

تهیه دوغاب آبی گرافیت و تأثیر آن بر پایداری دوغاب آلومینا-زیرکن

هودسا مجیدیان، تورج عبادزاده

گروه فناوری، پژوهشکده سرامیک، پژوهشگاه مواد و انرژی

H-majidian@merc.ac.ir

چکیده: در این پژوهش تلاش شد تا شرایط پایداری دوغاب آلومینا-زیرکن با افزودن گرافیت بررسی شود. تا کنون تهیه و پایداری دوغاب‌های آلومینا-زیرکن بررسی شده و نتایج نشان داد که با ۵٪ افزودنی دولایکس، بهترین شرایط پایداری حاصل می‌شود. در این مطالعه تلاش شد تا دوغابی پایدار از گرافیت تهیه و به دوغاب آلومینا-زیرکن افزوده شود. این دوغاب‌ها در تهیه کامپوزیت‌های آلومینا به روش ریخته‌گری دوغابی بکار می‌روند. بنابراین تأثیر نوع و درصد افزودنی‌ها بر رفتار جریان‌یابی دوغاب آبی گرافیت بررسی شده و تا حد امکان درصد ماده جامد افزایش داده شد. پارامترهای پایداری مانند رفتار جریان‌یابی (تغییرات گرانشی و تنش برشی بر حسب سرعت برشی)، پتانسیل زتا و آزمون رسوب در دوغاب ارزیابی شد. در نهایت بهترین شرایط پایداری دوغاب آلومینا-زیرکن-گرافیت بر حسب عوامل بررسی شده ارائه شد.

کلمات کلیدی: دوغاب گرافیت، رئولوژی، پتانسیل زتا، افزودنی، دوغاب آلومینا-زیرکن.

۱- مروری بر منابع مطالعاتی

۱-۱- پایداری دوغاب

کیفیت محصولات سرامیکی تهیه شده به روش‌های تر، به حالت پخش شدن پودر در فاز مایع بستگی دارد. برای به دست آوردن محصولی با کیفیت بالا، به پایداری خوب، گرانشی پایین و درصد حجمی ماده جامد بالا نیاز است. دوغاب‌های پایدار، موجب دستیابی به محصولی با چگالی بالا می‌شوند؛ در حالی که دوغاب‌های ناپایدار، موجب تخلخل زیاد در بدنه نهایی خواهند شد. هرچه درصد حجمی ماده جامد یک دوغاب بیشتر باشد، مقدار مایع آن کمتر بوده و در نتیجه انقباض خشک کمتر، چگالی خام و چگالی نهایی نیز بیشتر خواهد بود. به منظور تهیه دوغاب پایدار و پراکنده از ذرات، باید از افزودنی‌هایی مانند پلی‌الکترولیت‌ها استفاده کرد. این افزودنی‌ها موجب افزایش درصد حجمی ماده جامد، کاهش گرانشی و افزایش چگالی می‌شوند [۱ و ۲]. شکل، اندازه ذرات و نحوه توزیع ذرات پودر نقش مهمی در پایداری دوغاب دارد. به منظور تهیه دوغاب بهتر است از پودری با متوسط اندازه ذرات کوچک استفاده کرد؛ زیرا سرعت رسوب ذرات با مربع قطر آنها متناسب است؛ یعنی اگر اندازه ذره‌ای نصف شود، سرعت نشست (سقوط) آن، یک چهارم می‌شود [۳]. یک دوغاب هنگامی پایدار است که سرعت نشست ذرات آن ناچیز باشد؛ اما اگر یک دوغاب ناپایدار باشد، حتی کوچکترین ذرات آن نیز رسوب می‌کنند. کاهش سرعت رسوب ذرات، دو راهکار دارد: ۱- کاهش اندازه ذرات و به عبارتی کاهش سرعت نشست ذرات ۲- پوشاندن سطح ذرات با لایه‌ای از مواد پایدارکننده تا به نیروهای جاذبه میان ذرات غلبه شود.

۱-۲- دوغاب‌های گرافیت

کاربرد دوغاب‌های گرافیتی در صنایع مختلفی گسترده شده است که از آن جمله می‌توان به کامپوزیت‌ها، صنایع دیرگداز (تهیه جرم‌های ریختنی دارای کربن)، صنایع رنگ، جوهر (تونرهای مایع)، فیلرها، الکترودها، فیلم‌های هادی و غیره اشاره کرد [۴ و ۵]. به منظور تهیه دوغاب مناسب و پایدار گرافیتی باید شرایطی را



فراهم کرد تا ذرات گرافیت به صورت کاملاً یکنواخت در سراسر فاز مایع پراکنده و معلق بمانند و رسوب نکنند. پودر گرافیت در آب تمایل زیادی به آگلومره شدن دارد؛ زیرا گرافیت بسیار آبگریز است و ذرات آن در آب به شدت تجمع می‌کنند [۶]. رسیدن به شرایط دیسپرزین کامل (پراکندگی یا تعلیق) بدون استفاده از بایندر یا عامل فعال سطح (سرفکتانت) مناسب امکان‌پذیر نیست، زیرا گرافیت ماده‌ای آبگریز (hydrophob) بوده و قابلیت تر شوندگی آن با آب ضعیف می‌باشد [۷]. بنابراین باید عامل‌های فعال سطحی گرافیت را افزایش داد تا دوغابی پایدار تهیه شود. دو عامل پراکندگی و تر شوندگی در تهیه دوغاب‌های گرافیتی باید بررسی شوند. این کار با بررسی ویژگی‌هایی چون آزمون رسوب، کدوری‌سنجی (Turbidimetry)، جریان یابی، اندازه ذرات، پتانسیل زتا و غیره انجام می‌شود [۸].

