فصلنامه سرامیک ایران

تهیه و بررسی مشخصات کامپوزیت های ژئوپلیمری حاوی ذرات آلومینا در دمای محیط و پس از حرارت‌دهی

اعظم موسوی کاشی*، سحر اسدی، حمیرا جمالی شورکی

دانشکده فنی و مهندسی، گروه مواد غیرفلزی و حفاظت، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران



نویسنده مسئول:
دکتر اعظم موسوی‌کاشی
دانشگاه علوم و تحقیقات تهران
a-moosavi@srbiau.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی
صفحه‌های: ۹ تا ۱۶
شاپا چاپی: ۳۳۵۱-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۷-۲۷۸۳
زبان نشریه: فارسی
دسترس‌پذیر در نشانی:
www.JICERS.ir
تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۰۶/۲۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۰۸/۰۴
DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2

چکیده: *در این پژوهش کامپوزیت ژئوپلیمری با استفاده از متاکائولن، سیلیکافیوم و هیدروکسید پتاسیم به عنوان فعال‌کننده قلیایی به همراه ذرات آلومینا تهیه شدند. با تهیه نسبت های مولی مختلف Si:Al =۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و K:Si =۰/۲۰، ۰/۲۵ ، ۰/۳۳ ترکیب ژئوپلیمر با نسبت مولی Si:Al و K:Si به ترتیب ۲/۵ و ۰/۳۳ بیشترین استحکام مکانیکی را در دمای اتاق نشان داد، اما تغییر شکل و ریزساختار متخلخل آن در دماهای بالا پایداری ابعادی و استحکام را به شدت کاهش داد. بنابراین نمونه‌های کامپوزیتی تهیه، خصوصیات ریزساختاری و استحکام مکانیکی آن‌ها در دمای اتاق و پس از حرارت‌دهی در دماهای ۶۰۰ و ۱۰۰۰°C بررسی شد. تغییرات قابل توجه در ریزساختار و استحکام نمونه‌ها با افزایش دما مشاهده شد. در نمونه‌های پخت شده در دمای ۱۰۰۰°C ، حضور فاز مایع موجب فروپاشی تخلخل ها، ایجاد اتصال قوی بین ذرات و افزایش تراکم شد.*

کلمات کلیدی: *ژئوپلیمر، کامپوزیت، ذرات آلومینا، فاز مایع.*

۱- مقدمه

ژئوپلیمرها ترکیباتی پلیمری از آلومینوسیلیکات ها هستند که با ترکیبات قلیایی فعال‌سازی می شوند، به طوری که مواد اولیه آلومینیومی و سیلیکونی آن ها در محلول قلیایی حل می شود. خصوصیات ساختاری و خواص ژئوپلیمرها با تغییر نسبت مولی Si به Al، نوع و غلظت کاتیون فلزی، درصد آب وشرایط پروراندن تغییر می‌کند. قرارگیری آلومینیوم سه ظرفیتی به جای سیلیکون چهار ظرفیتی در واحدهای ساختاری چهاروجهی، موجب کمبود یک بار الکتریکی می شود که توازن بار الکتریکی توسط کاتیون های فلزی قلیایی معمولا سدیم و پتاسیم برقرار می شود [۱-۴]. برای تهیه ژئوپلیمرها می‌توان از متاکائولن و مواد ضایعاتی مانند سرباره کوره ذوب آهن، نرمه خاکستر حاصل در نیروگاه های تولید برق که با سوخت فسیلی کار می‌کنند و سیلیس حاصل از کارخانه های تولید آلیاژهای فروسیلیس (محصول فرعی) استفاده کرد. بنابراین هزینه مواد اولیه ترکیبات ژئوپلیمری کم و تولید آن‌ها گام مهمی در جهت استفاده و به کارگیری محصولات فرعی و مواد آلوده کننده محیط زیست است [۵ و۶]. ژئوپلیمرها در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی دارای کاربردهایی مانند بتون و ملات بوده و همچنین دارای کاربردهای دما بالا، مانند مقاومت به آتش و حرارت با قابلیت بهتر نسبت به سیمان پرتلند معمولی هستند [۷-۱۲]. زمانی که بتن سیمانی در مجاورت

