فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۲، تابستان ۱۳۹۷

# 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

**اطلاعات مقاله:**

دریافت: ۱۰ اردیبهشت ۱۳۹۷

پذیرش: ۱۸ آذر ۱۳۹۷

**کلید واژه:**

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

**چکیده:**

*از معیارهای مهم برای ارزیابی سرامیک‌های ساختمانی میزان جذب آب آنهاست. جذب آب در سرامیک موجب کاهش زیبایی و جدایی لعاب از بدنه است. میزان تخلخل‌های موجود در ساختار انگوب و بدنه از عناصر اثر گذار 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 در ترکیب انگوب و همچنین افزودن مواد گدازآور است. 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. مواد اولیه ساخت انگوب شامل فریت و برخی افزودنی‌ها درون دستگاه آسیاب گلوله‌ای آسیاب شدند. مخلوط حاصل پس از اعمال بر روی بدنه به مدت ۴۵ دقیقه در کوره خط تولید سرامیک با دمای ۱۱۲۸ °C قرار داده شد. آزمایش‌هایی مانند اندازه‌گیری درصد جذب آب، استحکام خمشی، درصد انقباض‌ها 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 ($L^*$) نمونه‌ها کاهش یافته است. نمونه‌های آماده شده توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته اند. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌ها نشان می‌دهد با افزودن تالک ذرات انگوب سینتر و به یکدیگر چسبیده اند و راه نفوذی آب کمتر شده است.*

## 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، 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 ۱۰۰۰°C پخت داده می‌شود.



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

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 بدنه حذف و قابل مشاهده نباشد، پس سطح انگوب سفید دیده می‌شود [۲،۱]. هرگاه پودر فشرده بدنه 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 زینتر نمی‌شوند [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 بدنه کاشی به صورت پولکی بلند شود. روش‌های مختلفی به منظور کاهش تخلخل‌ها گزارش شده است [۴]. لعاب سرامیک معمولاً در دمای بالاتر از $^{\circ}C$ ۱۰۰۰ 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 ۰/۵ 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 آور از جمله روش‌هایی است که برای کاهش تخلخل‌ها و بهبود جذب آب می‌توان به کار برد. استفاده از مواد گداز 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 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 بدنه‌های سرامیکی از فلدسپار، به عنوان گدازآور یا کمک ذوب استفاده می‌شود هنگامی که بدنه 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، بدنه‌های 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)، سیلیس ($SiO_2$)، کائولن (KCR)، تالک، فلدسپار پتاسیک، زیرکون و سدیم تری پلی فسفات[1] استفاده شده است.

[1] STPP



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

ترکیبات شیمیایی مواد رسی با استفاده از داده‌های تولیدکننده 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٪ درصدکلسیم 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 | بال‌کلی | پتاسیک فلدسپار | کائولن (KCR) | کائولن (KCC) | تالک |
|---|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | ۵۲٫۴۴ | ۷۴٫۹۱ | ۶۹ ± ۱ | ۶۱ ± ۱ | ۵۰ |
| $Al_2O_3$ | ۲۹٫۴۹ | ۱۴٫۷۲ | ۲۱ ± ۰٫۵ | ۲۶ ± ۱ | ۱۰ |
| $Fe_2O_3$ | ۱٫۲۳ | ۰٫۱۳ | ۰/۳۵ | <۰٫۳ | ≤ ۰٫۲ |
| $TiO_2$ | ۱٫۱۸ | ۰٫۰۳ | <۰٫۲ | <۰٫۲ | - |
| CaO | ۱٫۰۸ | ۰٫۷۸ | <۰٫۶ | <۰٫۵ | - |
| MgO | ۰٫۲۴ | ۰٫۰۹ | <۰٫۲ | <۰٫۱۵ | ۳۰ |
| $Na_2O$ | - | ۳٫۶۴ | <۰٫۳ | <۰٫۲ | - |
| $K_2O$ | ۰٫۷۷ | ۵٫۱۷ | ۳ ± ۰٫۵ | ۳ ± ۰٫۵ | - |
| $SO_3$ | ۰٫۲۸ | <۰٫۰۱ | - | - | - |
| LOI | ۱۲٫۵۷ | ۰٫۳ | ۵ ± ۰٫۵ | ۶ ± ۱ | ۸ |
| MnO | - | ۰٫۰۱ | - | - | - |
| $P_2O_5$ | ۰٫۲ | ۰٫۳۴ | - | - | - |

**جدول ۲- اجزاء تشکیل دهنده انگوب**

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

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 نمونه‌های 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 لعاب 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.



