فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۲، تابستان ۱۳۹۶

بررسی اثر افزودن نشاسته بر ریخته‌گری ژلی بدنه‌های متخلخل آلومینایی

محسن توحیدنژاد، حسین سرپولکی*

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت ایران

* hsarpoolaky@iust.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۲ خرداد ۱۳۹۶

پذیرش: ۱ مهر ۱۳۹۶

کلید واژه:

آلومینا، ریخته‌گری ژلی، نشاسته‌ی ذرت، مواد متخلخل

چکیده:

هدف تحقیق حاضر، بررسی اثر مقدار نشاسته‌ی ذرت و دمای زینتر بر ریزساختار، خواص فیزیکی و مکانیکی بدنه‌های متخلخل آلومینایی تولید شده به روش ریخته‌گری ژلی می‌باشد. نمونه‌های حاوی ۶۰/۵، ۶۳ و ۶۵/۵٪ وزنی آلومینا (به ترتیب حاوی ۷/۵، ۵ و ۲/۵٪ نشاسته‌ی ذرت) به مدت ۳ ساعت در بال میل آسیا شدند، سپس درون قالب‌های پلیمری ریخته شده و ۲ ساعت در خشک کن با دمای ۸۶°C قرار داده شده تا ژله‌ای شوند. نمونه‌های خشک شده به مدت ۱ ساعت در دماهای ۱۴۰۰°C، ۱۴۵۰ و ۱۵۰۰ زینتر شدند. پس از زینتر در دماهای مختلف، نمونه‌ها چگالی کلی ۱/۶۸g.cm^{-3} -۱/۴۱، تخلخل باز ۶۲/۰۱-۵۳/۹۲٪ و استحکام فشاری سرد ۳/۸۲-۰/۹۸ مگاپاسکال را نشان دادند. بررسی‌های فازی نشان می‌دهند که پیک‌های به وجود آمده در دمای ۱۵۰۰°C مربوط به فاز α-آلومینا می‌باشد. هم چنین از لحاظ ریزساختاری، تخلخل‌های بزرگ ناشی از سوختن نشاسته در نمونه‌ها مشاهده می‌شود که به وسیله‌ی گردنه‌های کوچکی به یکدیگر متصل شده‌اند که این موجب به هم پیوستگی تخلخل‌ها و افزایش گذردهی آن‌ها می‌شود.

۱- مقدمه

سرامیک‌های متخلخل، به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردی همچون چگالی پایین، سطح ویژه‌ی بالا، گرمای ویژه‌ی پایین، هدایت حرارتی پایین، مقاومت دمایی بالا، مقاومت به شوک حرارتی بالا، استحکام ویژه‌ی بالا، جرم حرارتی[۱] پایین، گذردهی بالا و... توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۳-۱]. به دلیل این خواص منحصر به فرد، سرامیک‌های متخلخل در ساخت فیلترها، ممبران‌ها، پایه‌ی ممبران‌ها، پایه‌ی کاتالیست‌ها، مشعل‌های سوخت، پوشش‌های سد حرارتی، آستری کوره‌های دیرگداز، عایق‌های حرارتی دما بالا، مبدل‌های حرارتی، مواد ساختمانی، بیوسرامیک‌ها و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند [۷-۴]. روش‌های مختلفی هم چون المثنای فوم پلیمری[۲]

[۱] thermal mass: توانایی ماده به جذب و ذخیره‌ی انرژی حرارتی، جرم حرارتی گفته می‌شود. برای تغییر دمای مواد با چگالی بالا هم‌چون بتن، آجرها و کاشی‌ها، به انرژی حرارتی بالایی نیاز می‌باشد. بنابراین، آن‌ها جرم حرارتی بالایی دارند. مواد سبک وزن و با چگالی پایین هم چون چوب، جرم حرارتی پایینی دارند.

