

مطالعه تاثیر افزودن ماده تالک به ترکیب انگوب کاشی سرامیکی بر میزان جذب آب و خواص فیزیکی آن

الهام رزاقی^۱، محسن خواجه امینیان^{۲*}، حکیمه زارع^۲

^۱ کارشناسی ارشد، آزمایشگاه نانورنگدانه‌ها و پوشش‌های سرامیکی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۲ استادیار، آزمایشگاه نانورنگدانه‌ها و پوشش‌های سرامیکی، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران

* kh.aminian@yazd.ac.ir

چکیده:

از معیارهای مهم برای ارزیابی سرامیک‌های ساختمانی میزان جذب آب آنهاست. جذب آب در سرامیک موجب کاهش زیبایی و جذابیت لعاب از بدنی است. میزان تخلخل‌های موجود در ساختار انگوب و بدنی از عناصر اثرگذار در جذب آب کاشی سرامیکی است. وجود حفره‌ها و کانال‌های مویرگی، امکان انتقال آب به سطح کاشی و سرامیک‌ها را باعث می‌شود. بنابراین از راه‌های مناسب برای بهبود و کنترل جذب آب، تغییر سطح کاشی و سرامیک‌ها را انتگرال افزودن مواد گدازآور است. در این پژوهش، اثر افزودن تالک در ترکیب انگوب و همچنین افزودن مواد $\text{GMO}_4(\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ به سه فریت معمول مورد استفاده در صنعت شامل فریت کلسیمی، فریت دولومیتی و فریت GMO_4 به منظور کنترل جذب آب در ساختار انگوب بررسی شده است. مواد اولیه ساخت انگوب شامل فریت و برخی افزودنی‌ها درون دستگاه آسیاب گلوله‌ای آسیاب شدند. مخلوط حاصل پس از اعمال بر روی بدنی به مدت ۴۵ دقیقه در کوره خط تولید سرامیک با دمای 1121°C قرار داده شد. آزمایش‌های مانند اندازه‌گیری درصد جذب آب، استحکام خمشی، درصد انتباخت‌ها و رنگ سنجی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر ترکیب فریت، جذب آب و همچنین سفیدی سطح لعاب تغییر کرده است. همچنین با افزودن تالک، اثر کاهش جذب آب در سه نمونه شامل فریت‌های مختلف مشاهده می‌شود. استحکام خمشی با افزودن تالک بیشتر و سفیدی (*) نمونه‌ها کاهش یافته است. نمونه‌های آماده شده توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته‌اند. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها نشان می‌دهد با افزودن تالک ذرات انگوب سیتر و به یکدیگر چسبیده اند و راه نفوذی آب کمتر شده است.

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۷

پذیرش: ۱۸ آذر ۱۳۹۷

کلید واژه:

تالک، فریت، جذب آب، انگوب، دولومیت، کاشی سرامیکی.

این محصولات به حفظ بهداشت محیط کمک کرده و از نفوذ رطوبت جلوگیری می‌کنند. کاشی، فرآورده‌ای سرامیکی، متشکل از دانه‌های ظریف متبلور و متخلخل است که معمولاً در دماهای بالاتر از 1000°C پخت داده می‌شود.

۱- مقدمه

یکی از محصولات سرامیکی بسیار مهم در صنعت ساختمان، کاشی‌های سرامیکی هستند که به عنوان پوشش روی دیوارها و یا فضای کف استفاده می‌شود. علاوه‌بر جنبه تزئینی،



آب کاشی‌ها انجام شده است. بر طبق گزارش‌ها، استفاده از مواد گدازآور [۴]، نانومواد [۹] و همچنین تغییر در ترکیبات انگوب [۴] می‌توان جذب آب را در کاشی کاهش داد. در بدن‌های سرامیکی از فلدسپار، به عنوان گدازآور یا کمک ذوب استفاده می‌شود هنگامی که بدن پخت می‌شود فلدسپار ذوب شده و شیشه مذاب تشکیل می‌دهد [۱۰]. فریت ترکیب سرامیکی است که پس از ذوب و سرد شدن به ذرات شیشه‌ای تبدیل گردیده‌اند [۴]. در اینجا از فریت‌ها در ساختار انگوب و لعاب استفاده شده است که نقش کمک ذوب را دارند و موجب حل شدن مواد در زمینه شیشه‌ای می‌شوند [۴] و همچنین از تالک به عنوان مواد نیمه پلاستیک استفاده شده است [۱۱]. بر طبق گزارش‌ها، بدن‌های ساخته شده از تالک نسبت به شوک حرارتی مقاومت زیادی دارند [۱۲]. در این پژوهش، اثر افزودن تالک ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) به سه فریت معمول مورد استفاده در صنعت شامل فریت کلسیمی، فریت دولومیتی و فریت GMO_4 به منظور کنترل جذب آب در ساختار انگوب بررسی شده است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد

مواد استفاده در این پژوهش، از مواد صنعتی کارخانه از شرکت کیمیکس هستند. مواد به کار رفته در ساختار انگوب، شامل سه نوع فریت، کائولن (KCC)، بال‌کلی (KOC-P)، فلدسپار (BLC)، سیلیسیس (SiO_2)، کائولن (KCR)، تالک، فلدسپار پتاسیک، زیرکون و سدیم تری پلی فسفات^۱ استفاده شده است.

