



## بررسی اثر جایگزینی سیلیکات زیر کونیم با سیلیکات آلومینیم و اکسیدهای کلسیم، منیزیم و آلومینیم در لعاب‌های سرامیکی بر خواص نوری سطح سرامیک

فرزانه کرم پورراد<sup>۱</sup>، محسن خواجه‌امینیان<sup>۲\*</sup>، محسن حکیمی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه نانوفیزیک و مغناطیس، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

۲- استادیار، گروه نانوفیزیک و مغناطیس، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران، صندوق پستی: ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۲۴ در دسترس به صورت الکترونیکی از: ۱۳۹۳/۹/۲۰

### چکیده

برای ایجاد سفیدی سطح لعاب‌های سرامیکی ماده سیلیکات زیرکونیم (زیرکن) بصورت ذرات مجزایی در لعاب پخش می‌شود که با توجه به اختلاف زیاد ضریب شکست این ماده با ضریب شکست بدنه لعاب مقداری از نور تابیده را پراکنده و بازتاب می‌کند. قیمت بالای زیرکن باعث پژوهش‌هایی برای جایگزینی آن با مواد ارزان‌تر شده است. در این تحقیق تاثیر جایگزینی اکسیدهای منیزیم، کلسیم، آلومینیم و نیز سیلیکات آلومینیم بجای زیرکن در لعاب سرامیک بر خواص فیزیکی سطح مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی تاثیر استفاده از این مواد بر ظاهر رنگی لعاب کاشی، طیف بازتاب نوری، شاخص سفیدی و پارامترهای رنگی در فضا رنگ  $CIE\ L^*a^*b^*$  نمونه‌های مختلف اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین برای مطالعه ساختار بلوری و ریزساختار سطح آزمایش‌های پراش پرتو  $X$  و میکروسکوپ الکترونی بر روی نمونه‌ها انجام شدند. نتایج نشان می‌دهد جانشین کردن بخشی از زیرکن با ترکیبات یاد شده در لایه پشت‌پوش‌کننده (انگوب)، شاخص سفیدی تقریباً برابر با نمونه مرجع (زیرکن کامل) را نتیجه می‌دهد. طیف بازتاب و جذب آب نیز نزدیک بودن نمونه جایگزین و نمونه مرجع را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زیرکن، انگوب، لعاب، پشت‌پوش‌کننده، پارامتر رنگی، شاخص سفیدی.

## Study the Effect of Substitution of Zirconium Silicate in the Ceramic Glaze by Aluminum Silicate, MgO, CaO and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the Optical Properties

F. Karam Pourrad, M. Khajeh Aminian\*, M. Hakimi

Nanophysics and Magnetism Group, Physics Department, Yazd University, P.O.Box: 89195-741, Yazd, Iran

Received: 30-12-2013

Accepted: 14-05-2014

Available online: 11-12-2014

### Abstract

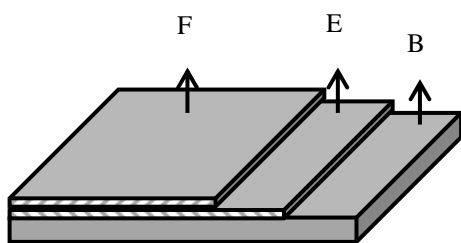
To make a white surface of ceramic glazes, zirconium silicate (zircon) particles are dispersed in the glaze body. Due to the high difference between the refractive index of zircon particles and that of the glazed body, the surface of the glaze scatters and reflects most of the light. Since zircon is expensive, some research has been done to find a cost-effective alternative for it. In this paper zircon was substituted by CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and also aluminum silicate as frit in the ceramic glaze and the effects on the physical properties of the surface were studied. Some samples with these materials were prepared and the reflectance spectra, whiteness index and the color parameters in  $CIE\ L^*a^*b^*$  color space were studied. To study the composition and microstructure of the samples SEM and XRD experiments were performed. The results shown the sample which some part of zircon in the opacifier layer (engobe) was substituted by new compounds, had almost the same properties as full zircon sample. *J. Color Sci. Tech.* 8(2014), 179-186©. Institute for Color Science and Technology.

**Keywords:** Zircon, Engobe, Glaze, Opacifier, Color parameter, Whiteness index.

## ۱- مقدمه

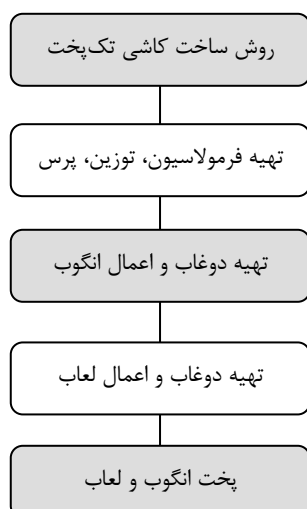
در این تحقیق، زیرکن به دو صورت در ترکیب پشت‌پوش‌کننده و لعاب قرار گرفته است. در آزمایش اول، زیرکن به عنوان ترکیب اصلی در ترکیبات پشت‌پوش‌کننده و لعاب به کار برده شده است و سپس با سیلیکات آلومینیم جایگزین شده است. جدول ترکیبات پشت‌پوش‌کننده و لعاب در آزمایش اول (A) در جدول ۱ نشان داده شده است. جدول ۲ مواد پشت‌پوش‌کننده مورد استفاده در انگوب و لعاب برای نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد. از آنجا که هدف از این تحقیق انتخاب یک جایگزین مناسب برای زیرکن و یا کاهش مقدار مصرف آن بوده است، نمونه A<sub>1</sub> به عنوان مرجع برای مقایسه انتخاب شد.