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

حرارت قرار بگیرد گروه‌های هیدروکسید کلسیم در حدود دمای ۳۰۰–۴۰۰°C شروع به تجزیه می‌کنند. کربنات کلسیم در دمای ۷۰۰°C تجزیه و در ۸۰۰°C ذوب می‌شود. بنابراین نیاز به استفاده از ژئوپلیمرها با تحمل دمایی بالا وجود دارد. قطعات و پوشش های ساخته شده از مواد ژئوپلیمری مقاوم به حرارت و آتش هستند و بررسی خصوصیات حرارتی آن‌ها لازم است [۱۳]. اما از طرفی ژئوپلیمر حاصل دارای ساختار آمورف است و مانند بسیاری از مواد سرامیکی از نظر مکانیکی ترد بوده و چقرمگی کمی نشان می‌دهد. بنابراین با افزودن ذرات یا الیاف به عنوان تقویت کننده در طی پروسه های اختلاط و شکل‌دهی، خواص آن‌ها اصلاح می شود. برای افزایش استحکام مکانیکی و حفظ شکل ظاهری قطعات ژئوپلیمری در دماهای بالا، استفاده از ذرات تقویت کننده دیرگداز مانند سیلیس، آلومینا و آلومینوسیلیکات‌ها ضروری به نظر می‌رسد [۷ و ۱۱].

در این پژوهش از متاکائولن، سیلیکافیوم و هیدروکسید پتاسیم برای تهیه ژئوپلیمر با ترکیب بهینه و از ذرات آلومینا به عنوان ذرات تقویت‌کننده برای تهیه کامپوزیت استفاده شد. بررسی ریزساختار و خصوصیات مکانیکی قطعات تهیه‌شده بعد از حرارت‌دهی در دمای ۶۰۰ و ۱۰۰۰°C مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲– مواد و روش تحقیق

برای تهیه ژئوپلیمر از متاکائولن، سیلیکافیوم و هیدروکسید پتاسیم استفاده شد، در جدول (۲–۱) آنالیز مواد اولیه دیده می‌شود. لازم به ذکر است که آنالیزها توسط شرکت تهیه‌کننده مواد اولیه ارائه شده است. برای به دست‌آوردن فرمول بهینه با توجه به مواد اولیه موجود، تغییرات مولی $SiO_2:Al_2O_3$ که موثرترین پارامتر است مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نسبت های ۳، ۲/۵، ۲، Si:Al=۱/۵ ، تنظیم مقدار آب و درصد بهینه ترکیبات قلیایی و همچنین بهترین روش اختلاط مواد افزودنی و افزودن مقادیر مناسب آن ها به دوغاب ژئوپلیمری، در کیفیت نهایی محصول تاثیر بسیاری دارد. ابتدا محلول سیلیکات قلیایی با مخلوط کردن سیلیکافیوم و هیدروکسید پتاسیم تهیه شد، به این ترتیب که میزان آب مورد نظر را توزین کرده و به آن هیدروکسید پتاسیم با نسبت‌های مولی ۰/۳۳ ، ۰/۲۵ ، ۰/۲۰= $KOH:SiO_2$ افزوده و در نهایت سیلیکا فیوم اضافه شد. پس از آن که محلول قلیایی کاملا همزده و آماده شد، متاکائولن به آن افزوده و مدت یک ساعت مخلوط شدند تا دوغاب یکنواختی به دست آمد. برای تهیه بدنه‌های ژئوپلیمری، دوغاب آماده شده در داخل قالب پلاستیکی با ابعاد mm^3 ۶۰×۱۵×۱۵ و قالب‌های استوانه‌ای با قطر mm ۳۰ و ارتفاع mm ۶۰ ریخته و سپس به مدت ۱۵ دقیقه توسط دستگاه، تحت عملیات لرزش قرار گرفتند تا حباب‌های آن به طور کامل خارج شد. بدین ترتیب نمونه‌های استحکام خمشی و فشاری حاصل و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق پرورانده شدند، پس از آن به مدت ۲۴ الی ۳۰ ساعت در دمای ۶۵ تا ۸۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. محیط پروراندن باید کاملا پوشیده باشد تا بخار آب از آن خارج نشود. برای تهیه بدنه‌های کامپوزیتی ذرات افزودنی با دانه‌بندی مختلف به زمینه ژئوپلیمری با ترکیب بهینه اضافه و مشابه قسمت قبل شکل‌دهی و خواص مکانیکی آن‌ها بعد از حرارت‌دهی در دماهای ۶۰۰ و ۱۰۰۰ °C، با سرعت ۵°C/min مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی دقیق نمونه های تهیه شده از آزمون اشعه X (XRD, Siemens D500) و تصاویر میکروسکوپی الکترونی روبشی (FE-SEM, MIRA3 TESCAN, Czech) و نوری استفاده شد تا تغییرات ایجاد شده در اثر حرارت دهی در تغییر فازهای کریستالی و ریزساختار مورد بررسی و بحث قرار گیرد. همچنین استحکام فشاری و خمشی نمونه‌های ژئوپلیمری و نمونه‌های کامپوزیتی در دمای اتاق و بعد از حرارت‌دهی مورد ارزیابی قرار گرفتند. استحکام فشاری طبق استاندارد ASTM C 133-97 و خمشی (۳ نقطه‌ای) با کمک دستگاه استحکام سنجی انجام گرفت.

