سنتز کوردیریت به روش حالت جامد در حضور افزودنی‌ها

نعیمه السادات کاظمی، مهین ولی محمد، حمیدرضا رضایی، حسین فرمان، رحیم نقی‌زاده

دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران
nsk-1221@yahoo.com

چکیده: *ابتدا کوردیریت را با مواد اولیه‌ای شامل رس، آلومینا و تالک فرانسه به روش حالت جامد سنتز کرده و بار دیگر همین عملیات با جایگزینی تالک آلمان به جای تالک فرانسه انجام شده است. نتایج آزمایش‌های پراش اشعه ایکس تشکیل فاز کوردیریت را نشان می‌دهد. سپس یکبار کربنات‌باریم را به عنوان افزودنی به نسبت ۲٪، ۴٪ و ۶٪ و بار دیگر اکسید زیرکونیوم را با همین نسبت‌ها، به ترتیب به پودر کوردیریت حاصل از تالک فرانسه و تالک آلمان اضافه کرده، و عملیات سنتز به روش حالت جامد دوباره تکرار گردید. آزمایش پراش اشعه ایکس روی مواد حاصل انجام گرفته و نتایج آزمایش‌های XRD نشان‌دهنده تشکیل دوباره‌ی فاز کوردیریت در دماهای پایین‌تر می‌باشد. لغات کلیدی: ماکروکریستال، میکرو کریستال، انکسار نور، اکسیدروی، ویلمیت.*

کلمات کلیدی: *کوردیریت، سنتز حالت جامد، افزودنی.*

۱- مقدمه

کوردیریت طبیعی دارای ترکیب شیمیایی $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$ می باشد و در واقع یک کانی آلومینوسیلیکات منیزیم می‌باشد که در طبیعت به‌ندرت یافت می‌شود[۱]. فرمول دیگری که برای کوردیریت مورد استفاده قرار می‌دهند $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ است که جزء یکی از مهمترین فازهای سیستم سه‌تایی $MgO-SiO_2-Al_2O_3$ طبقه بندی می‌شود[۲]. سرامیک‌های کوردیریتی به‌علت داشتن ضریب انبساط حرارتی کم و نیز مقاوت شیمیایی زیاد در برابر خوردگی، ضریب دی‌الکتریک پایین و مقاومت بالا در برابر شوک حرارتی کاربردهای زیادی دارند. برخی از کاربردهای آن عبارتند از چینی‌های الکتریکی، استفاده در کاتالیست‌های لانه زنبوری اگزوز اتوموبیل به منظور کنترل آلودگی هوا، استفاده در مبدل‌های حرارتی برای موتورهای توربین گازی، کوره‌های صنعتی، استفاده به عنوان ماده‌ی مورد نیاز در بسته‌بندی های الکترونیکی، پوشش‌های دیرگداز روی فلزات و بستر مدارهای مجتمع و غیره[۱].

کوردیریت در دمای ۱۴۶۰°C با تشکیل مولایت و فازهای مایع، به طور ناگهانی ذوب می‌شود. پلی‌مورف‌های کوردیریت در دماهای مختلف به صورت زیر تغییر می‌کند:

- α-کوردیریت با تقارن هگزاگونال که از تبلور سریع در محدوده دمایی ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰°C بوجود می‌آید و نوع پایدار آن است.
- β-کوردیریت با ساختار اورتورومبیک که در دمای زیر ۹۵۰ °C تشکیل می‌شود و تا دمای ۱۳۵۰°C پایدار است.
- μ-کوردیریت که حالت ناپایدار است و با ساختار اورتورومبیک زیر دمای ۹۲۵°C وجود دارد.[۳و۲]

کوردیریت محدوده‌ی زینتر باریکی دارد، که یکی از مشکلات عمده‌ی آن در تولید سرامیک‌های کوردیریتی می‌باشد. مثلاً پودر کوردیریتی که از کائولن، تالک و سیلیکا تهیه شده است، محدوده پخت آن ۱۰ تا ۲۰ °C است، یعنی تشکیل کوردیریت به دمای زینتر شدن بسیار حساس می‌باشد.[۴]

تحقیقات نشان‌داده است [۶ و ۵] ضریب انبساط حرارتی خطی قبل از هر چیز، به دمای بیشینه‌ی زینتر شدن بستگی دارد. این بدین معنی است که اگر زینتر شدن پایین‌تر از دمای بهینه انجام شود، کوردیریت به میزان کافی تولید نخواهد شد و نیز اگر عمل زینترینگ بالاتر از دمای بهینه صورت گیرد، مقادیری از کوردیریت به فاز مولایت و سیلیکات‌های منیزیم ناپایدار تبدیل خواهند شد و بر ضریب انبساط حرارتی خطی آن تأثیر

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]

منفی خواهد گذاشت. به‌طور معمول برای سنتز کوردیریت از دو روش حالت جامد و سل-ژل استفاده می‌شود که در روش سل-ژل به محصول مرغوب‌تری دست پیدا خواهیم کرد [۸و۷و۳]. اما در کاربردهای صنعتی بیش‌تر از روش حالت جامد استفاده می‌شود که در آن پودرهای اکسید منیزیم، اکسید آلومینیوم، و سیلیکون با هم مخلوط گشته و تا دمای بخصوصی زینتر می‌شوند و یا اینکه از مواد اولیه‌ای استفاده می‌گردد که به طور طبیعی مانند تالک و رس شامل Al_2O_3 و SiO_2 و MgO باشند [۱۰و۹] برخی از مواد اولیه‌ای که در سنتز به روش حالت جامد در مقالات گوناگون مورد بررسی قرار گرفته‌است عبارتند از: (الف) کائولین، تالک، سیلیکا و آلومینا [۱۱] (ب) ترکیبات منیزیم و کائولینیت [۱۲] (ج) شیشه آلومینوسیلیکات‌های قلیایی خاکی، کائولین، آلومینا و منیزیت[۱۳] (د) تالک، آلومینای کلسینه شده و فلای اش [۱۴] (ه) تالک، رس کائولینیت و گیبسیت [۱۵] (و) کائولین، تالک و اکسید منیزیم [۱۶] (ز) تالک، کائولین، سیلیکا، فلدسپار و سپیولیت [۱۷] و (ح) کائولین و تالک [۱۸].

در این مقاله سنتز کوردیریت به‌روش حالت جامد، مورد بررسی قرار گرفته‌است. یکبار تالک آلمان و بار دیگر تالک فرانسه، به‌علاوه رس فرانسه و آلومینا به عنوان مواد اولیه سنتز، استفاده شده‌اند. در ادامه تحقیق، اثر افزودنی را بر دمای تشکیل کوردیریت و تحول فازی آن، مورد بررسی قرار داده و از کربنات باریم و اکسید زیرکونیوم هرکدام به صورت جداگانه، به عنوان افزودنی بهره برده و دمای تشکیل و مورفولوژی سرامیک تشکیل‌شده در هر حالت، با هم مقایسه شده‌است.

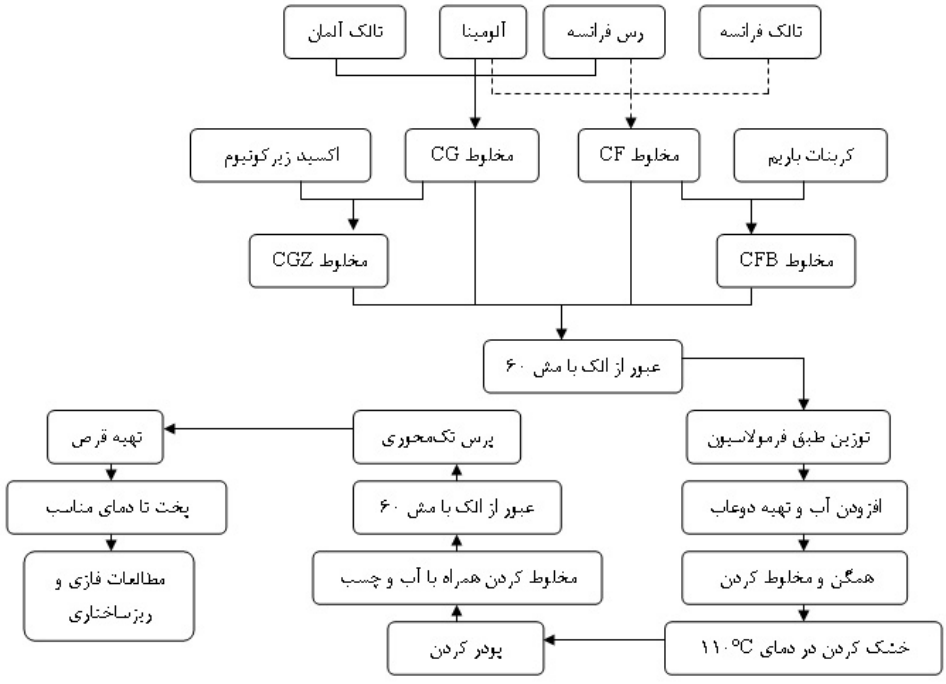
۲- آزمایشات عملی

۲-۱-سنتز کوردیریت

نمودار شماتیک مراحل مختلف کار عملی در شکل(۱) نشان‌داده‌شده‌است. مواد اولیه‌ی انتخاب شده در این مقاله شامل دو دسته زیر هستند:

(الف) تالک آلمان، رس فرانسه و آلومینا

(ب) تالک فرانسه، رس فرانسه و آلومینا



شکل ۱- نمودار شماتیک مراحل مختلف کار عملی

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه ی استفاده شده

نوع ماده	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Fe_2O_3	CaO	TiO_2	K_2O+Na_2O
تالک آلمان	۶۱,۷۵	۱,۰۲	۳۰,۳۵	۰,۸۲	۰,۷۳	۰,۰۲	۰,۰۶
تالک فرانسه	۴۷,۳	۸,۷	۳۲,۶۶	۱,۹	۰	۰,۱۸	۰
رس فرانسه	۴۸,۰۹	۳۶,۱۳	۰,۲۶	۱,۶	۰,۴۴	۱,۸۶	۰,۰۲
آلومینا	۰,۲	۹۹,۹۶	۰	۰,۰۲	۰	۰,۰۰۷	۰,۱

پودر مخلوط دسته‌ی (الف)، CG و پودر مخلوط دسته‌ی (ب)، CF نامگذاری شده‌اند. در این ترکیبات از تالک به عنوان منبع تغذیه اکسید منیزیم و از رس به‌منظور منبع تأمین‌کننده‌ی اکسید سیلیسیم در مخلوط استفاده گردیده‌است. ترکیب شیمیایی این مواد در جدول شماره‌ی (۱) آمده است. در هر دو دسته ابتدا مواد اولیه با نسبت استوکیومتری $2MgO.2Al_2O_3.5SiO_2$ محاسبه و سپس با درصدهای وزنی مشخصی از مواد اولیه، یعنی ۳۶/۴۶٪ تالک فرانسه، ۵۷٪ رس فرانسه و ۶/۵۶٪ آلومینا در مخلوط CF، و ۴۰/۷۳٪ تالک آلمان، ۴۴/۱۵٪ رس فرانسه و ۱۵/۱۲٪ آلومینا در مخلوط CG، مخلوط شدند (جدول۲) مواد مورد استفاده همراه آب مقطر کاملاً با هم مخلوط گردیده و همگن شدند. مواد آماده‌شده، پس از خشک شدن به‌صورت پودری درآورده شدند و با ٪۵ آب مقطر مخلوط و سپس از الک با مش ۶۰ عبور داده شدند. پودر بدست‌آمده تحت پرس تک‌محوری به‌صورت قرص‌های ۶گرمی با قطر ۱۵mm درآورده شد و سپس در درجه حرارت‌های ۱۲۰۰ و ۱۳۰۰ و۱۴۰۰°C، با سرعت گرمادادن ۱۰ °C/min و زمان نگهداری ۲ ساعت در دمای ماکزیمم پخت شدند. قرص‌های پخت‌شده را به ترتیب CG12، CG13، CG14، CF12، CF13 و CF14 کدگذاری نموده و تحت آزمایشات XRD برای تعیین فازهای تشکیل‌شده و بررسی ریز ساختاری SEM (Cambridge S360) قرار گرفتند. جهت انجام آزمایش SEM، تمامی نمونه‌ها پولیش‌شده و در اسید هیدروفلوئوریک با غلظت ٪۵ اچ شدند.

جدول ۲- فرمولاسیون مواد اولیه استفاده شده در مخلوط‌ها

مخلوط CF(برحسب گرم)			مخلوط CG (برحسب گرم)		
تالک فرانسه	رس فرانسه	آلومینا	تالک آلمان	رس فرانسه	آلومینا
۳۶,۴۶	۵۷	۶,۵۶	۴۰,۷۳	۴۴,۱۵	۱۵,۱۲

۲-۲-اضافه کردن افزودنی

از اکسید زیرکونیوم و کربنات باریم به عنوان افزودنی طبق دستورالعمل زیر استفاده گردید:

(الف) در مخلوط CG از اکسید زیرکونیوم به عنوان افزودنی در درصدهای وزنی ۲٪، ۴٪ و۶٪ استفاده نموده و مخلوط‌های بدست‌آمده به‌ترتیب CGZ2 ، CGZ4 وCGZ6 کدگذاری شدند.

(ب) در مخلوط CF از کربنات باریم به عنوان افزودنی در درصدهای وزنی ۲٪، ۴٪ و۶٪ استفاده کرده و مخلوط‌های بدست‌آمده به‌ترتیب CFB2 ، CFB4 وCFB6 کدگذاری شدند.

عملیات مخلوط کردن پودرها و پرس و پخت طبق روال گذشته انجام شد. جدول(۳) کدگذاری نمونه‌ها در دماهای مختلف را نشان می‌دهد.

نمونه های آماده شده نیز تحت آزمایشات XRD و SEM جهت شناسایی فازهای تشکیل‌شده و بررسی ریزساختار، قرار گرفتند.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]

جدول ۳- کدگذاری قرص های پخته شده در دماهای مختلف و با درصدهای افزودنی متفاوت

دما °C / درصد افزودنی	۱۲۰۰	۱۳۰۰	۱۴۰۰
٪۲	CGZ2-12	CGZ2-13	CGZ2-14
	CFB2-12	CFB2-13	CFB2-14
٪۴	CGZ4-12	CGZ4-13	CGZ4-14
	CFB4-12	CFB4-13	CFB4-14
٪۶	CGZ6-12	CGZ6-13	CGZ6-14
	CFB6-12	CFB6-13	CFB6-14

۲-۳-روش محاسبات مربوط به سلول واحد

الگوی پراش پرتو ایکس بر طبق رابطه براگ یعنی:

$$n\lambda = 2d.\sin\theta \qquad (۱)$$

شکل می‌گیرد که در این رابطه λ طول موج پرتو فرودی، d فاصله بین صفحات براگ و θ زاویه بین پرتو فرودی و صفحه موردنظر را نشان می‌دهد.

الگوی پراش پرتو ایکس هر ترکیب، منحصر به فرد است. در آزمایش پراش سنجی، هدف اصلی تعیین زاویه‌های مربوط به هر پیک و سپس مشخص کردن فاصله صفحه‌های اتمی (مقدارd) می‌باشد.

از طرفی کوردیریت تشکیل شده در محدوده دمایی زیر ۹۵۰ درجه سانتی گراد دارای ساختار اورتورومبیک است که این ساختار تا دمای ۱۳۵۰°C نیز پایدار می ماند. الگوی پراش پرتو ایکس در هر کدام از نمونه‌ها پیک‌های قوی کوردیریت را به وضوح نشان می‌دهد که در محاسبات، به سه پیک قوی نیاز است. باتوجه به رابطه براگ مقدار d را محاسبه کرده و نیز با توجه به رابطه مربوط به فاصله بین صفحات بازتاب‌کننده براگ و ثوابت شبکه راست گوشه، یعنی:

$$\frac{1}{d} = (\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2})^{\frac{1}{2}} \qquad (۲)$$

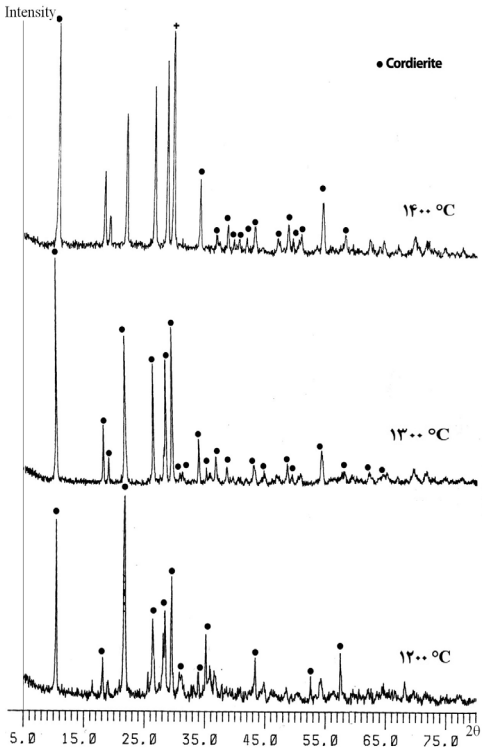
و نیز در دست داشتن اندیس‌های میلر صفحات (hkl یا اندیس‌های میلر صفحه که از روی کارت استاندارد کوردیریت مشخص می‌شود)، سه معادله و سه مجهول تشکیل خواهدشد که می‌توان بوسیله آن ثوابت شبکه را در ساختار کوردیریت سنتز شده محاسبه نمود. چون کوردریت دارای ساختار راست‌گوشه است، پس حجم سلول واحد آن نیز از طریق ضرب ثوابت شبکه‌ی آن در یکدیگر، محاسبه می‌گردد.

۳- نتایج و بحث

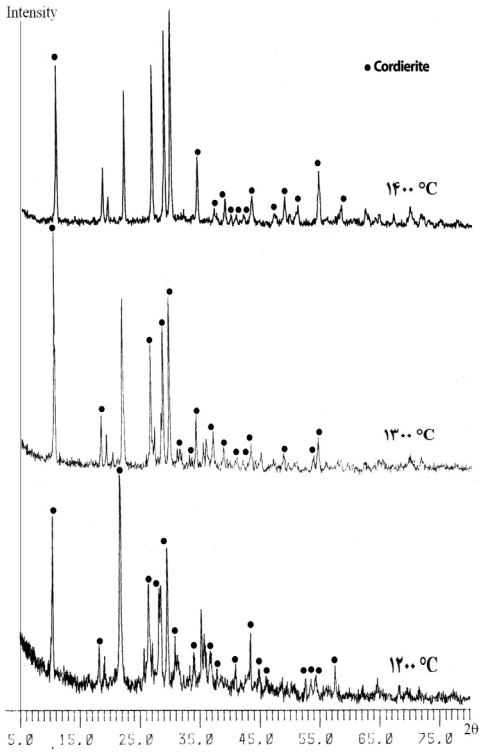
۱-۳-نتایج الگوی پراش XRD

شکل‌های (۲) تا (۵) به ترتیب تحولات فازی کوردیریت حاصل از تالک آلمان بدون حضور افزودنی، کوردیریت سنتز شده با تالک آلمان بعلاوه افزودنی اکسید زیرکونیوم به‌مقدار ۲٪، ۴٪ و ۶٪، از دمای 1200° C تا1400°C را نشان می‌دهد. شکل‌های (۶) تا (۹) نیز به ترتیب تحولات فازی کوردیریت حاصل از تالک فرانسه بدون حضور افزودنی، کوردیریت سنتز شده با تالک فرانسه بعلاوه افزودنی کربنات باریم به‌مقدار ۲٪، ۴٪ و ۶٪، از دمای 1200°C تا 1400°C می‌باشند. شماره کارت PCPDF کوردیریت ۱۲-۰۳۰۳ می‌باشد و مکان پیک ۱۰۰ آن برروی محور 2θ، یعنی پیک ماکزیمم کوردیریت استاندارد، در ۲۸/۴۹ درجه می‌باشد. دو پیک قوی دیگر به ترتیب در ۱۰/۳۵ و ۲۱/۷۱ درجه بر محور 2θ قرار دارند.

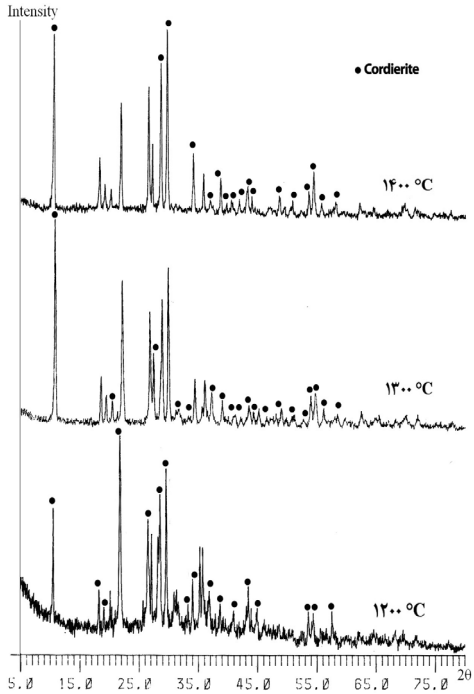
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]



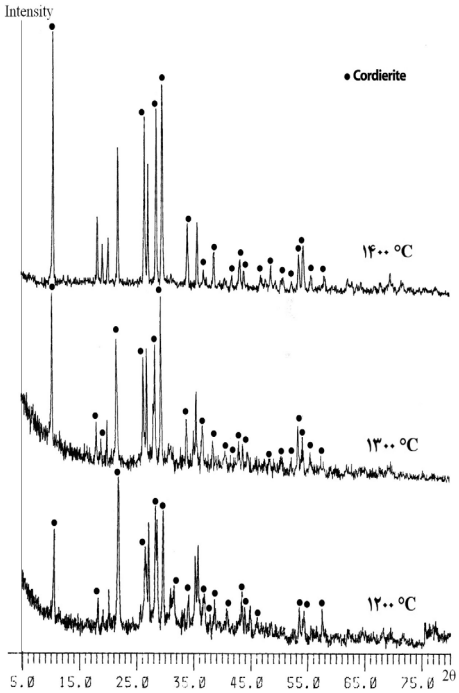
شکل ۲- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک آلمان در درجه حرارت‌های مختلف



شکل ۳- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک آلمان و با اکسید زیرکونیوم ۲٪ در درجه حرارت‌های مختلف

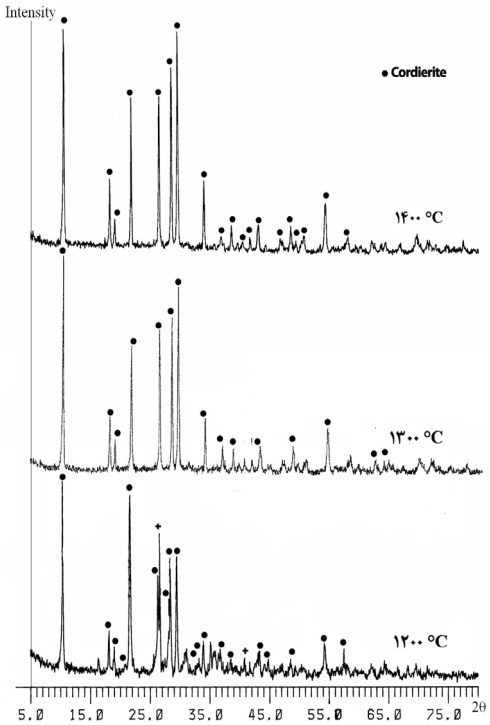


شکل ۴- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک آلمان و با اکسید زیرکونیوم ۴٪ در درجه حرارت‌های مختلف

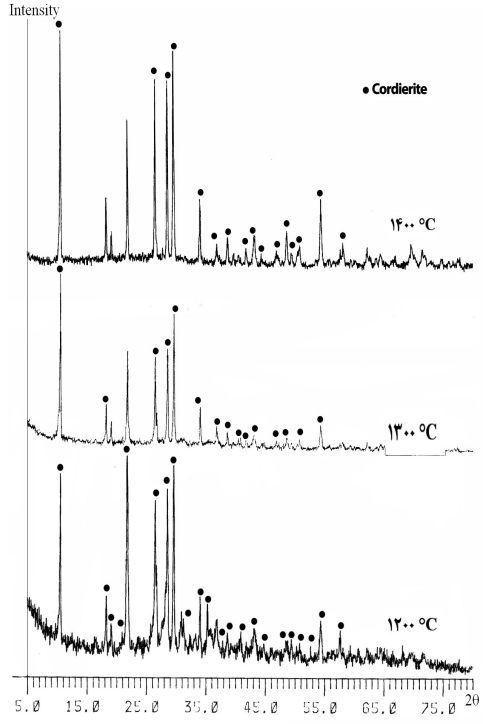


شکل ۵- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک آلمان و با اکسید زیرکونیوم ۶٪ در درجه حرارت‌های مختلف

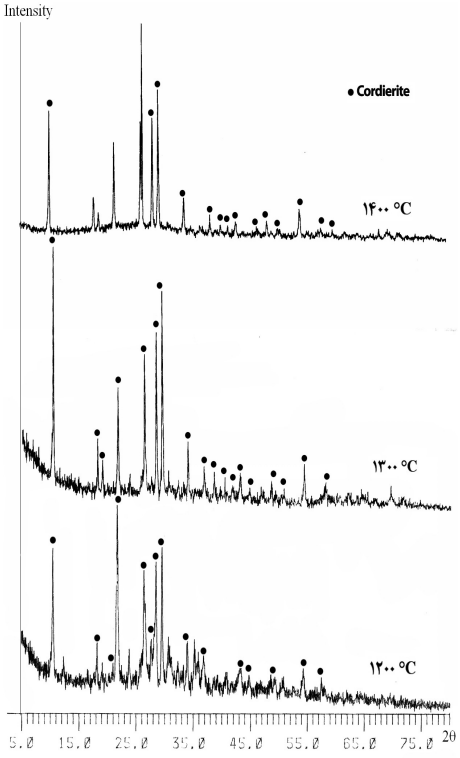
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]



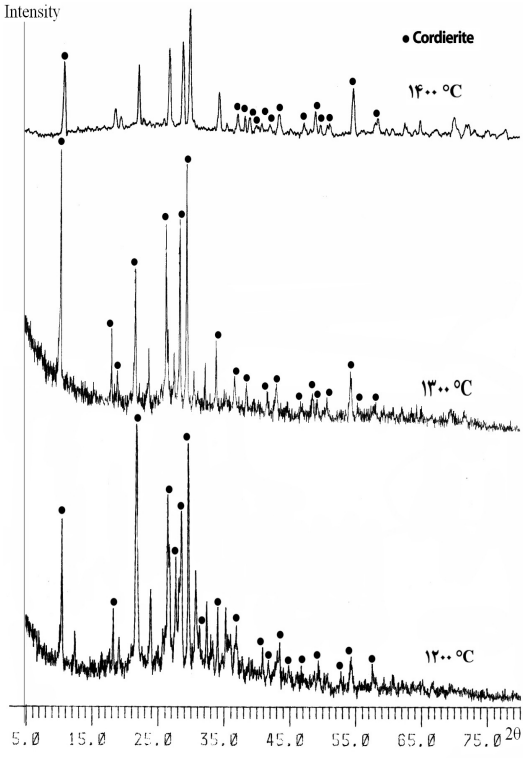
شکل ۶- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک فرانسه در درجه حرارت‌های مختلف



