

کاربردهای نوین میکا و شناسایی و تعیین کاربرد باطله فلوگوپیت سنگ آهن گل گهر

حسین نورانیان^{۱*}، عباس کشاورز^۱، محمدعلی کبیری^۱

^۱پژوهشگاه مواد و انرژی، پژوهشکده سرامیک، کرج، ایران.

تاریخ ثبت اولیه: ۱۳۹۴/۶/۳، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۳۹۵/۳/۲۴، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۳۹۵/۸/۱۲

چکیده خانواده کانی‌های رسی میکا از جمله کانی‌های نسبتاً فراوان در معادن ایران به خصوص معادن سنگ آهن می‌باشد که معمولاً به صورت باطله در کنار هماتیت یافت می‌شوند. کاربردهای متعددی هم در حوزه صنایع سنتی و هم در حوزه صنایع پیشرفته برای آن یافت شده است که بستگی به خواص شیمیایی، فیزیکی و حرارتی آن دارد. بنابراین مرور نسبتاً کاملی از کاربردهای میکا در این پژوهش صورت گرفته است. با توجه به حجم بالای باطله‌های معادن گل‌گهر سیرجان، شناسایی و تعیین کاربرد آنها به جهت مصرفشان در صنایع دیگر به دو جهت حائز اهمیت است یکی جاگیر بودن این مواد و ایجاد مشکلات زیست‌محیطی و دیگری ایجاد ارزش افزوده برای آنها. در این کار پژوهشی یکی از باطله‌های این معدن با روش‌های میکروسکوپی، XRF، XRD و STA مورد شناسایی کامل قرار گرفت و خواص مهندسی آن نیز بررسی گردید. با توجه به مرور کاربردهای میکا و ویژگی‌های بررسی شده پتانسیل کاربردها برای باطله مشخص شد.

کلمات کلیدی: کانی، میکا، فلوگوپیت، بیوتیت، شناسایی، تعیین کاربرد و باطله.

New Applications of Mica Clay Minerals and Characterization Determination of GolGohar Iron Ore Mine Tailings Phlogopite

Hussein Nuranian^{۱*}, Abbas Keshavarz^۱, Mohammad Ali kabiri^۱

^۱Materials and Energy Research Center, Department of Ceramic, Karaj, Iran.

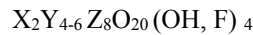
Abstract Mica clay minerals group are relatively abundant of minerals in Iran, especially iron Ore. There are usually found as the tailings on the side of hematite. Numerous applications in the area of traditional industries and the high-tech area for it has been found that, depending on the chemical, physical, and thermal properties of it. So complete overview of mica used in this research has been done.

Due to the high volume of tailings Sirjan Gol Gohar mines, Identify and determine their applicability for use in other industries is important for two reasons. First, they are widespread and cause environmental problems and second create added value for them. In this research, one of the mine tailings with microscopic techniques, XRF, XRD and STA was fully recognized and examined its engineering properties. According to the review of applications and properties mica are investigated, Potential uses for tailings found.

Keywords: mineral, Mica, Phlogopite, biotite, characterization, applications determination, tailings.

۱- مقدمه

میکا گروهی از سیلیکات‌های لایه ای (Phyllosilicate) است که شامل چند کانی با رخ کاملاً لایه ای با فرمول کلی زیر است:



که X می‌تواند یکی از عناصر Na، K یا Ca، Y می‌تواند یکی از عناصر Mg، Al یا Fe و Z می‌تواند یکی از عناصر Si یا Al باشد. از نظر ساختاری میکاها به دو دسته dioctahedral که در آن (Y=۴) و trioctahedral که (Y=۶) طبقه‌بندی می‌شوند. اگر یون X یکی از عناصر K یا Na باشد میکا، یک میکای معمولی است و اگر عنصر Ca باشد میکا را میکای ترد می‌نامند. میکاهای معمولی شامل Lepidolite، Biotite، Muscovite، Phlogopite و Zinnvaldite می‌باشد و میکای ترد شامل Clintonite است شکل (۱) [۱، ۲، ۳، ۴].

میکای فلوگوپیت و بیوتیت به دلیل رنگ تیره نسبت به میکای مسکویت در کاربردهایی که رنگ محصول نهایی مهم است کمتر کاربرد دارند ولی از آنها به عنوان فیلر و تقویت کننده خواص مکانیکی و حرارتی تا ۵۰٪ وزنی به پلیمرهای مثل پلی‌اتیلن اضافه می‌شوند و کامپوزیت‌هایی با کاربردهای مختلفی را پدید می‌آورند [۵]. میکای فلوگوپیت یک کانی پولکی است که مقاومت شیمیایی، الکتریکی و حرارتی زیادی دارد و در مقابل شعله مقاوم بوده و استحکام و تافنس بالایی دارد. همین ویژگی‌ها فلوگوپیت را برای کامپوزیت شدن با پلیمرها و شیشه‌ها کاندید می‌کند تا قطعاتی با هدایت حرارتی پایین، عایق صوت و مقاوم در برابر آتش ایجاد نماید. چنین کامپوزیت‌هایی برای خانه‌سازی ارزان بوده و در ساخت سقف خانه‌ها، کاشی‌های کف و دیوار خشک مناسب است [۶].

