

## بررسی تأثیر نسبت مولی $\text{Na}_2\text{O}$ و $\text{K}_2\text{O}$ در بدنه‌های کاشی کف

نوع مقاله: علمی پژوهشی

فاطمه میر جلیلی\*، حمید رضا عابدینی، فاطمه انصاری

\*گروه مهندسی مواد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، میبد، ایران

\*Fm.mirjalili@gmail.com

### چکیده:

در این پژوهش نسبت مولی  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  بر روی بدنه کاشی کف بررسی گردید، در ابتدا ۲۶ نمونه با فرمول‌های مختلف و درصد‌های متفاوت  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  تهیه و در سه دمای  $1186^\circ\text{C}$ ،  $1137^\circ\text{C}$ ،  $1100^\circ\text{C}$ ، پخت گردیدند. مشاهده شد که با افزایش نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  جذب آب کاهش می‌یابد که علت آن پخت شدن تخلخل‌ها به وسیله فاز مذاب ایجاد شده می‌باشد و استحکام پخت و درصد انقباض افزایش می‌گردد. نتایج XRD نشان داد که نمونه‌ها حاوی فازهای کوارتز، سیلیس، آلبیت، آنورتیت، هماتیت و مقدار جزئی مولایت می‌باشد همچنین نتایج حاصل از STA نشان داد که با افزایش نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  نقطه نرمی به طرف دماهای پایین سوق پیدا می‌کند که به علت بالاتر بودن گدازآوری  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{K}_2\text{O}$  می‌باشد. نتایج حاصل از دیلاتومتری نیز نشان داد که با افزایش دما ضریب انبساط حرارتی کاهش می‌یابد چون با افزایش دما فاز مذاب بیش‌تری وجود دارد در نتیجه سیلیس در فاز مذاب حل شده و ضریب انبساط حرارتی کاهش می‌یابد.

### اطلاعات مقاله:

دریافت: ۱۸ بهمن ۱۳۹۹

پذیرش: ۲۴ اسفند ۱۳۹۹

صفحه ۱۶ تا صفحه ۳۴

در دسترس در نشانی:

[www.ijcse.ir](http://www.ijcse.ir)

زبان نشریه: فارسی

شاپا چاپی: ۲۳۵۲-۲۳۲۲

شاپا الکترونیکی:

۳۰۰۳-۲۷۸۳

### کلیدواژه:

نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ ، استحکام

پخت، ریزساختار

20.1001.1.23222352.1400.10.2.2.9

:DOR

تفاوت کاشی دیوار با کاشی کف در استحکام، درصد جذب

آب و کیفیت لعاب روی آن است. کاشی‌های کف و دیواری

از ۳ جزء اصلی تشکیل شده‌اند:

۱- قطعه سفالی که قسمت اصلی و استخوان‌بندی

کاشی را تشکیل می‌دهد و به آن بدنه می‌گویند،

۲- انگوب که آستر و واسطه بین بدنه و لعاب، است،

۳- لعاب روی آن که ماده‌ای است شیشه‌ای و قسمت

کاشی فرآورده‌ای سرامیکی، متشکل از دانه‌های ظریف

متبلور و متخلخل است که معمولاً در حرارت بالاتر از

$1000^\circ\text{C}$  پخت شده و در انواع لعاب‌دار و بدون لعاب تولید

می‌شود. کاشی به دو دسته کف و دیواری تقسیم می‌شود.

نوع کف آن اصطلاحاً در بازار سرامیک نامیده می‌شود.

### ۱- مقدمه



روی آن را تشکیل می‌دهد [۴-۱].

کاشی کف یک سیستم چند ترکیبی است که ترکیبات پایه آن خاک رس، فلدسپات و کوارتز است و آن را می‌توان به عنوان یکی از مواد سرامیکی کمپلکس در نظر گرفت. هر جز در بدنه خواص نهایی و میکروساختار متفاوتی دارد. سوزا گزارش داد که فرمولاسیون کاشی کف همچنین می‌تواند شامل تالک، دولومیت، کلسیت، وولاستونیت و رنگدانه به مقدار کم باشد این ترکیبات به شکل‌گیری نقطه یوتکتیک در دماهای پایین‌تر پخت کمک می‌کنند [۷-۵]. با توجه به آکدا و همکاران تهیه کاشی‌های کف با فناوری پودر شامل تهیه مواد خام (خشک کردن یا آسیاب کاری‌تر)، پرس تک محوره خشک در دمای بین ۱۲۵۰-۱۱۸۰ درجه سلسیوس می‌باشد [۴]. سیستم کاشی کف شکل گرفته یک ترکیب شیشه و فاز کریستالی وابسته به ترکیب شیمیایی مواد خام و شرایط فرآیند می‌باشد. این فازها نتیجه واکنش بین سه ترکیب اصلی (خاک رس / فلدسپات / کوارتز) در دمای بالا است. فرمولاسیون کاشی کف حضور مقدار زیاد مواد فلدسپات (فلدسپات سدیم و پتاسیم) را مشخص می‌کند [۸-۱۰]. رس‌ها مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین ماده اولیه در صنعت سرامیک می‌باشند که تفاوتشان در نوع مینرال است. رایج‌ترین انواع مینرال‌های رسی مورد استفاده در صنایع سرامیک عبارتند از: کائولینیت، ایلیت، اسمکتیت، بنتونیت و کلریت که همگی آلومیناسیلیکات‌های هیدراته هستند و تفاوت آن‌ها در نحوه قرارگیری آب بین مولکولی و ساختمان کریستالی آن‌هاست [۱۳-۱۱]. برای رسیدن به مقادیر کم‌تر جذب آب یا باید درصد فلدسپات‌ها را در فرمولاسیون بدنه افزایش داد، یا از فلدسپات‌های مرغوب‌تر (با درصدهای

بالا تر اکسیدهای قلیائی  $K_2O$  و  $Na_2O$ ) استفاده کرد و یا دمای پخت را افزایش داد [۱۴]. طبق مقاله‌ها و نوشته‌های منتشر شده از تامسو و همکارانش، در صورتی که مقدار اکسیدهای  $MgO$  و  $CaO$  زیاد نباشد، بهتر است مقادیر  $K_2O$  و  $Na_2O$  به ترتیب ۴/۵ و ۱/۷ درصد (با نسبت  $Na_2O$  به  $K_2O$  برابر با ۲/۶۵) باشند. در واقع، با توجه به خاک‌های ایرانی می‌توان به ترتیب با نسبت های ۱/۰۰ تا ۲/۰۰ (بیش‌تر ۱/۶ - ۱/۲) نیز به مقصود رسید [۷، ۱۵]. شایان ذکر است که مقادیر  $K_2O$  و  $Na_2O$  را فقط نباید از فلدسپات‌ها محاسبه کرد، بلکه باید از تمام خاک‌ها و مواد اولیه مصرفی محاسبه و جمع کرد. اولین قدم‌ها در طراحی یک بدنه پرسلانی خوب، به دست آوردن مجموع کافی  $K_2O$  و  $Na_2O$  و نسبت بهینه  $Na_2O$  به  $K_2O$  با توجه به دیگر اکسیدهای موجود در ترکیب بدنه است [۱۲]. معمولاً درصد بالای فلدسپات ترجیح داده می‌شود اما باید توجه داشت که هر چند بالا بردن میزان فلدسپات‌ها می‌تواند مزایایی چون کاهش دمای پخت بدنه، رسیدن به جذب آب نزدیک به صفر، بهبود درجه صیقلی بودن سطح پس از پولیش (بالا رفتن میزان جلا) و بهبود توسعه رنگ در بدنه‌های کاشی پرسلانی رنگی در هنگام پخت را به همراه داشته باشد اما باعث افزایش تردی بدنه، کاهش ثبات ابعادی در هنگام پخت، کاهش بازه دمایی پخت در کوره، کاهش مقاومت در برابر عوامل شیمیایی (به خصوص اسیدها) و کاهش استحکام پخت (در صورت استفاده بیش از حد از فلدسپات) خواهد شد [۱۵، ۱۶]. مشکلاتی که در تولید کاشی‌های کف وجود دارد این است که به طور کلی این کاشی‌ها دمای پخت بالایی دارند و

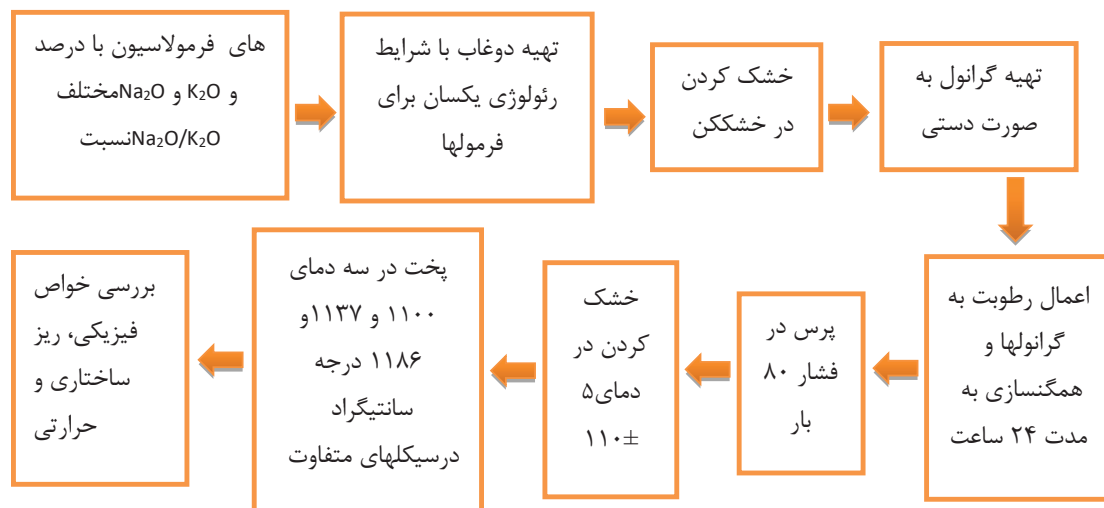


خواص مکانیکی پایینی دارند که می‌توان با افزایش مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  و تنظیم نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  باعث افزایش خواص مکانیکی و ریزساختاری شد [۱۶، ۱۷].