شکل ۷- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک فرانسه و با کربنات‌باریم۲٪ در درجه حرارت‌های مختلف



شکل ۸- تحولات فازی کوردیریت با استفاده از تالک فرانسه و با کربنات‌باریم۴٪ در درجه حرارت‌های مختلف

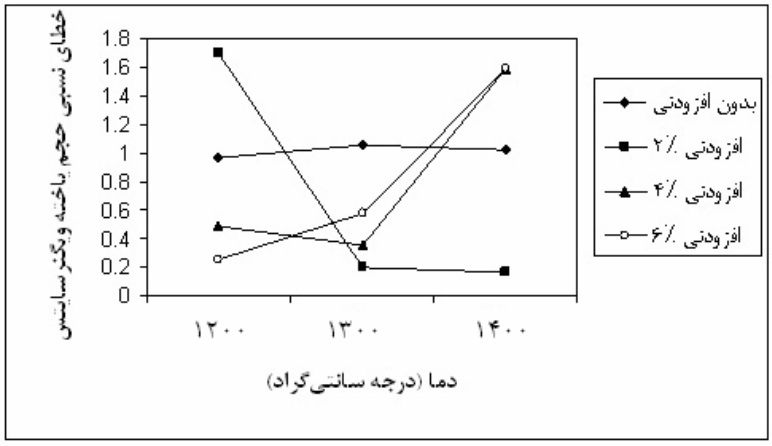


شکل ۹- تحول فازی کوردیریت با استفاده از تالک فرانسه و با کربنات‌باریم۶٪ در درجه حرارت‌های مختلف

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]

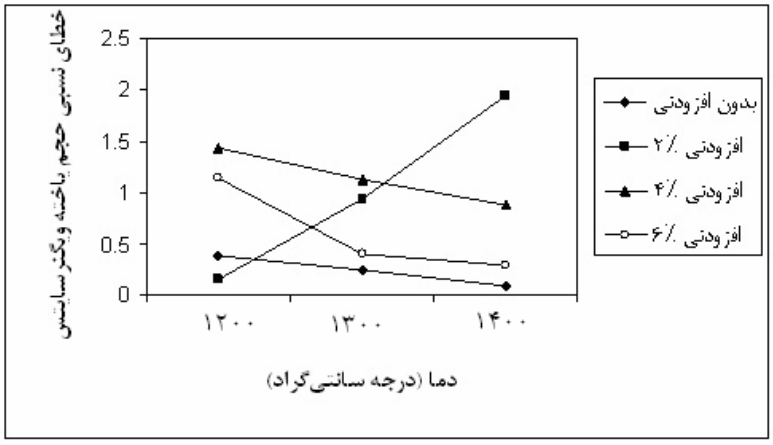
همانطور که ملاحظه می‌شود هنگامی که برای سنتز کوردیت از تالک آلمان استفاده شده‌است، سه پیک قوی موجود در دمای ۱۲۰۰°C و۱۳۰۰ °C بر سه پیک یاد شده کوردیریت استاندارد، منطبق می‌باشد و باتوجه به شدت پیک‌ها، بیشترین میزان کوردیریت تشکیل‌شده را در دمای حدود ۱۳۰۰ °C داشته و با رفتن به دماهای بالاتر از میزان فاز کوردیریت کم می‌شود. با اضافه نمودن اکسید زیرکونیوم به عنوان افزودنی، دمای سنتز کوردیریت کاهش پیدا کرده و به ۱۲۰۰°C منتقل گردیده‌است، و مجدداً با افزایش دما به سمت۱۳۰۰°C و۱۴۰۰ °C، میزان فاز کوردیریت تشکیل شده کاهش می‌یابد که این مسئله از انطباق سه پیک استاندارد کوردیریت با پیک‌های قوی مشاهده‌شده منتج می‌شود. وقتی درصد افزودنی کمتر و به‌میزان ۲٪ است، نتایج مشاهده‌شده از الگوی پراش پرتو ایکس، به حالت بدون افزودنی نزدیک‌تر است. اگر در سنتز کوردیریت به جای تالک آلمان از تالک فرانسه استفاده نماییم نیز مانند حالت قبل، بیشترین میزان تشکیل فاز کوردیریت با توجه به شدت پیک‌ها، در۱۳۰۰ °C خواهد بود، یعنی سه پیک اصلی بر پیک‌های استاندارد منطبق است. افزودن کربنات باریم دمای سنتز را به سمت دمای پایین‌تر سوق می‌دهد، به‌طوری‌که با تأثیر این افزودنی، دمای پخت به۱۲۰۰°C رسیده‌است. با افزایش دما تا ۱۴۰۰°C مجدداً کاهش فاز کوردیریت را مشاهده می‌کنیم. در این حالت نیز مشاهده‌می کنیم که در افزودنی‌های پایین‌تر، الگوهای پراش به حالت بدون افزودنی نزدیک‌می‌باشند، یعنی کم‌بودن میزان افزودنی، تاثیر قابل توجهی بر دمای زینترینگ کوردیریت ندارد. در جدول شماره (۴) ثوابت شبکه و حجم سلول واحد، برای هر نمونه محاسبه شده است.

با مقایسه اعداد با حالت استاندارد کوردیریت و نیز مقایسه خطاهای نسبی در حجم سلول واحد در نمونه‌های مختلف، نتایج قبلی تأیید می‌شود؛ یعنی در نمونه‌های با درصد اکسید زیرکونیوم بالاتر، خطای نسبی حجم سلول واحد، در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد، و این نشان‌دهنده این مطلب است که ثوابت شبکه از حالت استاندارد خود فاصله گرفته و نمونه‌بدست آمده کمتر مشخصات شبکه‌ای کوردیریت استاندارد را دارا خواهند بود. اما در نمونه‌های با درصد کربنات‌باریم بالاتر، افزایش دما بر تشکیل کوردیریت اثر منفی ندارد، یعنی خطای نسبی در حجم سلول واحد اندک می‌باشد و برعکس در دماهای پایین‌تر میزان خطای نسبی افزایش پیدا می‌کند و این یعنی نمونه بدست‌آمده در دماهای پایین‌تر از حالت ایده‌آل کوردیریت فاصله می‌گیرد. شکل‌های شماره (۱۰) و (۱۱) میزان خطای نسبی حجم سلول واحد را برای کوردیریت‌های تشکیل‌شده با استفاده از تالک آلمان و تالک فرانسه را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار و نیز الگوهای پراش پرتو ایکس، به نظر می‌رسد حالت بهینه برای تشکیل کوردیریت با استفاده از تالک آلمان و افزودنی اکسید زیرکونیوم، استفاده از ۴ درصد افزودنی و دمای پخت ۱۲۰۰°C بوده و برای تشکیل کوردیریت با استفاده از تالک فرانسه و افزودنی اکسید باریم، استفاده از ۶ درصد افزودنی و دمای پخت ۱۲۰۰ °C می‌باشد.