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

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

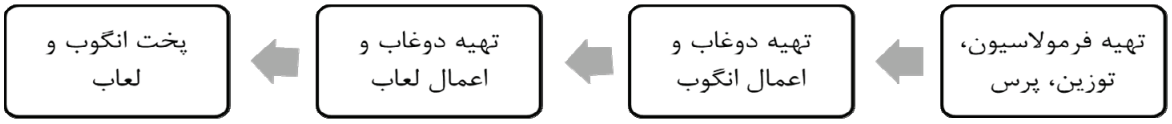
| مواد | درصد وزنی |
|---|---|
| فریت (کلسیمی) | ۸۰ |
| کائولن (KCC) | ۱۵ |
| زیرکون ($ZrSiO_4$) | ۲ |
| آلومینا ($Al_2O_3$) | ۳ |
| STPP | ۰/۱۵ |
| چسب (CMC) | ۰/۱۵ |

**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 |

## ۲-۲- روش کار

نمونه‌های ساخته شده در این تحقیق، براساس ساخت نمونه‌های کاشی، شامل بیسکوئیت، انگوب و لعاب است که مراحل ساخت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در ابتدای آزمایش، مواد لازم برای ساخت انگوب و لعاب مطابق جدول ۱و 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 ۰/۱۷۷ 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 $^{\circ}C$ ۱۱۳۴ در مدت زمان ۴۲ دقیقه پخت شده‌اند.




**شکل ۱- مراحل ساخت کاشی سرامیکی**

## ۲-۳- مشخصه‌یابی نمونه‌ها

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



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

دستگاه مدل VEGA3 TESCAN تهیه شد. همچنین برای بررسی ساختار بلوری نمونه‌ها آنالیز پراش اشعه X با استفاده از دستگاه X'PertPro 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 ۱۸۳°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 ۹۰mm و قطر ۵ mm ساخته شدند. سپس با قرار دادن نمونه‌ها در خشک کن در دمای ۱۷۲°C به مدت ۳۰ دقیقه، نمونه‌ها خشک شدند. در نهایت قرص‌ها، درون کوره با دمای ۱۱۳۴°C به مدت ۴۲ دقیقه قرار داده شد.

برای اندازه‌گیری 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 مرطوب قرص ($W_h$) اندازه‌گیری شد. با استفاده از فرمول $\frac{W_h - W_d}{W_d} \times 100$، درصد جذب آب قرص‌ها محاسبه 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 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 $W_3$ وزن قرص بعد از خارج شدن از کوره و $W_2$ وزن قرص قبل از کوره است. استحکام خمشی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه Ceramic instrument مدل MOR/3.E، اندازه‌گیری شد.

