ساخت سرامیک آلومینا و کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا به روش ریخته‌گری ژله‌ای با استفاده از زیرکونیای پایدارشده با ایتریا

سید عیسی کرانیان[۱]، مسعود گوهرگرانبها[۲]، حسن توکلی[۳]*

[۱] عضو هیئت علمی دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک و شیمی، دانشگاه امام علی (ع)
[۲] کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک و شیمی، دانشگاه امام علی (ع)
[۳] عضو هیئت علمی دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک و شیمی، دانشگاه امام علی (ع)



دکتر سید عیسی کرانیان، نویسنده اول مقاله، دانشگاه امام علی (ع)

seiedisa.karanian@gmail.com

چکیده: ریخته‌گری ژله‌ای به عنوان روشی نوین و بهینه و آسان در ساخت سرامیک، با قابلیت شکل‌دهی سرامیک به اشکال پیچیده در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. این روش ترکیبی از شیمی پلیمر و فرآیند ریخته‌گری دوغابی است که در آن دوغاب غلیظی از پودر سرامیک و مونومرهای آلی داخل قالب ریخته شده و با گرفتن شکل قالب به خود، درجا به پلیمر تبدیل می‌شود. پژوهش‌های زیادی در رابطه با رئولوژی دوغاب‌های استفاده شده در روش ریخته‌گری ژله‌ای انجام یافته است اما نتایج چندانی در رابطه با خواص فیزیکی و مکانیکی کامپوزیت‌های آلومینا-زیرکونیای ساخته شده با این روش وجود ندارد. در این پژوهش نمونه سرامیک آلومینا (A100) با میزان ۴۵٪ حجمی پودر آلومینا در دوغاب و نمونه کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10) با میزان ۴۵٪ حجمی از مخلوط پودرهای سرامیکی در دوغاب، که این میزان پودر مخلوط شامل ۹۰٪ حجمی آلومینا و ۱۰٪ حجمی زیرکونیای پایدار شده با ایتریا است، با استفاده از روش ریخته‌گری ژله‌ای ساخته شدند و نهایتا قطعات در دمای ۱۶۵۰°C تف‌جوشی شدند. نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس حضور فاز تتراگونال زیرکونیا را در کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا تایید کرده است. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی ساختار یکنواختی را برای دو نمونه ساخته شده A100 و A90-Z10 نشان می‌دهد و برای نمونه A90-Z10 بیانگر توزیع نسبتا یکنواخت ذرات زیرکونیا در زمینه آلومینا است. نتایج حاصل از خواص فیزیکی نشان داد که می‌توان با روش ریخته‌گری ژله‌ای به میزان چگالی نسبی مطلوبی برای ساخت کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (۸۹/۷٪) دست یافت. نتایج حاصل از خواص مکانیکی نشان داد که با افزودن تقویت‌کننده زیرکونیا به قطعات آلومینایی، استحکام خمشی و چقرمگی قطعه کامپوزیت (A90-Z10) در برابر قطعه آلومینای خالص (A100) به ترتیب در حدود ۱۳/۲۷٪ و ۲۸/۹۴٪ افزایش داشته است. از طرفی سختی قطعه کامپوزیت نسبت به قطعه آلومینای خالص به میزان ۹/۷٪ کاهش داشته است.

کلمات کلیدی: ریخته‌گری ژله‌ای، سرامیک، کامپوزیت، آلومینا – زیرکونیا

۱- مقدمه

سرامیک‌های پیشرفته دارای خصوصیات منحصربه‌فردی از جمله نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر اکسید شدن، سختی بالا، غیر مغناطیس بودن، پایداری شیمیایی و وزن پایین هستند و در کاربردهای مختلف صنعتی نسبت به فلز سطحی صافتر، سخت‌تر و دقت ابعادی بالاتری دارند. آلومینا از دسته سرامیک‌های پیشرفته است که در بسیاری از کاربردهای نوین از جمله استخوان های مصنوعی، پره‌ها و دیگر قطعات موتورها، عایق‌های حرارتی و الکتریکی، ابزارهای برش و تراشکاری صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱]. برای افزایش چقرمگی و استحکام سرامیک‌های آلومینا از افزودن ذرات زیرکونیا در ساختار آلومینا استفاده می‌شود که به آن کامپوزیت آلومینای چقرمه‌شده با زیرکونیا (ZTA[1]) گفته می‌شود.