## ۲- فعالیت‌های تجربی

خواص مکانیکی و همکارانش پژوهش‌هایی بر روی کاشی‌های ساختمانی پرس‌لانی با استفاده از درصد  $\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$  فلدسپات به عنوان عامل اصلاح‌کننده در دمای پایین انجام دادند. نتایج نشان داد که درصد انقباض خطی مطلوب ۰,۵۵٪، جذب آب ۰,۰۳٪ و مقاومت خمشی MPa85.8-78.3 برای نمونه در دمای زینترینگ ۱۱۷۰-۱۱۹۰ درجه سانتی‌گراد قابل دستیابی است [۱۸].

تاکنون تحقیقات زیادی بر روی کاشی‌های کف و دیوار شده است ولی هیچ‌گونه پژوهشی بر روی درصد اکسیدهای تشکیل‌دهنده  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  و نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  در جایی ثبت نشده است با توجه به اینکه درصد این اکسیدها و نسبت آن‌ها کاملاً روی ویسکوزیته و دمای زینترینگ و خواص فیزیکی کاشی‌ها اثر می‌گذارند سعی بر این است تا با بررسی تأثیر درصدهای  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  و نسبت در این پژوهش از جمله درصد جذب آب، انبساط بعد از پرس، انقباض بعد از پخت، پرت حرارتی یا افت وزنی، مقاومت خام و خشک و پخت مطابق با جدول ۲ بر روی ۲۶ فرمول طراحی شده انجام شد و به تعداد ۸ فرمول مطابق جدول ۳ الی جدول ۱۰ انتخاب شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفت. تعیین نوع و مقدار عنصر با اندازه‌گیری فلورسانس اشعه X (XRF) به نمونه توسط دستگاه XRF، مدل PW1800 ساخت کارخانه PHILIPS انجام گرفت.



شکل ۱- نمودار کلی روش ساخت نمونه‌ها.

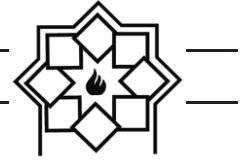


جدول ۱- خاک‌های مورد استفاده در پژوهش.

نام خاک	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
بالکلی فلات T3	۵۱/۶۱	۲۶/۸۸	۸/۵۹۰	۱/۴۰	۱/۱۰	۰/۱۹۰	۰/۹۶۰	۱/۵۹۰	۰/۱۰۰	۷/۴۶۰	۰/۰۷۰	۰/۰۱۱
فلدسپات فاطمیه	۷۴/۷۵	۱۳/۲۶	۰/۹۱	۰/۱۶	۲/۰۹	۱/۴۹	۳/۳۲	۱/۵۶	۰/۱۰	۲/۱۹	۰/۰۱	۰/۰۰۲
بالکلی N3	۶۲/۸۳	۱۸/۰۱	۶/۴۱	۰/۲۹	۱/۴۴	۰/۶۸	۰/۵۱	۲/۹۲	۰/۲۲	۶/۳۳	۰/۲۳	۰/۰۱
بالکلی گلدشت A500	۵۹/۶۶	۱۸/۸۶	۱۱/۳۹	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۱۰	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۲۰	۶/۷۶	۰/۰۳	۰/۰۲
بالکلی ZMO	۶۵/۹۷	۱۶/۶۸	۵/۴۸۰	۰/۶۸	۱/۳۴	۱/۳۰	۰/۹۷	۲/۱۴	۰/۲۵	۴/۸۲	۰/۱۲	۰/۰۰۳
بالکلی دامغان SB300	۴۸/۴۷	۲۸/۷۰	۸/۲۹۰	۰/۹۳	۰/۵۷	۰/۶۶	۰/۸۷	۲/۷۸	۰/۱۷	۸/۲۸	۰/۰۵	۰/۰۱
۱۳F300 کائولن	۶۳/۵	۱۷/۳۴	۵/۹۳۰	۰/۷۷	۱/۲۱	۱/۷۳	۲/۰۸	۱/۴۵	۰/۱۰	۵/۷۰	۰/۱۳	۰/۰۰۴
فلدسپات بابایی FA	۷۲/۵۷	۱۳/۲۳	۳/۸۲۰	۰/۳۴	۲/۰۰	۰/۸۹	۰/۳۲	۳/۱۸	۰/۱۹	۳/۲۶	۰/۰۲	۰/۰۳
بنتونیت عقدا	۵۵/۳۱	۱۵/۱۷	۴/۵۹۰	۰/۴۶	۷/۱۴	۲/۵۵	۱/۲۲	۲/۳۹	۰/۱۸	۱۰/۷	۰/۰۸	۰/۰۲
بالکلی SPV سعیدفر	۵۰/۷۲	۱۶/۱۱	۵/۴۳۰	۰/۶۱	۹/۵۷	۲/۲۷	۰/۴۷	۲/۹۰	۰/۱۲	۱۱/۵	۰/۰۶	۰/۰۳
بنتونیت ساوه	۶۷/۰۷	۱۴/۲۴	۲/۳۲۰	۰/۴۴	۲/۹۰	۱/۳۱	۱/۴۲	۱/۲۲	۱/۰۷	۷/۶۹	۰/۰۸	۰/۰۲
فلدسپات F3 همدان	۵۷/۶۲	۱۸/۱۶	۰/۹۵۰	۰/۸۴	۹/۳۵	۳/۹۷	۶/۴۸	۰/۲۴	۰/۰۱	۲/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۱

جدول ۲- فرمول‌های مورد استفاده در پژوهش.

فرمول	تست‌ها
$\frac{\text{وزن اولیه} - \text{وزن ثانویه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$	درصد جذب آب [۲۱]
$\frac{\text{میانگین سایز بیسکویت خروجی از قالب} - \text{میانگین سایز دهانه داخلی قالب}}{\text{میانگین سایز دهانه داخلی قالب}} \times 100$	درصد انقباض بعد از پرس [۲۲]
$\frac{\text{ابعاد ثانویه} - \text{ابعاد اولیه}}{\text{ابعاد اولیه}} \times 100$	درصد انقباض بعد از پخت [۲۲]
$\sigma = \frac{3 pl}{2 bh^2} \quad \text{N/mm}^2$	مقاومت پخت [۲۳]

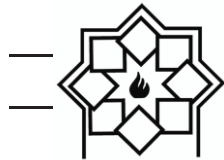


جدول ۳- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۱۷.

نام خاک و درصد	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	LOI	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
بالکلی دامغان ۴۰٪	۱۹/۳۸	۱۱/۴۸	۳/۳۱۶	۰/۳۷۲	۰/۲۲۸	۰/۲۶۴	۰/۳۴۸	۱/۱۱۲	۰/۰۶۸	۳/۳۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴
بالکلی spv ۳۰٪	۱۵/۲۱	۴/۸۳۳	۱/۶۲۹	۰/۱۸۳	۲/۸۷۱	۰/۶۸۱	۰/۱۴۱	۰/۸۷۰	۰/۰۳۶	۳/۴۵۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۱
بنتونیت عقدا ۲٪	۱/۱۰۶	۰/۳۰۳	۰/۰۹۲	۰/۰۰۹	۰/۱۴۳	۰/۰۵۱	۰/۰۲۴	۰/۰۴۸	۰/۰۰۴	۰/۲۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰
بالکلی فلات ۲۸٪	۱۴/۴۵	۷/۵۲۶	۲/۴۰۵	۰/۳۹۲	۰/۳۰۸	۰/۰۵۳	۰/۲۶۹	۰/۴۴۵	۰/۰۲۸	۲/۰۸۹	۰/۰۲۰	۰/۰۰۳
مجموع کل اکسیدها	۵۰/۱۶	۲۴/۱۴	۷/۴۴۲	۰/۹۵۶	۳/۵۵۰	۱/۰۴۹	۰/۷۸۲	۲/۴۷۵	۰/۱۳۶	۹/۰۷۵	۰/۰۵۹	۰/۰۰۸
	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=3/257$			$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0/316$			$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2=74/304$			$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2/078$		

جدول ۴- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۲۱.

