



### مطالعه تاثیر استفاده از دولومیت، ولاستونیت و کلسیت به عنوان منابع مختلف CaO در ساخت پرسلان آنورتیتی

محمد رضا پهلوان شمسی<sup>۱</sup>، غلامرضا امامی<sup>۲</sup> علی امیر ارجمند<sup>۳</sup>

۱-دپارتمان مهندسی مواد سرامیک- آموزشکده امام خمینی (ره) میبد- دانشگاه فنی و حرفه ای استان یزد-

ایران

۳-مدیر، شرکت دانش بنیان فرابویان ایساتیس، یزد، ایران

#### چکیده

پرسلان آنورتیتی با استفاده از بالکلی، کوارتز، آلومینا، فلدسپار و سه منبع مختلف CaO به عنوان مواد اولیه تهیه گردید. تأثیر منابع CaO مانند دولومیت، ولاستونیت و کلسیت بر خواص مکانیکی، حرارتی و زیبایی پرسلان آنورتیتی بررسی شده و مطالعات پراش پرتوی اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نیز برای آنالیز فازی و آنالیز ریزساختار انجام شد. آنورتیت به عنوان فاز اصلی در تمام نمونه‌ها که در دماهای مناسب پخته شده بودند (۱۲۰۰°C، ۱۲۱۵°C و ۱۲۳۰°C) دیده شد. استحکام خمشی بیشینه (۱۱۰~MPa) در نمونه‌ی حاوی ولاستونیت به دست آمد که به طور عمده به ریزساختار مطلوب نسبت داده شد. آنورتیت به عنوان تک فاز بلورین در نمونه‌ی حاوی کلسیت یافت شد و این نمونه پایین‌ترین ضریب انبساط حرارتی و بالاترین سفیدی را نشان داد که در ظاهر شبیه به چینی استخوانی بود.

واژه‌های کلیدی: پرسلان، آنورتیت، ولاستونیت، دولومیت، ریز ساختار

#### ۱- پیش‌گفتار

چینی استخوانی از نظر ظاهری یک محصول بسیار تخصصی است، سفیدی و زجاجیت استثنایی آن باعث شده که گران‌قیمت‌ترین نوع از ظروف سفره باشد [۱]. ترکیب اسمی چینی استخوانی حاوی حدود ۵۰ درصد وزنی خاکستر استخوان حیوان، ۲۵ درصد وزنی کائولن و ۲۵ درصد وزنی سنگ کورنیش یا فلدسپار است [۲]. پس از تفجوشی، فازها در بدنه‌ی پخته شده عموماً از ۴۰٪ وزنی بتا-تری کلسیم فسفات (β-Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)، ۳۰ درصد وزنی آنورتیت (CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>) و ۳۰ درصد وزنی فاز شیشه‌ای کلسیم آلومینوسیلیکات تشکیل می‌شود [۳، ۴]. بنابراین، چینی استخوانی یک بدنه‌ی سفیدپخت با تبلور بالا (۷۰٪~) است که مقاومت خوبی را نسبت به لب پر شدن و استحکام خمشی بالای ۱۰۰~MPa را نشان می‌دهد [۵، ۶].

با این حال، لعاب اعمالی روی چینی استخوانی به دلیل قلیایی زیاد، به آسانی خراشیده می‌شود و به علت عدم تطابق ضریب انبساط حرارتی مقاومت به شوک حرارتی بدنه‌ی پخته ضعیف است. فاز بلورین بتا-تری کلسیم فسفات تأثیر

\*عهده‌دار مکاتبات

نشانی: یزد، میبد، دانشگاه فنی و حرفه ای / آموزشکده فنی امام خمینی (ره) // تلفن: ۰۳۵۳۲۳۵۶۵۱۱ دورنگار: ۰۳۵۳۲۳۵۶۵۱۴

پیام نگار mrpsh@gmail.com



منفی بر پایداری حرارتی چینی استخوانی دارد. این در حالی است که آنورتیت ضریب شکست حدود ۱/۵۸ داشته که به فاز شیشه‌ای (۱/۵) نزدیک است [۴]. پس فاز بلورین آنورتیت باعث افزایش زجاجیت بدنه شده و می‌تواند پایداری حرارتی و کیفیت دکور ظروف را افزایش دهد [۷-۲].

مطالعه صورت گرفته با هدف تولید سرامیک‌های آنورتیتی متراکم از منابع مختلف CaO، و بررسی تأثیر دولومیت، ولاستونیت و کلسیت بر ریزساختار و خواص فنی پرسیلان آنورتیتی شامل تفجوشی، استحکام خمشی، انبساط حرارتی و کیفیت ظاهری انجام شده است.