انگوب از نظر خواص نوری رنگدانه‌های سفیدی هستند که در آن پخش شده و با تابش پرتو، بازتاب و شکستهایی در همه جهات ایجاد کرده و موجب شده است که رنگ بدن حذف و قابل مشاهده نباشد، پس سطح انگوب سفید دیده می‌شود [۲،۱]. هرگاه پودر فشرده بدن در دمای کوره که پایین‌تر از نقطه ذوب آن است پخت شود، ذرات پودر به یکدیگر جوش خورده و فضای خالی بین ذرات آن کاهش می‌یابد، ولی ذرات به خوبی زیترن می‌شوند [۳] و تخلخل‌هایی در ساختار کاشی باقی می‌گذارند. وجود این تخلخل‌ها باعث ایجاد راههای نفوذی به سطح کاشی می‌شود. بنابراین هنگامی که کاشی در معرض آب قرار می‌گیرد آب جذب کرده و به دلیل ضریب انبساط متفاوت انگوب و لعاب ممکن است لایه انگوب و لعاب از بدن کاشی به صورت پولکی بلند شود. روش‌های مختلفی به منظور کاهش تخلخل‌ها گزارش شده است [۴]. لعاب سرامیک معمولاً در دمای بالاتر از $1000^{\circ}C$ پخت می‌شوند. اندازه ذرات انگوب نیز بزرگ‌تر از لعاب بوده و در مقیاس میکرومتری است. بنابراین اگر اندازه ذرات به اندازه طول موج نور مرئی تا حدود $5/5$ میکرومتر باشد پشت پوشی انگوب بهتر انجام می‌گیرد [۶،۵]. معمولاً از ترکیبات اکسیدی و سیلیکاتی برای ایجاد سفیدی انگوب استفاده می‌شود [۸،۷]. اصلاح فرمول انگوب با افزودن مواد گداز اور از جمله روش‌هایی است که برای کاهش تخلخل‌ها و بهبود جذب آب می‌توان به کار برد. استفاده از مواد گدار آور باعث می‌شود این مواد در دمای پخت، ذوب شده و کاهش تخلخل‌ها و یکنواخت‌تر شدن ساختار انگوب را باعث می‌شوند. تاکنون پژوهش‌های کمی راجع به کاهش جذب

^۱ STPP



جدول ۲- اجزاء تشکیل دهنده انگوب

C	c	B	b	A	a	مواد
-	-	-	-	۲۴	۲۴	فریت (GMO_4)
-	-	۲۴	۲۴	-	-	فریت دولومیتی
۲۴	۲۴	-	-	-	-	فریت کلسیمی
۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	کائولن (KCR)
۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	بال کلی (KOC-P)
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	فلدسبار (BLC)
۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	کائولن (KCC)
۱	۱	۱	۱	۱	۱	زیرکون (ZrSiO_4)
۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	فلدسبار پتاسیک
۶	-	۶	-	۶	-	تالک

در این پژوهش، اثر افزودن تالک در ترکیب انگوب کاشی بررسی شده است. ابتدا ۳ نمونه مرجع با نامهای a، b و c ساخته شد که به ترتیب در ترکیب آن فریت GMO_4 ، فریت دولومیتی و فریت کلسیمی به میزان یکسان به کار رفته است. سپس به نمونه های مرجع ۶ گرم تالک (از معادن جندق اصفهان) افزوده شد و به ترتیب A، B و C نامیده شدند. در مراحل ساخت کاشی، بعد از لایه انگوب، لایه عاب قرار گرفته است که ترکیبات آن به همراه درصد وزنی آنها در جدول ۳ بیان شده است. همچنین اجزاء تشکیل دهنده فریت GMO_4 به کار رفته، در جدول ۴ آمده است. در فریت کلسیمی ۶۰ درصد کلسیم کربنات و در فریت دولومیتی ۶۰ درصد دولومیت استفاده شده است. بقیه مواد درون فریت GMO_4 در فریت کلسیمی و فریت دولومیتی نیز با نسبت متفاوت موجود است.

ترکیبات شیمیایی مواد رسی با استفاده از داده های تولید کننده مواد بر حسب درصد در جدول ۱ نشان داده شده است. مواد خام استفاده شده در ساختار انگوب همراه با وزن آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. از سه نوع فریت کلسیمی (۶۰٪ کلسیم کربنات)، فریت دولومیتی (۶۰٪ دولومیت) و فریت GMO_4 (۱۶٪ درصد کلسیم کربنات) استفاده شده است. لازم به ذکر است که از سدیم تری پلی فسفات جهت روانسازی دوغاب استفاده شده است.

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی برخی از مواد استفاده شده در ساختار انگوب

ترکیبات شیمیایی	پتاسیک (KCC)	کائولن (KCR)	بال کلی	فلدسبار	کائولن کائولن	پتاسیک بال کلی
۵۰	۶۱±۱	۶۹±۱	۷۴,۹۱	۵۲,۴۴	۵۲,۴۴	۵۰ SiO ₂
۱۰	۲۶±۱	۲۱±۰,۵	۱۴,۷۲	۲۹,۴۹	۲۹,۴۹	۱۰ Al ₂ O ₃
≤ ۰,۲	<۰,۳	۰/۳۵	۰,۱۳	۱,۲۳	۱,۲۳	≤ ۰,۲ Fe ₂ O ₃
-	<۰,۲	<۰,۲	۰,۰۳	۱,۱۸	۱,۱۸	- TiO ₂
-	<۰,۵	<۰,۶	۰,۷۸	۱,۰۸	۱,۰۸	- CaO
۳۰	<۰,۱۵	<۰,۲	۰,۰۹	۰,۲۴	۰,۲۴	۳۰ MgO
-	<۰,۲	<۰,۳	۳,۶۴	-	-	- Na ₂ O
-	۳±۰,۵	۳±۰,۵	۵,۱۷	۰,۷۷	۰,۷۷	- K ₂ O
-	-	-	<۰,۰۱	۰,۲۸	۰,۲۸	- SO ₃
۸	۶±۱	۵±۰,۵	۰,۳	۱۲,۵۷	۱۲,۵۷	۸ LOI
-	-	-	۰,۰۱	-	-	- MnO
-	-	-	۰,۳۴	۰,۲	۰,۲	- P ₂ O ₅