۱-۳- افزودنی‌های دوغاب‌های گرافیت

پژوهشگران بسیاری تهیه دوغاب‌های گرافیتی را بررسی کردند [۹]. مشکل اصلی تهیه این دوغاب‌ها، قابلیت تر شوندگی پایین پودر گرافیت می‌باشد که برای رفع این معضل استفاده از پراکنده‌سازها و یا عملیات ویژه پوشش‌دهی الزامی است [۱۰ و ۱۱]. روش‌هایی از قبیل جذب سرفکتانت‌ها در سطح و یا پوشش‌دهی سطح با ذرات هیدروفیل نیز بررسی شده است [۱۲ و ۱۳]. افزودنی‌ها با جذب بر سطح ذرات گرافیت موجب ایجاد دافعه میان ذرات، افزایش پتانسیل زتا، تر شوندگی ذرات گرافیت، پایداری دوغاب و کاهش حجم رسوب می‌شوند [۳].

Nonomura و همکارانش [۱۴] پراکنده (دیسپرس) کردن ذرات گرافیت را در آب با مشکلات زیادی همراه دانسته‌اند. در پژوهش ایشان از مخلوط آب و استون برای پراکنده کردن گرافیت و ۱۲۰ دقیقه اولتراسونیک استفاده شده است. نتایج آزمون کدوری سنجی نشان داد که اگر نسبت استون به آب در محدوده ۳۰ تا ۸۰ درصد وزنی (به جز ۶۰٪ وزنی) باشد، دوغاب بسیار پایداری از گرافیت تهیه می‌شود که حتی پس از ۱۴ روز نیز پایداری خود را حفظ می‌کند. همچنین گزارش شد که اندازه ذرات گرافیت در مخلوط آب و استون از اندازه ذرات در محیط آب یا محیط استون کمتر بود. استفاده از بایندر CMC نیز در تهیه دوغاب‌های گرافیتی گزارش شده است [۱۵] که موجب کاهش سرعت رسوب دوغاب‌ها می‌شود. ولی گرانروی دوغاب‌ها با افزایش درصد CMC افزایش می‌یابد؛ زیرا CMC علاوه بر ایجاد پایداری در دوغاب گرافیت، همانند یک فلوکوله کننده نیز رفتار می‌کند. سدیم دودسیل سولفات (SDS) نیز برای پراکنده کردن گرافیت توسط Doganci و همکارانش استفاده شد [۱۶]. حضور و جذب افزودنی SDS موجب افزایش تر شوندگی و پایداری دوغاب شد. Paruchuri و همکارانش [۱۷] نیز از ۰/۱٪ وزنی SDS و ۱۵ دقیقه اولتراسونیک برای پراکنده کردن گرافیت استفاده کردند. مقدار پتانسیل زتای گرافیت در حدود $pH=5/5$ ، $21/7$ میلی ولت بود که با حضور و جذب SDS، پتانسیل زتا به -70 میلی ولت رسید. Moraru [۱۸] نیز از تایرون برای پراکنده کردن گرافیت استفاده کرد و نشان داد که حضور آن موجب کاهش گرانروی دوغاب گرافیت شد. در مورد پراکنده کردن گرافیت در محیط آب و گلیسرول نیز پژوهشی انجام شده است. Mustafa و همکارانش [۱۹] از افزودنی‌های عصاره فرمالین نفتالن اسید سولفوریک، پلی متیل اکریلات و پلی استایرن اسید سولفوریک استفاده کردند.

۱-۴- دوغاب‌های آلومینا-زیرکن

Garrido و همکارانش تهیه دوغاب‌های آلومینا-زیرکن را مطالعه کردند [۲۰ و ۲۱]. از افزودنی دولاپیکس (Dolapix CE-64) در $pH=9/1-9/2$ استفاده شد. بهترین درصد دولاپیکس ۰/۴-۰/۲٪ وزنی گزارش شد، زیرا این دوغاب‌ها کمترین مقدار گرانروی را داشتند. پژوهشی نیز در مورد پایداری دوغاب‌های آلومینا-زیرکن انجام شد [۲۲]. نتایج نشان داد که پایداری دوغاب‌ها با ۰/۵٪ وزنی دولاپیکس در ماده جامد و در pH اولیه دوغاب بیشترین مقدار بود.