شکل ۱۰–خطاهای نسبی حجم سلول واحد کوردیریت تشکیل‌شده با استفاده از تالک آلمان و افزودنی اکسیدزیرکونیوم با درصدهای متفاوت و در دماهای مختلف

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]



شکل ۱۱- خطاهای نسبی حجم سلول واحد کوردیریت تشکیل‌شده با استفاده از تالک فرانسه و افزودنی اکسیدباریم با درصدهای متفاوت و در دماهای مختلف

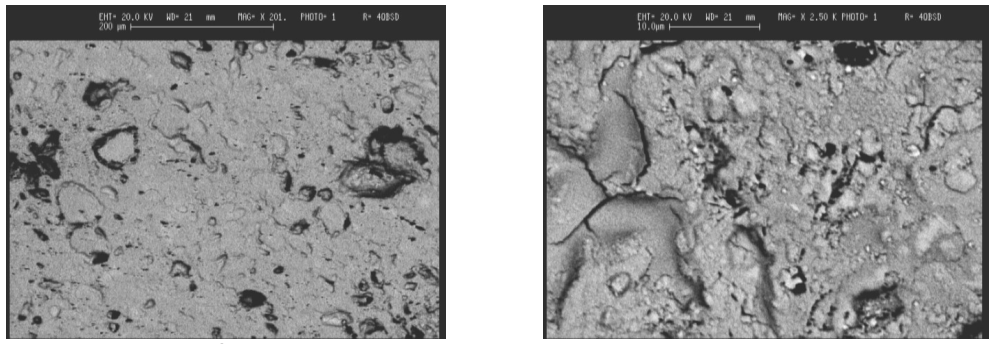
جدول ۴- ثابت‌های شبکه و حجم سلول واحد در هر نمونه و درصد خطای نسبی حجم سلول (با توجه به مقادیر مربوط به کوردیریت استاندارد)

کد نمونه	a	b	c	V	٪خطای نسبی
کوردیریت استاندارد	۹/۷۳۹	۱۷/۰۸	۹/۳۴۵	۱۵۵۴/۴۷	۰
CG12	۹/۷۵۴۴	۱۶/۹۱۴۶	۹/۳۳۰۱	۱۵۳۹/۴	۰/۹۷
CG13	۹/۷۲۰۴	۱۶/۹۶۴۳	۹/۳۲۶۵	۱۵۳۷/۹	۱/۰۶
CG14	۹/۶۸۹۵	۱۷/۱۰۹۸	۹/۲۸۰۰	۱۵۳۸/۵	۱/۰۲
CGZ2-12	۹/۷۶۳۴	۱۶/۷۴۱۶	۹/۳۴۷۴	۱۵۲۷/۹	۱/۷۰
CGZ2-13	۹/۷۱۴۶	۱۷/۲۴۹۵	۹/۲۹۵۰	۱۵۵۷/۶	۰/۲۰
CGZ2-14	۹/۷۷۰۲	۱۷/۱۳۶۵	۹/۲۶۸۰	۱۵۵۱/۷	۰/۱۷
CGZ4-12	۹/۷۴۸۴	۱۷/۰۷۶۷	۹/۲۹۲۰	۱۵۴۶/۸	۰/۴۹
CGZ4-13	۹/۸۴۲۷	۱۷/۰۱۶۰	۹/۲۴۸۰	۱۵۴۸/۹	۰/۳۶
CGZ4-14	۹/۷۰۶۴	۱۷/۵۹۰۴	۹/۲۴۹۲	۱۵۷۹/۲	۱/۵۹
CGZ6-12	۹/۷۱۶۲	۱۷/۱۶۶۳	۹/۲۹۵۴	۱۵۵۰/۴	۰/۲۶
CGZ6-13	۹/۷۷۵۷	۱۶/۹۳۲۲	۹/۳۳۶۶	۱۵۴۵/۴	۰/۵۸
CGZ6-14	۹/۷۰۶۴	۱۷/۵۹۰۴	۹/۲۴۹۲	۱۵۷۹/۲	۱/۵۹
CF12	۹/۷۷۲۶	۱۶/۹۲۶۵	۹/۳۶۱۴	۱۵۴۸/۵	۰/۳۸
CF13	۹/۷۵۹۰	۱۷/۰۱۹۹	۹/۳۳۵۷	۱۵۵۰/۶	۰/۲۵
CF14	۹/۷۵۴۵	۱۷/۱۷۶۲	۹/۲۸۶۷	۱۵۵۵/۹	۰/۰۹
CFB2-12	۹/۷۳۷۱	۱۷/۱۸۴۰	۹/۲۷۵۴	۱۶۱۴/۷	۰/۱۵
CFB2-13	۹/۷۲۵۹	۱۷/۳۲۵۵	۹/۳۱۱۶	۱۵۶۹/۱	۰/۹۴
CFB2-14	۹/۷۲۵۹	۱۷/۵۷۰۶	۹/۲۷۴۵	۱۵۸۴/۹	۱/۹۵
CFB4-12	۹/۷۳۹۱	۱۶/۸۶۶۰	۹/۳۲۶۵	۱۵۳۲/۰	۱/۴۴
CFB4-13	۹/۷۶۲۶	۱۶/۸۶۸۰	۹/۳۳۲۵	۱۵۳۶/۸	۱/۱۳
CFB4-14	۹/۷۰۳۳	۱۷/۳۶۳۰	۹/۳۰۸۰	۱۵۶۸/۲	۰/۸۸
CFB6-12	۹/۷۲۷۹	۱۷/۴۱۰۳	۹/۲۸۳۴	۱۵۷۲/۳	۱/۱۴
CFB6-13	۹/۷۷۳۹	۱۶/۹۴۱۵	۹/۳۴۹۱	۱۵۴۸/۱	۰/۴۰
CFB6-14	۹/۶۵۸۸	۱۷/۱۳۳۸	۹/۳۶۴۰	۱۵۴۹/۷	۰/۳۰

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]