جدول ۲–۱: آنالیز شیمیایی مواد اولیه

آنالیز	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	Cl	C	Si	LOI
متاکائولن	۵۴	۴۶	۰/۰۹	۱/۲	۰/۶۵	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۳	–	–	–	–	۱/۵
سیلیکافیوم	۹۶/۴	۱/۳۲	۰/۴۹	۰/۸۷	–	۰/۹۷	۰/۳۱	۱/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۵۲

۳– نتایج و بحث

برای بهینه‌سازی نسبت مواد اولیه در تهیه زمینه ژئوپلیمری بررسی نسبت‌های مولی ۳، ۲/۵، ۲، Si:Al=۱/۵ و ۰/۳۳ ، ۰/۲۵، ۰/۲۰= $KOH:SiO_2$ انجام گرفت و در نهایت با بررسی استحکام خمشی نمونه‌ها و مقایسه آن‌ها با یکدیگر نمونه بهینه با نسبت

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

مولی Si:Al =۲/۵ و $KOH:SiO_2$ =۰/۳۳ با استحکام خمشی ۱۰/۶۰ مگاپاسکال در دمای محیط انتخاب شد. اما با حرارت‌دهی نمونه بهینه تغییر شکل و بادکردگی قابل توجه‌ای مشاهده شد، همان طور که در شکل (۳-۱) دیده می‌شود نمونه بعد از پخت در دمای ۱۰۰۰°C تغییر شکل داده و اندازه‌گیری استحکام آن با خطا همراه بود. نمونه های فشاری از ژئوپلیمر نیز پس از حرارت‌دهی به صورت ورم کرده و بشکه ای شکل درآمدند. بنابراین برای اندازه گیری استحکام، سطح تعدادی از آن‌ها برش داده شد اما به دلیل حجم زیاد تخلخل و ناصافی سطح برش خورده اعداد استحکام فشاری از صحت پایینی برخوردار بودند.



شکل ۳-۱: تصویر نمونه ژئوپلیمری با ترکیب بهینه بعد از پخت در دمای ۱۰۰۰°C

پس از بررسی‌های انجام‌شده سعی شد تا با اضافه کردن ذرات آلومینا و تهیه نمونه‌های کامپوزیتی مشکل تغییر شکل و ورم کردن نمونه‌ها در اثر حرارت‌دهی برطرف شود. در سیستم کامپوزیتی مورد نظر، زمینه ژئوپلیمری به عنوان جز ریز دانه ترکیب همراه با مواد افزودنی (ذرات آلومینا) تشکیل توزیع اندازه ذرات را می‌دهند. مقدار، حجم و اندازه این اجزا و به طور کلی توزیع اندازه ذرات تاثیر بسیار زیادی بر خواص کامپوزیت حاصل و خواص جریان یابی (پر کردن قالب) و چگالی آن‌ها دارد. در جدول (۳-۱) فرمول نمونه‌های تهیه شده مشاهده می‌شوند.