### ۲- مطالعات تجربی

#### ۲-۱- مواد اولیه

بالکلی و فلدسپات و کوارتز به عنوان مواد اولیه و از دولومیت، ولاستونیت و کلسیت به عنوان منابع مختلف CaO استفاده شدند. مقدار بالای CaO گرانی‌تری فاز مایع در دماهای بالا را کاهش می‌دهد. برای مقاومت در برابر دفرمگی دماهای بالا، مقدار کمی آلومینا برای افزایش ویسکوزیته فاز مذاب افزوده می‌شود. جدول ۱ ترکیب شیمیایی مواد اولیه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد اولیه

اجزای تشکیل دهنده (درصدوزنی)									مواد اولیه
L.O.I	Na2O	K2O	MgO	CaO	TiO2	Fe2O3	Al2O3	SiO2	
۱۲/۷	۰/۲۴	۰/۹۸	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۱	۳۶/۱۴	۴۸/۶۱	بالکلی
۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۳	۱/۰۲	۹۸/۳۸	کوارتز
-	-	-	-	-	-	-	۹۹/۰ ≤	-	آلومینا
۰/۵۶	۲/۲۸	۱۲/۳۹	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۰۸	۱۸/۸۵	۶۵/۵۶	فلدسپار
۴۸/۴۶	۰/۳۶	۰/۰۲	۱۹/۴۱	۲۹/۹۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۴۵	۱/۳۲	دولومیت
۳/۲۱	-	-	۰/۸۲	۴۴/۸۰	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۹۲	۵۰/۱۳	ولاستونیت
۳۹/۸۲	۰/۱۱	۰/۰۴	۲/۱۳	۵۳/۹۸	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۶۱	۳/۰۲	کلسیت

#### ۲-۲- آماده‌سازی نمونه

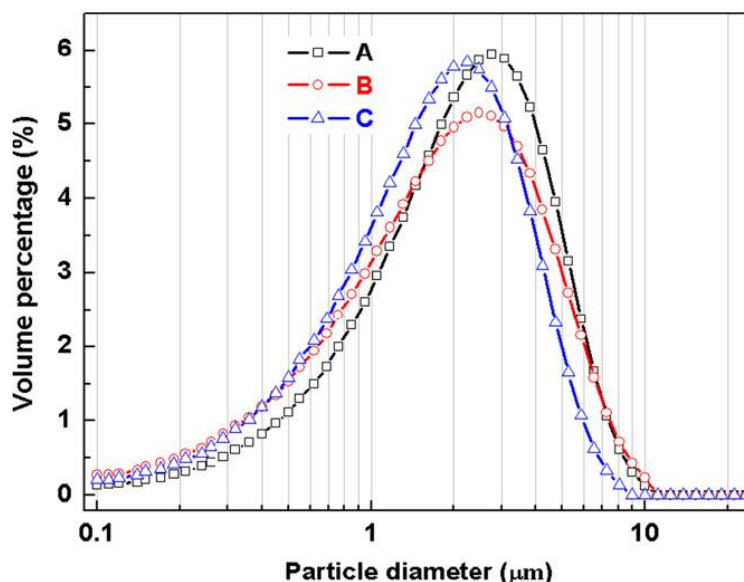
ترکیبات براساس ترکیب استوکیومتری تخمینی آنورتیت با منابع مختلف CaO (دولومیت، ولاستونیت و کلسیت) آماده و به ترتیب A، B و C مطابق جدول شماره ۲ کد گذاری شدند. این پودرها با آب مخلوط شده و در یک آسیاب سیاره‌ای با گلوله‌های زیرکونیایی به مدت ۶ ساعت آسیاب شدند. توزیع‌های اندازه‌ی ذره در دوغاب آسیاب شده توسط دستگاه Particle Size آنالیز شده و نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص است که همه‌ی نمونه‌ها نتایج نرمال مشابهی با اندازه ذرات کمتر از  $10\mu m$  دارند.



جدول ۲- ترکیب نمونه‌های بررسی شده A، B و C (درصدوزنی)

نمونه	مواد اولیه					
	بالکلی	کوارتز	آلومینا	فلدسپار	دولومیت	ولاستونیت
A	۲۰	۱۴	۲۱	-	۴۵	-
B	۲۰	۷	۱۵	۱۸	-	۴۰
C	۲۰	۲۰	۱۲	۱۸	-	۳۰

از روش ریخته‌گری دوغابی برای شکل‌دهی استفاده شد که نتیجه آن تولید بدنه‌ی خام با استحکام بالا بود. نمونه‌های خام با اندازه‌ی (۵mm × ۵mm × ۵mm) تهیه شده و در یک کوره‌ی الکتریکی در دماهای ۱۲۰۰°C تا ۱۲۳۰°C به مدت یک ساعت پخت شدند.



شکل ۱- توزیع‌های اندازه‌ی ذرات نمونه‌های A، B و C آسیاب شده به مدت ۶ ساعت.