با اضافه کردن محلول آب اکسیژنه تا ۳۰٪ خاصیت ورقه‌ای شدن فلوگوپیت افزایش یافته و همچنین قابلیت انبساط در حین حرارت دادن در دمای °C ۱۱۰۰-۸۷۰ افزایش می‌یابد و حجم دانه‌های میکا بین ۱۲-۸ برابر می‌شود [۷].

شیشه سرامیک‌های برپایه میکای فلوگوپیت و شیشه سودالایم دارای خواص ویژه‌ای چون خواص حرارتی، الکتریکی و بایومدیکال است و به دلیل شکل پولکی فلوگوپیت و وجود آن در ریزساختار، شیشه سرامیک‌ها از

قابلیت ماشین‌کاری شونده‌گی برخوردار می‌شوند و استحکام مکانیکی و تافنس بالایی نیز دارند [۸].

اخیراً رنگدانه‌های برپایه کانی‌های پولکی میکا، کاربرد زیادی پیدا کرده‌اند چون میکا پایداری شیمیایی فوق‌العاده دارد، غیرسمی، غیراشتعال‌پذیر، عایق حرارت و تلالو مرواریدی دارد که معمولاً یک لایه TiO_2 روی آن می‌نشانند و اکسیدهای رنگی بعد از آن روی TiO_2 پوشش داده می‌شود که این نوع رنگدانه‌ها در فیلترهای نوری، لوازم آرایشی، در تولید پلاستیک، جوهر و انواع رنگ به کار می‌روند [۹].

در صنعت ساخت مواد عایق از مخلوط کردن ۲۰٪ فلوگوپیت با اندازه دانه زیر $300\mu m$ با ۸۰٪ پودر شیشه خرده با اندازه دانه بین $25-65\mu m$ و سپس پرس و پخت آن در دمای حدود $1000^\circ C$ یک بلوک عایق حرارت و نفوذناپذیر در مقابل آب پدید می‌آید [۱۰]. به دلیل سطوح بلورین و صیقلی کلیواژ در گروه کانی‌های میکا از پودر این کانی‌ها به عنوان پایه برای رسوب‌دهی رنگدانه‌ها استفاده می‌شود. مثلاً در این روش TiO_2 را با کمک کمی $FeCl_3$ روی میکا پوشش داده و پیگمنت سنتز کرده‌اند [۱۱]. پودر ریز میکا به دلیل حالیت بالای یون پتاسیم آن در آب، در تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاهان کاربرد دارد لذا به عنوان تعدیل کننده خاک‌های کشاورزی استفاده می‌شود [۱۲]. فلوگوپیت می‌تواند به عنوان تبادل کننده کاتیونی در جذب و غیرفعال‌سازی ضایعات سوخت‌های هسته‌ای مثل ^{137}Cs و ^{90}Sr استفاده شود [۱۳].

نانوکامپوزیت پایه پلیمری همراه با مواد سرامیکی خواص ویژه‌ای به پلیمر می‌دهد که در پلیمرهای بدون این ذرات، این خواص مطلوب نیست شکل (۲). این خواص عبارتند از: مقاومت در برابر آتش، زیست تجزیه شونده‌گی سریع‌تر، هادی بودن نسبت به امواج الکترومغناطیس، افزایش استحکام، افزایش مدول الاستیسیته، پایداری حرارتی، مقاومت در برابر مشتعل شدن، کاهش عبور پذیری گازها [۱۴، ۱۵].

میکا به عنوان سطوح کریستالی منظم برای سنتز پلیمرهای ویژه و تهیه بایو نانو کامپوزیت‌های خاص کاربرد دارد [۱۶].

در جدول (۱) خلاصه‌ای از کاربردهای میکا در حوزه‌های مختلف و ویژگی شاخص مربوطه آورده شده است. در این کار پژوهشی آزمون‌های شناسایی کامل شیمیایی، حرارتی

تکنیک پراش پرتو ایکس (XRD) تعیین گردید. نمونه‌ها پس از پودر شدن و عبور از الک $45 \mu\text{m}$ به وسیله دستگاه پراش پرتو ایکس زیمنس مدل D5000 با ولتاژ 30 kV ، جریان 25 mA و لامپ مس با طول موج 1.54051 \AA انجام شد.

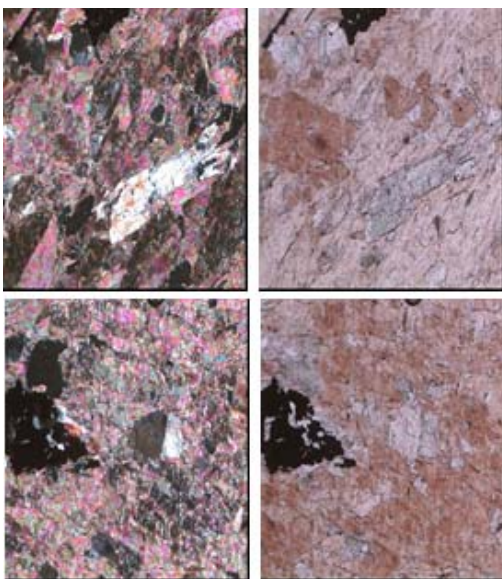
چگالی، درصد تخلخل و درصد جذب آب براساس استاندارد ASTM شماره C373، استحکام فشاری و خمشی براساس استاندارد ASTM شماره C133 و آزمون روانی جهت تعیین کارپذیری ملات براساس استاندارد EN1015 انجام گردید.