[1] Zirconia Toughened Alumina

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]

در این نوع کامپوزیت‌ها بر حسب کاربرد آن، میزان زیرکونیای موجود در ساختار آلومینا بین ۱۰٪ الی ۲۰٪ حجمی متغیر است. وجود زیرکونیا در ساختار سرامیک آلومینا از رشد بیش از اندازه ذرات آلومینا ممانعت کرده و باعث افزایش چقرمگی و استحکام خمشی آن می‌شود [۲].

از طرفی در فرآیند ساخت سرامیک‌های آلومینای چقرمه‌شده با زیرکونیا، در هنگام خنک‌سازی سرامیک ساخته شده، بعد از مرحله تف‌جوشی، زیرکونیا می‌تواند دچار تغییر فاز از حالت تتراگونال به مونوکلینیک شود که این تغییر فاز با افزایش حجم همراه است. این تغییر حجم می‌تواند باعث ایجاد ترک و غیر یکنواختی در ساختار سرامیک شود و در نهایت موجب شکست قطعه شود [۳]. به همین منظور برای جلوگیری از این تغییر فاز از افزودنی‌هایی مانند اکسید ایتریم (Y_2O_3) و اکسید سریم (Ce_2O_3) استفاده می‌شود تا زیرکونیای موجود در ساختار سرامیک در حالت فازی تتراگونال باقی بماند [۴]. ریخته‌گری ژله‌ای یکی از روش‌های شکل‌دهی سرامیک است که در اوایل سال ۱۹۹۰ ابداع شد [۵]. این روش برای فایق آمدن بر برخی از محدودیت‌های موجود در روش‌های شکل‌دهی اشکال پیچیده مانند ریخته‌گری تزریقی و ریخته‌گری دوغابی، توسط آزمایشگاه تحقیقاتی ORNL[1] توسعه داده شد [۶]. در این روش دوغاب غلیظی از پودر سرامیک و مونومرهای آلی داخل قالب ریخته شده و با گرفتن شکل قالب به خود، درجا به پلیمر تبدیل می‌شود. این شبکه ماکرومولکولی پلیمری برای نگه‌داشتن ذرات سرامیک در کنار یکدیگر است که این روش ترکیبی از شیمی پلیمر با فرآیند ریخته‌گری دوغابی است. سادگی این روش در ساخت قطعات در اشکال پیچیده، عدم نیاز به تجهیزات گران قیمت، مقاومت بالای قطعه قبل از فرآیند سینترینگ و قابلیت ماشین‌کاری راحت‌تر آن نسبت به روش‌های دیگر و همگنی بالای چگالی در کل قطعه سرامیکی از مزیت‌های این روش است [۷]. در پژوهش‌های قبلی مرتبط با فرآیند ریخته گری ژله¬ای پارامترهای تاثیرگذار مرتبط با رئولوژی دوغاب، مانند تاثیر میزان پایدارکننده و میزان pH محلول اولیه بر روی ویسکوزیته دوغاب بررسی شده است [۶،۸]. همچنین پارامترهای کنترل‌کننده فرآیند ریخته‌گری ژله‌ای مانند میزان مونومر، کاتالیزور و آغازکننده فرآیند ژل‌شدن نیز برای سرامیک آلومینا بررسی شده است [۹]. اما نتایجی در رابطه با ریزساختار و خواص فیزیکی و مکانیکی سرامیک‌های ساخته شده با این روش برای کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا وجود ندارد. در این تحقیق به ساخت و بررسی ریز ساختاری نمونه سرامیک‌های آلومینا و آلومینا – زیرکونیا به روش ریخته‌گری ژله‌ای و مقایسه برخی از خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها از جمله چگالی نسبی، سختی، استحکام خمشی و چقرمگی پرداخته شده است.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