### ۳- بحث و نتایج

الگوهای پراش نمونه‌های پخته شده در دمای پخت مناسب در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. آشکار است که آنورتیت فاز بلورین اصلی است. مقداری فاز شیشه‌ای نیز در تمام نمونه‌ها دیده می‌شود. آکرمائیت ( $2CaO.MgO.2SiO_2$ ) و اسپینل ( $MgO.Al_2O_3$ ) تنها در نمونه‌ی A دیده می‌شوند، چون دولومیت تنها منبع CaO نیست، بلکه منبع MgO نیز هست. به علاوه، آنورتیت به عنوان تک فاز بلورین در نمونه‌ی C به دست می‌آید، در حالی که مقدار کمی فاز بلورین کوراندوم ( $Al_2O_3$ ) در شکل (B) نشان داده شده است که مطابق جدول شماره ۳ مقدار  $Al_2O_3$  بیشتر در نمونه B نسبت به نمونه‌ی C وجود دارد.





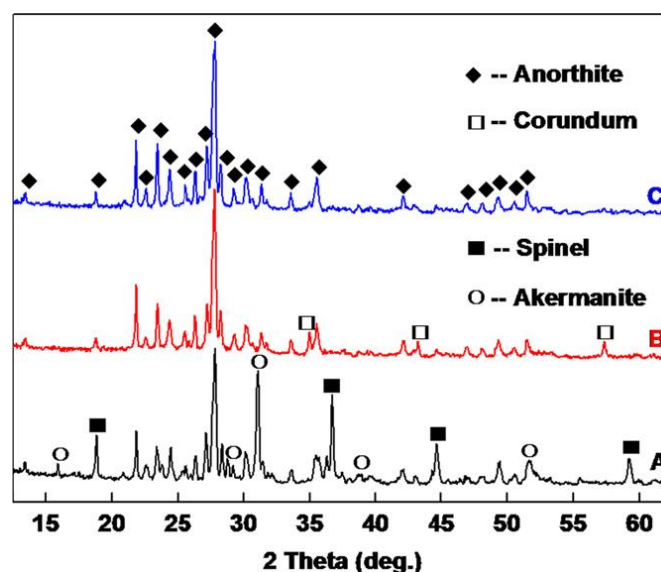
# نخستین کنفرانس ملی مواد نوین

## ۱۲-۱۳ اسفند ۱۳۹۹



جدول ۳- نتیجه‌ی آنالی شیمیایی XRF نمونه‌های پخته‌ی A، B و C.

اکسیدها (درصدوزنی)								نمونه
Na2O	K2O	MgO	CaO	TiO2	Fe2O3	Al2O3	SiO2	
۰/۲۸	۰/۲۹	۱۱/۷۰	۱۸/۰۰	۰/۰۳	۰/۱۱	۳۷/۴۷	۳۲/۱۰	A
۰/۳۳	۱/۷۷	۰/۳۹	۱۸/۸۳	۰/۰۳	۰/۱۶	۲۹/۸۳	۴۸/۶۶	B
۰/۵۸	۲/۸۹	۰/۸۱	۱۹/۲۰	۰/۰۳	۰/۰۹	۲۶/۷۹	۴۹/۶۰	C

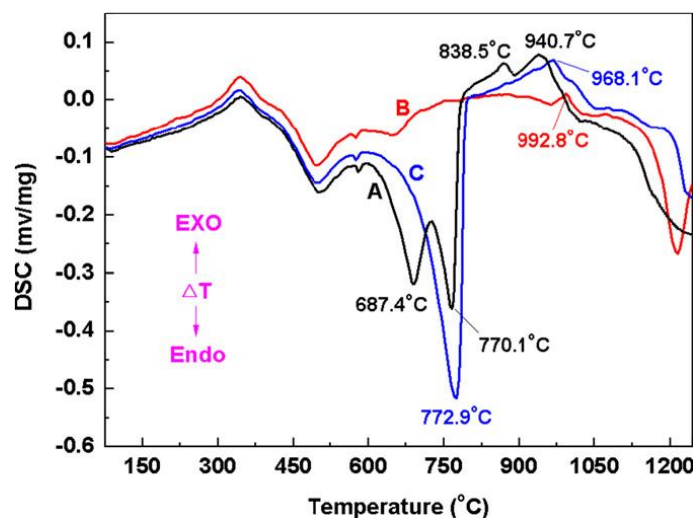


شکل ۲- الگوهای XRD نمونه‌های A، B و C

از دستگاه (DSC) برای مطالعه‌ی تمام انتقال‌ها شامل تبادل گرمای در حال وقوع در ماده در طول یک چرخه‌ی گرمایشی استفاده می‌شود. بنابراین تکنیک مناسبی برای شناسایی پدیده‌هایی مانند انتقالات فازی، تبلور یا ذوب است. شکل ۳ منحنی‌های DSC نمونه‌های A، B و C را در دمای محیط تا دمای ۱۲۵۰°C نشان می‌دهد. یک پیک گرمایزاد حول دمای ۳۵۰°C و دو پیک گرماگیر حول ۵۰۰°C و ۵۷۶°C وجود دارند. پیک گرمایزاد به خروج مواد آلی مربوط است که جزئی از بالکلی است و اولین پیک گرماگیر مربوط به خروج آب کائولن می‌باشد. [۱۰]