۲-۲- روش کار

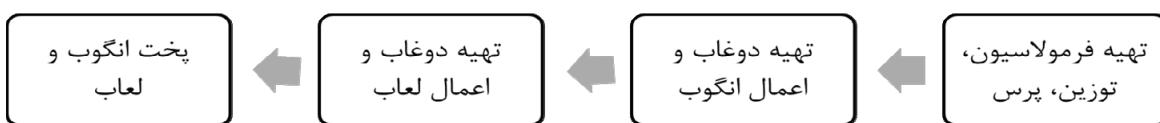
نمونه‌های ساخته شده در این تحقیق، براساس ساخت نمونه‌های کاشی، شامل بیسکوئیت، انگوب و لعب است که مراحل ساخت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در ابتدای آزمایش، مواد لازم برای ساخت انگوب و لعب مطابق جدول ۱ و ۳ وزن شده و همراه با ۴۰ میلی‌لیتر آب در بالمیل به مدت ۲۵ دقیقه قرار داده شد تا مواد به طور همگن با هم مخلوط شود و دوغاب یکدست تهیه شود. به منظور یکسان سازی ویسکوزیته و چگالی دوغاب‌ها نسبت به دوغاب نمونه مرجع، به بعضی از دوغاب‌ها مقدار کمی آب افزوده شد. سپس دوغاب از صافی با حفره‌های به قطر ۱/۷۷ میلی‌متر عبور داده شدند. انگوب ساخته شده بر روی بدنه با استفاده از وسیله‌ای به نام اسلش به صورت دستی لایه‌نشانی شدند. اسلش قالب مستطیلی شکلی است که مواد انگوب در آن ریخته شده و به صورت دستی با سرعت یکسان بر روی بدنه کاشی لایه‌نشانی شدند. به منظور پخت نمونه‌ها، کاشی‌های حاصله به روش تک پخت و با استفاده از کوره صنعتی با طول ۱۰۰ متر با دمای 1134°C در مدت زمان ۴۲ دقیقه پخت شده‌اند.

جدول ۳- اجزاء تشکیل دهنده لعب لایه نشانی شده بر روی بدنه

مواد	درصد وزنی	روی بدنه
فریت (کلسیمی)	۸۰	
کائولن (KCC)	۱۵	
زیرکون (ZrSiO_4)	۲	
آلومینا (Al_2O_3)	۳	
STPP	۰/۱۵	
چسب (CMC)	۰/۱۵	

جدول ۴- اجزاء تشکیل دهنده فریت GMO_4 استفاده شده در کاشی سرامیکی

ترکیب فریت	درصد وزنی
سیلیس (SiO_2)	۲۸
پتاسیک فلدسپار	۲۴
کلسیم کربنات (CaCO_3)	۱۶
زیرکون (ZrSiO_4)	۶
دولومیت	۹/۵
براکس	۴/۵
کائولن (KCC)	۱۰
سدیم کربنات (Na_2CO_3)	۲
باریم کربنات (BaCO_3)	۱



شکل ۱- مراحل ساخت کاشی سرامیکی

رنگ سنج Minolta Konica اندازه‌گیری شد و میزان بازتاب نوری و خواص فیزیکی سطح بررسی شد. برای بررسی ریزساختارها از نمونه‌ها تصاویر SEM با استفاده از

۳-۲- مشخصه‌یابی نمونه‌ها

در ادامه، خواص نوری، میزان جذب آب، مقاومت خمی نمونه‌ها بررسی شدند. ضرایب رنگ با استفاده از دستگاه



قرارگیری در کوره) و L_3 قطر قرص بعد از پخت در کوره است. همچنین جرم کاهش یافته بر اثر حرارت با استفاده از رابطه $(W_3 - W_2)$ اندازه گیری شدند که در اینجا وزن قرص بعد از خارج شدن از کوره و W_2 وزن قرص قبل از کوره است. استحکام خمی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Ceramic instrument MOR/3.E مدل ۳.۵ اندازه گیری شد.

۳- نتایج و بحث

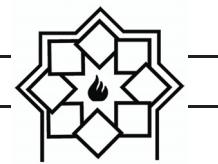
مطالعه ریز ساختار و ریخت شناسی سطح انگوب نمونه‌ها از طریق تصاویر میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. شکل ۲، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های مرجع a، b، c و نمونه‌های شامل تالک A، B و C نشان داده شده است. تصویر ۲ (الف) تصویر SEM نمونه a (مرجع)، ۲ (ب) نمونه A، ۲ (پ) نمونه b و ۲ (ت) نمونه B، ۲ (ث) نمونه c (مرجع) و ۲ (ج) نمونه C است. سطح انگوب نمونه‌های مرجع، دارای تخلخل‌های زیادی است و همچنین کلوخه‌ای شدن ذرات را نشان می‌دهد. بعد از افزودن تالک به نمونه‌های مرجع، تخلخل‌ها کاهش یافته است و بر طبق تصاویر ذرات نسبتاً به خوبی سینتر شده و به هم چسبیده‌اند. در مقایسه تصاویر زیر مشاهده می‌شود که نمونه مرجع a دارای تخلخل‌های کمتری است و نمونه c دارای بیشترین تخلخل‌ها را در بین نمونه‌ها دارد و با افزودن تالک مشاهده می‌شود که نمونه A کمترین تخلخل‌ها را دارد.

دستگاه مدل VEGA3 TESCAN تهیه شد. همچنین برای بررسی ساختار بلوری نمونه‌ها آنالیز پراش اشعه X با استفاده از دستگاه XPertPro انجام شد.

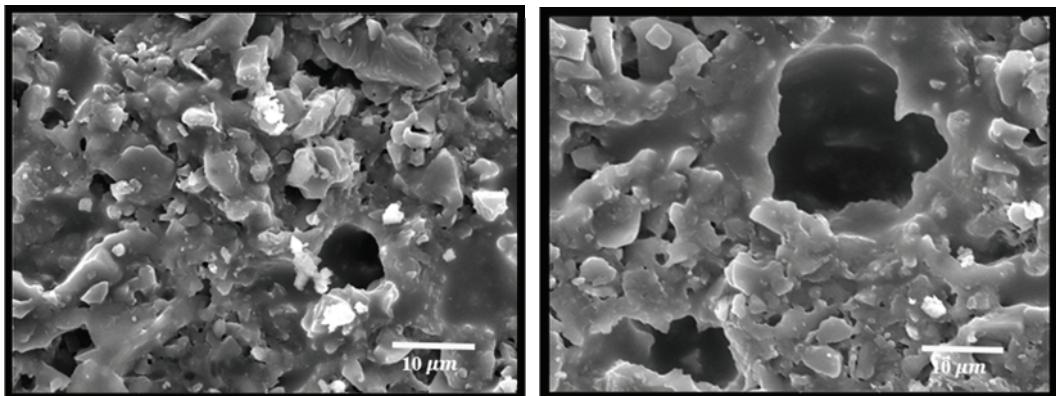
به منظور بررسی میزان جذب آب انگوب، ابتدا قرص‌هایی از ترکیبات انگوب ساخته شدند. برای این منظور مشابه روش ساخت بالا مواد انگوب تهیه شدند و سپس دوغاب‌هایی مربوط به فرمولاسیون‌های ساخته شده در دمای 183°C به مدت ۹۰ دقیقه قرار گرفته شدند تا خشک شوند. سپس با پودر کردن هر یک از ترکیب‌ها و با افزودن ۶٪ وزنی آب به آنها از توری ۱ mm عبور داده شدند. در مرحله بعد، با دستگاه پرس فشاری فشار ۱۵۰ bar اعمال شد و قرص‌هایی با پهنای تقریبی 90 mm و قطر 5 mm ساخته شدند. سپس با قرار دادن نمونه‌ها در خشک کن در دمای 172°C به مدت ۳۰ دقیقه، نمونه‌ها خشک شدند. در نهایت قرص‌ها، درون کوره با دمای 1134°C به مدت ۴۲ دقیقه قرار داده شد.