در این پژوهش از پودر آلومینای تجاری شرکت هندی ایندال[2] با میزان متوسط توزیع اندازه ذرات ۳ میکرون و پودر زیرکونیای پایدارشده با ایتریای ۴ درصد مولی از شرکت ایرانی رایکا صنعت افرند با میزان توزیع اندازه ذرات ۳۰۰ نانومتر استفاده شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای فرآیند ریخته‌گری ژله‌ای، شامل دو مونومر آلی واکنش‌دهنده به نام‌های مونومر تک عاملی اکریل آمید[3] و مونومر دوعاملی (پیونددهنده عرضی) متیلن بیس آکریل‌آمید[4] است. این دو مونومر برای ساخت محلول آبی اولیه در داخل آب یون‌زدایی شده حل می‌شوند. این محلول اولیه در حضور ماده آغازگر واکنش به نام آمونیم پرسولفات فرآیند پلیمریزاسیون وینیلی رادیکال آزاد را طی می‌نماید که سرعت واکنش با افزودن کاتالیزور تترامتیل اتیلن دی‌آمین[5] و افزایش دما در حالت بهینه تنظیم می‌شود. برای پایدارسازی پودرهای سرامیکی در محلول آبی اولیه از پایدارکننده محلول ۴۰٪ وزنی آمونیم پلی‌آکریلات با نام تجاری داروان[6] A-۸۲۱ ساخت شرکت واندربیلت[7] استفاده شد. همچنین برای تنظیم pH محلول اولیه از محلول آبی ۰/۱

[1] Oak Ridge National Laboratory
[2] Indal Co.
[3] Acrylamide (AM)
[4] Methylenebisacrylamide (MBAA)
[5] Tetramethylethylenediamine (TEMED)
[6] DARVAN 821-A
[7] Vanderbilt Co

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]

مولار سدیم هیدروکسید استفاده شد.

۲-۲-روش ساخت قطعات سرامیکی

در ابتدا مونومرهای آکریل آمید و متیلن بیس‌آکریل آمید در داخل آب یون‌زدایی شده توسط میکسر مکانیکی حل شدند. میزان مجموع دو مونومر حل شده در محلول آبی اولیه برابر ۱۵٪ وزنی کل محلول است که نسبت مونومر تک عاملی به مونومر دوعاملی در آن ۲۴ به ۱ است. پس از حل شدن مونومرها در آب pH محلول توسط محلول سدیم هیدروکسید در ۱۰ تنظیم شد. سپس پایدارکننده پودرهای سرامیکی (داروان ۸۲۱-A) به میزان ۱٪ وزنی از کل پودر مورد استفاده به داخل محلول اولیه اضافه شد. سپس پودرهای سرامیکی مورد نظر به داخل محلول اولیه به صورت تدریجی اضافه شدند. در این پژوهش دو نوع دوغاب از جنس آلومینا و آلومینا – زیرکونیا ساخته شد که میزان پودرهای سرامیکی موجود در هر دو دوغاب ۴۵٪ حجمی می‌باشند. دوغاب اول تنها حاوی پودر سرامیکی آلومینا است و در دوغاب دوم از کل میزان پودرهای استفاده شده، ۹۰٪ حجمی آن را آلومینا و ۱۰٪ حجمی آن را زیرکونیای پایدار شده با ایتریا تشکیل می‌دهند. در ساخت کامپوزیت‌های آلومینای چقرمه شده با زیرکونیا به روش‌های مختلف، عموما بر حسب کاربرد آن میزان زیرکونیای موجود در ساختار آلومینا بین ۱۰٪ الی ۲۰٪ حجمی متغیر است [۲]. در روش ریخته‌گری ژله‌ای، دوغاب‌ها رفتار سیال غیر نیوتونی از نوع سیال روان‌برشی را از خود نشان می‌دهند. در این روش باید گران‌روی دوغاب در حدی باشد که بتوان آن را به راحتی داخل قالب مورد نظر، قالب‌ریزی کرد و در صورتی که به دلیل بالا بودن میزان جامد در دوغاب و یا بالا بودن نسبت زیرکونیا به آلومینا در آن، گران‌رویی دوغاب بالا باشد، در حدی که دوغاب به صورت خمیری شکل شود، دیگر قابلیت قالب‌ریزی را نخواهد داشت و قطعه نهایی بدست آمده استحکام مناسب را نخواهد داشت [۶، ۷]. در این پژوهش با وجود افزایش میزان پایدارکننده، با افزایش میزان ذرات جامد در دوغاب به بیش از ۴۵٪ حجمی و همچنین با افزایش میزان زیرکونیا به بیش از ۱۰٪ حجمی، گران‌روی دوغاب‌های ساخته شده افزایش پیدا کرد و دوغاب‌ها قابلیت قالب‌ریزی را از دست داد، به همین منظور افزایش میزان ذرات جامد در دوغاب‌ها به بیش از ۴۵٪ حجمی و همچنین افزایش میزان زیرکونیا به بیش از ۱۰٪ حجمی امکان‌پذیر نشد. دلیل این امر می‌تواند درشت بودن ذرات آلومینای استفاده شده در این تحقیق و برهم کنش ذرات آلومینا و زیرکونیا باشد.

