

استفاده از باطله‌های کارخانه زغالشویی زرنند در تولید پوکه صنعتی

عبدالرضا ایرج منصوری^{۱*}، مجید طهمورسی^۱، عبدالهادی ابراهیمی^۲

۱- استادیار، پژوهشکده مهندسی مواد و متالورژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان
۲- دکترای مهندسی شیمی، کارخانه پلی اتیلن کرمان

(دریافت ۱۳۹۷/۰۵/۲۲، پذیرش ۱۳۹۷/۰۹/۲۵)

چکیده

برای تولید پوکه‌های صنعتی از خاک‌های رس مختلفی به عنوان ماده اولیه استفاده می‌شود. برخی از پسماندها و باطله‌ها را می‌توان به عنوان ماده افزودنی به مواد اولیه پوکه صنعتی اضافه کرد. در این مطالعه برای تولید پوکه صنعتی، باطله کارخانه زغالشویی زرنند به عنوان ماده افزودنی با درصدهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ در دمای ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و مدت ۵ دقیقه به مواد اولیه کارخانه تولید پوکه عمران پارس سیرجان اضافه شد و برای بررسی خواص نمونه‌های پوکه تولیدشده مقادیر دانسیته، مقاومت فشاری و درصد جذب آب آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای مطالعه بیشتر، تصاویر سطوح بعضی از نمونه‌های تولیدی با میکروسکوپ الکترونی (FE-SEM) تهیه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که مقدار مناسب اضافه کردن باطله زغال ۳ درصد است و در این مقدار با دماهای مختلف (بین ۱۱۱۰ تا ۱۱۶۰ درجه سانتی‌گراد) پخت پوکه انجام شد و دمای مناسب ۱۱۴۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. در این دما و درصد، پوکه حاصل دارای کمترین دانسیته به مقدار 265 Kg/m^3 و بیشترین درصد جذب آب به مقدار ۱۵/۲ درصد وزنی، با مقاومت فشاری 0.8 MPa بود.

کلمات کلیدی

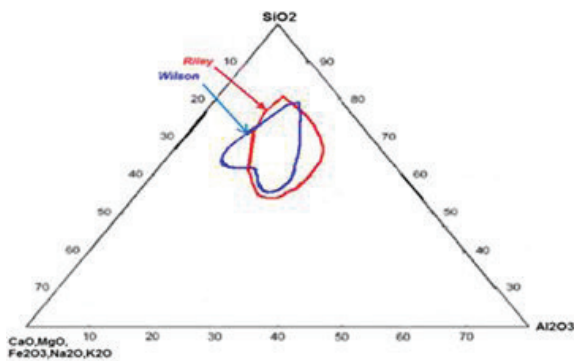
باطله‌های کارخانه زغالشویی زرنند، پوکه صنعتی، دانسیته، درصد جذب آب، مقاومت فشاری.

۱- مقدمه

پوکه‌های صنعتی، دانسیته کم، عایق حرارتی، عایق صوت، مقاومت در برابر یخ‌زدگی، تراکم‌ناپذیری تحت فشار ثابت و دایمی، دوام، مقاومت در برابر آتش و جذب آب است. از پوکه یاد شده در پر کردن فضاهای خالی، زیرسازی ساختمان، تسطیح و شیب‌بندی بام، راه‌سازی، کشاورزی و بسیاری از موارد دیگر استفاده می‌شود [۶]. در ایران در کارخانه‌های لیکا در ساوه و عمران پارس در سیرجان پوکه صنعتی تولید می‌شود.

محققان زیادی در رابطه با متورم شدن رس و علل انبساط آن‌ها تئوری‌هایی را بیان کرده‌اند از جمله ویلسون^۱ در سال ۱۹۴۸ [۷] و رایلی^۲ در سال ۱۹۵۱ [۸] بیان کردند که ماده اولیه پوکه باید دارای دو شرط اساسی به شرح زیر باشد.

- ماده مورد نظر باید دارای ترکیبی با توازن مناسب بین سیلیکا، آلومینا و دیگر اکسیدهای فرعی مانند اکسیدهای سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن باشد تا بتواند یک ماده مذاب با ویسکوزیته به اندازه کافی بالا برای به دام انداختن گازهای تولید شده به وجود آورد و در راستای این شرط محدوده مناسبی درون دیاگرام فازی (شکل ۱) مشخص کردند. - ماده اولیه باید شامل اجزایی باشد که خودشان به تنهایی و یا بر اثر واکنش دادن با دیگر اجزا تولید گاز کنند.



شکل ۱: دیاگرام فازی رس‌ها، نشان‌دهنده ناحیه مناسب برای تشکیل پوکه

مسایل زیست‌محیطی ناشی از استخراج مواد رسی و همچنین وجود باطله‌های تولید شده با ترکیبات مشابه مواد اولیه پوکه باعث شد که تحقیقات متعددی بر روی استفاده از ضایعات در تولید پوکه صنعتی انجام شود از جمله گروهی از محققین تحقیقات خود را بر روی خواص و ریزساختار پوکه‌های تولیدی از سینتر خاکستر لجن فاضلاب به علاوه

باطله‌های کارخانه‌های زغالشویی در نتیجه فرآیندهای شستشو، تغلیظ و به طور کلی فرآوری زغال سنگ معادن به وجود می‌آیند. از آنجا که زغال سنگ مورد استفاده در تولید انرژی و همچنین تولید کک متالورژی باید مواد معدنی و ناخالصی‌های کمی داشته باشد، پس از استخراج تحت عملیات و فرآیندهای مختلفی قرار می‌گیرد. از مهم‌ترین ناخالصی‌های زغال سنگ، اکسیدهای معدنی (عمدتا اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیم، آهن، کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم) است که پس از سوختن کامل زغال سنگ باقی می‌مانند و در اصطلاح خاکستر نامیده می‌شوند. تاسیسات کارخانه زغالشویی زرد برای آماده‌سازی، کاهش خاکستر زغال و شستشوی زغال‌های خام استخراجی معادن اطراف زرد در سال ۱۳۵۷ احداث شد و آغاز به کار کرد. به طور کلی محصولات کارخانه زغالشویی زرد شامل: کنسانتره یا زغال با خاکستر کم (۱۲ تا ۱۳ درصد خاکستر)، زغال میانی (۲۵ تا ۳۰ درصد خاکستر) و باطله (۷۰ تا ۷۵ درصد خاکستر) است. کنسانتره به کارخانه ذوب آهن اصفهان حمل می‌شود، زغال میانی به مصارف سوخت و تولید انرژی می‌رسد و باطله‌ها در محلی نزدیک کارخانه انباشته می‌شوند. با توجه به مقدار زیاد باطله‌های کارخانه زغالشویی زرد که در حال حاضر حدود پانزده میلیون تن است و روزانه حدود هزار تن به آن اضافه می‌شود و با عنایت به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از انباشته شدن این باطله‌ها در محلی نزدیک کارخانه، یافتن راهی برای تبدیل این حجم عظیم باطله به محصولات مفید ضروری به نظر می‌رسد [۳-۱].

