

بررسی مقایسه اثر آندالوزیت ایرانی و خارجی بر روی ریز ساختار و خواص فیزیکی و مکانیکی جرمهای ریختنی کم سیمان پایه بوکسیتی

نفیسه سهرابی، احسان طاهری نساج و رحیم نقی زاده

چکیده: در این تحقیق به بررسی مقایسه اثر آندالوزیت ایرانی (همدان) و خارجی (آفریقای جنوبی) بر روی ریز ساختار، خواص فیزیکی و مکانیکی جرمهای ریختنی کم سیمان پایه بوکسیتی پرداخته شده است. مینرال های گروه سیلیمانیت هنگام گرم شدن تحت شرایط اکسیدی ایجاد مخلوطی از فازهای مولایت و شیشه غنی از سیلیس می کنند. استفاده از آندالوزیت به عنوان جایگزین بخشی از بوکسیت ریزدانه با اندازه ذرات $< 0.1 \text{ mm}$ به دلیل تجزیه آندالوزیت به مولایت و شیشه سیلیسی و افزایش تشکیل فاز مولایت اولیه با مورفولوژی غیر سوزنی و مولایت ثانویه با مورفولوژی سوزنی، باعث افزایش خواص مکانیکی می گردد. مولایت اولیه، مولایت حاصل از تجزیه آندالوزیت و مولایت ثانویه، حاصل از واکنش سیلیس آمورف استخراج شده از آندالوزیت با آلومینای موجود در زمینه می باشد. همچنین استفاده از آندالوزیت ایرانی به جای آندالوزیت خارجی، باعث افزایش خواص مکانیکی و ریز ساختاری دیرگدازهای پایه بوکسیتی می گردد.

واژه های کلیدی: جرم ریختنی کم سیمان، آندالوزیت، بوکسیت

۱. مقدمه

دیرگدازهای بی شکل (منولیتیک) دسته وسیعی از مواد دیرگداز هستند که استفاده از آنها به دلیل روش های نصب سریع و آسان، هزینه های تولید کمتر و عدم حضور درزهای اتصالی به سرعت در حال افزایش است [1]. طبقه بندی دیرگدازهای بی شکل بر اساس استانداردهای مختلف صورت می گیرد. تقسیم بندی مرسوم جرم های دیرگداز بر اساس روش های نصب و کاربرد به صورت محصولات ریختنی، کوبیدنی، پاشیدنی، ملات و جرمهای تعمیراتی می باشد [2]. یکی از متداول ترین تقسیم بندی های دیرگدازی ریختنی بر اساس سیستم اتصال می باشد. در این نوع تقسیم بندی، دیرگدازهای ریختنی بر اساس درصد سیمان آلومینات کلسیم به دیرگدازهای ریختنی با سیمان بالا، سیمان متوسط، کم سیمان، بسیار کم سیمان و بدون سیمان طبقه بندی می شوند [3]. جرمهای ریختنی کم سیمان عموماً ترکیبی از اگریگیت ها (بوکسیت کلسینه

شده، آلومینای تبولار، ...)، مواد اتصال دهنده نظیر سیمان، افزودنیها (دفلوکولانت ها، کندکننده ها و تسریع کننده های گیرش) و مواد پرکننده (میکروسیلیس، آلومینای راکتیو و ...) می باشند. هدف این تحقیق بررسی مقایسه تاثیر آندالوزیت ریزدانه ایرانی (همدان) و خارجی (آفریقای جنوبی) بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی جرمهای ریختنی کم سیمان پایه بوکسیتی می باشد. مولایت به دلیل خواص فیزیکی، مکانیکی و ترمومکانیکی یک ماده منحصر برای دیرگدازهای با کاربرد ویژه می باشد [4, 5]. فاز مولایت می تواند از مینرالهای آلومینوسیلیکاتی مانند آندالوزیت و کیانیت که دارای Al_2O_3 و SiO_2 می باشند، تشکیل شود. آندالوزیت در جاییکه تشکیل مولایت مطلوب می باشد، مهمترین جزء در دیرگدازهای بر پایه آلومینا است [6].