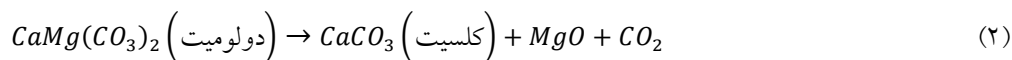
$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \text{ (کائولینیت)} \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_3 \text{ (کائولینیت)} + 2H_2O \quad (1)$$

برای پیک سوم، پیک گرماگیر کوچک به انتقال آلفا-کوارتز به بتا-کوارتز نسبت داده شد.



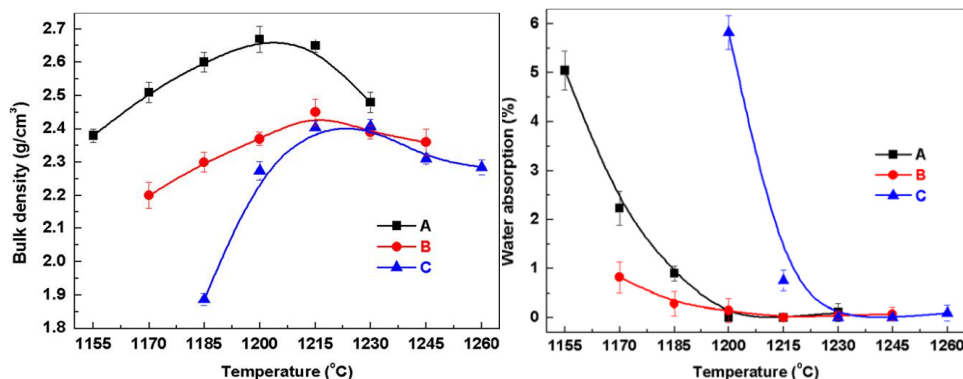
شکل ۳- منحنی DSC نمونه‌های A, B و C

بالای  $600^{\circ}\text{C}$ ، منحنی‌های DSC نمونه‌های A, B و C اختلاف‌های بزرگی دارند. روی منحنی A، دو پیک گرماگیر و دو پیک گرمازا در  $687^{\circ}\text{C}$ ،  $770^{\circ}\text{C}$ ،  $838^{\circ}\text{C}$  و  $940^{\circ}\text{C}$  دیده می‌شود. دو پیک گرماگیر تیز به کربن زدایی از دولومیت و کلسیت نسبت داده می‌شوند. واکنش‌های مربوطه به صورت زیر هستند:



و پیک‌های گرمازا از تبلور بلورهای جدید شامل آنورتیت، آکرومانیت و اسپینل (شکل ۲) نشأت گرفتند. طبق نتایج آنالیز حرارتی، نمونه‌های B و C اختلاف‌هایی را در مقایسه با نمونه‌ی A نشان دادند. روی منحنی B، پیک گرمازا در  $992^{\circ}\text{C}$  به دلیل تشکیل یک بلور نامعلوم دیده شد. روی منحنی C، یک پیک گرماگیر شدید و یک پیک گرمازا به ترتیب در  $773^{\circ}\text{C}$  و  $968^{\circ}\text{C}$  دیده شدند. اولی با تجزیه‌ی  $\text{CaCO}_3$  تطابق دارد، در حالی که دومی تشکیل آنورتیت را نشان می‌دهد (شکل ۲). افزون بر این، همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود. آن‌ها شیب تندی را نشان می‌دهند که حاکی از تشکیل ناگهانی مذاب دما بالا بین  $1000^{\circ}\text{C}$  و  $1200^{\circ}\text{C}$  است. به طور کلی، فاز شیشه‌ای مذاب نقش یک گدازآور را ایفا می‌کند و باعث می‌شود که چگالی بالک ماده به آسانی افزایش بیابد [۱۲].