پوکه‌های صنعتی ذرات رس منبسط شده و متخلخلی‌اند که معمولا در اثر حرارت بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به چند روش تولید می‌شوند که روش معمول تولید آن‌ها حرارت دادن و انبساط خاک رس است. رس‌ها در اثر حرارت دیدن در دماهای بالای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به صورت خمیری در می‌آیند و گازهای تولید شده در داخل آن‌ها باعث تشکیل هزاران سلول ریز در آن‌ها می‌شود و با سرد شدن مصالح، این سلول‌ها باقی می‌مانند و سطح آن‌ها سخت می‌شود که این بافت متخلخل در مرحله سرد شدن حفظ می‌شود به طوری که دانسیته جسم منبسط‌شده کمتر از مقدار آن قبل از حرارت دیدن می‌شود [۴]. در مواد اولیه پوکه باید به میزان ۱ تا ۲ درصد مواد سوختی برای کمک به تولید گاز وجود داشته باشد که اگر نباشد باید به آن اضافه شود [۵]. مهم‌ترین ویژگی‌های

مواد رسی انجام دادند.

جمعی از محققین نیز خواص پوک‌های تولید شده از یک نوع خاک رس به همراه افزودنی‌هایی مانند شیشه باطله، خاک معدنی سیلیس و ماسه بادی در محدوده دمایی ۱۱۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار دادند و مشاهده کردند، شیشه باطله و خاک معدنی سیلیس با میزان ۲۰ درصد باعث بهترین بهبود خواص پوک‌های تولیدی می‌شود ولی افزایش ماسه بادی نتیجه مطلوبی در بر نداشت [۱۳].

۲- بخش تجربی

۲-۱- تجهیزات مورد استفاده

تجهیزات مورد استفاده در انجام آزمایش‌ها عبارتند از: آسیای گلوله‌ای مارک Fritsch مدل P6، خشک‌کن مارک Memmert مدل UFB 400، کوره آزمایشگاهی مارک Atbin مدل ALF18 با دمای طراحی ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و کنترل‌کننده حرارت PID، دستگاه XRD مارک Advanced Bruker 8، دستگاه XRF مارک ARL Advant X، دستگاه TG و DSC مارک Netzsch مدل STAPGLuxx 409 و دستگاه میکروسکوپ الکترونی مارک TESCAN مدل MIRAC و الکترون ۱۰۰ مش، کاردک، کولیس و ترازو

۲-۲- آماده‌سازی نمونه‌ها

۲-۱-۱- باطله زغال‌سنگ و خاکستر باطله زغال‌سنگ

تعداد ۱۰ نمونه حدود ۲ کیلوگرمی از محل‌های مختلف باطله انباشته شده در محل کارخانه زغالشویی زرنده برداشته شد و پس از آسیا شدن کاملاً مخلوط شده و پس از آن نمونه‌ای از آن‌ها برداشته شد و از الک ۴۰ مش عبور داده شد. مقداری از این باطله در بوتله پلاستیکی ریخته شده و به مدت حدود ۴ ساعت در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت حرارت داده شد و بدین ترتیب خاکستر باطله زغال نیز تهیه شد. همچنین برای تعیین فازهای موجود در باطله، از آن الگوی پراش پرتو X (XRD) نیمه کمی تهیه شد و برای بررسی رفتار حرارتی آن، آزمایش TG و DTA نیز تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد روی آن انجام شد. باطله با روش تر مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت و با توجه به نتایج به دست آمده آنالیز شیمیایی خاکستر باطله زغال‌سنگ محاسبه و محل قرارگیری آن درون دیاگرام فازی مشخص شد.

این محققان خاک رس را با درصدهای وزنی مختلف ۱ تا ۱۶ درصد به خاکستر اضافه کردند و در دماهای مختلف پخت مشاهده کردند که کمترین دانسیته مربوط به پوک‌های است که تنها با یک درصد خاک رس و مابقی خاکستر در دمای ۱۰۸۰ درجه سانتی‌گراد پخته شده است. همچنین این محققان با تحلیل داده‌های الگوی پراش پرتو X (XRD) قبل و بعد از عملیات پخت مواد به این نتیجه رسیدند که تغییر چندانی درون فازهای کریستالی اتفاق نیفتاده است [۹]. در یک تحقیق دیگر آزمایش‌هایی در رابطه با تاثیر نسبت SiO_2/Al_2O_3 بر روی تولید پوک از خاکستر لجن فاضلاب انجام و مشاهده گردید میزان سیلیکا و آلومینای خاکستر مورد استفاده پایین است، در نتیجه درون محدوده مناسب دیاگرام فازی قرار نمی‌گیرد، بنابراین پودر شیشه بازیافتی و آلومینا را در درصدهای وزنی ۱ تا ۲۰ درصد به عنوان افزودنی به خاکستر اضافه کردند و آزمایش‌های لازم را انجام دادند و مشاهده کردند که با افزودن پودر شیشه بازیافتی، فاز شیشه‌ای بیشتری در سطح تشکیل شده و گاز بیشتری به دام انداخته می‌شود و در نتیجه دانسیته به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و با افزایش آلومینا قدرت تراکم‌پذیری پوک‌ها افزایش می‌یابد اما به علت نقطه ذوب بالای آلومینا (حدود ۲۰۳۰ درجه سانتی‌گراد) دانسیته پوک‌های تولید شده در دماهای بالاتر نسبت به دماهای پایین‌تر، کمتر است [۱۰]. گروهی از محققین چینی نیز تحقیقاتی در مورد تولید پوک صنعتی از لجن فاضلاب خشک به عنوان ماده اصلی و خاکستر زغال‌سنگ به عنوان افزودنی انجام دادند، آن‌ها مشاهده کردند که مقادیر آلومینا و سیلیس در لجن فاضلاب پایین است و افزودن خاکستر زغال‌سنگ به آن می‌تواند تا حدی آن را جبران کند و در نهایت دریافتند چنانچه ۱۸ تا ۲۵ درصد خاکستر زغال‌سنگ به لجن خشک افزوده شود و مخلوط حاصل برای مدت ۲۰ دقیقه در حدود ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پخت شود پوک‌های با خواص مناسب به دست می‌آید [۱۱].

گروه دیگری از محققین خواص و ریزساختار پوک‌های صنعتی تولیدشده از خاکستر زغال‌سنگ به همراه شیشه باطله را مورد بررسی قرار دادند و برای این کار با توجه به آنالیز شیمیایی خاکستر مورد استفاده، شیشه‌های باطله را در مقادیر ۱ تا ۴۰ درصد به آن اضافه کردند و توانستند پوک‌هایی با خواص بهتر نسبت به نوع تجاری آن تولید کنند [۱۲].

۲-۲-۲- خاک مورد استفاده

خاک یاد شده از معادن نزدیک به شهر سیرجان استخراج شد و در آزمایشگاه‌های کارخانه عمران پارس مورد بررسی قرار گرفت. از جمله برای تعیین فازهای کریستالی و اجزای شیمیایی موجود در خاک تست‌های XRD و XRF بر روی آن انجام شد. همچنین رفتار گرمایی خاک یاد شده به وسیله آزمایش‌های TG و DSC مورد مطالعه قرار گرفت و با توجه به مشخصات شیمیایی خاک، محل قرارگیری آن درون دیاگرام فازی نیز مشخص شد [۱۳].

۲-۳- روش آزمایش

۲-۳-۱- روش تهیه پوکه در آزمایشگاه

خاک و افزودنی لازم با توجه به آزمایش مورد نظر در نسبت‌های وزنی متفاوت با هم مخلوط شدند، به مخلوط حاصل به اندازه کافی آب اضافه شده و با کاردک مجدد با هم مخلوط شد (میزان آب اضافه شده باید آنقدر باشد که خاک به حد خمیری خود برسد). پس از اختلاط کامل مواد اولیه و به دست آمدن خمیری یکنواخت گرانول‌هایی با قطر متوسط ۱۵ میلی‌متر به وسیله دست ساخته شد و به مدت ۱۲ ساعت درون خشک‌کن با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از آن نمونه‌ها با مدت زمان مورد نظر درون کوره با دمای تنظیم شده برای عملیات پخت قرار داده شدند. پس از پخت نمونه‌ها و سرد شدن تا دمای محیط، مقادیر پارامترهای مورد نظر از جمله دانسیته، درصد جذب آب و مقاومت فشاری آن‌ها طبق روش‌های مربوط اندازه‌گیری شده شد. مقادیر گزارش شده برای پارامترهای اندازه‌گیری شده متوسطی از ۴ نمونه است.

۲-۳-۲- روش محاسبه دانسیته، درصد جذب آب و مقاومت فشاری

ابتدا با کولیس ۳ وجه پوکه اندازه‌گیری شد و حجم تقریبی آن به دست آمد. با تقسیم کردن وزن پوکه که به وسیله ترازو اندازه‌گیری شده به حجم پوکه، دانسیته تقریبی آن برای مقایسه خواص نمونه‌های مختلف محاسبه شد.

و درصد جذب آب پوکه بر طبق استاندارد ASTM C127 محاسبه شد [۱۴]. مقاومت فشاری پوکه بر طبق استاندارد BS 882 1992 اندازه‌گیری شد [۱۵].

۲-۴- آزمایش‌های انجام شده

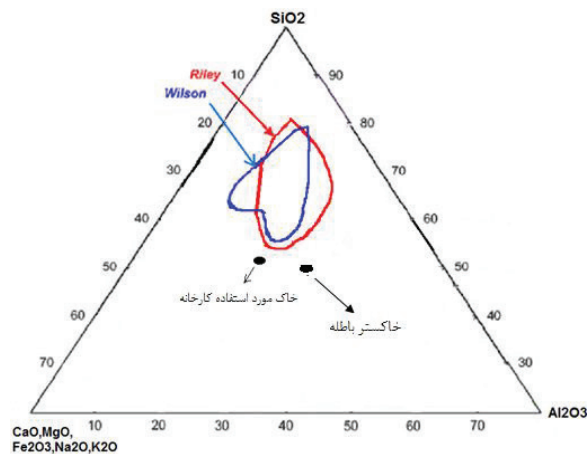
برای بررسی اولیه استفاده از باطله زغال‌سنگ در تولید پوکه، نمونه‌هایی که با مقادیر مختلف باطله زغال، به خاک اصلی اضافه شده بود تولید و سپس دانسیته تقریبی آن‌ها اندازه‌گیری شد. از آنجا که تولید پوکه آزمایشگاهی در کارخانه عمران پارس سیرجان در درجه حرارت ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۵ دقیقه انجام می‌شود تمام آزمایش‌های این مرحله در شرایط فوق انجام شد. در آزمایش‌های اولیه مشخص شد که بهترین زمان پخت پوکه در آزمایشگاه ۵ دقیقه است چون در زمان‌های بیشتر پوکه حالت ذوب شده و بی‌شکل به خود می‌گیرد و در زمان‌های کمتر پوکه تولیدی به طور کامل منبسط نمی‌شود، بنابراین بعد از این تمام آزمایش‌ها در زمان ۵ دقیقه انجام شد.

در یک سری آزمایش مقادیر ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد از باطله به خاک اصلی اضافه شد و بدون اضافه کردن مازوت، مواد مربوط به هر کدام از درصد‌های یاد شده در دمای ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۵ دقیقه پخته شدند. دانسیته تقریبی پوکه‌های تولید شده، درصد جذب آب و مقاومت فشاری آن‌ها اندازه‌گیری شد. در کارخانه‌های تولید پوکه حدود ۱ تا ۲ درصد مازوت برای تامین گاز به منظور متورم شدن پوکه تولیدی به مواد اولیه اضافه می‌شود چون در آزمایش‌های انجام شده از لحاظ دانسیته، درصد جذب آب و مقاومت فشاری پوکه‌های تولید شده با ۵ درصد باطله زغال‌سنگ بهترین نتیجه را داشت، بنابراین آزمایش‌های تکمیلی با ۲، ۳، ۴، ۶ و ۸ درصد باطله زغال‌سنگ نیز انجام شد.

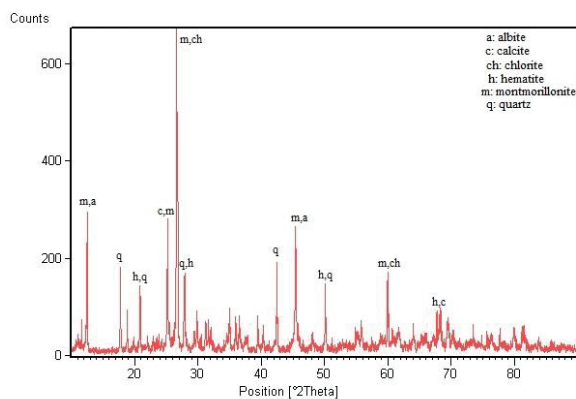
نتایج آزمایش‌های فوق نشان داد که محدوده کمترین دانسیته تقریبی پوکه‌ها مربوط به آن‌هایی است که به مواد اولیه آن‌ها ۲ تا ۴ درصد باطله زغال اضافه شده است و مشخصاً پوکه با ۳ درصد زغال کمترین دانسیته تقریبی را دارد. برای بررسی بیشتر در یک سری آزمایش ۶ تایی مواد اولیه‌ای شامل ۳ درصد باطله زغال و ۹۷ درصد خاک اصلی تهیه شده و بدون اضافه کردن مازوت پوکه‌هایی در درجه حرارت‌های ۱۱۱۰، ۱۱۲۰، ۱۱۳۰، ۱۱۴۰، ۱۱۵۰ و ۱۱۶۰ درجه سانتی‌گراد تولید شد. دانسیته تقریبی، درصد جذب آب و مقاومت فشاری آن‌ها اندازه‌گیری شد و وضعیت ظاهری آن‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۵- بررسی سطوح داخلی پوکه‌ها با میکروسکوپ الکترونی

از میکروسکوپ الکترونی (FE-SEM) برای بررسی سطوح



شکل ۲: محل قرار گیری خاک اصلی [۱۳] و خاکستر باطله درون دیاگرام فازی



شکل ۳: الگوی پراش پرتو X خاک اصلی [۱۳]

گاز به واسطه تجزیه حرارتی بعضی از کانی‌ها است که در این محدوده دمایی ۸ درصد کاهش وزن بر اساس منحنی TG دیده می‌شود [۱۳].