[۲] Polymeric foam replication: روشی که در آن پس از غوطه‌ور کردن اسفنج پلیمری (معمولا پلی اورتان) درون دوغاب، رول کردن دوغاب، خشک کردن اسفنج و سوختن آن و سپس زینتر نمونه، نمونه‌ای با اندازه و شکل تخلخل مشابه با تخلخل‌های اسفنج به دست آورده می‌شود.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]

(اسفنج پلیمری)، فوم، ریخته‌گری انجمادی، ریخته‌گری ژلی، استفاده از عوامل تخلخل ساز و غیره برای ساخت سرامیک‌های متخلخل گسترش پیدا کرده‌اند. استفاده از عوامل تخلخل ساز، یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تولید سرامیک‌های متخلخل با ریزساختار (از نظر تخلخل و اندازه تخلخل) کنترل شده می‌باشد [۷]. عوامل تخلخل ساز معمولا می‌توانند به سه گروه (الف) مواد آلی سنتزی (مهره‌های پلیمری، الیاف آلی و...)، (ب) مواد آلی طبیعی (نشاسته‌ی سیب زمینی، سلولز، پنبه و...) و (پ) مواد فلزی و معدنی (نیکل، کربن، خاکستر بادی، ذرات شیشه و...) و مایع‌ها (آب، ژل، امولسیون و...) طبقه‌بندی شوند [۸]. این عوامل تخلخل ساز در طول حرارت‌دهی تا دمای پخت نهایی سرامیک‌ها، سوخته و تخلخل‌هایی را درون سرامیک بر جای می‌گذارند [۷].

در میان عوامل تخلخل ساز مختلف با منشا بیولوژیکی، نشاسته به طور خاص موقعیت برجسته‌ای را به دست آورده است [۶]. بیشتر نشاسته‌ها شامل مخلوطی از دو نوع پلی‌ساکارید، نوع خطی، آمیلوز و نوع با تعداد زنجیره‌ی بالا، آمیلوپکتین، می‌باشد [۶]. بلورینگی آن‌ها منحصرا مرتبط با ترکیب آمیلوپکتین است، در حالی که مناطق آمورف عمدتا مطابق با آمیلوز است [۹]. نشاسته‌ها، ارزان، غیرسمی و دوستدار محیط زیست بوده و با سوختن بین دمای تقریبا ۳۰۰–۶۰۰°C، بدنه‌ای فاقد عیب را نشان می‌دهند [۶].

روش‌های مختلف فرآوری بر اساس ریخته‌گری مستقیم سوسپانسیون‌های سرامیکی درون قالب‌های غیرمتخلخل، با هدف آماده سازی سرامیک‌های متخلخل توسعه یافته‌اند. در میان آن‌ها، روش متصل سازی تمیز و ارزان به نام ریخته‌گری اتصالی نشاسته (SCC[1]) یکی از مشهورترین روش‌های فرآوری سرامیک‌های متخلخل می‌باشد [۱۰]. این روش برای اولین بار در سال ۱۹۹۸ توسط لیکفلد و همکاران صورت پذیرفت [۱۱]. در این روش، نمونه‌های خام سرامیکی می‌توانند به وسیله‌ی دوغاب‌ها درون قالب‌های نفوذناپذیر (معمولا قالب‌های فلزی) شکل داده شوند [۶]. زمانی که دوغاب حاوی نشاسته در دمایی بین ۵۵–۸۰°C (بسته به نوع و غلظت نشاسته) حرارت داده می‌شود پیوندهای بین مولکولی که گرانول‌ها را کنار یکدیگر نگه می‌دارد، تضعیف می‌گردد. در طول این فرآیند، گرانول ها متحمل تورم سریع و برگشت ناپذیر به وسیله‌ی جذب آب شده که منجر به افزایش اندازه‌ی گرانول تا چند برابر اندازه‌ی اصلی آن می‌شود [۱۲]. این تورم گرانول‌های نشاسته که به وسیله‌ی حرارت القا شده و پس از آن ژله‌ای شدن صورت می‌پذیرد، موجب کاهش مقدار آب دوغاب شده و ذرات پودر سرامیکی (که معمولا بسیار کوچک‌تر از گرانول‌های نشاسته است) را در کنار یکدیگر در مکان‌های بین نشین گرانول‌های نشاسته فشرده می‌نماید؛ در نتیجه، ویسکوزیته‌ی دوغاب سرامیکی (در ابتدا ویسکوز) افزایش و تبدیل به رفتار ویسکوالاستیک صورت پذیرفته و تشکیل ژل الاستیک بین دمای ۵۵–۸۵°C (بسته به نوع نشاسته و عوامل دیگر) اتفاق می‌افتد که باعث متصل سازی ذرات سرامیکی به شکل بدنه‌ی مستحکم می‌شود. پس از شکل‌دهی نمونه‌ها، بدنه‌ها خشک شده و سپس نشاسته سوخته تا فضاهای تخلخل را در زمینه‌ی سرامیکی به وسیله‌ی حرارت دادن درون اتمسفر اکسیدی ایجاد نمایند [۱۱]. پس از سوختن نشاسته و زینتر زمینه‌ی سرامیکی، ماده‌ای متخلخل مطابق با مقدار، شکل و

