافت شده و زائد به عنوان افزودنی‌های بتنی به‌شدت ترویج می‌شود [3]. مواد افزودنی جایگزین سیمان علاوه بر کاهش تولید سیمان و متعاقب آن کاهش آلودگی هوا ناشی از انتشار گاز CO_2 به اتمسفر، موجب افزایش مقاومت بتن نیز می‌شوند. معمولاً به‌جای استفاده از یک سیمان خاص، این امکان وجود دارد که بعضی از خواص سیمان‌های معمولی مورد استفاده را به وسیله ترکیب کردن آن و یا جایگزینی با یک افزودنی تغییر داد [4].

از جمله مواد طبیعی می‌توان الیاف گیاهی، مواد معدنی، مواد آلی و هر ماده‌ای که در طبیعت یافت شده و قابلیت جایگزینی سیمان را داشته باشند، نام برد. در موارد متعددی، پوزولان‌های طبیعی مانند دیاتومیت به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان جایگزین جزئی از سیمان پرتلند مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ زیرا حاوی SiO_2 هستند و به علت اثرات مفید آن از جمله کاهش نفوذپذیری و مقاومت در برابر حمله شیمیایی، استفاده از آن افزایش یافته است [5]. خاکستر سبوس برنج به دلیل بالا بودن مقدار سیلیس فعال (۸۵-۹۰ درصد) و ساختار متخلخل، پتانسیل بالایی جهت استفاده به‌عنوان مواد پوزولانیک دارد [6, 7]. خاکستر باقیمانده ناشی از سوزاندن محصولات کشاورزی مانند خاکستر علوفه ذرت و سایر بقایای گیاهی منابع بالقوه تولید افزودنی‌های سیمانی (SCM) هستند. استفاده از خاکستر بقایای گیاهی به‌عنوان افزودنی جایگزین سیمان بسیار مقرون به‌صرفه است، به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه که در آن‌ها، بقایای کشاورزی به مقدار زیادی در دسترس می‌باشند و از طرفی سایر افزودنی‌ها با هزینه کم در دسترس نیستند [8]. با توجه به هدف حفاظت بالقوه محیط‌زیست، مطالعات بسیاری در زمینه استفاده مجدد از بقایای کشاورزی به‌منظور تولید بتن انجام شده است. از آنجاکه صنعت بتن مقادیر بسیار زیادی از منابع طبیعی و مواد خام را استفاده می‌کند؛ حتی کاهش جزئی در مواد مصرفی بتن می‌تواند فواید بسیاری برای محیط‌زیست به ارمغان آورد [9]. بهترین راه دستیابی به این هدف، استفاده از مواد جانبی و زائدات است. از ضایعات صنایع مختلف کشاورزی که تاکنون برای تولید بتن مورد استفاده قرار گرفته‌اند می‌توان به خاکستر باگاس نیشکر [10]، خاکستر سوخت روغن نخل [11]، زباله پسته نارگیل [12]، الیاف نارگیل [13] و پوسته برنج [14, 15] اشاره کرد.

مواد زائد کشاورزی به شکل دانه، الیاف و همچنین به‌عنوان SCM در تولید بتن استفاده می‌شوند. به تازگی، روند در حال گسترشی در استفاده از مواد زائد کشاورزی به‌عنوان جایگزین سیمان به وجود آمده است. برای مثال از گیاهانی همچون بامبو، موز، ذرت، گندم، سیزال، چمن و غیره [16, 17] و همچنین گیاهان آبی مانند صدف [18] می‌توان استفاده کرد. طبق تحقیقات پیشین، خاصیت چسبندگی ریزساختارهای سیمان با افزودن مواد پوزولانی به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد [19].

سبوس برنج یک پسماند کشاورزی است که از پوسته خارجی دانه‌های برنج به‌دست می‌آید [20]. به‌طورمعمول، پس از آسیاب کردن برنج، سبوس آن به‌طور مستقیم به محیط‌زیست تخلیه می‌شود و یا گاهی اوقات در مخازن باز در مزرعه انباشته یا سوزانده می‌شود. این امر به‌ویژه هنگامی که سبوس برنج مرطوب باشد، باعث آلودگی جدی محیط‌زیست می‌شود [21]. در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای سوزاندن سبوس برنج در محیط اتمسفر و در دمای کنترل‌شده و استفاده از خاکستر تولیدشده به‌عنوان یک افزودنی معدنی برای سیمان و بتن انجام شده است [22, 23].

نیشکر در بیش از ۱۰۰ کشور دنیا به‌عنوان یکی از محصولات زراعی عمده شناخته می‌شود [24]. باگاس یکی از ترکیباتی است که پس از استحصال شربت از نیشکر به‌دست می‌آید [25]. باگاس در کارخانه‌های شکر، به‌عنوان یک پسماند فیبردار پس از خرد کردن و استخراج عصاره نیشکر تولید می‌شود و به‌عنوان سوخت در دیگ‌های بخار همان کارخانه‌ها برای تولید بخار و گرما استفاده می‌شود. خاکستر حاصله از این فرآیند، به‌دلیل مقدار زیاد سیلیکا و اکسید آلومینیوم موجود در آن، یک ماده ارزشمند برای تولید سیمان و بتن است [26]. باگاس حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد وزن نیشکر را تشکیل می‌دهد و به ازای هر تن باگاس سوزانده شده، حدود ۲۵ کیلوگرم خاکستر تولید می‌شود [25, 27]. استفاده از خاکستر سبوس برنج و باگاس نیشکر به‌عنوان

مواد پوزولانی در سیمان و بتن، مزایای متعددی از قبیل افزایش مقاومت و دوام، کاهش هزینه با توجه به صرفه‌جویی در مصرف سیمان و استفاده از مواد زائد دارد [28, 29]. چاسلیپ^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی مقاومت سولفاتی ملات‌های حاوی باگاس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ملات‌های با جایگزینی ۱۰ درصد خاکستر باگاس دارای مقاومت سولفاتی بیشتری نسبت به نمونه‌های شاهد می‌باشند [29].

شفیق^۲ و همکاران (۲۰۱۶)، با جایگزینی صفر تا ۵۰ درصد خاکستر باگاس و محاسبه مقدار کاهش وزن نمونه‌های بتنی به بررسی مقاومت سولفاتی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جدا از درصد جایگزینی خاکستر باگاس، افزودن این پوزولان به بتن سبب افزایش مقاومت سولفاتی می‌گردد ولی بهترین مقاومت سولفاتی با درصد جایگزینی ۱۵ درصد حاصل می‌گردد [10].