برای اندازه گیری درصد جذب آب انگوب، قرص‌های ایجاد شده که از کوره خارج شدند، ابتدا توزین شدند و وزن خشک قرص (W_d) در نظر گرفته شدند و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار گرفتند و وزن مرتبط قرص (۲) اندازه گیری شد. با استفاده از فرمول $\frac{W_h - W_d}{W_d} \times 100$ ، درصد انقباض نمونه‌ها از رابطه شدند [۱۲]. درصد انقباض نمونه‌ها از رابطه $\frac{L_2 - L_s}{L_2} \times 100$ محاسبه شد [۱۲].

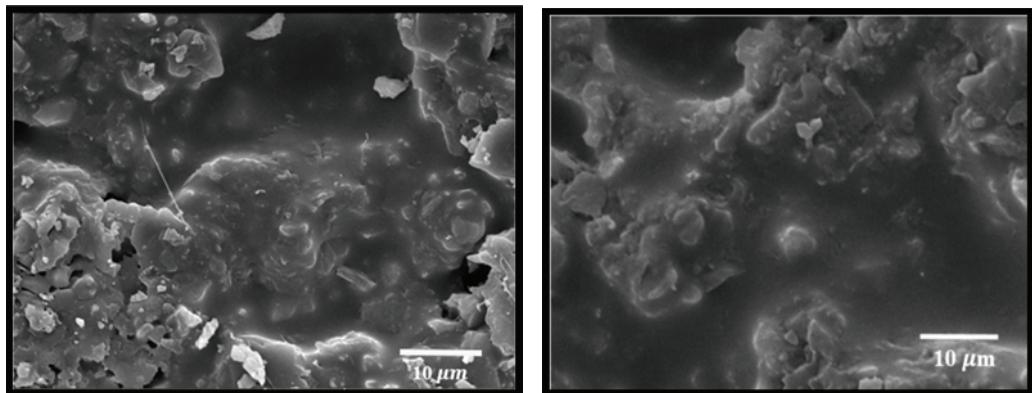
در این رابطه L_2 قطر قرص بعد از خشک شدن (قبل از



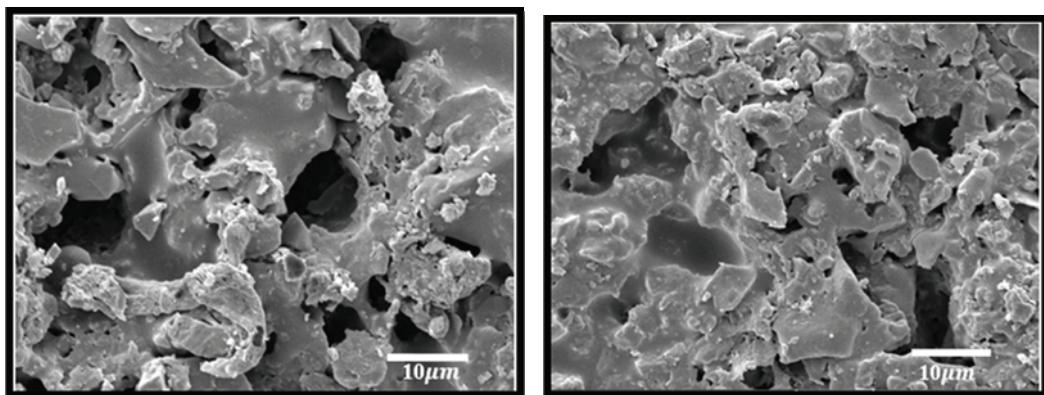
(الف) نمونه مرجع (a)