[1] Starch Consolidation Casting

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]

اندازه‌ی اصلی ذرات نشاسته به دست آورده می‌شود [۶]. مزایای اصلی این روش، سادگی فرآیند، امکان شکل‌دهی شکل‌های پیچیده با استفاده از مواد قالب‌گیری مختلف و هزینه‌ی پایین تجهیزات/مواد مورد نیاز برای فرآوری می‌باشد [۱۲]. این روش به طور موفقیت آمیزی در ساخت بدنه‌های آلومینایی، زیرکونیایی، مولایتی، هیدروکسی آپاتیت و سایر بدنه‌ها مورد استفاده قرار گرفته شده است [۱۳].

هدف از این مقاله، بررسی اثر مقدار نشاسته و دمای زینتر بر ریخته‌گری ژلی بدنه‌های متخلخل آلومینایی به کمک نشاسته‌ی ذرت و بررسی خواص فیزیکی، مکانیکی، فازی و ریزساختاری آن‌ها می‌باشد.

۲- فعالیت‌های تجربی

۲-۱- مواد اولیه

مواد اولیه مورد استفاده در ساخت نمونه‌های متخلخل آلومینایی عبارت است از:

۱- آلومینا: پودر α-آلومینا با اندازه‌ی بین ۱۰μm-۶ در این آزمایش مورد استفاده قرار گرفته شده است که ترکیب شیمیایی و چگالی آن در جدول ۱ ارایه شده است.

۲- تری پلی فسفات: نوع صنعتی آن به عنوان روانساز مورد استفاده قرار گرفت.

۳- نشاسته‌ی ذرت طبیعی: از نوع خوراکی استفاده شد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی (بر حسب درصد وزنی) و چگالی پودر آلومینا

ماده اولیه	خلوص شیمیایی (٪)	چگالی ($g.cm^{-3}$)
α-آلومینا	٪۹۹/۵ Al_2O_3	۳/۸۵

۲-۲- روش‌های آزمایشگاهی

فرمولاسیون دوغاب‌ها به صورت جدول ۲ می‌باشد. برای آماده سازی دوغاب‌ها (بر اساس جدول ۲)، ابتدا محلول آب مقطر دیونیزه و تری پلی فسفات (که از قبل آماده شده است) و α-آلومینا به مدت ۲ ساعت در روی بال میل آسیا شده تا دوغاب روان و پایدار به دست آید. سپس، نشاسته به دوغاب‌ها افزوده شده و دوغاب‌ها به مدت ۱ ساعت دیگر در بال میل آسیا شدند. دوغاب‌های آماده شده هوازدایی شدند. پس از هوازدایی، دوغاب ها درون قالب ریخته شده و به مدت ۲ ساعت درون خشک کن با دمای ۸۶°C قرار داده شده تا عمل ژله‌ای شدن صورت پذیرد. پس از ژله‌ای شدن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط و سپس ۴۸ ساعت در دمای ۱۱۰°C خشک شدند. پس از خشک کردن، نمونه‌ها بر اساس برنامه ی حرارتی مقابل (با سرعت حرارت‌دهی ۳°C/min به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰۰°C و سپس به مدت ۱ ساعت در دماهای ۱۴۰۰°C، ۱۴۵۰ و ۱۵۰۰) زینتر شدند. چگالی کلی نمونه‌ها به روش ارشمیدس بر اساس استاندارد ASTM-C20 اندازه‌گیری گردید. الگوی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) نمونه‌ها به وسیله‌ی دستگاه (JEOL) مورد بررسی قرار گرفت. ریزساختار نمونه‌های مانت شده به وسیله‌ی دستگاه SEM (SEM, Tescan Vega) مورد مشاهده قرار گرفت. استحکام فشاری سرد (CCS) نمونه‌ها نیز به وسیله‌ی دستگاه تست استحکام فشاری مدل SCHENCK اندازه‌گیری شده است.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]

جدول ۲- ترکیب شیمیایی دوغاب‌ها (بر حسب درصد وزنی دوغاب)