روکزون و چندپراسیرت^۳ (۲۰۱۲)، به بررسی استفاده از خاکستر باگاس نیشکر به‌عنوان یک ماده پوزولانیک برای تولید بتن با مقاومت بالا پرداختند. مخلوط بتن به‌طور جزئی با ۱۰٪، ۲۰٪ و ۳۰٪ از خاکستر باگاس نیشکر جایگزین شد. علاوه بر این، استحکام فشاری، تخلخل، ضریب جذب آب و نفوذ کلرید مشخص گردید. نتایج آزمون نشان داد سطح ۳۰ درصد جایگزینی ترکیب خاکستر باگاس نیشکر، مقاومت در برابر نفوذ کلرید را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، بتن‌های ساخته‌شده با استفاده از ۱۰ درصد خاکستر باگاس نیشکر مقاومت خوب و تخلخل پایینی از خود نشان دادند. به‌طور معقول، جایگزینی ۳۰٪ خاکستر باگاس نیشکر برای تولید بتن با مقاومت بالا قابل‌قبول است [30]. با توجه به تولید زیاد ضایعات کشاورزی بایستی به‌دنبال راهکارهایی جهت بازیافت این ضایعات بود. ضایعات کشاورزی معمولاً سوزانده می‌شوند که این فرآیند می‌تواند آلودگی هوا را به دنبال داشته باشد. علی‌رغم مطالعات بسیاری که در زمینه استفاده از بقایای محصولات کشاورزی و خاکستر حاصل از سوزاندن آن‌ها در ساخت بتن با مقاومت بالا صورت گرفته است، تاکنون روشی جهت استفاده از این ضایعات بدون

۲-۲- سنگدانه

بیش از ۵۰ درصد حجم بتن را سنگدانه‌ها تشکیل می‌دهند. منحنی دانه‌بندی سنگدانه‌های شن و ماسه مورد استفاده در ساخت بتن در شکل ۱ با مقدار سنگدانه ۱۷۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بتن مطابق با استاندارد ملی ۳۰۲ شن و ماسه نشان داده شده است.

۲-۳- مواد پوزولانی و پیش تیمار

از خاکستر و بیوپچار سبوس برنج و بیوپچار باگاس نیشکر به عنوان ماده جایگزین سیمان استفاده شد. قبل از استفاده از این دو زیست توده سبوس و باگاس، برای بالابردن کارایی آن‌ها نیاز به حذف ناخالصی‌های موجود در آن‌ها بود، به همین دلیل پیش تیمار سبوس برنج و باگاس نیشکر با استفاده از آب مقطر و اسید کلریدریک N ۰/۱ انجام شد. به این صورت که ۲۰ گرم از هر کدام از زیست توده های سبوس برنج و باگاس نیشکر به طور جداگانه در ۴۰۰ میلی لیتر از محلول آب مقطر و اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال در یک ظرف شیشه‌ای ۵۰۰ میلی لیتری غوطه‌ور شدند. نمونه‌ها در دمای ثابت ۲۳ و ۸۰°C برای دوره زمانی ۲۴ ساعته نگهداری شدند. پس از غوطه‌وری، نمونه شیرابه حاصل از واکنش زیست توده با محلول آب مقطر و اسید برای تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری غلظت منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و پتاسیم (K) جمع‌آوری شد. غلظت کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون با EDTA و سدیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر تعیین شد. بعد از پیش تیمار، زیست توده‌ها توسط آب مقطر شسته شدند تا زمانی که pH آن‌ها برابر با ۷ شد و سپس در دمای ۸۰°C خشک گردیدند و نهایتاً بر اساس نتایج مطالعه قبلی [31]، نمونه‌هایی که در دمای محیط و با اسید کلریدریک رقیق تیمار شدند جهت ادامه کار انتخاب گردیدند.

داشتن اثرات سوء بر هوا در نتیجه انتشار دی اکسید کربن ناشی از سوزاندن بقایا مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این مطالعه، بازیافت ضایعات کشاورزی به روشی سازگار با محیط زیست با استفاده از روش پیرولیز و سوزاندن اصولی ضایعات بدون انتشار دی اکسید کربن و امکان‌سنجی استفاده از محصول حاصل از پیرولیز که بیوپچار نامیده می‌شود به عنوان یک افزودنی بتن در محیط‌های بسیار اسیدی است.

۲- مواد و روش‌ها

بتن از ترکیب مقدار معین و حساب شده از آب، مصالح سنگی درشت‌دانه (شن)، مصالح سنگی ریزدانه (ماسه) و سیمان به دست می‌آید. علاوه بر این مصالح، مواد اصلاح‌کننده خواص بتن، یعنی مواد افزودنی نیز می‌توانند در بتن استفاده شوند که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۲-۱- سیمان

در این پژوهش از سیمان تیپ ۲ به مقدار ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بتن استفاده گردید. آنالیز شیمیایی درصد اجزای تشکیل دهنده سیمان با استفاده از آنالیز XRF در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس آنالیز XRF، اکسیدهای مرکب سیمان که شامل ترکیبات تری کلسیم سیلیکات (C3S)، دی کلسیم سیلیکات (C2S)، تری کلسیم آلومینات (C3A) و تترا کلسیم آلومینیوم فریت (C4AF) هستند به ترتیب به مقدار ۵۴/۳، ۲۱/۸، ۶/۹ و ۱۱/۸۵ درصد برآورد گردید. سیلیکات‌های C2S و C3S مهم‌ترین ترکیبات سیمان هستند که مسئولیت مقاومت خمیر سیمان هیدراته شده را به عهده دارند. حضور C3A در سیمان مطلوب نیست و طبق استاندارد ملی ایران، مقدار آن در سیمان پورتلند نوع ۲ باید کمتر از ۸ درصد باشد. ترکیب C4AF در مقایسه با دیگر ترکیبات به مقدار کمتری در سیمان موجود است و تأثیر عمده‌ای بر اثرات سیمان ندارد.

جدول ۱. آنالیز شیمیایی اجزای تشکیل دهنده سیمان

Total	Mg O	SO ₃	Ca O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Composition n
98.4 2	1.9	1.8 3	62.4	3.9	5.09	21.9	Percentage

Table 1. Chemical analysis of cement constituents

شکل ۱. منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها به جرم ۱۷۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بتن

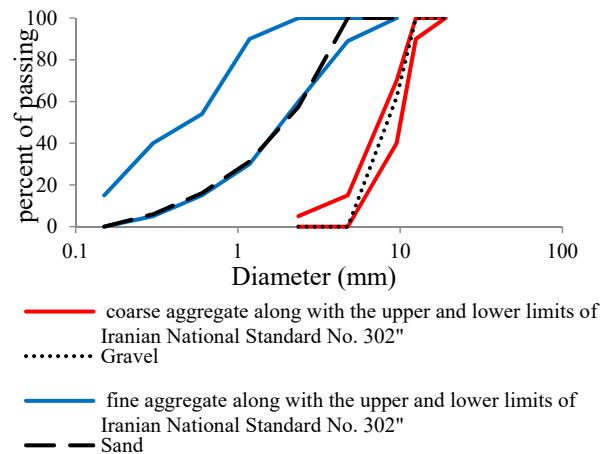


Fig. 1. Aggregation curve with a mass of 1750 kg/m³ of concrete

نمونه‌های تیمار نشده و تیمار شده با اسید کلریدریک در کوره الکتریکی با اتمسفر قابل کنترل قرار داده شدند. دمای پیرولیز از دمای اتاق به درجه حرارت موردنظر (۷۰۰°C) افزایش و پس از آن به طور مداوم حفظ شد. گاز نیتروژن با نرخ جریان ۱/۵ میلی‌لیتر بر ثانیه به عنوان یک گاز بی‌اثر و به منظور خارج کردن گاز اکسیژن مورد استفاده قرار گرفت. جامد باقیمانده بعد از پایان واکنش به عنوان بیوپچار تیمار شده پوسته برنج (TRHB)، بیوپچار تیمار نشده پوسته برنج (RHB)، بیوپچار باگاس تیمار شده (TBB)، بیوپچار باگاس تیمار نشده (BB) جمع‌آوری شدند. جهت مقایسه تاثیر بیوپچار و خاکستر بر خصوصیات بتن، خاکستر پوسته برنج تیمار شده (TRHA) در دمای ۷۰۰°C در کوره الکتریکی در حضور اکسیژن نیز تهیه شد و جهت تعیین خاصیت پوزولانی نمونه‌های ساخته شده از آزمون چابلی استفاده شد [31, 32].