جدول ۳-۱: نمونه‌های کامپوزیتی با دانه‌بندی‌های مختلف ذرات آلومینا (۰/۵mm-۰) ریز، (۱mm-۰/۵) متوسط و (۳mm-۱) درشت و پرکننده <۴۰μm

نمونه	ریز (گرم)	متوسط (گرم)	درشت (گرم)	پرکننده (گرم)
C۱	۳۵	۳۰	۳۵	-
C۲	۳۰	۳۵	۳۵	-
C۳	۶۵	-	۳۵	-
C۴	۶۵	۳۵	-	-
C۵	۳۵	۳۵	-	۳۰

۷۰ درصد حجمی ذرات آلومینا به همراه ۳۰ درصد حجمی ژئوپلیمر برای ۵ نمونه کامپوزیت با کدهای C۱، C۲، C۳، C۴ و C۵ در نظر گرفته شد. بعد از تهیه نمونه‌های کامپوزیتی مشاهده شد که کامپوزیت‌های C۱، C۲ و C۳ نیز دارای تاب برداشتگی هستند اما نمونه C۴ و C۵ دارای ثبات ابعادی مناسبی بودند. نمونه های کامپوزیتی تهیه شده جهت بررسی مشخصات در برابر حرارت، در دماهای ۶۰۰ و ۱۰۰۰°C با ماندگاری ۲ ساعت پخت شدند. در مقایسه‌ی نمونه های دارای افزودنی با نمونه ژئوپلیمری مشاهده شد که ورم و تغییر شکل به طرز چشمگیری کاهش یافته است. به طور کلی می‌توان اتلاف وزنی و تغییر شکل بدنه‌های ژئوپلیمری بعد از حرارت دهی را به تبخیر آب و از دست دادن OH مربوط دانست. بدنه‌های ژئوپلیمری سخت

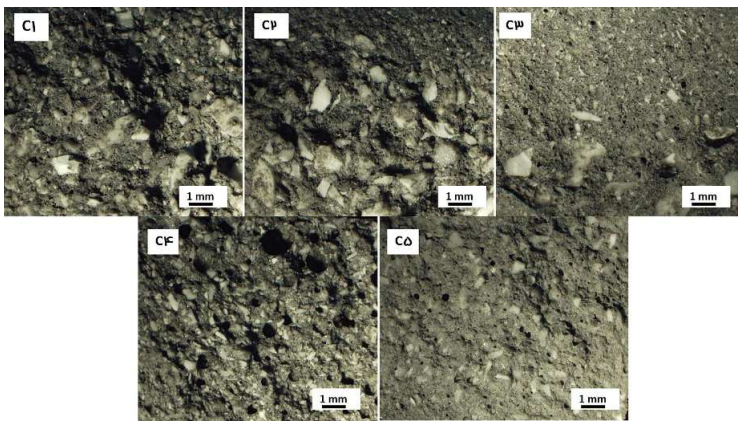
[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

شده دارای آب فیزیکی، آب شیمیایی و گروه‌های هیدروکسیل هستند که هر کدام در گستره دمایی مختلفی به ترتیب حدود دمای ۱۰۰، ۳۰۰ و بیشتر از ۳۰۰ °C از بدنه خارج می‌شوند [۱۳]. تعداد زیادی نمونه با شرایط گفته شده تهیه و جهت اندازه‌گیری استحکام فشاری و خمشی (۳ نقطه‌ای) با کمک دستگاه استحکام سنجی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در جدول (۳-۲) میانگین استحکام خمشی و فشاری نمونه ها در دماهای مختلف مشاهده می شود. تغییر شکل، ورم و باد کردگی نمونه‌ها با استفاده از ذرات تقویت‌کننده از بین رفت و همچنین با افزایش دما، تغییر رنگ نمونه های کامپوزیتی از تیره به روشن نیز قابل تشخیص بود. تغییر رنگ به علت از بین رفتن مواد ناخالصی در پروسه حرارت‌دهی است.