۱-۵-هدف از انجام پژوهش حاضر

با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد استفاده از کامپوزیت‌های سرامیکی بر پایه آلومینا و روند پیشرفت آنها می‌توان دریافت که با حضور مواد دیگری مانند زیرکینیا، مولایت، کاربیدسیلیسیم و غیره می‌توان ویژگی‌های مفیدی را مانند استحکام شکست، چقرمگی، مقاومت به شوک حرارتی و مقاومت سایشی را بهبود بخشید. دوغاب آلومینا-زیرکن-کاربیدسیلیسیم که در تهیه کامپوزیت‌های آلومینا استفاده می‌شود، مشکلاتی مانند چگالی کم و قابلیت سینتر پایین قطعه را دارد. در این پژوهش به منظور تشکیل درجای فاز کاربیدسیلیسیم در این کامپوزیت‌ها، تلاش شد تا با افزودن گرافیت به دوغاب آلومینا-زیرکن، به جای کاربیدسیلیسیم، دوغابی پایدار از آن تهیه کرده تا در نهایت از مشکلات سینتر کاسته شود.

۲-فعالیت‌های تجربی

۲-۱-مواد اولیه

از آلومینای MR70 (شرکت Martinswerk آلمان، $99/8\%$ ، $0/6\mu\text{m}$)، زیرکن Zircosil5 (شرکت Johnson Matthey ایتالیا، $99/9\%$ ، $1/5\mu\text{m}$) و گرافیت (شرکت GMP چین، $98/9\%$ ، $23\mu\text{m}$) استفاده شد. افزودنی‌ها از شرکت Zschimmer&Schwarz آلمان تهیه شد.

۲-۲-تهیه دوغاب

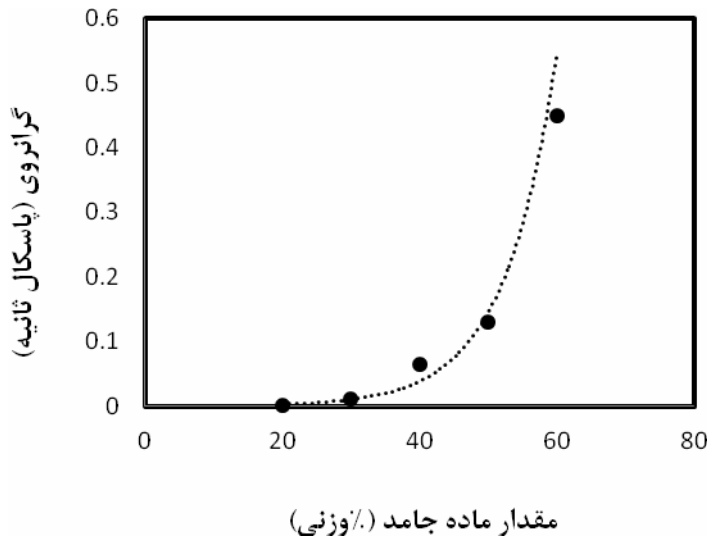
برای تهیه دوغاب گرافیت، درصد ماده جامد، از 20% تا 60% وزنی تغییر داده شد. تهیه دوغاب‌هایی با 60% وزنی گرافیت مشکلات زیادی به همراه داشت، به طوری که دوغاب به حالت خمیری شباهت داشت. رفتار رئولوژی نیز نشان داد که مقدار تنش و گرانیوی بسیار افزایش یافته است و انحراف از حالت نیوتنی بسیار زیاد است (شکل ۱). بنابراین بیشترین درصد ماده جامد در تهیه دوغاب گرافیت، 50% وزنی انتخاب شد؛ سپس تأثیر انواع افزودنی‌ها بر رفتار پایداری دوغاب گرافیت بررسی و پس از تهیه دوغاب پایدار از گرافیت در محیط آبی، تأثیر و حضور گرافیت در دوغاب آلومینا-زیرکن (73% وزنی) مطالعه شد. تمامی درصدها در این پژوهش درصد وزنی است. برای تهیه دوغاب ابتدا افزودنی مورد نظر در آب حل شد. سپس پودر گرافیت به تدریج به محلول آب و افزودنی افزوده و به مدت 40 دقیقه با دور 200 در آسیاب سیاره‌ای مخلوط شد. شناسه دوغاب‌ها بر اساس جدول ۱ و ۲ قرار داده شد.

جدول ۱-نامگذاری دوغاب‌های گرافیتی تهیه شده

شماره دوغاب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
شناسه دوغاب	G4	CA0.6	ET0.1	Kx0.3	P0.2	ref	acetone
افزودنی	گلایدل	دولایپیکس CA	دولایپیکس ET85	کی ایکس (kx9009)	پلی اتیلن گلیکول	استون	-
محدوده تست افزودنی (%)	۵/۵-۵/۵	۰/۴-۰/۸	۰/۰۵-۰/۳	۰/۱-۰/۵	۰/۰۵-۰/۴	۱۰-۳۰	-
درصد بهینه	۴	۰/۶	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۱۰	-

جدول ۲-نامگذاری دوغاب‌های آلومینا-زیرکن-گرافیت تهیه شده

شماره دوغاب	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
افزودنی گلایدل	۴	۴	۴	۴	۴	-
افزودنی kx9009	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۴	-
افزودنی دولایپیکس CE64	-	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۵	۰/۵