۲-۵- تهیه بتن

در این تحقیق به منظور بررسی دقیق اثر بیوپچارهای مختلف سنتز شده، درصد‌های متفاوتی (۵ و ۱۰ درصد جایگزینی) از آن‌ها به صورت طرح‌های اختلاط متفاوت مورد استفاده قرار گرفتند. در هر طرح، سه نمونه مکعبی در قالب‌های ۱۰×۱۰×۱۰ ساخته شد.

نمونه‌های ساخته شده حدود ۲۴ ساعت در قالب نگهداری، سپس به درون مخزن آب منتقل شدند و پس از پایان ۲۸ روز عمل‌آوری، به منظور تعیین خصوصیات مکانیکی از قالب‌ها خارج شدند. نمونه‌های بتنی به این صورت نام‌گذاری شده‌اند که در ابتدا در صورت تیمار شدن حرف T و سپس نام نوع زیست توده (B: باگاس و RH: سبوس برنج) آورده شده است و سپس نوع خاکستر یا بیوپچار بودن (A: خاکستر و B: بیوپچار) مشخص شده است و در انتها درصد جایگزینی آورده شده است. برای مثال TRHB5 نشان‌دهنده بتن حاوی ۵ درصد بیوپچار سبوس تیمار شده است.

۲-۶- مقاومت فشاری و مقاومت کششی

آزمایش مقاومت فشاری بتن برای نمونه‌های مکعبی ساخته شده با ۲۸ روز عمل‌آوری در سه تکرار توسط دستگاه جک بتن شکن طبق استاندارد (ASTM C109) تعیین گردید. مقاومت کششی غیرمستقیم طبق استاندارد ASTM C496، به روش دو نیمه شدن (برزیلین ۱)، در سه تکرار بر روی نمونه‌های استوانه‌ای بتن صورت گرفت.

۲-۷- بررسی محیط اسیدی

به منظور شبیه‌سازی محیط اسیدی فاضلاب بر مقاومت بتن به صورت تشدید شده در آزمایشگاه و در زمان کوتاه، از اسیدسولفوریک ۵ درصد که pH آن برابر با ۱ بود، استفاده شد. جهت بررسی فرآیند تخریب نمونه‌ها، مقدار کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های مستغرق در اسید نسبت به نمونه‌های مستغرق در آب پس از ۷۰ روز در یک تکرار و همچنین تغییر وزن نمونه‌ها در زمان‌های ۷، ۱۴، ۲۴، ۳۲، ۳۸ و ۷۰ روز پس از عمل‌آوری و استغراق در اسیدسولفوریک مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

خاصیت پوزولانی

نتایج خاصیت پوزولانی در نمونه‌های پوزولانی مختلف نشان‌دهنده تاثیر پیش تیمار بر افزایش خاصیت پوزولانی بود و نشان داد در اثر پیش تیمار، مقدار هیدروکسید کلسیم مصرفی در

شاهد و بتن حاوی ۵٪ باگاس تیمار شده به عنوان بتن با بالاترین مقاومت نسبت به سایر بتن های حاوی بیوپچار باگاس ۱۹/۶۲ MPa (۵۵٪) بود و با افزایش درصد جایگزینی به ۱۰ درصد، مقاومت فشاری کاهش یافت.

شکل ۲. مقاومت فشاری نمونه های با درصدهای مختلف سبوس برنج و باگاس نیشکر

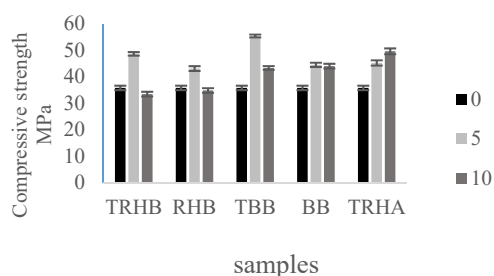


Fig. 2. Compressive strength of samples with different percentages of rice husk and sugarcane bagasse

بتن با بیوپچار باگاس تیمار نشده مقاومت پایین تری نسبت به بتن حاوی بیوپچار باگاس تیمار شده در تمام درصدهای جایگزینی نشان داد که این ناشی از مقدار کمتر سیلیس آمورف بیوپچار باگاس تیمار نشده نسبت به بیوپچار باگاس تیمار شده است [31]. حسامی ۱ و همکاران (۲۰۱۴)، طبق مطالعاتی که انجام دادند درصد بهینه جایگزینی خاکستر پوسته برنج را ۱۰ درصد اعلام کردند [33]. رمضانپور ۲ و همکاران (۲۰۰۹)، دوام بتن های حاوی خاکستر پوسته برنج را مورد ارزیابی قرار دادند. مقادیر جایگزینی ۷، ۱۰ و ۱۵ درصد خاکستر پوسته برنج در نظر گرفته شد و درصد بهینه جایگزینی خاکستر پوسته برنج را ۱۵ درصد اعلام کردند [34].

علی رغم مطالعاتی که در رابطه با جایگزینی سیمان با خاکستر ضایعات کشاورزی انجام شده است، مطالعات در زمینه استفاده از بیوپچار ضایعات کشاورزی کمتر است که به چند مورد از آن ها اشاره می شود. گوپتا ۳ و همکاران (۲۰۱۸)، نشان دادند که مقاومت فشاری نمونه های بتنی که سیمان آن ها با ۲ درصد بیوپچار گرده چوب تولید شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد جایگزین شده بود، ۸ تا ۱۰ درصد افزایش پیدا کرد [35]. مقاومت فشاری در مطالعات رستوسیا و فرو ۴ و چوی ۵

مقایسه با نمونه های تیمار نشده افزایش می یابد. مقدار مصرفی هیدروکسید کلسیم خاکستر پوسته برنج تیمار شده (TRHA) نسبت به بیوپچار پوسته برنج (TRHB) بیشتر بود. به طور کلی، فعالیت پوزولانی بیوپچار سبوس برنج تیمار شده و تیمار نشده بالاتر از بیوپچار باگاس تیمار شده و تیمار نشده بود [31].