## ۳- نتایج و بحث

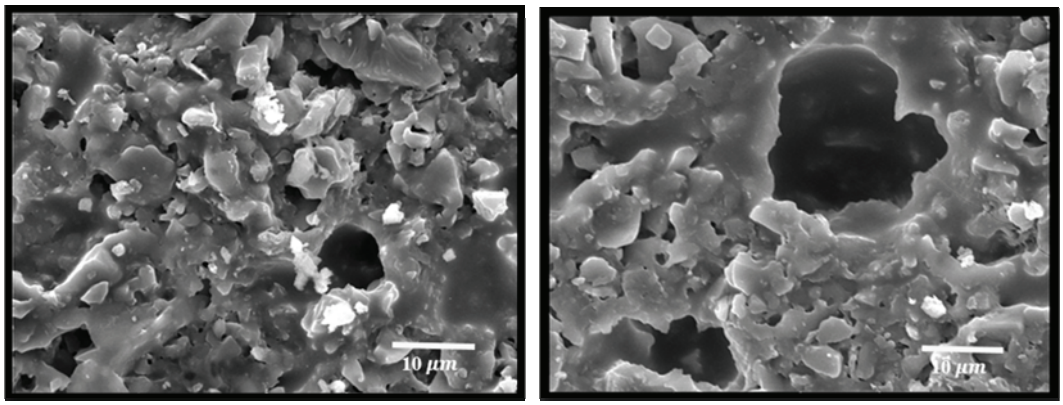
مطالعه ریز ساختار و ریخت شناسی سطح انگوب نمونه‌ها از طریق تصاویر میکروسکوپ الکترونی بررسی شد. شکل۲، تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه‌های مرجع a، b، c و نمونه‌های شامل تالک A، B و C نشان داده شده است. تصویر ۲ الف) تصویر SEM نمونه a (مرجع)، ۲ ب) نمونه A، ۲ پ) نمونه مرجع b و ۲ ت) نمونه B، ۲ث) نمونه مرجع c و ۲ج) 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 داراست و با افزودن تالک مشاهده می‌شود که نمونه A کمترین تخلخل‌ها را دارد.



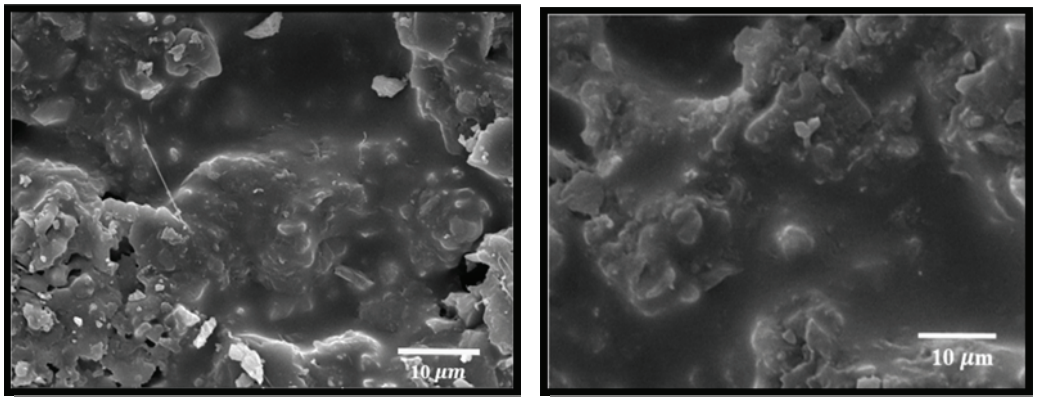
[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

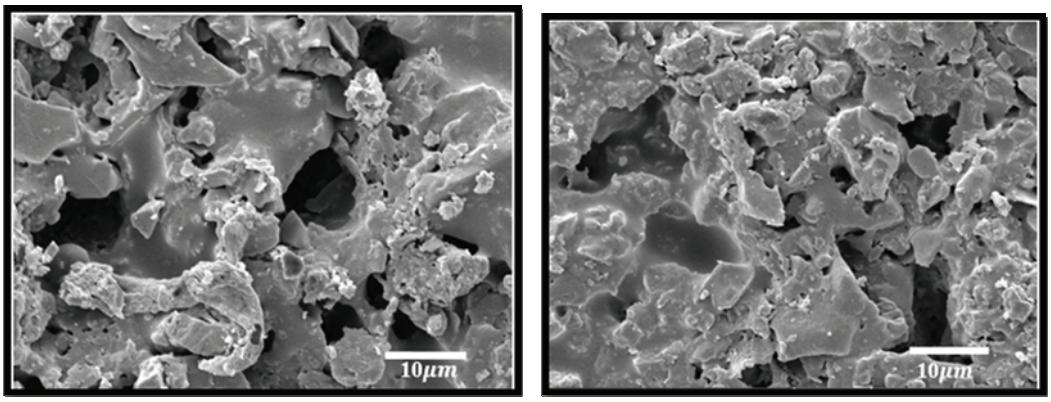
الف) نمونه مرجع (a)