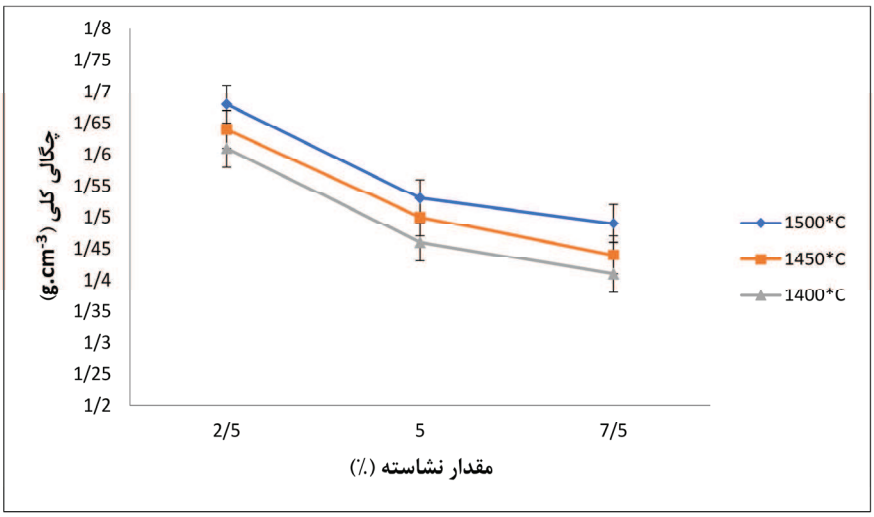
ترکیب	α-آلومینا (٪)	نشاسته‌ی ذرت (٪)	آب مقطر دیونیزه (٪)	تری پلی فسفات (٪)
A	۶۵/۵	۲/۵	۳۱/۵	۰/۵
B	۶۳	۵	۳۱/۵	۰/۵
C	۶۰/۵	۷/۵	۳۱/۵	۰/۵

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تخلخل باز و چگالی کلی

شکل‌های ۱ و ۲، تاثیر مقدار نشاسته و دمای زینتر بر تخلخل باز و چگالی کلی نمونه‌ها را نشان می‌دهند.

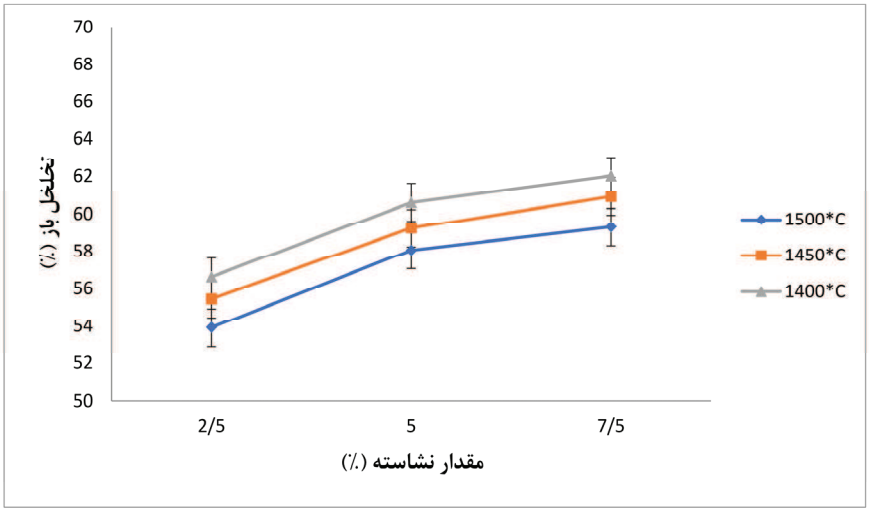
با افزایش مقدار نشاسته در دمای زینتر ثابت، چگالی کلی نمونه‌ها کاهش و درصد تخلخل باز نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا، با افزایش مقدار نشاسته، به دلیل این که اندازه‌ی تخلخل‌های ناشی از سوختن نشاسته (که بزرگ و محدبی شکل بوده و انحنای سطحی آن‌ها پایین است و هم‌چنین تمایل به انقباض این تخلخل‌ها پایین می‌باشد)، افزایش پیدا کرده و در نتیجه، چگالی کلی نمونه‌ها کاهش و درصد تخلخل باز نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند [۱۵و۱۶]. هم‌چنین، با افزایش مقدار نشاسته، بار جامد (آلومینا) کاهش پیدا کرده و فشردگی میان ذره‌های آلومینا کاهش پیدا می‌کند، در نتیجه، فضای خالی میان این ذره‌ها افزایش یافته و چگالی کلی نمونه‌ها کاهش و درصد تخلخل باز آن‌ها افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. با افزایش دمای زینتر در مقدار نشاسته‌ی ثابت، چگالی کلی نمونه‌ها افزایش و درصد تخلخل باز نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند؛ زیرا با افزایش دمای زینتر، رشد ذره‌های آلومینایی موجب کاهش تخلخل‌های میان ذره های آلومینا، که کوچک و به شکل مقعر هستند، شده و در نتیجه، چگالی کلی نمونه‌ها افزایش و درصد تخلخل باز نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند [۱۶،۷].