۳-۲- مقاومت فشاری و کششی

شکل های ۲ و ۳ به ترتیب مقاومت فشاری و کششی نمونه های بتنی با درصدهای مختلفی از بیوپچار و خاکستر سبوس برنج را نشان می دهند. بیش ترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه با جایگزینی ۱۰ درصد خاکستر سبوس برنج و کمترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه های بیوپچار سبوس تیمار شده و نشده با ۱۰ درصد جایگزینی سیمان است. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود با افزایش درصد جایگزینی خاکستر سبوس برنج تیمار شده، مقاومت فشاری افزایش یافته است. این افزایش مقاومت می تواند ناشی از پیوندهای Si-O-Si بهتر در نتیجه مقدار بیشتر سیلیس فعال در نتیجه افزایش مقدار خاکستر پوسته برنج باشد [14]. خاکستر پوسته برنج همچنین با تاثیرگذاری بر سطح از طریق اصلاح منافذ، متراکم کردن ماتریکس بتن و کاهش خلل و فرج می تواند تاثیر مثبتی بر مقاومت فشاری داشته باشد [14]. در حالی که با افزایش درصد بیوپچار تیمار شده و نشده سبوس برنج، مقاومت کاهش یافته است. درصد بهینه بیوپچار سبوس برنج تیمار شده و نشده ۵ درصد حاصل شد و مقاومت فشاری نمونه بیوپچار تیمار شده با جایگزینی ۵ درصد سیمان (۳۵/۹) درصد افزایش مقاومت نسبت به شاهد (بیشتر از نمونه بیوپچار تیمار نشده با ۵ درصد جایگزینی سیمان (۲۰/۴۲) درصد افزایش مقاومت نسبت به شاهد) بود. به طور کلی نمونه خاکستر سبوس برنج تیمار شده بیش ترین درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به شاهد را نشان داد که این امر می تواند به دلیل خاصیت پوزولانی بیشتر این نمونه نسبت به سایر نمونه ها باشد [31].

نمونه های بتنی که حاوی باگاس بودند نسبت به بتن شاهد مقاومت فشاری بالاتری نشان دادند (شکل ۲). اختلاف بین بتن

۱۰ درصد پوزولان سبوس برنج تیمار نشده بود. نمونه حاوی ۵ درصد بیوپار سبوس تیمار نشده پس از نمونه شاهد دارای بیش‌ترین کاهش وزن بود و با افزایش درصد جایگزینی پوزولان‌ها مقدار کاهش وزن نمونه‌ها کاهش یافته است.

شکل ۴. کاهش وزن نمونه‌ها در محیط اسیدی

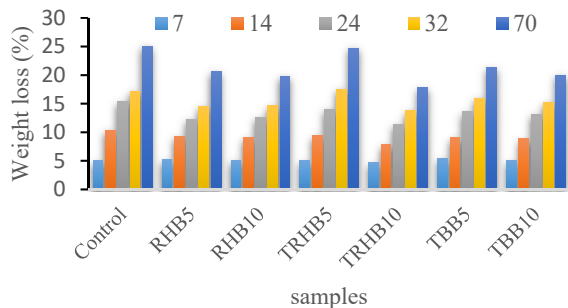
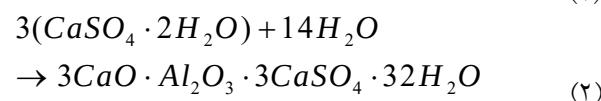
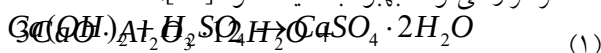


Fig. 4. Weight loss of samples in acidic medium

دلیل تخریب بتن و کاهش وزن را می‌توان به تشکیل اترینگایت و انبساط بتن و حجیم شدن آن و در نتیجه از هم پاشیدگی و تخریب دانست. واکنش‌های ۱-۲ نشان‌دهنده چگونگی تشکیل اترینگایت هستند. گچ تشکیل شده در اثر واکنش ۱، با آلومینات کلسیم آبدار (C3A) طبق واکنش ۲ واکنش داده و تولید اترینگایت می‌کند. اترینگایت تولید شده مسئول حجیم شدن بتن و نهایتاً تخریب آن است [14, 40]. خدابخشیان^۲ و همکاران (۲۰۱۸)، گزارش کردند مقاومت در برابر اسید با استفاده از مواد پوزولانی مانند سیلیکا فیوم و خاکستر فرار می‌تواند بهبود بخشیده شود [41].



رمضانیان‌پور و همکاران (۲۰۱۳)، نشان دادند کاهش وزن نمونه‌های بدون خاکستر قرارگرفته در محلول سولفات منیزیم به ۳/۵ درصد رسید درحالی‌که نمونه حاوی ۱۵ درصد خاکستر پوسته برنج فقط ۱/۵ درصد کاهش وزن نسبت به وزن قبل از قرارگیری در محلول سولفات نشان داد [42].

و همکاران (۲۰۱۲)، با ۵ درصد جایگزینی سیمان با بیوپار نیز گزارش شده است [36, 37]. گوپتا و کوآ^۱ (۲۰۲۰)، ترکیبی از سیلیکا فیوم و بیوپار را استفاده کردند و افزایش ۱۸ درصدی مقاومت فشاری را گزارش کردند [38].

استحکام کششی مخلوط‌های مختلف بتنی در شکل ۳ نشان داده شده است. داده‌ها به‌وضوح نشان می‌دهد که بیوپار، به‌عنوان جایگزین جزئی از سیمان، مقاومت کششی بتن را نسبت به بتن بدون هیچ‌گونه جایگزینی افزایش می‌دهد. مدن دوست و خلقی (۲۰۱۶)، نشان دادند جایگزینی ۱۰ درصد خاکستر سبوس به-جای سیمان باعث افزایش مقاومت کششی نمونه‌های بتنی می-شود، اما افزایش درصد جایگزینی موجب کاهش مقاومت کششی می‌شود [39].

شکل ۳. مقاومت کششی نمونه‌ها با درصد‌های گوناگون پوزولان‌های مختلف

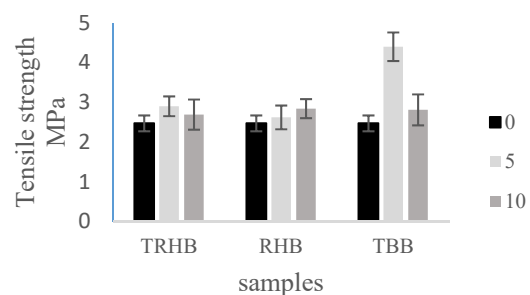


Fig. 3. Tensile strength of samples with different percentages of various pozzolans

۳-۳- تأثیر محیط اسیدی بر نمونه‌های بتنی

۳-۳-۱- کاهش وزن نمونه‌ها

شکل ۴ کاهش وزن نمونه‌ها را در محیط اسیدی در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد. به‌طورکلی، کاهش وزن همه نمونه‌های با درصد‌های مختلف پوزولان پس از ۷۰ روز قرارگیری در محیط اسیدی کمتر از کاهش وزن نمونه شاهد بود. در همه نمونه‌های پوزولانی، با افزایش درصد جایگزینی، درصد کاهش وزن کاهش یافت؛ بنابراین از لحاظ کاهش وزن، درصد بهینه جایگزینی برای همه پوزولان‌های مورد آزمایش در این تحقیق ۱۰ درصد به دست آمد. کمترین کاهش وزن پس از ۷۰ روز مربوط به نمونه‌های با جایگزینی ۱۰ درصد بیوپار سبوس برنج تیمار شده و

۳-۲- مقاومت فشاری

واقعی از نمونه بتن شاهد نیز نشان‌دهنده تشکیل گچ به صورت لکه‌های سفیدرنگ بر سطح بتن و تخریب بتن است (شکل ۵-د). آنالیز عنصری مربوط به این نمونه بتنی نیز شاهدهی بر وجود عنصر گوگرد در این نمونه بتنی است (شکل ۶).