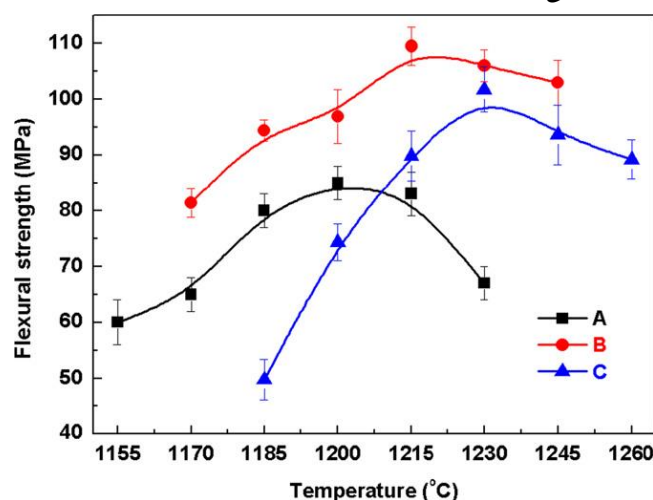
شکل ۴ رفتار جذب آب را به صورت تابعی از دما نشان می‌دهد. جذب آب با افزایش دمای گرمایشی ناشی از کاهش تخیل ظاهری از طریق تفجوشی فاز مایع کاهش می‌یابد. نمونه‌های A, B و C به مقدار جذب آب صفر در دماهای پخت به ترتیب  $1200^{\circ}\text{C}$ ،  $1215^{\circ}\text{C}$  و  $1230^{\circ}\text{C}$  می‌رسند. شکل ۵ تغییر در چگالی بالک را با دمای گرمایشی نشان می‌دهد. در ابتدا، افزایش مقدار چگالی بالک ادامه می‌یابد و مقادیر بهینه وقتی به دست می‌آیند که جذب آب، نزدیک به صفر می‌رسد. پخت بیشتر به یک افت کوچک در چگالی بالک می‌انجامد که به طور عمده ناشی از انبساط گازهای به دام افتاده است که به صورت تاول‌ها و برآمدگی‌ها نمایان می‌شوند [۱۳].



شکل ۴- تغییر جذب آب نمونه‌های A، B و C به صورت تابعی از دما. شکل ۵- تغییر چگالی بالک نمونه‌های A، B و C به صورت تابعی از دما.

علاوه بر این، از شکل ۵ می‌توان دید که نمونه‌ی A اختلاف چشمگیری در مقایسه با نمونه‌های B و C دارد. نمونه‌ی A بالاترین چگالی بالک را دارد ( $2.65 \text{ g cm}^{-3}$ ). بیشترین چگالی بالک برای نمونه‌ی B معادل با  $2.45 \text{ g cm}^{-3}$  هست.

شکل ۶ رفتار استحکام خمشی به صورت تابعی از دمای تفجوشی نشان می‌دهد. استحکام خمشی تمام نمونه‌ها با افزایش دمای تفجوشی افزایش می‌یابد. با گرمایش بیشتر، مقادیر استحکام خمشی به بیشینه‌های حدود  $85 \text{ MPa}$  برای نمونه‌ی A،  $100 \text{ MPa}$  برای نمونه‌ی B و  $110 \text{ MPa}$  برای نمونه‌ی C می‌رسند و سپس روند کاهش چگالی کم می‌شوند. از نظر تئوری، استحکام خمشی در یک بدنه‌ی پرس‌لانی وقتی بیشینه است که تخلخل ظاهری نزدیک به صفر شود. نتیجه‌ی مشابهی در مطالعه‌ی کنونی نیز دیده می‌شود. به علاوه طبق شکل‌های ۶ و ۷ یک پدیده‌ی غیرعادی در جایی دیده می‌شود که نمونه‌ی A بالاترین چگالی اما کمترین استحکام را دارد. استحکام پایین نمونه‌ی A را می‌توان به دلیل فاز شیشه به علت مقدار بالای  $\text{MgO}$  ( $17.7\%$  وزنی) نسبت داد.



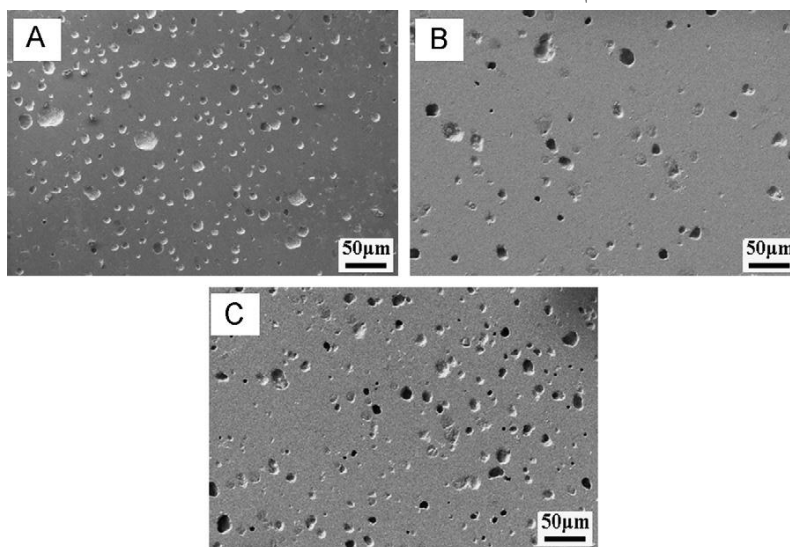
شکل ۶- تغییر استحکام خمشی نمونه‌های A، B و C به صورت تابعی از دما.