جدول ۳-۲: استحکام خمشی و فشاری نمونه‌ها در دماهای مختلف (برحسب مگاپاسکال)

نمونه	محیط	600 °C	1000 °C
Geopolymer (خمش-فشار)	؟-۱۰/۶۰	؟-۷/۶۰	۶/۷۰-۲/۳۰
C۱ (خمش-فشار)	۴۰/۶۰-۱۸/۸۰	۳۳/۹۱-۲۴/۴۰	۵۰/۳۱-۲۵/۷۲
C۲(خمش- فشار)	۵۶/۱۳-۲۹/۶۰	۴۶/۵۴-۱۰/۳۰	۵۱/۱۰-۱۴/۵۲
C۳(خمش-فشار)	۴۵/۴۰-۳۲/۸۱	۴۰/۰۸-۲۴/۹۰	۳۵/۳۲-۱۷/۶۰
C۴ (خمش-فشار)	۵۶/۹۰-۲۹/۲۰	۲۶/۰۱-۲۵/۱۰	۴۲/۳۲-۲۵/۵۰
C۵(خمش-فشار)	۶۰/۰۱-۴۲/۵۰	۳۸/۰۰-۳۲/۰۲	۵۵/۰۶-۴۰/۱۰

همان طور که از اعداد جدول (۳-۲) دیده می شود نمونه های کامپوزیتی دارای استحکام های بالایی هستند که بایستی بررسی های بیشتر به کمک آنالیزهای فازی و میکروسکوپ نوری و الکترونی انجام شود. در شکل (۳-۲) تصویر میکروسکوپ نوری سطح مقطع شکست تعدادی از نمونه های کامپوزیتی دیده می شود. در نمونه C۱، C۲ و C۳ توزیع غیر یکنواخت ذرات افزودنی به رنگ روشن در زمینه ژئوپلیمری به رنگ تیره قابل مشاهده است. به طوری که در نمونه C۳ ذرات درشت تر در قسمت انتهایی نمونه تجمع کرده اند. در نمونه های C۴ و C۵ توزیع یکنواخت‌تری از ذرات افزودنی را شاهد هستیم. اما نمونه C۴ دارای مقدار زیادی تخلخل در سطح مقطع شکست است که موجب کاهش استحکام می‌شود. بنابراین نمونه C۵ به دلیل توزیع مناسبی از ذرات فاز افزودنی دارای بهترین پخش‌شدگی ذرات در زمینه ژئوپلیمری بوده و همچنین بیشترین استحکام در این نمونه به دست آمد.

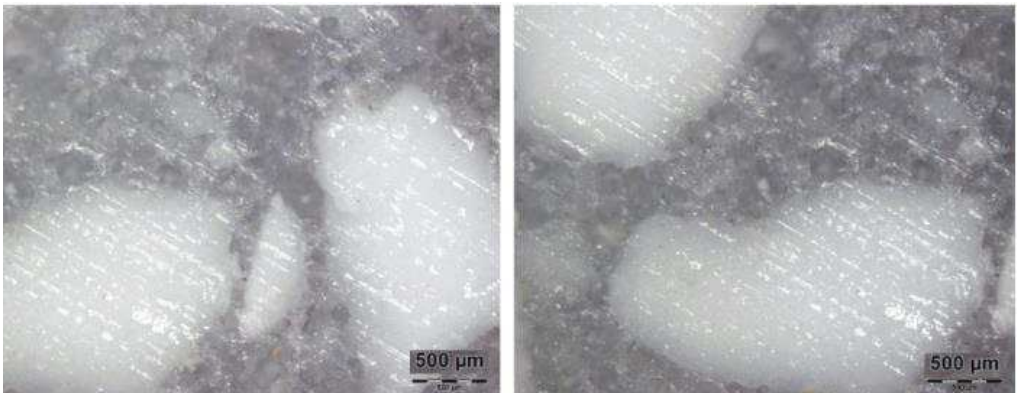


شکل ۳-۲: تصویر میکروسکوپ نوری سطح مقطع شکست نمونه‌های کامپوزیتی C۱، C۲، C۳، C۴ و C۵ در دمای اتاق

