

مطالعه ترکیب شیمیایی، کانی شناسی و خصوصیات فیزیکی خاک صنعتی بوئین زهرا (واقع در استان قزوین) با هدف بررسی کاربرد آن در صنایع کاشی و سرامیک

علیرضا گنجی، سعید تاکی

گروه زمین شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

چکیده

معدن خاک صنعتی بوئین زهرا که در جنوب غرب این شهرستان واقع گردیده است، در حال حاضر به عنوان یکی از عمده ترین تأمین کنندگان مواد اولیه کارخانجات تولید کننده کاشی دیوار در کشور مطرح می باشد. مطالعه ترکیب کانی شناسی نمونه معرف تهیه شده از این معدن به روشهای XRD، FT-IR، DTA و SEM صورت گرفته و ترکیب شیمیایی کلی آن به روش XRF مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای تعیین ترکیب شیمیایی جزئی کانیهای رسی تشکیل دهنده این خاک از روش میکروآنالیز WDX استفاده گردید. نتایج حاصل از این بررسی ها نشان داد، خاک صنعتی مورد مطالعه در واقع یک خاک ایلیتی بوده و کانی رسی اصلی تشکیل دهنده آن رس مخلوط لایه (mixed-layer) از نوع ایلیت/ مونتموریلونیت با اختلاط ۹۵٪ ایلیت و ۵٪ مونتموریلونیت می باشد، که فرمول ساختمانی (استوکیومتری) متوسط آن عبارت است از:

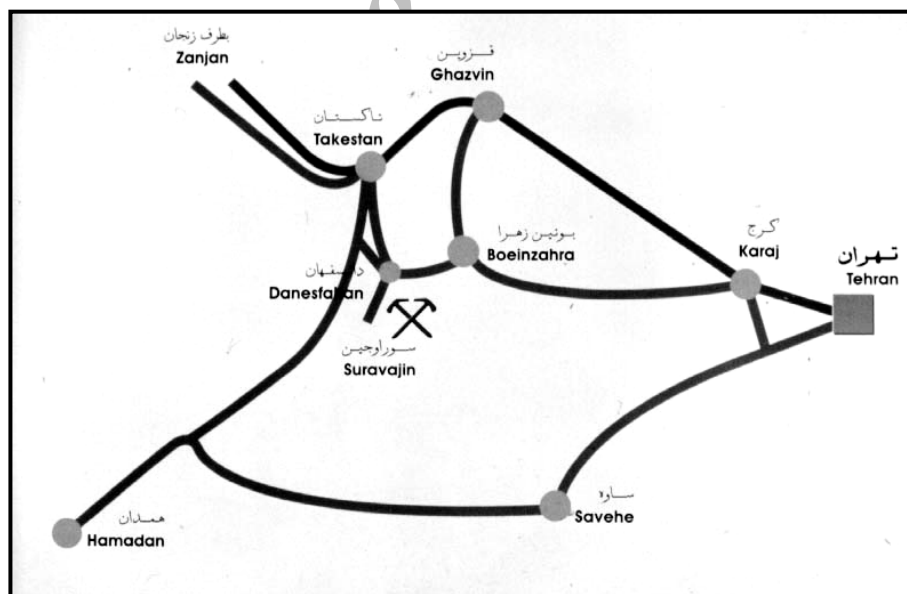


سایر کانیهای همراه به ترتیب فراوانی بدین قرارند: کوارتز، کائولینیت، کلریت آهن دار، پتاسیم فلدسپار، دولومیت و کلسیت. به منظور بررسی کاربرد خاک صنعتی مورد مطالعه در صنایع سرامیک، بدنه های آزمایشی به ابعاد $5 \times 5 \times 10$ میلی متر که توسط پرس هیدرولیکی و فشار ۳۰۰ بار قالبگیری شدند مورد استفاده قرار گرفته و ویژگی های فنی این قطعات شامل استحکام خمشی خام، خشک و پخت، جذب آب، انقباض خطی و رنگ بعد از پخت در سه رژیم پخت مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشات نشان داد، خاک صنعتی بوئین زهرا جهت استفاده در ساخت بدنه های کاشی دیوار و حتی کاشی کف به لحاظ ویژگیهای فنی بسیار مطلوب می باشد. ولی به دلیل رنگ بعد از پخت تیره، استفاده از آن در تولید بدنه های سفیدکاشی دیوار و نیز بدنه های فرمز کاشی کف به صورت محدود امکان پذیر است.

واژه های کلیدی: خاک صنعتی بوئین زهرا، ترکیب کانی شناسی، ترکیب شیمیایی، کاربرد سرامیکی.

مقدمه

خاک صنعتی معدن بوبین زهرا (شکل ۱)، به عنوان یکی از عمده مواد اولیه بدنه کاشی دیوار، قریب به ۳۵ سال در کارخانجات مهم تولیدکننده کاشی کشور از جمله ایرانا، سعدی، الوند، سینا، پارس و غیره مصرف شده و در حال حاضر نیز، علیرغم تغییر فرآیند پخت به روش پخت سریع (مونوپروزا) در سالهای اخیر، موقعیت ویژه خود را در تأمین مواد اولیه این صنعت حفظ کرده است. یکی از ویژگیهای زمین شناسی بسیار مهم این معدن یکنواختی نسبی کیفیت ماده معدنی در طول کارگاههای استخراجی و عدم تغییرات عمده کیفی خاک در بخش های مختلف معدن است. این ویژگی، در کنار ذخیره بسیار بالا، از جمله اصلی ترین عوامل انتخاب خاک صنعتی بوبین زهرا به عنوان یک خاک مطلوب و قابل اعتماد توسط کارخانجات مصرف کننده می باشند. البته پر واضح است که اینگونه عوامل زمین شناسی، به همراه سایر عوامل موقعیتی و زیربنائی معدن، کامل کننده دلایل لازم برای انتخاب این خاک توسط مصرف کنندگان بوده و ویژگی های فنی مناسب خاک، دلیل اصلی انتخاب آن بوده اند. هدف از این مقاله بررسی دقیق این خصوصیات می باشد، که در این راستا ابتدا ترکیب شیمیایی و کانی شناسی خاک مورد مطالعه دقیق قرار گرفته و سپس خواص فیزیکومکانیکی قبل و بعد از پخت آن تحت شرایط مختلف پخت بطئی و سریع در دماهای متفاوت پخت کاشی دیوار و کف، مطابق شرایط تعریف شده در کارخانجات مصرف کننده، بررسی می شود تا کاربرد آن در صنایع سرامیک مشخص گردد.



شکل ۱: موقعیت و راههای دسترسی معدن خاک صنعتی بوبین زهرا

روش مطالعه

از آنجا که کانی های مهم تشکیل دهنده خاک های صنعتی انواع کانی های رسی بوده و نوع و مقدار آنها عامل بسیار تعیین کننده ای در ارائه ویژگی های فنی خاک می باشد، لذا در این تحقیق سعی شد تا با استفاده از روش های مختلف به شناخت این کانیها دست یابی گردد. بدین منظور پس از نمونه برداری سیستماتیک از کارگاههای استخراجی و تهیه نمونه معرف و شاخص از معدن، نمونه تهیه شده مورد آماده سازی قرار گرفت. سپس جهت جداسازی اجزای مختلف خاک بویژه جزء رسی آن (با ابعاد کمتر از $2 \mu\text{m}$) از روش ته نشینی در استوانه مدرج بر طبق قانون استوکس استفاده گردید.

اولین روش کانی شناسی بکار رفته آنالیز پراش پرتو x (XRD) بود که بدین منظور نمونه های کلی با قطر ذرات کمتر از 200 مش (با ابعاد کمتر از $75 \mu\text{m}$) و نیز نمونه های خالص سازی شده با قطر ذرات کمتر از $2 \mu\text{m}$ مورد استفاده قرار گرفتند. جهت شناسایی کانیهای رسی، نمونه های اخیر بصورت جهت یابی شده (oriented) روی لام شیشه ای آماده شده و به پنج صورت مورد آنالیز قرار گرفتند [۱]:

(۱) خشک شده در هوا (air dried)

(۲) حرارت دیده تا دمای 550 درجه سانتیگراد

(۳) حرارت دیده تا دمای 375 درجه سانتیگراد

(۴) عمل آوری شده با اتیلن گلیکول (treated with ethylene glycol)

(۵) عمل آوری شده با اسید کلریدریک (treated with HCl)

جهت انجام آنالیز XRD یک دستگاه گونیومتر فیلیپس PW 1050/25 و ژنراتور PW 1010 تولیدکننده شعاع تک فام $\text{CuK}\alpha$ با ولتاژ تیوبی 50KV و جریان 30mA بکار گرفته شد. سرعت گونیومتر 2θ در دقیقه، سرعت کاغذ 20 میلیمتر در دقیقه و ثابت زمانی یک ثانیه بود.

دومین روش کانی شناسی بکار رفته روش طیف بینی اشعه مادون قرمز (Infrared absorption spectroscopy) به وسیله دستگاه طیف سنج تبدیلی فوریر (Fourier Transform Spectrometer) بود. بدین منظور از نمونه های آماده سازی شده با قطر ذرات $> 2 \mu\text{m}$ ، $20-75 \mu\text{m}$ و $< 75 \mu\text{m}$ استفاده شد و طیف های IR در دامنه عدد موجی 350cm^{-1} تا 4000cm^{-1} تهیه گردید [۲]. روش سوم بکار رفته آنالیز حرارتی افتراقی (DTA) می باشد که بدین منظور مقدار 20 میلی گرم از پودر خالص سازی شده $> 2 \mu\text{m}$ با نرخ حرارتی $10^\circ\text{C}/\text{min}$ مورد آنالیز قرار گرفت [۳].

به منظور بررسی های مورفولوژیکی، ریز ساختاری و مینرال شیمی کانیهای رسی از دو دستگاه میکروسکوپ الکترونی SEM مدل Philips-515 مجهز به طیف سنج WDX و مدل LEO-440 مجهز به طیف سنج EDX استفاده گردید که بدین منظور دو نوع نمونه کلی (با ابعاد کوچکتر از $75 \mu\text{m}$) و خالص سازی شده (با ابعاد کوچکتر از $2 \mu\text{m}$) انتخاب شدند. غلظت عناصر آنالیز شده برای مقادیر عدد اتمی (Z)، جذب (A)، فلورسانس (F) و زمان مرده (Dead time) تصحیح گردیده (روش تصحیح ZAF)، که این

عمل بطور خودکار توسط کامپیوتر دستگاه انجام گردید [۲]. استانداردهای بکار رفته توسط این دستگاه جهت انجام میکروآنالیزهای مورد نظر عبارتند از: آلومینا برای Na، ولاستونیت برای Ca، کوارتز برای Si، آلومینای سینتتیک برای Al، پریکلازسینتتیک برای Mg، MAD-10 برای K و آهن خالص برای Fe. جهت بررسی ترکیب شیمیایی خاک مورد مطالعه و تعیین مقادیر عناصر اصلی موجود در آن تعداد سه آنالیز XRF توسط دستگاه XRF زیمنس مدل 303-SRF بر روی نمونه معرف کلی (۲۰۰ مش) انجام گردید. در این روش درصد خطای اندازه گیری برای اکسیدهای SiO₂ و Al₂O₃ برابر ۱-۳٪ ± و برای سایر اکسیدهای اصلی ۲٪ ± می باشد.

به منظور بررسی خواص کاربردی خاک صنعتی بوبین زهرا، بدنه های آزمایشی (test body) با ابعاد ۵×۵×۱۰۰ میلیمتر که توسط پرس هیدرولیکی و فشار ۳۰۰ بار قالبگیری شدند مورد استفاده قرار گرفتند. جهت پخت بدنه ها، سه رژیم پخت مختلف شامل:

(۱) پخت بطئی در کوره تونلی در دمای ۱۰۵۰ °C

(۲) پخت سریع در کوره رولری در دمای ۱۰۹۰ °C

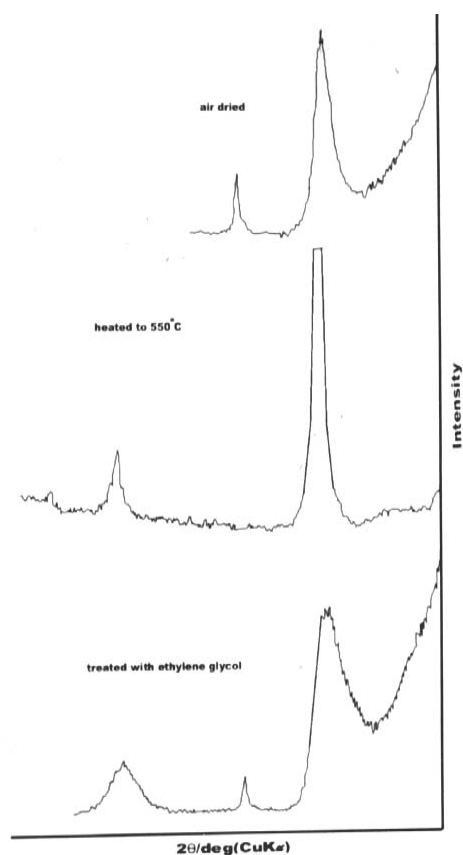
(۳) پخت سریع در کوره رولری در دمای ۱۲۰۰ °C

بکار گرفته شد و برای این کار از کوره های صنعتی خط تولید کارخانجات مصرف کننده استفاده شد. خواص فنی که توسط انجام آزمایشات ویژه روی بدنه های آزمایشی بررسی شدند عبارتند از: استحکام خمشی خام، خشک و پخت، جذب آب، انقباض خطی و رنگ بعد از پخت [۴].

بحث و بررسی

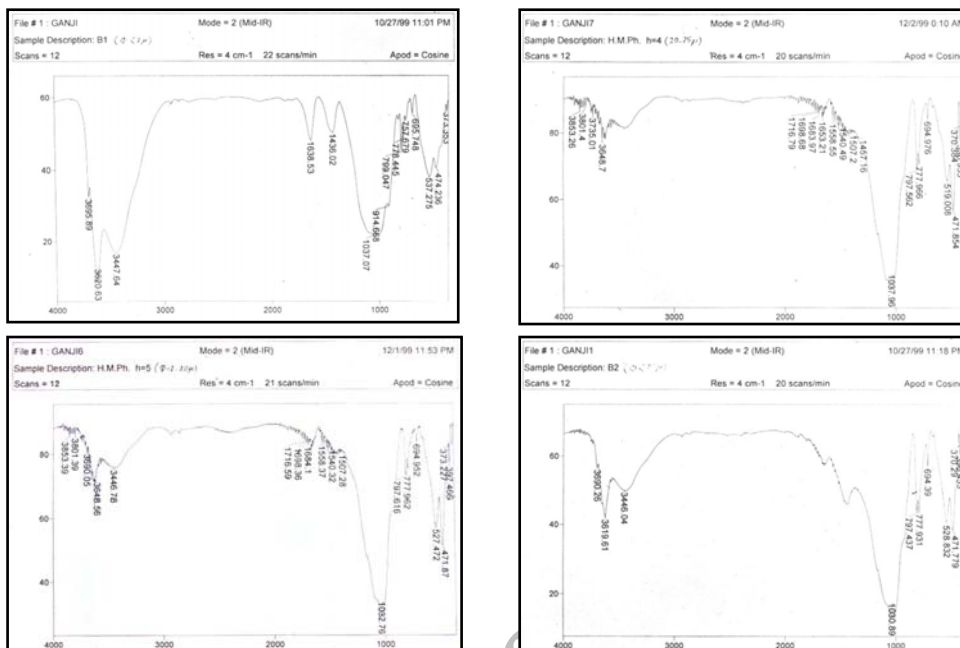
بررسی الگوهای پراش اشعه X حاصل از آنالیز XRD نمونه های آماده سازی شده نشان داد که کانی رسی اصلی تشکیل دهنده خاک مورد مطالعه یک کانی رسی مخلوط لایه از نوع ایلیت/مونتموریلونیت با اختلاط تقریبی ۹۵٪ ایلیت و ۵٪ مونتموریلونیت می باشد. جهت تعیین درصد اختلاط ایلیت و مونتموریلونیت، الگوهای پراش دو نمونه خالص سازی شده خشک شده در هوا و عمل آوری شده با اتیلن گلیکول، مطابق روش ذکر شده توسط D.M.Moore و R.C.Reynolds [۱]، مورد مطالعه قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شدند (شکل ۲).