پس از اضافه شدن پودرهای سرامیکی، هر دو دوغاب به مدت ۱۲ ساعت درحالت چرخش توسط میکسر مکانیکی باقی ماندند. در مرحله بعد تترامتیل اتیلن دی‌آمین به عنوان عامل تسریع کننده واکنش ژل شدن به دوغاب‌ها اضافه شد. میزان عامل تسریع کننده برابر ۵ میلی‌لیتر در هر ۱ لیتر از محلول اولیه است. این ماده علاوه بر نقش کاتالیزور به پایدارسازی و روان‌سازی دوغاب نیز کمک می‌کند [۶]. سپس ماده آمونیم پرسولفات که نقش آغازگر واکنش ژل شدن را دارد به میزان ۰/۳ گرم به ازای هر ۱ لیتر از محلول اولیه به داخل دوغاب‌ها اضافه شد. سپس دوغاب‌ها با استفاده از دستگاه تبخیرکننده چرخان گاززدایی شدند و پس از آن دوغاب‌ها به داخل قالب‌های مورد نظر در ابعاد ۱۲۰ میلی‌متر در ۱۲۰ میلی‌متر و به ارتفاع ۱۵ میلی‌متر ریخته شدند. پس از انجام فرآیند ریخته‌گری، قالب‌های حاوی دوغاب به داخل خشک‌کن گرمایشی انتقال یافتند، تا در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد واکنش ژل شدن در مدت زمان حدودی یک ساعته انجام شود. پس از اتمام فرآیند ژل شدن، قطعات ژل شده از داخل قالب‌ها خارج شدند و به داخل خشک کن انتقال داده شدند تا فرآیند خشک شدن بر روی آن‌ها انجام شود. پس از خشک شدن، قطعات خام[1] حاصل شده در یک کوره حرارتی الکتریکی شامل اتمسفر هوا مرحله تفجوشی را در دمای ۱۶۵۰ درجه سانتی‌گراد با ماندگاری ۵ ساعت طی کردند. قطعات سرامیکی ساخته شده از جنس آلومینا و آلومینا – زیرکونیا به ترتیب به نام‌های A100 و A90-Z10 کدگذاری شدند که ابعاد قطعات نهایی در حدود ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰۰ میلی‌متر و به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر هستند.

۲-۳- روش‌های تعیین مشخصات

در این تحقیق برای تایید جنس قطعات ساخته شده از آلومینا و آلومینا – زیرکونیا و همچنین تشخیص فازهای آن‌ها، از آنالیز پراش اشعه ایکس استفاده شد. برای بررسی ریزساختاری و مورفولوژی سرامیک‌های ساخته شده از میکروسکوپ الکترونی

[1] Green Body

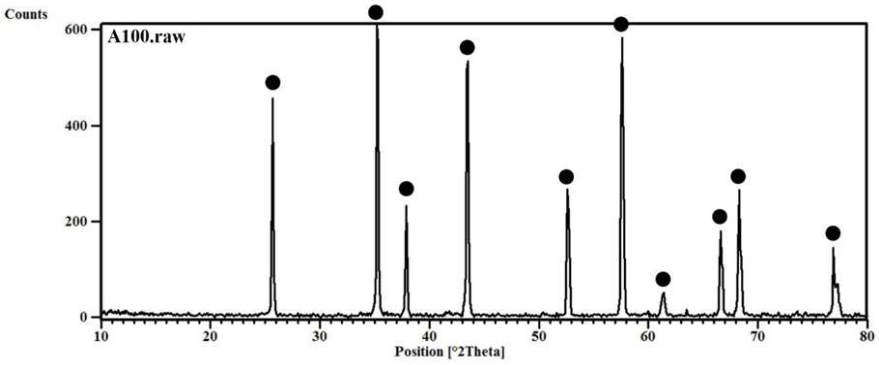
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]

روبشی با آشکارساز الکترون‌های برگشتی استفاده شد. برای تعیین میزان چگالی نسبی نمونه‌های ساخته شده از اصل ارشمیدس توسط آب خالص استفاده شد. برای تعیین خواص مکانیکی نمونه‌ها، برای تعیین میزان سختی از سختی سنج ویکرز، برای تعیین میزان استحکام خمشی از آزمون استحکام خمشی به صورت بارگذاری سه نقطه‌ای و برای تعیین چقرمگی نمونه‌ها از آزمون چقرمگی شکست (KIC) با استفاده از نمونه خمشی دارای تک شیار لبه‌ای[1] استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

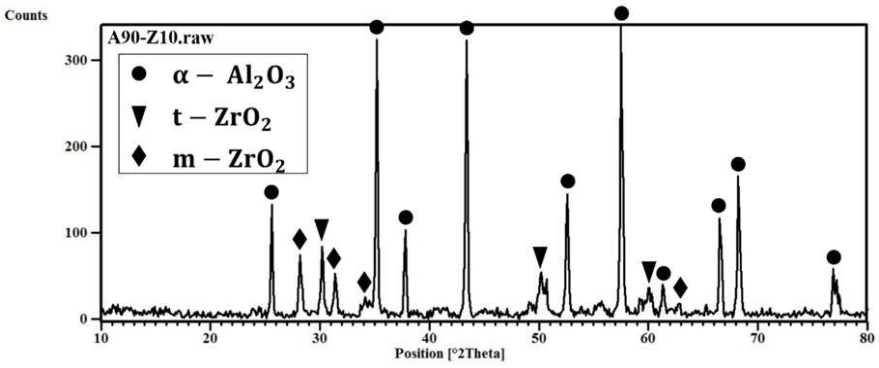
۳-۱- بررسی فازی و ریزساختاری

شکل ۱ الگوی پراش اشعه ایکس مربوط به سرامیک آلومینای خالص ساخته شده (A100) را نشان می‌دهد. با توجه به این الگو تمامی پیک‌های مربوط به فاز آلفا (α) آلومینا کاملا مشخص است و شدت بالای پیک‌های ظاهرشده بلورینگی مناسب آلومینا را نشان می‌دهد.



شکل ۱- الگوی XRD نمونه سرامیک آلومینای خالص ساخته شده (A100)، پیک‌های شاخص آلفا آلومینا با علامت (●) مشخص شده است.

شکل ۲ الگوی XRD مربوط به کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10) را نشان می‌دهد. با توجه به این الگو فازهای مربوط به آلفا آلومینا و زیرکونیای مونوکلینیک و زیرکونیای تتراگونال قابل مشاهده هستند. دلیل کم بودن شدت پیک‌های زیرکونیا نسبت به آلومینا، کم بودن میزان حجمی آن در قطعه سرامیکی نسبت به آلومینا است. دلیل ظهور پیک‌های مربوط به فاز مونوکلینیک عملیات تف‌جوشی بدون فشار است که در آن احتمال رشد بیش از حد دانه‌های زیرکونیا وجود دارد و این رشد شرایط وقوع استحاله تتراگونال به مونوکلینیک را تا حدی امکان‌پذیر می‌سازد اما بیشتر بودن شدت پیک های مربوط به فاز تتراگونال زیرکونیا نسبت به فاز مونوکلینیک آن، نشان‌دهنده پایداری نسبتا مناسب زیرکونیا در فاز تتراگونال است.