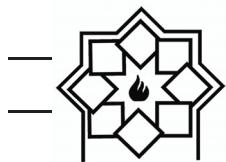
ب) نمونه A



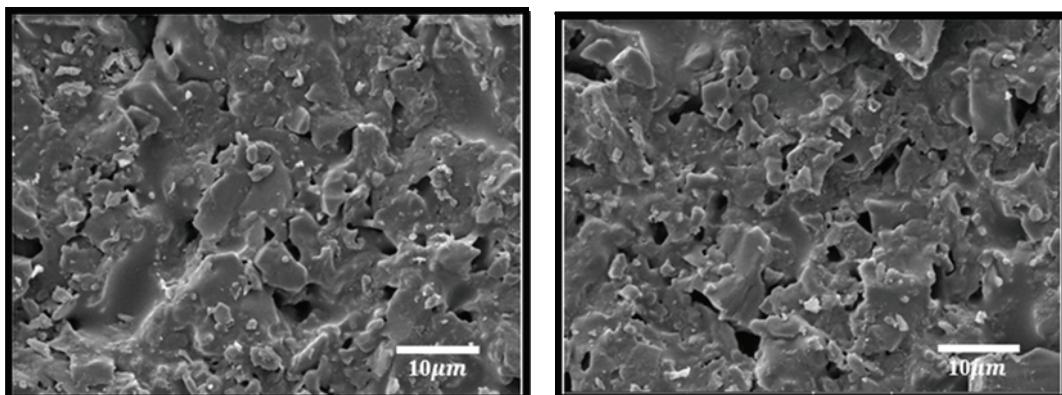
پ) نمونه مرجع b



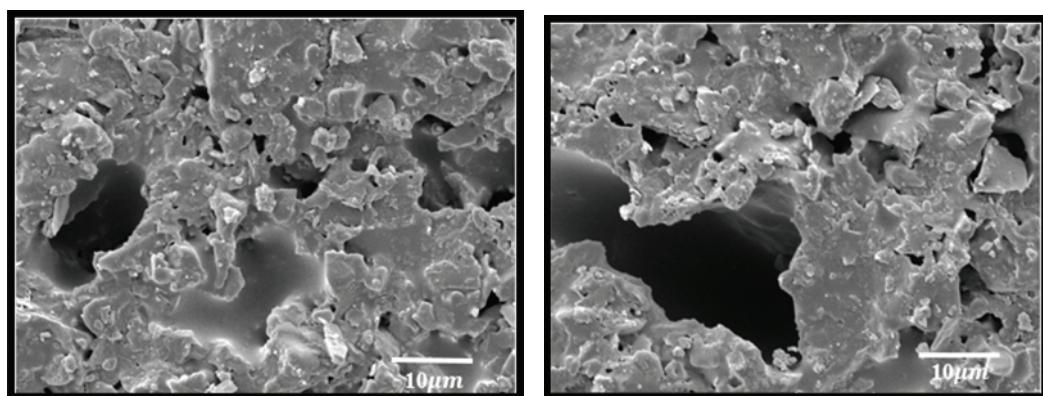
شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح انگوب (الف) مرجع نمونه a [۱۳]، ب) نمونه A، پ) نمونه مرجع b، ت) نمونه B، ث) نمونه مرجع c و ج) نمونه C



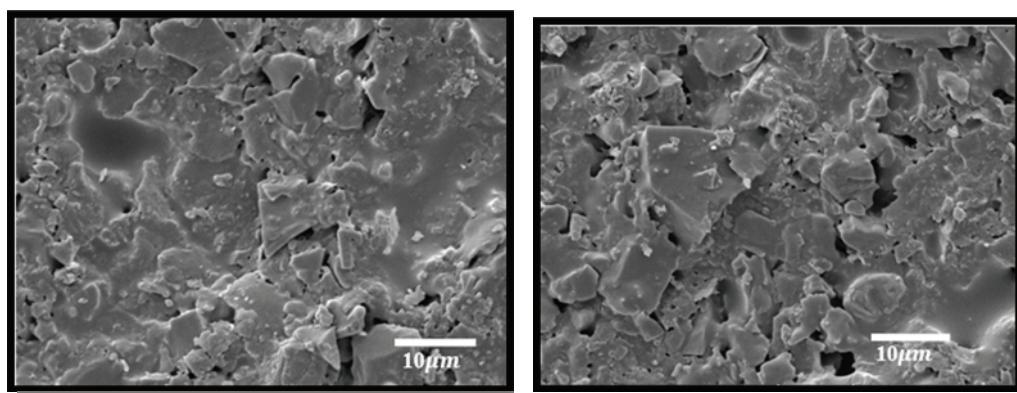
ت) نمونه B



ث) نمونه مرجع C



ج) نمونه C



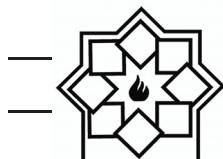
ادامه شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح انگوب (الف) مرجع نمونه a [۱۳]، ب) نمونه A، پ) نمونه مرجع b، ت) نمونه B، ث) نمونه مرجع c و ج) نمونه C



مولکول‌های آب آن می‌تواند خارج شده و سیلیکات منیزیم تشکیل گردد [۱۲]. در اثر این پدیده حفراتی در ماده بوجود می‌آید [۱۵] و ماده می‌تواند کاهش حجم و انقباض داشته باشد. گزارش‌های دیگری نیز نشان می‌دهد در برخی شرایط تشکیل ترکیب انسستاتیت می‌تواند باعث کاهش جذب آب شود [۱۳]. از طرف دیگر برهمکنش تالک با دیگر مواد و ناخالصی‌هایی مانند سدیم و پتاسیم می‌تواند باعث کاهش نقطه ذوب شود. تحقیقات دیگری نشان داده است تالک در پخت رفتار دوگانه نشان می‌دهد. هنگامی که در بدنه سرامیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در دمای زیر 1100°C ایجاد تخلخل می‌کند و بالای 1150°C به عنوان عامل فلاکسی (گدازآور) عمل می‌کند. تالک باعث کاهش ضریب انبساط حرارتی می‌شود. همچنین می‌تواند مقاومت مکانیکی را تا 30% افزایش دهد [۱۶].

انقباض کاشی مشخصه کاهش تخلخل و در هم فروافتگی ذرات انگوب است که موجب مستحکم شدن بدنه کاشی می‌شود. میزان انقباض نمونه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. W_1 وزن و طول اولیه قرص، W_2 وزن و طول قرص بعد از مرحله خشک شدن، W_3 وزن و طول قرص بعد از مرحله پخت است. بر طبق نتایج (جدول ۵)، با مقایسه میزان انقباض در نمونه‌های مرجع، نمونه‌ی حاوی فریت GMO_4 (نمونه a) دارای بیشترین انقباض نسبت به نمونه‌های b و c است. با افزودن تالک به نمونه‌های مرجع، انقباض افزایش یافته و ساختار فشرده‌ای را ایجاد کرده است. این نشان دهنده کاهش تخلخل‌ها و اتصال ذرات انگوب به یکدیگر است که با نتایج حاصل از تصاویر SEM مطابقت دارد. جرم کاهش یافته بر اثر حرارت