مولایتی شدن آندالوزیت باعث ایجاد مقدار زیادی شیشه (تقریباً ۱۷٪ وزنی) می شود اما در حقیقت قسمت اعظم شیشه در شبکه مولینه ای از دانه های مولایت محصور می شود. بنابراین مقدار کمی شیشه (تقریباً ۳/۵٪ وزنی در دمای 1600°C) که نتوانسته به داخل فضاهای خالی مابین کریستال های مولایت منتقل شود، آزاد باقی می ماند. نتایج بررسی ها نشان می دهد که وقتی آندالوزیت میکرونیزه شده با پودر آلومینای ریز مخلوط می شود، سوزن های مولایت ثانویه از طریق واکنش شیشه سیلیسی حاصل از عملیات

مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۳/۴ دریافت شده و در تاریخ ۱۳۸۳/۱۱/۲۴ به تصویب نهایی رسیده است.

نفیسه سهرابی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

احسان طاهری نساج، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

رحیم نقی زاده، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه علم و صنعت

ایران. maghzadeh@iust.ac.ir

مولایت می باشند. آنالیز شیمیایی و فیزیکی مواد اولیه مصرفی در جدول ۱ آورده شده است.

۲-۲. روش کار

ابتدا توزیع اندازه ذرات جرمها با استفاده از معادله دینگر و فونک (آندریازن اصلاح شده) با $n=0/28$ محاسبه می شود که پس از تبدیل به درصد وزنی، نتایج در جدول ۲ گزارش شده است. ترکیب افزودنی A شامل $0/15$ درصد وزنی اسید سیتریک (تسریع کننده گیرش) $0/005$ درصد وزنی کربنات سدیم (کند کننده گیرش) و $0/15$ درصد وزنی تری پلی فسفات سدیم (دفلوکولانت کننده) می باشد. بر اساس مطالعات محققین، دلیل استفاده از تسریع کننده و کندکننده گیرش به صورت همزمان به دو دلیل است: اولاً افزودنی انتخاب شده برای یک خاصیت ویژه غالباً خواص دیگر را نیز اصلاح می کند. ثانیاً به دلیل اینکه اثرات یک افزودنی تنها بسیار قوی می باشد و اغلب باعث تغییرات زیاد خواص در محدوده کوچکی از تغییرات افزودنی می شود، پس بهتر است به صورت همزمان با افزودنی های دیگر استفاده گردد [8]. مواد به صورت خشک در مخلوط کن هوبارت ۵ لیتری ریخته شده و یک دقیقه مخلوط می شود. سپس آب مناسب در مخلوط کن هوبارت هنگام کار کردن آن در دو مرحله ریخته شده و عمل مخلوط کردن ۵ دقیقه دیگر ادامه می یابد. میزان آب بهینه جهت

تجزیه آندالوزیت با آلومینای ریز ایجاد می شوند. این واکنش بیانگر آن است که با استفاده از آندالوزیت در اندازه ذرات متفاوت می توان مقدار سیلیس باقیمانده در جرم را کنترل کرد و خواص جرمهای بوکسیتی را بهبود داد [5, 7].