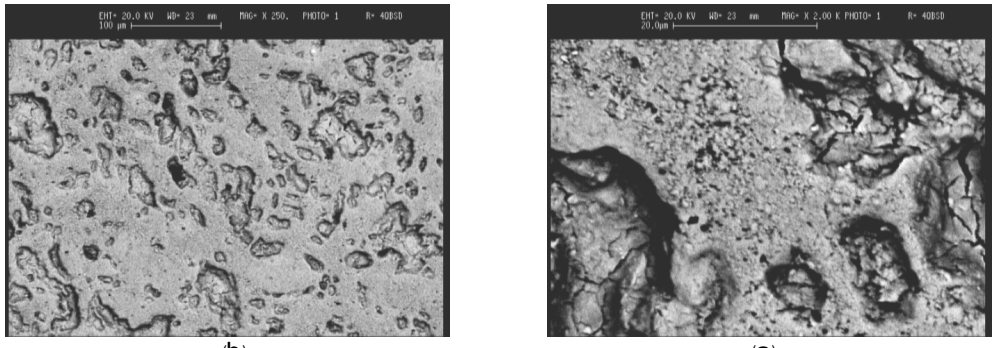
۳-۲-نتایج میکروسکوپ الکترونیSEM

آنالیز SEM بر روی چند نمونه منتخب، انجام گرفته‌است. مورفولوژی سطحی، شکل دانه‌ها و مناطق آگلومره‌شده در نمونه‌های CG13، CF13، CGZ4-12، CGZ4-13، CFB4-12 وCFB4-13 در اشکال (۱۲) تا (۱۷) نشان داده‌شده است. همانطور که در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) که کوردیریت بدون افزودنی سنتز شده‌است مشاهده می‌گردد، مورفولوژی سطحی تک‌فاز می‌باشد. تخلخل سرامیک سنتزشده در این نمونه‌ها، زیاد است که این امر را می‌توان با توجه به اندازه ذرات مواد اولیه مصرفی، ناشی از عدم زینترینگ کامل دانست که می‌توان با استفاده از مواد اولیه نرم‌تر و همچنین استفاده از درجه حرارت‌های بالاتر در زینترینگ، میزان تخلخل را کاهش داد. اما باتوجه به نمودارهای پراش پرتو ایکس، در دماهای بالاتر از ۱۳۰۰ °C تاحدی از حالت مطلوب فاز کوردیریت دور می‌شویم. به‌طور کلی، استفاده از تالک آلمان و یا تالک فرانسه در سنتز کوردیریت، روی مورفولوژی مواد تأثیر چندانی ندارد و ریزساختارها شبیه یکدیگر می‌باشند.



(b) (a)

شکل ۱۲- (a) و (b): کوردیریت سنتز شده با تالک آلمان در°C ۱۳۰۰ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف (نمونه CG13)



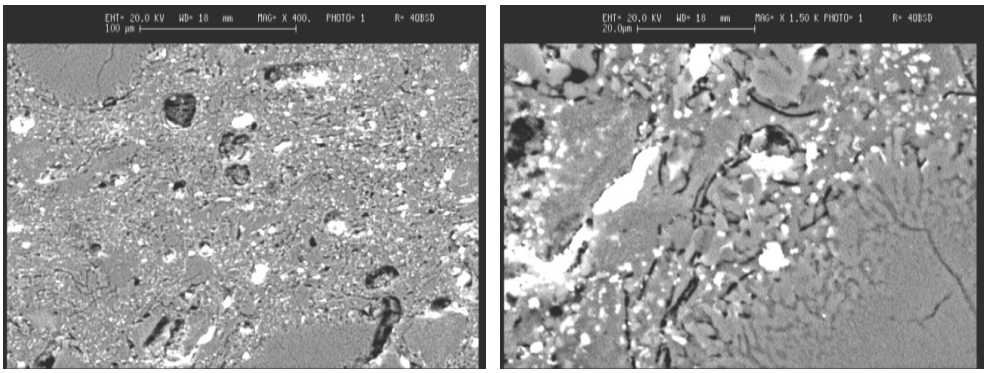
(b) (a)

شکل ۱۳- (a) و (b): کوردیریت سنتز شده با تالک فرانسه در°C ۱۳۰۰ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف (نمونه CF13)

اشکال(۱۴) و (۱۵) کوردیریت سنتزشده با تالک آلمان بعلاوه‌ی افزودنی اکسید زیرکونیوم، به ترتیب در دماهای ۱۲۰۰°C و۱۳۰۰°C را نشان می‌دهد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، در دماهای بالاتر، مورفولوژی کاملاً متفاوت بوده و براثر افزایش دما، رشد فازها را شاهد هستیم. در شکل (۱۴-a) دو مورفولوژی یکپارچه و متخلخل را مشاهده می‌کنیم که در قسمت متخلخل مناطق سفید رنگی ملاحظه می‌شود. آنالیز EDX از مناطق سفید رنگ، نشان می‌دهد که این مناطق غنی از زیرکونیوم بوده و همچنین فاز یکپارچه خاکستری رنگ، به‌میزان بسیار کمتر، حاوی زیرکونیوم افزوده‌شده می‌باشد. در شکل(۱۵-a) نیز شاهد دانه‌های سفیدرنگی هستیم که همان زیرکونیم می‌باشد، اما این ماده وارد سیستم سرامیک نشده و به‌نظرمی‌رسد به صورت آزاد باقی مانده‌است. شکل‌های (۱۶) و (۱۷) کوردیریت سنتزشده با تالک فرانسه بعلاوه‌ی افزودنی کربنات باریم، به ترتیب در دمای ۱۲۰۰°C و ۱۳۰۰°C را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در مقایسه با حالت قبل، یعنی حالتی که از اکسید زیرکونیوم به‌عنوان افزودنی در کوردیریت استفاده

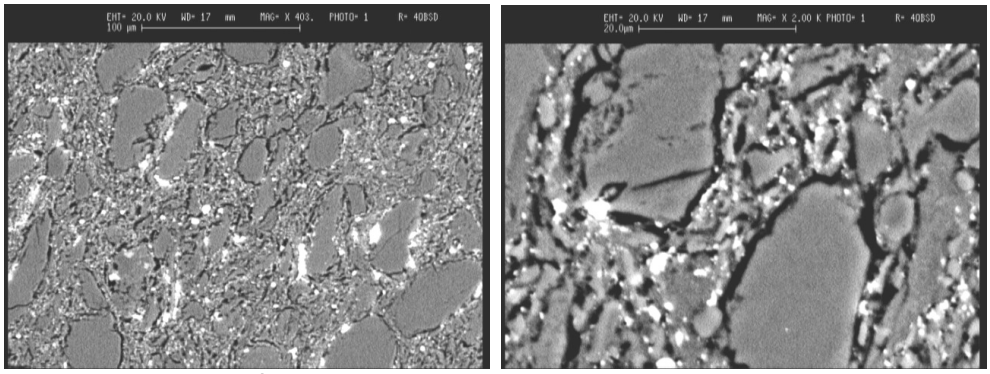
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]

نمودیم، کربنات باریم بیش‌تر به داخل ماده نفوذ کرده است و به‌صورت آزاد و ذره‌ای دیده نمی‌شود. مورفولوژی در دودما، بازهم کاملاً متفاوت است و در دمای بالاتر مناطق آگلومره‌شده و رشد فازها را شاهد هستیم. از این نظر، نمونه‌های CGZ4-13 و CFB4-13 شباهت زیادی با هم دارند. آنالیز EDX نشان می‌دهد که مناطق کم‌رنگ‌تر در اشکال (۱۶–a) و (۱۷–a) غنی از باریم بوده و مناطق پر رنگ‌تر، به‌میزان کمتری حاوی ترکیبات باریم می‌باشد. در اشکال (۱۴–b) و (۱۶–b) به‌علت سنتز شدن ماده در دمای پایین‌تر، تخلخل بیشتری ملاحظه می‌گردد که این تخلخل با افزایش دما و کامل تر شدن عمل زینترینگ کاهش می‌یابد.