جدول ۲. مقاومت فشاری نمونه‌ها پس از عمل‌آوری در محیط اسیدی

Compressive strength (MPa)	Substitution %	Samples
11.57	0	Control
10.59	5	RHB
8.53	10	
13.44	5	TRHB
13.04	10	
11.18	5	TBB
9.51	10	

Table 2. Compressive strength of samples after curing in acidic medium

لکه‌های سفیدرنگ روی سطح نمونه حاوی ۵ درصد بیوپار سبوس برنج تیمار شده نسبت به نمونه شاهد کاهش یافته است، بنابراین تشکیل گچ در اثر قرارگیری بتن در معرض سولفات نیز کاهش یافته است (شکل ۷-الف). در این نمونه، کریستال‌های تخته‌ای با جهت‌گیری تصادفی با اشکال مسطح و زاویه‌دار بر روی سطح بتن و ترک‌ها در ساختار آن نسبت به نمونه شاهد کمتر مشاهده می‌شود (شکل ۷-ب). تصویر واقعی از نمونه بتنی حاوی ۵ درصد بیوپار سبوس تیمار شده نیز نشان‌دهنده کاهش تشکیل گچ به صورت لکه‌های سفیدرنگ بر سطح بتن است (شکل ۷-ج). آنالیز عنصری مربوط به این نمونه بتنی نیز شاهدهی بر وجود کمتر عنصر گوگرد در این نمونه بتنی نسبت به نمونه شاهد است (شکل ۸). تشکیل کمتر بلورهای سولفات کلسیم و متراکم بودن ساختار نمونه حاوی ۵ درصد بیوپار سبوس برنج موجب افزایش مقاومت فشاری این نمونه نسبت به نمونه شاهد شده است.

مقاومت فشاری نمونه‌ها پس از عمل‌آوری در محیط اسیدی در جدول ۲ نمایش داده شده است. از بین نمونه‌های حاوی بیوپار سبوس برنج، بتن‌هایی که دارای بیوپار تیمار شده بودند، مقاومت فشاری بیشتری از خود نشان دادند؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه با جایگزینی ۵٪ بیوپار سبوس برنج تیمار شده به‌جای سیمان بود و پس‌از آن نمونه حاوی ۱۰٪ بیوپار سبوس برنج تیمار شده بیش‌ترین مقاومت فشاری را نشان داد و کمترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه حاوی ۱۰٪ بیوپار سبوس برنج تیمار نشده بود. با افزایش درصد جایگزینی بیوپار باگاس نیشکر تیمار شده به‌جای سیمان از ۵٪ به ۱۰٪ مقاومت فشاری به مقدار ۱۵٪ کاهش یافت. به‌طورکلی بیش‌ترین و کمترین مقاومت فشاری به ترتیب مربوط به نمونه‌های حاوی ۵٪ بیوپار سبوس تیمار شده و ۱۰٪ بیوپار سبوس تیمار نشده بود و نتایج حاکی از آن است که با افزایش درصد جایگزینی همه بیوپارها از ۵٪ به ۱۰٪، مقدار مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. رمضانپور و همکاران (۲۰۱۵)، گزارش کردند مصرف پوزولان خاکستر باگاس در بتن به‌عنوان ماده جایگزین سیمان موجب بهبود فاکتورهای دوام بتن در محیط سولفاتی می‌شود و جایگزینی ۲۰٪ درصد از این پوزولان باعث ایجاد بیش‌ترین مقاومت فشاری و جایگزینی ۲۵٪ پوزولان باگاس با سیمان باعث بیش‌ترین کاهش نفوذ نمونه بتن‌های ساخته‌شده و افزایش دوام بتن می‌گردد [43]. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی و آنالیز عنصری مربوط به نمونه‌های بتنی شاهد و نمونه‌های با ۵ درصد بیوپار سبوس برنج تیمار شده و بیوپار باگاس تیمار شده در شکل‌های ۵ تا ۱۰ نشان داده شده است. بر روی سطح بتن شاهد، لکه‌های سفیدرنگی مربوط به تشکیل گچ در اثر قرارگیری بتن در معرض سولفات مشاهده می‌شود (شکل ۲-الف). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز نشان‌دهنده وجود بلورهای سولفات کلسیم (گچ) به صورت کریستال‌های تخته‌ای با جهت‌گیری تصادفی با اشکال مسطح و زاویه‌دار بر روی سطح بتن شاهد هستند. همچنین در این نمونه بتن ترک‌هایی مشاهده می‌شود (شکل‌های ۵-ب و ۵-ج). تصویر

شکل ۸. آنالیز عنصری EDS مربوط به نمونه بتن حاوی ۵ درصد بیوچار سیبوس برنج تیمار شده

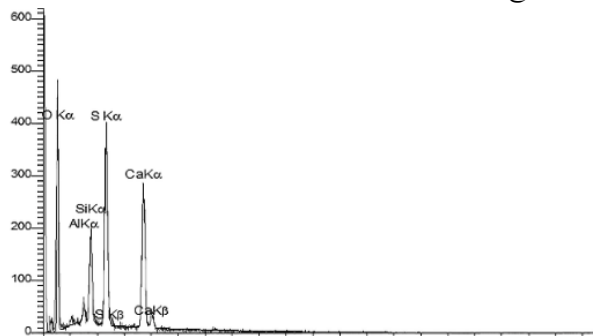


Fig. 8. EDS analysis of the concrete sample containing 5% treated rice husk biochar

روی سطح نمونه حاوی ۵ درصد باگاس نیشکر تیمار شده نسبت به نمونه حاوی ۵ درصد سیبوس برنج تیمار شده، لکه‌های سفیدرنگ بیشتری مشاهده می‌شود (شکل ۹-الف). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز شهادتی بر تشکیل بلورهای سولفات کلسیم (گچ) به صورت کریستال‌های تخته‌ای و ایجاد ترک‌هایی در ساختار بتن هستند (شکل ۹-ب). تصویر واقعی نیز نشان داد که لکه‌های سفیدرنگ روی سطح این نمونه بتنی نسبت به نمونه شاهد کمتر است (شکل ۹-ج). آنالیز عنصری این نمونه بتنی نیز تأییدکننده وجود بیشتر گچ و عنصر گوگرد در این نمونه نسبت به نمونه حاوی ۵ درصد بیوچار سیبوس برنج تیمار شده است (شکل ۱۰). بنابراین افزودن ۵٪ از پوزولان‌های بیوچار سیبوس برنج و باگاس نیشکر تیمار شده در کاهش تشکیل گچ و افزایش تراکم نمونه و در نتیجه افزایش مقاومت مؤثر است و نقش بسزایی دارد. تاثیر مثبت پوزولان بر مقاومت بتن در معرض اسید می‌تواند ناشی از واکنش‌های پوزولانی باشد. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است بعد از اینکه بتن در معرض اسید قرار می‌گیرد سولفات کلسیم و اترینگایت تشکیل می‌شود. مواد پوزولانی می‌توانند با مسدود کردن منافذ باعث افزایش مقاومت به اسید شوند، مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر حمله اسیدی، ارتباط بین منافذ، اندازه و توزیع منافذ در ساختار بتن است [14].