۲. روش تحقیق و نتایج

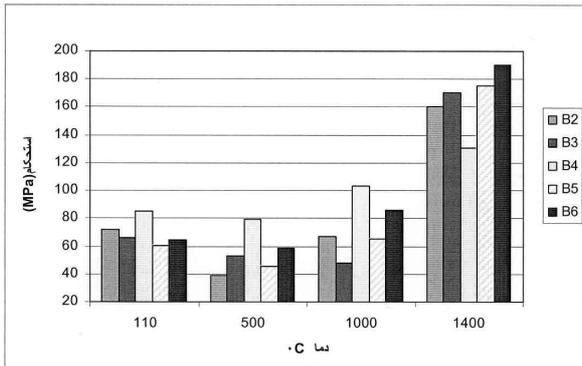
به منظور مقایسه اثر آندالوزیت ریزدانه ایرانی (همدان) و خارجی (آفریقای جنوبی) بر روی جرمهای ریختنی کم سیمان پایه بوکسیتی ابتدا به معرفی مواد اولیه مصرفی، خواص و ویژگی های آن پرداخته می شود سپس مراحل تهیه نمونه را ذکر کرده و در خاتمه ریز ساختار و خواص فیزیکی و مکانیکی جرمها بررسی می گردد.

۲-۱. مواد اولیه

مواد اولیه شامل بوکسیت کلسینه شده چینی به عنوان اگریت، سیمان آلومینات کلسیم (Secar71) محصول شرکت Lafarge به عنوان عامل اتصال دهنده هیدرولیکی، پودرهای ریز میکروسیلیس ایرانی محصول شرکت فرو سیلیس ایران و آلومینای راکتیو شرکت Alcoa به عنوان پرکننده، افزودنیهای تری پلی فسفات سدیم به عنوان دفلوکولانت، کربنات سدیم تسریع کننده گیرش، اسید سیتریک کند کننده گیرش و مینرال آندالوزیت خارجی (آفریقای جنوبی) و ایرانی (همدان) نیز به عنوان جوانه زای تشکیل فاز

جدول ۱. مهمترین ویژگی های مواد اولیه مصرفی در فرمولاسیون بتون

مواد اولیه / مشخصات	بوکسیت چینی کلسینه شده	آلومینای راکتیو CL 370	میکروسیلیس ایرانی	سیمان آلومینات کلسیم	آندالوزیت خارجی (آفریقای جنوبی)	آندالوزیت ایرانی (همدان)
Al_2O_3	۸۴/۳	۹۹/۸	۱/۳۲	>۶۹	۶۱/۱۵	۵۷
SiO_2	۷/۵	۰/۰۵	۹۳/۶	<۰/۸	۳۷/۴۴	۴۰-۴۱
Fe_2O_3	۲/۱۲	۰/۰۳	۰/۷۸	>۰/۴	۰/۶۸	۰/۷
TiO_2	۳/۲۷	-	-	-	۰/۱۴	-
K_2O	۰/۲۶	-	۱/۰۱	<۰/۵	۰/۲۶	-
Na_2O	۰/۳۵	۰/۰۶	۰/۳۱	<۰/۵	<۰/۰۱	-
Li_2O	۰/۱۵	-	-	-	-	-
MgO	۰/۱۵	-	۰/۹۷	<۰/۵	۰/۱۵	۰/۲۲
CaO	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۴۹	<۳۰	۰/۱۶	۰/۱۲
متوسط اندازه ذرات (μm)	-	۲/۵	۰/۰۵-۰/۱۵	۸-۹	-	-
سطح مخصوص (m^2/g)	-	۳/۴	۲۵	۰/۴۴	-	-



شکل ۱. منحنی استحکام فشاری سرد نمونه های مختلف

پس از تست استحکام فشاری سرد نمونه های شکسته شده، خرد شده و از الک مش ۷۶ میکرون گذرانیده می شوند تا به منظور شناسایی فازهای مینرالی موجود در نمونه ها با استفاده از آنالیز پراش اشعه x توسط دستگاه مدل PW3710 ساخت کمپانی Philips هلند استفاده شوند.

