نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)

J. Energy Conversion

Volume: 12, Issue:1, 2025: 1-14

دوره ۱۲، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ص: ۱۴-۱

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای سرعت و زمان در سنتز نانوذرات تولیدی از زغال باگاس نیشکر (نانو بیوچار) با روش آسیای مکانیکی و اثرآن برخواص فیزیکی و حرارتی نانو روان‌کار

عباس تقی‌پور[۱،*]، نیوشا تابنده[۲]

۱ *- دانشکده مهندسی ساخت و فناوری‌های صنعتی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران ،ab.taghipoor@iau.ac.ir

۲- دانشجو، گروه مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران،niyusha.tabandeh@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۴/۱/۵، بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۲۰، پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲۸

چکیده

نانوذرات به دلیل مساحت سطح ویژه بسیار بالا و ساختار هندسی آنها در ترکیب با روان‌کارها می‌توانند سبب بهبود خواص ضدسایشی و کاهش اصطکاک قابل ملاحظه‌ای شوند. این پژوهش از سه مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول به تولید نانوذرات از زغال باگاس نیشکر(نانو بیوچار) با روش آسیای مکانیکی در مدت زمان‌های ۴ و ۸ ساعت پرداخته شد. تولید نانوذرات بیوچار از محصولات پسماند نیشکر به‌عنوان نانوذرات زیستی، می‌تواند گامی در جهت کاهش مشکلات زیست محیطی باشد. نانوذرات تولید شده با دو مدت زمان مذکور از طریق آزمون‌های EDS و XRD مورد ارزیابی قرارگرفتند که بر اساس نتایج، نانوذرات تولیدی با مدت زمان ۸ ساعت مناسب تشخیص داده شد. در مرحله دوم، نانوذرات با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی با روغن پارس سوپر کیان ویژه ۶۰۰۰ مورد استفاده در موتورسیکلت‌ها ترکیب و خواص فیزیکی و حرارتی هر کدام از مخلوط‌ها تعیین شد. بر اساس آزمون‌های انجام شده و نتایج حاصل برای چهار نمونه روغن، مشخص شد نانو روان‌کار با غلظت ۲ درصد وزنی دارای بهترین عملکرد است. این نتایج گویای این مطلب است که افزایش غلظت وزنی نانوذرات بیوچار به‌عنوان افزودنی در روغن، نتیجه مثبتی در بهبود خواص فیزیکی و حرارتی آن دارد.

* **عهده‌دار مکاتبات:**Ab.taghipour@iau.ir

کلمات کلیدی: نانوذرات زیستی، خواص فیزیکی، خواص حرارتی، روان‌کار

نحوه استناد به این مقاله عباس تقی‌پور، نیوشا تابنده. مطالعه آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای سرعت و زمان در سنتز نانوذرات تولیدی از زغال باگاس نیشکر (نانو بیوچار) با روش آسیای مکانیکی و اثر آن برخواص فیزیکی و حرارتی نانو روان‌کار. **مهندسی مکانیک تبدیل انرژی**. ۱۴۰۴; ۱۲ (۱) : ۱۴-۱.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

۱-مقدمه

امروزه با گران شدن بنزین به نظر می‌رسد تا حدودی محدودیت‌های ناشی از گران بودن انرژی و سوخت قابل درک شده است. بنابراین هر عاملی که به نحوی منجر به کاهش مصرف سوخت در خودرو گردد با اهمیت به نظر می‌رسد. این عوامل به دو دسته تقسیم می‌شود. موارد مربوط به طراحی و ساخت موتور و موارد تأثیرگذار در کارکرد بهینه‌ی آن. دسته‌ی اول عوامل، به رغم تأثیر نسبتاً زیادشان در کاهش مصرف سوخت، پرهزینه بوده و برای خودروهای موجود چندان راه‌گشا نیست. اما در مورد بهینه‌سازی شرایط کارکرد موتور عواملی نظیر کیفیت سوخت، کیفیت روغن مصرفی و فیلترهای هوا و روغن تأثیر بسیار زیادی خواهند داشت.

