

ساخت و بررسی خواص رنگی و فیزیکی رنگدانه سرامیکی سیلیکات -

تیتانات کیالت به روش سل-ژل

محیا زائرالحسینی^۱، محمد خواجه مهریزی^{۱*}، محسن خواجه امینیان^۲

^۱ پردیس فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه یزد

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

* mkhajeh@yazd.ac.ir

چکیده:

رنگدانه‌های سرامیکی آبی بر پایه کیالت به طور گستردگی در صنایع سرامیکی کاربرد دارد که به علت ویژگی‌هایی مانند پایداری دم، پایداری شیمیایی و مقاومت بالای این پوشش‌ها می‌باشد. در این تحقیق، ساخت رنگدانه سرامیکی آبی سیلیکات تیتانات کیالت با استفاده از روش سل ژل، انجام می‌شود و بر روی سرامیک تحت شرایط تولید صنعتی چاپ می‌شود. سپس خواص رنگی و فیزیکی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. طیف انعکاسی و آزمون رنگ‌سنجه در فضای رنگ (CIE L*a*b*) برای بررسی مولفه‌های رنگی نمونه اندازه گیری شده است. همچنین برای مطالعه ساختار بلوری و ریزساختار سطح، آرمایش‌های پراش پرتو X و میکروسکوپ الکترونی بر روی نمونه‌ها انجام می‌شود. آزمایش رنگبری متیلن بلو برای تعیین خاصیت فوتوكاتالیستی و مقاومت شیمیایی با استفاده از استاندارد ISO/آروپا 10545-13-12 انجام شده است. نتایج پارامتر L^* و طیف بازنگشی منتشر شده به طور چشمگیری ارزش آبی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین نمونه‌ها خاصیت فوتوكاتالیستی و مقاومت شیمیایی خوبی نسبت به نمونه مرجع (کاشی سفید) برخوردار است.

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۹ بهمن ۱۳۹۷

پذیرش: ۱۸ خرداد ۱۳۹۸

کلید واژه:

سیلیکات تیتانات کیالت، سل ژل، مقاومت شیمیایی، خودتمیزشوندگی، فوتوكاتالیستی

و بازتابی منتشر شده

است [۲،۱]. رنگدانه‌های سرامیکی مبتنی بر کیالت به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی همچون پایداری نوری و دمایی، قدرت پوشش خوب، سازگاری با سیستم‌های آلی و معدنی به طور گسترده در صنعت سرامیک استفاده می‌شوند [۴،۳]. در سرامیک‌های خودتمیزشونده فوتوكاتالیستی، غبار می‌تواند توسط پرتو فرابنفش از بین برود و با آب پاک شود [۵]. همچنین مقاومت بالا در مقابل اسید و باز باعث می‌شود که

۱- مقدمه

رنگدانه ماده‌ای است که رنگ نور منعکس شده را تغییر و یا انتقال می‌دهد و در نتیجه جذب طول موج انتخابی تغییر می‌کند. بسیاری از مواد انتخابی طول موج مشخصی از نور را جذب می‌کنند. موادی که انسان برای استفاده به عنوان رنگدانه انتخاب کرده است عموماً دارای خواص ویژه‌ای است که آنها را برای رنگ آمیزی مواد دیگر ایده آل کرده



آلینده روغنی، ذرات خاک و متیلن اورنج به روی سرامیک اعمال شده است. تابش UV 352 nm, 15W در دو دوره دو ساعته قبل و بعد از لکه گذاری، جهت فعال کردن خاصیت فوتوكاتالیستی TiO_2 اعمال شده است. و عملکرد خوب خودتمیزشوندگی در لعابهایی که با ذرات خاک و متیلن اورنج لکه گذاری شدند مشاهده شده است ولی اثر خودتمیزشوندگی در لکه روغنی مشاهده نشده است [۱۳]. در تحقیقی سجادی و همکاران با استفاده از TiPt به عنوان پیش‌ماده Ti، لایه نازک TiO_2 را به روش سل ژل و با استفاده از لایه نشانی غوطه‌وری روی سج شیشه با ضخامت‌های متفاوت ساختند. طبق آنالیز SEM نانوذرات با سایز ۵۰-۱۰۰ نانومتر به طور یکنواخت روی بستر تشکیل شده است. همچنین بستر با استفاده از محلول $0.3\% NaOH$ مولار متیلن بلو، پوشش داده شده و به مدت ۴ ساعت تحت تابش UV قرار گرفته است و با گذشت زمان کاهش ضخامت رنگ و در نتیجه خاصیت فوتوكاتالیستی مطلوبی روی سطح مشاهده شده است [۱۴]. انحصاری و همکاران، نانوذرات Co_2TiO_4 از طریق فرآیند سل-ژل تهیه کردند و نتایج نشان داد که اندازه ذرات بین ۴۶ تا ۷۷ نانومتر و پارامترهای تجزیه و تحلیل رنگ نانوذرات، مقدارهای $L^* = 18/6$ ، $a^* = -0.50$ ، $b^* = -0.22$ را نتیجه داد که از روشنایی خوبی برخوردار نبوده است [۱۵].

هدف از این پژوهش ساخت نانورنگدانه آبی سیلیکات تیتانات کبالت، چاپ این رنگدانه و بررسی خواص خودتمیزشوندگی و مقاومت شیمیایی بر روی کاشی سرامیکی می‌باشد.

سرامیک‌ها در سخت‌ترین شرایط خورنده کاربرد داشته باشند [۶]. در این پژوهش از روش سل ژل استفاده شده است. فرآیند سل-ژل یک روش شیمیایی تر^۱ برای تولید انواع نانوساختارها به ویژه نانوذرات اکسید فلزی می‌باشد [۹،۸،۷]. در مطالعه‌ای کراسنی^۲ و همکاران، با بررسی مقاومت پوشش‌های مختلفی در برابر محلول‌های اسیدی و قلیایی پرداختند. پوشش‌ها با H_2SO_4 ۹۸٪، $NaOH$ ۳۵٪ به مدت ۱ ساعت واکنش داده شدند. نتایج نشان داد که در میان تمام مواد، $2SiO_2$ و $3Al_2O_3$ دارای $\alpha-Al_2O_3$ بیشترین مقاومت شیمیایی هستند [۱۰]. جیمز^۳ و همکاران، با مطالعه روی پوشش سرامیکی، مقاومت خوردگی در برابر اسید سولفوریک با ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درصد وزنی در دماهای ۵۰ و ۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۱۰ روز مورد ارزیابی قرار دادند که بهترین مقاومت برای silica و high-silica بودست آمد [۱۱]. پژوهشی توسط ژانگ^۴ و همکاران به توصیف یک فرآیند غوطه‌وری برای تهیه پوشش فوق آبگریز بر اساس تیتانیوم دی اکسید نانوسیم همراه با پلی دی متیل سیلوکسان پرداخته است. زاویه تماس پوشش نانوسیم TiO_2 حدوداً 158 ± 2 درجه است که پس از تابش نور UV به مدت ۶ ساعت، سطح فوق آبگریز به یک سطح آبدوست تبدیل شده است [۱۲]. در پژوهشی ماتا^۵ و همکاران، اثرات تابش اشعه UV برای خاصیت خودتمیزشوندگی لعاب سرامیکی پوشش داده شده با TiO_2 به روش سل ژل را مورد بررسی قرار دادند. سه

¹ Wet chemical method² Krasnyi³ James⁴ Zhang⁵ Mataa



آب به محلول افروده شد و روی همزن بهم خورد. پس آن مقدار مشخص شده TiPt به محلول در حال هم خوردن اضافه شد و نهایتاً اسید به محلول اضافه شد و ده دقیقه دیگر روی همزن مغناطیسی ماند. سل تهیه شده به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد به ژل تبدیل شد و سپس روی متنل خشک شد. در ادامه نمونه های خشک شده درون کوره استوانه ای به مدت ۹۰ دقیقه در ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد پخت شد. سل با استفاده از دستگاه چاپ تخت بر رو سرامیک انگوب و لعاب خورده اعمال و تحت شرایط تولید صنعتی رو خط تولید به مدت ۵۰ دقیقه در دمای ۱۰۸۰ درجه سانتی گراد پخت شد. برای بررسی ساختار نمونه ها پس از چاپ بر رو سرامیک، آن ها تحت آزمون پراش پرتو X قرار گرفته و شکل و اندازه ذرات آن با میکروسکوپ الکترونی روشی مشاهده شد. رنگ نمونه ها نیز با استفاده از طیف بازتاب و آزمون رنگ سنجی تحت استاندارد CIE L*a*b* انجام گرفت.

۲- فعالیت های تجربی

۲-۱- مواد

در این پژوهش از کلرید کبالت ۶ آبه (CoCl_2) از شرکت قطران شیمی و تتراتیل اورتو سیلیکات (TEOS) با خلوص ۹۹٪ از شرکت مرک و تترایزو پروپیل اورتو تیتانات (TiPt) با خلوص ۹۸٪ از شرکت مرک تهیه شده است. اتانول با خلوص ۹۶٪ از شرکت نصر و هیدرو کلرید اسید (HCl) از صنایع شیمیایی دکتر مجللی تهیه و استفاده شده است.

۲-۲- روش کار

تولید رنگدانه در این پژوهش به روش سل ژل صورت گرفت. در ابتدا مواد اولیه بر اساس جدول ۱ آماده شد. نمونه ها براساس میزان TiPt مورد استفاده در ساخت آن A، B، C، D و E نامگذاری می شوند. برای تهیه سل، ابتدا کلرید کبالت درون اتانول حل شد و سپس TEOS به همراه

جدول ۱- لیست مواد مورد استفاده در آزمایش

نام مواد	فرمول شیمیایی	A	B	C	D	E
کبالت کلرید ۶ آبه	CoCl_2	۰/۷۱۳	۰/۷۱۳	۰/۷۱۳	۰/۷۱۳	۰/۷۱۳
اسید هیدرو کلرید	HCl	۰/۴۸۵	۰/۴۸۵	۰/۴۸۵	۰/۴۸۵	۰/۴۸۵
اتانول	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	۵	۵	۵	۵	۵
تتراتیل اورتو سیلیکات	TEOS	۰/۶۱	۰/۱۲۴	۰/۱۸۶	۰/۲۴۹	۰/۳۱۲
تترایزو پروپیل اورتو تیتانات	TiPt	۰/۳۴۰	۰/۲۵۵	۰/۱۷۰	۰/۰۸۴	۰
آب مقطّر	H_2O	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵

بررسی ریزساختار نمونه ها با استفاده از دستگاه TVEGA3

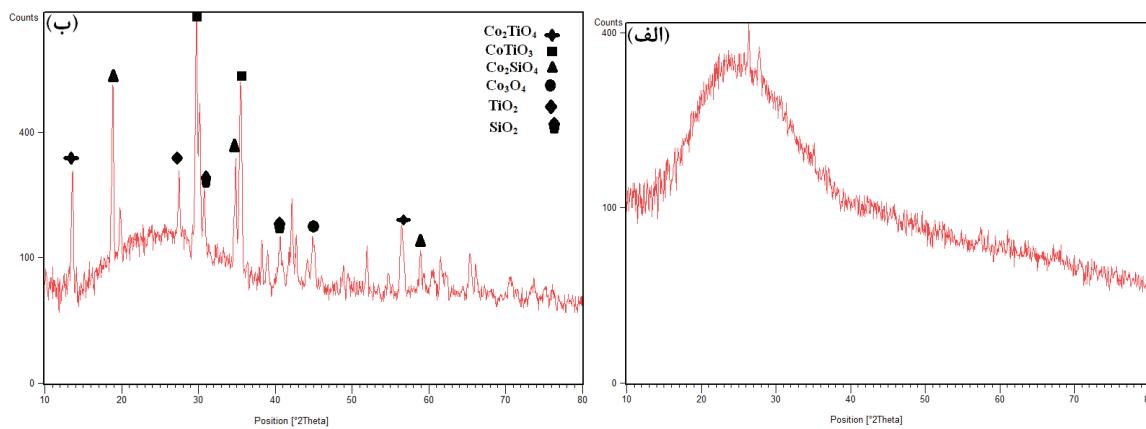
برای بررسی ساختار بلوری از دستگاه Xpertpro(40 kV)

۲-۲-۱- تجهیزات و دستگاه ها



که مشخصاً نشان دهنده ماده خاصی باشد و برای ما قابل شناسایی باشد، مشاهده نشده است.

رنگدانه سیلیکات تیتانات کبالت ۰.۶٪ تهیه شد و با لعب سفید مخلوط شده است و پس از پخت، از قرص‌های لعب آنالیز XRD به عمل آمده است که در شکل ۱ قسمت (ب) نشان داده شده است. پودر از فازهای تیتانات کبالت، سیلیکات کبالت، اکسید کبالت، اکسید تیتانیوم و اکسید سیلیسیوم تشکیل شده است. بلندترین قله‌ها مربوط به ماده تیتانات کبالت و سیلیکات کبالت می‌باشد ولی طبق آنالیز XRD فازهای تیتانات کبالت و سیلیکات کبالت به صورت جدا از هم تشکیل شدند. فاز ترکیبات تیتانات کبالت تشکیل شده که در آنالیز XRD Rhombohe است. از آنجایی که سنتز در ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شده است و همچنین وجود پیک TiO_2 در ۲۷ درجه، نشان دهنده فاز روتایل برای تیتان می‌باشد.



شکل ۱- آنالیز XRD (الف) لعب سفید و (ب) لعب رنگی سیلیکات تیتانات کبالت ۰.۶٪.

توجه به تصویر ذرات بی‌شکل هستند و پس از اندازه‌گیری اندازه بیش از ۱۰۰ ذره از پودر سیلیکات تیتانات کبالت، اندازه ذرات ۱۰۰۰-۶۰ نانومتر اندازه‌گیری

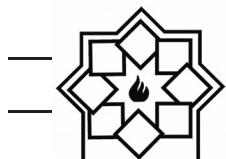
استفاده شد و آزمون رنگ‌سنجدی با دستگاه اسپکتروفوتومتر (X-rite SP 62) انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۱-۳- ساخت و مشخصه‌یابی رنگدانه‌ها

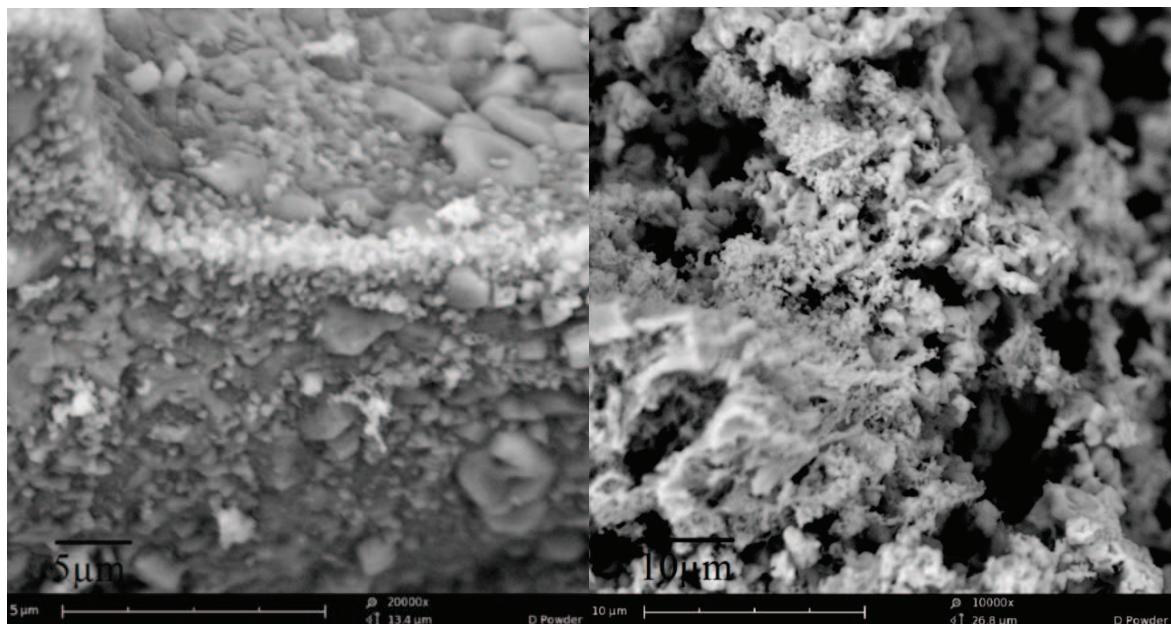
برای بدست آوردن ترکیباتی که در لعب پس از پخت شکل می‌گیرد، آنالیز XRD از قرص لعب سفید در شکل ۱ (الف) نشان داده شده است. لعب‌ها طیف گسترده‌ای از ترکیبات آلی و معدنی را در بر می‌گیرند که معمولاً مخلوط شیشه مانندی از ترکیبات متنوعی از مثل سدیم نیتریت، پتاسیم کلراید، سدیم الومینیت، پتاس، منیزیم کربنات، منیزیم کلراید، اوره، سیتیک اسید و غیره است. این اجزا را پس از آسیاب شدن و نرم کردن به صورت خمیری رقیق درمی‌آورند و سرامیک را با آن پوشش می‌دهند. سپس در کوره تا دمای معین حرارت می‌دهند. به همین دلیل پیکی

در شکل ۲ دو تصویر SEM در مقیاس‌های ۵ میکرومتر و ۱۰ میکرومتر از پودر سیلیکات تیتانات کبالت پخت شده در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نشان داده شده است. با

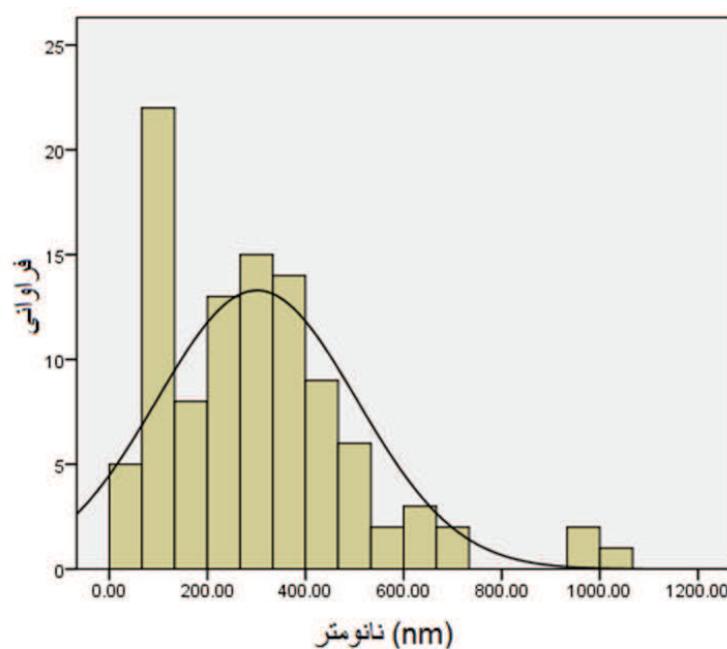


ضریب نرمال داده ها بیش از 0.05% باشد، داده ها نرمال می باشند. در نتیجه نمودار توزیع فراوانی رسم شده در شکل ۳ نرمال است.

شده است که میانگین داده ها برابر با $300/96$ نانومتر است. ضریب نرمال برای داده های اندازه گیری شده برابر با 0.90% است که بر اساس کلموگروف اسمیرنوف اگر



شکل ۲- تصاویر SEM پودر سیلیکات تیتانات کبالت 60% پخت شده در 1100 درجه سانتی گراد



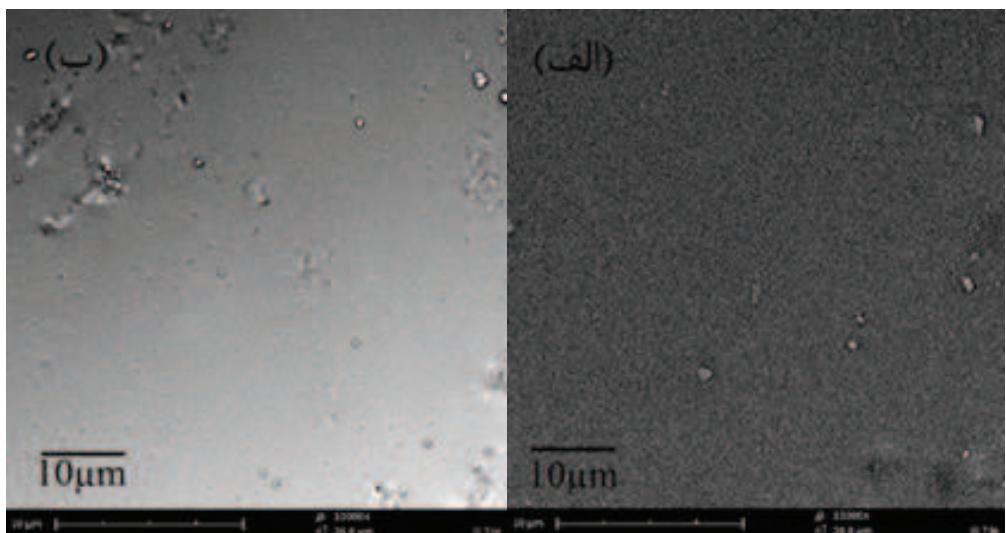
شکل ۳- نمودار فراوانی هیستوگرام پودر سیلیکات تیتانات کبالت 60%



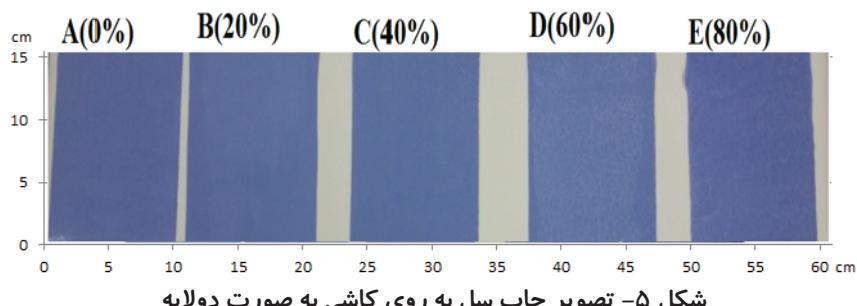
پس از اندازه‌گیری اندازه بیش از ۷۰ ذره از روی سرامیک چاپ شده، کمترین اندازه ذره برابر با $20/73$ نانومتر و بیشترین اندازه ذره برابر با $362/88$ نانومتر می‌باشد. و میانگین داده‌ها $56/90$ نانومتر اندازه‌گیری شد که بیانگر درصد قابل توجهی از ذرات نانومتری روی سطح سرامیک چاپ خورده با سل سیلیکات تیتانات کبالت است.

نمونه‌های چاپی در شکل ۵ و نتایج آزمون رنگ‌سنگی نمونه‌های کاشی چاپ شده در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که داده‌ها نشان می‌دهد، نمونه‌ها دارای b^* ^a منفی هستند که مطابق با رنگ آبی شکل نمونه‌های چاپ شده به روی سرامیک است.

تصویر SEM نمونه چاپی پخت شده در شکل ۴ ارائه شده است. شکل (الف) تصویر SEM سرامیک بدون چاپ را نشان می‌دهد، سطح شامل پوشش لعاب است. شکل (ب) تصویر SEM سطح چاپ شده سرامیک با سل سیلیکات تیتانات کبالت 60% را نشان می‌دهد. در حالت چاپ شده روی سرامیک، نانو ذرات روی سطح پخش شده‌اند و تعدادی زیادی از نانو ذرات هنگام حرارتدهی با ترکیبات لعاب مخلوط شده‌اند، و در فاز شیشه‌ای لعاب نفوذ کرده‌اند. بدین ترتیب تماس ذرات روی سطح با هم کمتر بوده، در نتیجه شدت بهم چسبیدگی نانو ذرات در حالت چاپ شده کاهش یافته است.