بررسی آنالیز حرارتی نمونه باطله زغال سنگ نشان دهنده کاهش وزن نمونه به میزان تقریبی ۳۳ درصد در محدوده

داخلی، میزان و اندازه خلل و فرج نمونه‌های تولید شده با درصد‌های ۱، ۲، ۳ و ۵ از باطله زغال و در درجه حرارت‌های ۱۱۴۰ و ۱۱۵۰ استفاده شد و تصاویر به دست آمده مورد مطالعه قرار گرفت.

۳- نتیجه‌ها و بحث

۳-۱- مواد اولیه

آنالیز شیمیایی خاک اصلی، باطله زغالسنگ و خاکستر باطله زغال در جدول ۱ آورده شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌شود درصد SiO_2 در خاک اصلی نزدیک به مقدار آن در خاکستر باطله است ولی درصد Al_2O_3 در خاکستر باطله تقریباً دو برابر مقدار آن در خاک اصلی است. محل قرارگیری نقاط مربوط به خاک اصلی و خاکستر باطله درون دیاگرام فازی در شکل ۲ آورده شده است. چون باطله زغال دارای حدود ۳۶ درصد کربن و مواد فرار (L.O.I) است، از مشخص کردن محل قرارگیری آن درون دیاگرام فازی خودداری شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود نقاط مربوط به خاک اصلی و خاکستر باطله تقریباً به هم نزدیک است و هیچ کدام در منطقه مناسب قرار نگرفته‌اند. البته نقطه مربوط به خاک اصلی نسبت به نقطه مربوط به خاکستر زغال نزدیک‌تر به منطقه مناسب است. بر اساس الگوی پراش پرتو X (XRD) خاک اصلی کانی‌های آل‌بیت، کلسیت، کلریت، هماتیت، مونت موریلونیت و کوآرتز در آن تشخیص داده شدند (شکل ۳). در بین این کانی‌ها کلریت و کلسیت در دمای بالا تولید گاز می‌کنند [۱۳] که برای ایجاد خلل و فرج در پوک مناسب است. نتایج آنالیز TG و DSC خاک اصلی در شکل ۴ آورده شده است. در این شکل پیک‌های گرماگیر در محدوده دمایی ۹۲ تا ۱۲۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به فرآیند استخراج آب جذب شده است و تاثیر گرمایی در محدوده دمایی ۵۱۴ تا ۶۷۵ درجه سانتی‌گراد مربوط به تبخیر آب ملکولی و تولید

جدول ۱: نتایج XRF خاک اصلی [۱۳]، آنالیز شیمیایی خاکستر باطله زغال و مشخصات شیمیایی محاسبه شده باطله زغال

نوع	نمونه	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	%SO ₃	%K ₂ O	%Na ₂ O	L.O.I
خاک اصلی	۴۵٫۴۵	۱۴٫۶۱	۷٫۴۴	۸٫۲۶	۵٫۱۰	۰٫۶۱	۳٫۱۰	۱٫۱۱	۱۳٫۳۱	
باطله زغال	۳۳٫۲۱	۱۶٫۵۳	۵٫۲۲	۳٫۴۰	۱٫۲۵	۰٫۰۹	۲٫۶۲	۰٫۵۲	۳۶٫۶	
خاکستر زغال	۵۲٫۳۸	۲۶٫۰۸	۸٫۲۴	۵٫۳۶	۱٫۹۷	۰٫۱۴	۴٫۳۶	۰٫۸۰	-	

وجود دارند، می‌توانند در دمای بالا تولید گاز کنند.

۳-۲- تحلیل نتایج آزمایش‌ها

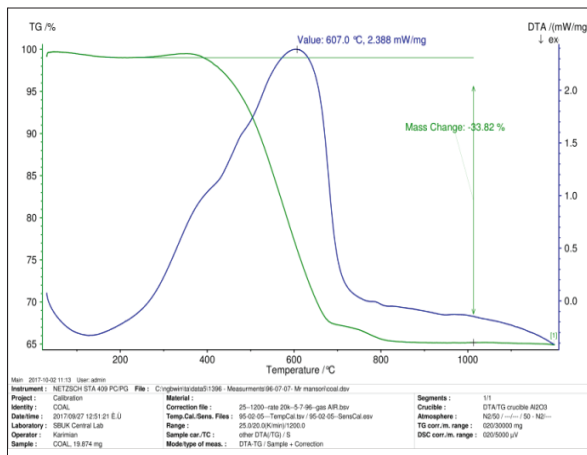
در تولید پوکه، مواد اولیه باید دارای ۲ شرط اساسی زیر را باشند:

- دارای کانی‌ها و مواد آلی باشند که در درجه حرارت مورد نظر تولید گاز کنند.

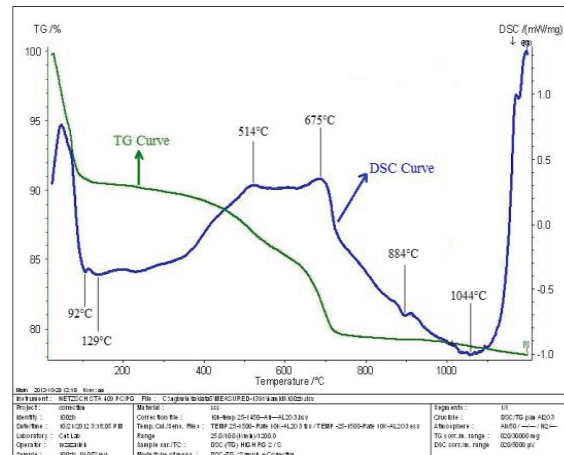
- در شرایطی که گاز تولید می‌شود مواد اولیه به صورت

دمایی ۳۵۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۵). این کاهش وزن به دلیل سوختن زغال همراه باطله و تولید گاز به وسیله برخی از کانی‌ها مانند گیپسیت و دولومیت در این محدوده دمایی است.

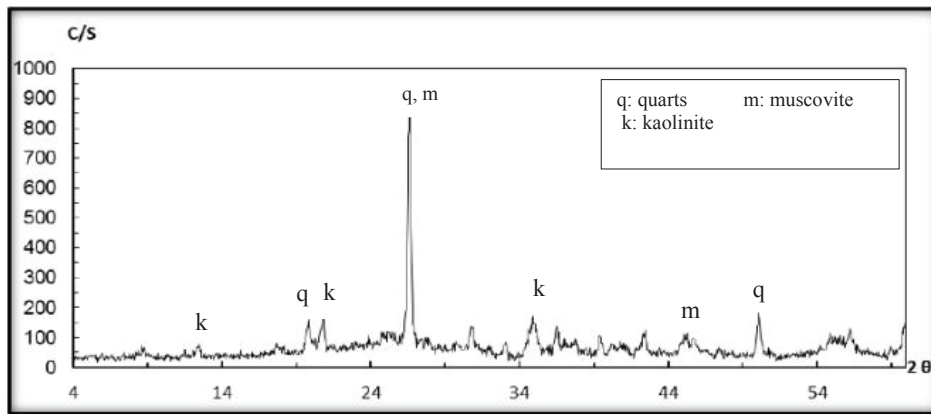
الگوی پراش اشعه X باطله زغال‌سنگ و بررسی نیمه کمی (درصد کانی‌های موجود) آن در شکل ۶ نشان داده شده است که نشان می‌دهد مواد آلی و فرار (آمورف) و همچنین کانی‌هایی مانند دولومیت و گیپسیت که در باطله زغال‌سنگ