تخلخل و ریزساختار به عنوان پارامترهای مهمی در خواص مکانیکی بدنه‌ی پرسلانی پخته شده لحاظ می‌شوند. شکل ۷ ریز ساختارهای SEM سطح پولیش خورده‌ی نمونه‌های A، B و C را نشان می‌دهد که در دماهای مناسب پخته شده بودند. نمونه‌ی A حفرات کروی، ایزوله و بزرگتری را در محدوده  $30\text{--}40\ \mu\text{m}$  نشان می‌دهد (شکل ۷-A). نمونه‌های B و C با حفرات ایزوله‌ی کوچک ( $10\text{--}20\ \mu\text{m}$ ) شناسایی می‌شوند که کمتر کروی هستند (کشیده یا بیضی) به علاوه، نمونه‌ی C تعداد بیشتری حفره را نسبت نمونه‌ی B نشان می‌دهد که به خاطر کربن‌زدایی کلسیت است که باعث به دام افتادن گاز در بدنه می‌شود. بدین ترتیب، رابطه‌ی واضحی بین استحکام و تخلخل را می‌توان تأیید کرد. تخلخل بالا و ترک‌های بزرگ برای استحکام بدنه‌ی پرسلانی پخته نامطلوب هستند. تصاویر SEM سطح شکست نمونه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

ضریب انبساط حرارتی به هنگام در نظر گرفتن انطباق حرارتی بین لعاب و بدنه یک فاکتور کلیدی است [۱۴]. شکل ۹ منحنی‌های ضریب انبساط حرارتی نمونه‌های A، B و C اندازه‌گیری شده در بازه‌ی دمایی  $30\text{--}500\text{ }^\circ\text{C}$  را با استفاده از یک دیلاتومتر نشان می‌دهد. نسبت‌های انبساط تقریباً در کل بازه‌ی دمایی اندازه‌گیری شده، افزایش خطی دارند. برای استفاده‌ی عملی از پرسلان استحکام-بالا در ظروف سفره، انبساط حرارتی زیر  $150\text{ }^\circ\text{C}$  برای تحمل شوک حرارتی در گندزدایی گرمایی یا شستشو مهم است [۱۵]. ضرایب انبساط حرارتی، تمام نمونه‌ها در محدوده دمایی آزمون محاسبه شده‌اند. ضریب انبساط حرارتی نمونه‌های A، B و C زیر  $300\text{ }^\circ\text{C}$  به ترتیب  $7/2 \times 10^{-6}$ ،  $5/1 \times 10^{-6}$  و  $4/9 \times 10^{-6}$  محاسبه شدند. نمونه‌ی C مقدار ضریب انبساط حرارتی پایینی دارد ( $4/9 \times 10^{-6}$ ) که به دلیل تشکیل تک فاز آنورتیت است که مقدار ضریب انبساط حرارتی آن از  $20\text{ }^\circ\text{C}$  تا  $500\text{ }^\circ\text{C}$  تقریباً  $4/3 \times 10^{-6}$  است. بنابراین، نمونه‌های B و C می‌توانند به آسانی با لعاب قابل استفاده تطبیق داده شوند. به علاوه، این ضریب انبساط حرارتی نسبتاً پایین نشان می‌دهد که این مواد نسبت به شوک حرارتی بسیار مقاوم هستند.



شکل ۷- ساختارهای حفره‌دار نمونه‌های A، B و C

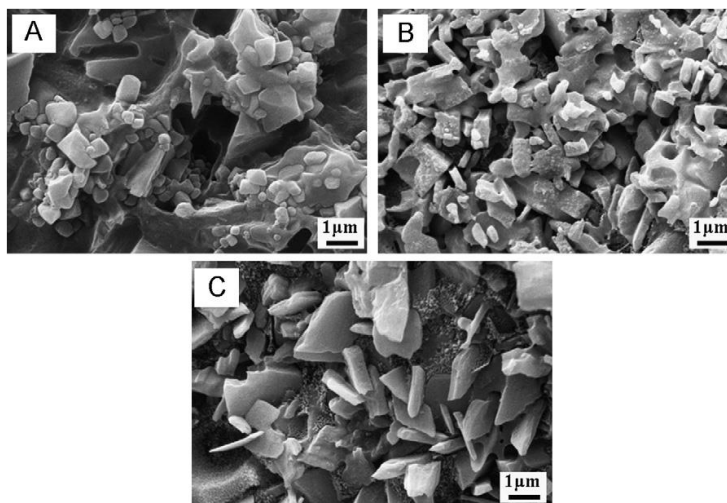


# نخستین کنفرانس ملی مواد نوین

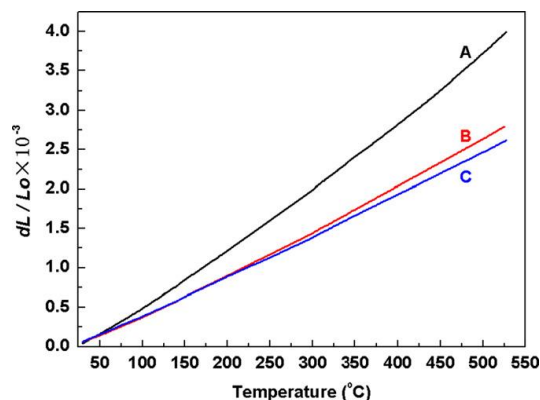
۱۲-۱۳ اسفند ۱۳۹۹



پژوهشکده مواد نوین سرامیکی



شکل ۸- تصاویر SEM سطح شکست نمونه‌های A، B و C



شکل ۹- منحنی‌های انبساط حرارتی نمونه‌های A، B و C اندازه‌گیری شده در بازه‌ی ۳۰°C تا ۵۰۰°C.