در آزمایش دوم (B) زیرکن بصورت فریت (ترکیبی سرامیکی و بخشی از لعاب که پس از ذوب و سرد شدن به ذرات شیشه‌ای تبدیل گردیده‌اند) در بخشی از ترکیبات پشت‌پوش‌کننده و لعاب مورد استفاده قرار گرفته و پس از آن زیرکن با ترکیبی از سه ماده اکسید منیزیم، اکسید کلسیم و اکسید آلومینیم با نسبت جرمی مساوی جایگزین شده است. جدول ۳ نشان دهنده ترکیبات پشت‌پوش‌کننده و لعاب موجود در آزمایش دوم است. نمونه‌ها با توجه به پشت‌پوش‌کننده و لعاب مورد استفاده در جدول ۴ نام‌گذاری شده‌اند. نمونه B<sub>1</sub> به عنوان نمونه مرجع برای مقایسه با نمونه‌های دیگر انتخاب شد.



شکل ۱: شکل نمادین از ساختار کاشی تک‌پخت،

B: بدنه کاشی به نام بیسکوییت، E: انگوب (پشت‌پوش‌کننده)، F: لعاب.



شکل ۲: روش ساخت کاشی تک‌پخت.

بیشتر پوشش‌های سرامیکی برای رسیدن به ظاهر مطلوب، حاوی افزودنی‌های خاصی از جمله مواد پشت‌پوش‌کننده هستند. از نظر خواص نوری، مواد پشت‌پوش‌کننده رنگدانه‌های سفیدی هستند که در انگوب پخش شده و با تابش پرتو چند فام نور فرودی آن را دچار تعدادی بازتاب و شکست در همه مسیرها کرده و بنابراین سطح سفید به نظر می‌رسد. این کار منجر به کاهش عبور نور و حذف اثر بدنه یا بیسکوییت در ظاهر رنگی سطح می‌شود یا به عبارتی ماده پشت‌پوش‌دهنده می‌شود [۱، ۲]. دو ویژگی مهم برای انتخاب یک ماده پشت‌پوش‌کننده مناسب جهت دستیابی به هدف فوق عبارتند از اختلاف زیاد میان ضریب شکست لعاب و رنگدانه و نیز اندازه رنگدانه سفید کننده. با توجه به اینکه لعاب‌های سرامیکی معمولاً در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد پخت می‌شوند، اندازه دانه‌ها نیز بزرگ بوده و معمولاً میکرومتری است. بنابراین اگر اندازه ذره کوچک‌تر باشد، تا حدود طول موج نور مرئی ۰.۵ میکرومتر، پشت‌پوشی بهتر انجام می‌شود [۳]. علاوه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد، پشت‌پوش‌کننده بر ظاهر رنگی انگوب و لعاب کاشی نیز تاثیرگذار است [۴، ۵]. معمولاً از ترکیبات اکسیدی و سیلیکاتی برای ایجاد سفیدی استفاده می‌شود [۶، ۷]. یکی از این ترکیبات که برای پشت‌پوشی در صنعت کاشی و سرامیک استفاده می‌شود، زیرکن است. این ترکیب دارای جلای فلزی با درخشندگی سفید مایل به سبز و ضریب شکست ۱.۸۴ است. از دیگر ترکیبات مورد استفاده به عنوان پشت‌پوش‌کننده اکسید تیتانیوم، اکسید قلع و آندالوزیت را می‌توان نام برد [۸، ۹]. به دلیل قیمت بالا و نبود تعداد معادن زیاد و داخلی برای دسترسی آسان به استفاده از ترکیباتی مانند زیرکن، استفاده از مواد جایگزین همواره مورد توجه بوده است [۱۰-۱۳]. در این تحقیق تاثیر جایگزینی اکسیدهای منیزیم، کلسیم، آلومینیم و نیز سیلیکات آلومینیم بجای زیرکن به عنوان فریت در لعاب سرامیک بر خواص فیزیکی سطح مورد بررسی قرار گرفته است. در اولین آزمایش (A) تاثیر جایگزینی سیلیکات آلومینیم بجای زیرکن در لعاب سرامیک بر خواص فیزیکی سطح بررسی می‌شود. در دومین آزمایش (B) تاثیر جایگزینی اکسیدهای منیزیم، کلسیم، آلومینیم بجای زیرکن به عنوان فریت در لعاب سرامیک بر خواص فیزیکی سطح مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲- بخش تجربی

## ۲-۱- مواد

نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق از سه جزء بدنه کاشی به نام بیسکوییت، انگوب و لعاب تشکیل شده‌اند. شکل ۱ ترتیب قرارگیری لایه‌ها در کاشی را نشان می‌دهد و شکل ۲ نشان‌دهنده روش ساخت نمونه‌ها است.