انتخاب روغن توسط خود مصرف‌کننده و تعویض گاه به گاه آن می‌تواند یکی از پارامترهای قابل تغییر در کیفیت کارکرد موتور و در نتیجه کاهش مصرف سوخت باشد.روغن به دو صورت می‌تواند در کاهش مصرف سوخت مؤثر باشد. اولین و تأثیرگذارترین راه، انتخاب روغن با گران‌روی پایین و شاخص گران‌روی بالا می‌باشد. در هنگام استارت سرد هرچه روغن روان‌تر باشد، موتور با راحتی بیش‌تری به حرکت درآمده و اتلاف انرژِی کم‌تری خواهد داشت. از سویی این روغن با افزایش دما باید گران‌روی خود را حفظ کند، زیرا کاهش بیش از اندازه‌ی گران‌روی سبب می‌شود تا فیلم روان‌کار بین قطعات در حال حرکت تشکیل نشود و عملاً روان‌کاری مناسبی صورت نپذیرد. بنابراین شاخص گران‌روی این روغن نیز باید بالا باشد تا کم‌ترین تغییرات گران‌روی را نسبت به تغییرات دما از خود نشان دهد. روش دیگر استفاده از بهبود دهنده‌های کیفیت سطح است. اینموادبابرطرفکردن ناهمواریسطوحدر حال حرکت در مقیاس میکروسکوپی، ضریب اصطکاک بین سطوح را کاهش داده و روان‌کاری را افزایش می‌دهد که نتیجه‌ی نهایی آن کاهش مصرف سوخت می‌باشد.

دست‌یابی به ماده‌ی افزودنی با قابلیت بالا و ارزان‌قیمت به‌منظور بهبود سطح کیفیت روان‌کار، افزایش طول عمر و کارایی آن، سازگاری با محیط‌زیست، قابلیت بازیافت، کاهش هزینه‌ی تولید و فراوری آن از اهداف صنعت روان‌کاری می‌باشد. استفاده از نانو ذرات در روان‌کننده‌ها به دلیل بهبود خواص سطحی و قابلیت انتقال حرارت، افزایش بازده موتور و کاهش هزینه‌های تعمیرات، به‌عنوان یک ایده‌ی نو بسیار مورد توجه واقع شده است[۱]. نانوذرات در فاصله‌ی بین دوسطح درگیر شده و در منافذ بسیار ریز سطوح قرار می‌گیرند و خواص ضداصطکاک و ضدسایش نسبتاً بالایی در سطوح ایجاد می‌نمایند. عدم روان‌کاری مناسب تجهیزات و ماشین‌آلات منجر به اتلاف قابل توجه انرژی شده و سهم بزرگی را در افزایش هزینه‌های عملیاتی صنایع دارا می‌باشد[۲]. اصطکاک ناشی از وضعیت روان‌کاری نامناسب دستگاه‌ها، عامل هدررفت انرژی است. اعمال مدیریت روان‌کاری در صنایع، ضمن بهبود عملکرد تجهیزات و ماشین‌آلات و افزایش سطح اطمینان از آن‌ها، کاهش هزینه‌های عملیاتی و از جمله کاهش مصرف انرژی را درپی خواهد داشت[۳].

با توجه به فراوانی این محصول پسماند مهم در خوزستان و اهمیت و نقش محصولات زیستی در کاهش آلاینده‌ها، نانوذرات بیوچار به‌عنوان مکمل در روغن موتور می‌تواند سبب بهبود خواص فیزیکی و تریبولوژیکی آن شود. تولید نانوذره‌ی بیوچار از محصولات پسماند نیشکر که به‌عنوان نانوذره‌ی زیستی است می‌تواند گامی در جهت کاهش مشکلات زیست محیطی باشد. از طرفی سالیانه مقادیر زیادی از باگاس نیشکر بدون استفاده هدر می‌رود و با توجه به حجم بالای تولید این محصول در خوزستان می‌تواند گامی در راستای اشتغال‌زایی و کمک به اقتصاد کشور باشد. از طرفی با توجه به هدف اصلی این پژوهش، نانوذرات به دلیل مساحت سطح ویژه بسیار بالا و ساختار هندسی آن‌ها در ترکیب با روان‌کارها می‌توانند سبب بهبود خواص فیزیکی و حرارتی و کاهش اصطکاک قابل ملاحظه‌ای شوند. چراکه نانوذرات در بین سطوح اصطکاکی، خلل و فرج را پر کرده و اصطکاک لغزشی را به اصطکاک غلتشی تبدیل می‌کند.

با توجه به اهمیت روان‌کارها در عملکرد تجهیزات صنعتی تاکنون تحقیقات‌گسترده‌ای به منظورکاهش سایش و اصطکاک انجام پذیرفته است؛ با وجود این مطالعات در زمینه‌ی کاربرد نانو ذره‌ی بیوچار به‌عنوان مواد افزودنی بر روی خواص روغن اندک بوده و