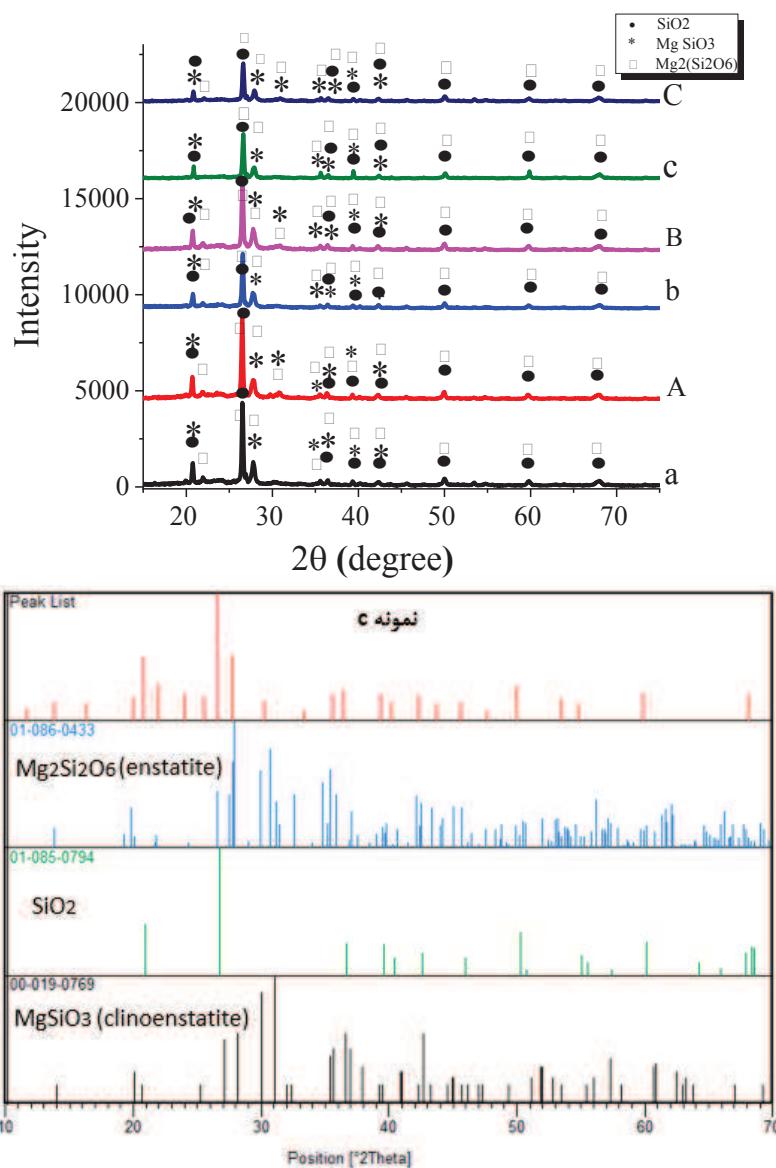
در شکل ۳ نتایج حاصل از آزمایش پراش پرتو ایکس برای تمامی نمونه‌ها نشان داده شده است. در تمامی نمونه، قله‌های مربوط به ترکیبات سیلیس (SiO_2) با شماره کارت ۰۷۹۴-۰۸۵-۱۰۰، انسستاتیت ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) با شماره کارت ۰۴۳۳-۰۸۶-۱۰۰ و کلینوانتستاتیت (MgSiO_3) با شماره کارت ۰۷۶۹-۰۰۰-۱۹۰ ظاهر شده است. برای نمونه‌های GMO_4 شامل فریت کلسیمی، فریت دولومیتی و فریت GMO_4 شدت قله ترکیب MgSiO_3 به ترتیب افزایش یافته است. دلیل این امر واکنش میان اجزاء بوجود آمده از تجزیه ترکیبات موجود در ترکیب انگوب است. منبع منیزیم در نمونه‌های با فریت دولومیتی و فریت GMO_4 ماده دولومیت است. با توجه به اعمال دمای بیشتر از 1400°C برای ساخت فریت، امکان جدا شدن منیزیم از کربنات و CaO موجود در ترکیب دولومیت وجود دارد. با آزاد شدن منیزیما از دولومیت امکان تشکیل انسستاتیت نیز فراهم می‌شود. گزارش‌هایی تشکیل انسستاتیت از دولومیت در دمای حدود 1000°C را نشان می‌دهد [۱۴]. قله‌های نمونه‌های مرجع با نمونه‌های شامل تالک، با هم تطابق دارند. از تطابق قله‌های طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت تالک موجود در نمونه‌های A، B و C بر اثر حرارت بالا تجزیه شده و به سیلیس، انسستاتیت ($\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) و کلینوانتستاتیت (MgSiO_3) تبدیل شده است. تالک از هیدرات منیزیم سیلیکات تشکیل شده است و دارای فرمول شیمیایی زیر $(\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ است. همچنین یکی از نرم‌ترین کانی‌هاست که ساختار سه لایه‌ای داشته و پیوند بین لایه‌ها از نوع پیوندهای واندروالسی است. هنگام حرارت‌دهی این ماده تا دمای 950°C



وضعیت، لایه انگوب و لعاب را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با افزودن تالک روشنایی نمونه‌ها، نسبت به نمونه مرجع کمتر شده است. ولی با افزودن فریت دولومیتی و کلسیمی به ترتیب روشنایی انگوب و لعاب افزایش یافته است.

(LOI) نیز اندازه‌گیری شد. کاهش تخلخل‌ها پس از افزایش تالک را می‌توان به دلیل تجزیه تالک دانست که با خروج آب از ترکیب تالک و تولید گونه‌های جدید از آن حفره‌های ساختار نیز کاهش می‌یابند [۱۶].

جدول ۶ شاخص رنگ‌سننجی نمونه‌های کاشی را در دو



شکل ۳- (الف) طیف‌های پراش اشعه ایکس نمونه‌های انگوب (ب) نمودار تحلیل قله‌های پراش نمونه c (مثال)



جدول ۵- درصد انقباض قرص‌های انگوب

W ₁	L ₁	W ₂	L ₂	W ₃	L ₃	Shrinkage	LOI	نمونه
۷۹,۷۴	۹۰,۶۸	۷۶,۷۱	۹۰,۷۰	۷۴,۱۰	۸۷,۸۸	۳,۱۱	۶۱۲	a
۸۱,۶۹	۹۰,۶۰	۷۸,۶۷	۹۰,۷۰	۷۵,۹۰	۸۶,۵۸	۴,۵۴	۲,۷۷	A
۸۲,۶۷	۹۰,۶۴	۷۹,۷۳	۹۰,۷۲	۷۶,۸۷	۸۸,۰۰	۳,۰۰	۲,۸۶	b
۸۲,۲۶	۹۰,۶۸	۷۸,۸۸	۹۰,۷۰	۷۵,۷۸	۸۷,۰۰	۴,۰۷	۳,۱۰	B
۸۲,۹۶	۹۰,۶۶	۷۸,۵۹	۹۰,۷۲	۷۵,۳۷	۸۸,۴۶	۲,۴۹	۳,۲۲	c
۸۲,۱۷	۹۰,۶۶	۷۹,۰۹	۹۰,۷۰	۷۵,۶۴	۸۷,۰۰	۴,۰۷	۳,۴۵	C