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

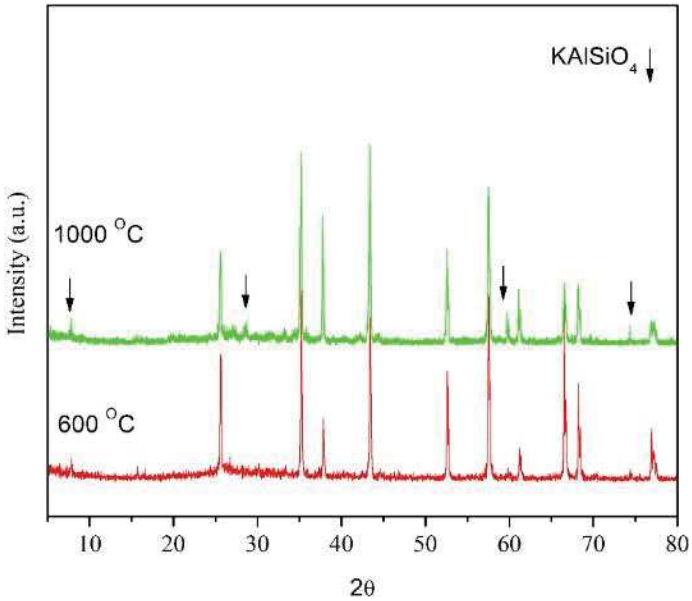
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

در بررسی دقیق‌تر تصویرهای میکروسکوپ نوری از نمونه C۵ (شکل ۳-۳) دیده شد که اتصال خوبی بین زمینه ژئوپلیمری و ذرات تقویت کننده ایجاد شده است و همین امر باعث رسیدن به استحکام های فشاری و خمشی بالایی (مطابق جدول ۳-۲) می شود. در این شکل ذرات آلومینای درشت دانه به خوبی نمایان هستند و با دقت کردن در تصویر، ذرات ریزتر آلومینا، پخش شدن و چسبیدن ذرات به زمینه ژئوپلیمری مشخص می‌شود.



شکل ۳-۳: تصاویر میکروسکوپ نوری از نمونه C۵

بعد از گرفتن طیف پراش اشعه X از نمونه ژئوپلیمری، دیده شد که در نمونه ژئوپلیمری فاز غالب فاز آمورف است و مقداری فازهای کوارتز و ایلیت ($Al_3H_2KO_{12}Si$ – هیدروکسید آلومینوسیلیکات پتاسیم) نیز وجود دارد. اما با افزودن ذرات آلومینا به ترکیب ژئوپلیمری، طیف پراش اشعه X گرفته شده ار نمونه‌ها نشان داد که فاز کوارتز و ایلیت حذف شده و به دلیل حرارت دهی نمونه ها فاز آمورف کاهش یافته و شدت فازهای کریستالی افزایش داشته است. در شکل (۳-۴) طیف پراش اشعه X نمونه C۵ در دماهای ۶۰۰ و ۱۰۰۰°C دیده می‌شود. با توجه به شکل با افزایش دما از ۶۰۰ به ۱۰۰۰°C شدت پیک‌های فاز $KAlSiO_4$ با شماره کارت استاندارد (۲۲۶۷-۰۸۱-۰۱) افزایش داشته است. فاز $KAlSiO_4$ با علامت فلش در شکل نمایش داده شده است و مابقی پیک‌ها متعلق به فاز کوراندوم است. حضور فاز کوراندوم به دلیل استفاده از ذرات آلومینا به عنوان فاز تقویت‌کننده است.