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

بررسی و عملکرد دقیق آن ضروری به نظر می‌رسد.سانا کریشناو همکاران[1][۴] در سال ۲۰۱۸ در پژوهش خود تحت عنوان اثر نانوذرات بر رفتار حرارتی، رئولوژیکی و تریبولوژیکی روغن کمپرسور مبرد از روغن پلی آلکیلن گلیکول[2] و نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید (TiO_2)، سیلیسیم دی‌اکسید (SiO_2) و دی‌آلومینیم‌تری‌اکسید (Al_2O_3) استفاده نمودند. باتوجه به نتایج، با افزایش غلظت نانوذرات، ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته‌ی سیال افزایشیافت. حداکثر افزایش ضریب هدایت حرارتی برایننانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید، سیلیسیم دی‌اکسید و دی‌آلومینیم‌تری‌اکسید به ترتیب ۱/۳۸، ۱/۳۱ و ۱/۴۸٪ و افزایش مربوط به ویسکوزیته به‌ترتیب ۵/۶۴، ۱۰/۳۴ و۷/۹۱٪ بود. نتایج آزمون‌های تریبولوژیکی نشان داد که نانوروان‌کننده‌های حاوی تیتانیوم دی‌اکسید و سیلیسیم دی‌اکسید دارای اصطکاک و خواص ضدسایش بهتری نسبت به روان‌کننده‌ی پایه هستند. سو و همکاران[3][۵] در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی تأثیرنانولوله‌های کربنی را روی خواص تریبولوژیکی روغن‌های زیستی بررسی کردند. دستگاه آزمون سایش از نوع پین روی دیسک بود. نانولوله‌ی کربن از نوع چند دیواره با اندازه‌های مختلف و غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۲۵ درصد وزنی استفاده شد. نتایج نشان داد، اینذرات می‌توانند کاهش اصطکاک و خاصیتضدسایشی روغن را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد. هم‌چنین باتوجه به نتایج، بهترین ترکیب با غلظت ۰/۰۵ درصد وزنی بود.

لاد[4] و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۷ پژوهشی تحت عنوان مطالعه خواص تریبولوژیکی نانوذرات به‌عنوان بهبود دهنده به روغن موتور چند درجه‌ای انجام دادند. نانو ذره‌ی مورد استفاده در این پژوهش اکسید تیتانیوم با غلظت ۱/۵ درصد وزنی بود. دستگاه آزمون سایش مورد استفاده پین روی دیسک بود و متغیرهای مستقل شامل بارگذاری‌های ۴۰N، ۶۰N و ۹۰N وارد بر پین در سرعت‌های لغزشی ۰/۵، ۱ و ۱/۵m/s بود. نتایج بهبود معنی‌دار خواص تریبولوژیکی روغن را نشان داد.ماندلیک[5] و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۶ پژوهشیتحت عنوان تحلیل تجربی خواص تریبولوژیکی روغن روان‌کار با کمک افزودنی نانوذرات انجام دادند. نانو ذرات مورد استفاده شامل کربن با پوشش نیکل، اکسید سیلیکون و ترکیب هر دو باهم بود. غلظت وزنی نانوذرات ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی بود. آزمون سایش توسط دستگاه چهارساچمه انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد هر دو نانوذرات به‌عنوان افزودنی در روغن موتور خواص ضدسایشی بهتری نسبت به روغن خالص دارد. باسکار[6] و همکاران [۸] در سال ۲۰۱۵، به بررسی آزمایشگاهی رفتار روان‌کارهای زیستی حاوی نانوذرات به روش چهارساچمه پرداختند. در این پژوهش، CuO، WS_2 و TiO_2 به‌عنوان نانوذرات افزودنی به روان‌کارهایزیستی در نظر گرفته شد. نتایج آزمایشات نشان داد که CuO، مشخصه‌های رفتار تریبولوژیکی روان‌کارهایزیستی را بیش از سایر مواد افزودنی بهبود می‌بخشد.

سو[7] و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۸ در پژوهشی تأثیر نانو لوله‌ی کربن روی خواص تریبولوژیکی روغن‌های زیستی را بررسی کردند. دستگاه آزمون سایش از نوع پین روی دیسک بود. نانولوله‌ی کربن از نوع چند دیواره با اندازه‌های مختلف و غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۲۵ درصد وزنی استفاده شد. نتایج نشان داد این نانوذرات می‌توانند کاهش اصطکاک و خاصیت ضد سایشی روغن را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشد. هم‌چنین با توجه به نتایج حاصل بهترین ترکیب با غلظت ۰/۰۵٪ بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱تولید نانوذرات از زغال باگاس نیشکر

[1] Sanukrishna et al
[2] Polyalkylene glycol
[3] Su et al
[4] Laad et al
[5] Mandlik et al
[6] Baskar et al
[7] Su et al

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

در این پژوهش نانوذرات با روش آسیای مکانیکی تولید شد. بدین منظور زغال باگاس نیشکر که به روش پیرولیز تحت دما و زمان مشخص پخت شده است تهیه شد (شکل ۱). تولید نانوذرات در مرکز تحقیقات مواد و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول انجام شد. برای اطمینان از خشک بودن زغال مورد نظر ابتدا به مدت ