فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۳، پاییز ۱۳۹۸

ساخت کاشی نیمه شفاف و بررسی خواص آن

نوع مقاله: علمی پژوهشی

حمیدرضا احمدی[1*]، سمیرا یزدی[2]

[1] گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران

[2] دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران

* ahmadi.hamidreza@gmail.com

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۳۰ آذر ۱۳۹۷

پذیرش: ۲۳ آبان ۱۳۹۸

کلید واژه:

کاشی، نیمه شفاف، عبور نور، سفیدسنجی

چکیده:

کاشی‌های نیمه شفاف از جمله کاشی‌هایی است که اخیرا ساخت آن مورد توجه واقع شده است. عبور بخشی از نور تابیده به آن از ویژگی‌های مهم این کاشی‌ها است. عبور نور از درون آن می‌تواند جلوه خاصی از طرح روی آن، از لحاظ زیبایی ایجاد کند؛ بخصوص آنکه بتوان آنرا از لحاظ نور پردازی با LED تلفیق کرد که در این صورت زیبایی آن چندین برابر می‌شود. در این پژوهش تاثیر استفاده از فریت ترانس و فلدسپار در ترکیب کاشی پرسلانی برای به دست آوردن خاصیت نیمه شفاف بررسی گردید. ترکیبات با ۵۰٪-۱۰ فریت و فلدسپار به روش پرس پودر و پخت در کوره پخت سریع رولری در دمای ۱۱۵۰°C و مدت زمان ۷۰ دقیقه تهیه شدند. ترکیب ساختاری و بررسی ریز ساختاری بوسیله روش پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی SEM انجام شد. جهت بررسی عبور نور از تست طیف سنجی نوری استفاده گردید و شاخص سفیدی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد. همچنین سایر خواص از جمله استحکام خمشی پخت، دانسیته، جذب آب اندازه گیری شد. بررسی‌های انجام شده نشان داد ۵۰ درصد فریت در کنار ۲۰ درصد فلدسپار، عبور نور و شاخص سفیدی بهتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

۱- مقدمه

کاشی‌ها در معماری همیشه نماد زیبایی و شکوه بی‌پایان بوده و هستند. از دیرباز از این عناصر زیبا در تزیین خانه‌ها و معماری شهری، مراکز تجاری، فرهنگی، خرید، هتل‌ها، مهمانسراها، پایانه‌های مسافری و ... استفاده شده است و در مقام شیئی ترکیبی و هماهنگ متجلی گردیده و به آن نقشی زیبا و باشکوه بخشیده است. می‌توان از آن در دکوراسیون داخلی برای ساخت قاب، آینه، میز، اطراف شومینه، سرویس‌های بهداشتی و در محوطه‌های باز مانند باغ و حیاط برای ساخت نیمکت و صندلی و ... استفاده کرد و اثری ماندگار و با ارزش از خود بجا گذاشت. نحوه استفاده از این عنصر در معماری و زیبا سازی فضاهای امروزی موضوعی است که از تنوع بسیاری برخوردار است. در طراحی فضای شهری مطلوب و ایده‌آل علاوه بر کاشی عناصر مهمی

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

دیگری مثل نور نیز تأثیرگذار است. در این راستا تلفیق کاشی و نور می‌توانند در کیفیت و جلوه‌ی بصری، خصوصاً سیمای شبانه ابنیه و فضاهای شهری بسیار مؤثر است و نسبت و رابطه‌ی صحیحی با آن داشته باشد. ایجاد این خاصیت در کاشی از جمله موضوعات جالب است که اطلاعات بسیاری کمی در مورد آن وجود دارد. کاشی‌های نیمه شفاف از جمله کاشی‌هایی است که اخیرا ساخت آن مورد توجه واقع شده است. عبور بخشی از نور تابیده به آن از درون آن از ویژگی‌های مهم این کاشی‌ها است. با طرحی که بر روی آنها است؛ عبور نور از آن جلوه خاصی را از لحاظ زیبایی می‌تواند ایجاد کند. بخصوص آنکه بتوان آنرا از لحاظ نور پردازی با LED تلفیق کرد که در این صورت زیبایی آن چندین برابر می‌شود. در سال‌های اخیر تلاش‌هایی مبنی بر افزایش ویژگی نیمه شفافی در برخی محصولات سرامیکی از جمله پرسلان صورت گرفته است [۳-۱]. تنها معدودی محقق به بیان برخی اطلاعات کلی بسنده کرده‌اند [۴ و ۵]. هدف از انجام این تحقیق ساخت کاشی نیمه شفاف می‌باشد.

۲- فعالیت‌های تجربی

آنالیز مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش و فرمولاسیون بچ‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ الی ۳ آمده است. کائولن از ۱۰ تا ٪۵۰ تغییر می‌کند. فریت نیز از ۱۰ تا ٪۵۰ تغییر و جایگزین فلدسپار می‌شود.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی مواد اولیه

نام ماده	L.O.I	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	SiO_2
کائولن اکراین	۷	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷	۳۶/۰	۴۸/۰
فلدسپار SF-10	۰/۵۹	۰/۱۳	۸/۲	۰/۶۸	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۰۷	۱۴/۱۴	۷۵/۶۶
کربنات کلسیم	۴۴/۰	۰/۰	۰/۵۴	۵۲/۳۲	۲/۵۱	۰/۳۱	۰/۰۳	۰/۲۶	۰/۰
آلومینا AC-45	۰/۱۳	۰/۰	۳۶۰۰ppm	۱۳۰ppm	۰/۰	۱۳۰ppm	۰/۰	۹۹/۶	۱۳۰ppm

جدول ۲- آنالیز شیمیایی فریت ترنسپارنت پرسلانی T-18937.1 لعاب مشهد

اکسید	L.O.I	K_2O	Na_2O	BaO	SrO	CaO	MgO	ZnO	Li_2O	Al_2O_3	SiO_2
درصد	۰/۰	۱/۰	۱/۸	۳/۸	۴/۲	۲/۰	۵/۵	۶/۵	۱/۲	۱۲/۰	۶۲/۰

ابتدا بچ‌ها به صورت صد گرمی و به مدت ۲۰ دقیقه توسط دستگاه فست میل آسیاب، تا زبره دوغاب‌های تهیه شده به کمتر از ٪ ۰/۵ بر روی الک مش ۲۳۰ برسد. سپس دوغاب به دست آمده خشک، و توسط دستگاه پرس آزمایشگاهی با فشار bar ۶ قرص‌هایی به قطر ۳۰mm شکل داده شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها در خشک کن به مدت یک ساعت و در دمای ۱۱۰°C، در دمای ۱۱۵۰°C و به مدت ۷۰ دقیقه در داخل کوره رولری خط تولید پخت شدند. با توجه به اهمیت عبور نور و سفیدی بدنه، از نمونه‌ها بوسیله دستگاه لوکسی متر مدل Hioki-200 آزمون عبور نور و بوسیله دستگاه رنگ سنجی مدل XRITE i1 profile 1 بر اساس استاندارد ASTM- C609-71 و بر اساس

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

پارامترهـای Hunter Lab رنـگ سـنجی و سـفید سـنجی گرفته و ترکیبات J، Z و X انتخاب شدند. به منظور مقایسه، نمونه‌ای با فلدسپار بالا که از قابلیت عبور نور بهتر و سفیدی بیشتر برخوردار است یعنی نمونـه J نیـز انتخـاب شـد. ایـن آزمون بر روی نمونه‌های S و T به علت دفرمگی زیاد انجام نشد. به منظور افزایش سـفیدی، و بهبـود میـزان دفرمگـی پخت، به ترکیبـات منتخـب، آلومینـا بـه مقـدار ۵، ۱۵ و ۲۰ درصد وزنی و کربنات کلـسیم بـه میـزان ۲۰ درصـد وزنـی بجای فلدسپار (J)، فریت (Z) و کائولن (X) اضـافه شـد. در نهایت نمونه‌های J4، Z4 و X5 انتخاب و خواص دیگر مثل طیف عبور نـور، دانـسیته، تخلخـل، جـذب آب و اسـتحکام خمشی بر روی آنها انجام شد. نمونـه‌هـای آمـاده شـده، بـا استفاده از دستگاه پرس آزمایشگاهی بـا فـشار bar ۳۰۰ در ابعاد ۱۵×۳۰cm و ضخامت ۶ mm پرس شدند.

جدول ۳- ترکیب نمونه‌ها در این پژوهش

کد نمونه‌ها	فلدسپار SF10	کائولن اکراین	فریت T18937
A	۴۰	۵۰	۱۰
B	۵۰	۴۰	۱۰
C	۶۰	۳۰	۱۰
D	۷۰	۲۰	۱۰
E	۸۰	۱۰	۱۰
F	۳۰	۵۰	۲۰
G	۴۰	۴۰	۲۰
H	۵۰	۳۰	۲۰
I	۶۰	۲۰	۲۰
J	۷۰	۱۰	۲۰
K	۲۰	۵۰	۳۰
L	۳۰	۴۰	۳۰
M	۴۰	۳۰	۳۰
N	۵۰	۲۰	۳۰
O	۶۰	۱۰	۳۰
P	۱۰	۵۰	۴۰
Q	۲۰	۴۰	۴۰
R	۳۰	۳۰	۴۰
S	۴۰	۲۰	۴۰
T	۵۰	۱۰	۴۰
U	۰	۵۰	۵۰
W	۱۰	۴۰	۵۰
X	۲۰	۳۰	۵۰
Y	۳۰	۲۰	۵۰
Z	۴۰	۱۰	۵۰

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

جدول ۴- نمونه‌های J، Z و X اصلاح شده با آلومینا و کربنات کلسیم

مواد اولیه	J1	J2	J3	J4	Z1	Z2	Z3	Z4	X1	X2	X3	X4	X5
کائولن	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۳۰	۳۰	۳۰	۱۰	۱۰
فریت	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۵۰	۵۰	۵۰	۳۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
فلدسپار	۷۰	۷۰	۷۰	۵۰	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
آلومینا	۵	۱۵	۲۰	۲۰	۵	۱۵	۲۰	۲۰	۵	۱۵	۲۰	۲۰	۲۳
کربنات کلسیم	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰	۲۰	۲۰	۰	۰	۲۰	۲۰

از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل CS-2000A از شرکت Konica Minolta برای اندازه گیری میزان عبور نور استفاده شد. برای بررسی و شناسایی فازی، شیمیایی و ریزساختاری از دستگاه پراش پرتو X مدل PHILIPS-PW، دستگاه XRF مدل Venus 100 و دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (Mira 3, TESCAN) استفاده شد. استحکام خمشی نمونه‌ها با توجه به استاندارد ASTM C 348-86 و با استفاده از دستگاه استحکام خمشی سه نقطه‌ای (Clave-IT-10XL) اندازه گرفته شد. تعیین درصد جذب آب کلیه نمونه‌ها پس از پخت، مطابق استاندارد ملی ۳-۹۱۶۹ و ISO 10545-3 انجام شد. دانسیته‌ها و تخلخل‌ها طبق روش ارشمیدس و با استفاده از استاندارد شماره ASTM B962 انجام شد. لازم به ذکر است جذب آب تمام نمونه‌ها کمتر از ۰/۵ درصد بود. برای مشخص کردن رفتار حرارتی و منحنی پخت نمونه‌ها از دستگاه دیلاتومتری (Misura Expert مدل ODLT 3.32) استفاده شد. کلیه نمونه‌ها از دمای اتاق تا حدود ۱۱۷۰ درجه سانتیگراد، با سرعت ۱۵ درجه سانتیگراد بر دقیقه مورد گرمایش قرار گرفتند.

۳- نتایج و بحث

به منظور انتخاب نمونه‌های مناسب به جهت عبور نور و سفیدی بدنه، از این دو آزمون استفاده شد که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. در مختصات رنگ متضاد، استدلال اینست که یک رنگ نمی‌تواند در یک زمان قرمز و سبز، یا در یک زمان زرد و آبی باشد. بنابراین قرمزی یا سبزی را می‌توان با مقدار a بیان کرد، که اگر رنگ صورتی یا قرمز باشد، مثبت و اگر سبز باشد، منفی است. به طور مشابه، زرد بودن یا آبی بودن با مقدار b بیان می‌شود،که برای زردها مثبت و برای آبی‌ها منفی است. مختصات سوم روشنی رنگ را توصیف می‌کند و L نامیده می‌شود[۶ و ۷]. نتایج، تأثیر محسوس تغییرات فلدسپار و فریت را بر سفیدی بدنه و میزان عبور نور به خوبی نشان می‌دهد.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

جدول ۵- آزمون عبور نور و سفید سنجی نمونه‌ها

	ترکیب	L*	a*	b*	لوکسی متر (لوکس)
	A	۶۰/۱۲	۹/۱	۱۳/۱۴	۰/۰۱
	B	۵۹	۹/۲	۱۳/۸	۰/۰۱
۱۰ درصد فریت	C	۵۸/۱	۹/۵	۱۴/۱	۰/۰۱
	D	۵۸	۱۰/۲	۱۴/۳	۰/۰۱
	E	۵۵	۱۲/۲۳	۱۵/۱۸	۰/۰۱
	F	۶۵/۲۶	۶	۱۰/۵	۰/۰۱
	G	۶۴	۶/۳۸	۱۲/۳۴	۰/۰۱
۲۰ درصد فریت	H	۶۲/۷	۷/۲	۱۲/۶۵	۰/۰۲
	I	۶۲/۳۶	۸/۱۱	۱۳/۱۴	۰/۰۲
	J	۶۱/۱۵	۸/۳	۱۳/۵	۳/۲
	K	۷۱/۳۲	۴/۳	۸/۴۳	۰/۰۳
	L	۷۰/۴۱	۵/۱۲	۹/۳۷	۰/۰۷
۳۰ درصد فریت	M	۶۹/۸۷	۶/۴۶	۱۰/۵	۰/۱۲
	N	۶۸/۶	۶/۵	۱۰/۸۴	۹
	O	۶۸/۱۵	۷	۱۱/۸	۱۸
	P	۷۳/۵	۳/۱	۶/۷۶	۰/۰۸
۴۰ درصد فریت	Q	۷۲/۴۶	۳/۹	۷/۱۲	۰/۱۲
	R	۷۲	۴/۳۳	۷	۰/۷
	S	۷۳	۳	۴/۱	۲/۹
۵۰ درصد فریت	T	۷۴/۵	۲/۶	۳/۲۴	۳/۳
	U	۷۷	۱/۷۲	۲/۵	۲۷/۵
	W	۷۵	۲/۲	۳/۱	۳۲
	X	۷۳	۲/۸	۳/۶	۳۸

با توجه به نتایج جدول ۵ به نظر می‌رسد فریت نقش بسزایی را در عبور نور و سفیدی بدنه دارد. بطوری‌که با افزایش درصد فریت میزان عبور نور بیشتر و بدنه‌ها سفید تر شده‌اند. البته فریت به تنهایی نتوانسته عبور نور خوبی را به نمایش گذارد ولی ۵۰ درصد فریت در کنار ۲۰-۴۰ درصد فلدسپار توانسته هم عبور نور و هم سفیدی خوبی را نسبت

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

به دیگر نمونه‌ها از خود نشان دهد. همان طور که در بخش ۲ ذکر شد جدول ۴ بیانگر نمونه‌های اصلاح شده با آلومینا و کربنات کلسیم است و نتایج دو آزمون سفیدسنجی و عبور نور آنها در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به جدول‌های ۵ و ۶ و شکل ۱ مشخص می‌گردد که افزودن آلومینا و کربنات کلسیم بر عبور نور و شاخص سفیدی نمونه‌های J، X و Z تأثیر بسزایی داشته است. همانطور که مشاهده می‌شود افزودن آلومینا باعث افزایش شاخص سفیدی نمونه‌های X و Z شده است بطوری‌که توانسته این شاخص را نسبت به نمونه بدون اصلاح، به ترتیب از مقادیر ۲۷/۵ و ۳۸ به ۹۱/۷ و ۸۵/۶۳ برساند ولی نتوانسته در میزان عبور نور بهبودی حاصل کند. با اضافه شدن کربنات کلسیم به دو بدنه X و Z نه تنها شاخص سفیدی به ترتیب به مقادیر ۹۳/۶ و ۸۹/۱۴ رسید بلکه میزان عبور نور نیز ۵۳ و ۴۷/۷ لوکس یعنی ۹۱/۷٪ و ۲۰/۳٪ افزایش یافت که ممکن است این بهبودی ناشی از افزایش میزان فاز شیشه باشد. البته افزودن ۳ درصد بیشتر آلومینا به نمونه X4، توانسته شاخص سفیدی را به ۹۵/۶۷ افزایش دهد ولی در بهبود میزان عبور نور نتوانسته موفقیتی کسب کند. همچنین آلومینا اثر مشابه‌ای بر نمونه J داشته است و اثر مثبت و منفی به ترتیب بر شاخص سفیدی و میزان عبور نور داشته است. افزودن ۲۰٪ کربنات کلسیم در کنار آلومینا نه تنها شاخص سفیدی بهتر شد بلکه عبور نور نیز بهبود یافت. ولی در مقایسه با نمونه‌های Z4 و X5 مقادیر، ناچیز است. به نظر می‌آید اثر فریت در کنار آلومینا و کربنات کلسیم نسبت به اثر فلدسپار به همراه آلومینا و کربنات کلسیم در تشکیل فاز شیشه بسیار بیشتر است.

داده‌ها نشان می‌دهد که از گروه J نمونه J4، از گروه Z نمونه Z4 و از گروه X نمونه X5 بهترین نتایج را در بردارند. با توجه به مقادیر مشخص شده در جدول ۶ و شکل ۱ می‌توان مشاهده کرد که مقدار L در ترکیب X5 از همه ترکیب‌ها بیشتر بوده و سفیدی بیشتری دارد، همچنین منفی بودن مقدار a بیانگر ته رنگ سبز و مثبت بودن b نشان دهنده زردی فام آن می‌باشد. وجود فام سبز و زرد در نتایج ترکیب می‌تواند ناشی از ناخالصی‌های جزئی همانند اکسید آهن، دی اکسید تیتانیم و ... باشد که باعث انحراف از مقدار سفیدی شده است. در کل مشاهده می‌شود که X5 دارای شاخص سفیدی بیشتری است. بررسی‌های مربوط به مواد اولیه مورد استفاده در ترکیب هر یک از نمونه‌ها، نشان می‌دهد، افزایش مقدار فلدسپار سدیک و کاهش مقدار فریت در ترکیب اولیه آمیزها، باعث کاهش شخص سفیدی و افزایش مقادیر مربوط به شاخص‌های زردی، سبزی یا قرمزی (فام‌های رنگی) می‌شود. احتمالا فلدسپار به دلیل داشتن ناخالصی‌های بیشتر در مقایسه با فریت، از رنگ تیره‌تری برخوردار بوده و به همین دلیل مقدار L آن کمتر می‌شود. به همین دلیل نمونه J4 از سفیدی کمتری نسبت به نمونه Z4 و X5 برخوردار است.

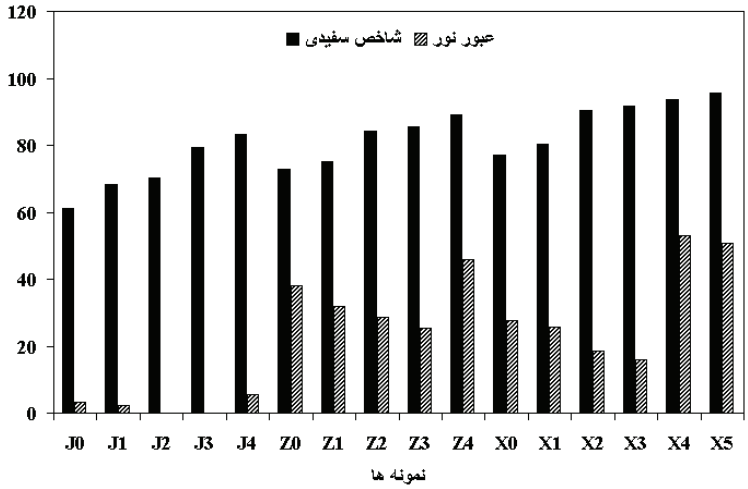
از یک بدنه کاشی نیمه شفاف شرکت TORRECID اسپانیا به عنوان نمونه مرجع (بدنه Ref)، به منظور مقایسه با نمونه‌های ساخته شده نیز استفاده شد. شاخص سفیدی آن در جدول ۲-۳ آمده است و مشخص است که میزان آن از نمونه‌های X4، X5 و Z4 کمتر است.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

جدول ۶- سنجش معیار سفیدی و عبور نور گروه j,x,z

نام گروه	ترکیب	L^*	a^*	b^*	لوکسی متر
گروه J	J1	۶۸/۳۸	۷/۲	۱۳	۲/۲
	J2	۷۰/۴	۳/۴۳	۸/۳۵	۰/۰۱
	J3	۷۹/۴	۱/۲	۲/۴	۰/۰۱
	J4	۸۳/۲	۰/۷۵	۰/۷۶	۵,۴
گروه Z	Z1	۷۵	۲/۱	۲/۷۸	۳۲
	Z2	۸۴/۳۷	۱/۷۳	۱/۸۶	۲۸/۶
	Z3	۸۵/۶۳	۱/۳۲	۱/۳	۲۵/۴
	Z4	۸۹/۱۴	۰/۹۶	۱/۰۱	۴۵/۷
گروه X	X1	۸۰/۴۶	۱/۵۴	۲/۱	۲۵/۸
	X2	۹۰/۵۲	۱/۵	۲	۱۸/۵
	X3	۹۱/۷	۱/۴۵	۱/۸۷	۱۶
	X4	۹۳/۶	۱/۴	۱/۸۴	۵۳
	X5	۹۵/۶۷	۱/۳۹	۱/۵	۵۰/۸
نمونه شرکت **TORRECID** (Ref)	REF	۸۷/۰۵	۰/۴۳	۸/۲۴	-



شکل ۱- میزان شاخص سفیدی و عبور نور نمونه‌ها

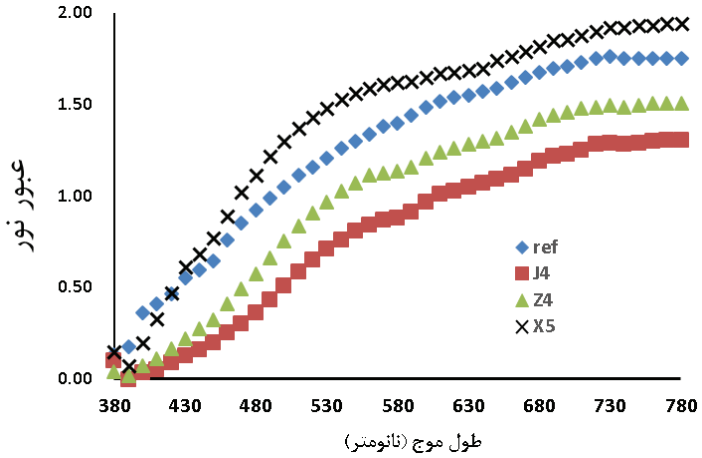
نمودار ۲ بیانگر طیف عبور نور از نمونه‌ها در محدوده ۳۸۰-۷۸۰nm، می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود با افزایش مقدار فریت، میزان نور عبوری بیشتر می‌شود. با توجه به اینکه فریت تولید فاز شیشه بسیار شفافی می‌کند که بیشتر نور تابیده

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

شده از آن عبور می‌کند، افزایش مقدار فاز شیشه ایجاد شده توسط این ماده باعث افزایش شفافیت نمونه می‌شود.

جدول ۳ بیانگر نتایج دانسیته‌های بالک، ظاهری، پودر و تخلخل‌های ظاهری و بسته نمونه‌ها می‌باشد. از آنجا که وزن خشک و غوطه‌وری نمونه‌ها اختلاف ناچیزی با یکدیگر داشتند، تخلخل ظاهری و جذب آب نمونه‌ها نیز تقریبا برابر صفر شدند. به تبع آن اختلاف دانسیته ظاهری و بالک نمونه‌ها نیز بسیار ناچیز شدند. کمترین و بیشترین دانسیته بالک به ترتیب مربوط به نمونه خارجی و نمونه J4 است (شکل ۳). با توجه به دانسیته پودر فریت (۴/۲۱ g/cm^3) و فلدسپار (۳/۰۴ g/cm^3) و جدول ۷ و با در نظر گرفتن میزان مصرف فریت و فلدسپار در نمونه‌ها و دانسیته پودر آنها، به نظر می‌رسد می‌بایست دانسیته بالک نمونه X5 نسبت به بقیه نمونه‌ها بیشتر و برای نمونه J4 کمتر باشد که با نتیجه بدست آمده تناقض دارد. از آنجا که تخلخل باز و بسته، توأمان در دانسیته بالک نقش ایفا می‌کنند، احتمال دارد تخلخل بسته در این تناقض نقش اساسی داشته باشد. A.P. Luz و S. Ribeiro [۸] در پژوهشی که انجام داد بیان کرد که استفاده از شیشه به عنوان ماده اولیه در کاشی پرسلانی باعث کاهش ویسکوزیته فاز مایع می‌گردد و همچنین منجر به افزایش تخلخل‌های بسته در فاز شیشه می‌شود. شکل ۴ نتایج تخلخل بسته نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که نمونه X5 بیشترین و پس از نمونه خارجی، نمونه J4 کمترین تخلخل بسته را دارد. این میزان تخلخل بسته ممکن است ناشی از عدم خروج گازها ناشی از تجزیه مواد اولیه بخصوص کربنات کلسیم باشد. با توجه به شکل ۵ فریت ترانس دمای نرم شوندگی کمتری نسبت به فلدسپار دارد و به نظر می‌آید که، سریع‌تر می‌تواند با اجزاء بدنه واکنش کرده و نسبت به فلدسپار، تشکیل فاز شیشه را در دمای کمتری فراهم و تسریع کند. بنابراین با توجه به نتایج A.P. Luz و S. Ribeiro [۸]، این امر ممکن است باعث بسته شدن سریع‌تر حفره‌ها و تخلخل‌ها قبل از خروج گازها شود و در نهایت منجر به افزایش تخلخل بسته شود. بنابراین آنچه که در کاهش و افزایش دانسیته بالک نمونه‌های به ترتیب X5 و J4 در شکل ۴ دیده می‌شود ناشی از، به ترتیب، بیشتر و کمتر بودن تخلخل بسته در آنهاست.



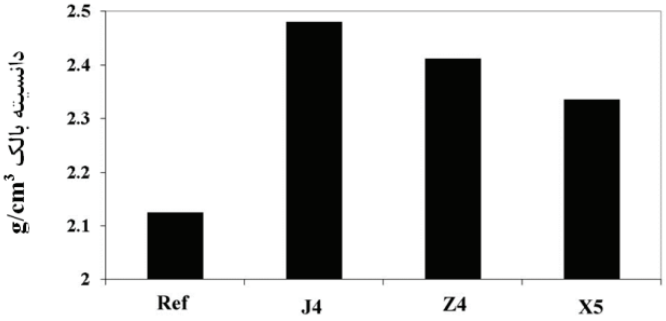
شکل ۲- طیف عبور نور از نمونه‌ها

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

جدول ۷- مقادیر دانسیته‌های بالک، ظاهری، پودر و تخلخل‌های ظاهری و بسته نمونه‌ها

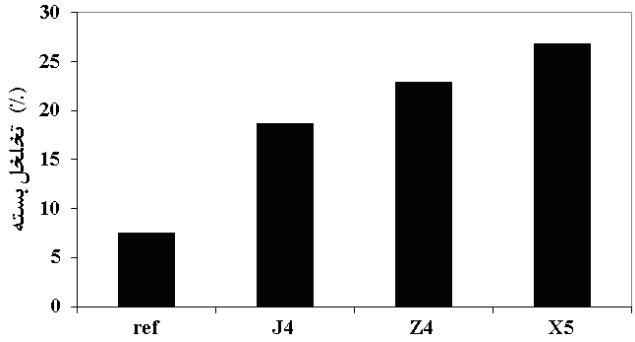
شماره نمونه	دانسیته بالک g/cm^3	دانسیته ظاهری g/cm^3	دانسیته پودر g/cm^3	تخلخل ظاهری (٪)	تخلخل بسته (٪)	جذب آب (٪)
خارجی	۲/۱۲۵	۲/۱۲۸	۲/۳	۰/۱۶	۷/۴۶	۰/۰۸
J4	۲/۴۷۹	۲/۴۸۱	۳/۰۵	۰/۰۹	۱۸/۶۲	۰/۰۴
Z4	۲/۴۱۱	۲/۴۱۴	۳/۱۳	۰/۱۰	۲۲/۸۵	۰/۰۴
X5	۲/۳۳۵	۲/۳۳۹	۳/۲	۰/۱۸	۲۲/۸۵	۰/۰۸



شکل ۳- تغییرات دانسیته بالک نمونه‌های Ref، J4، Z4 و X5

جدول ۸- ترکیب بدنه نمونه‌های J4، Z4 و X5

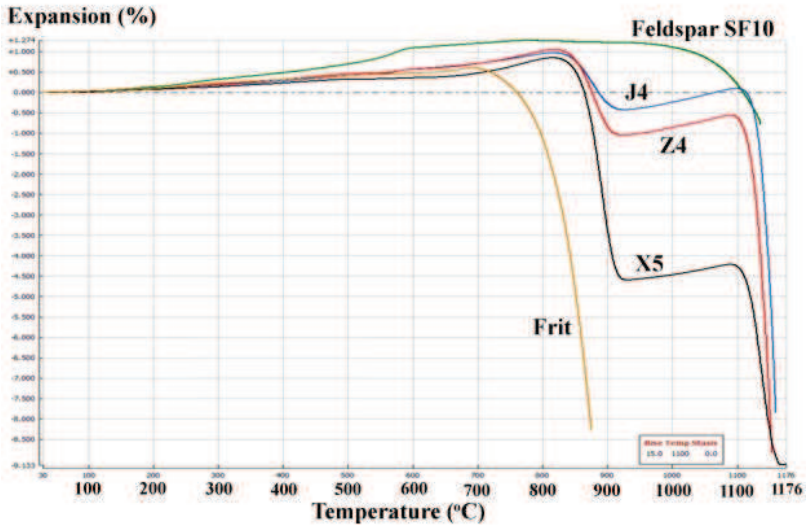
ترکیب	J4	Z4	X5
فریت ترانس	۲۰	۳۰	۵۰
فلدسپار سدیک	۵۰	۴۰	۲۰
کائولن اکراین	۱۰	۱۰	۱۰
آلومینا	۲۰	۲۰	۲۳
کربنات کلسیم	۲۰	۲۰	۲۰



شکل ۴- تغییرات تخلخل بسته نمونه‌های Ref، J4، Z4 و X5 تغییرات تخلخل بسته نمونه‌های Ref، J4، Z4 و X5

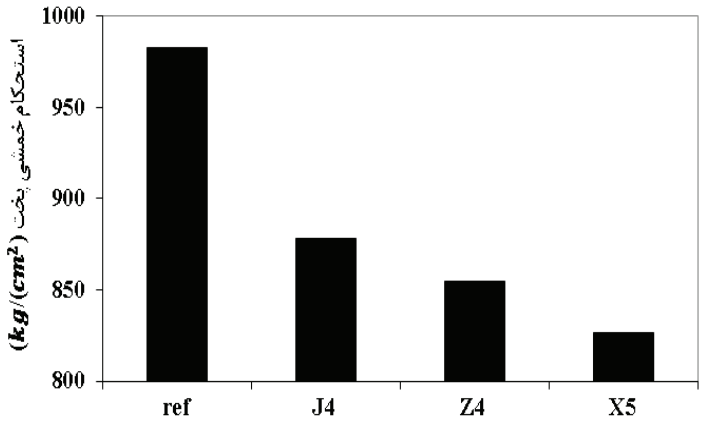
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]



شکل ۵- منحنی دیلاتومتری مربوط به رفتار حرارتی، نمونه‌های J4، Z4 **و** X5 **و فلدسپار سدیک** SF10 **و فریت ترانس** T18937

شکل ۶ تغییرات استحکام خمشی پخت نمونه‌های Ref، J4، Z4 و X5 را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که نمونه مرجع (Ref) با مقدار (kg/cm^2) ۹۸۲/۶۷ بیشترین استحکام خمشی پخت را نشان می‌دهد. کمترین مقدار نیز مربوط به نمونه X5 با مقدار (kg/cm^2) ۸۲۶/۵۳ می‌باشد. با اینکه نمونه‌ها استحکام کمتری نسبت به نمونه مرجع دارند با این حال مقدار آنها از حداقل استحکام کاشی پرسلانی (استاندارد (EN 176 و BIa - (ISO 13006)) بالاتر است[۹]. مشاهده می‌شود که در بین نمونه‌های J4، Z4 و X5، و با توجه به جدول ۸، استحکام خمشی پخت با افزایش فریت کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۳ و ۴، با افزایش فریت علی‌رغم افزایش دانسیته بالک، درصد تخلخل بسته نمونه‌ها افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند بر کاهش استحکام با افزایش فریت اثر گذارد.



شکل ۶- استحکام خمشی پخت نمونه‌های Ref، J4، Z4 **و** X5

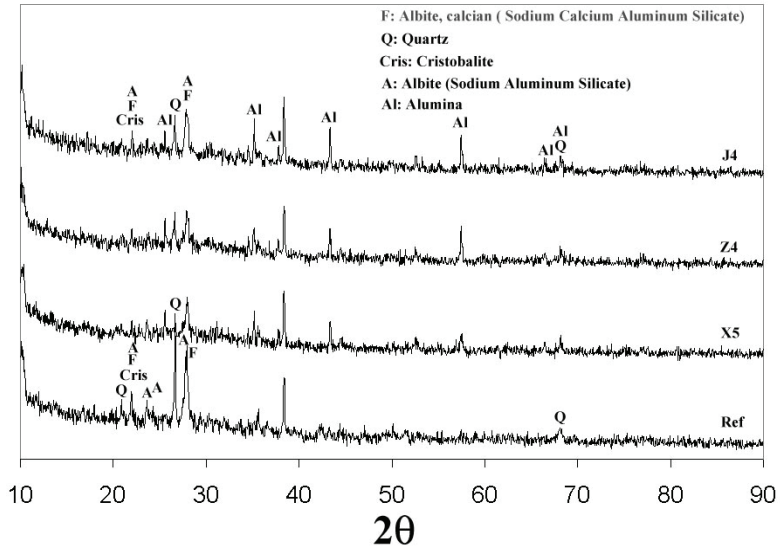
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

۳-۱- مطالعات فازی و ریزساختاری

شکل ۷ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌ها را نشان می‌دهد. ترکیبات اصلی در بدنه مرجع کوارتز، کریستوبالیت و فلدسپار است. در سه بدنه دیگر علاوه بر ترکیبات مذکور آلومینا نیز وجود دارد که می‌تواند ناشی از آلومینای واکنش نکرده باشد. کوارتز نیز می‌تواند ناشی از سیلیس واکنش نکرده باشد. در هیچ یک از بدنه‌ها مولایت یافت نشد که ممکن است ناشی از وجود آلومینا باشد. آلومینا باعث افزایش ویسکوزیته فاز شیشه می‌شود. در نتیجه امکان تبلور فازهای بلوری از جمله مولایت سخت می‌شود[۱۰].

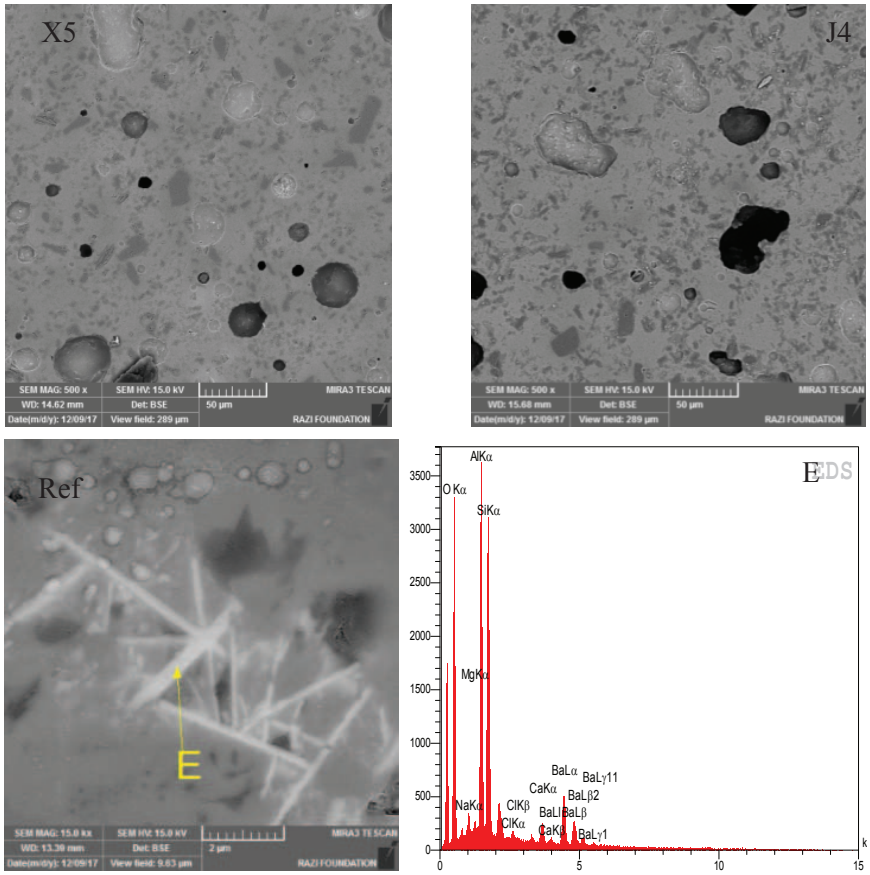
شکل ۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های X5، J4 و مرجع را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که نمونه X5 نسبت به نمونه J4 دارای تخلخل بسته بیشتری است که ناشی از استفاده بیشتر از فریت در آن است. فریت می تواند تشکیل فاز شیشه را تسریع کند و با افزایش آن نه تنها میزان فاز شیشه نیز افزایش می‌یابد بلکه مقدار تخلخل بسته که در فاز شیشه گرفتار شده‌اند نیز افزایش می‌یابد. همچنین فاز شیشه باعث گرد شدن سطوح تخلخل‌ها شده است. با توجه به EDS شکل ۸ به نظرمی‌آید که نمونه مرجع برخلاف دیگر نمونه‌ها حاوی فاز مولایت است. هرچند که در الگوی پراش آن در شکل ۷ دیده نشد که شاید ناشی از مقدار کم آن در بدنه مرجع (Ref) باشد.



شکل ۷- الگوی پراش پرتو اشعه ایکس نمونه‌ها

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های X5، J4 و مرجع و طیف EDS

۴- نتیجه‌گیری

کاشی‌های نیمه شفاف از جمله کاشی‌هایی است که اخیراً ساخت آن مورد توجه واقع شده است. عبور بخشی از نور تابیده به آن از ویژگی‌های مهم این کاشی‌ها است. در این پژوهش تاثیر استفاده از فریت ترانس و فلدسپار در ترکیب کاشی پرسلانی برای به دست آوردن خاصیت نیمه شفاف بررسی گردید. نتایج نشان داد فریت نسبت به فلدسپار نقش بسزایی را در عبور نور و سفیدی بدنه کاشی دارد. بررسی‌های انجام شده نشان داد ۵۰ درصد فریت در کنار ۲۰ درصد فلدسپار، عبور نور و شاخص سفیدی بهتری را ایجاد می‌کند. نتایج نشان داد با افزایش فریت علی‌رغم زیاد شدن دانسیته بالک، میزان تخلخل بسته نمونه‌ها نیز افزایش و استحکام خمشی کاهش می‌یابد.

مراجع

[1] N. Demirkol, A. Capoglu" Rheological and Green Strength Behaviour of Low-clay Translucent Whiteware Slurries with an Acrylic Type Emulsion Binder Addition" Proc. 10th ECerS Conf., Göller Verlag, Baden-Baden, pp. 434-438, 2007.

[2] C. B. Ustundag, Y. K. Tur, A. Capoglu"

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]

Mechanical behaviour of a low-clay translucent whiteware" Journal of the European Ceramic Society, Vol. 26, pp. 169-177, 2006.

[3] Losonczi" Translucent building block and a method for manufacturing the same" US Patent No.: 8091303B2, 2012.

[4] Yoshinaga Kawamura, M. A." Exploration of material, light, and shadow" Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Fine Arts in the Graduate School of The Ohio State University" 2011.

[5] "Translucent tile and a method of production thereof" US Patent WO2013/ 048353, PCT/TR2012/000047, 2013.

[6] Ahmet Capoglu" A novel low-clay translucent whiteware based on anorthite" Journal of the European Ceramic Society Vol. 31, pp. 321-329, 2011.

[7] M. U. Taskiran a,b, N. Demirkol a, A. Capoglu" A new porcelainised stoneware material based on anorthite" Journal of the European Ceramic Society Vol. 25, pp. 293-300, 2005.

[8] A.P. Luz, S. Ribeiro" Use of glass waste as a raw material in porcelain stoneware tile mixtures" Ceramics International Vol. 33, pp. 761-765, 2007.

[۹] زیارتعلی نعمتی، حمیدرضا احمدی موغاری، سید محمود ربیعی" نگرشی بر تکنولوژی کاشی پرسلانی" مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه شریف، ۱۳۸۶.

[10] C. Zanelli, M. Raimondo, G. Guarini, M. Dondi" The vitreous phase of porcelain stoneware: Composition, evolution during sintering and physical properties" Journal of Non-Crystalline Solids Vol. 357, pp. 3251-3260, 2011.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-09]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.3.4.9]