آماده سازی بتون با روش گلوله در دست و میز جریان مطابق استانداردهای ASTM-C230 و ASTM-C860 تعیین گردید. بتون آماده شده در قالب های $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ فولادی در دو مرحله ریخته شده و توسط ویبره کردن به شکل مناسب در می آید. نمونه ها در رطوبت بالای ۹۰٪ و دمای 25°C به مدت ۲۴ ساعت جهت عمل آوری نگهداری شده و سپس ۲۴ ساعت در خشک کن 110°C قرار داده می شوند. آنگاه پخت نمونه ها در دماهای 500°C ، 1000°C ، 1400°C با زمان نگهداری ۴ ساعت انجام گردید. خواص فیزیکی نمونه ها (دانسیته بالک، تخلخل ظاهری) بر اساس استاندارد ASTM-C20 از تعداد ۵ نمونه اندازه گیری و میانگین نتایج در جدول ۳ گزارش شده است.

سپس استحکام فشاری سرد (CCS) از ۵ نمونه از هر جرم با استفاده از دستگاه استحکام سنج مکانیکی مطابق با استاندارد ASTM-C133 اندازه گیری شد و در نهایت میانگین نتایج استحکام در منحنی شکل ۱ رسم گردید.

جدول ۲. ترکیب های بتون دیرگداز با استفاده از آندالوزیت خارجی و ایرانی (% وزنی)

فرمولاسیون / درصد وزنی	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆
۲/۸-۴/۸ mm	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
بوکسیت ۱-۲/۸ mm	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۹/۵
۰/۱-۱ mm	۳۲/۵	۳۲/۵	۳۲/۵	۳۲/۵	۳۲/۵
بوکسیت < ۰/۱ mm	۱۸	۱۰	۱۴	۱۴	۱۰
آندالوزیت	۸ (خارجی)	۴ (خارجی)	۴ (ایرانی)	۸ (ایرانی)
سیمان	۵	۵	۵	۵	۵
میکروسیلیس ایرانی	۷	۷	۷	۷	۷
آلومینای راکتیو	۳	۳	۳	۳	۳
افزودنی	A	A	A	A	A
آب	۷/۶	۷/۶	۷/۶	۷/۶	۷/۶

جدول ۳. نتایج حاصل از آزمایش های خواص فیزیکی

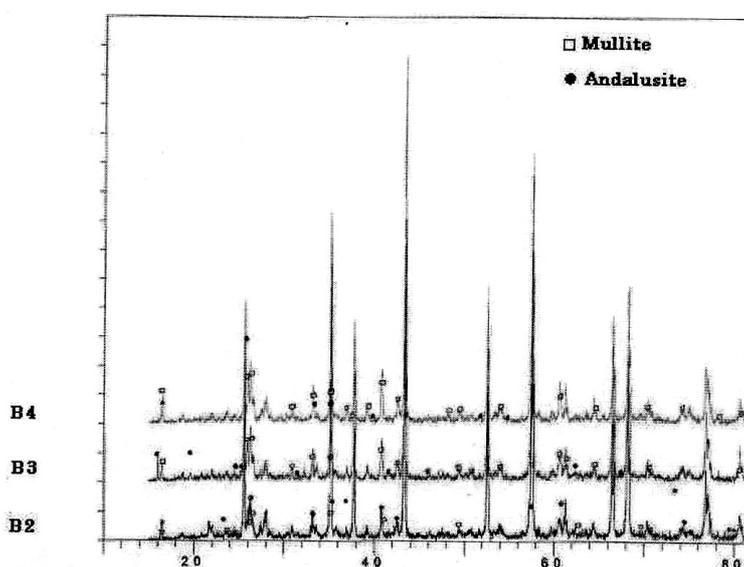
خواص نمونه	دانسیته بالک (gr/cm ³)		تخلخل ظاهری (%)	
	۱۰۰۰ °C	۱۴۰۰ °C	۱۰۰۰ °C	۱۴۰۰ °C
B ₂	۲/۸۰	۲/۸۶	۱۷/۲۹	۱۶/۲۸
B ₃	۲/۸۱	۲/۸۹	۱۹/۳۹	۱۷/۹۰
B ₄	۲/۷۸	۲/۹۱	۱۸/۳۸	۱۶/۱۴
B ₅	۲/۷۸	۲/۸۷	۲۱/۱	۱۸/۳۷
B ₆	۲/۹۱	۲/۹۸	۱۸/۷	۱۸/۱۲