نام خاک و درصد	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	LOI	$\text{MnO}$	$\text{P}_2\text{O}_5$
بالکلی spv ۴۰٪	۲۰/۲۸	۶/۴۴۴	۲/۱۷۲	۰/۲۴۴	۳/۸۲۸	۰/۹۰۸	۰/۱۸۸	۱/۱۶۰	۰/۰۴۸	۴/۶۱۲	۰/۰۲۴	۰/۰۰۱
بنتونیت عقدا ۲٪	1/106	0/303	0/092	0/009	0/143	0/051	0/024	0/048	0/004	0/216	0/002	0/000
بالکلی دامغان ۲۰٪	9/694	5/740	1/658	0/186	0/114	0/132	0/174	0/556	0/034	1/656	0/010	0/002
بالکلی فلات ۲۲٪	11/35	5/914	1/890	0/308	0/242	0/042	0/211	0/350	0/022	1/641	0/015	0/002
الکلی گلدشت ۱۶٪	9/546	3/018	1/822	0/154	0/088	0/016	0/104	0/117	0/032	1/082	0/005	0/003
مجموع کل اکسیدها	51/98	21/41	7/634	0/901	4/415	1/149	0/702	2/230	0/140	9/206	0/056	0/009
	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=2/932$			$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0/315$			$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2=73/40$			$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=2/427$		

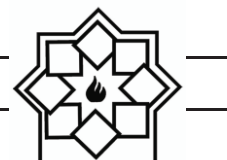


جدول ۵- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۲.

نام خاک و درصد	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
فلدسپات فاطمیه ۳۰٪	22/425	3/978	0/273	0/048	0/627	0/447	0/996	0/468	0/030	0/657	0/003	0/001
فلدسپات بابایی ۳۰٪	21/771	3/969	1/146	0/102	0/600	0/267	0/096	0/954	0/057	0/978	0/006	0/001
بالکلی N3 ۱۰٪	6/283	1/801	0/641	0/029	0/144	0/068	0/051	0/292	0/022	0/633	0/023	0/001
بالکلی zmo ۲۰٪	13/194	3/336	1/096	0/136	0/268	0/260	0/194	0/428	0/050	0/964	0/024	0/001
بالکلی spv ۱۰٪	5/072	1/611	0/543	0/061	0/957	0/227	0/047	0/290	0/012	1/153	0/006	0/000
مجموع کل اکسیدها	68/745	14/695	3/699	0/376	2/596	1/269	1/384	2/432	0/171	4/385	0/062	0/003
	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O =3/816			Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O =0/569			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> =83/440			SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =4/678		

جدول ۶- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۵.

نام خاک و درصد	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
بالکلی فلات ۲۵٪	12/903	6/720	2/148	0/350	0/275	0/048	0/240	0/398	0/025	1/865	0/018	0/003
بالکلی N3 ۱۰٪	6/283	1/801	0/641	0/029	0/144	0/068	0/051	0/292	0/022	0/633	0/023	0/001
بالکلی گلدشت ۲۰٪	11/932	3/772	2/278	0/192	0/110	0/020	0/130	0/146	0/040	1/352	0/006	0/004
فلدسپات فاطمیه ۱۰٪	7/475	1/326	0/091	0/016	0/209	0/149	0/332	0/156	0/010	0/219	0/001	0/000
بالکلی spv ۳۵٪	17/752	5/639	1/901	0/214	3/350	0/795	0/165	1/015	0/042	4/036	0/021	0/001
مجموع کل اکسیدها	56/345	19/258	7/058	0/801	4/088	1/079	0/918	2/007	0/139	8/105	0/069	0/009
	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O =2/924			Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O =0/457			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> =75/602			SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =2/926		



جدول ۷- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۱۶.

نام خاک و درصد	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	LOI	MnO	$\text{P}_2\text{O}_5$
فلدسپات بابایی ۳۰٪	21/771	3/969	1/146	0/102	0/600	0/267	0/096	0/954	0/057	0/978	0/006	0/001
فلدسپات فاطمیه ۳۰٪	22/425	3/978	0/273	0/048	0/627	0/447	0/996	0/468	0/030	0/657	0/003	0/001
بالکلی N3 ۱۰٪	6/283	1/801	0/641	0/029	0/144	0/068	0/051	0/292	0/022	0/633	0/023	0/001
کائولن ۸٪ 13f300	5/082	1/387	0/474	0/062	0/097	0/138	0/166	0/116	0/008	0/456	0/010	0/000
بالکلی ۲۰٪ zmo	13/194	3/336	1/096	0/136	0/268	0/260	0/194	0/428	0/050	0/964	0/024	0/001
بنتونیت ساوه ۲٪	1/341	0/285	0/046	0/009	0/058	0/026	0/028	0/024	0/021	0/154	0/002	0/000
مجموع کل اکسیدها	70/097	14/756	3/677	0/385	1/794	1/207	1/532	2/282	0/188	3/842	0/068	0/003
	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=3/814$			$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0/671$			$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2=84/853$			$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4/750$		

جدول ۸- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۲۰.

نام خاک و درصد	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	LOI	MnO	$\text{P}_2\text{O}_5$
فلدسپات فاطمیه ۳۰٪	22/425	3/978	0/273	0/048	0/627	0/447	0/996	0/468	0/030	0/657	0/003	0/001
فلدسپات بابایی ۳۰٪	21/771	3/969	1/146	0/102	0/600	0/267	0/096	0/954	0/057	0/978	0/006	0/001
بنتونیت ساوه ۲٪	1/341	0/285	0/046	0/009	0/058	0/026	0/028	0/024	0/021	0/154	0/002	0/000
بالکلی گلدشت ۱۸٪	10/739	3/395	2/050	0/173	0/099	0/018	0/117	0/131	0/036	1/217	0/005	0/004
بالکلی ۲۰٪ zmo	13/194	3/336	1/096	0/136	0/268	0/260	0/194	0/428	0/050	0/964	0/024	0/001
مجموع کل اکسیدها	69/470	14/963	4/612	0/468	1/652	1/018	1/431	2/006	0/194	3/970	0/040	0/006
	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}=3/437$			$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=0/714$			$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2=84/433$			$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=4/643$		



جدول ۹- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۱۲.

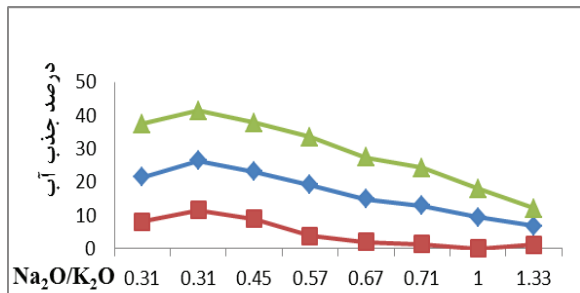
نام خاک و درصد	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
فلدسپات فاطمیه ۴۰٪	29/900	5/304	0/364	0/064	0/836	0/596	1/328	0/624	0/040	0/876	0/004	0/001
بالکلی دامغان ۲۵٪	12/118	7/175	2/073	0/233	0/143	0/165	0/218	0/695	0/043	2/070	0/013	0/003
کائولن ۲۰٪ 13f300	12/706	3/468	1/186	0/154	0/242	0/346	0/416	0/290	0/020	1/140	0/026	0/001
بنتونیت عقدا ۳٪	1/106	0/303	0/092	0/009	0/143	0/051	0/024	0/048	0/004	0/216	0/002	0/000
بالکلی N3 ۱۳٪	8/168	2/341	0/833	0/038	0/187	0/088	0/066	0/380	0/029	0/823	0/030	0/001
مجموع کل اکسیدها	63/998	18/592	4/548	0/497	1/551	1/246	2/052	2/036	0/135	5/125	0/074	0/005
	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O=4/089			Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O=1/008			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> =82/589			SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =3/442		

جدول ۱۰- خاک‌های مورد استفاده و آنالیز اکسیدی فرمول شماره ۱۴.

نام خاک و درصد	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	LOI	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
بالکلی گلدشت ۵۰٪	29/830	9/430	5/695	0/480	0/275	0/050	0/325	0/365	0/100	3/380	0/015	0/010
کائولن ۲۰٪ 13f300	12/706	3/468	1/186	0/154	0/242	0/346	0/416	0/290	0/020	1/140	0/026	0/001
فلدسپات فاطمیه ۲۰٪	14/950	2/652	0/182	0/032	0/418	0/298	0/664	0/312	0/020	0/438	0/002	0/000
بالکلی فلات ۱۰٪	5/161	2/688	0/859	0/140	0/110	0/019	0/096	0/159	0/010	0/746	0/007	0/001
مجموع کل اکسیدها	62/647	18/238	7/922	0/806	1/045	0/713	1/501	1/126	0/150	5/704	0/050	0/012
	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O=2/627			Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O=1/333			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> =80/855			SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =3/435		



جذب آب است چون انقباض بعد از پخت که افزایش پیدا کند یعنی به عبارتی تخلخل‌ها بسته‌تر می‌شوند در نتیجه جذب آب کم‌تری مشاهده می‌گردد [۸].