**جدول ۱:** اجزاء تشکیل دهنده پشت پوش کننده و لعاب مورد استفاده در آزمایش A.

مواد	نسبت در ترکیب پشت پوش کننده (انگوب)	نسبت در ترکیب لعاب
زیرکن	۱۰	۵
زدلیتز (نوعی کائولینیت با خلوص زیاد)	۱۳	۱۰
تری پلی فسفات (Tpp)	۰.۲	۰.۲
کربوکسی متیل سلولز (cmc)	۰.۱	۰.۱
آب	۵۰	۵۰
شیشه طبیعی تجاری (MT-205)	۴۱	-
فریت ۲۱۵	-	۸۵
سیلیس	۱۹	-
Kcm (کائولن)	۱۴.۵	-
Bonding Agent (WBS)	۲.۵	-

**جدول ۲:** نام گذاری نمونه های A، زیر کون مورد استفاده با سیلیکات آلومینیم جایگزین شده است.

A نمونه	پشت پوش کننده		لعاب	
	زیرکن	سیلیکات آلومینیم	زیرکن	سیلیکات آلومینیم
A <sub>1</sub>	*	-	*	-
A <sub>2</sub>	*	-	-	*
A <sub>3</sub>	*	*	*	-
A <sub>4</sub>	*	*	-	*
A <sub>5</sub>	-	*	*	-
A <sub>6</sub>	-	*	-	*

**جدول ۳:** اجزاء تشکیل دهنده لعاب و پشت پوش کننده در آزمایش دوم (B).

مواد	نسبت در ترکیب پشت پوش کننده	نسبت در ترکیب لعاب
زدلیتز (نوعی کائولینیت با خلوص زیاد)	۱۳	۱۰
تری پلی فسفات (Tpp)	۰.۲	۰.۲
کربوکسی متیل سلولز (cmc)	۰.۱	۰.۱
آب	۵۰	۵۰
فریت با ۱۷٪ زیر کون	۵۱	۹۰
سیلیس	۱۹	-
Bonding Agent (WBS)	۱۷	-

**جدول ۴:** عامل پشت پوش کننده مورد استفاده در لایه لعاب و انگوب آزمایش دوم (B). زیرکن با ترکیبی از اکسیدهای آلومینیم، منیزیم و کلسیم جایگزین شده است.

نمونه	پشت پوش کننده		لعاب	
	زیرکن	اکسیدهای کلسیم، منیزیم، آلومینیم	زیرکن	اکسیدهای کلسیم، منیزیم، آلومینیم
B <sub>1</sub>	*	-	*	-
B <sub>2</sub>	*	-	-	*
B <sub>3</sub>	-	*	*	-
B <sub>4</sub>	-	*	-	*

## ۲-۲- روش کار

نمونه های این مقاله در کارخانه کاشی و سرامیک و به روش صنعتی ساخته شده است و از مواد صنعتی داخل کارخانه استفاده شده است. کاشی های آزمایش اول (A) به روش تک پخت و با کوره صنعتی به طول تقریبی ۱۰۰ متر و دمای ۱۱۰۰ °C با زمان ۳۸ دقیقه پخت شده اند. برای ساخت این نمونه ها ابتدا مواد مورد نیاز برای ساخت انگوب و لعاب (با توجه به فرمول) تهیه شده و با نسبت وزنی جدول های ۱ و ۳ با آب مخلوط شده و با گلوله های آلومینیمی به مدت ۱۵ دقیقه داخل دستگاه هم زن به هم می خورد تا مواد در آب حل شود. سپس مواد حل شده از صافی رد می شود و در ظرفی نگهداری می شود. برای لایه نشانی روی بدنه، انگوب ساخته شده با استفاده از دستگاه مخصوص به نام اسلش روی بیسکوویت لایه نشانی کرده و سپس لعاب ساخته روی انگوب لایه نشانی می شود. بعد از این مرحله کاشی داخل خشک کن گذاشته می شود تا زمانی که خشک شود (حدود ۱۵ دقیقه). بعد از خشک شدن نمونه، کاشی برای پخت در کوره ای به طول تقریبی ۱۰۰ متر با دمای تقریبی ۱۱۰۰ °C قرار داده می شود تا به مدت تقریبی ۳۸ دقیقه از آن عبور کند. بعد از پخت، نمونه برای آزمایش آماده است.

کاشی های آزمایش دوم (B) به روش تک پخت وارد کوره ای به طول تقریبی ۱۰۰ متر شده و در دمای ۱۱۰۹ °C با زمان ۴۸ دقیقه پخت شده اند. بقیه مراحل مانند آزمایش اول انجام شده است.