شکل ۱- چگالی کلی بر حسب مقدار نشاسته

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]



شکل ۲- درصد تخلخل باز بر حسب مقدار نشاسته

۳-۲- بررسی فازی (XRD)

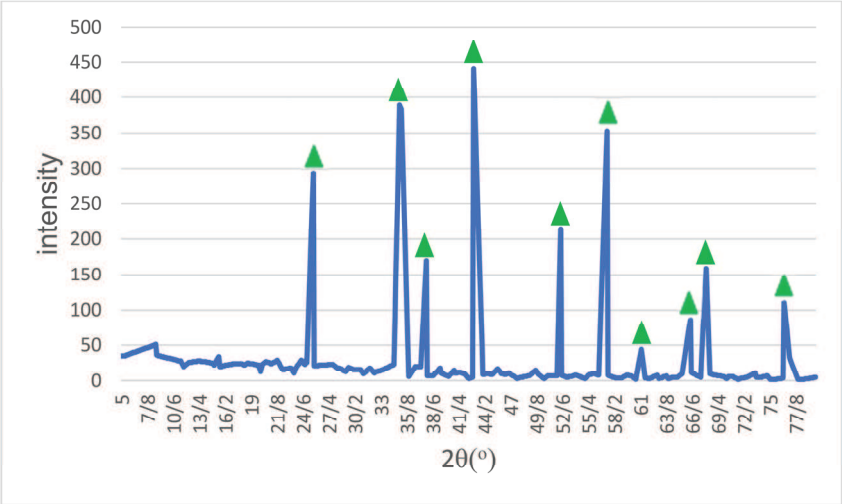
شکل ۳، نمودار الگوی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) نمونه‌ی B را که در دمای ۱۵۰۰°C زینتر شده است، نشان می‌دهد. همان‌طور که در الگوی پراش اشعه‌ی ایکس این نمونه مشاهده می‌گردد، پیک‌های اصلی نشان دهنده‌ی پیک فاز α-آلومینا است، اما، زمینه‌ی آمورفی در زاویه‌های کم‌تر از ۲۵° مشاهده می‌شود که این ممکن است به دلیل نوع دستگاه XRD، زاویه‌ی تابش اشعه‌ی ایکس به نمونه‌ها، نحوه‌ی آماده سازی پودرها، اندازه‌ی ذرات و ... ایجاد شده باشد.

۳-۳- بررسی ریزساختاری (SEM)