شکل ۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه بتن شاهد، الف، ب و ج- د- تصویر واقعی از نمونه

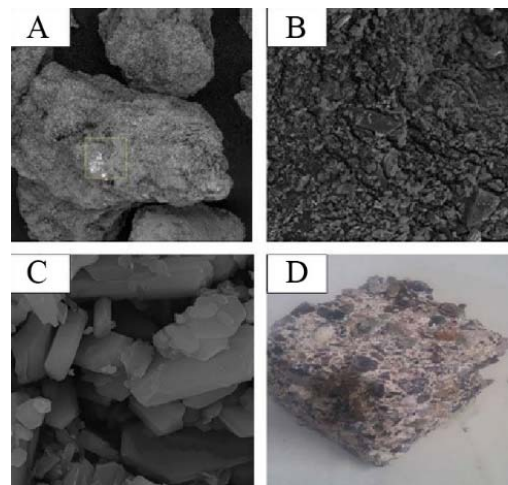


Fig. 5. Control sample, A, B, and C. SEM images, D. Real image of the sample

شکل ۶. آنالیز عنصری EDS مربوط به نمونه بتن شاهد

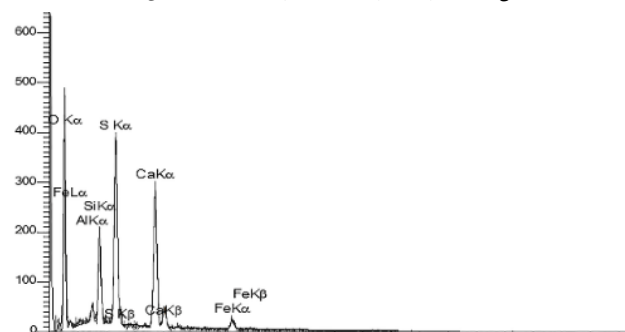


Fig. 6. EDS analysis of the control sample

شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه بتنی حاوی ۵ درصد بیوچار سیبوس برنج تیمار شده الف و ب- ج- تصویر واقعی از نمونه

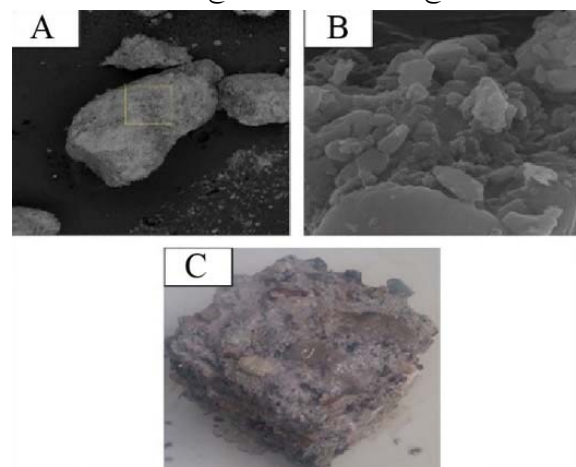


Fig. 7. Concrete sample containing 5% treated rice husk biochar, A and B. SEM images, C. Real image of the sample

۳-۳-۳- مقاومت کششی

سبوس تیمار شده و ۱۰ درصد باگاس تیمار شده، بیشترین مقاومت کششی را نشان دادند و همه نمونه‌های تیمار شده با اسید نسبت به نمونه شاهد، مقاومت کششی بیشتری داشتند؛ بنابراین از لحاظ مقاومت کششی پس از عمل‌آوری در محیط اسیدی، این نمونه‌ها عملکرد بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارند. دلیل این امر می‌تواند سطح ویژه و خاصیت پوزولانی بالای بیوچار سبوس برنج تیمار شده و بیوچار باگاس تیمار شده باشد. کمترین مقاومت کششی مربوط به نمونه‌های حاوی ۱۰ درصد بیوچار سبوس تیمار شده و تیمار نشده و ۵ درصد سبوس تیمار نشده بود. مقاومت کششی پایین نمونه‌های حاوی بیوچار سبوس برنج تیمار نشده می‌تواند به دلیل خاصیت پوزولانی پایین این بیوچار باشد [31].

جدول ۳. مقاومت کششی نمونه‌ها پس از عمل‌آوری در محیط اسیدی

Tensile strength (MPa)	Substitution %	Samples
0.81	0	Control
0.28	5	RHB
0.25	10	
1.78	5	TRHB
0.25	10	
1.84	5	TBB
1.78	10	

Table 3. Tensile strength of samples after curing in acidic medium

۴- نتیجه‌گیری

مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی با افزایش سطح جایگزینی هر دو نوع بیوچار سبوس برنج تیمار شده و باگاس نیشکر تیمار شده تا ۵٪ جایگزینی افزایش یافت، اما با افزایش بیشتر درصد جایگزینی، کاهش مقاومت مشاهده شد. بیوچار، به‌عنوان جایگزین جزئی از سیمان، مقاومت کششی بتن را نسبت به بتن شاهد، افزایش داد. به‌منظور ارزیابی اثرات محیط اسیدی روی نمونه‌های بتنی، کاهش وزن، مقدار مقاومت فشاری و مقاومت کششی اندازه‌گیری شد. کاهش وزن همه نمونه‌های با درصدهای مختلف پوزولان پس از ۷۰ روز قرارگیری در محیط اسیدی کمتر از کاهش وزن نمونه شاهد بود. بیشترین و کمترین مقاومت فشاری پس از عمل‌آوری در محیط اسیدی به ترتیب مربوط به نمونه‌های حاوی ۵٪ و ۱۰٪ بیوچار باگاس تیمار نشده بود و

جدول ۳ مقاومت کششی نمونه‌ها پس از عمل‌آوری در محیط اسیدی را نشان می‌دهد. در بین نمونه‌های حاوی بیوچار سبوس برنج، نمونه حاوی ۵٪ بیوچار سبوس برنج تیمار شده بیشترین مقاومت کششی را داراست، اما با افزایش درصد جایگزینی آن به ۱۰٪، مقاومت کششی به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافت. نمونه‌های حاوی بیوچار سبوس برنج تیمار نشده مقاومت کششی بسیار پایینی از خود نشان دادند، به‌طوری‌که مقاومت کششی آن‌ها از مقاومت کششی نمونه شاهد کمتر بود.