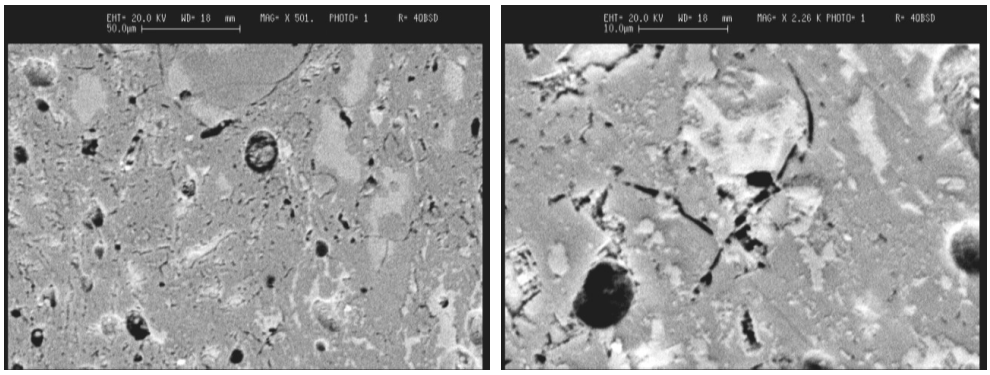
(b) (a)

شکل ۱۴– (a) و (b): کوردیریت سنتز شده با تالک آلمان و اکسیدزیرکونیوم در°C ۱۲۰۰ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف (نمونه CGZ4-12)



(b) (a)

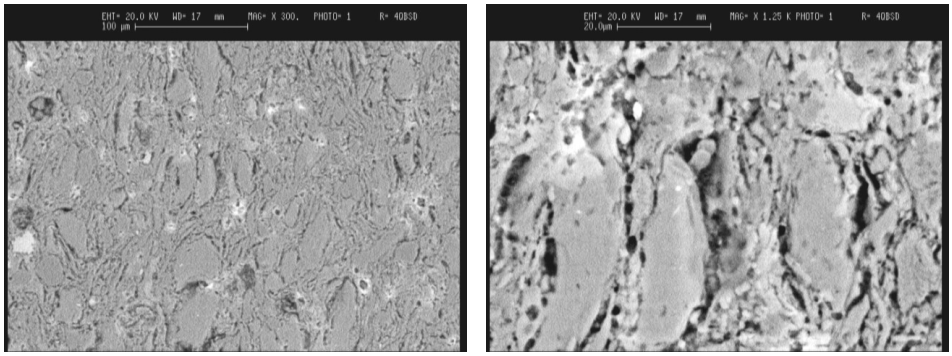
شکل ۱۵– (a) و (b): کوردیریت سنتز شده با تالک آلمان و اکسیدزیرکونیوم در°C ۱۳۰۰ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف (نمونه CGZ4-13)



(b) (a)

شکل ۱۶– (a) و (b): کوردیریت سنتز شده با تالک فرانسه و کربنات باریم در°C ۱۲۰۰ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف (نمونه CFB4-12)

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]



(b) (a)

شکل ۱۷– (a) و (b): کوردیریت سنتز شده با تالک فرانسه و کربنات باریم در°C ۱۳۰۰ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف (نمونه CFB4-13)

٤- نتیجه‌گیری

- با استفاده از مواد اولیه تالک آلمان و یا تالک فرانسه، رس فرانسه و آلومینا، می‌توان کوردیریت را که یک ماده سرامیکی با ضریب انبساط کم است، به روش حالت جامد سنتز نمود که مطلوب‌ترین دما برای رسیدن به فاز کوردیریت °C ۱۳۰۰ می‌باشد و نتایج الگوی پراش اشعه ایکس نیز تطابق خوبی را با حالت استاندارد کوردیریت نشان می‌دهد.
- افزودن ۴ درصد اکسیدزیرکونیوم به کوردیریت حاوی تالک آلمان، دمای پخت را ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده و میزان کوردیریت تشکیل شده بهینه می باشد.
- اضافه نمودن ۶ درصد کربنات باریم به کوردیریت حاوی تالک فرانسه، دمای پخت را ۱۰۰ درجه سانتی گراد کاهش می‌دهد.

مراجع

1. R. Goren, C.Ozgur, H.Gocmez, Ceram. Inter. 32(2006) 53-56
2. R. Goren, H. Gomez, C. Ozgur, Ceram. Inter. (2005)
3. V. I. Baruschkun, G. M. Motveyer, O. P. Mcheldov, Termodinamika Silikatov, Stroizdat, Moscow. 1973, p.256
4. Z. Achimovic, L. Pevolovic, L. Trumbulovic, L.Andric, M.Stamatovic, Mater. Lett.57(2003) 2651-2656
5. F. Singer, Veber nanartige Steinzeugmessen, Teil I Ber, DKG 10(1929) 269
6. G. W. Parmelee, H. Thurneuer, Some effects of additions to a talc body, Bull. Am. Ceram. Soc. 14 (1935) 69
7. M. G. M. U. Ismail, H. Tsunatori, Z.Nakai, J.Am.Ceram.Soc. 73(3) (1990) 537-543
8. K. T. Moon, D. P. Kim, J. Sol-Gel Sci. Technol. 26(1-3) (2003) 229-234
9. J.K.Park, J.S. Lee, J.Porous mater. 9(3) (2002) 203-210
10. M.K.Naskar, M.Chatterjee, J. Eur. Ceram. Soc. 24(2004) 3499-3508
11. J.R. Gonzalez-Velasco, M. A. Gytierrez-Ortiz, R.Ferret, J. Matter. Sci. 34(1999) 1999-2002
12. Y. Kobayashi, K. Sumi, E. Kato, Ceram. Int. 26(2000) 739-743
13. D. U. Tulyaganov, M. E. Tukhtaev, J. I.Escalante, M.J.Ribeiro, J.A.Labrincha, J. eur. Ceram. Soc. 22(2002) 1775-1782
14. S. Kumar, K. K. Singh, P. Ramachadrarao, J.Mater. Sci. Lett. 19(2000) 1263-1265
15. S. Tamborenea, A. D. Mazzoni, E. F. Aglietti, Thermochim.Acta 411(2003) 224-219
16. A. Yamuna, R. Johnson, Y. R. Mahajan, M. Lalithambika, J. Eur. Ceram. Soc. 24 (2004) 65-73
17. Z. Achimovic, L. Pevolovic, L. Trumbulovic, L. Andric, M. Stamatovic, Mater. Lett. 4217(2002) 1-6
18. L. Trumbulovic, Z. Acimovic, S.Panic, L. Andric, FME Trans. 31(2003) 43-47

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-06]