ب) نمونه A




پ) نمونه مرجع b



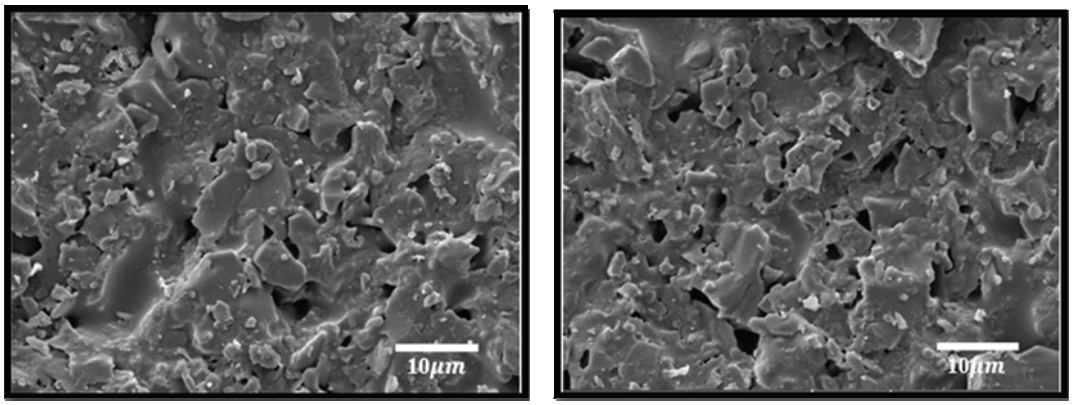

شکل ۲- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از سطح انگوب الف) مرجع نمونه a [۱۳]، ب) نمونه A ،پ) نمونه مرجع b، ت) نمونه B، ث) نمونه مرجع c و ج) نمونه C



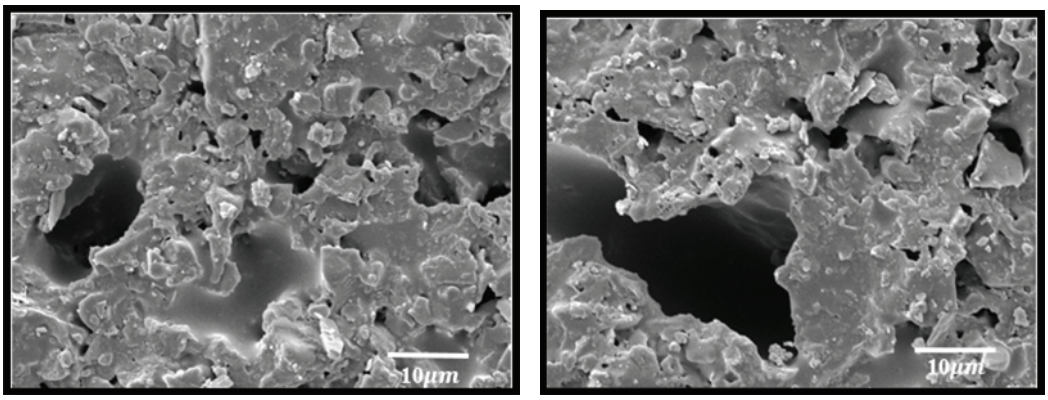
[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