های فازی و زینتر می باشد. در دمای 1000°C سیمان اتصالی مابین ذرات دهیدراته شده و فاز C_{12}A_7 تشکیل می شود در حالیکه در اگرگیته ها هیچ تغییر فازی رخ نمی دهد [9]. احتمال زینتر جزئی زمینه حاوی فاز سیمان آلومینایی، ذرات ریز بوکسیت و آندالوزیت، میکروسیلیس و آلومینای راکتیو نیز وجود دارد که با افزایش دما از 1000°C به 1400°C علاوه بر ادامه زینتر و تبدیلات فازی C_{12}A_7 به فازهای CA ، CA_2 و ...، تبدیلات مولایت زایی آندالوزیت را نیز داریم که پدیده های فوق رفتار متناقضی را بر روی نمونه اعمال می کنند. پدیده زینتر، پدیده ای همراه با انقباض است. تبدیلات C_{12}A_7 به CA و CA_2 نیز به دلیل اختلاف دانسیته فازهای فوق، با انقباض همراه است. از طرف دیگر پدیده تبدیل آندالوزیت به مولایت رفتار انبساطی دارد و بنابراین دانسیته و تخلخل نمونه تحت تاثیر اتفاقات فوق قرار می گیرند [7].

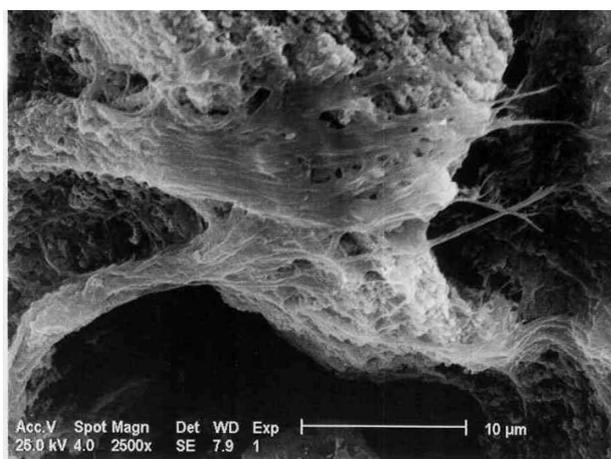
شکل ۲ الگوهای حاصل از آزمایش پراش اشعه x را نشان می دهد. سطح شکست نمونه های پخته شده در دمای 1400°C بعد از پولیش کردن و اچ کردن در ۱۰٪ HF به مدت ۹ دقیقه به منظور حذف فازهای شیشه مورد بررسی ریز ساختاری با میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به EDS با دستگاه مدل XL30 شرکت Philips هلند قرار گرفت که نتایج در اشکال ۳-۵ آورده شده است.

۳. تحلیل نتایج

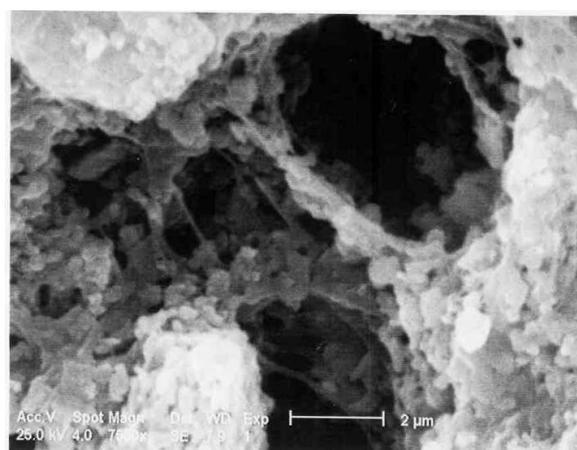
نتایج دانسیته و تخلخل ظاهری نمونه ها پس از پخت مطابق جدول ۳ نشان می دهد که دانسیته و درصد تخلخل نمونه های آندالوزیت ایرانی و خارجی با مقادیر مساوی درصد آنها، تقریباً شبیه به هم می باشند. دانسیته و درصد تخلخل به صورت کلی تابعی از توزیع اندازه ذرات، میزان آب مصرفی، رئولوژی سیستم، نوع مینرال ها، استحاله