۳- نتایج و بحث

جهت شناسایی شیمیایی و فازی از نمونه آنالیزهای فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، بررسی میکروسکوپ پلاریزان، پراش پرتو ایکس (XRD)، آنالیز حرارتی (وزنسنجی و اختلاف دما سنجی حرارتی همزمان STA) صورت گرفت که نتایج به ترتیب در جدول (۲) و شکل‌های (۳) تا (۶) آورده شده است.

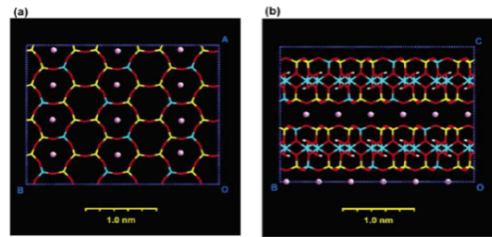
جدول ۱. آنالیز فلورسانس پرتو ایکس (XRF)

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO |
|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|
| ۴۰/۰۶ | ۱۴/۵۷ | ۲/۱۶ | ۱۴/۲۲ | ۱۹/۸۸ |
| K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | SO ₃ | L.O.I |
| ۵/۷۶ | ۱/۲۱ | ۱/۷۲ | ۰/۳۶ | ۰ |

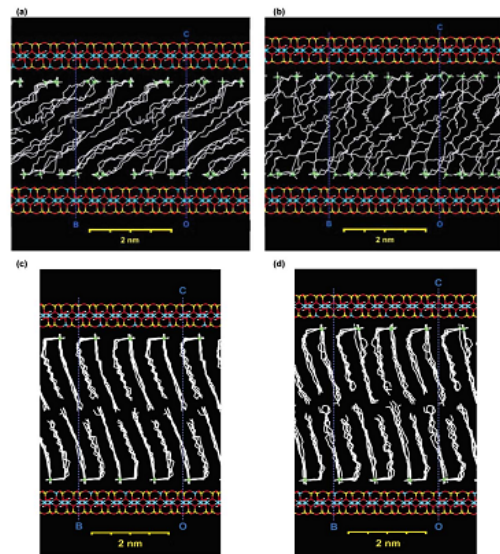


شکل ۳. تصویر میکروسکوپ پلاریزان سنگ.

و فیزیکی روی یکی از باطله‌های معدن سنگ آهن گل‌گهر انجام شده تا با در نظر گرفتن خواص ذکر شده پتانسیل کاربردهای آن نیز مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۱. شبیه سازی سلول واحد میکا [۱۴].



شکل ۲. تصویر میکا اصلاح شده (C18) در MD در دماهای

A) C18 at 20°C، B) 2C18 at 20°C،
C) 2C18 at 20°C و D) 2C18 at 100°C

۲- روش تحقیق

ابتدا از معدن، نمونه برداری به صورت آماری توسط کارشناسان معدن گل‌گهر صورت گرفت، نمونه نماینده، ابتدا خرد شده و سپس در آسیاب گلوله‌ای خشک آسیاب و هموژن سازی صورت گرفت و آزمون‌های زیر روی نمونه انجام شد.

جهت تعیین آنالیز شیمیایی از روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) مدل ARL8410 استفاده شد. این دستگاه با حداکثر ولتاژ 60 kV و جریان 40 میلی‌آمپر کار می‌کند، آند تیوب دستگاه از جنس رودیم (Rh) و دتکتور آن از جنس نیمه‌هادی FPC(SC) می‌باشد. مطالعه میکروسکوپی سنگ‌ها به صورت مقطعی نازک با ضخامتی کمتر از 0.3 میلی‌متر صورت گرفت. نوع فازهای بلورین موجود در نمونه‌ها توسط

جدول ۲. خلاصه کاربردهای میکا در حوزه‌های مختلف.