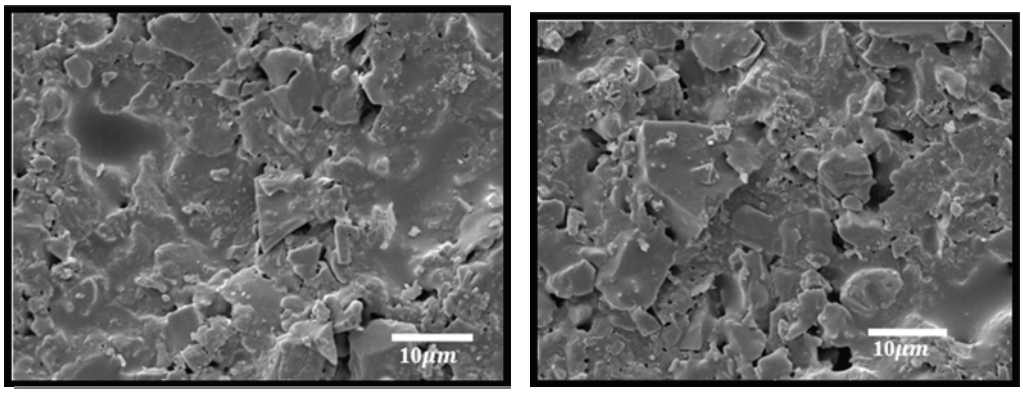
ت) نمونه B




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**

[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

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 ۰۷۹۴-۰۸۵-۰۱، انستاتیت ($Mg_2Si_2O_6$) با شماره کارت ۰۴۳۳-۰۸۶-۰۱ و کلینوانستاتیت ($MgSiO_3$) با شماره کارت ۰۷۶۹-۰۱۹-۰۰ ظاهر شده است. برای نمونه‌های 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 منیزیا در نمونه‌های با فریت دولومیتی و فریت $GMO_4$ ماده دولومیت است. با توجه به اعمال دمای بیش‌تر از ۱۴۰۰°C برای ساخت فریت، امکان جدا شدن منیزیا از کربنات و CaO موجود در ترکیب دولومیت وجود دارد. با آزاد شدن منیزیا از دولومیت امکان تشکیل انستاتیت نیز فراهم می شود. گزارش‌هایی تشکیل انستاتیت از دولومیت در دمای حدود ۱۰۰۰°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، انستاتیت ($Mg_2Si_2O_6$) و کلینوانستاتیت ($MgSiO_3$) تبدیل شده-است. تالک از هیدرات منیزیم سیلیکات تشکیل شده است و دارای فرمول شیمیایی زیر ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) است. همچنین یکی از نرم‌ترین کانی‌هاست که ساختار سه لایه-ای داشته و پیوند بین لایه‌ها از نوع پیوندهای واندروالسی است. هنگام حرارت‌دهی این ماده تا دمای ۹۵۰°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 انستاتیت 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. هنگامی‌که در بدنه سرامیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد در دمای زیر ۱۱۰۰ °C ایجاد تخلخل می‌کند و بالای ۱۱۵۰°C به عنوان عامل فلاکسی (گدازآور) عمل می‌کند. تالک باعث کاهش ضریب انبساط حرارتی می‌شود. همچنین می‌تواند مقاومت مکانیکی را تا ۳۰٪ افزایش دهد[۱۶].

انقباض کاشی مشخصه کاهش تخلخل و در هم فرورفتگی ذرات انگوب است که موجب مستحکم شدن بدنه کاشی می‌شود. میزان انقباض نمونه‌ها در جدول ۵ نشان داده شده است. $W_1$، $L_1$ وزن و طول اولیه قرص، $W_2$، $L_2$ وزن و طول قرص بعد از مرحله خشک شدن، $W_3$، $L_3$ 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 براثر حرارت