شکل ۵: نمودار آزمون TG و DTA باطله زغال



شکل ۴: نمودار آزمون TG و DSC خاک اصلی [۱۳]



Sample:	Phase(s)	Phase(s)
بطله ذغالسنگ	Quartz (33-1161) = 29%	Kaolinite (29-1488) = 5%
Az: 50680	SiO2	Al2Si2O5(OH)4
Date : 26/4/2016	Amorphouse = 30%	Gypsum (33-0311) = 1%
kV = 40	Muscovite - illite (26-0911) = 24%	CaSO4, 2H2O
mA = 30	KA12Si3AlO10(OH)2	Orthoclase (31-0966) = 2%
Ka. = Cu	Pyrite (06-0710) = 4%	KAISi3O8
Fil. = Ni	FeS2	Dolomite (36-0426) = 3%
		CaMg(CO3)2

شکل ۶: الگوی پراش پرتو X باطله زغال

مذابی با ویسکوزیته مناسب برای به دام انداختن گازها درآمده باشند.

در فرآیند تولید پوکه مواد اولیه با سرعت نسبتاً زیادی گرم می‌شوند و این سرعت زیاد باعث می‌شود، بعضی از گازهای به وجود آمده فرصت خارج شدن نداشته باشند و مقداری از آن‌ها در شرایطی که مواد اولیه به صورت مذاب درآمده حبس شده و باعث تخلخل و در نتیجه کاهش دانسیته پوکه بعد از سرد شدن شوند. باید توجه داشت که معمولاً ۱ تا ۲ درصد مازوت برای افزایش تولید گاز به مواد اولیه پوکه اضافه می‌شود [۵]. باطله زغال سنگ به دلیل داشتن کربن و ترکیب‌های مختلف آلی مانند اسیدهای کربوکسیلیک (که علاوه بر کربن شامل هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد است) در دمای بالا تولید گاز می‌کنند [۱۶] و کانی‌هایی مانند گیبسیت و دولومیت نیز در دمای بالا تولید گاز می‌کنند که در محدوده دمایی ۳۵۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش وزن می‌شوند (شکل ۵).

در فرآیند تولید پوکه به دلیل افزایش سریع دما قسمتی از گازهای تولیدشده فرصت خارج شدن پیدا نمی‌کنند و در درون مذاب محبوس شده و باعث ایجاد خلل و فرج و کاهش دانسیته پوکه تولیدی می‌شوند.

مقادیر دانسیته، درصد جذب آب و مقاومت فشاری پوکه‌های تولید شده از درصد‌های مختلف خاک اصلی و باطله زغال در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به این جدول پوکه‌های تولید شده تا مقدار ۵ درصد از لحاظ فاکتورهای یاد شده مناسب است و نمونه‌ای که دارای ۳ درصد باطله است، مناسب‌ترین نمونه در شرایط آزمایش است. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهد که اضافه کردن باطله زغال به مواد اولیه پوکه تا ۵ درصد باعث کاهش دانسیته و بیش از ۵ درصد باعث اضافه شدن دانسیته می‌شود که می‌تواند به علت تاثیر بیشتر مواد آلی و فرار موجود باطله تا ۵ درصد باشد که با زیاد شدن میزان آن، گازهای تولیدی و در نتیجه خلل و فرج افزایش می‌یابد و

دانسیته کاهش پیدا می‌کند و در زمانی که میزان باطله اضافه شده از ۵ درصد بیشتر می‌شود، نقش مشخصات شیمیایی و کانی‌شناسی باطله که آلومینای بیشتری نسبت به خاک اصلی دارد، غالب شده و موجب نرسیدن به حالت مناسب ذوب (ذوب با گرانی مناسب) و افزایش دانسیته می‌شود. همچنین نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که درصد جذب آب پوکه‌ها تقریباً با عکس میزان دانسیته آن‌ها تغییر می‌کند زیرا جذب آب پوکه به مقدار خلل و فرج آن و میزان ارتباط این خلل و فرج با سطح پوکه بستگی دارد. در مورد مقاومت فشاری پوکه‌های تولید شده مندرج در جدول ۲ تغییرات این فاکتور نیز تقریباً نسبت عکس با دانسیته دارد که قابل انتظار است. مقاومت فشاری بستگی به دانسیته، میزان خلل و فرج، شکل و تقارن آن‌ها دارد. هر چه مقدار خلل و فرج کمتر باشد و همچنین شکل این خلل و فرج کروی و متقارن‌تر باشد مقاومت فشاری بیشتر است و عکس این موضوع نیز صادق است و نتایج جدول ۲ نیز این مطلب را تایید می‌کند. با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی دانسیته، جذب آب و مقاومت فشاری پوکه‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در مقدار ۳ درصد باطله میزان گازهای تولید شده و کیفیت حالت ذوب در فرآیند تولید پوکه بهینه است. بعد از این که مشخص شد میزان بهینه اضافه کردن باطله به مواد اولیه پوکه ۳ درصد است، آزمایش‌هایی با اضافه کردن همین مقدار باطله و درجه حرارت‌های مختلف انجام شد و دانسیته، جذب آب و مقاومت فشاری آن‌ها تعیین و در جدول ۳ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که در درجه حرارت ۱۱۱۰ درجه سانتی‌گراد مواد اولیه پوکه، منبسط نشده و خلل و فرج زیادی به وجود نیامده است و در درجه حرارت ۱۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نیز ذوب شده و خلل و فرج به هم پیوسته‌اند. با توجه به نتایج جدول ۳ به نظر می‌رسد دمای بهینه پخت پوکه با ۳ درصد باطله بین ۱۱۴۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد. اهمیت هر یک از فاکتورهای دانسیته، درصد جذب آب و مقاومت فشاری بسته به کاربرد پوکه

جدول ۲: مقادیر دانسیته تقریبی، درصد جذب آب و مقاومت فشاری پوکه‌های تولیدشده از درصد‌های مختلف خاک اصلی و باطله زغال (دمای پخت: ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد، زمان پخت: ۵ دقیقه)

درصد افزایش باطله به خاک اصلی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱۰	۱۵	۲۰
دانسیته (kg/m^3)	۲۹۱	۲۸۰	۲۶۵	۲۸۶	۳۰۳	۳۴۱	۳۷۶	۴۰۳	۴۴۵	۵۱۷	۵۸۷
جذب آب (درصد)	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۵/۲	۱۴/۷	۱۴/۳	۱۲/۷	۱۲/۰	۱۱/۱	۹/۸	۷/۳	۳/۴
مقاومت فشاری (MPa)	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۱/۰۰	۱/۱۰	۱/۱۰	۱/۱۵	۱/۲۰	۱/۳۰

بین آن‌ها برقرار باشد. برای بررسی بیشتر، سطوح داخلی و خلل و فرج پوک‌های تولیدی با میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. شرایط تولید و مشخصات پوک‌های مورد بررسی در جدول ۴ و همچنین تصاویر سطوح داخلی آن‌ها در شکل ۷ آورده