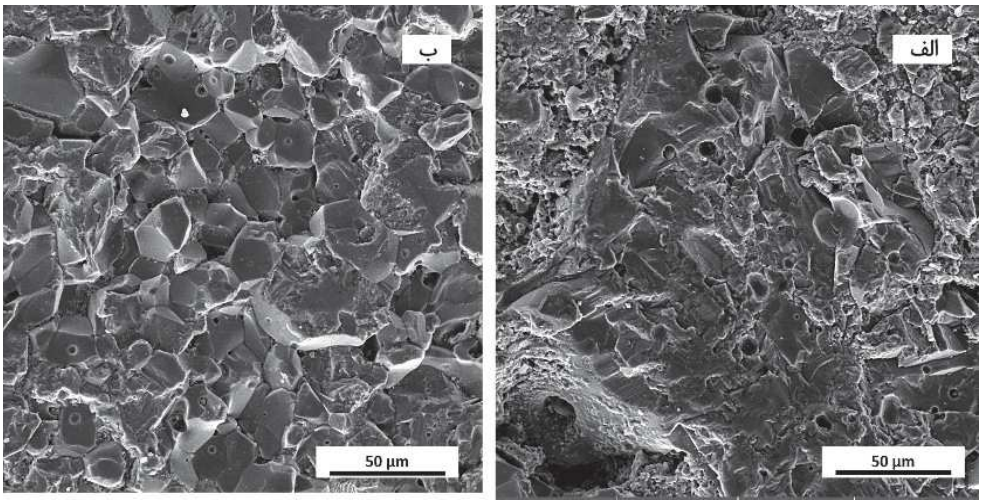


شکل ۳-۴: تصویر پراش اشعه X نمونه C۵ در دمای ۶۰۰ و ۱۰۰۰°C

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های C۵ در دماهای مختلف نشان داد که رسوبات نانومتری ژئوپلیمر، تخلخل، ذرات آلومینا و متاکائولن واکنش نکرده یا جزئی واکنش کرده حضور دارند (تصویر در این مقاله آورده نشده است). فاز ژئوپلیمری ذرات آلومینا

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

را به یکدیگر می‌چسباند و مطابق شکل (۳-۵) تخلخل‌های بزرگی در دمای ۶۰۰°C حاصل شد. همین پدیده طبق جدول (۳-۲) باعث کاهش استحکام مکانیکی نمونه C۵ در دمای ۶۰۰°C در مقایسه با نمونه‌های حرارت دهی نشده می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دمای ۶۰۰°C اثر منفی بر خواص مکانیکی دارد. با افزایش دما تا ۱۰۰۰°C و تشکیل فاز مایع ریز ساختار یکنواخت‌تر و استحکام مکانیکی افزایش یافت [۱۴]. همان طور که در شکل (۳-۵ب) دیده می‌شود تخلخل‌ها کاهش یافته و ریزساختار متراکم‌تری حاصل شد. به طوری که طبق جدول (۳-۲) در دمای ۶۰۰°C نمونه C۵ دارای استحکام خمشی MPa ۳۲/۰۲ و استحکام فشاری MPa ۳۸/۰۰ است و با افزایش دما به ۱۰۰۰°C استحکام خمشی MPa ۴۰/۱۰ و استحکام فشاری MPa ۵۵/۰۶ شده است.



شکل ۳-۵: تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه C۵ حرارت‌دهی شده در: الف): دمای ۶۰۰°C و ب): ۱۰۰۰°C

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش ترکیب ژئوپلیمر با نسبت مولی Si:Al و K:Si به ترتیب ۲/۵ و ۰/۳۳ تهیه و با افزودن ذرات آلومینا با اندازه دانه‌های مختلف به عنوان فاز افزودنی نمونه‌های کامپوزیتی تهیه شدند. نمونه کامپوزیتی بهینه شامل ۳۵ گرم ذرات ریزدانه، ۳۵ گرم ذرات با اندازه متوسط و ۳۰ گرم ذرات پر کننده از آلومینا است که همراه با فاز ژئوپلیمر بیشترین استحکام را دمای اتاق و دمای ۱۰۰۰°C به همراه داشتند. در بررسی‌های میکروسکوپ نوری توزیع یکنواختی از ذرات افزودنی و اتصال خوبی بین فاز زمینه و افزودنی در نمونه بهینه مشاهده شد. همچنین در بررسی پراش اشعه X نمونه تشکیل فاز $KAlSiO_4$ با افزایش دما به ۱۰۰۰°C مشاهده شد. در تصویرهای میکروسکوپ الکترونی تشکیل فاز مایع و اتصال ذرات افزودنی به زمینه که منجر به ریزساختار متراکم و افزایش استحکام مکانیکی در دمای ۱۰۰۰°C می‌شود تایید شد.