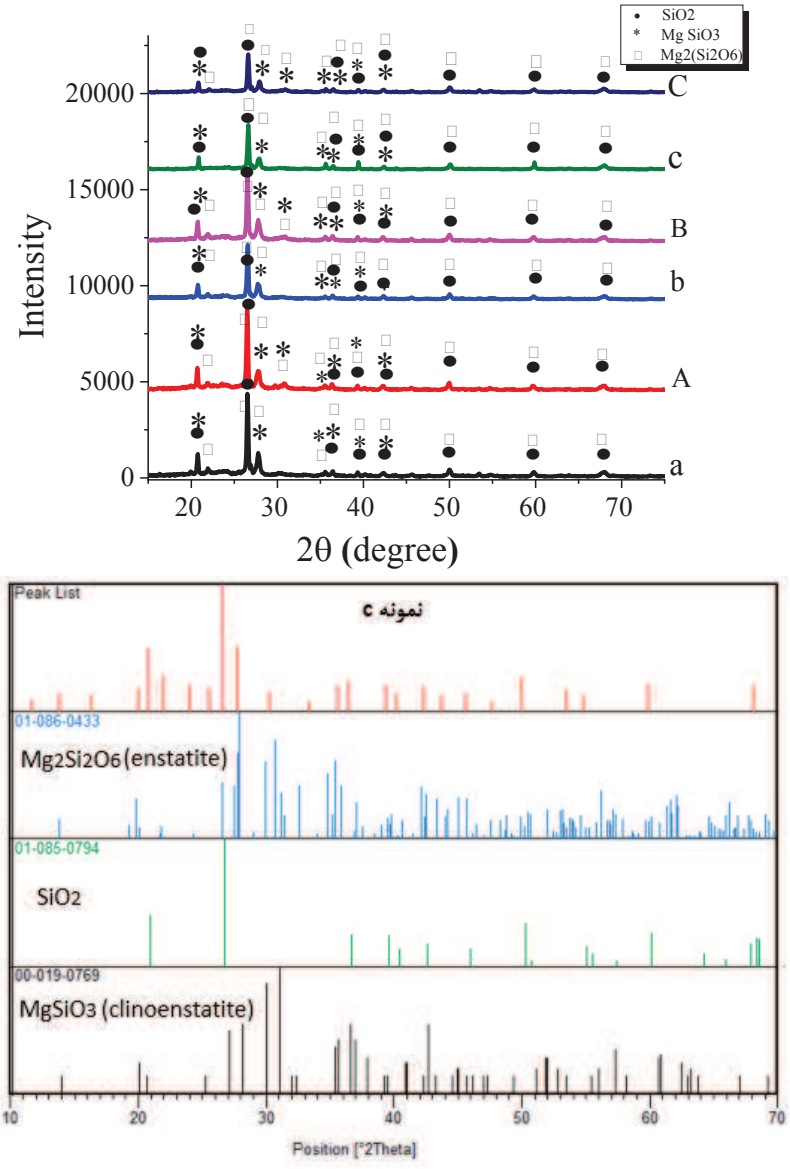


[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

(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 رنگ‌سنجی نمونه‌های کاشی را در دو 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.




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



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

جدول ۵- درصد انقباض قرص‌های انگوب

| نمونه | LOI | Shrinkage | $L_3$ | $W_3$ | $L_2$ | $W_2$ | $L_1$ | $W_1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | ۱۲/۶ | ۳/۱۱ | ۸۷/۸۸ | ۷۴/۱۰ | ۹۰/۷۰ | ۷۶/۷۱ | ۹۰/۶۸ | ۷۹/۷۴ |
| A | ۲/۷۷ | ۴/۵۴ | ۸۶/۵۸ | ۷۵/۹۰ | ۹۰/۷۰ | ۷۸/۶۷ | ۹۰/۶۰ | ۸۱/۶۹ |
| b | ۲/۸۶ | ۳/۰۰ | ۸۸/۰۰ | ۷۶/۸۷ | ۹۰/۷۲ | ۷۹/۷۳ | ۹۰/۶۴ | ۸۲/۶۷ |
| B | ۳/۱۰ | ۴/۰۷ | ۸۷/۰۰ | ۷۵/۷۸ | ۹۰/۷۰ | ۷۸/۸۸ | ۹۰/۶۸ | ۸۲/۲۶ |
| c | ۳/۲۲ | ۲/۴۹ | ۸۸/۴۶ | ۷۵/۳۷ | ۹۰/۷۲ | ۷۸/۵۹ | ۹۰/۶۶ | ۸۲/۹۶ |
| C | ۳/۴۵ | ۴/۰۷ | ۸۷/۰۰ | ۷۵/۶۴ | ۹۰/۷۰ | ۷۹/۰۹ | ۹۰/۶۶ | ۸۲/۱۷ |

جدول ۶- رنگ‌سنجی نمونه‌های انگوب و لعاب

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

جدول ۷ نتایج 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 طوری‌که میزان جذب آب تقریبا 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 نمونه‌های بدون تالک را می توان به دلیل تشکیل ترکیب $MgSiO_3$ در اثر افزودنی‌ها دانست. گزارش‌ها نشان می‌دهد در برخی شرایط تشکیل ترکیب انستاتیت می‌تواند باعث کاهش جذب آب شود [۱۳].