شکل ۱- گرانروی دوغاب آبی گرافیت بر حسب مقدار ماده جامد در سرعت برشی ۳/۵ بر ثانیه

۲-۳- بررسی رفتار پایداری دوغابها

برای بررسی رفتار پایداری از آزمون‌های رئومتر، پتانسیل زتا و آزمون رسوب استفاده شد. رفتار جریان یابی دوغاب‌ها، با دستگاه رئومتر Physica MCR301 اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری رفتار جریان یابی، ابتدا سرعت برشی 500 s^{-1} به دوغاب‌ها اعمال شد؛ تا هرگونه برهمکنش میان ذرات بی تأثیر شود و تنها سیالیت ذرات بدون ساختارهای داخلی اندازه‌گیری شود. پتانسیل زتا با استفاده از دستگاه Zetasizer3000 HSA (Malvern) در pH اولیه دوغاب‌هایی با ۲٪ وزنی ماده جامد اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین میزان پایداری دوغاب‌های تهیه شده از آزمون رسوب استفاده شد؛ پس از تهیه، دوغاب‌ها در استوانه‌های مدرج ریخته و به حالت سکون قرار داده شد. ارتفاع رسوب، شفافیت یا شناوری دوغاب‌ها طی زمان اندازه‌گیری شد. هرچه ارتفاع رسوب ذرات یک دوغاب کمتر باشد، پایداری آن بیشتر است [۳ و ۲۲].

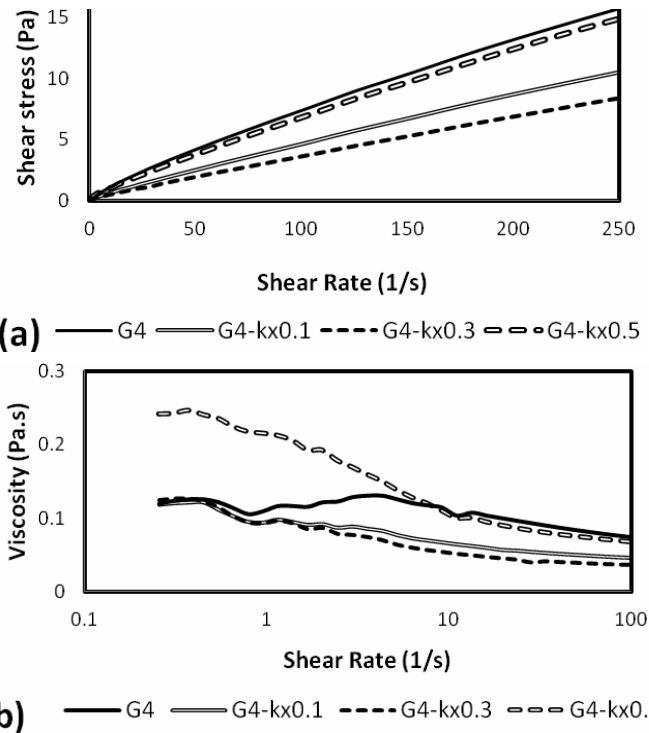
۳- نتایج و بحث

۳-۱- رئولوژی دوغاب آبی گرافیت

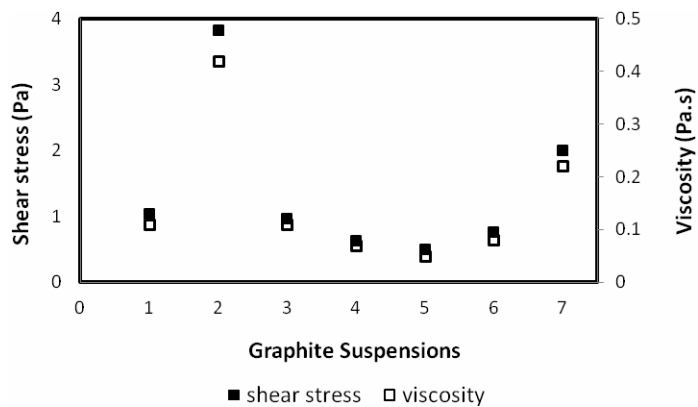
ابتدا رفتار رئولوژی و پایداری دوغاب آبی گرافیت با درصدهای مختلفی از افزودنی‌های گلایدل (Glydoin1055)، پلی‌اتیلن‌گلیکول (P)، کی ایکس (kx9009)، دولاپیکس (Dolapix CA and ET85) و استون بررسی و سپس بهترین درصد هر کدام از این افزودنی‌ها انتخاب شد. بهینه درصد افزودنی‌ها در دوغاب گرافیت، ۴٪ افزودنی گلایدل (دوغاب با شناسه G4)، ۶٪ افزودنی دولاپیکس CA (CA0.6)، ۱٪ افزودنی دولاپیکس ET85 (ET0.1)، ۴٪ افزودنی پلی‌اتیلن‌گلیکول (p0.4)، ۳٪ افزودنی kx9009 (kx0.3) و ۱۰ سی‌سی استون (acetone) بود. به عنوان نمونه، رفتار رئولوژی دوغاب‌های گرافیت آبی تهیه شده با افزودنی kx9009 در شکل ۲ نشان داده شده است. رفتار دیگر دوغاب‌ها به همین روند بوده و برای اجتناب از تکرار آورده نشد.