جدول ۶- رنگ‌سنجی نمونه‌های انگوب و لعاب

لعاب			انگوب			نمونه
L*	a*	b*	L*	a*	b*	
۶۶,۵	-۴,۱	۱۲,۵	۶۲,۲	-۲,۰	۱۲,۴	a
۶۵,۳	-۴,۱	۱۲,۰	۶۱,۲	-۲,۱	۱۲,۵	A
۶۷,۲	-۴,۲	۱۳,۱	۶۲,۴	-۱,۶	۱۳,۰	b
۶۶,۲	-۴,۲	۱۲,۷	۶۱,۷	-۱,۹	۱۳,۰	B
۶۷,۷	-۴,۰	۱۳,۲	۶۳,۱	-۱,۷	۱۲,۶	c
۶۶,۵	-۴,۲	۱۲,۷	۶۲,۴	-۱,۷	۱۲,۸	C

نمونه‌های بدون تالک را می‌توان به دلیل تشکیل ترکیب $MgSiO_3$ در اثر افزودنی‌ها دانست. گزارش‌ها نشان می‌دهد در برخی شرایط تشکیل ترکیب انسستاتیت می‌تواند باعث کاهش جذب آب شود [۱۳].

نتایج حاصل از اندازه‌گیری استحکام خمی نمونه‌ها در جدول ۸ نشان داده شده است. همانگونه که از جدول استنباط می‌شود، نمونه a که دارای فریت GMO_4 است استحکام خمی بزرگتری نسبت به دو نمونه مرجع دیگر دارد. از طرفی، با افزودن تالک به نمونه‌های مرجع، استحکام خمی نمونه به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش

حاصل از جذب آب نمونه‌ها را نشان می‌دهد. از بین نمونه‌های مرجع a دارای کمترین جذب آب نسبت به نمونه‌های مرجع b و c است. بنابراین در میان فریت‌ها، فریت GMO_4 باعث ایجاد ساختاری با تخلخل کمتر می‌شود. از طرفی افزودن تالک به نمونه‌های مرجع، کاهش جذب آب را به همراه دارد. به طوری که میزان جذب آب تقریباً به نصف رسیده است. بر طبق داده‌ها همانطور که انتظار می‌رود نتایج حاصل با داده‌های مربوط به درصد انقباض و تصاویر SEM نمونه‌ها مطابقت دارد. کاهش جذب آب در نمونه‌های شامل تالک نسبت به دیگر



تشکیل ساختار جدید از تجزیه تالک می‌تواند باعث انقباض طول، کاهش حفره‌ها، کاهش جذب آب و افزایش استحکام خمشی گردد.

یافته است. این پدیده نشان می‌دهد که تالک باعث می‌شود تخلخل‌ها در انگوب کاهش یافته و ساختار یکدست‌تر و یکنواخت‌تر شود. بنابراین افزایش استحکام را به دنبال دارد.

جدول ۷- جذب آب نمونه‌های انگوب

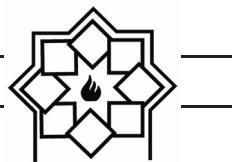
نمونه	W _d	W _h	درصد جذب آب
a	۷۴,۱۰	۷۸,۸۶	۶,۴۲
A	۷۵,۹۰	۷۸,۵۶	۳,۵۰
b	۷۶,۸۷	۸۳,۰۱	۷,۹۹
B	۷۵,۷۸	۷۸,۹۰	۴,۱۲
c	۷۵,۳۷	۸۲,۵۳	۹,۵
C	۷۵,۶۴	۷۹,۳۶	۴,۹۲

جدول ۸- استحکام خمشی نمونه‌های انگوب

نمونه	نیروی شکست (N)	استحکام خمشی (N/cm ²)
a	۷۱۴,۱۲۸	۲۶,۴۳
A	۹۵۳,۶۲	۳۵,۲۵
b	۶۳۹,۲۴۱	۲۳,۴۸
B	۸۹۸,۴۹۹	۳۳,۰۴
c	۵۶۶,۴۴	۲۰,۸۹
C	۷۸۲,۸۹۷	۲۸,۷۶

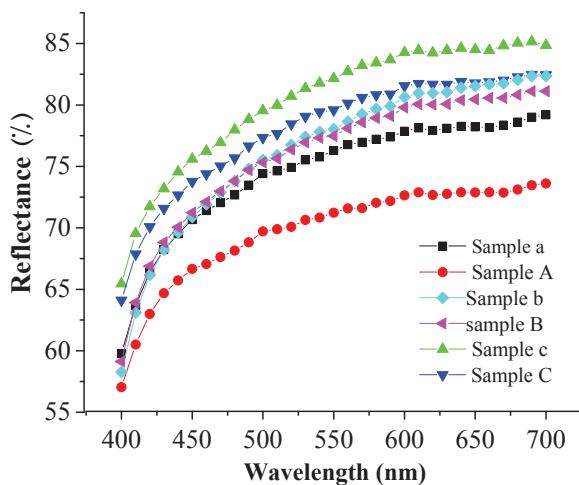
در نمونه مرجع که بیشترین جذب آب را داشته است (جدول ۷) دارای کمترین زمان عبور جوهر (۲۵ دقیقه است). با افزودن تالک مدت زمان عبور جوهر افزایش می‌یابد. این نتیجه حاکی از این است که افزودن تالک باعث کاهش کانال‌ها و راه‌های نفوذی در ساختار انگوب می‌شود و بنابراین زمان بیشتری طول می‌کشد تا جوهر به سطح لعب برسد. دیگر نمونه‌ها دارای جذب آب بالاتری بودند، عبور جوهر در آن‌ها اندازه‌گیری نشده است.