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



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

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

**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 |

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 وa است. همچنین مشاهده می‌شود با افزودن تالک میزان روشنی نمونه‌ها کاهش یافته است.

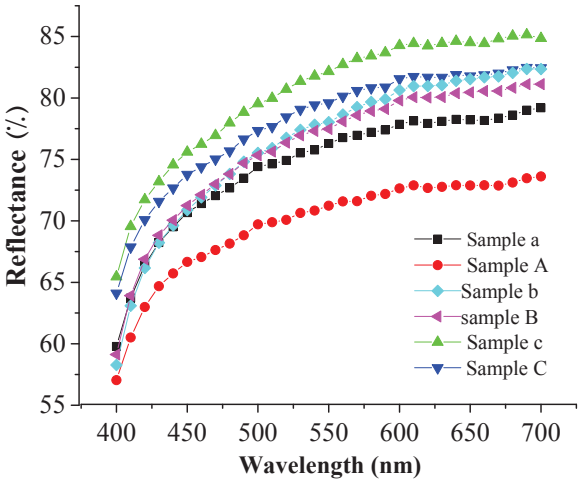
نتایج حاصل از آزمایش عبور جوهر متیلن بلو بر روی لعاب نمونه‌های کاشی در جدول ۹ نشان داده شده است. انتظار می‌رود، نمونه‌ای که دارای جذب آب پایین‌تری است، زمان بیشتری طول بکشد تا متیلن بلو بر روی لعاب مشاهده شود. در نمونه مرجع که بیشترین جذب آب را داشته است (جدول ۷) دارای کمترین زمان عبور جوهر (۲۵ دقیقه 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 لعاب برسد. دیگر نمونه‌ها دارای جذب آب بالاتری بودند، عبور جوهر در آن‌ها اندازه‌گیری نشده است.



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

آزمایش مقاومت به سایش نمونه‌ها برای کلاس سایش۲ (سایش سطح با چرخش ۶۰۰ دور بر دقیقه) انجام شد و در جدول ۱۰ نشان داده شده است. مقاومت به سایش همه نمونه‌ها مورد قبول بوده است.




**شکل ۴- طیف بازتاب نمونه‌های انگوب**

**جدول ۹- مدت زمان عبور جوهر**

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

**جدول ۱۰- آزمایش مقاومت سایش نمونه‌های انگوب**

| نمونه | کلاس سایش ۲ |
|---|---|
| a | مورد قبول |
| A | مورد قبول |
| b | رد |
| B | مورد قبول |
| c | رد |
| C | رد |



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

## 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 داراست. دلیل کاهش جذب آب نمونه‌های با فریت $GMO_4$ افزایش شدت قله‌های $SiO_2$ می‌باشد. همچنین استفاده از فریت $GMO_4$ در ساختار انگوب نسبت به نمونه‌هایی که از فریت کلسیمی و فریت دولومیتی در ترکیب انگوب به‌کار 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 نیزکاهش یافته است. با افزودن تالک به نمونه‌های مرجع، مشخص شد که به‌طور 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.

## 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 $Al_2O_3$ on the Optical Properties", Journal of Color Science and Technology, 2014.

[7] N. Kiomarsipour, R. Shoja Razavi, K.



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]

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-$SiO_2$ 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.

[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 Tvrdik Journal of the European Ceramic Society, Vol 34, pp.515–522, 2014.

[۱۶] ح. پایدار، "مواد اولیه مصرفی در صنایع سرامیک". نشر غزل، ۱۳۸۴.



[ Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.2.7.3 ]