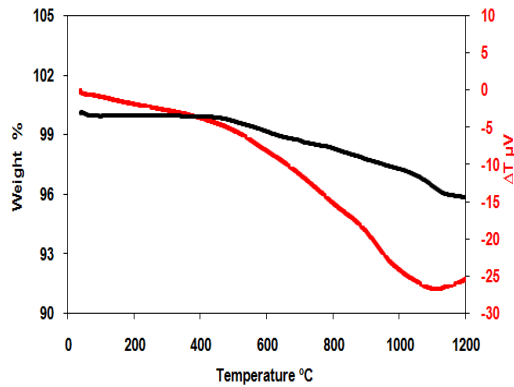
| حوزه کاربرد | نوع کاربرد | ویژگی‌های شاخص | مراجع |
|----------------|--|--|--------------------------------|
| سرامیک | ساخت شیشه سرامیک‌های ماشین کاری شونده، کاشی و آجر | ویسکوزیته مذاب شیشه، دمای ذوب، استحکام خام و پخت، انقباض بعد از پرس | ۱۸، ۱۷، ۱۶، ۱۹، ۲۰، ۲۶ |
| برق | ساخت خازن‌ها و عایق‌های الکتریکی، به عنوان گدازآور در پوشش الکترودهای جوشکاری | میزان عناصر Fe و Na، ولتاژ شکست | ۲۳، ۲۲، ۲۱ |
| نفت | در ترکیب سیمان حفاری | نسبت پهنا به ضخامت دانه میکا | ۵ |
| ساختمان و بتن | ملات بندکشی، پوشش دیوارهای گچی، پوشش بام آسفالتی | نسبت پهنا به ضخامت دانه میکا، انعطاف پذیری | ۲۵، ۲۴ |
| فیول سل | عایق‌بندی فیول سل، به صورت کامپوزیت کاغذ میکا | خلوص، ضخامت، پهنا، خاصیت تورق | ۲۹، ۲۸، ۲۷، ۳۳، ۳۲، ۳۱، ۳۰ |
| تصفیه فاضلاب | تصفیه سرب | اندازه دانه، خاصیت تبادل یونی | ۳۴ |
| رنگسازی | به عنوان پرکننده در رنگ | اندازه دانه، نسبت پهنا به ضخامت دانه میکا، میزان عناصر Fe و Mg، رنگ سفید | ۳۷، ۳۶، ۳۵ |
| کامپوزیت | به عنوان حجم دهنده و پرکننده در اجزای پلاستیکی خودرو، به عنوان یک عایق سبک برای کاهش صوت و ارتعاش | اندازه دانه، نسبت پهنا به ضخامت دانه میکا، میزان عناصر Fe و Mg، آبگریز و پلیمر دوست کردن سطح دانه‌ی میکا، انعطاف پذیری | ۴۰، ۳۹، ۳۸، ۴۳، ۴۲، ۴۱، ۴۵، ۴۴ |
| پایه کاتالیست | غیرفعال سازی آنزیم لیپاس | سطح ویژه، اندازه دانه، تورق، ضخامت | ۴۷ |
| آرایشی بهداشتی | رژگونه، خط و سایه چشم، کرم ضدآفتاب، ماتیک، برق بدن، مو و لب، ریمل، لوسیون‌های مرطوب کننده و لاک ناخن | اندازه دانه، خلوص، سفیدی و تللع زیاد، میزان جدایشی ورقه‌های میکا | ۹ |

(۴) آورده شده است که در آن تعداد مول‌ها و اکسیدها با تقسیم درصد وزنی نمونه بر وزن مولی محاسبه شده و از روی آن تعداد مول‌های عناصر با در نظر گرفتن تعداد مول‌های عنصر یک ظرفیتی K در K_2O برابر یک محاسبه شده یعنی تعداد مول‌های K_2O برابر 0.5 گرفته شده است. همچنین با توجه به فرمول عمومی میکا جمع سری اکسیدهای مناطق مختلف شبکه بلورین باید در محدوده زیر باشد [۲]:

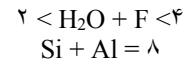
$$5 < Si < 6 \\ 2 < Al < 3$$

$$5/5 < Mg, Fe, Ti < 6/ \\ 1/7 < Na, K, Ca < 2/2$$

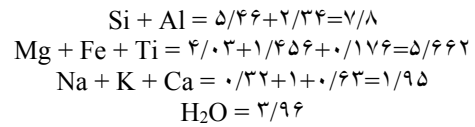
با توجه به شکل (۳) این نمونه را بلورهای صفحه‌ای میکای فلوگوپیت و بیوتیت تشکیل داده‌اند. کمی پیروکسن نیز در سنگ حضور دارد که اغلب شکل‌دار هستند. با توجه به نتیجه XRD در شکل (۴) و شکل (۵) فاز اصلی این نمونه محلول جامد میکاهای فلوگوپیت و بیوتیت است که با نتیجه میکروسکوپی (شکل ۳) نیز همخوانی دارد. با توجه به نمودار آنالیز حرارتی شکل (۶) و جدول آنالیز شیمیایی (جدول ۲) آنالیز کلی نمونه با در نظر گرفتن مواد فرار در جدول (۳) آورده شده است. با توجه به آنالیز شیمیایی جدول (۳) تعداد مول‌ها و اکسیدهای نمونه محاسبه گردید و نتایج در جدول



شکل ۶. منحنی آنالیز حرارتی (STA)



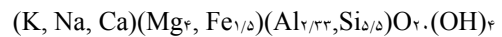
از روی جدول (۴) می‌توان به نتایج زیر رسید:



همان‌گونه که مشاهده می‌شود، می‌توان نمونه فوق را

میکایی به صورت محلول جامدی از فلوگوپیت و بیوتیت با

خلوصی نسبتاً خوب با فرمول زیر در نظر گرفت:



جدول ۳. آنالیز فلورسانس پرتوایکس (XRF) با در نظر گرفتن مواد فرار.