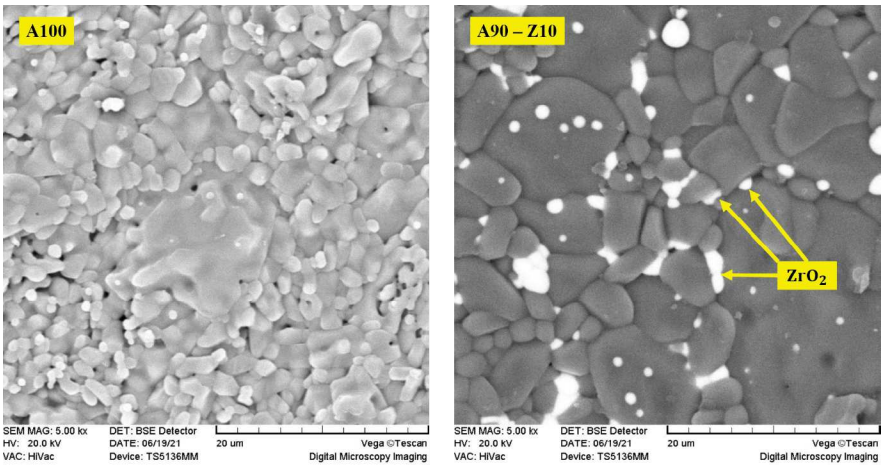


شکل ۲-الگوی XRD نمونه کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10)

[1] Single Edge Notch Beam (SENB)

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]

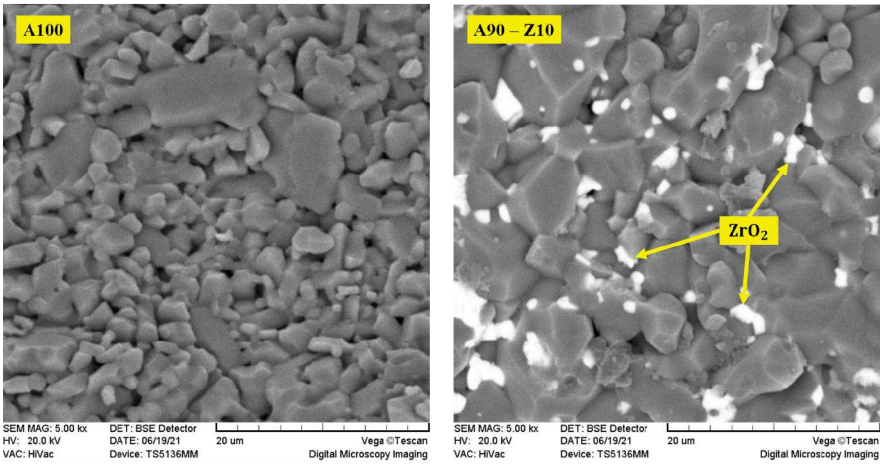
شکل ۳ تصاویر SEM مربوط به سطح قطعات سرامیکی آلومینا (A100) و کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10) را نشان می دهد. همانطور که در این دو تصویر مشاهده می‌شود هر دو نمونه دارای ریزساختار یکنواخت در سطح قطعات هستند. در تصویر SEM مربوط به نمونه A100 مشاهده می‌شود به دلیل اینکه سرامیک از جنس آلومینای خالص است رشد بی‌رویه دانه‌های آلومینا در فرآیند تف‌جوشی اتفاق افتاده است که این امر به بالا بودن سختی و پایین بودن چقرمگی سرامیک آلومینا منجر می‌شود.



شکل ۳– تصاویر SEM از سطح سرامیک‌های ساخته شده آلومینا (A100) و آلومینا - زیرکونیا (A90-Z10)

با استفاده از آشکارساز الکترون‌های برگشتی در تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، ذرات حاوی عناصر با عدد اتمی کوچک‌تر تیره و ذرات حاوی عناصر با عدد اتمی بزرگ‌تر روشن‌تر دیده می‌شوند. با توجه به اینکه عنصر Zr دارای عدد اتمی بالاتری نسبت به عنصر Al است، بنابراین در تصاویر SEM مربوط به A90-Z10، مناطق روشن مربوط به ذرات زیرکونیا هستند و مناطق خاکستری رنگ مربوط به ذرات آلومینا هستند. در شکل ۳ در تصویر SEM مربوط به سطح نمونه A90-Z10 مشاهده می‌شود که حضور زیرکونیای پایدار شده تا حدود زیادی از رشد بی رویه دانه‌های آلومینا جلوگیری کرده است که این امر می‌تواند سبب افزایش چقرمگی سرامیک شود. همچنین مشاهده می‌شود که رشد دانه‌ای آلومینا در برخی نقاط تا حدودی بیش از اندازه است و بزرگی ذرات آلومینا به ۲۰ میکرون نزدیک شده است، که دلیل آن می‌تواند کم بودن میزان زیرکونیا در داخل دوغاب و یا خوب پخش نشدن کامل دانه‌های زیرکونیا در تمام نقاط دوغاب در هنگام ساخت قطعه باشد.