سایر کانیهای رسی همراه با آن به ترتیب فراوانی کائولینیت با درجه تبلور (Crystallinity) نسبتاً خوب (باتوجه به FWHM نسبتاً کم پیک (۰۰۱) آن) و کلریت آهن دار هستند. کانیهای غیر رسی موجود در خاک که پیک آنها در الگوهای پراش اشعه X تشخیص داده شد به ترتیب فراوانی بدین قرارند: کوارتز، پتاسیم فلدسپار، دولومیت و کلسیت.



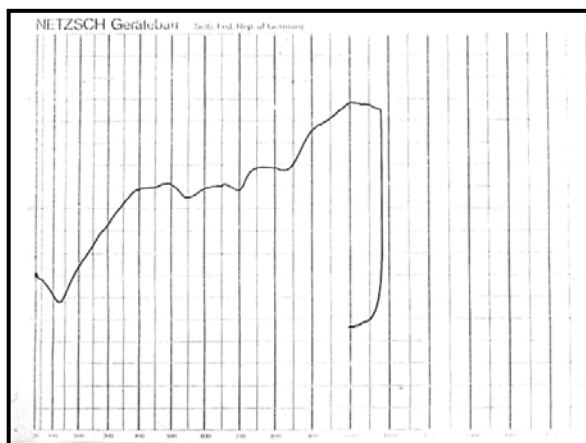
شکل ۲: الگوهای پراش اشعه X نمونه خالص سازی شده (با ابعاد کوچکتر از $2 \mu\text{m}$) خاک صنعتی بوبین زهرا به ترتیب از بالا به پایین در شرایط؛ خشک شده در هوا، حرارت دیده در دمای 550°C و عمل آوری شده با اتیلن گلیکول

تعبیر و تفسیر طیفهای مادون قرمز حاصل و بررسی باندهای جذبی مختلف نیز همان نتایج بدست آمده از آنالیز XRD را تأیید نمود. همچنین بررسی شدت باندهای جذبی مربوط به کانیه‌های شناسایی شده نشان داد که مقدار کانیه‌های کوارتز، پتاسیم فلدسپار، دولومیت و کلسیت با ازدیاد قطر ذرات افزایش می‌یابد که این مسئله بویژه در مورد کانی کوارتز مشهود است (شکل ۳).



شکل ۳: طیف های جذبی مادون قرمز چهار نمونه از خاک صنعتی بوبین زهرا با قطر دانه های مختلف
 بالا سمت راست: $\Phi = 20 - 75 \mu\text{m}$ ، پایین سمت راست: $\Phi < 75 \mu\text{m}$ ، بالا سمت چپ: $\Phi < 2 \mu\text{m}$
 پایین سمت چپ: $\Phi = 2 - 20 \mu\text{m}$

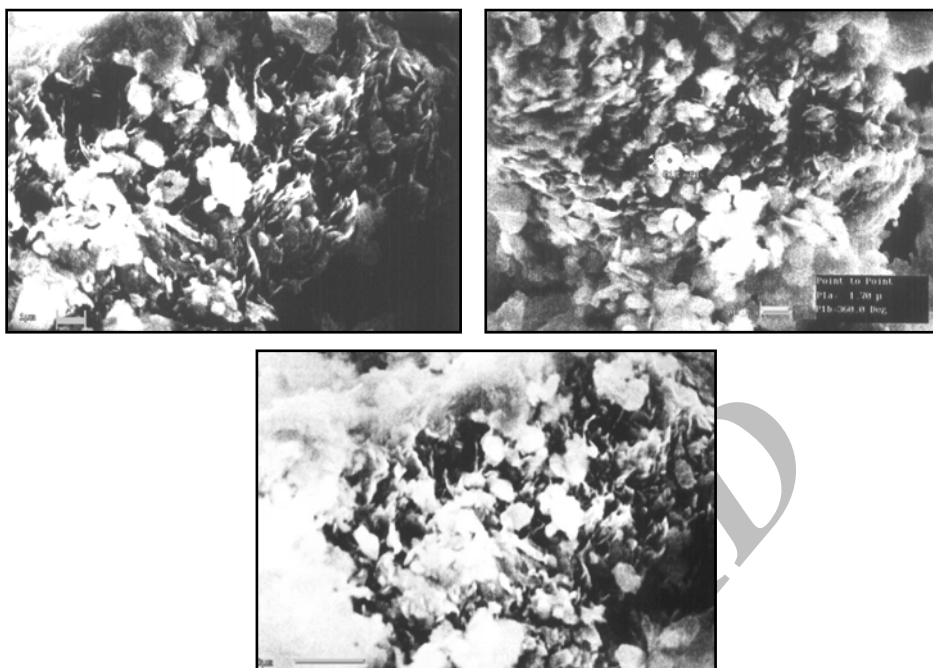
در منحنی DTA بدست آمده از پودر خالص سازی شده (با ابعاد کوچکتر از $2 \mu\text{m}$) چهار پیک گرماگیر به ترتیب در دماهای 130 ، 550 ، 700 و 830 درجه سانتی گراد و دو پیک گرمازا در دماهای 920 و 1000 درجه سانتی گراد قابل تشخیص است (شکل ۴)؛ که به ترتیب مربوط به دهیدراسیون و تجزیه کانیهای ایلیت، مونتموریلونیت، کائولینیت و کلریت می باشند. با توجه به فاصله دمایی فی مابین پیک تجزیه ای نهایی و پیک گرمازای بلافاصل بعد از آن (a-value) (شکل ۴) که مقداری در حدود 90°C است، می توان نتیجه گرفت که اولاً کلریت موجود در نمونه از نوع آهن دار است و ثانیاً کانی های ایلیت و مونتموریلونیت به صورت مخلوط لایه بی نظم (irregular mixed layer) یا همان ایلیت/مونتموریلونیت هستند [۳].