$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$	$1100^\circ\text{C}$	$1137^\circ\text{C}$	$1186^\circ\text{C}$
۰/۳۱	13.26	16	8.16
۰/۳۱	14.84	15	11.53
۰/۴۵	14.28	14.58	8.9
۰/۵۷	15.39	14.28	3.84
۰/۶۷	12.8	12.55	2.04
۰/۷۱	11.5	11.37	1.43
۱	9.34	8.55	0.07
۱/۳۳	5.66	5.19	1.22

شکل ۲- مقایسه جذب آب نمونه‌ها در سه دمای مختلف.

این رفتار در اینجا مشهود است که همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  مقدار انقباض بعد از پخت در همه نمونه‌ها در سه دما افزایش می‌یابد که به علت افزایش درصد فاز مایع تخلخل‌ها پر گردیده و درصد انقباض افزایش می‌یابد که با نتایج پژوهشگران در سال ۲۰۱۷ که نشان دادند با افزایش درصد فلدسپات در نمونه کاشی پرسلانی درصد انقباض افزایش می‌یابد همخوانی کامل دارد [۱۸].

خواص ریزساختاری و مورفولوژی با استفاده از دستگاه پراش اشعه X مدل PW1800 ساخت کارخانه PHILIPS با استفاده از پرتو  $\text{Cu-K}\alpha$  در ۴۰ کیلو وات و ۳۰ میلی آمپر و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مدل TESCAN VEGA3 از کشور جمهوری چک با ولتاژ ۲۶ کیلو ولت مورد بررسی قرار گرفت همچنین ضریب انبساط حرارتی نمونه‌ها به وسیله دیلاتومتر متری مدل NETZSCH ۴۰۲PC آلمان و بررسی خواص حرارتی با استفاده از آنالیز حرارتی هم زمان (STA)، مدل NETZSCH ۴۰۹ PC آلمان که افزایش دمای آن تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد بود، بررسی گردید.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- درصد جذب آب

درصد جذب آب از ۸ نمونه که در سه سیکل دمایی،  $1100^\circ\text{C}$ ،  $1137^\circ\text{C}$  و  $1186^\circ\text{C}$  پخت شدند، نشان داد که با افزایش نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  درصد جذب آب در همه نمونه‌ها در سه دما کاهش می‌یابد چون با افزایش این نسبت نقطه نرمی پایین آمده در نتیجه میزان دما برای زینتر شدن کم می‌شود، که باعث می‌گردد فاز شیشه زیاد شده و باعث کم شدن تخلخل‌ها گردیده در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد (شکل ۲).

این نتایج مطابق با نتایج دانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۷ می‌باشد که نشان داد با افزایش درصد فلدسپات و درصد  $\text{K}_2\text{O}$  به علت افزایش فاز شیشه منافذ کاشی بسته شده و درصد جذب آب کاهش می‌یابد [۱۸].

#### ۳-۲- انقباض بعد از پخت

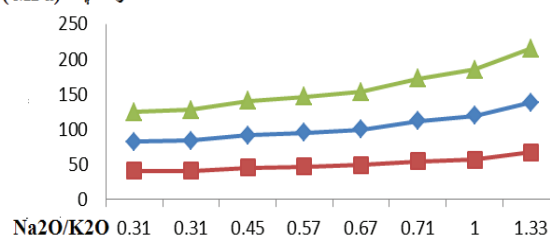
به طور کلی رفتار انقباض بعد از پخت همیشه عکس رفتار



### ۳-۴- بررسی مورفولوژی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

برای بررسی ریز ساختار نمونه‌ها از سه نمونه ۱۴، ۱۶ و ۱۷ که در جداول ۱۰، ۷ و ۳ به ترتیب فرمول و آنالیز شیمیایی آن‌ها آورده شده است در سه دمای  $1100^{\circ}\text{C}$ ،  $1137^{\circ}\text{C}$ ،  $1186^{\circ}\text{C}$  SEM گرفته شد.

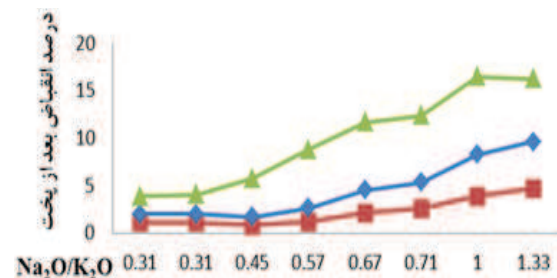
مقاومت پخت (MPa)



Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	۱۱۰۰°C	۱۱۳۷°C	۱۱۸۶°C
۰/۳۱	۴۰/۹۸	۴۱/۶۵	۴۲/۱۲
۰/۳۱	۴۱/۱۵	۴۲/۷۷	۴۳/۹۵
۰/۴۵	۴۵/۵۲	۴۶/۱۱	۴۸/۵۶
۰/۵۷	۴۷/۱۲	۴۸/۲۵	۵۱/۵۶
۰/۶۷	۴۸/۹۵	۵۰/۵۳	۵۳/۵۸
۰/۷۱	۵۴/۵۶	۵۷/۴۴	۶۰/۱۲
۱	۵۷/۱۳	۶۲/۳۵	۶۵/۲۳
۱/۳۳	۶۷/۱۲	۷۱/۳۳	۷۶/۵۲

شکل ۴- مقایسه مقاومت پخت نمونه‌ها در سه دمای مختلف.

همان طور که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی در اشکال ۵-۷ مشاهده می‌گردد که با افزایش درصد Na<sub>2</sub>O از نمونه ۱۷ به نمونه ۱۶ و بعد نمونه ۱۴ درصد تخلخل‌ها کاهش یافته چون با افزایش Na<sub>2</sub>O نقطه نرمی پایین آمده در نتیجه میزان تخلخل کم‌تری مشاهده می‌گردد. که این نتایج مطابق با نتایج پژوهشگران که نشان دادند با افزایش درصد نسبت Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O در بدنه‌های کاشی کف و افزایش



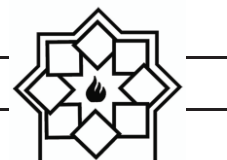
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	۱۱۰۰°C	۱۱۳۷°C	۱۱۸۶°C
۰/۳۱	۱/۱۲	۰/۸۵	۱/۸۸
۰/۳۱	۱/۱۴	۰/۸۷	۲/۰۵
۰/۴۵	۰/۸۴	۰/۸۸	۴/۰۳
۰/۵۷	۱/۱۹	۱/۴۶	۶/۱۶
۰/۶۷	۲/۱۲	۲/۳۹	۷/۱۴
۰/۷۱	۲/۵۸	۲/۷۳	۷/۰۴
۱	۳/۸۴	۴/۴۱	۸/۲۲
۱/۳۳	۴/۷۱	۴/۹۳	۶/۵۷

شکل ۳- مقایسه انقباض بعد از پخت نمونه‌ها در سه دمای مختلف.

### ۳-۳- مقاومت پخت

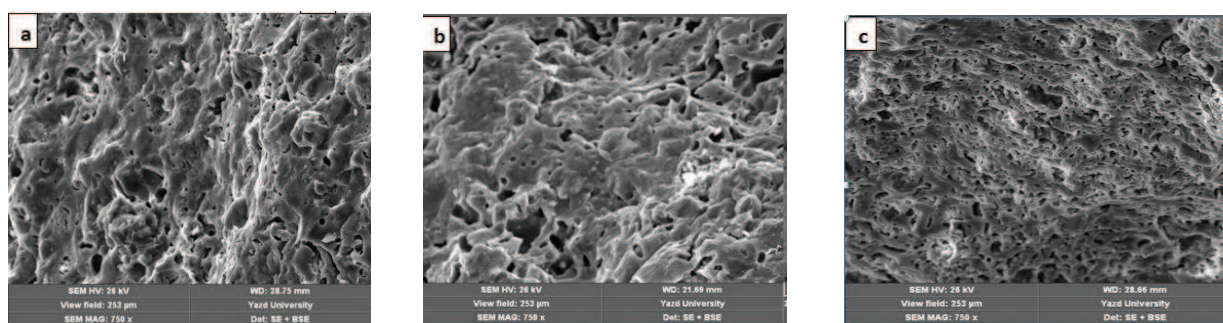
شکل ۴ مقاومت پخت نمونه‌ها در سه دما را نشان می‌دهد که با افزایش نسبت Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O مقدار مقاومت پخت در همه نمونه‌ها افزایش می‌یابد. چون با افزایش Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ویسکوزیته فاز مذاب کاهش می‌یابد که باعث کاهش درصد تخلخل‌ها در کل نمونه‌ها می‌گردد و در نتیجه مقاومت کل افزایش می‌یابد.

این نتایج مطابق با نتایج تامسو و همکارانش می‌باشد که به این نتیجه رسیدند که با افزایش درصد نسبت Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O در بدنه‌های کاشی کف به علت افزایش درصد فاز مذاب ویسکوزیته فاز مذاب کاهش می‌یابد و روی دفرمگی قطعه اثر می‌گذارد [۱۲].

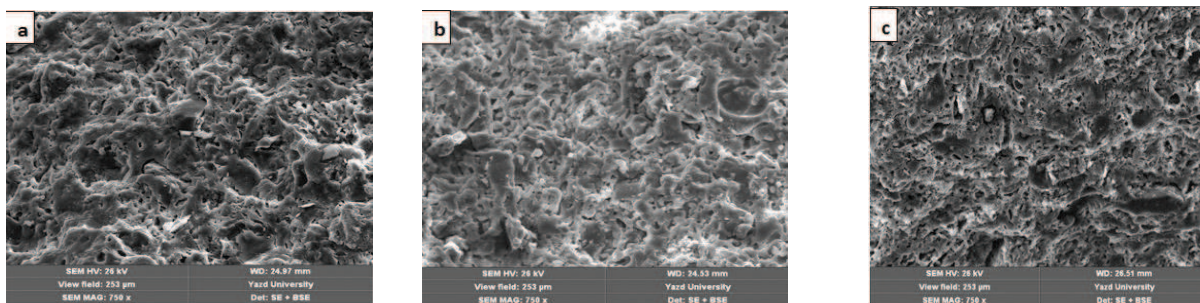


می‌گردد که این نشان دهنده زینتر شدن بهتر و رشد فاز های مولایت بیشتر می‌باشد. که این نتایج مطابق با نتایج دانگ و همکارانش می‌باشد که نمونه‌های کاشی پوسلان را محدوده دمایی  $1170-1190^\circ\text{C}$  زینتر نمودند و مشاهده کردند که با افزایش دما نمونه‌ها یک‌دست‌تر صاف‌تر و متراکم‌تر گردیدند [۱۸].

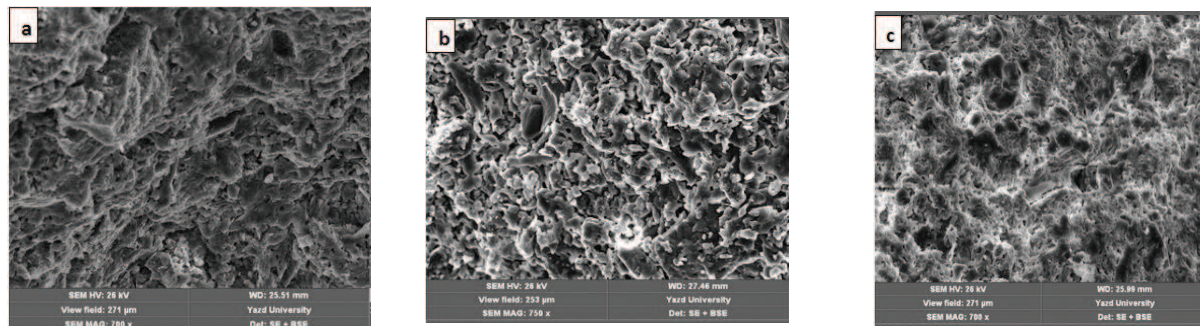
فلسپات در کاشی‌های پوسلانی باعث افزایش درصد فاز مذاب و کاهش ویسکوزیته می‌گردد و این سبب پرشدن تخلخل‌ها می‌شود همخوانی دارد [۱۲، ۱۸]. می‌باشد همچنین برای هر سه نمونه در دمای  $1100^\circ\text{C}$  شکل دانه‌ها زاویه‌دار می‌باشد ولی با افزایش دما شکل دانه‌ها از حالت زاویه‌دار بودن خارج می‌گردد و بدنه‌های صاف‌تر مشاهده



شکل ۵- تصویر SEM سه نمونه ۱۴ (a) و ۱۶ (b) و ۱۷ (c) در دمای  $1186^\circ\text{C}$  در بزرگ‌نمایی  $750\times$ .



شکل ۶- تصویر SEM سه نمونه ۱۴ (a) و ۱۶ (b) و ۱۷ (c) در دمای  $1137^\circ\text{C}$  در بزرگ‌نمایی  $750\times$ .



شکل ۷- تصویر SEM سه نمونه ۱۴ (a) و ۱۶ (b) و ۱۷ (c) در دمای  $1100^\circ\text{C}$  در بزرگ‌نمایی  $750\times$ .



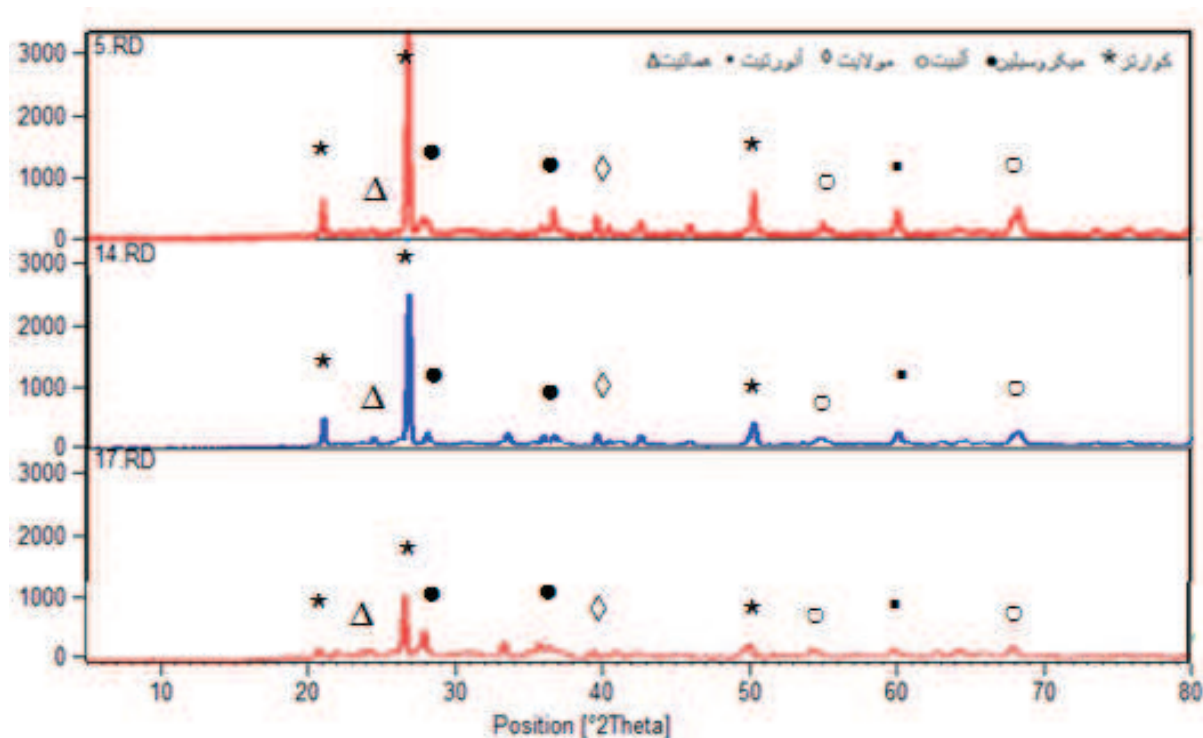
### ۳-۵- پراش اشعه X

مقدار فاز آنورتیت و آلیت بیش‌تری نمایان است. در هر سه نمونه مقدار جزئی فاز هماتیت نیز به عنوان ناخالصی مشاهده شد.