رفتار رئولوژی دوغاب‌های تهیه شده با ۵۰٪ وزنی گرافیت و بهینه درصد افزودنی‌های گوناگون در سرعت برشی ۱۰ بر ثانیه در شکل ۳ آورده شده است. دوغاب‌های تهیه شده رفتاری نسبتاً نیوتنی داشتند؛ زیرا تغییرات گرانروی و شیب تنش برشی با سرعت برشی تقریباً ثابت و همچنین رابطه میان تنش و سرعت برشی خطی بود. رفتار این دوغاب‌ها نسبتاً ایده‌آل و مقدار گرانروی بسیار کم بود. هرچه مقدار گرانروی کمتر باشد، دوغاب بهتر می‌تواند قالب را پر کند. بهترین افزودنی از روی نمودار رئولوژی، موجب رسیدن به

کمترین مقدار گرانی و تنش برشی می‌شود [۲۳ و ۲۴]. بنابر نتایج به دست آمده، دوغاب G4-kx0.3 بهترین رفتار رئولوژی را دارد. رفتار رئولوژی یک نمونه دوغاب گرافیت خارجی با شناسه ref نیز اندازه‌گیری و جهت مقایسه آورده شده است. مقدار تنش برشی و گرانی دوغاب‌های تهیه شده در این پژوهش، از نمونه ref بسیار کمتر است.



شکل ۲- رفتار رئولوژی دوغاب‌های آبی گرافیت تهیه شده با افزودنی kx9009

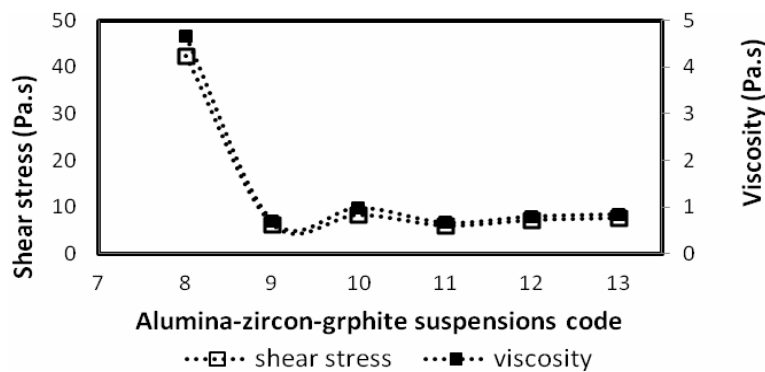


شکل ۳- تنش برشی و گرانی دوغاب‌های گرافیت مطابق با شناسه‌های جدول ۱

۲-۳- رئولوژی دوغاب آلومینا-زیرکن-گرافیت

در این مرحله پودر آلومینا و زیرکن به دوغاب گرافیتی تهیه شده افزوده و رفتار پایداری آن بررسی شد. در پژوهش‌های گذشته، استفاده از ۵٪ افزودنی دولاپیکس CE-64 در تهیه دوغاب آلومینا-زیرکن مطلوب گزارش شده بود. دوغاب شماره ۸ با افزودنی kx9009 و گلایدل، و دوغاب شماره ۹ با سه افزودنی دولاپیکس CE-64 (۵٪)، kx9009 (۳٪) و گلایدل (۴٪) تهیه شد؛ تا تأثیر حضور این افزودنی‌ها بر تهیه دوغاب آلومینا-زیرکن-گرافیت بررسی شود؛ به عبارتی نیاز به حضور یا عدم حضور دولاپیکس بررسی شد (جدول ۲). با حضور دولاپیکس، مقدار تنش تسلیم و گرانی بسیار کاهش یافت (شکل ۴). از آنجا که

دوغاب آلومینا-زیرکن با ۰/۵٪ دولاپیکس پایدار می‌شود، احتمال داده شد که ممکن است با حضور گرافیت به مقدار بیشتری دولاپیکس نیاز باشد. بنابراین دوغاب شماره ۱۰ با ۰/۶٪ دولاپیکس تهیه شد. همچنین تأثیر کاهش یا افزایش درصد افزودنی‌های دوغاب گرافیت (kx9009) با حضور ۰/۵٪ دولاپیکس بررسی شد (دوغاب‌های ۱۱ و ۱۲). بهترین رفتار رئولوژی مربوط به دوغاب شماره ۹ بود و به عبارتی با ۰/۵٪ دولاپیکس و دوغاب بهینه گرافیتی، نیازی به افزایش دولاپیکس دیده نشد. سپس حضور افزودنی دولاپیکس به تنهایی بررسی شد (دوغاب شماره ۱۳) و تغییرات دیگری نیز بر مقدار افزودنی‌ها داده شد که تغییر شرایط، تأثیر مثبتی بر رفتار رئولوژی دوغاب‌ها نداشت. در نهایت بهترین شرایط تهیه دوغاب آلومینا-زیرکن-گرافیت با حضور افزودنی‌های زیر گزارش می‌شود: ۴٪ گلایدل، ۰/۳٪ kx9009 و ۰/۵٪ دولاپیکس CE-64. دوغاب‌های تهیه شده از نظر مدت زمان پایداری نیز بررسی شدند.