شکل ۹. نمونه بتنی حاوی ۵ درصد بیوچار باگاس نیشکر تیمار شده، الف و ب- تصاویر میکروسکوپ الکترونی، ج- تصویر واقعی از نمونه

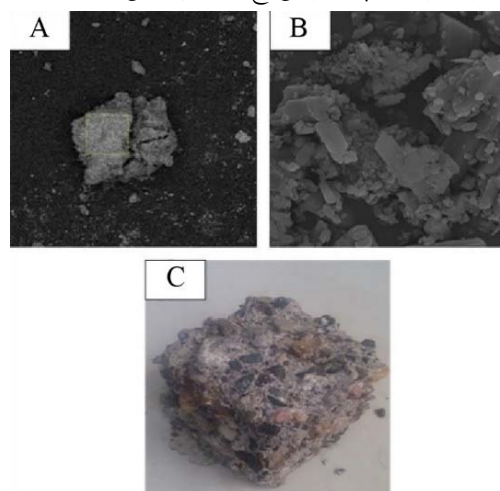


Fig. 9. Concrete sample containing 5% treated sugarcane bagasse biochar, A and B. SEM images, C. Real image of the sample

شکل ۱۰. آنالیز عنصری EDS مربوط به نمونه بتن حاوی ۵ درصد بیوچار باگاس نیشکر تیمار شده

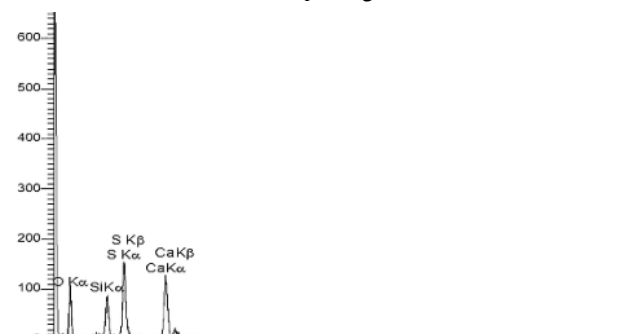


Fig. 10. EDS analysis of the concrete sample containing 5% treated sugarcane bagasse biochar

نمونه حاوی ۵ درصد باگاس تیمار شده بیشترین مقاومت کششی را از خود نشان داد و پس از آن، نمونه‌های حاوی ۵ درصد

- Nickel and Cadmium using Diatomite, Silt, Sunflower stem and Cement (Green Concrete Components), *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, in press, (In Persian).
- [10] Shafiq, N., Hussein, A.A.E., Nuruddin, M.F. & Al Mattarne, H. 2016. Effects of sugarcane bagasseash on the properties of concrete. *Proceeding of the institution civil engineering, Engineering Sustainability*.
- [11] Safiuddin, M., Abdus Salam, M. & Jumaat, M.Z. 2011. Utilization of palm oil fuel ash in concrete: a review, *Journal of Civil Engineering and Management*, 17(2), 234-247.
- [12] Mo, K.H., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., Yap, S.P. & Lee, S.C. 2016. Green concrete partially comprised of farming waste residues: a review, *Journal of Cleaner Production*, 117, 122-138.
- [13] Pacheco-Torgal, F. & Jalali, S. 2011. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review, *Construction and building materials*, 25(2), 575-581.
- [14] Koushkbaghi, M., Kazemi, M.J., Mosavi, H. & Mohseni, E. 2019. Acid resistance and durability properties of steel fiber-reinforced concrete incorporating rice husk ash and recycled aggregate, *Construction and building materials*, 202, 266-275.
- [15] Praveenkumar, T., Vijayalakshmi, M. & Meddah, M. 2019. Strengths and durability performances of blended cement concrete with TiO₂ nanoparticles and rice husk ash, *Construction and building materials*, 217, 343-351.
- [16] Pappu, A., Saxena, M. & Asolekar, S.R. 2007. Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials, *Building and environment*, 42(6), 2311-2320.
- [17] Karade, S. 2010. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes, *Construction and building materials*, 24(8), 1323-1330.
- [18] Prusty, J.K. & Patro, S.K. 2015. Properties of fresh and hardened concrete using agro-waste as partial replacement of coarse aggregate—A review, *Construction and building materials*, 82, 101-113.
- [19] Saraswathy, V. & Song, H.-W. 2007. Corrosion performance of rice husk ash blended concrete, *Construction and Building Materials*, 21(8), 1779-1784.
- [20] Ganesan, K., Rajagopal, K. & Thangavel, K. 2008. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for
- نتایج حاکی از آن است که با افزایش درصد جایگزینی همه بیوچارها از ۵٪ به ۱۰٪، مقدار مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. نمونه حاوی ۵ درصد باگاس تیمار شده، بیش‌ترین مقاومت کششی را پس از عمل‌آوری در اسید از خود نشان داد و پس‌از آن، نمونه‌های حاوی ۵ درصد سبوس تیمار شده و ۱۰ درصد باگاس تیمار شده، بیش‌ترین مقاومت کششی را داشتند و همه نمونه‌های ذکر شده نسبت به نمونه شاهد، مقاومت کششی بیشتری داشتند.
- ### مراجع
- [1] Rahmani H, Jokar M & Parvinnia M. 2015. Effect of Nano-SiO₂ and Silica Fume on Durability of High Strength Concretes under Sulfuric Acid Attack. *Modares Civil Engineering journal*. 15 (2): 1-12 (In Persian)
- [2] Ghalehnovi, M., Khodabakhshian, A. & Shamsabadi, E.A. 2018. The effect of waste marble powder and silica fume as a partial replacement of cement on concrete durability, *Concrete Research*, 11(2), 35-50, (In Persian).
- [3] Spiesz, P., Rouvas, S. & Brouwers, H.J.H. 2016. Utilization of waste glass in translucent and photocatalytic concrete, *Construction and Building Materials*, 128, 436-448.
- [4] Ataie, F.F. 2013. Enhancement of agricultural residue ash reactivity in concrete through the use of biofuel pretreatments, *Kansas State University*.
- [5] Meddah, M.S. 2015. Durability performance and engineering properties of shale and volcanic ashes concretes, *Construction and Building Materials*, 79, 73-82.
- [6] Van, V.-T.-A., Röbller, C., Bui, D.-D. & Ludwig, H.-M. 2014. Rice husk ash as both pozzolanic admixture and internal curing agent in ultra-high performance concrete, *Cem. Concr. Compos*, 53, 270-278.
- [7] Huang, H., Gao, X., Wang, H. & Ye, H. 2017. Influence of rice husk ash on strength and permeability of ultra-high performance concrete, *Constr. Build. Mater*, 149, 621-628.
- [8] Salmabanu Luhar, Ta-Wui Cheng, Ismail Luhar. 2019. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review, *Composites part B*, 175:
- [9] Bakhtiari, S., Sotoodeh Nia, F., Shahrashoub, M., Amiri, T. & Abbslou, H. 2019. Removal of