در ادامه خواص نوری، میزان جذب آب و مقاومت سایشی و خمشی نمونه ها بررسی شدند. خواص نوری مواد با آزمایش رنگ سنجی بررسی شد و ضرایب رنگ، شاخص سفیدی و میزان بازتاب نوری آنها اندازه گیری شد. آزمایش اندازه گیری مقاومت سایش بر روی نمونه ها با استفاده از گوله های فولادی به شرح زیر انجام شد: ۷۰ گرم گوله فولادی با قطر ۵ میلی متر، ۵۲.۵ گرم گوله ۳ میلی متر، ۴۳.۷۵ گرم گوله ۲ میلی متر، ۸.۷۵ گرم گوله ۱ میلی متر، ۳ گرم اکسید آلومینیم پخته شده سفید ۸۰ میکرون، ۲۰ میلی لیتر آب مقطر. کلاس سایش ۱

کاهش شاخص سفیدی نمونه در لعاب بیش از پشت پوش کننده است. از این آزمایش نتیجه می شود که جایگزین کردن ۵۰٪ از زیرکن با سیلیکات آلومینیم در لایه پشت پوش کننده شاخص سفیدی تقریباً برابر با نمونه مرجع می دهد و نمونه مناسبی به شمار می آید (نمونه A<sub>3</sub>). همچنین از داده های جدول ۶ مشاهده می شود مقدار شاخص سفیدی نمونه ها به میزان اکسیدهای کلسیم، منیزیم و آلومینیم مورد استفاده در نمونه وابسته است و با افزایش درصد اکسید کلسیم، منیزیم و آلومینیم استفاده شده در نمونه شاخص سفیدی کاهش می یابد. ضریب شکست اکسید کلسیم ۱.۸۳، اکسید منیزیم ۱.۷۴ و اکسید آلومینیم ۱.۷۷ است. میانگین ضریب شکست اکسیدهای مورد استفاده از زیرکن کمتر است و کاهش شاخص سفیدی قابل توجیه است. این گروه از نمونه ها در مقایسه با نمونه های قبلی ساخته شده با سیلیکات آلومینیم شاخص سفیدی بهتری دارند که این پدیده را می توان به افزایش میانگین ضریب شکست آنها مرتبط دانست. همچنین مشاهده می شود که تاثیر مقدار جایگزینی بر کاهش شاخص سفیدی نمونه در لعاب بیش از پشت پوش کننده است. از این آزمایش نتیجه می شود که جایگزین کردن ۵۰٪ از زیرکن با اکسید کلسیم، منیزیم و آلومینیم در پشت پوش کننده شاخص سفیدی تقریباً برابر با نمونه مرجع می دهد و نمونه مناسبی به شمار می آید (نمونه B<sub>3</sub>).

جدول ۵: مختصات رنگی و شاخص سفیدی آزمایش های A.

Name	L*	a*	b*	Whiteness Index
				CIE GANZ 82
A <sub>1</sub>	۹۲.۳۰۱	-۰.۰۶۸	۲.۰۵۷	۷۱.۸۱۸
A <sub>2</sub>	۹۲.۸۵۰	-۰.۲۵۲	۳.۸۸۸	۶۴.۶۲۶
A <sub>3</sub>	۹۱.۹۲۶	۰.۰۰۴	۲.۰۶۷	۷۰.۹۰۱
A <sub>4</sub>	۹۲.۴۹۶	-۰.۰۶۹	۳.۹۹۰	۶۳.۳
A <sub>5</sub>	۹۰.۱۸۰	۰.۳۶۹	۱.۷۴۱	۶۸.۴۵۹
A <sub>6</sub>	۹۰.۶۵۶	۰.۰۳۹	۳.۹۶۰	۵۹.۰۳۸

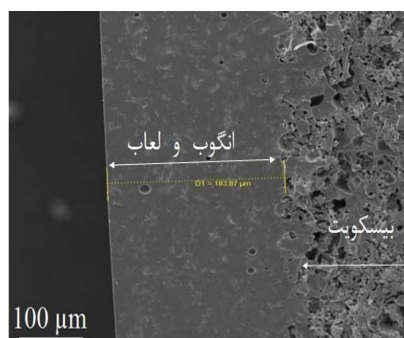
جدول ۶: مختصات رنگی و شاخص سفیدی آزمایش های B.

Name	L*	a*	b*	Whiteness Index
				CIE GANZ 82
B <sub>1</sub>	۹۱.۳۹	-۰.۰۶	۰.۵۴	۷۶.۷۹
B <sub>2</sub>	۸۸.۸۰	۰.۶۳	۱.۲۹	۶۷.۵۷
B <sub>3</sub>	۹۳.۴۹	-۰.۳۰	۱.۶۴	۷۶.۵۵
B <sub>4</sub>	۹۱.۵۹	۰.۰۸	۱.۹۲	۷۰.۸۳

۱۵۰، دور و کلاس سایش ۲، ۶۰۰ تا ۷۵۰ دور است. برای ارزیابی نهایی مقاومت سایش، طبق استاندارد ملی ۴۰۰۳ ISIRI تفاوت قابل رؤیت در ظاهر، میان سطح سایش یافته و سطح سایش نشده را در فاصله مشخصی در شرایط استاندارد نور محیط مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش های جذب آب و اندازه گیری مقاومت خمشی نیز به ترتیب بر اساس استانداردهای ملی ۳۹۹۴ ISIRI و ۳۹۹۵ ISIRI اندازه گیری شدند.