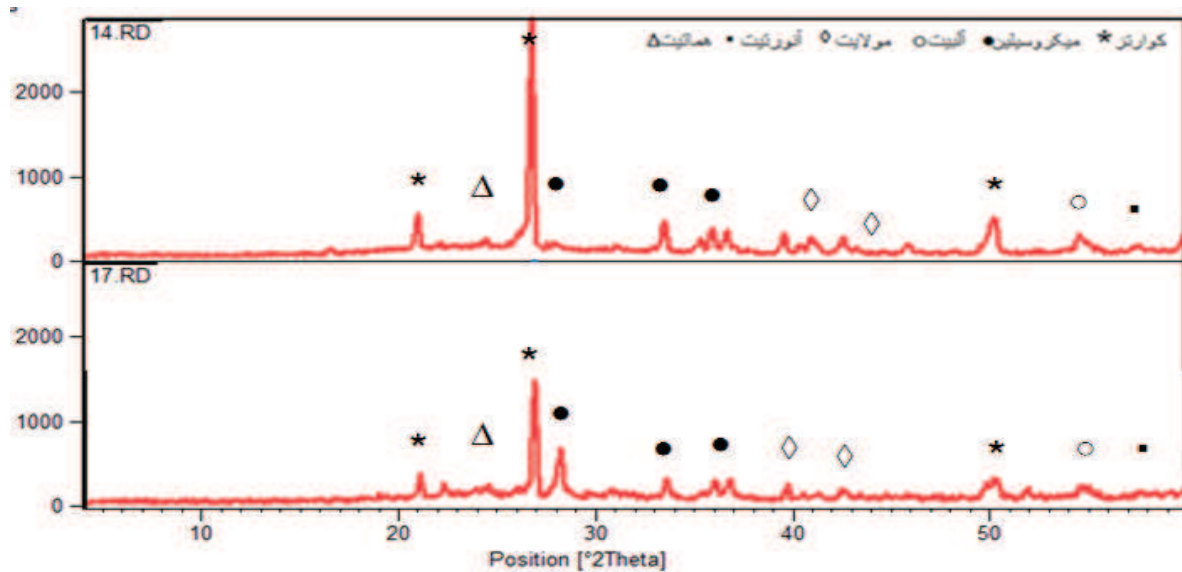
الگوی پراش اشعه X (XRD) از دو نمونه ۱۴، ۱۷ در دمای  $1137^{\circ}\text{C}$ ، در شکل ۹ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد به علت دمای بالاتر، ذرات مولایت رشد بیش‌تری داشته و مولایت بیش‌تری مشاهده می‌گردد.

این مطالعات با مطالعات دانگ و همکارانش همخوانی کامل دارد که در نمونه‌ها فاز اصلی فازهای کوارتز و مولایت می‌باشد و با افزایش دما شدت این فازها افزایش می‌یابد [۱۸].

الگوی پراش اشعه X (XRD) از سه نمونه ۵، ۱۴، ۱۷ در دمای  $1137^{\circ}\text{C}$ ، که در جداول ۳، ۱۰، ۶ فرمول و آنالیز شیمیایی آن‌ها به ترتیب آمده است در شکل ۸ آورده شده است. نمونه‌ها دارای ۶ فاز کوارتز، میکروسیلیس، آلیت، آنورتیت، مولایت، و هماتیت می‌باشند که فاز مولایت و هماتیت به صورت خیلی جزئی قابل رویت هست و پیک‌های اصلی مربوط به فاز کوارتز است. در نمونه ۵ که درصد بالاتری از  $\text{SiO}_2$  دارد شدت پیک‌های مربوط به کوارتز و مولایت بیش‌تر می‌باشد همچنین در نمونه ۱۴ و ۵ که دارای مقدار بیش‌تری  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به نمونه ۱۷ می‌باشد



شکل ۸- الگوی پراش اشعه X نمونه ۱۴ و ۵ و ۱۷ در دمای  $1137^{\circ}\text{C}$ .



شکل ۹- الگوی پراش اشعه X نمونه ۱۴ و ۱۷ در دمای  $1186^\circ\text{C}$ .

بیش‌تری داشته است. همچنین با توجه به بالاتر بودن گذاز آوری  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{K}_2\text{O}$  در نمونه ۱۴ مشاهده می‌گردد که با افزایش نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  نقطه نرمی ( $T_g$ ) به سمت دماهای پایین‌تر سوق پیدا می‌کند که در اشکال ۱۰ و ۱۱ قابل مشاهده است چون این نمونه‌ها دارای درصد فاز مولایت کم‌تری می‌باشند و نمونه‌های حاوی فاز مولایت بیش‌تر مقاومت بیش‌تری در برابر دفرمگی از خود نشان می‌دهند [۱۹، ۲۰]. این نتایج مطابق با نتایج پژوهشگران تطابق دارد است که مشاهده نمودند که نمونه با درصد  $\text{Na}_2\text{O}$  بیش‌تر نقطه دفرمگی پایین‌تری را دارد [۱۲، ۲۱].

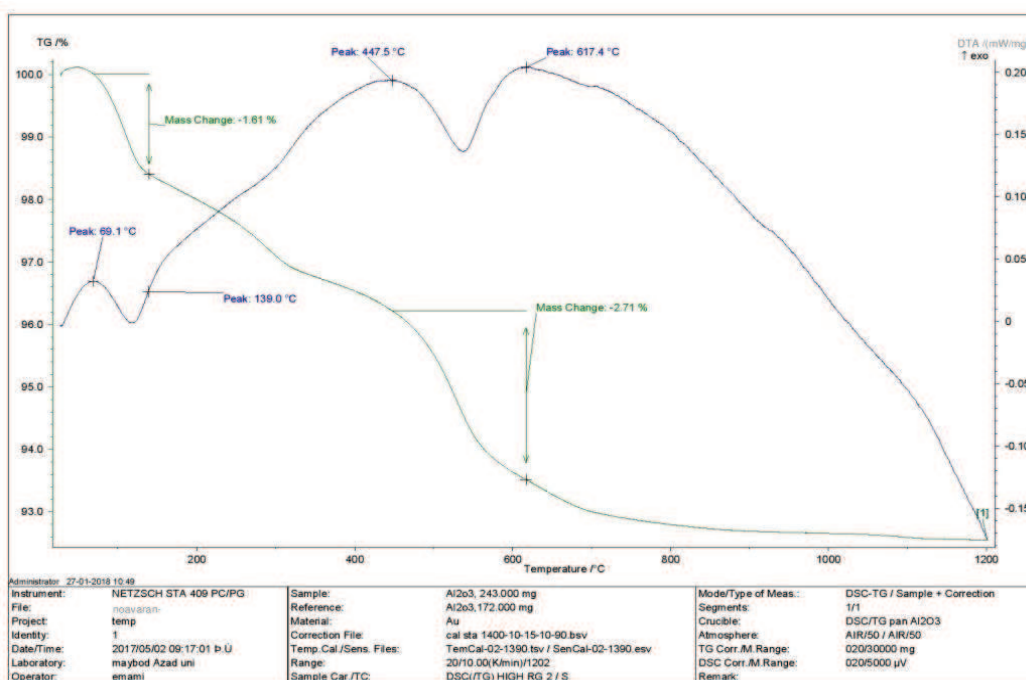
### ۳-۷- دیلاتومتری

شکل ۱۲ ضریب انبساط حرارتی دو نمونه ۱۷، ۱۴ در سه دمای  $1186^\circ\text{C}$ ،  $1137^\circ\text{C}$ ،  $1100^\circ\text{C}$  نشان می‌دهد. مشاهده گردید که با افزایش دما ضریب انبساط حرارتی کاهش می‌یابد که باعث افزایش فاز مذاب و حل شدن سیلیس در فاز مذاب می‌باشد [۲۰].

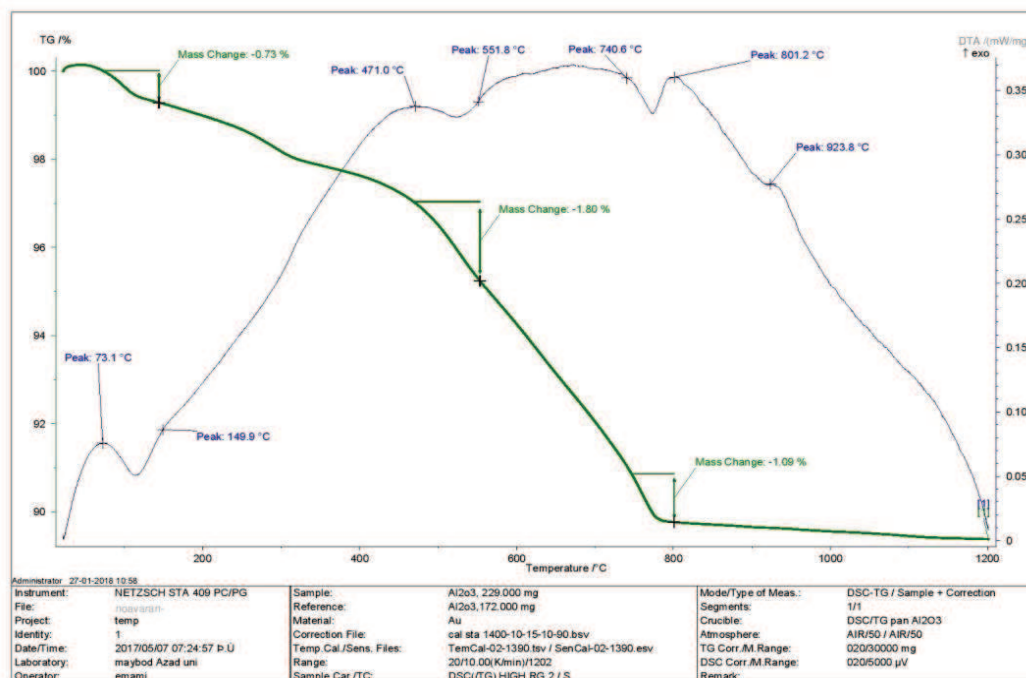
### ۳-۶- بررسی خواص حرارتی با استفاده از (TG-DTA)

نتایج حاصل از DTA در اشکال ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهد اولین پیک گرماگیر که در دمای کم‌تر از  $200^\circ\text{C}$  است مربوط به خروج آب جذب شده از نمونه و پیک گرماگیر در دمای بالاتر حدود  $400^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$  به علت از دست دادن آب پیوندی است و پیک گرماگیر در دمای بالاتر از  $800^\circ\text{C}$  مربوط به تجزیه و سوختن مواد آلی و تجزیه کربنات‌ها می‌باشد.