- [31] Asadi Zeidabadi, Z., Bakhtiari, S., Abbaslou, H. & Ghanizadeh, A.R. 2018. Synthesis, characterization and evaluation of biochar from agricultural waste biomass for use in building materials, *Construction and Building Materials*, 181, 301-308.
- [32] Chapelle, J. 1958. Sulpho-calcic attack of slags and pozzolans, *Imprimerie Centrale de l'Ortois-Orras*.
- [33] Hesami, S., Ahmadi, S. & Nematzadeh, M. 2014. Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement, *Construction and Building Materials*, 53, 680-691.
- [34] Ramezani pour, A., Mahdikhani, & M. Ahmadibeni, G. 2009. The effect of rice husk ash on mechanical properties and durability of sustainable concretes, *International Journal of Civil Engineering*, 7(2), 83-91.
- [35] Gupta, S., Kua, H.W. & Pang, S.D. 2018. Biochar-mortar composite: Manufacturing, evaluation of physical properties and economic viability, *Construction and Building Materials*, 167, 874-889.
- [36] Restuccia, L. & Ferro, G.A. 2016. Promising low cost carbon-based materials to improve strength and toughness in cement composites, *Construction and Building Materials*, 126, 1034-1043.
- [37] Choi, W.C., Yun, H.D. & Lee, J.Y. 2012. Mechanical Properties of Mortar Containing Bio-Char from Pyrolysis, *Journal of the Korea institute for structural maintenance and inspection*, 16(3), 67-74.
- [38] Gupta, S. & Kua, H.W. 2020. Combination of biochar and silica fume as partial cement replacement in mortar: performance evaluation under normal and elevated temperature, *Waste and Biomass Valorization*, 11(6), 2807-2824.
- [39] Madandoust, R. & Kholghi, M. 2016. Investigation of the properties of Semi self-compacting concrete using rice husk ash, in: *The First National Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management*, Tehran, Iran, (In Persian).
- [40] Bisht, K. & Ramana, P. 2019. Waste to resource conversion of crumb rubber for production of sulphuric acid resistant concrete, *Construction and Building Materials*, 194, 276-286.
- [41] Khodabakhshian, A., Ghalehnovi, M., De Brito, J. & Shamsabadi, E.A. 2018. Durability performance of structural concrete containing strength and permeability properties of concrete, *Construction and Building Materials*, 22(8), 1675-1683.
- [21] Le, H.T. & Ludwig, H-M. 2016. Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete, *Materials & Design*, 89, 156-166.
- [22] Zhang, M-H. & Malhotra, V.M. 1996. High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material, *ACI Materials Journal*, 93, 629-636.
- [23] De Sensale, G.R. 2006. Strength development of concrete with rice-husk ash, *Cement and concrete composites*, 28(2), 158-160.
- [24] Modani, P.O. & Vyawahare, M. 2013. Utilization of bagasse ash as a partial replacement of fine aggregate in concrete, *Procedia Engineering*, 51, 25-29.
- [25] Ameri, F., Ahmadi, M., Shiran, S. & Dorostkar, F. 2016. Evaluation of the effect of sugarcane bagasse ash as a cement replacement on the properties of its fresh and hardened self-compacting middleweight concrete containing micro silica, in: *2nd. International Conference on New Research Findings of Science, Engineering and Technology*, Istanbul, Turkey, (In Persian).
- [26] Payá, J., Monzó, J., Borrachero, M.V., Díaz-Pinzón, L. & Ordonez, L.M. 2002. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): studies on its properties for reusing in concrete production, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology: International Research in Process, Environmental and Clean Technology*, 77(3), 321-325.
- [27] Sales, A. & Lima, S.A. 2010. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement, *Waste Management*, 30(6), 1114-1122.
- [28] Bahurudeen, A., Kanraj, D., Gokul Dev, V. & Santhanam, M. 2015. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete, *Cement and Concrete Composites*, 59, 77-88.
- [29] Chusilp, N., Jaturapitakkul, C. & Kiattikomol, K. 2009. Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. *Construction and Building Materials*, 23(11), 3352-3358.
- [30] Rukzon, S. & Chindaprasirt, P. 2012. Utilization of bagasse ash in high-strength concrete. *Materials & Design*, 34, 45-50.

Investigation the durability of concrete made from ash bagasse pozzolan against sulfate attack, in: *10th International Congress on Civil Engineering*, Tabriz, Iran, (In Persian).

- silica fume and marble industry waste powder, *J. Clean. Prod.*, 170, 42-60.
- [42] Ramezaniapour, A., Pourbeik, P. & Moodi, F. 2013. Sulphate Attack of Concretes Containing Rice Husk Ash, *Amirkabir Journal of Science & Research*, 45(1), 3-5 (2013).
- [43] Ramezaniapour, A., Ramezaniapour, A., Rostami, H. & KhaniOushani, M. 2015.

Synthesis of Acid Resistance Green Concrete using Agricultural Residues' Biochar

Zahra Asadi¹, Somayeh Bakhtiari^{*1}, Ali Reza Ghanizadeh¹, Hanieh Abbaslou¹, Meysam Shahrashoub¹, Reza Langarizadeh¹

- 1- M.Sc of environmental engineering, Department of civil engineering, Sirjan University of Technology, Iran.
- 2- Assistant professor, Department of civil engineering, Sirjan University of Technology, Iran, .
- 3- Associate professor, Department of civil engineering, Sirjan University of Technology, Iran,
- ۴- Associate professor, Department of civil engineering, Sirjan University of Technology, Iran,
- 5- M.Sc student of environmental engineering, Department of civil engineering, Sirjan University of Technology, Iran,
- 6- B.Sc student of civil engineering, Department of civil engineering, Sirjan University of Technology, Iran,

Abstract

Concrete is extensively used in the construction industry. To reduce the production of cement and subsequently reduce air pollution due to the release of CO_2 gas into the atmosphere and also to increase the strength of concrete, cement additives can be used. Among such materials is agricultural waste ash which has been found suitable to partially replace Portland cement in concrete production and can contribute to a decline of the environmental impact of cement production. One of the additives that can be used in concrete is biochar from agricultural waste during the pyrolysis process. Pyrolysis is the process in which wastes are decomposed in the absence of oxygen and at high temperatures. Agricultural wastes are pyrolyzed before being added to concrete. It produces biofuels that can replace fossil fuels, and pyrolysis residues can be used as cement additive in concrete for the synthesis of green concrete. In this study, the possibility of using biochar of rice husk and sugarcane bagasse treated with hydrochloric acid as an additive to replace cement at the values of 0, 5, and 10% was investigated. Sulfuric acid with pH =1 was used to simulate the acidic wastewater environment. In order to evaluate the effects of the acidic environment on the properties of concrete samples, weight loss, compressive strength and, tensile strength of the samples were measured and, SEM and EDS instrumental analyzes were performed on the samples immersed in acid after 28 days. The results showed that pretreatment of rice husk and sugarcane bagasse with dilute hydrochloric acid could improve the pozzolanic properties of the samples by reducing the amount of potassium and calcium in the composition. Also, pretreatment can increase the amorphous silica content, as a result of the removal of cations such as calcium, magnesium, and potassium from the biomass. The results of compressive strength showed an increase in compressive strength of samples containing 5% of treated rice husk biochar and sugarcane bagasse biochar by 35.9% and 54%, respectively, compared to non-pozzolan sample (control). The changes in the tensile strength of the samples containing pozzolan compared to the control sample were not significant, compared to the compressive strength. The weight and compressive strength of concrete samples decreased in the vicinity of sulfuric acid. The weight loss of all samples was less than the control, but the comparison of the compressive strength of the samples containing pozzolan with the control showed that only the compressive strength of the concrete sample containing 5% biochar of treated rice husk was higher than that of control by 16%. Tensile strength of concrete samples containing 5% biochar of treated rice husk and treated bagasse increased by 12% and 13%, respectively, compared to the control. In general, the results showed the positive effect of biochar pozzolan on the mechanical properties such as compressive and tensile strengths of concrete. Positive effect of biochars on concrete samples strength is probable due to their high specific surface area and amorphous silica levels. Finally, the results indicated that biochar may be an appropriate candidate for the production of green concrete.

Keywords: Biochar, Agricultural waste, Green concrete, Sulfuric acid, Pretreatment.