شکل ۲. الگوهای پراش اشعه x نمونه های مختلف پس از پخت در دمای 1400°C



شکل ۴. تصویر SEM نمونه B4 با آندالوزیت خارجی



شکل ۳. تصویر SEM نمونه بدون آندالوزیت B2

و مخلوطی شامل ۲۰٪ فاز آمورف غنی از سیلیس و ۸۰٪ مولایت می دهند [6, 7, 11]. این تبدیلات به عنوان مثال برای آندالوزیت و کینایت به ترتیب ۶-۳ و ۱۵ درصد افزایش حجم به همراه دارد. فرآیند تبدیل شدن آندالوزیت به مولایت می تواند تحت تاثیر حضور ناخالصی ها قرار بگیرد [13]. با اینکه یوتکتیک سیستم $Al_2O_3-SiO_2$ در دمای $1587^\circ C$ قرار دارد ولی به دلیل وجود ناخالصی ها در دماهای پایین تر به طور موضعی مذاب تشکیل می شود که موجب افزایش نفوذ اتمی و در نتیجه تبدیل سریعتر آندالوزیت به مولایت می گردد. ضمناً افزایش حجم ناشی از استحاله آندالوزیت به مولایت چنانچه در داخل فاز مایع انجام گردد موجب حرکت فاز مایع به سوی تعدادی از تخلخل ها می گردد و در نتیجه مواضع ایجاد مولایت گسترش می یابد که در نهایت موجب افزایش جزء حجمی مولایت ایجاد شده در زمان کمتری می گردد.

فرآیند مولایتی شدن آندالوزیت در حالت جامد نیز در طی دو مرحله رخ می دهد [14]. در طی مرحله اول در دماهای $1380^\circ C$ - $1280^\circ C$ جوانه زنی و رشد فاز مولایت در محل های پر انرژی مانند سطح و مرزخانه های آندالوزیت انجام می گیرد و در دماهای بالای $1380^\circ C$ جوانه زنی و رشد فاز مولایت و ایجاد شیشه آمورف سیلیسی از میان حجم آندالوزیت رخ می دهد [6, 12-14]. به دلیل این مکانیزم مولایت های حاصله مورفولوژی متفاوتی با مولایت های حاصل از واکنش اجزاء مختلف یا سنتزی دارند. مولایت های سنتزی دارای سوزن های تیز می باشند ولی این مولایت ها لبه های تیز ندارند.

آنالیزهای پراش اشعه x شکل ۲ نیز بیانگر آن است که نمونه B_2 بدون استفاده از آندالوزیت در مقایسه با نمونه های B_3 و B_4 که از آندالوزیت خارجی به مقدارهای ۸٪ و ۴٪ استفاده شده، درصد فاز مولایت کمتری دارد. مقایسه آنالیز پراش اشعه x در نمونه های B_3 و B_4 بیانگر آن است که با استفاده از ۸٪ آندالوزیت، پیک فاز مولایت شدت یافته و پیک فاز آندالوزیت کاهش یافته است. این امر نشان دهنده تبدیل بیشتر فاز آندالوزیت به مولایت می باشد. در نمونه های B_5 و B_6 با آندالوزیت ایرانی به همان نسبت ها (۸٪ و ۴٪) شدت پیک فاز مولایت در مقایسه با آندالوزیت خارجی به مقدار کمی افزایش یافته است. این موضوع نشان می دهد که تبدیل آندالوزیت ایرانی به مولایت به دلیل احتمالاً ریز بودن کریستال های آن، معیوب بودن ساختمان کریستالی یا وجود ناخالصی های مشوق مولایتی شدن سریعتر و یا در دمای پایین تری از آندالوزیت خارجی انجام می گیرد. بر اساس مطالعات صورت گرفته تبدیل آندالوزیت ایرانی به مولایت و فاز شیشه در $1500^\circ C$ کامل می گردد [15].