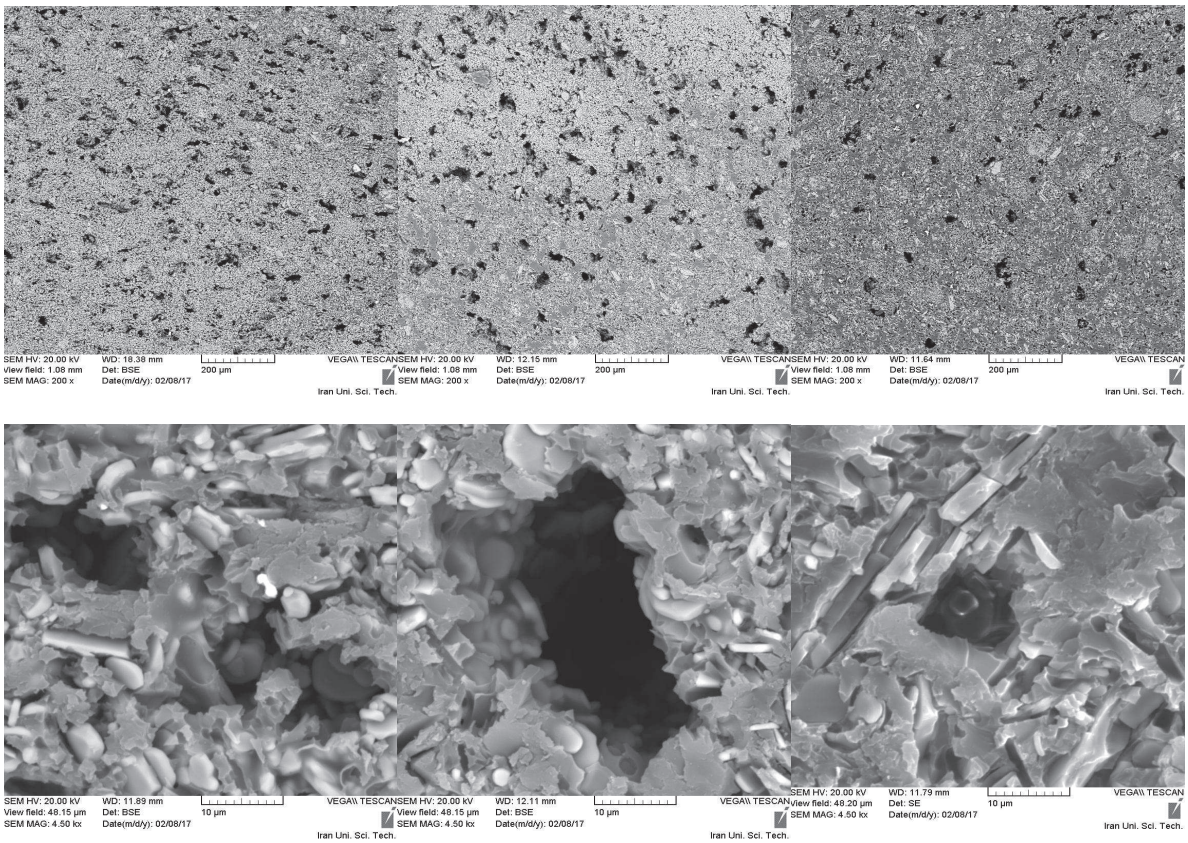
شکل ۴، تصاویر SEM سطوح مانت شده نمونه‌های زینتر شده در دمای ۱۵۰۰°C را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴، با افزایش مقدار نشاسته، درصد تخلخل نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند، زیرا با افزایش مقدار نشاسته، به دلیل افزایش تماس میان ذره‌های نشاسته و تورم گرانول‌های نشاسته، درصد تخلخل‌های ناشی از سوختن نشاسته افزایش پیدا کرده و در نتیجه، درصد تخلخل نمونه افزایش پیدا می‌کند [۱۵و۱۶]. هم چنین، با افزایش مقدار نشاسته، مقدار آلومینا کاهش پیدا کرده و در نتیجه فشردگی میان ذره‌های آلومینایی موجود در زمینه‌ی آلومینایی کاهش پیدا می‌کند، به همین دلیل، درصد تخلخل نمونه‌ها با کاهش مقدار آلومینا افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. با افزایش مقدار نشاسته، به دلیل افزایش تماس بین ذرات نشاسته، اندازه‌ی گردنه‌ی ایجاد شده بین ذره‌های نشاسته افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. هم چنین، با افزایش مقدار نشاسته، به دلیل افزایش گردنه‌ی ایجاد شده میان ذره‌ها، اندازه‌ی تخلخل نمونه‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. از تصاویر می‌توان مشاهده نمود که میان تخلخل‌های ناشی از سوختن نشاسته (اتصال تخلخل‌های بزرگ به وسیله‌ی گردنه‌های کوچک میان آن‌ها)، به هم پیوستگی سه بعدی (حتی در مقادیر کم نشاسته) وجود دارد که همین عامل موجب افزایش درصد تخلخل، اندازه‌ی تخلخل و اندازه‌ی گردنه‌ی ایجاد شده میان تخلخل‌ها می‌شود [۱۷].

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]



شکل ۳- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ی B زینتر شده در دمای ۱۵۰۰°C (▲ نشان دهنده‌ی پیک فاز α-آلومینا است.)



الف ب پ

شکل ۴- تصاویر SEM - نمونه‌های (الف) A، (ب) B، (پ) C زینتر شده در دمای ۱۵۰۰ °C

(تصاویر نمونه‌ها از سطح مانت شده و در دو بزرگنمایی ۲۰۰× و ۴۵۰۰× گرفته شده است).