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO |
|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|
| ۳۸/۶ | ۱۴/۰۴ | ۲/۰۸ | ۱۳/۷ | ۱۹/۱۵ |
| K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | SO ₃ | L.O.I |
| ۵/۵۵ | ۱/۱۷ | ۱/۶۶ | ۰/۳۵ | ۴/۲ |

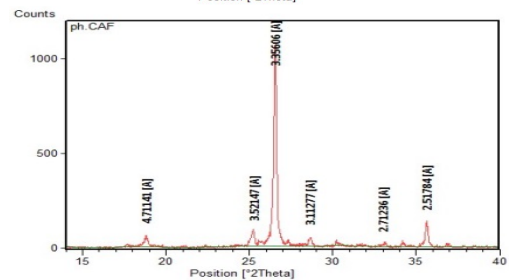
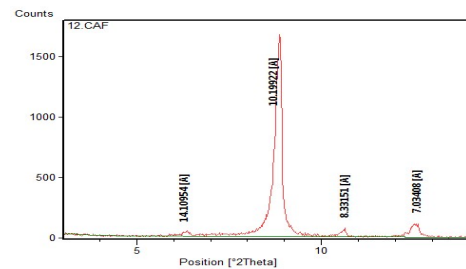
در واقع فرمول کلی شامل تمام یون‌های مثبت جدول (۷) است به این ترتیب که مجموع بارهای مثبت کل باید برابر بارهای منفی ۲۰ تا اکسیژن و چهار تا (OH)⁻ یعنی برابر ۴۴ باشد در صورتی که سطر انتهایی جدول فوق را در بار یونها ضرب کنیم عدد ۴۲/۵ حاصل خواهد شد که در اصل تعدادی از اتم‌های آهن به صورت سه‌ظرفیتی هستند و این اختلاف کم بین ۴۲/۵ و ۴۴ به این دلیل است.

جهت تعیین پتانسیل کاربردهای مختلف میکای فوق، آزمون‌های تکمیلی زیر روی آن انجام شد. جهت تعیین احتمال کاربرد در صنایع سرامیک نمونه بعد از آماده‌سازی و پرس در دماهای مختلف زینتر گردید. (شکل ۷)

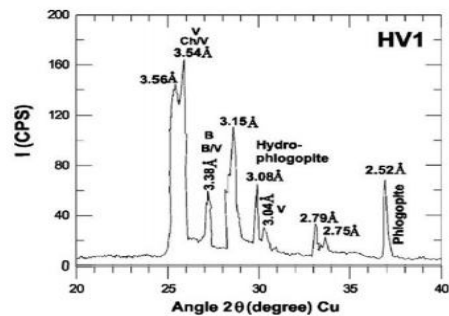
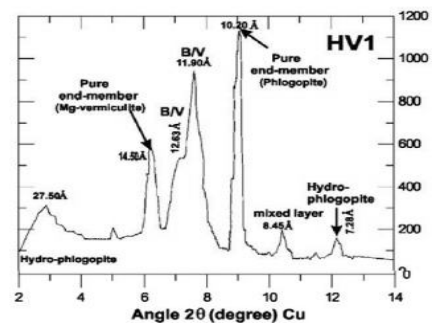
با توجه به نمونه‌های ساخته شده خواص مهندسی و خواص فیزیکی آن در جدول‌های (۴) تا (۶) آورده شده است.

جدول ۴. نتایج تغییرات ابعادی حاصل از شکل‌دهی و استحکام خمشی خام

| استحکام خمشی | انبساط بعد از دمای ۱۱۰ °C | انبساط بعد از پرس |
|--------------|---------------------------|-------------------|
| خام (MPa) | | |
| ۰/۷۶ | -۰/۵ | -۰/۴۴ |



شکل ۴. الگوی پراش پرتو ایکس نمونه.



شکل ۵. الگوی پراش پرتو ایکس نمونه مرجع حاوی فلوگوپیت [۴۶].

جدول ۵. نتایج خواص مهندسی نمونه زیتتر شده در دماهای مختلف.

| دما (°C) | درصد افت وزنی | استحکام خمشی پخت (MPa) | درصد انقباض |
|----------|---------------|------------------------|-------------|
| ۱۰۰۰ | ۲/۹۴ | ۷/۹۱ | ۰/۹۱ |
| ۱۰۵۰ | ۳/۴۷ | ۱۲/۴۵ | ۱/۷۳ |
| ۱۱۰۰ | ۴/۲۷ | ۲۱/۹۳ | ۴/۵۶ |

جدول ۶. نتایج خواص فیزیکی نمونه در دماهای مختلف.

| دما (°C) | دانشیه (g/cm ³) | درصد تخلخل | درصد جذب آب |
|----------|-----------------------------|------------|-------------|
| ۱۰۰۰ | ۱/۸۹ | ۳۸ | ۲۰ |
| ۱۰۵۰ | ۲/۰۴ | ۳۱/۵ | ۱۵/۵ |
| ۱۱۰۰ | ۲/۴۸ | ۱۲ | ۵ |

جدول ۷. جدول تعداد مولها و اکسیدها.