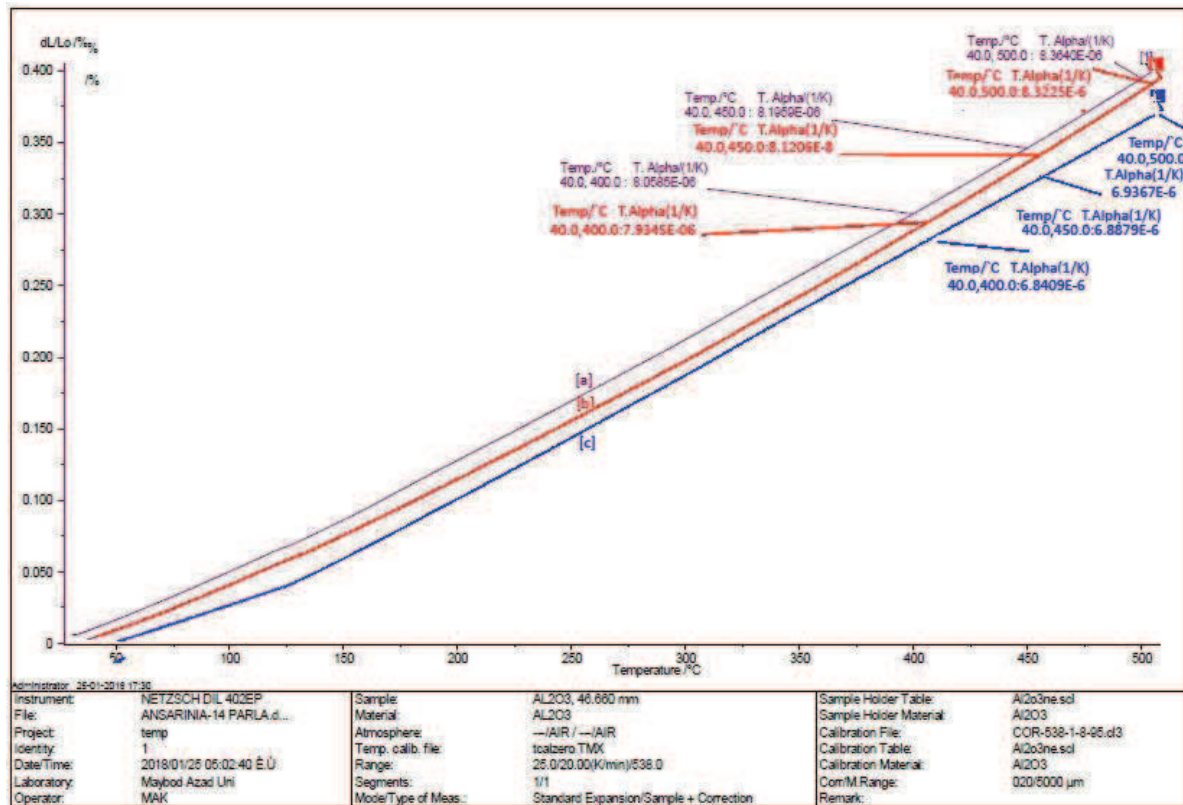
مطابق با اشکال ۱۰ و ۱۱ نمونه ۱۴ دارای افت وزنی بیش‌تر حدود  $4/3\%$  نسبت به نمونه ۱۷ که دارای حدود  $1/87\%$  افت وزنی در دماهای  $200^\circ\text{C}$ ،  $400^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$ ،  $800^\circ\text{C}$  می‌باشد، دارد که به علت بالا بودن درصد رس بیش‌تر در نمونه ۱۴ و بالاتر بودن درصد فلدسپات بیش‌تر در نمونه ۱۷ می‌باشد. از آنجا که نمونه ۱۴ دارای رس بیش‌تری است در نتیجه آب بیش‌تری را جذب نموده و درصد افت وزنی



شکل ۱۰ - نمودار (TG)-DTA فرمول ۱۴ در دمای ۱۱۳۷°C.



شکل ۱۱ - نمودار (TG)-DTA فرمول ۱۷ در دمای ۱۱۳۷°C.



شکل ۱۲- نمودار دیلاتومتری فرمول ۱۴ در دمای (a) 1100°C، در دمای (b) 1137°C، در دمای (c) 1186°C

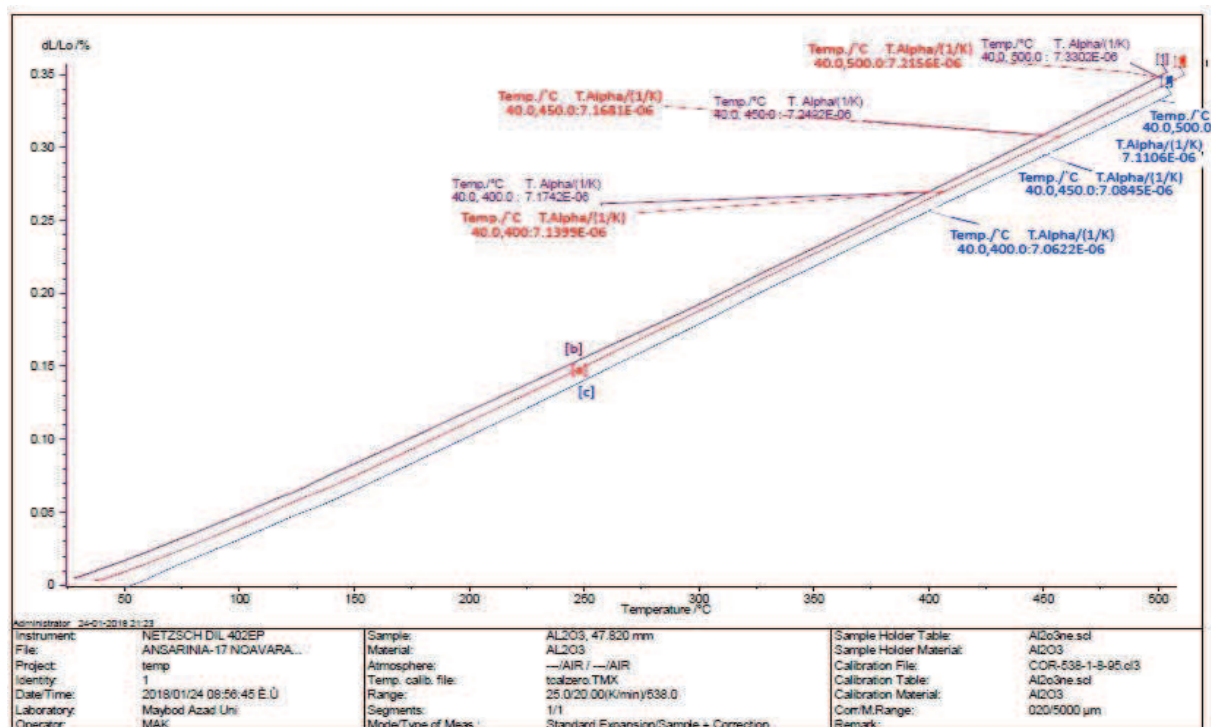
گردد [۲۱، ۲۲].

#### ۴- نتیجه‌گیری

- ۱- با افزایش نسبت  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  خواصی چون جذب آب کاهش می‌یابد که علت آن پُر شدن تخلخل‌ها به وسیله فاز مذاب ایجاد شده می‌باشد که این امر منجر به کاهش جذب آب و پرت و افزایش استحکام پخت و درصد انقباض می‌گردد.
- ۲- مطالعات ریزساختاری نشان داد که با افزایش میزان  $\text{Na}_2\text{O}$  تخلخل‌های کم‌تر در نمونه مشاهده می‌گردد چون با افزایش  $\text{Na}_2\text{O}$  نقطه نرمی پایین آمده زینترینگ بهتر، در نتیجه درصد تخلخل کاهش می‌یابد.

شکل ۱۳ ضریب انبساط حرارتی نمونه ۱۷ را نشان می‌دهد، مشاهده می‌گردد که با افزایش دما از ۱۱۰۰°C به ۱۱۳۷°C، ضریب انبساط حرارتی بدنه افزایش می‌یابد و در دمای ۱۱۸۶°C کاهش می‌یابد.