در فناوری مدرن برای تولید ظروف پرسیلانی زجاجی به ویژه برای ظروف سفره، توجه بیشتری به سفیدی بدنه می‌شود [۱۶]. در مطالعه‌ی کنونی، رنگ بدنه‌ی پخته با استفاده از یک طیف سنج با سیستم  $L^*a^*b^*$  بررسی شد. همانطور که می‌دانیم، چینی استخوانی ظاهر زیبایی از نظر زجاجیت و سفیدی دارد [۲۰]. برای توضیح تأثیر کمی بر درجه‌ی سفیدی، سه نوع سرامیک آنورتیتی با چینی استخوانی تجاری با دستگاه طیف سنج مورد بررسی قرار گرفتند. مقادیر اختلاف رنگ ( $a^*$  و  $b^*$ ) و پارامترهای  $L^*$  (سفیدی) در جدول ۴ نشان داده شده. پارامتر  $a^*$  محدوده رنگ از سبز ( $-a^*$ ) تا قرمز ( $+a^*$ ) را منعکس کرده، در حالی که پارامتر  $b^*$  محدوده رنگ از آبی ( $-b^*$ ) تا زرد ( $+b^*$ ) را منعکس می‌کند. مقدار منفی  $a^*$  و مقدار مثبت  $b^*$  از تمام نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند که نشان می‌دهد این مقادیر در ناحیه‌ی سبز و زرد مختصات قرار می‌گیرند. مقدار پایین‌تر  $a^*$  و  $b^*$  روی نمونه‌ی C نشان می‌دهد که درجه‌ی رنگی خیلی کمتری دارد و درجه‌ی سفیدی نمونه‌ی C می‌تواند تقریباً ۹۴ برسد که در بین تمام نمونه‌ها از همه بالاتر است. که این امر به دلیل پایین‌ترین مقدار ناخالصی رنگی مانند  $Fe_2O_3$  و  $TiO_2$  در مواد اولیه است و علاوه بر این، مقدار کمتری فاز شیشه‌ای در نمونه‌ی





C تشکیل شد که ممکن است دلیل دیگری برای سفیدی بالای آن باشد. در پژوهش‌ها مشخص شده که فاز شیشه تأثیر منفی بر سفیدی استون‌ور آنورتیتی دارد. بنابراین نمونه‌ی C کیفیت ظاهری بهتری نسبت به چینی استخوانی دارد [۵]. سفیدی و زجاجی بودن ظروف سفره برای بازاریابی آن اهمیت بسزایی دارد. برای نمونه‌ی C، تنها یک فاز بلورین وجود دارد و ضریب شکست بلور آنورتیت ۱/۵۸ است [۹]، که به فاز شیشه نزدیک است. بنابراین، نمونه‌ی C رفتار زجاجیت عالی از خود نشان می‌دهد که می‌تواند به خواص نوری مشابه به چینی استخوانی دست پیدا کند. در مقابل، اختلاف نسبتاً زیاد ضریب شکست، به دلیل وجود چند فاز می‌تواند تأثیر منفی بر نمونه‌های A و B داشته باشد.

جدول ۶- پارامترهای  $L^*a^*b^*$  نمونه‌های A, B, C و چینی استخوانی.

مختصات رنگی			کد نمونه
b*	a*	L*	
۴/۳۱	-۱/۴۷	۹۲/۵۹	A
۴/۸۶	-۰/۸۹	۹۱/۰۱	B
۱/۹۲	-۰/۵۴	۹۴/۳۷	C
۳/۱۷	-۰/۴۳	۹۳/۱۵	چینی استخوانی