شکل ۴: منحنی DTA نمونه خالص سازی شده (با ابعاد کوچکتر از $2\mu\text{m}$) خاک صنعتی بوبین زهرا

الکترون میکروگرافهای تهیه شده توسط میکروسکوپ الکترونی SEM (شکل ۵)، ورقه هایی از کانی های رسی به شکل فلسی را نشان می دهد که به دو صورت گلبرگی و نامنظم به شکل اجتماعی روی هم قرار گرفته اند. میکروآنالیزهای EDX انجام شده بر روی این کانی های ورقه ای نشان داد که این ها کانی مخلوط لایه ایلیت/مونتوریلونیت می باشند. به منظور بررسی مینرال شیمی این کانی ها و تعیین فرمول ساختمانی (Structural formulae) یا شکل استوکیومتری (stoichiometric form) آنها از نتایج آنالیز کمی نقطه ای انجام شده توسط طیف سنج WDX (جدول ۱) استفاده گردید. برای این کار ابتدا از روی نتایج حاصله معادل وزنی کاتیونهای Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Si^{4+} , K^{1+} , Na^{1+} , Ca^{2+} محاسبه شده، سپس ضریب هرکاتیون در واحد ساختمانی $\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Si}_{z1}\text{Al}_{z2})(\text{Al}_{y1}\text{Fe}_{y2}\text{Mg}_{y3})\text{Na}_{x1}\text{K}_{x2}\text{Ca}_{x3}$ با تعیین ضریب نسبی (proportionality factor) مربوطه مشخص شده و نهایتاً چهار فرمول ساختمانی بدست آمد (جدول ۲).

در اینجا بایستی یادآور شد که جهت بدست آوردن نتایج قابل اعتماد از میکروآنالیز کانیهای رسی مخلوط لایه ایلیت/مونتوریلونیت، مطابق روشهای پیشنهاد شده توسط W.J.McHardy, D.C.Bain و E.E.Lachowski [۲]؛ از نمونه های خالص سازی شده ای با قطر ذرات $> 2\mu\text{m}$ بصورت جهت یابی شده، که قبلاً بوسیله روش XRD شناسایی شده بودند، استفاده گردید (روش single-particle analysis).