این موضوع نشان می‌دهد که در ابتدا با افزایش دما ضریب بدنه به علت وجود سیلیس بیش‌تر افزایش یافته و سپس در دمای بالاتر سیلیس در فاز مذاب حل شده و ضریب را کاهش می‌دهد. در صورتی که این بدنه در دمای ۱۱۰۰°C در حال تولید باشد و به دلایلی دمای کوره افزایش یابد قطعات خروجی با توجه به افزایش ضریب در نهایت به صورت محدب خواهند بود که باید با وزن انگوب جبران می



شکل ۱۳- نمودار دیلاتومتری فرمول ۱۷ در دمای (a) 1100°C، در دمای (b) 1137°C، در دمای (c) 1186°C

افت وزنی بیش تر نسبت به نمونه ۱۷ دارد که به علت بالا بودن درصد رس بیش تر در نمونه ۱۴ و بالاتر بودن درصد فلدسپات بیش تر در نمونه ۱۷ می باشد.

۶- نتایج حاصل از دیلاتومتری نیز نشان داد که با افزایش دما ضریب انبساط حرارتی کاهش می یابد چون با افزایش دما فاز مذاب بیش تری به وجود می آید در نتیجه سیلیس آزاد در فاز مذاب حل شده و ضریب انبساط حرارتی کاهش می یابد.

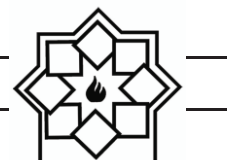
### ۵- مراجع

- [۱] ک، حمزه زاده توفیقی، کاشی و سرامیک بسیار ساده است، تهران، ص ۳۶-۸۵، ۱۳۸۲.
- [۲] م، رستگاری، شناخت کاشی و سرامیک به زبان

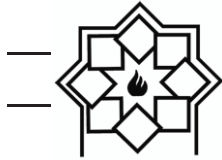
۳- نتایج SEM نشان داد نمونه هایی که در دمای ۱۱۰۰°C زینتر گردیدند نسبت به دماهای ۱۱۸۶°C، ۱۱۳۷°C دانه ها زاویه دارتر می باشند و در دماهای بالاتر از حالت زاویه دار شدن خارج شده و تقریباً دایره ای گردیدند و نمونه ها متراکم تر و صاف تر گردیدند که نشان دهنده زینترینگ بهتر در دماهای بالاتر است.

۴- نتایج XRD نشان داد که نمونه های ۱۷ و ۱۴ و ۵ دارای فازهای کوارتز، میکروسلیس، آلپیت، آنورتیت، هماتیت و مولایت می باشند و فاز غالب، فاز کوارتز است همچنین در دمای ۱۱۸۶°C مقدار فاز مولایت بیش تری نسبت به ۱۱۳۷°C مشاهده گردید.

۵- نتایج حاصل از STA نشان داد که نمونه ۱۴ دارای



- International Congress, Vol.123, PP. 26-29, 2013.
- [13] Y.M., Chiang, Birnie, D.P., Kingery, D.W., "Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering", Wiley, New Yor, 2001.
- [14] M. C., Conville, W., Lee, "Ceram", Soc. "Vol. 88, pp. 267, 2005.
- [15] G., Cultrone, E., Sebastian, K., Elert, Torre, M. J., Cayalla, O. and Rodriguez-Navarro, C., "Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks" J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 24(3), pp. 547–564, 2004.
- [16] B., Fabbri, C., Fiori, and A., Ravaglioli, "Materia Prima Ceramiche: Tecniche Analitiche e Indagini di Laboratorio", Vol. 3. Faenza Editrice, Faenza, It'alia, PP562, 2001.
- [17] J. M. F., Ferreira, P. J. S. Guedes, and P. F., Faim, Recycling of industrial Residues, "the best strategy for waste management. In Al-Azhar Bulletin of Science, Proceedings of Fifth International Science Conference", pp. 293–305, 2003.
- [18] W. Dong, Q. BAO, J. Zhao., "Preparation of porcelain building tiles using  $\text{K}_2\text{O}$ – $\text{Na}_2\text{O}$ " feldspar flux as a modifier agent of low-temperature firing ".Journal of the Ceramic Society of Japan., Vol. 125 pp. 690-694, 2017.
- [19] J. Gong, J. Wu, and Z., Guan, "Examination of the indentation size effect in low-load Vickers Hardness testing of ceramics". J. Eur. Ceram. Soc., Vol. 19, pp. 2625–2631, 1999.
- [20] P., Hettiarachchi, J. T. S., Motha, H. M. T. G. A., Pitawala, "Identification of an appropriate body composition for red clay products", Journal of the European Ceramic Society, Vol.56, PP. 285-290, 2010.
- [21] K. Pasiut, J. Partyka, M. M. Bu, M. Grandys, Ł. Kurpaska, W. Piekarczyk," ساده، تهران، ص ۱۵–۱۰، ۱۳۸۲.
- [3] A., Souza.J., Pinheiro, B.C.A., Holanda, J.N.F., "Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste", Journal of Materials Processing Technology, Vol.210, PP.1894-1904, 2010.
- [4] K., Ikeda., H.-S., Kim, K., Kaizu, and A., Higashi, "Influence of firing temperatureon frost resistance of roofing tiles". J. Eur. Ceram. Soc., 24, pp.3671–3677, 2004.
- [5] Hip, B. B., Domonkos, K. A., Kilibarda-Sapotic, R., Ranogajec, J. and Marinkovic-Neducin, R., "In Proceedings of the 7th ECERS on Design of Green and Fired Microstructure of Wall Tiles", Part 3, pp. 1783–1786, 2002.
- [۶] ح.، عبادی، روش‌های تولید قطعات سرامیکی، بابل: مبعث، ۱۳۹۴.
- [۷] ساکمی، فرآیند تولید کاشی و سرامیک، هاشمی زنوز، س.، اصفهان، مترجم (انتشارات) ص ۳۲–۱۰۲، ۱۳۸۱.
- [8] Chiang, Y.M., Birnie, D.P., Kingery, D.W., "Physical Ceramics: Principles for Ceramic Science and Engineering", Wiley, New Yor. 2001.
- [۹] ف.، گلستانی فرد، بهره‌ور، م.ع، صلاحی، ا.، روش‌های شناسایی و آنالیز مواد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۵.
- [10] D.,Quinn, "Hardness testing of ceramics". Adv. Mater. Process, Vol. 8, pp 23–27, 2002.
- [11] G.D., Quinn, "Indentation Hardness Testing of Ceramics". ASM Handbook, Vol. 8, Mechanical Testing and Evaluation. Materials Park, Ohio, pp. 244–251, 2000.
- [12] N., Tamsu, Vedat Bayrak, A., Ozdemir, H., "Effects of  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  Ratio on the Deformation Behaviour of the Floor Tile Bodies", Proceedings of the 2nd



An impact of the molar ratio of  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  on nanomechanical properties of glaze materials containing zirconium oxide", *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 815, 152411-152422, 2020.

- [22] M. S., Hern´andez-Crespo, and J. Ma., Rinc´on, "New porcelainized stoneware materials obtained by recycling of MSW incinerator fly ashes and granite sawing residues", *Ceram. Int.*, Vol.17, pp. 713–720, 2001.

[۲۳] استاندارد ملی ایران به شماره ۹۱۶۹-۳، کاشی‌های سرامیکی، قسمت سوم: تعیین درصد جذب آب.

[۲۴] استاندارد ملی ایران به شماره ۹۱۶۹-۲، کاشی‌های سرامیکی، قسمت دوم: تعیین ابعاد.

[۲۵] استاندارد ملی ایران به شماره ۹۱۶۹-۴، کاشی‌های سرامیکی، قسمت چهارم: تعیین مقاومت خمشی.

## Investigation of the Effect of Molar Ratio of Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O on Floor Tile Bodies

Fatemeh Mirjalili, Hamid reza Abedini, Fatemeh Ansarniya

Department of Material Engineering, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran

\*Fm.mirjalili@gmail.com

**Abstract:** In this study, the molar ratio of Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O on the body of the floor tile was investigated. First, 26 samples with different formulas and different percentages of Na<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O were prepared and sintered at three temperatures of 1186°C, 1137°C, 1100°C.

It was observed that, with increasing Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ratio, water absorption was decreased which was due to the filling of pores created by the molten phase and the sintering strength and shrinkage percentage were increased. XRD results showed that the samples contain of quartz, silica, albite, anorthite, hematite phases and a small amount of mullite. The results of STA also showed that with increasing Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ratio, the softening point led to lower temperatures, which was due to the higher melting of Na<sub>2</sub>O than K<sub>2</sub>O.

The results of dilatometry also showed that, with increasing the temperature, the coefficient of thermal expansion was decreased. Because with increasing the temperature which was caused to more melt phase due to the dissolving of silica and caused to decrease of the coefficient of thermal expansion.

**Keywords:** Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O ratio, curing strength, microstructure.