در تصویر ۳ ریز ساختار میکروسکوپی از سطح نمونه B_2 بدون آندالوزیت بیانگر وجود فاز مولایت سوزنی حاصل از ترکیب SiO_2 و Al_2O_3 می باشد. ولی همانطوری که اشکال ۴ و ۵ نشان می دهند، در نمونه های حاوی آندالوزیت مولایت با مورفولوژی غیر سوزنی



شکل ۵. تصویر SEM نمونه B_6 با آندالوزیت ایرانی

شکل ۱ نمایشگر این موضوع می باشد که استحکام فشاری نمونه ها از $110^\circ C$ تا $500^\circ C$ کمی کاهش پیدا کرده و مجدداً در دمای $1000^\circ C$ کمی افزایش پیدا کرده است. البته استحکام نمونه B_3 در دمای $1000^\circ C$ نسبت به دمای $500^\circ C$ کمی کاهش پیدا کرده است که به نظر می رسد مربوط به پدیده خاصی نباشد و مربوط به پراکندگی نتایج خواص سرامیک های غیر مهندسی به دلیل وجوب عیوب متعدد حاصل از فرایندهای مختلف شکل دادن، عمل آوری، خشک کردن و پخت باشد. همانطوری که می دانیم مدول ویبول این سرامیک ها پایین می باشد [10].

دلیل کاهش استحکام در $500^\circ C$ به دهیدراته شدن فازهای دهیدراته CAH_{10} , C_3AH_6 , AH_3 و... نسبت داده می شود [9]. البته در جرمهای کم سیمان علاوه بر فازهای فوق، فاز شبه زئولیتی CASH وجود دارد که موجب می گردد تا به دلیل دهیدراتاسیون در محدوده دمایی وسیع، این افت استحکام نسبت به جرمهای سنتی (RC) کمتر باشد [11]. افزایش استحکام در دمای $1000^\circ C$ می تواند به پدیده زینتر جزئی فاز زمینه نسبت داده شود. در دمای $1400^\circ C$ استحکام شدیداً افزایش یافته است و استحکام نمونه های حاوی آندالوزیت ایرانی کمی بالاتر از نمونه های حاوی آندالوزیت خارجی است. در این دما با چند پدیده روبرو هستیم اولاً ایجاد مولایت و شبکه در هم فرو رفته آن خود باعث افزایش استحکام می شود. از طرف دیگر ایجاد مولایت با انبساط همراه است که می تواند باعث افت استحکام گردد [5]. زینتر زمینه حاوی اگرینیت ها نیز همراه با افزایش استحکام می باشد. همچنین تبدیلات فازی آلومینات کلسیم مثل CA به CA_6 با تغییرات حجم همراه است. بنابراین به نظر می رسد که توضیح رفتار استحکامی نمونه ها کمی پیچیده باشد.

برای درک تاثیر آندالوزیت بر روی استحکام نمونه های مورد مطالعه ، به مکانیزم تبدیلات آندالوزیت به مولایت پرداخته می شود. مینرالهای گروه سیلیمانیت، هنگام گرم شدن در دماهای $1350^\circ C$ - $1300^\circ C$ تحت شرایط اکسیدی شروع به استحاله می کنند