شکل ۵: الکترون میکروگرافهای نمونه خالص سازی شده خاک صنعتی بوبین زهرا. در این تصاویر اجتماعات گلبرگی شکل و نامنظم از کانی مخلوط لایه ایلیت/مونتموریلونیت فلسی شکل قابل مشاهده می باشد

جدول ۱: نتایج آنالیز کمی نقطه ای انجام شده بر روی برخی کانیهای ایلیت/مونتموریلونیت توسط طیف سنج WDX (بر حسب درصد وزنی wt/)

Sample	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%MgO	%CaO	%Na ₂ O	%K ₂ O
۱	۵۲.۲۳	۲۲.۵۵	۹.۱۶	۰.۶۹	۰.۶۰	۰.۴۲	۱۴.۳۴
۲	۶۴.۴۸	۱۳.۳۸	۶.۲۲	۰.۵۶	۱.۵۹	۰.۲۴	۸.۵۲
۳	۶۸.۵۱	۲۱.۲۵	۱.۶۰	۰.۷۷	۰.۷۰	۳.۱۲	۴.۰۶
۴	۷۷.۶۹	۱۴.۱۵	۲.۱۶	۰.۸۸	۰.۹۶	۰.۲۷	۳.۸۹

جدول ۲: فرمول ساختمانی چهار نمونه از کانیهای ایلیت/مونتموریلونیت موجود در خاک صنعتی بوبین زهرا

نمونه	شکل استوکیومتری	بار لایه ای	بار بین لایه ای
۱	$\text{Na}_{0.05}\text{K}_{1.21}\text{Ca}_{0.04}(\text{Si}_{3.46}\text{Al}_{0.54})(\text{Al}_{1.22}\text{Fe}_{0.46}\text{Mg}_{0.07})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	۱.۳۵۲۲	۱.۳۵۲۲
۲	$\text{Na}_{0.03}\text{K}_{0.67}\text{Ca}_{0.11}(\text{Si}_{4.30})(\text{Al}_{0.98}\text{Mg}_{0.05}\text{Fe}_{0.29})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	۰.۹۱۱۶	۰.۹۱۱۳
۳	$\text{Na}_{0.36}\text{K}_{0.31}\text{Ca}_{0.04}(\text{Si}_{4.10})(\text{Al}_{1.50}\text{Mg}_{0.07}\text{Fe}_{0.07})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	۰.۷۶۱۳	۰.۷۶۱۳
۴	$\text{Na}_{0.03}\text{K}_{0.29}\text{Ca}_{0.06}(\text{Si}_{4.55})(\text{Al}_{0.98}\text{Mg}_{0.08}\text{Fe}_{0.10})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	۰.۴۴۱۴	۰.۴۴۱۲

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی به روش XRF سه نمونه از خاک مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. این نتایج بیانگر پتاسیک بودن خاک صنعتی بوبین زهرا است که بدلیل حضور غالب کانی ایلیت در آن است.

جدول ۳: نتایج آنالیز شیمیایی سه نمونه معرف از خاک صنعتی بوبین زهرا (برحسب درصد وزنی %wt)

نمونه	۱	۲	۳
%SiO ₂	۷۰.۸۲	۷۱.۱۹	۷۱.۵۶
%Al ₂ O ₃	۱۳.۰۰	۱۲.۳۲	۱۲.۴۹
%Fe ₂ O ₃	۲.۳۵	۲.۰۵	۲.۱۳
%TiO ₂	۰.۲۸	-	-
%CaO	۲.۹۸	۲.۶۵	۲.۵۵
%MgO	۰.۲۱	۰.۷۱	۰.۶۶
%Na ₂ O	۰.۹۴	۱.۱۲	۱.۰۹
%K ₂ O	۳.۴۱	۲.۹۵	۲.۹۸
%LOI	۶.۷۰	۶.۹۲	۶.۴۰

از بین خواص فیزیکومکانیکی مختلف خاک، شش خاصیت اصلی استحکام خمشی خام، خشک و پخت، جذب آب، انقباض خطی و رنگ بعد از پخت، به روشهای استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفتند [۴]؛ که میانگین و انحراف معیار مقادیر هر یک از خواص اندازه گیری شده در جدول ۴ نمایش داده شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می شود، خواص فنی خاک در سه رژیم پخت مختلف، مطابق با شرایط پخت کارخانجات مصرف کننده، مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شده اند.