| اکسید | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | TiO ₂ | SO ₃ | L.O.I |
|---------------------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------|-------------------|------------------|-----------------|-------|
| وزن مولی | ۶۰ | ۱۰۲ | ۵۶ | ۱۵۹/۷ | ۴۰/۳ | ۹۴/۲ | ۶۲ | ۷۹/۸۸ | | ۱۸ |
| درصد وزنی در نمونه | ۳۸/۶ | ۱۴/۰۴ | ۲/۰۸ | ۱۳/۷ | ۱۹/۱۵ | ۵/۵۵ | ۱/۱۷ | ۱/۶۶ | ۰/۳۵ | ۴/۲ |
| تعداد مول های اکسید | ۵/۴۶ | ۱/۱۷ | ۰/۳۱۵ | ۰/۷۲۸ | ۴/۰۳ | ۰/۵ | ۰/۱۶ | ۰/۱۷۶ | | ۱/۹۸ |
| تعداد مول های فلز | ۵/۴۶ | ۲/۳۴ | ۰/۳۱۵ | ۱/۴۵۶ | ۴/۰۳ | ۱ | ۰/۳۲ | ۰/۱۷۶ | | ۳/۹۶ |

نمونه‌های استحکام فشاری و خمشی تهیه گردید (شکل ۸). البته باید اشاره کرد که آزمون استحکام نمونه‌ها پس از ۷ روز ماندگاری در حمام بخار انجام گرفت که نتایج در جدول (۹) آورده شده است.

جهت تعیین پتانسیل کاربرد برای ساخت پوک‌های صنعتی پس از تهیه پودر از نمونه‌ها، به مقدار مورد نیاز (حدود ۱۰٪) رطوبت به آن افزوده گردید تا به صورت گندله شکل داده شود. در مرحله بعد، به مقدار ۱٪ پودر کربن به نمونه اضافه شد و همانند حالت قبل از آنها گندله تهیه گردید و سپس از هر نمونه در دماهای مختلف آزمایش انبساط گرفته شد. با توجه به مقطع برش مشخص گردید که نمونه‌ها قابلیت تولید پوک صنعتی را ندارند.



شکل ۸. تصاویر گندله تهیه شده از نمونه بعد از دماهای مختلف.



شکل ۹. تصاویر گندله تهیه شده از نمونه حاوی کربن بعد از دماهای مختلف.



شکل ۷. شمایی از نمونه پرس شده در حالت خام در دماهای مختلف ۹۵۰، ۱۰۰۰، ۱۰۵۰ و ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و شمایی از نمونه ذوب شده در دمای ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد (بالا سمت راست).



شکل ۱۰. نمونه‌های مورد آزمایش استحکام فشاری (استوانه‌ای) و خمشی (مکعب مستطیل)

همچنین جهت تعیین پتانسیل کاربرد در صنایع بتن با درصد‌های جدول (۸)، ملاتی با افزودن آب مناسب که میزان روانی نمونه به ۱۳ سانتی‌متر برسد، تهیه شد و از آنها

عایق‌های الکتریکی یا به عنوان دی‌الکتریک را از آن سلب می‌کند.

۵- این نمونه به دلیل وجود MgO در آن، پتانسیل استفاده تا ۱۵٪ در ترکیب خوراک کوره سیمان را دارد.

سپاسگزاری

در پایان از پژوهشکده سنگ آهن و فولاد گل‌گهر جهت حمایت مالی در خصوص انجام این کار پژوهشی به‌ویژه جناب آقای مهندس مسعود عسگری تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع

1. lefond, S.J., Industrial minerals and rocks, Society of mining engineers, 1983.
2. Deer, W., Howie, R.A., Zussman, J., An Introduction to the Rock Forming Minerals, Mineralogical Society, 2013.
3. Kisor, K., Uses of Industrial Minerals, Rocks and Freshwater, 2009.
4. FaeghiNia, A., Ebadzadeh, T., Fabrication of machinable phlogopite- glass composite using microwave processing, *Ceramics International*, 2012, 38, 2653-2658.
5. Obut, A., Girgin, I., Hydrogen peroxide exfoliation of vermiculite and phlogopite, *Minerals Engineering*, 2002, 15, 683-687.
6. Ashouri Rad, B., Alizadeh, P., Pressure less sintering and mechanical properties of SiO₂ - Al₂O₃ -MgO-K₂O-TiO₂-F (CaO-Na₂O), *Ceramics International*, 2009, 35, 2775-2780.
7. Patricia, M., Cavalcante, T., Dondi, M., Guarini, M. Barro, F., Luz, A.B.D., Ceramic application of mica titania pearlescent pigments, *Dyes and Pigments*, 2007, 74, 1-8.
8. Faeghi-Nia, A., Crystallization and sintering behavior of phlogopite-soda lime composite, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2011, 357, 3385-3391.
9. Gao, Q., Wu, X., Fan, Y., The effect of iron ions on the anatase-rutile phase transformation of titania in mica titania pigments, *Dyes and Pigments*, 2012, 95, 96-101.
10. Pal, D.K., Srivastava, P., Durge, S.L., Bhattacharyya, T., Role of weathering of fine-grained micas in potassium management of Indian soils, *Applied Clay Science*, 2001, 20, 39-52.
11. Stout, S.A., YCho, Y., Komarneni, S., Uptake of cesium and strontium cations by potassium-depleted phlogopite, *Applied Clay Science*, 2006, 31, 306-313.
12. Mittal, V., Polymer Layered Silicate Nanocomposites: A Review, *Materials*, 2009, 992-1057.
13. Pavlidou, S., Papaspyrides, C.D., A review on polymer-layered silicate nanocomposites, *Progress in Polymer Science*, 2008, 33, 1119-1198.
14. Taruta, S., Fujisawa, R., Kitajima, K., Preparation and mechanical properties of machinable alumina/mica composites, *Journal of the European Ceramic Society*, 2006, 26, 1687-1693.
15. KhatibZadeh, S., Samedani, M., EftekhariYekta, B., Hashemini, S., Effect of sintering and melt casting methods on properties of a machinable fluor- phlogopite