شکل ۴- تنش برشی و گرانیوی دوغاب‌های آلومینا-زیرکن-گرافیت

۳-۳- پتانسیل زتای دوغاب‌های تهیه شده

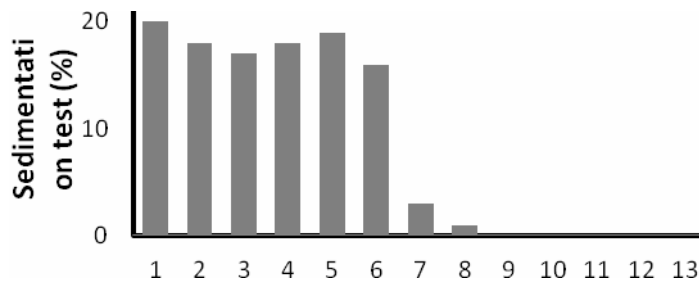
پتانسیل زتای برخی از دوغاب‌ها اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۳ مشاهده می‌شود. دوغاب‌هایی که با مقدار نامناسب افزودنی تهیه شده بودند، پتانسیل زتایی در حدود ۲۵- میلی‌ولت داشتند که عدد نسبتاً کمی است. برای پایدار بودن یک دوغاب، مقدار پتانسیل زتا باید بیشتر از ۳۰- میلی‌ولت باشد؛ هرچه مقدار پتانسیل زتا بیشتر باشد دوغاب پایدارتر است [۱۷ و ۸، ۹]. با بهینه مقدار افزودنی‌ها، مقدار پتانسیل زتا منفی‌تر شد که نشان دهنده جذب آنها بر سطح پودر گرافیت و ایجاد بارهای منفی بیشتر بر سطح است که به پایداری دوغاب کمک می‌کند. به عنوان مثال دوغاب G4، مقدار پتانسیل زتای بالایی را (۳۲/۹- میلی‌ولت) نشان داد ولی استفاده از افزودنی kx موجب افزایش بیشتر پتانسیل زتا (۳۵/۷- میلی‌ولت) و پایداری بیشتر شد. پتانسیل زتای دوغاب مرجع در حدود ۴۰/۹- میلی‌ولت است که نشان دهنده دوغابی پایدار است. همچنین استفاده از دولاپیکس در دوغاب‌های آلومینا-زیرکن-گرافیت نیز موجب افزایش پتانسیل زتا تا ۳۸/۹- میلی‌ولت شد که نشان دهنده پایداری بیشتر دوغاب (شماره ۹) است. این عدد به پتانسیل زتای دوغاب مرجع نزدیک‌تر است.

جدول ۳- پتانسیل زتای دوغاب‌های تهیه شده

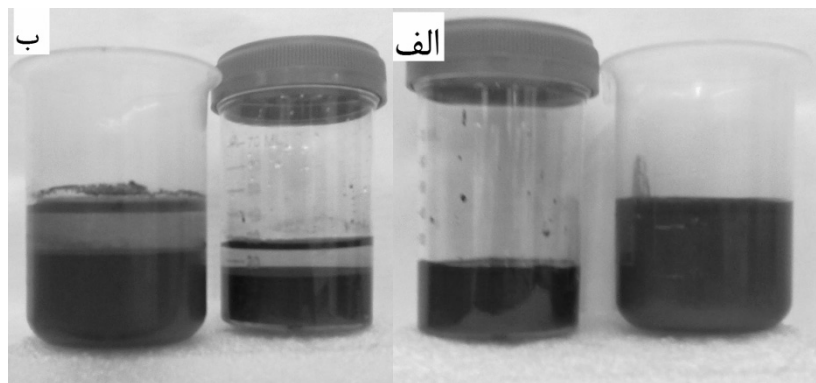
شماره دوغاب	شناسه دوغاب	پتانسیل زتا (mV)
۱	G4	۳۲/۹-
۵	G4-kx0.3	۳۵/۷-
۷	Ref	۴۰/۹-
۸	G4-kx0.3-AZG	۳۵/۱-
۹	G4-kx0.3-D0.5-AZG	۳۸/۹-

۳-۴- پایداری دوغاب‌های تهیه شده طی زمان (آزمون رسوب)

نتایج آزمون رسوب دوغاب‌های تهیه شده در شکل ۵ نشان داده شده است. هرچه ارتفاع رسوب یا شفافیت نمونه‌ها کمتر باشد یعنی دوغاب پایدارتر است. دوغاب‌های گرافیتی اعدادی در حدود ۲۰٪ را نشان دادند ولی دوغاب‌های آلومینا-زیرکن-گرافیت به مدت زمان زیادی پایدار بوده، ارتفاع رسوب و شفافیت آنها صفر بوده و جدایش ظاهری نیز نداشتند. حضور ذرات ریز آلومینا و افزودنی دولاپیکس در کنار افزودنی‌های دوغاب گرافیت، به پایداری دوغاب نهایی کمک زیادی کرد. شکل ۶ نیز نمونه‌هایی از دوغاب آبی گرافیت را نشان می‌دهد.