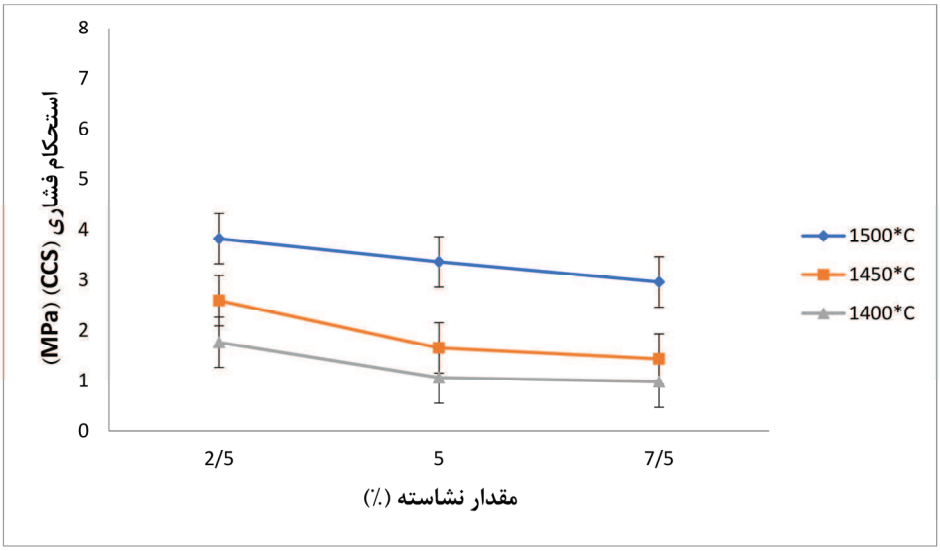
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]

۳-۴- استحکام فشاری سرد (CCS)

تاثیر مقدار نشاسته و دمای زینتر بر استحکام فشاری سرد نمونه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵، با افزایش مقدار نشاسته در دمای زینتر ثابت، استحکام نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند، زیرا، با افزایش مقدار نشاسته، تخلخل‌های ناشی از سوختن نشاسته افزایش پیدا کرده و در نتیجه استحکام نمونه‌ها کاهش می‌یابد. از آن جایی که با افزایش مقدار نشاسته، اندازه‌ی تخلخل‌های ناشی از سوختن نشاسته که بزرگ و محدبی شکل بوده و انحنای سطحی آن‌ها پایین است، افزایش پیدا می‌کند؛ در نتیجه، درصد تخلخل باز نمونه‌ها افزایش پیدا کرده و استحکام فشاری سرد نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند [۱۶و۱۷]. هم‌چنین، با افزایش مقدار نشاسته، مقدار بار جامد (آلومینا) کاهش و فشردگی میان ذره‌های آلومینا کاهش یافته و تخلخل‌های میان این ذره‌ها افزایش پیدا می‌کند؛ به همین دلیل، درصد تخلخل باز نمونه‌ها افزایش و استحکام فشاری نمونه‌ها کاهش پیدا می‌کند [۶].

با افزایش دمای زینتر در مقدار نشاسته‌ی ثابت، استحکام نمونه‌ها افزایش می‌یابد، زیرا، با افزایش دمای زینتر، رشد ذره‌های آلومینا که در تماس با هم دیگر هستند، موجب کاهش تخلخل‌های میان ذره‌های آلومینا شده و در نتیجه، استحکام فشاری نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند [۶]. هم‌چنین، در دمای ۱۵۰۰°C، استحکام نمونه‌ها رشد بیش‌تری داشته است که این می‌تواند به دلیل افزایش زینترپذیری نمونه‌ها و رشد بیش‌تر ذره‌ها و کاهش تخلخل‌های نمونه‌ها در این دما باشد.



شکل ۵- استحکام فشاری نمونه‌ها بر حسب مقدار نشاسته

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، بدنه‌های متخلخل آلومینایی با استفاده از نشاسته‌ی ذرت به عنوان چسب و عامل تخلخل ساز آماده گردیدند. هم‌چنین، تاثیر مقدار نشاسته و دمای زینتر بر خواص فیزیکی، مکانیکی، فازی و ریزساختاری نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها، درصد تخلخل بالا را در

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]

مقادیر پایین نشاسته نشان دادند که این به دلیل به هم پیوستگی تخلخل‌ها در سه بعد می‌باشد. این روش، بر پایه‌ی توانایی ژله‌ای شدن نشاسته در محیط آبی در دمای ۵۵–۸۵°C درون خشک کن است. نمونه‌های زینتر شده در دماهای ۱۴۰۰°C، ۱۴۵۰ و ۱۵۰۰ نشان دادند که چگالی کلی، تخلخل باز، اندازه‌ی تخلخل و استحکام فشاری آن‌ها وابسته به مقدار نشاسته و دمای زینتر می‌باشد. بررسی‌های فازی نشان می‌دهد که در دمای ۱۵۰۰°C، پیک‌های به وجود آمده مربوط به فاز α–آلومینا است. هم چنین از لحاظ ریزساختاری، تخلخل‌های بزرگ ناشی از سوختن نشاسته که به وسیله‌ی گردنه‌های کوچکی به یکدیگر متصل شده‌اند، مشاهده می‌شود که این موجب به هم پیوستگی تخلخل‌ها و افزایش گذردهی آن‌ها می‌شود.