شکل ۴- تصاویر سرامیک پخت شده در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد (الف) بدون چاپ و (ب) با چاپ رنگدانه سیلیکات تیتانات کبالت 60% .



شکل ۵- تصویر چاپ سل به روی کاشی به صورت دولایه



جدول ۲- مولفه‌های رنگی سل چاپ شده روی کاشی

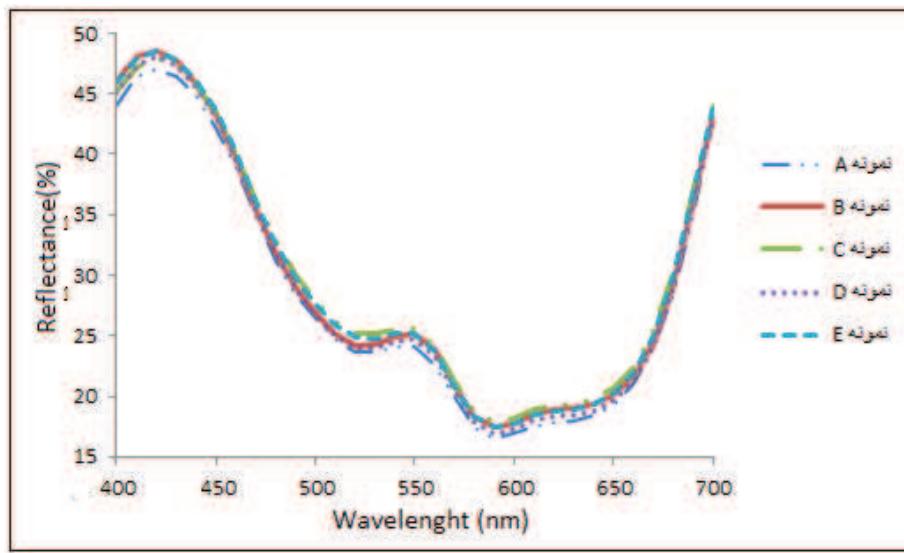
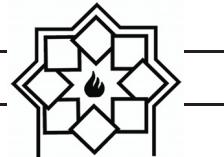
b*	a*	L*	نمونه
+۴/۰۹	-۰/۴۸	۹۰/۴۱	سفید
-۲۵/۷۰	+۳/۳۴	۵۴/۹۰	(/۰) A
-۲۵/۰۶	+۳/۶۷	۵۶/۱۱	(/۲۰) B
-۲۴/۸۶	+۲/۹۳	۵۶/۳۴	(/۴۰) C
-۲۴/۷۸	+۳/۵۲	۵۷/۳۰	(/۶۰) D
-۲۳/۴۵	+۲/۸۲	۵۹/۷۳	(/۸۰) E

کبالت (خاکستری رنگ و موجب تیرگی می‌شود)، اکسید تیتانیوم (ایجاد زردی در رنگ)، اکسید سیلیسیوم (سفید رنگ) و تحت تاثیر بودن رنگدانه توسط لعاب، انعکاس رنگ آبی اندکی تحت تاثیر گرفته است.

برای بررسی خاصیت فتوکاتالیستی از آزمون تجزیه متیلن بلو در اثر تابش UV استفاده شده است. در این آزمایش محلول متیلن بلو با غلظت ۰/۰۳ مولار تهیه شده و سطح سرامیک‌های چاپ خورده با آن پوشش داده شد. در همه تست‌ها از کاشی که یک بار رنگ به روی آن چاپ شده است استفاده شده است. (رنگ تک لایه) و تست متیلن بلو نیز در بازه زمانی ۷۲ ساعته به روی سرامیک ارزیابی شده است.

هنگامی که نمونه‌ها تحت تابش نور UV قرار می‌گیرند، خاصیت فتوکاتالیستی باعث واکنش مولکول‌های آلی رنگ با تیتانات شده و طی فرآیند اکسایشی موجب کاهش ضخامت آن بر روی سطح می‌شود. این پدیده باعث کم رنگ شدن لایه رنگ روی سطح نانولایه و همچنین تغییر طیف عبور لایه شده است.

در شکل ۶ طیف انعکاسی نمونه کاشی‌های چاپ شده نشان دهنده رنگ آبی می‌باشد. طبق طیف بیشترین بازتاب در طول موج‌های ۶۰۰-۷۰۰ نانومتر مربوط به رنگ قرمز و نارنجی و همچنین طول موج‌های ۴۰۰-۵۰۰ نانومتر مربوط به رنگ‌های نیلی و آبی است و کمترین بازتاب در طول موج ۵۰۰-۶۵۰ نانومتر مربوط به رنگ‌های سبز و زرد رخ داده است. همانگونه که قابل انتظار بود نمونه‌ها بیشترین بازتاب را در ناحیه مربوط به رنگ آبی نشان می‌دهند. همانطور که از نمودار شکل ۴ و داده‌های جدول ۲ مشخص است رنگ آبی نمونه‌ها بسیار نزدیک به هم است به گونه‌ای که نمودارها به روی هم افتاده است. Co_2SiO_4 یک ترکیب اکسیدی است که دارای شکل بلوری اورتورومبیک با ساختار الیوین است. این ساختار از یک آرایه شش ضلعی بسته اکسیژن تشکیل شده که در آن نیمی از جایگاه‌های Si هشت وجهی توسط اتم O و چهاروجهی توسط اتم C اشغال شده است. پودر آبی رنگ زمانی مشاهده می‌شود که اتم‌ها در جایگاه خود قرار گیرند. جایگای اتم‌ها در جایگاه چهاروجهی و هشت وجهی باعث ایجاد رنگ سیاه در پودر می‌شود. همچنین به دلیل وجود فازهایی همچون اکسید