شکل ۵- نتایج آزمون رسوب دوغاب‌های تهیه شده



شکل ۶- دوغاب‌های ۵۰٪ گرافیت تهیه شده

(الف) دوغاب پایدار (۴٪ وزنی گلایدل)، (ب) دوغاب ناپایدار (۲٪ وزنی گلایدل)

نحوه پایداری عوامل پایدار کننده دوغاب به گروه‌های عاملی آنها مربوط می‌شود. مکانیزم‌های پایداری سازی افزودنی‌های استفاده شده که تجاری هستند کاملاً شناخته شده نیست؛ اما آنچه تصور می‌شود این است که با افزایش مقدار جذب و تمایل افزودنی به سطح پودر گرافیت، پایداری دوغاب آن نیز بیشتر می‌شود. افزودنی گلایدل عامل‌های سطحی سولفات داشته که بر اساس اطلاعات شرکت سازنده تمایل به جذب بر سطح ذرات گرافیت و کربن دارد؛ همین امر موجب افزایش ترشوندگی پودر گرافیت در محیط آبی می‌شود. از سویی افزودنی‌های دیگر به تنهایی نمی‌توانند بر سطح ذرات گرافیت جذب شوند و آن را تر کنند. افزودنی‌هایی مانند دولاپیکس گروه‌های اسیدکربوکسیلیک و افزودنی KX گروه‌های الکلی دارد؛ افزایش پایداری دوغاب و جذب افزودنی‌ها بر سطح ذرات گرافیت با توجه به تمایل میان گروه‌های عاملی هر افزودنی و رقابت جذب بر سطح ذرات پودر توجیه می‌شود.

۳-۵- چگالی قطعات خام ریخته‌گری شده

چگالی قطعات خام ریخته‌گری شده با استفاده از محاسبه جرم و حجم اندازه‌گیری و در جدول ۴ آورده شد. نتایج نشان داد دوغاب ۸ که دولاپیکس ندارد، چگالی بسیار کمتری نسبت به بقیه دوغاب‌ها دارد. کاهش

مقدار افزودنی kx9009 (دوغاب شماره ۱۱) نیز موجب کاهش چگالی شده است. البته چگالی خام نمونه‌ها در یک محدوده بوده و تفاوت چندانی را نشان نداد. این اعداد در حدود ۵۵٪ چگالی نسبی است.

جدول ۴- چگالی خام نمونه‌های تهیه شده با دوغاب آلومینا-زیرکن-گرافیت

شناسه دوغاب	توضیح	چگالی (g/cm ³)
۸	با افزودنی گلایدل و کی ایکس بدون دولایکس	۱/۶
۹	با افزودنی گلایدل (۰/۴٪)، کی ایکس (۰/۳٪) و دولایکس (۰/۵٪)	۲/۱
۱۰	با افزودنی گلایدل (۰/۴٪)، کی ایکس (۰/۳٪) و دولایکس (۰/۶٪)	۲/۱
۱۱	کاهش مقدار افزودنی کی ایکس (۰/۲٪)	۱/۹
۱۲	افزایش مقدار افزودنی کی ایکس (۰/۴٪)	۲/۱

۴- نتیجه گیری

- دوغاب آبی گرافیت با ۵۰٪ وزنی ماده جامد در pH اولیه با استفاده از ۴٪ وزنی در ماده خشک افزودنی گلایدل (Glydol N1055) رفتاری نسبتاً نیوتنی و بهترین شرایط پایداری را دارد. استفاده از ۰/۳٪ افزودنی kx9009 نیز موجب کاهش گرانیوی و بهبود رفتار رئولوژی دوغاب گرافیت می‌شود.
 - حضور پودر آلومینا-زیرکن و ۰/۵٪ وزنی افزودنی دولایکس CE-64 موجب بهبود رفتار پایداری دوغاب گرافیت شد.
 - مقدار پتانسیل زتای دوغاب آبی گرافیت در بهترین شرایط ۳۵/۷- میلی‌ولت و مقدار پتانسیل زتای دوغاب آلومینا-زیرکن-گرافیت، ۳۸/۹- میلی‌ولت گزارش می‌شود. چگالی خام نمونه‌های تهیه شده با دوغاب‌های آلومینا-زیرکن-گرافیت، مقدار ۲/۱ g/cm³ محاسبه شد.
- نتایج این مقاله حاصل از پروژه تحقیقاتی به شماره شناسه ۳۲۱۳۹۰۰۲۴ در پژوهشگاه مواد و انرژی است و کلیه دستاوردهای تحقیقاتی شامل نتایج نظری، نتایج علمی، دانش فنی و سایر موارد مربوط این پروژه متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی می‌باشد.