### ۳- نتایج و بحث

شکل ۳ تصویر میکروسکوپ الکترونی از ضخامت انگوب و لعاب پس از پخت یکی از نمونه ها را نشان می دهد. در این شکل مشاهده می شود که ضخامت انگوب و لعاب بر روی هم حدود ۱۸۳.۹ میکرومتر است. مطابق این شکل، لایه انگوب نیز مانند لایه لعاب بسیار متراکم تر از بدنه بیسکویت است. انگوب تخلخل های بیسکویت را پوشانده است و پیوند خوبی میان انگوب و لعاب برقرار شده است. همچنین انگوب و لعاب دارای ساختار همگن (یکدست) بوده و کلوخه ای نشده اند.



شکل ۳: تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع کاشی یکی از نمونه ها.

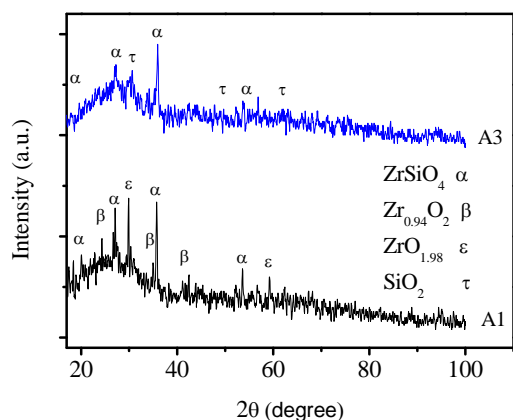
### ۳-۱- مقایسه شاخص سفیدی با قدرت پشت پوش کنندگی و مختصات رنگی نمونه ها.

جدول های ۵ و ۶ مقادیر شاخص سفیدی که معیار قدرت پشت پوش کنندگی نمونه های انگوب و لعاب است را به همراه مختصات رنگی آنها برای نمونه های مختلف (A, B) نشان می دهد.

ضریب شکست ماده سیلیکات آلومینیم ۱.۶۳ است. از داده های جدول ۵ مشاهده می شود مقدار شاخص سفیدی نمونه ها به میزان سیلیکات آلومینیم مورد استفاده در نمونه وابسته است و با افزایش سیلیکات آلومینیم شاخص سفیدی کاهش می یابد. این موضوع با توجه به تفاوت ضریب شکست زیرکن، ۱.۸۴ و سیلیکات آلومینیم، ۱.۶۳، قابل توجیه است. چرا که ضریب شکست سیلیکات آلومینیم به اندازه زیرکن زیاد نیست و میزان پراکندگی نور در آن نسبت به زیرکن کاهش می یابد. همچنین مشاهده می شود که تاثیر مقدار جایگزینی بر

### ۳-۲- مطالعه ساختار بلوری و ریزساختار سطح.

شکل ۶ نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه مرجع و نمونه A<sub>3</sub>، از نمونه‌های آزمایش اول، را که ۵۰ درصد از زیرکن آن در پشت‌پوش‌کننده با سیلیکات آلومینیم جایگزین شده است، نشان می‌دهد. در هر دو آزمایش زیرکن و مشتقات آن دیده می‌شوند اما نمونه A<sub>3</sub> قله‌های بلوری ضعیفی از اکسید سیلیسیم را نیز در بردارد. با توجه به جایگزینی زیرکن با سیلیکات آلومینیم در نمونه A<sub>3</sub> انتظار می‌رود قله‌های سیلیکات آلومینیم نیز در طیف پراش آن دیده شود. اما برخلاف انتظار چنین قله‌هایی وجود ندارد. از آنجا که نقطه ذوب سیلیکات آلومینیم از زیرکن کمتر است، این پدیده چنین توجیه می‌شود که سیلیکات آلومینیم پس از ذوب در کل ساختار به صورت همگن پخش شده و فرصتی برای تشکیل بلور برای آن بوجود نیامده است و از این رو پس از سرد شدن ساختار آن بی‌شکل باقی مانده است.



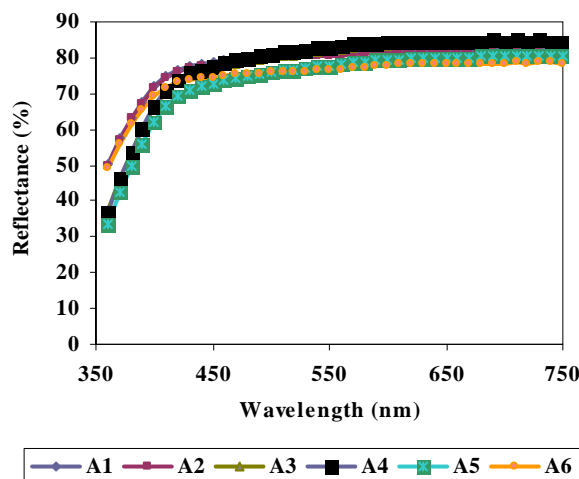
شکل ۶: نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس نمونه مرجع و نمونه A<sub>3</sub> در آزمایش A.