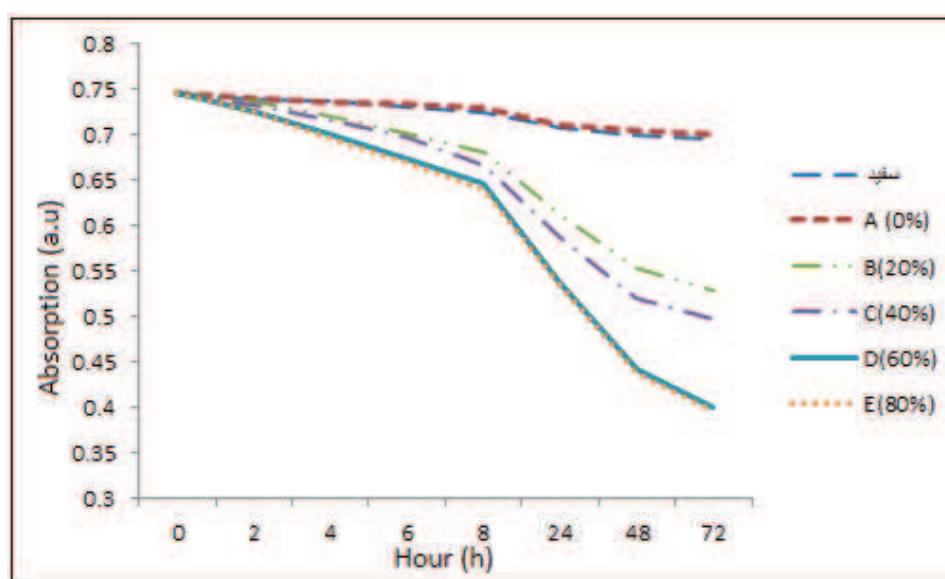


شکل ۶- طیف انعکاسی کاشی‌های چاپ شده

الکترون‌های محرک شده، باعث افزایش در تولید مقدار زیادی رادیکال‌های فعال هیدروکسیل شده است که با بالا رفتن این رادیکال‌های فعال هیدروکسیل تولیدی سرعت تجزیه رنگ آلی متیلن بلو افزایش یافته است. میزان درصد حذف رنگ (R) طبق معادله محاسبه و در جدول ۳ آورده شده است.

$$R(\%) = \frac{(C_0 - C)}{C_0} \times 100$$

شکل ۷ نمودار کاهش غلظت متیلن بلو را پس از گذشت زمان‌های متفاوت نشان داده است. با بالا رفتن زمان تابش پرتو فرابنفش، تعداد الکترون بیشتری تحریک شده است که این از دیاد در تحریک الکترون‌ها به دلیل افزایش مدت زمان تابش پرتو رسانیده بر بستر نمونه است. افزایش در تعداد



شکل ۷- نمودار کاهش غلظت رنگ متیلن بلو در اثر پرتودهی



جدول ۳- میزان درصد حذف رنگ

نمونه	سفید	(٪.۰) A	(٪.۲۰) B	(٪.۴۰) C	(٪.۶۰) D	(٪.۸۰) E
R%	٪. ۷	٪. ۶	٪. ۲۹	٪. ۳۳	٪. ۴۶	٪. ۴۷

اندازه نانورنگدانه بر روی نمونه چاپ شده سیلیکات تیتانات کبالت در حدود ۹۰ نانومتر ارزیابی شد. با توجه به تست رنگبری متیلنبلو، تا حدود ۵۰ درصد حذف رنگ نمونه‌های چاپی سیلیکات تیتانات کبالت را داشته است و در نتیجه نمونه‌ها دارای خاصیت فوتوكاتالیستی خوبی هستند. همچنین بررسی مقاومت شیمیایی، رده گروهی A (مقاومت شیمیایی عالی) را نسبت به نمونه مرجع گزارش کرده است.

تشکر و قدردانی

از شرکت کاشی مسعود به دلیل همکاری در بخش صنعت و از آقای رضا دهقان بدلیل مشارکت در آماده سازی نمونه‌ها تشکر و قدردانی می‌شود.