مراجع

1. L. Jiang, L. Gao, "Effect of Tiron adsorption on the colloidal stability of nano-sized alumina suspension", Mater. Chem.Phys. 80 [1]: 157-161 (2003).
2. Y. Shin, C. Su, Y. Shen, "Dispersion of aqueous nano-sized alumina suspensions using cationic polyelectrolyte", Mater.Res.Bull. 41 [10]: 1964-1971 (2006).
۳. هودسا مجیدیان، بررسی خواص کلوییدی گرافیت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۳
4. D. D. L. Chung, "Electromagnetic Interface Shielding Effectiveness of Carbon Materials", Carbon 39 [2]: 279-285 (2001).
5. J. Huang, F. Shen, X. Li, X. Zhou, B. Li, R. Xu, C. Wu, "Chemical modification of carbon black by a simple non-liquid-phase approach", J.Colloid.Interface.Sci. 328 [1]: 92-97 (2008).
6. S. Sakamoto, Y. Omo, T. Ono, "Graphite Containing Unshaped Refractories", Unitcer 95, Japan, 189-196 (1995).
7. J. Lu, I. Do, H. Fukushima, I. Lee, L.T. Drzal, "Stable Aqueous Suspension and Self-Assembly of Graphite Nanoplatelets Coated with Various Polyelectrolytes", J.Nanomater. 2010: 1-11 (2010).
8. D. J. Shaw, "Introduction to colloid and surface chemistry", fourth edition (London: Butterworth-Heinmann Ltd, 1992).
9. I. R. de Oliveira, A. R. Studart, F. A. e Silva Júnior, V. C. Pandolfelli, Artigo revisão: "Estabilização de suspensões aquosas contendo grafite (Review article: Stabilization of

- graphite-containing aqueous suspensions", *Cerâmica*, 46 [300]: 186-195 (2000).
10. J. Yu, S. Ueno, K. Hiragush, "Improvement In Flowability, Oxidation Resistance and Water Wettability Of Graphite Powders By TiO₂ Coatings", *J.Ceram.Soc.Jpn* 104 [6]: 458-462 (1996).
۱۱. علی صابری، حسین سرپولکی و فرهاد گلستانی فرد، "پوشش دهی اسپینل آلومینات منیزیم بر سطح گرافیت به روش سل-ژل سیترات به منظور بهبود مقاومت به اکسیداسیون و ترشوندگی گرافیت توسط آب"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۴۱، شماره ۸، صفحه ۱۰۵۳ تا ۱۰۶۱ (۱۳۸۶).
12. V. E. Scharrer, H. Kober, "Graphit suspensionen", *Kolloid-Zeitschrift und Zeitschrift fur Polymer*, 187 (1962).
13. C. Ishii, K. Koseki, T. Amari, Y. Hanzawa, N. Yoshizawa, H. Hatori, Y. Yamada, S. Yamazaki, "Flow Behavior of Graphitized Carbon Black Suspensions", *Carbon* 39 [6]: 2369-2386 (2001).
14. Y. Nonomura, Y. Morita, S. Deguchi, S. Mukai, "Anomalously stable dispersions of graphite in water/acetone mixtures", *J.Colloid.Interface.Sci.* 346 [1]: 96-99 (2010).
15. J. H. Lee, S. Lee, U. Paik, Y. M. Choi, "Aqueous processing of natural graphite particulates for lithium-ion battery anodes and their electrochemical performance", *J.Power.Sources.* 147 [1-2]: 249-255 (2005).
16. M. D. Dogancia, B. U. Sesli, H. Y. Erbil, B. P. Binksb, I. E. Salama, "Liquid marbles stabilized by graphite particles from aqueous surfactant solutions", *Colloids.Surf.A* 384 [1-3]: 417-426 (2011).
17. V. K. Paruchuri, A. V. Nguyen, J. D. Miller, "Zeta-potentials of self-assembled surface micelles of ionic surfactants adsorbed at hydrophobic graphite surfaces", *Colloids.Surf.A.* 250 [1-3]: 519-526 (2004).
18. V. Moraru, N. Lebovka, D. Shevchenko, "Structural Transitions In Aqueous Suspensions Of Natural Graphite", *Colloids.Surf.A.* 242 [1-3]: 181-187 (2004).
19. Mustafa, H. Vsui, M. Ishizuki, I. Shige, H. Suzuk, "Rheological Characteristic Of Non-Spherical Graphite Suspensions", *Korea-Australia Rheology J.*, 15 [1]: 19-25 (2003).
20. L. B. Garrido, A. N. Califano, "Effect of an excess of polyelectrolyte on viscoelastic properties of suspensions of alumina and zircon mixtures", *Colloids.Surf.A.* 302 [1-3]: 24-30 (2007).
21. L. B. Garrido, E. F. Aglietti, "Effect of Rheological Properties of Zircon-Alumina Suspensions on Density of Green Casts", *Mater.Res.* 4 [4]: 279-284 (2001).
۲۲. هودسا مجیدیان، "ریخته‌گری دوغابی کامپوزیت آلومینا-مولایت-زیرکنیا-کاربید سیلیسیم و تأثیر نانوذرات آلومینا و کاربید سیلیسیم بر ویژگی‌های آن"، پایان نامه دکتری، پژوهشگاه مواد و انرژی (۱۳۹۰).
23. H. Majidian, T. Ebadzadeh, E. Salahi, "Effect of SiC particles on rheological and sintering behaviour of alumina-zircon composites", *Ceramics International*, 36 [5] 1669-1673 (2010).
24. H. Majidian, T. Ebadzadeh, E. Salahi, "Stability evaluation of aqueous alumina-zircon-silicon carbide suspensions by application of DLVO theory", *Ceramics International*, 37 [7] 2941-2945 (2011).