شکل ۷ نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه مرجع و نمونه B<sub>3</sub> که ۵۰٪ از زیرکن با اکسید کلسیم، منیزیم و آلومینیم در پشت‌پوش‌کننده جایگزین شده است را نشان می‌دهد. در نمونه مرجع اکسید سیلیس به همراه دو نوع اکسید زیرکن که از لحاظ ساختار بلوری با یکدیگر تفاوت دارند دیده می‌شوند. اکسید زیرکن در دو ساختار بلوری تتراگونال و مونوکلینیک بلوری شده است. در نمونه B<sub>3</sub> زیرکن تتراگونال، سیلیکات منیزیم و ترکیبی از آلومینیم دیده می‌شود که با توجه به جایگزین کردن ۵۰ درصد از زیرکن در پشت‌پوش‌کننده با اکسیدهای کلسیم، منیزیم و آلومینیم قابل پیش‌بینی بود.

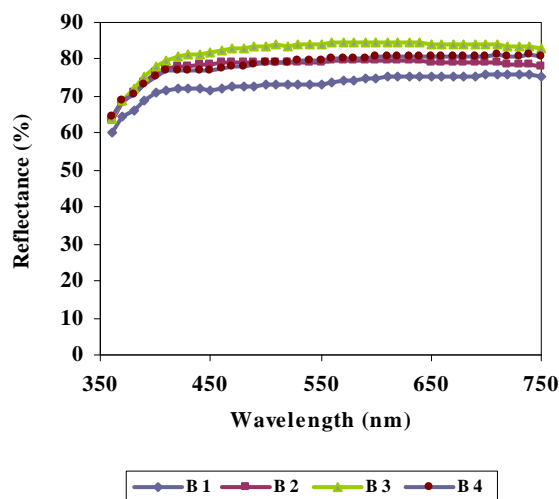
این پدیده با توجه به اختلاف اندک ضریب شکست میانگین ترکیب سه تایی و ضریب شکست زیرکن و نیز درصد کم استفاده از ترکیب توجیه‌پذیر است.

### ۳-۲- طیف بازتاب نوری سطح نمونه‌ها

شکل‌های ۴ و ۵ طیف بازتاب نوری بر حسب طول موج در آزمایش‌های مختلف (A, B) را نشان می‌دهد. مطابق این شکل‌ها بازتاب نوری از طول موج ۴۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر یکنواخت و حدود ۸۰ درصد است. در این شکل‌ها یک روند مشابه با فامی نزدیک به سفید برای کلیه نمونه‌ها را نشان می‌دهد. سطح زیر منحنی نمونه‌های A<sub>1</sub> و A<sub>3</sub> برای شکل ۴ و B<sub>1</sub> و B<sub>3</sub> برای شکل ۵ از تمام نمونه‌ها بیشتر است که خود دلیلی بر تایید بالاتر بودن میزان روشنایی و در نتیجه سفیدی این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های دیگر است.



شکل ۴: نمودار طیف بازتاب آزمایش A بر حسب طول موج.



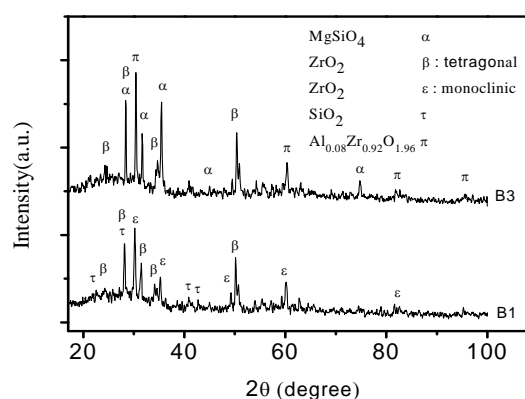
شکل ۵: نمودار طیف بازتاب آزمایش B بر حسب طول موج.