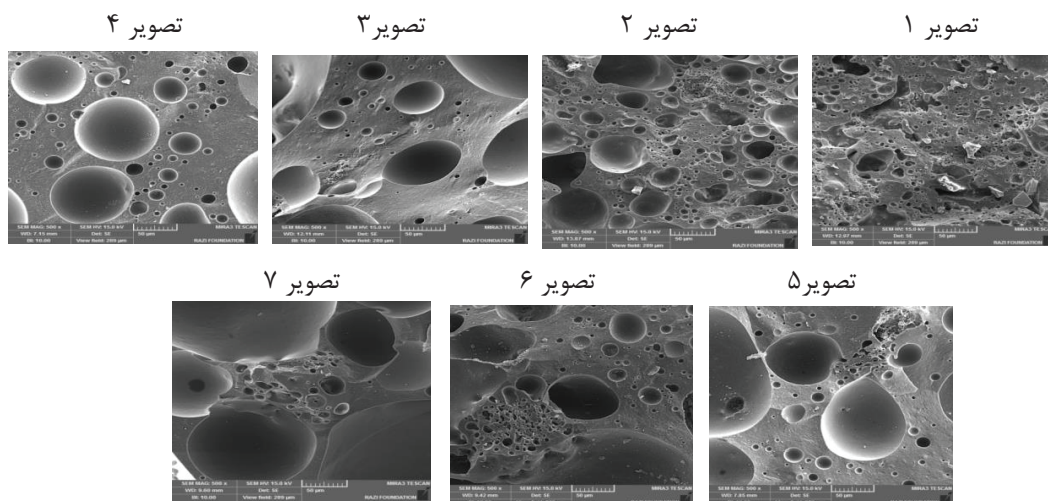
در موارد مختلف فرق می‌کند. اگر در بتن مورد استفاده قرار گیرد مقاومت فشاری اهمیت پیدا می‌کند، چنانچه در شیب‌بندی و سایر سطوح سبک به کار رود دانسیته و اگر در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد درصد جذب آب مهم است ولی در هر حال تمام فاکتورهای فوق در کیفیت پوک نقش دارند و باید توازنی

جدول ۳: مقادیر دانسیته، درصد جذب آب، مقاومت فشاری و وضعیت ظاهری پوک‌های تولیدشده با ۳ درصد باطله زغال در درجه حرارت ۱۱۱۰ تا ۱۱۶۰ درجه سانتی‌گراد (مدت‌زمان پخت: ۵ دقیقه)

درجه حرارت پخت (°C)	۱۱۱۰	۱۱۲۰	۱۱۳۰	۱۱۴۰	۱۱۵۰	۱۱۶۰
دانسیته (kg/m^3)	-	۳۴۶	۲۹۸	۲۶۵	۲۶۳	-
درصد جذب آب	-	۷٫۴	۱۰٫۲	۱۵٫۵	۱۵٫۵	-
مقاومت فشاری (MPa)	-	۱	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۸	-
وضعیت ظاهری	منبسط نشده	انبساط نسبی	سطح منسجم و پیوسته	سطح منسجم و پیوسته	سطح منسجم و پیوسته	ذوب‌شده

جدول ۴: مقادیر دانسیته درصد جذب آب، مقاومت فشاری، وضعیت ظاهری و شرایط تولید پوک‌هایی که تصاویر میکروسکوپ الکترونی آن‌ها گرفته شده است

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
درصد باطله زغال اضافه‌شده به مواد اولیه پوک	۱	۱	۲	۳	۳	۵	۵
درجه حرارت پخت (°C)	۱۱۴۰	۱۱۵۰	۱۱۴۰	۱۱۴۰	۱۱۵۰	۱۱۴۰	۱۱۵۰
دانسیته (kg/m^3)	۲۹۱	۲۸۰	۲۸۰	۲۶۵	۲۶۳	۳۰۳	۱۹۰
مقاومت فشاری (MPa)	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۸	۰٫۸	۰٫۹	-
وضعیت ظاهری	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	ذوب‌شده	تقریباً بادکنکی



شکل ۷: تصاویر مربوط به سطوح داخلی پوک‌های ساخته‌شده تحت شرایط مندرج در جدول ۴

۶- مراجع

- [1] Mansouri, A. I., Tahmooresi, M., and Moghtader, M. (2009). "Alumina extraction from coal waste ash of zarand coal washing plant". Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering, 28(1): 131-138.
- [2] Mansouri, A. I., Tahmooresi, M., and Sarrafi, A. (2011). "Optimization of leaching and desilication stages in alumina extraction from Zarand coal washing plant wastes". Journal of Separation Science and Engineering, 2(2): 131-141.
- [3] Mansouri, A. I., khezripour, S., Tahmooresi, M., Lashkari, B., and Golzary, M. R. (2017). "Utilization of remained mud from process of coal wastes Zarand company as an additive to cement". Concrete Research Journal, 20(2): 69-77.
- [4] Murray, H. H. (2007). "Applied Clay Mineralogy". First Edition, Elsevier, 179-180.
- [5] Waranke, W. E. (1975). "Production lightweight aggregate". United States Patent.
- [6] Kareem, S., Khafajil, T., and Abed Al-Majed, E. (2016). "Synthesis of Light expanded clay aggregates from Iraqi raw materials". International Journal of Scientific & Engineering Research, 7(4): 690-696.
- [7] Wilson, H., Conley, J. E., and Klinefelter, T. A. (1942). "Production of Lightweight Concrete Aggregates from Clays, Shales, Slates and other Materials". United States Bureau of Mines (USBM), 121: 369-377.
- [8] Riley, M. (1951). "Relation of Chemical Properties to the Bloating of Clays". Journal of The American Ceramic Society, 4: 121-128
- [9] Cheeseman, C. R., and Viridi, G. S. (2005). "Properties and Microstructure of Lightweight Aggregate Produced from Sintered Sewage Sludge Ash". Resources Conservation & Recycling, 45: 18-30.
- [10] Tsai, C. C., Wang, K. S., and Chio, L. G. (2006). "Effect of SiO₂-Al₂O₃-Flux Ratio Change on the Bloating Characteristics of Lightweight Aggregate Material Produced from Recycled Sewage Sludge". Journal of Hazardous Materials, B134: 87-93.
- [11] Xingrun, W., Yiying, J., Zhiyu, W., Yongfeng, N., Qifei, H., and Qi, W. (2009). "Development of lightweight aggregate from dry sewage sludge and coal ash". Waste Management, 29: 1330-1333.
- [12] Kourti, I., and Cheeseman, C. R. (2010). "Properties and Microstructure of Lightweight Aggregate Produced from Lignite Coal Fly Ash and Recycled Glass". Resources Conservation and Recycling, 54: 769-775.