#### ۴- نتیجه گیری

- ۱- پرسیلان‌های آنورتیتی با استفاده از سه منبع CaO، شامل دولومیت، ولاستونیت و کلسیت آماده شدند. تأثیر منابع مختلف CaO بر ریزساختار و خواص فنی مانند رفتار تفجوشی، استحکام خمشی، انبساط حرارتی و کیفیت ظاهری نیز بررسی شد. نتایج آزمایشگاهی نشان دادند که ریزساختار و ویژگی پرسیلان تحت تأثیر منابع مختلف CaO قرار می‌گیرد.
- ۲- در تمام نمونه‌هایی که در دماهای بهینه‌ی تفجوشی ( $1200^{\circ}\text{C}$ ،  $1215^{\circ}\text{C}$  و  $1230^{\circ}\text{C}$ ) پخته شده بودند، آنورتیت فاز بلورین اصلی بود. آنورتیت به عنوان تک فاز بلورین تنها در نمونه‌ی حاوی کلسیت تشکیل شد و پرسیلان آنورتیتی نسبت به فاز بلورین به شیشه‌ای بالایی داشت. نمونه‌ی حاوی دولومیت به آسانی مقدار زیادی فاز شیشه‌ای تشکیل داد که به دلیل وجود عنصر منیزیم بود. وقتی که منبع CaO ولاستونیت بود استحکام خمشی بیشینه توانست به حدود ۱۱۰MPa برسد که به ریزساختار نسبتاً بهتر آن نسبت داده شد.
- ۳- وقتی که منبع CaO ولاستونیت یا کلسیت بود، پرسیلان آنورتیتی ضریب انبساط حرارتی پایینی دارد که به دلیل تشکیل مقدار زیادی فاز آنورتیت بود که می‌توانست به آسانی با لعاب قابل استفاده تطبیق داده شود.
- ۴- پرسیلان آنورتیتی سفیدی بالایی داشت ( $L^* = 94$ ). افزون بر این اختلاف نسبتاً پایین بین ضریب شکست آنورتیت و فاز شیشه، دستیابی به رفتار زجاجیت بالا را آسان کرد که از نظر ظاهری به چینی استخوانی شباهت داشت.



# نخستین کنفرانس ملی مواد نوین

## ۱۲-۱۳ اسفند ۱۳۹۹



مراجع:

- [1] A. Capoglu, Elimination of discoloration in reformulated bone china bodies, *Journal of the European Ceramic Society* 25 (2005) 3157–3162.
- [2] A. Kara, R. Stevens, Characterisation of biscuit fired bone china body microstructure. Part II: transmission electron microscopy (TEM) of glassy matrix, *Journal of the European Ceramic Society* 22 (2002) 737–743.
- [3] A. Capoglu, A novel low-clay translucent whiteware based on anorthite, *Journal of the European Ceramic Society* 31 (2010) 321–329.
- [4] X.S. Cheng, S.J. Ke, Q.H. Wang, H. Wang, A.Z. Shui, P.A. Liu, Characterization of transparent glaze for single-crystalline anorthite, *Ceramics International* 38 (2012) 4901–4908.
- [5] B. Ryu, I. Yasui, Sintering and crystallization behavior of a glass powder and block with a composition of anorthite and the microstructure dependence of its thermal expansion, *Journal of Materials Science* 29 (1994) 3323–3328.
- [6] A. Capoglu, A novel approach to high-strength, translucent whitewares using prefired materials, *Key Engineering Materials* 264–268 (2004) 1585–1588.
- [7] A. Capoglu, M.U. Taskiran, Processing of ultra white porcelain stoneware based on anorthite, *Key Engineering Materials* 264–268 (2004) 1495–1498.
- [8] M.R. Meng, Q. Dou, Effect of pimelic acid on the crystallization, morphology and mechanical properties of polypropylene/wollastonite composites, *Materials Science and Engineering: A* 492 (2008) 177–184.
- [9] A. Escardino, J.G. Ten, C. Feliu, A. Moreno, Calcium carbonate thermal decomposition in white-body wall tile during firing, *Journal of the European Ceramic Society* 30 (2010) 1989–2001.
- [10] G. Sedmale, I. Sperberga, U. Sedmalis, Z. Valancius, Formation of high-temperature crystalline phases in ceramic from illite clay and dolomite, *Journal of The European Ceramic Society* 26 (2006) 3351–3355.
- [11] K. Sedat, Y. Emre, A. Sedat, Effects of boron addition and intensive grinding on synthesis of anorthite ceramics, *Ceramics International* 34 (2008) 1629–1635.
- [12] S. Kurama, E. Ozel, The influence of different CaO source in the production of anorthite ceramics, *Ceramics International* 35 (2009) 827–830.
- [13] X.S. Cheng, S.J. Ke, Q.H. Wang, H. Wang, A.Z. Shui, P.A. Liu, Fabrication and characterization of anorthite-based ceramic using mineral raw materials, *Ceramics International* 38 (2012) 3227–3235.
- [14] S. Maity, B.K. Sarka, Development of high-strength whiteware bodies, *Journal of the European Ceramic Society* 16 (1996) 1083–1088.
- [15] S.A.F. Batista, P.F. Messer, R.J. Hand, Fracture toughness of bone china and hard porcelain, *British Ceramic Transactions* 10 (2001) 256–259.
- [16] A. Kara, R. Stevens, Characterisation of biscuit fired bone china body microstructure. Part I: XRD and SEM of crystalline phases, *Journal of the American Ceramic Society* 22 (2002) 731–736.