## ۳-۴- مقایسه دو نمونه برتر در آزمایش‌ها

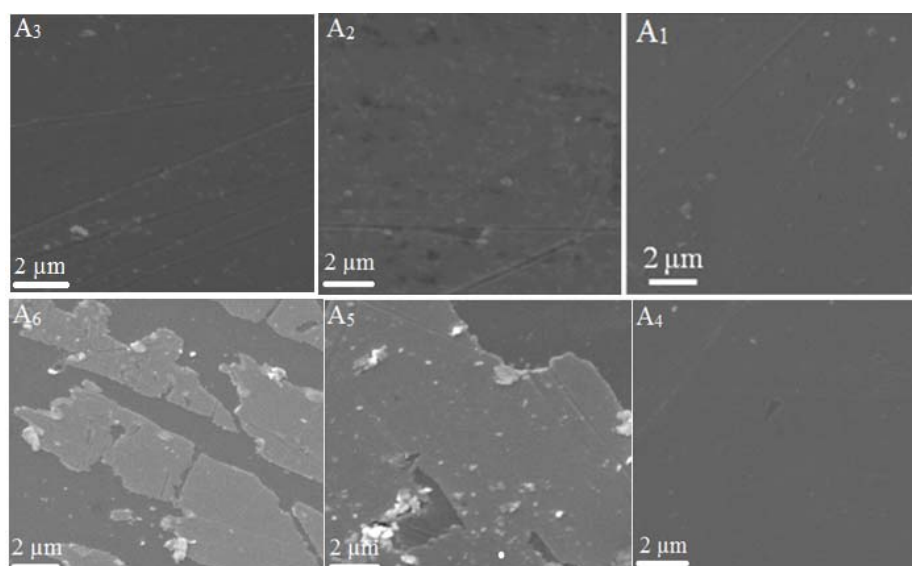
آزمایش مقاومت سایشی بر روی نمونه‌های  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $B_1$  و  $B_3$  انجام شده است که نتایج آن در جدول ۷ آمده است. مشخصات گلوله‌های فولادی مورد استفاده در این آزمایش به این شرح می‌باشد: ۷۰ گرم گلوله فولادی با قطر ۵ میلی‌متر، ۵۲.۵ گرم گلوله ۳ میلی‌متر، ۴۳.۷۵ گرم گلوله ۲ میلی‌متر، ۸.۷۵ گرم گلوله ۱ میلی‌متر، ۳ گرم اکسید آلومینیم پخته شده سفید ۸۰ میکرون، ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر. طبق سایش ۱، ۱۵۰ دور و کلاس سایش ۲، ۶۰۰ تا ۷۵۰ دور است. طبق استاندارد ملی مقاومت سایش  $ISIRI 4003$ ، هر چهار نمونه برای کلاس سایش ۱ نتایج قابل قبول اما برای کلاس سایش ۲ نتایج غیر قابل قبول به دست می‌دهند.

جدول ۷: آزمایش مقاومت سایشی نمونه‌های  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $B_1$  و  $B_3$ .

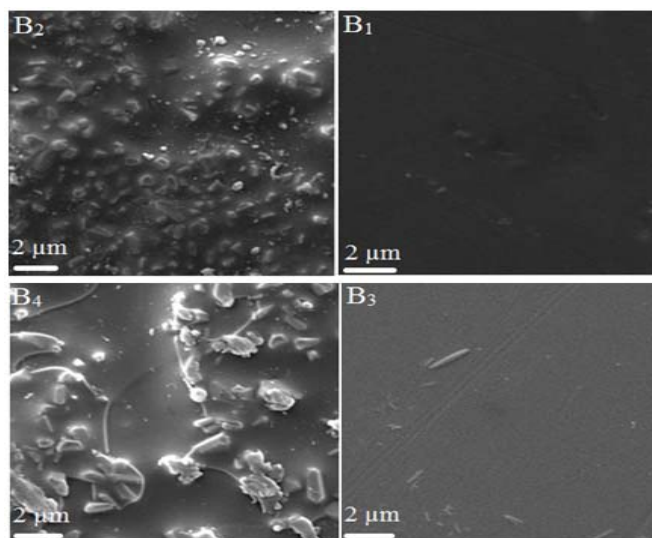
ردیف	مشخصات نمونه	کلاس سایش	نتیجه
۱	$A_1$	۱	قابل قبول
۲	$A_3$	۲	غیر قابل قبول
۳	$B_1$	۲	غیر قابل قبول
۴	$B_3$	۲	غیر قابل قبول

شکل ۷: نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس نمونه مرجع و نمونه  $B_3$  در آزمایش B.

شکل ۸ تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های A و شکل ۹ تصویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های B را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که سطوح صاف و یکدست است و اختلاف پستی و بلندی و زبری چشمگیر نیست. همچنین نتایج نشان می‌دهند که استفاده از درصد‌های مختلف زیرکن و سیلیکات آلومینیم (آزمایش A) و نیز درصد‌های مختلف زیرکن و اکسیدهای کلسیم، منیزیم و آلومینیم (آزمایش B) در مقایسه با نمونه مرجع در مواردی باعث بهبود و در مواردی هم باعث کاهش در کیفیت ظاهری سطح لعاب می‌گردد. در آزمایش A نمونه  $A_3$  به نمونه مرجع بسیار نزدیک است و جایگزین کردن درصدی از زیرکن با سیلیکات آلومینیم باعث بهبود در کیفیت ظاهری سطح لعاب شده است. در آزمایش B نیز همان‌گونه که به وضوح مشاهده می‌شود نمونه  $B_3$  به نمونه مرجع بسیار نزدیک می‌باشد.



شکل ۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های آزمایش A.



شکل ۹: تصویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های آزمایش B.

در جدول ۹ نتیجه آزمایش مقاومت خمشی از نمونه‌های  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $B_1$  و  $B_3$  نشان داده شده است. همانگونه که از جدول استنباط می‌شود، در هر چهار مورد مدول گسیختگی از  $18 \text{ N/mm}^2$  بیشتر و طبق استاندارد ملی مقاومت خمش ISIRI ۳۹۹۵، قابل قبول است.