مراجع

[1] Barbosa, V., Mackenzie, K., & Thaumaturgo, C. (2000). Synthesis and characterization of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers. International Journal of Inorganic Materials, 2(2), 309-317.
[2] Lyon, R.E., Balaguru, P.N., Foden, M., Sorathia, U., Davidovits, J., & Davidovits, D. (1997). Fire resistant aluminosilicate composites. Fire and Materials, 21, 67-73.
[3] Lemougna, P.N., Mackenzie, K.J.D., & Chinje Melo, U.F. (2011). Synthesis and thermal properties of inorganic polymers (geopolymers for structural and refractory applications from volcanic ash. Ceramic International, 37, 3011-3018.
[4] Xu, H., & Deventer, J.S.J. (2000). The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. International Journal Process, 59, 247-266.
[5] Davidovits, J. (1991). Gepolymers: Inorganic geopolymerc new materials. Journal of thermal analysis, 37, 1633-1656.
[6] Duxson, P., Fernandez-Jimenez, A., Provis, J.L., Lukey, G.C., Palomo, A., & Deventer, J.S.J. (2007). Geopolymer technology: The current state of the art. Journal of Materials and Science, 42, 2917-2933.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]
[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

[7] Kamseu, E., Rizzuti, A., Leonelli, C., & Perera, D. (2010). Enhanced thermal stability in K_2O-metakaoline-based geopolymer concretes by Al_2O_3 and SiO_2 fillers addition. Journal of Materials Science, 45, 1715-1724.
[8] Gao, K., Lin, K.L., Wang, D., Hwang, C.L., Shiu, H.S., Chang, Y.M., & Cheng, T.W. (2014). Effects of SiO_2/Na_2O molar ratio on mechanical properties and the microstructure of nano-SiO_2 metakaolin-based geopolymers. Construction and Building Materials, 53, 503-510.
[9] Yuan, J., He, P., Jia, D., Yan, S., Cai, D., Xu, L., Yang, Z., Duan, X., Wang, S., & Zhou, Y. (2016). SiC fiber reinforced geopolymer composites, part 1: Short SiC fiber. Ceramics International, 42, 5345-5352.
[10] Wan, Q., Rao, F., Song, S., & Gonzalez, D.F.C. (2017). Combination formation in the reinforcement of metakaolin geopolymers with quartz sand. Cement and Concrete Composites, 80, 115-122.
[11] Bernal, S.A, Bejarano, J., Garzon, C., Gutierrez, R.M., Delvasto, S., & Rodriguez, E.D. (2012). Performance of refractory aluminosilicate particle/fiber-reinforced geopolymer composites. Composites: Part B, 43, 1919-1928.
[12] Kuenzel, C., Li, L., Vandeperre, L., Boccaccini, A.R., & Cheeseman, C.R. (2014). Influence of sand on the mechanical properties of metakaolin geopolymers. Construction and Building Materials, 66, 442-446.
[13] He, R., Dai, N., & Wang, Z. (2020). Thermal and Mechanical Properties of Geopolymers Exposed to High Temperature: A Literature Review. Advances in Civil Engineering, 2020, 7532703, 17 pages.
[14] Svancarek, P., Galusek, D., Calvert, C., Loughran, F., Brown, A., Brydson, R., & Riley, F. (2004). A comparison of the microstructure and mechanical properties of two liquid phase sintered aluminas containing different molar ratios of calcia-silica sintering additives. J. European Ceramic Society, 24, 3453–3463.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]

Preparation and Evaluation of Geopolymer Composites Containing Alumina Particles at Ambient Temperature and After Heating

Azam Moosavi*, Sahar Asadi, Homeira Jamali Shoraki

Department of Materials Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

* a-moosavi@srbiau.ac.ir

Abstract: In this research, geopolymer composites were prepared using metakaolin along with silica fume and potassium hydroxide as alkaline activators and alumina particles. The effect of alumina particle size to achieve castable microstructure and their mechanical properties were investigated. Different Si:Al mole ratio (1.5, 2, 2.5 and 3) and K:Si mole ratio (0.20, 0.25, 0.33) were formulated and the strength was maximized at Si:Al= 2.5 and K:Si= 0.33. However, its deformation and porous microstructure at high temperatures greatly reduced dimensional stability and strength. Microstructural properties and mechanical strength of samples sintered at 600, and 1000ºC after heating and at environmental conditions were studied and significant changes in the microstructure and strength of samples were observed. Sintering in the presence of the liquid phase caused the pores to collapse, creating a strong bond between the particles and increasing the density at 1000ºC.

Keywords: Geopolymer, Composite, Alumina particles, Liquid phase.

[Downloaded from jicers.ir on 2026-11-23]

[DOR: 20.1001.1.17353351.1400.17.0.3.2]