شکل ۴ تصاویر SEM مربوط به سطح شکست قطعات A100 و A90-Z10 است. با توجه به تصاویر در هر دو نمونه تعداد کمی تخلخل در بدنه سینتر شده مشاهده می‌شود و ریز ساختارهای بدست آمده از یکنواختی مطلوبی برخوردار هستند.



شکل ۴–تصاویر SEM از سطح شکست سرامیک‌های ساخته شده آلومینا (A100) و آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10)

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]

۳-۲- بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی برای هر دو قطعه سرامیکی آلومینا (A100) و آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10) در جدول ۱ مشاهده می‌شود. با توجه به چگالی نسبی گزارش شده برای نمونه‌ها، پایین بودن چگالی نسبی به دلیل بزرگ بودن سایز دانه‌های آلومینای استفاده شده در این کار است. پارامتر چگالی نسبی یکی از مهمترین پارامترها در کنترل میزان سختی و استحکام قطعات سرمیکی است و با افزایش میزان چگالی نسبی، میزان سختی و استحکام قطعات نیز افزایش می‌یابد [۲]. همچنین با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزودن زیرکونیا به ساختار آلومینا میزان چگالی نسبی و به تبعیت از آن میزان سختی قطعه در مقایسه با قطعه آلومینای خالص، کاهش و میزان استحکام خمشی و چقرمگی آن افزایش پیدا کرده است. این نتایج با نتایج حاصل از تصاویر SEM مربوط به این دو نمونه هم‌خوانی دارد و می‌تواند توجیهی بر ممانعت رشد بیش از اندازه دانه‌های آلومینا بر اثر وجود زیرکونیای پایدار شده در ساختار قطعه سرامیکی باشد که این امر باعث افزایش میزان چقرمگی و استحکام خمشی در قطعه سرامیکی می‌شود. علاوه بر تاثیر پارامتر چگالی نسبی در میزان سختی قطعات، با توجه بر اینکه سختی زیرکونیا نسبت به آلومینا کمتر است، می‌تواند دلیل دیگری بر کاهش میزان سختی نمونه A90-Z10 نسبت به A100 باشد.

جدول ۱- چگالی نسبی، سختی، استحکام خمشی و چقرمگی سرامیک‌های ساخته شده آلومینا (A100) و آلومینا - زیرکونیا (A90-Z10)

نام نمونه	چگالی نسبی (٪)	سختی (GPa)	استحکام خمشی (MPa)	چقرمگی (K_{IC}) ($MPa.m^{1/2}$)
A100	۹۰/۱	۱۳/۸۱	۳۲۴±۳۳	۳/۸
A90-Z10	۸۹/۷	۱۲/۴۷	۳۶۷±۴۶	۴/۹