شکل ۴ طیف بازتاب نوری بر حسب طول موج برای نمونه‌ها نشان داده شده است. سطح زیر نمودار نمونه C به ترتیب بیشتر از نمونه مرجع b و a است. همچنین مشاهده می‌شود با افزودن تالک میزان روشنی نمونه‌ها کاهش یافته است. نتایج حاصل از آزمایش عبور جوهر متیلن بلو بر روی لعب نمونه‌های کاشی در جدول ۹ نشان داده شده است. انتظار می‌رود، نمونه‌ای که دارای جذب آب پایین‌تری است، زمان بیشتری طول بکشد تا متیلن بلو بر روی لعب مشاهده شود.



جدول ۱۰ نشان داده شده است. مقاومت به سایش همه نمونه ها مورد قبول بوده است.

آزمایش مقاومت به سایش نمونه ها برای کلاس سایش ۲ (سایش سطح با چرخش ۶۰۰ دور بر دقیقه) انجام شد و در



شکل ۴- طیف بازتاب نمونه های انگوب

جدول ۹- مدت زمان عبور جوهر

نمونه	مدت زمان مشاهده جوهر (دقیقه)
۳۷	a
۴۵	A
۳۰	b
۳۲	B
۲۵	c
۳۰	C

جدول ۱۰- آزمایش مقاومت سایش نمونه های انگوب

نمونه	کلاس سایش
a	موردن قبول
A	موردن قبول
b	رد
B	موردن قبول
c	رد
C	رد



مراجع

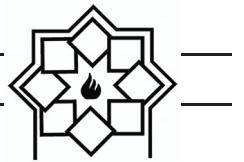
- [1] Y. H. Cuff, Ceramic Technology for Potters and Sculptors, A&C Black limited, 1996.
- [2] C. A. Harper, Handbook of Ceramic, Glasses and Diamonds, McGraw-Hill, 2001.
- [3] David W. Richerson, "Modern Ceramic Engineering, processing and use in design", New York; Basel: M. Dekker, cop, Vol2, 1992.
- [4] M. Dal Bo, A. M. Bernardin, D. Hotza , "Formulation of ceramic engobes with recycled glass using mixture design", Journal of Cleaner Production, Vol 69 , pp. 243-249, 2014.
- [5] R. A. Eppler, D. R. Eppler, Glaze and Glass Coatings, "The American ceramic society", Weaterville, Ohio, 2000.
- [6] F. Karam pour rad, M. Khajeh Aminian, M. Hakimi," Study the Effect of Substitution of Zirconium Silicate in the Ceramic Glaze by Aluminum Silicate, MgO, CaO and Al₂O₃ on the Optical Properties", Journal of Color Science and Technology, 2014.
- [7] N. Kiomarsipour, R. Shoja Razavi, K.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها نشان می‌دهد، با افزودن تالک در ترکیب انگوب کاشی سرامیکی میزان تخلخل کاهش یافته که کاهش جذب آب و افزایش درصد انقباض نمونه‌ها را باعث شده است. به دلیل اینکه ساختار یکنواخت‌تر شده، افزایش استحکام خمشی را نیز به همراه داشته است. ولی روشنی سطح نمونه‌ها کاهش یافته است. با به کار بردن فریت دولومیتی در ساختار انگوب روشنی سطح نمونه افزایش یافته است و با افزودن تالک (B) جذب آب مورد قبولی را در صنعت کاشی دارد. دلیل کاهش جذب آب نمونه‌های با فریت GMO_4 افزایش شدت GMO_4 SiO_2 می‌باشد. همچنین استفاده از فریت GMO_4 در ساختار انگوب نسبت به نمونه‌هایی که از فریت کلسیمی و فریت دولومیتی در ترکیب انگوب به کار گرفته شده است دارای استحکام بالاتر و جذب آب کمتری است. این پدیده همچنین نشان دهنده این است که نمونه دارای تخلخل کمتر است و روشنایی انگوب نیز کاهش یافته است. با افزودن تالک به نمونه‌های مرجع، مشخص شد که به طور قابل ملاحظه‌ای تخلخل‌ها کاهش یافته و ساختار یکنواخت‌تر شده است و مویرگ‌هایی که در ساختار باعث انتقال آب به سطح نمونه می‌شود بسته شده‌اند و افزایش استحکام را نیز به همراه داشته است.

۵- تشکر و قدردانی

از شرکت کاشی مسعود ایران برای همکاری و تامین امکانات و تجهیزات صنعتی مورد نیاز تشکر و قدردانی می‌شود.



- [13] E. Razzaghi, M. Khajeh Aminian, H. Zare, "Study the Physical Properties of Ceramic Tile by Adding Dolomite and Magnesite as Refractory Materials to Engobe Compound" , Journal of Color Science and Technology, Vol 12, pp. 13-21, 1397.
- [14] V. P. Il'ina and G. A. Lebedeva, Glass and Ceramics, Vol. 68, 11, 2012.
- [15] Petr Ptacek, Karel Lang, Frantisek Soukal, Tomas Opravil, Eva Bartonickova, Lukas Tvardik Journal of the European Ceramic Society, Vol 34, pp.515–522, 2014.
- [۱۶] ح. پایدار، "مواد اولیه مصرفی در صنایع سرامیک". نشر غزل، ۱۳۸۴.
- Ghani, "Evaluation of pigment to binder ratio effect on properties of white silicate thermal control paints used on satellite". J. Color Sci. Tech. Vol 7, pp.113-121, 2013.
- [8] N. Kiomarsipour, R. Sh. Razavi, K. Ghani, "Evaluation of optical properties of silicate white thermal control paints employed in spacecraft by taguchi method", J. Color Sci. Tech. Vol 6, pp.197-207, 2012.
- [9] L. Chen, D. F. Lin, "Applications of sewage sludge ash and nano-SiO₂ to manufacture tile as construction material", Construction and Building Materials, Vol 23, pp.3312–3320, 2009.
- [10] f. h. Norton, "elements of ceramics", Addison –Wesley press, 1952.
- [11] S. Imola,"Applied ceramic technology", Editrice La Mandragora s.r.l, Imola, 2002.
- [12] Navin Chandra, Nitin Agnihotri, Sanjeev Bhasin, A. F. Khan, "Effect of addition of talc on the sintering characteristics of fly ash based ceramic tiles", Journal of the European Ceramic Society, Vol 25, pp.81–88, 2005.