جدول ۴: خواص فیزیکومکانیکی بدنه های آزمایشی خاک صنعتی بوبین زهرا در شرایط پخت مختلف

خواص فیزیکومکانیکی	شرایط پخت بطئی در دمای ۱۰۵۰°C	شرایط پخت سریع در دمای ۱۰۹۰°C	شرایط پخت سریع در دمای ۱۲۰۰°C
استحکام خام (kgf/cm ²)	میانگین=۶.۳۹ انحراف معیار=۲.۹۹	-	-
استحکام خشک (kgf/cm ²)	میانگین=۲۱.۰۲ انحراف معیار=۸.۷۶	-	-
استحکام پخت (kgf/cm ²)	میانگین=۱۶۷.۰۰ انحراف معیار=۲۲.۶۳	میانگین=۱۹۴.۹۵ انحراف معیار=۴۹.۵۷	میانگین=۳۰۷.۹۰ انحراف معیار=۲.۹۷
جذب آب (%)	میانگین=۱۴.۸۴ انحراف معیار=۲.۱۴	میانگین=۱۵.۶۷ انحراف معیار=۲.۷۴	میانگین=۴.۶۵ انحراف معیار=۰.۲۱
انقباض بعد از پخت (%)	میانگین=۱.۲۸ انحراف معیار=۰.۵۴	میانگین=۰.۹۹ انحراف معیار=۰.۴۵	میانگین=۴.۶۵ انحراف معیار=۰.۹۲
رنگ بعد از پخت	کرم روشن	کرم آجری	قهوه ای سبزرگون

نتیجه گیری

- (۱) ترکیب کانی شناسی نمونه معرف خاک صنعتی بوبین زهرا شامل دو دسته کانیهای اصلی و فرعی بدین شرح می باشد: کانیهای اصلی شامل رس مخلوط لایه ایلیت/مونتموریلونیت، کائولینیت، کوارتز و کانیهای فرعی شامل کلریت آهن دار، پتاسیم فلدسپات، دولومیت و کلسیت.
- (۲) فرمول ساختمانی متوسط کانیهای رسی مخلوط لایه ایلیت/مونتموریلونیت موجود در خاک مورد مطالعه عبارت است از: $(\text{Na}_{0.12}\text{K}_{0.62}\text{Ca}_{0.06})\text{Si}_{4.1}(\text{Al}_{1.3}\text{Fe}_{0.23}\text{Mg}_{0.07})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.
- (۳) ترکیب شیمیایی متوسط نمونه معرف خاک صنعتی بوبین زهرا به قرار جدول ۵ است.
- (۴) باتوجه به ترکیب کانی شناسی و شیمیایی، خاک صنعتی بوبین زهرا را می توان در گروه خاکهای صنعتی ایلیتی قرارداد.
- (۵) عمده ناخالصی آهن این خاک که سبب بروز رنگ بعد از پخت تیره آن می شود، بصورت آهن دو ظرفیتی در داخل شبکه کانی های رسی ایلیت/مونتموریلونیت و کلریت قرار دارد.
- (۶) خواص فیزیکومکانیکی اندازه گیری شده در بدنه های آزمایشی نشان می دهد که خاک صنعتی بوبین زهرا جهت استفاده در ساخت بدنه های کاشی دیوار و کاشی کف، حتی در شرایط پخت سریع (منوپروزا)، به لحاظ ویژگی های فنی بسیار مطلوب می باشد. ولی بدلیل رنگ بعد از پخت تیره، مصرف آن در تولید بدنه های سفید کاشی دیوار و نیز بدنه های قرمز کاشی کف بصورت محدود امکان پذیر است.

جدول ۵: ترکیب شیمیایی متوسط نمونه معرف خاک صنعتی بوبین زهرا

اکسید	درصد وزنی
SiO ₂	۷۱.۱۹
Al ₂ O ₃	۱۲.۶۰
Fe ₂ O ₃	۲.۱۸
CaO	۲.۷۳
MgO	۰.۵۳
Na ₂ O	۱.۰۵
K ₂ O	۳.۱۱
L.O.I	۶.۶۶

منابع

1. Moore D.M., Reynolds R.C., *"X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals"*, Oxford University Press (1999) p.332.
2. Wilson M.J., *"Clay Mineralogy: Spectroscopic and Chemical Determinative Methods"*, Chapman & Hall (2004) p.367.
3. Smykatz K.W., *"Differential Thermal Analysis"*, Spring- Verlag (1994).
4. هیئت مؤلفان، *"آزمایشات استاندارد کاشی"*، شرکت مهندسی سرامیک وشیشه ایران، تهران (۱۳۸۳).

Archive of SID