جدول ۸. طرح اختلاط ملات (%).

| سیمان | سنگدانه | سنگدانه | سنگدانه |
|-------|---------|---------|---------|
| ۱۳/۵ | ۹ | ۷۷/۵ | |

جدول ۹. میانگین استحکام فشاری و خمشی ۷ روزه نگهداری شده در حمام بخار.

| کد | میانگین استحکام فشاری (MPa) | میانگین استحکام خمشی (MPa) |
|-------|-----------------------------|----------------------------|
| شاهد | ۸/۳ | ۳/۵ |
| نمونه | ۶/۶ | ۳/۸ |

۴- نتیجه‌گیری و پتانسیل‌های کاربردی:

- ۱- با توجه به مروری بر منابع و نتایج آزمون‌ها نمونه باطله فوق، بیشتر میکای فلوگوپیت با خلوص فازی نسبتاً خوب ولی خلوص شیمیایی نه چندان بالا است که رنگی تیره دارد و با مشاهدات ظاهری مشخص شد که قابلیت تورق آن زیاد است. به دلیل رنگ تیره به عنوان پودر یا سنگدانه تقویت کننده در کامپوزیت‌های سفید را ندارد ولی با توجه به شکل پولکی دانه‌ها در میکروسکوپ نوری، در کلیه کاربردهای تقویت کنندگی رنگی می‌تواند به‌کار رود.
- ۲- با توجه به خواص مهندسی سرامیکی، قابلیت اضافه کردن به ترکیب بدنه‌های کاشی را داشته و مستقیماً در ساخت آجر و شیشه سرامیک‌های عایق ساختمانی می‌تواند به‌کار رود.
- ۳- به دلیل رنگ تیره در رنگ‌سازی نمی‌تواند کاربرد داشته باشد ولی به عنوان جاذب یون‌های سمی در تصفیه فاضلاب‌ها و پایه کاتالیست نیز می‌تواند استفاده گردد. در کاربردهای کاتالیستی و به عنوان تبادل کننده‌های یونی علاوه بر دانه‌بندی ویژگی سطحی و یون بین لایه‌ای نیز مهم است که این نیز با فرآیند فرآوری قابل تنظیم و تعدیل است.
- ۴- به دلیل خلوص کم در صنایع بهداشتی، دارویی و غذایی نمی‌تواند به‌کار رود. همچنین خلوص کم آن وجود درصد آهن، قابلیت استفاده در خازن‌ها و