مراجع

[1] D. Jiang, Y. Zeng, M. Singh, J. Heinrich, "Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications, A Collection of Papers Presented at the 9th International Symposium on Ceramic Materials for Energy and Environmental Applications and the Fourth Laser Ceramics Symposium, Vol. 210, Shanghai, Chaina" John Wiley Sons, Inc., Publication, Hoboken, New Jersey, 2010.

[2] M. H. Talou, MA. Camerucci, "Tow Alternative Routes for Starch Consolidation of Mullite Green Bodies", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 30, pp. 2881-2887, 2010.

[3] K. Mohanta, A. Kumar, O. Parkash, D. Kumar, "Processing and Properties of Low Cost Macroporous Alumina Ceramics with Tailored Porosity and Pore Size Fabricated Using Rice Husk and Sucrose", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 34, pp. 2401-2412, 2014.

[4] O. Lyckfeldt, J. M. F. Ferreira, "Processing of Porous Ceramic by Sarch Consolidation", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 18, pp. 131-140, 1997.

[5] E. Gregorova, W. Pabst, M. Chmelíckova, "Layered Alumina Ceramics Porosity Steps", Advances in Science and Technology, Vol. 63, pp. 364-369, 2010.

[6] W. Pabst, E. Gregorova, I. Sedlarova, M. Cerny, "Preparation and Characterization of Porous Alumina Ceramics Through Starch Consolidation Casting Technique", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 38, pp. 2721-2731, 2011.

[7] M. Xiao-jian, W. Shi-weia, S. Shun-zo, "Preparation of Porous Silica Ceramics with Low Dielectric Constant", Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 19, pp. 5239-5243, 2006.

[8] T. T. Dele-Afolabia, M. A. Azmah Hanima, M. Norkhairunnisab, S. Sobric, R. Calin, "Research trend in the development of macroporous ceramic components by pore forming additives from natural organic matters: A short review", Journal of Ceramics International, Vol. 43, pp. 1633-1649, 2017.

[9] R. L. Menchavez, M. Fuji, T. Shirai, T. Kumazawa, "Electrically Conductive Porous Alumina/Graphite Composite Synthesized by Starch Consolidation with Reductive sintering", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 34, pp. 717-729, 2013.

[10] M. H. Talou, M. A. Camerucci, "Processing of porous mullite ceramics using novel routs by starch consolidation casting", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 35, pp. 1021-1030, 2015.

[11] M. L. Sandoval, M. A. Camerucci, A. G. Tomba Martinez, "High-Temperature Mechanical Behavior of Cordierite-based Porous Ceramics Prepared by Modified

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]

Cassava Starch Thermogelation", Journal of Materials Science, Vol. 47, pp. 8013-8021, 2012.

[12] E. Gregorova, W. Pabst, "'Process Control and Optimized Preparation of Porous Alumina", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 31, pp. 2073-2081, 2011.

[13] G. Xu, Zh. Chen, X. Zhang, H. Cui, Z. Zhang, X. Zhan, "Preparation of porous Al_2TiO_5-Mullite ceramic by starch consolidation casting and its corrosion resistance characterization", Journal of Ceramics International, Vol. 42, pp. 14107-14112, 2016.

[14] C. Galassi, "Processing of Porous Ceramics: Piezoelectric Materials", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 26, pp. 2951-2958, 2006.

[15] Z. Zivcova, E. Gregorova, W. Pabst, "Low- and High-Temperature Processes and Mechanism in the Preparation of Porous Ceramics via Starch Consolidation Casting", Starch/Stärke, Vol. 62, pp. 3-10, 2010.

[16] E. Gregorova, Z. Zivcova, W. Pabst, "Starch as a Pore-forming and Body-forming Agent in Ceramic Technology", Starch/Stärke, Vol. 61, No. 9, pp. 495-502, 2009.

[17] E. Gregorova, Z. Zivcova, W. Pabst, "Porosity and Pore space Characteristics of Starch-processed Porous Ceramics", Journal of Materials Science, Vol. 41, No, 18, pp. 6119-6122, 2006.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1396.6.2.5.4]