در جدول ۸، آزمایش جذب سطحی آب نمونه‌های  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $B_1$  و  $B_3$  نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در هر چهار مورد، درصد جذب آب بسیار نزدیک به هم و طبق استاندارد ملی جذب آب ۳۹۹۴ ISIRI، قابل قبول است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌ها، جایگزین کردن ۵۰٪ از زیرکن با سیلیکات آلومینیم در پشت‌پوش کننده (نمونه  $A_3$ ) و همچنین جایگزین کردن ۵۰٪ از زیرکن با اکسیدهای منیزیم، کلسیم و آلومینیم در پشت‌پوش کننده (نمونه  $B_3$ )، مقادیر مولفه‌های رنگی  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ، شاخص سفیدی و ریز ساختار سطحی تقریباً برابر با نمونه مرجع را بدست می‌دهد. همچنین نمودار طیف بازتاب نوری نمونه‌ها بر حسب طول موج، بالاتر بودن میزان روشنایی و در نتیجه سفیدی این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های دیگر را نشان می‌دهد. بنابراین جایگزین کردن بخشی از زیرکن توسط ماده‌ای که منبع تامین داخلی دارد (همچون سیلیکات آلومینیم و یا اکسیدهای منیزیم، کلسیم و آلومینیم) که میزان سفیدی تقریباً برابر با نمونه زیرکن کامل را دارد چه از نظر قیمت و چه از نظر تامین داخلی به صرفه است.

جدول ۸: آزمایش جذب آب نمونه‌های  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $B_1$  و  $B_3$ .

ردیف	شماره نمونه	وزن اولیه	وزن ثانویه	درصد جذب آب
۱	$A_1$	۱۵۴.۸۷	۱۷۸.۱۷	۱۵.۰۴
۲	$A_3$	۱۵۵.۲۲	۱۸۰.۰۶	۱۶
۳	$B_1$	۵۲.۱۳	۶۰.۷۶	۱۶.۵۳
۴	$B_3$	۳۵.۷۲	۴۰.۸۹	۱۴.۶۲

جدول ۹: آزمایش مقاومت خمشی نمونه‌های  $A_1$ ،  $A_3$ ،  $B_1$  و  $B_3$ .

ردیف	شماره نمونه	نیرو (N)	مدولار گسیختگی $\text{N/mm}^2$
۱	$A_1$	۲۵۲.۱۴	۲۷.۰۴
۲	$A_3$	۳۲۶.۱۲	۲۰.۱۷
۳	$B_1$	۲۸۶.۱۰	۳۰.۱۹
۴	$B_3$	۴۸۸.۱۸	۲۲.۸۶

#### ۵- 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. R. A. Eppler, D. R. Eppler, Glaze and glass coatings, The American ceramic society, Weaterville, Ohio, 2000.
4. L. M. Schabbach, F. Bondioli, A. M. Ferrari, T. Manfredini, C. O. Petter, M. C. Fredel, Colour in ceramic

- glazes: analysis of pigment and opacifier grain size distribution effect by spectrophotometer. *J. Eur. Ceram. Soc.* 28(2008), 1777-1781.
5. M. Safi, N. Khalili, M. Arabi, Effect of various opacifiers on color parameters and gloss of glazed tiles. *J. Color Sci. Tech.* 5(2012), 253-261.
  6. N. Kiomarsipour, R. Shoja Razavi, K. Ghani, Evaluation of pigment to binder ratio effect on properties of white silicate thermal control paints used on satellite. *J. Color Sci. Tech.* 7(2013), 113-121.
  7. 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.* 6(2012), 197-207.
  8. Bou E, Moreno A, Escardino A, Gozalbo A. Microstructural study of opaque glazes obtained from frits of the system:  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-(P}_2\text{O}_5\text{)-CaO-K}_2\text{O-TiO}_2$ . *J. Eur. Ceram. Soc.* 27(2007), 1791-1796.
  9. Teixeira S, Bernardin A M. Development of  $\text{TiO}_2$  white glazes for ceramic tiles. *Dyes Pigm.* 80(2009), 292-296.
  10. A. Escardino, A. Moreno, J. L. Amor'os, A. Gozalbo, J. Aparici, L. F. S'anchez- Study of crystalline-phase formation in white zirconium glazes. *Ceram. Acta.* 8(1996), 21-34.
  11. J. L. Amor'os , A. Escardino, M. J. Orts, A. Moreno , Zirconium glazes used in fast single fired wall tile manufacture. Part 1. Crystallisation mechanism. *Br. Ceram. Trans.* 93(1994), 224-228.
  12. A. Escardino, A. Moreno, J. L. Amor'os, M. J. Orts, A. Barba, Zirconium glazes used in fast single fired wall tile manufacture. Part 2. Empirical model for fitting experimental data from devitrification process. *Br. Ceram. Trans.* 99(2000), 72-76.
  13. Pekkan K, Karasu B. Zircon-free frits suitable for single fast-firing opaque wall tile glazes and their industrial productions. *J. Eur. Ceram. Soc.* 29(2009), 1571-1578.