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش نمونه سرامیک آلومینا (A100) با میزان ۴۵٪ حجمی پودر آلومینا در دوغاب و نمونه کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10) با میزان ۴۵٪ حجمی از مخلوط پودرهای سرامیکی در دوغاب، که این میزان پودر مخلوط شامل ۹۰٪ حجمی آلومینا و ۱۰٪ حجمی زیرکونیای پایدار شده با ایتریا است، با استفاده از روش نوین ریخته‌گری ژله‌ای ساخته شدند. قطعات سرامیکی حاصل از این روش دارای سطحی صاف و یکنواخت و بدون اعوجاج پس از گذراندن فرآیند تفجوشی هستند و با استفاده از این روش می‌توان به آسانی اشکال پیچیده مورد نیاز را قالب‌ریزی و تهیه کرد. نتایج حاصل از الگوی XRD حضور فازهای آلفا آلومینا و زیرکونیای تتراگونال را در نمونه کامپوزیتی (A90-Z10) تایید می‌نماید. همچنین حضور اندکی زیرکونیای مونوکلینیک به دلیل رشد دانه‌های زیرکونیا در فرآیند تفجوشی را توجیح می‌نماید. نتایج حاصل از تصاویر SEM یکنواختی مناسب ریزساختار در هر دو نمونه آلومینا (A100) و آلومینا–زیرکونیا (A90-Z10) را نشان می‌دهد. همچنین تصاویر SEM حاصل از کامپوزیت آلومینا – زیرکونیا (A90-Z10) نشان دهنده توزیع مناسب ذرات تقویت کننده زیرکونیا در بین ذرات آلومینا است که این امر از رشد ذرات آلومینا ممناعت کرده است، اما در برخی نقاط عدم حضور زیرکونیا باعث رشد بیش از اندازه ذرات آلومینا شده است و می‌توان این انتظار را داشت که افزایش میزان زیرکونیا در داخل دوغاب در فرآیند ریخته‌گری ژله‌ای از رشد بیش از اندازه ذرات آلومینا جلوگیری نماید. نتایج حاصل از چگالی نسبی نشان داد با استفاده از روش ریخته‌گری ژله‌ای می‌توان به میزان چگالی‌های بالا در ساخت قطعات سرامیکی دست یافت و می‌توان این انتظار را داشت که با استفاده از پودرهای سرامیکی با اندازه ذرات ریزتر به دوغاب یکنواخت‌تر و در نتیجه به قطعات سرامیکی چگال‌تر دست پیدا کرد. نتایج حاصل از خواص مکانیکی نمونه‌ها نشان داد که با این روش می‌توان به قطعات سرامیکی و کامپوزیتی با میزان خواص مکانیکی مطلوب دست یافت. از طرفی این نتایج نشان داد که با افزودن تقویت‌کننده زیرکونیا به داخل ذرات آلومینا استحکام خمشی و چقرمگی قطعه کامپوزیتی (A90-Z10) در برابر قطعه سرامیک آلومینای خالص (A100) به ترتیب به میزان ٪۱۳/۲۷ و ٪۲۸/۹۴ افزایش یافته است اما از طرفی به دلیل سختی پایین این تقویت‌کننده نسبت به آلومینا، سختی نهایی قطعه کامپوزیتی (A90-Z10) در مقایسه با نمونه آلومینای خالص (A100) به میزان ٪۹/۷ کاهش یافته است.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]

مراجع

[1] R. B. Heimann, “Classic and advanced ceramics: from fundamentals to applications”. John Wiley & Sons, 2010 .

[2] H. Tuan, R. Z. Chen, T. C. Wang, C. H. Cheng, and P. S. Kuo, “Mechanical properties of Al_2O_3/ZrO_2 composites”, Journal of the European Ceramic Society, vol. 22, no. 16, pp. 2827-2833, 2002 .

[3] P. Platt, P. Frankel, M. Gass, R. Howells, M. Preuss, “Finite element analysis of the tetragonal to monoclinic phase transformation during oxidation of zirconium alloys”, Journal of Nuclear Materials, vol. 454, issues 1-3, pp. 290-297, 2014 .

[4] J. Wang, R. Stevens, “Zirconia-toughened alumina (ZTA) ceramics”, Journal of Material Science, vol. 24, pp. 3421-3440, 1989 .

[5] K. T. Faber, N. O. Shanti, “Gelcasting of ceramic bodies”, in: The American Ceramic Society, John Wiley & Sons, Inc., Eds., pp. 199-234, 2012 .

[6] C. Young, O. O. Omatete, M. A. Janney, P. A. Menchhofer, “Gelcasting of alumina”, Journal of the American Ceramic Society, vol. 74, no. 3, pp. 612-618, 1991 .

[7] O. O. Omatete, M. A. Janney, S. D. Nunn, “Gelcasting: from laboratory development toward industrial production”, Journal of the European Ceramic Society, vol. 17, pp. 407-413, 1997 .

[8] Barati, M. Kokabi, M. H. N. Famili, “Forming alumina parts using acrylamide gels”, Iranian Polymer Journal, vol. 12, no. 2, pp. 127-138, 2003 .

[9] Babaluo, M. Kokabi, A. Barati, “Chemorheology of alumina-aqueous acrylamide gelcasting systems”, Journal of the European Ceramic Society, vol. 24, pp. 635-644, 2004.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-24]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1399.4.64.6.0]