- pearlescent pigment by microemulsions, *Dyes and Pigments*, 2007, 75, 766-769.
35. Cavalcante, P.M.T., Dondi, M., Guarini, G., Barro, F.M., Luz, A.B., Ceramic application of mica titania pearlescent pigments, *Dyes and Pigments*, 2007, 74, 1-8.
 36. Limpariyoon, N., Seetapan, N., Kiatkamjornwong, S., Acrylamide-2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid and associated sodium salt superabsorbent copolymer nano composites with mica as fire retardants", *Polymer Degradation and Stability*, 2011, 96, 1054-1063.
 37. Zhang, Y.-H., Fu, S.-Y., Li, R.K.-Y., Wu, J.-T., Li, L.-F., Ji, J.-H., Yang S.-Y., Investigation of polyimide-mica hybrid films for cryogenic applications", *Composites Science and Technology*, 2005, 65, 1743-1748.
 38. Chen, X., Cheng, Y., Yue, B., Xie, H., Study of epoxy/mica insulation deterioration in generator stator using ultra-wide band partial discharge testing technique, *Polymer Testing*, 2006, 25, 724-730.
 39. Verbeek, C.J.R., The influence of interfacial adhesion, particle size and size distribution on the predicted mechanical properties of particulate thermoplastic composites, *Materials Letters*, 2003, 57, 1919-1924.
 40. Chen, X., Cheng, Y., Yue, B., Xie, H., Study of epoxy/mica insulation deterioration in generator stator using ultra-wide band partial discharge testing technique, *Polymer Testing*, 2006, 25, 724-730.
 41. Uno, H., Tamura, K., Yamada, H., Umeyama, K., Hatta, T., Moriyoshi, Y., Preparation and mechanical properties of exfoliated mica-polyamide 6 nanocomposites using sericite mica, *Applied Clay Science*, 2009, 46, 81-87.
 42. Pinto, U.A., Visconte, L.L.Y., Nunes, R.C.R., Mechanical properties of thermoplastic polyurethane elastomers with mica and aluminum trihydrate, *European Polymer Journal*, 2001, 37, 1935-1937.
 43. Gan, D., Lu, S., Song, C., Wang, Z., Mechanical properties and fractional behavior of mica- filled poly(aryl ether ketone) composite, *European Polymer Journal*, 2001, 37, 1359-1365.
 44. Harraz, H.Z., Hamdy, M.M., Interstratified vermiculite-mica in the gneiss-metapelite-serpentinite rocks at Hafafit area, Southern Eastern Desert, Egypt: From metasomatism to weathering, *Journal of African Earth Sciences*, 2010, 58, 305-320.
 45. Zaidan, U.H., Abdul Rahman, M.B., Basri, M., Othman, S.S., Abdul Rahman, R.N.Z.R., Salleh, A.B., Silylation of mica for lipase immobilization as biocatalysts in esterification, *Applied Clay Science*, 2010, 47, 276-282.
 - glass-ceramic, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 203, 113-116.
 16. FaeghiNia, A., Thermal properties and crystallization of lithium-mica glass and glass-ceramics, *Thermochimica Acta*, 2013, 564, 1-6.
 17. Rounan, L.I., Peinan, Z.H.U., Phlogopite- based glass ceramics, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1986, 80, 600-604.
 18. Norman M., Low, P., Cellular structure glass formed with Phlogopite- type mica powders and carbonate compounds, *Materials Research Bulletin*, 1980, 15, 881-890
 19. Jiang, G., Gilbert, M., Hitt, D.J., Wilcox, G.D., Balasubramanian, K., Preparation of nickel coated mica as a conductive filler, *Composites: part A*, 2002, 33, 745-751.
 20. Dai, H., Li, H., Wang, F., An alternative process for the preparation of Cu-coated mica composite powder, *Surface & Coatings Technology*, 2006, 201, 2859-2866.
 21. Dai, H., Li, H., Wang, F., Electroless Ni-P coating preparation of conductive mica powder by a modified activation process, *Applied Surface Science*, 2006, 253, 2474-2480.
 22. Grattan-Bellew P.E., Beaudoin, J.J., Effect of phlogopite mica on alkali- aggregate expansion in concrete, *Cement and Concrete Research*, 1980, 10, 789-797.
 23. Li, C., Takeichi, Y., Uemura, M., Nakai, T., Sinomiya, M., Tsuya, Y., The friction behavior of Ni-, SiO₂- and mica sodium silicate based solid lubrication composites, *Tribology International*, 1999, 32, 407-411.
 24. Dell'Anna L., Laviano, R., Mineralogical and chemical classification of Pleistocene clays from the Lucanian Basin (Southern Italy) for the use in the Italian tile industry, *Applied Clay Science*, 1991, 6, 233-243.
 25. Bram, M., Niewolak, L., Shah, N., Sebold, D., Buchkremer, H.P., Interaction of sealing material mica with interconnect steel for solid oxide fuel, *Journal of Power Sources*, 2011, 196, 5889-5896.
 26. Chou, Y-S., W.Stevenson, J., Hardy, J., Singh, P., Material degradation during isothermal ageing and thermal cycling of hybrid mica seals under solid oxide fuel cell exposure conditions, *Journal of Power Sources*, 2006, 157, 260-270.
 27. Chou, Y-S., W.Stevenson, J., Phlogopite mica-based compressive seals for solid oxide fuel cells: effect of mica thickness, *Journal of Power Sources*, 2003, 124, 473-478.
 28. Chou, Y-S., W.Stevenson, J., Long-term thermal cycling of Phlogopite mica-based compressive seals for solid oxide fuel cell, *Journal of Power Sources*, 2005, 140, 340-345.
 29. Chou, Y-S., W.Stevenson, J., Long-term ageing and materials degradation of hybrid mica compressive seals for solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 2009, 191, 384-389.
 30. Chou, Y-S., W.Stevenson, J., Novel infiltrated Phlogopite mica compressive seals for solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 2004, 135, 72-78.
 31. Le, S., Sun, K., Zhang, N., Shao, Y., An, Qiang Fu, M., Zhu, X., Comparison of infiltrated ceramic fiber paper and mica base compressive seals for planar solid oxide fuel cells, *Journal of Power Sources*, 2007, 168, 447-452.
 32. Venäläinen, S.H., Sorption of lead by phlogopite-rich mine tailings, *Applied Geochemistry*, 2012, 27, 1593-1599.
 33. Stengl, V., Subrt, J., Bakardjieva, S., Kalendova, A., Kalendab, P., The preparation and characteristics of pigments based on mica coated with metal oxides, *Dyes and Pigments*, 2003, 58, 239-244.
 34. Jing, C., Hanbing, S.X., The preparation and characteristics of cobalt blue colored mica titania