- [8]. D.Sorrention, J.P Bayoux, R. Montgomery, A.mathieu, and A. campos, "The effects of sodium gluconate and lithium carbonate on the properties of calcium aluminate cements" Unitecr 97 Congress, PP: 375-378.
- [9]. A. Nishikawa, *Technology of monolithic refractories*, Plibrico Japan company limited, 1984.
- [10]. D.W.Richerson, "Modern ceramic engineering", Marcel Dekker, Inc, 1992, PP: 668-669.
- [11]. B. Myhre and B.sandberg "The use of microsilica in refractory castables" Seminar on monolithic refractory, Tehran, Iran, 1997.
- [12]. L. Rebouillat and M. Rigaud, "Andalusite-Based high alumina castables", American Ceramic Society, Vol 85, NO.2, 2002.
- [13]. H.H, Wilson, "Mullite formation from the Sillimanite group of minerals", American Ceramic Society Bulltein, Vol.48, No.8, PP:796-797.
- [14]. H.Schneider and A.majdie, "Kinetics and mechanism of the solid-state high temperature transformation of andalusite (Al_2SiO_5) into 3/2 mullite ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) and silica (SiO_2)" Ceramurgia International, Vol.5, NO.1, 1979, PP: 31-36.
- [15]. Kriek. H.J.S:2nd Int Conf. Refract (Tokyo), PP: 480-493, 1987.
- [16]. P.Y. Brisson, E.Paransky and M.Regaud, "Effects of andalusite grain size on microstructure and mechanical properties of low cement castables", Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.42, NO.2, 2003, PP: 157-166.
- [17]. T.Ebadzadeh, H.Badiei, F.Golestani-Fard and R.Yazdani, "Mullite formation from the andalusite", World Ceramics and Refractories, NO.4, 2001.
- [18]. F.Golestani-Fard, T.Ebadzadeh, H.Badiei, "The effect of additives on mullitization of Iranian andalusite", Proceedings of the 44 Int, Colloquium on Refractories, 2001, PP:126-130.
- [19]. W.Kronert, U.schumacher, Fred.Rep, "New developments on low-and ultra-low-cement castables", Aachen Proceedings, PP: 12-18, 1988.

حاصل از تجزیه آندالوزیت و مورفولوژی سوزنی حاصل از واکنش شیشه غنی از سیلیس ایجاد شده از تجزیه آندالوزیت با آلومینای زمینه وجود دارد.

۴. نتیجه گیری

- ۱- کاربرد ۸٪ وزنی آندالوزیت ایرانی (همدان) و آندالوزیت آفریقای جنوبی در جرمهای بوکسیتی کم سیمان موجب بهبود استحکام مکانیکی و ریز ساختاری می شود.
- ۲- نتایج نشان داد که از نظر میزان مولایت و ساختار میکروسکوپی نمونه های حاوی آندالوزیت همدان پخته شده در $1400^\circ C$ وضعیت بهتری را نسبت به نمونه حاوی آندالوزیت آفریقای جنوبی دارند.
- ۳- نتایج دانسیته و تخلخل نشان می دهد که با $n = 0.28$ در فرمول آندریازن جرمهای کم سیمان بوکسیتی مورد مطالعه تراکم متوسطی را دارند.

مراجع

- [1]. H.Shikano, Refractories handbook, Technical Association of refractories, Japan, 1998.
- [2]. ISO R836-68, *Vocabulary for the refractories Industry*, First Edition.
- [3]. C.Parr, E.Spreafico, T.A.Bier, N.E.Bunt, "Calcium aluminate cement based castables for demanding applications", Proceedings of the international seminar on monolithic refractory materials, Tehran, 1997.
- [4]. Kriek. H.J.S:2nd Int Conf. Refract (Tokyo), 1987, PP: 480-493.
- [5]. J.P. Idefonse, V. Gabis, F.Cesborn. *Key engineering Materials*, PP: 132-136.
- [6]. J.P. Idefonse, V. Gabis, M.Rigaud, L Rebouillat, P.Daniello, P.Dubrevil, "Proceeding of United state International Technical Conference on refractories", Vol.II, Unitecr, 1997, PP. 899-908.
- [7]. B. Myhre, "Development of bauxite based ultra low cement castables", Presented at the institute of ceramics convention, Oxford, April 1991.