شده است. نتایج مندرج در جدول ۴ نشان می‌دهد که کمترین دانسیته و مقاومت فشاری مربوط به پوک‌هایی با ۳ درصد باطله و درجه حرارت پخت ۱۱۵۰ و ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد است. همان طور که در شکل ۷ مشخص است پوک‌های مربوط به یک و ۲ درصد باطله زغال (تصویر ۱، ۲ و ۳) خلل و فرج زیادی ندارند و تصویر پوک‌های با ۵ درصد باطله که در ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد پخت شده‌اند (تصویر ۷) نشان‌دهنده خلل و فرج حجیم و تقریباً بی‌شکل است که موید حالت بادکنکی و دانسیته بسیار کم آن است. این پوک‌ها به علت مقاومت فشاری خیلی کم عملاً کاربردی ندارند و در جابه‌جایی شکسته و چند تکه می‌شود. تصویر پوک‌ها ۵ درصد باطله و تولید شده در درجه حرارت ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد خلل و فرج نسبتاً کمی را نشان می‌دهد به همین علت دانسیته بیشتری دارد (شکل ۶). تصاویر ۴ و ۵ مربوط به پوک‌های با ۳ درصد باطله است که به ترتیب در ۱۱۴۰ و ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد پخت شده‌اند و کمترین دانسیته را دارند. علی‌رغم دانسیته کمتر پوک‌ها پخت شده در ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد، به نظر می‌رسد پوک‌ها پخته شده در ۱۱۴۰ درجه سانتی‌گراد مرغوب‌تر است چون تصویر مربوط به آن نشان می‌دهد که این پوک‌ها خلل و فرج کروی و متقارن دارد و به طور کلی می‌توان گفت با کیفیت‌ترین پوک‌ها در شرایط ۳ درصد باطله و پخت در محدوده حرارتی ۱۱۴۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تولید می‌شوند.

۴- نتیجه‌گیری

از باطله‌های کارخانه زغالشویی زرنند می‌توان به عنوان جایگزینی برای مازوت در تولید پوک‌ها صنعتی استفاده کرده و به میزان حدود ۳ درصد به مواد اولیه پوک‌ها اضافه کرد.

۵- سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله بدین‌وسیله از مسوولان محترم پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فن‌آوری پیشرفته کرمان به واسطه حمایت مالی (قرارداد پژوهشی شماره ۱۸۹۱ مورخ ۱۳۹۲/۵/۱۳) که فراهم آوردند و همچنین از مسوولان محترم شرکت عمران پارس سیرجان که با موافقت با انجام آزمایش‌های طرح در آزمایشگاه شرکت یاد شده اجرای آن را تسهیل کردند تشکر و قدردانی می‌کنند.

[16] Aftabi, A., Shojaei, S. M., and Kazerani Nezhad, R. (2015). "Geochemical and environmental baseline of major and trace elements in Zarand coals, southeastern Iran". *Environmental Earth Sciences*, 73: 7457–7476.

[13] Hamidi-Ravari, M., Sarafi, A., Afsahi, and Ataei, M. (2013). "Studying the effect of clay compounds on production of light aggregate and preliminary simulation of the sintering kiln". Shahid Bahonar University of Kerman Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 1-76.

[14] Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

[15] Specification for aggregates from natural sources for concrete.

¹ Wilson

² Riley



DOI: 10.30479/jmre.2019.1588

Production Of Lightweight Aggregate Using Zarand Coal Processing Plant Tailings

Mansouri A.I.^{1*}, Tahmooresi M.², Ebrahimi A.³

1- Assistant Professor, Dept. of New Materials, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman

mansouri_ai@yahoo.com

2- Assistant Professor, Dept. of New Materials, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman

tahmooresim@yahoo.com

3- Kerman Polyethylene Industries, P.O. Box 76135-613, Kerman

refigha@gmail.com

(Received: 13 Aug. 2018, Accepted: 16 Dec. 2018)

Abstract: Production of lightweight aggregate is usually done by different clayey materials. Some kinds of wastes can be utilized in its production. In this research, waste materials of Zarand coal processing plant were added with the following percent 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 15 and 20 to the raw material of Omranpars lightweight aggregate production plant and burned at 1140 °C for 5 minutes. Density, compressive strength and water absorption of produced samples were analyzed. FE- SEM images of some samples were taken for further studies. Results show that the optimum percentage of Coal waste addition is 3%, which was tested between 1110 °C to 1160 °C to find the optimum burning temperature. The optimum temperature was between 1140 °C to 1150 °C. At this temperature and coal waste addition percentage density was 265kg/m³, water absorption was 15.2% and compressive strength was 0.8 MPa.

Keywords: Wastes of coal, Lightweight aggregate, Water absorption, Compressive strength.

INTRODUCTION

The waste materials of coal mining are result of washing, concentrating, and, processing of the coal. The most important coal impurities are mineral oxides (mainly oxides of silicon, aluminium, iron, calcium, magnesium, sodium and potassium), which after coal combustion remain as ash. Considering the high amount of waste from the Zarand coalmine, which is currently about 15 million tons and daily increase of about 1,000 tons. Due to environmental problems caused by the accumulation of these waste products at a local site near the factory, it is necessary to find a way to convert this massive amount of tailings into useful products. LECA are expanded and porous clay particles, which is usually produced by heat in excess of 1000 °C [1-3]. The most important characteristics of LECA are low density, thermal insulation, sound

insulation, and frost resistance, incompressibility under constant pressure, durability, fire resistance and water absorption. The previously mentioned LECA is used to fill the empty spaces, underlay the building, levelling and sliding roofs, roads, agriculture and many other things [4].

Many researchers have expressed theories in relation to clay expansion including Wilson in 1948 [5] and Riley in 1951 [6] that the core material should have two basic conditions:

1. The material should have a good balance between silica, alumina and other secondary oxides such as sodium, potassium, calcium, magnesium and iron oxides, so that a molten material with a high viscosity can trap the gases produced.

2. The primary material must include components, which are either themselves or by reaction with other components gas producers.

MATERIAL AND METHODS

The equipment used to perform the tests include: Fritsch ball mill model P6, Memmert dryer model UFB 400, Atbin lab furnace model ALF18 with design temperature of 1300 ° C and PID controller, XRD marker 8 Advanced Bruker, XRF machine ARL Advant X, TG and DSC brand Netzsch model STAPGLuxx 409, and TESCAN brand electronic microscope (SEM) MIRAC model and sieve, cardboard, caliper and scales. A total of 10 samples of about 2 kg of various waste sites accumulated at the Zarand coal mine were removed and completely mixed and then a sample of them was passed through a mesh of 40 meshes. Some of the wastes were poured into a platinum basket and heated for about 4 hours at 900 ° C to reach constant weight, and thus ash was prepared. The main constituent was the Omran pars raw material for lightweight aggregate production.

The raw material and the additives were mixed according to the test in different weight ratios, and water was added to the mixture sufficiently and again mixed with the paddle (the amount of added water should be sufficient so that the soil would be like a paste) 1 to 2% of Mazout is added to prepare the gas to expand the samples produced [7]. After complete mixing of the raw materials and obtaining a uniform paste, granules with an average diameter of 15 mm were made and placed in a dryer at a temperature of 150°C for 12 hours. Subsequently, the samples were placed in a furnace with a set temperature for bloating operation. After baking the samples were cooled.

FINDINGS AND ARGUMENT

The analytical analysis of main raw material, coal waste and coal waste ash are shown in Table 1.