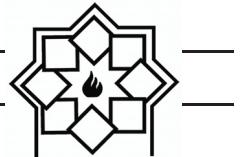
مراجع

- [1] S. Farrokhpay, "A review of polymeric dispersant stabilisation of titania pigment", *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 151, pp. 24-32 , 2009.
- [2] H. Juergen, A. Braun, R. Baidins, E. Marganski , "TiO₂ pigment technology: a review" , *Progress in Organic Coatings*, Vol. 20, pp.105-138 , 1992.
- [3] K. Y. King, C. K. Ling, H. Liu, Patent No. US 8,710, 118 B2. United States Patent, 2014.
- [4] Z. Chen, E. Shu, W. Li, Y. Zhong, "Particle size comparison of CoAl₂O₄ pigment", *materials letters* , *The Journal of Organic Chemistry*, Vol.55 , pp.281-284 , 2002.
- [5] M. Jyrki, M. Aromaa, "FUNCOAT -

آزمون مقاومت شیمیایی طبق استاندارد ISO 10545-13 اروپا که بیانگر روش آزمایش برای تعیین مقاومت شیمیایی سطوح لعاب‌دار کاشی‌های سرامیکی در دمای اتاق است، انجام شده است. نمونه کاشی‌ها با محلول‌های اسیدی و بازی شامل اسید هیدرو کلرید ۳٪ وزنی و هیدروکسید پتاسیم ۳۰ گرم بر لیتر مورد آزمون قرار گرفته است. پس از یک هفته نتایج آزمون با مداد HB و قرار دادن در برابر نور مخصوص جهت بررسی مات شدن سطح نشان داد که نمونه مرجع (کاشی سفید) دارای کلاس B است که در آزمون عمل با محلول اسیدی مردود اعلام شده است و نمونه کاشی سیلیکات تیتانات کبالت ۶۰٪ دارای کلاس A می‌باشد و اثر مداد HB بر روی کاشی عمل شده با محلول‌های اسیدی و بازی باقی نمانده است.

۴- نتیجه‌گیری

پارامتر *b برای نمونه چاپ شده روی کاشی سیلیکات تیتانات کبالت ۲۴/۷۸- به دست آمد که به طور چشمگیری ارزش آبی را نشان می‌دهد. همچنین طیف سنجی بازتابی منتشر شده سرامیک چاپ شده، بیانگر رنگ آبی نمونه‌ها است. نتیجه XRD بررسی ساختار لعاب، ترکیبات چند فازی را نشان داده است که به دلیل وجود مواد مختلف درون لعاب است، با این وجود، ساختارهای Co₂SiO₄ و CoTiO₃ عمده ساختارهای مشخص شده در لعاب بوده است، که نشان‌دهنده تشکیل شدن ترکیبات موردنظر در لعاب است.



Society, pp.617-623, 2015.

- [15] M. Enhessari and Z. Solati and A. Mohebalizadeh and A. Alipouramjad, "Synthesis, characterization and optical band gap of the Co_2TiO_4 nanoparticles", Materials Science in Semiconductor Processing, Vol.31, pp.599–603, 2015.
- [6] L. Hupa, R. Bergman, L. Fro berg, "Chemical resistance and cleanability of glazed surfaces", Surface Science , Vol.584, pp.113–118, 2005.
- [7] Y. Dimitriev, Y. Ivanova, R. Iordanova, "History of sol-gel Science and Technology (review)", Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, Vol.43, No.2, pp.181-192 , 2008.
- [8] M. Niederberger, N. Pinna, "Metal Oxide Nanoparticles in Organic Solvents: Synthesis, Formation", Assembly and Application, Engineering Materials and Processes, pp.205-209, 2009.
- [9] J. Livage, M. Henry, C. Sanchez, "Sol-gel Chemistry of Transition Metal Oxides", Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée, CNRS (UA 302), Vol.18, pp.259-341, 1988.
- [10] B. L. Krasnyi, V. P. Tarasovskii, E. V. Rakhmanova, V. V. Bondar, "Chemical Resistance of Ceramic Materials in Acids and Alkalies", Translated from Steklo i Keramika, Vol.10, pp.22-24, 2004.
- [11] J. P. Bennett, "Corrosion Resistance of Selected Ceramic Materials to Sulfuric Acid", Bureau of Mines Report of Investigations, pp.23-28, 1986.
- [12] X. Zhang, Y. Guo, Zh. Zhang, P. Zhang, "Self-cleaning superhydrophobic surface based on titanium dioxide nanowires combined with polydimethylsiloxane", Applied Surface Science, Vol.284, pp.319–323, 2013.
- [13] J. Maatta, M. Piispanen, H. -R. Kymäläinen, A. Uusi-Rauva, "Effects of UV-radiation on the cleanability of titanium dioxide-coated glazed ceramic tiles", Journal of the European Ceramic Society, Vol.27, pp.4569–4574, 2007.
- [14] F. Sajadi and M. Khajeh Aminian, "Study the Photocatalytic Degradation of Oleic acid on TiO_2 Thin Film", Iranian Ceramic