Table 1. chemical analysis of main raw material, coal waste and coal waste ash

	L.O.I	%Na ₂ O	%K ₂ O	%SO ₃	%MgO	%CaO	%Fe ₂ O ₃	%Al ₂ O ₃	%SiO ₂
main raw material	13.31	1.11	3.1	0.61	5.1	8.26	7.44	14.61	45.45
coal waste	36.6	0.52	2.62	0.09	1.25	3.4	5.22	16.53	33.21
coal waste ash	-	0.8	4.36	0.14	1.97	5.36	8.24	26.08	52.38

Table 2 shows the density values, water absorption and compressive strength of the produced samples from different percentages of main raw material and coal waste. According to this table, the sample containing 3% waste is the most suitable sample in the test conditions. The results of the experiments show that the addition of coal waste ash to the raw materials of the pouch up to 3% reduces the density and more than 3% increases the density.

Water absorption of the samples inverse of their density, because its water absorption depends on the its porosity and the degree to which the porosity correlates with the surface of the sample. compressive strength of the produced samples shown in Table 2, is vice versa of the density.

After it was shown that the optimum amount of waste addition to raw material was 3%, the experiments were carried out by adding the 3% of waste with different temperatures. Table 3 shows density, water absorption and compressive strength of these samples. These results show that, at 1110°C, the core material

does not expand, and melted at a temperature of 1160 °C and the pores are interconnected. According to the results of Table 3, the optimum temperature of the LECA production with 3% of waste is between 1140 °C and 1150 °C.

Table 2. density values, water absorption and compressive strength of the produced samples at 1140 °C (Cooking Time: 5 Minutes)

Coal waste addition %	20	15	10	8	7	6	5	4	3	2	1
Density kg/m ³	587	517	445	403	376	341	303	286	265	280	291
Water absorption %	3.4	7.3	9.8	11.1	12	12.7	14.3	14.7	15.2	14.5	14.5
Compressive str. (MPa)	1.3	1.2	1.15	1.1	1.1	1	0.95	0.9	0.8	1	1

Table 3. Water Absorption, Compressive Strength and appearance of LECA with 3% Waste at 1110 °C to 1160 °C (Cooking Time: 5 Minutes)

Temperature °C	1160	1150	1140	1130	1120	1110
Density kg/m ³	-	263	265	298	346	-
Water absorption %	-	15.5	15.5	10.2	7.4	-
Compressive strength MPa	-	0.8	0.8	0.9	1	-
Appearance	melted	good	good	good	Relative Expansion	Not expanded

According to the results obtained from Density, water absorption and compressive strength of the samples can be concluded that in 3% of waste addition, the amount of gases produced and the quality of the melting surface are optimal in the production process of the LECA.

For further investigation, internal pores and surfaces of the manufactured samples were examined by SEM shown in Figure 1.

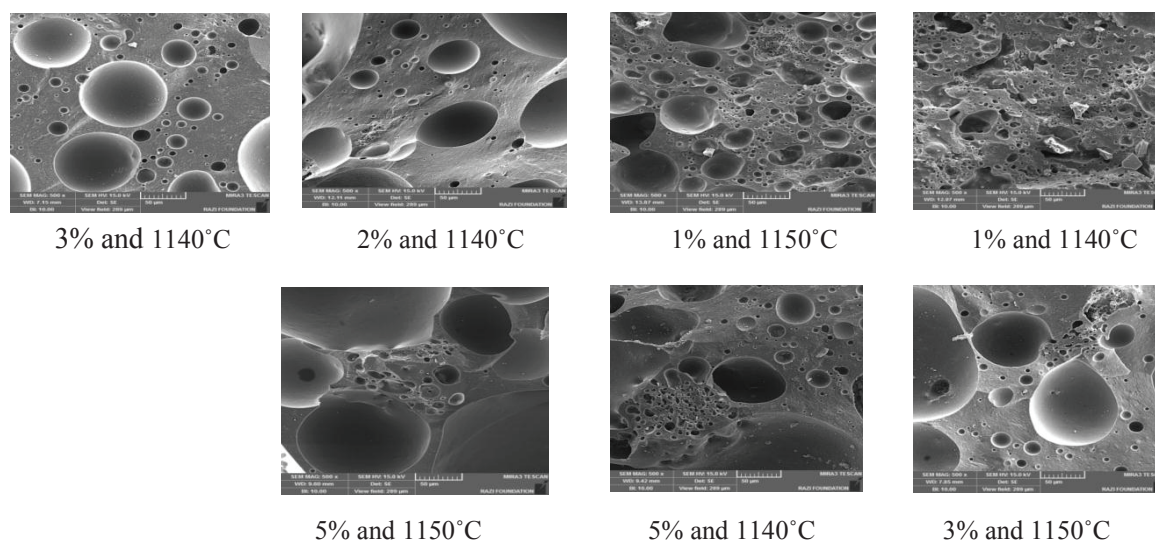


Figure 1. Pictures of the inner surfaces of the samples made under different conditions

As shown in Figure 1, samples of 1% and 2% of waste do not have a lot of pores, and a picture of the samples with 5% waste, which is expanded in 1150 °C (Figure 1), represents a large and almost bulky pores that indicates a very low density that causes very low compressive strength. This is not practical and it is broken in production. The 5% waste addition produced at a temperature of 1140 °C (Figure 1) shows a fairly small porosity, which results in higher density. 3% waste addition, which have been cooked at 1140 °C and 1150 °C, have the lowest density. Despite the lower density at 1150 °C, it seems that the pore structure is more desirable in 1140 °C because the related image shows that this sample has more spherical

and symmetrical pores and so, it can be stated that the best quality of the samples is: 3% of waste and expanding in the temperature range of 1140 °C to 1150 °C.

CONCLUSIONS

Zarand coal waste can be used as an alternative to Mazut in the production of LECA up to about 3% to the raw material.

REFERENCES

- [1] Mansouri, A. I., Tahmooresi, M., and Moghtader, M. (2009). "Alumina extraction from coal waste ash of zarand coal washing plant". Iranian Journal of Chemistry & Chemical Engineering, 28(1): 131-138.
- [2] Mansouri, A. I., Tahmooresi, M., and Sarrafi, A. (2011). "Optimization of leaching and desilication stages in alumina extraction from Zarand coal washing plant wastes". Journal of Separation Science and Engineering, 2(2): 131-141.
- [3] Mansouri, A. I., khezripour, S., Tahmooresi, M., Lashkari, B., and Golzary, M. R. (2017). "Utilization of remained mud from process of coal wastes Zarand company as an additive to cement". Concrete Research Journal, 20(2): 69-77.
- [4] Kareem, S., Khafaji, T., and Abed Al-Majed, E. (2016). "Synthesis of Light expanded clay aggregates from Iraqi raw materials". International Journal of Scientific & Engineering Research, 7(4): 690-696.
- [5] Wilson, H., Conley, J. E., and Klinefelter, T. A. (1942). "Production of Lightweight Concrete Aggregates from Clays, Shales, Slates and other Materials". United States Bureau of Mines (USBM), 121: 369-377.
- [6] Riley, M. (1951). "Relation of Chemical Properties to the Bloating of Clays". Journal of The American Ceramic Society, 4: 121-128.
- [7] Waranke, W. E. (1975). "Production lightweight aggregate". United States Patent, No 3909283, sept.30.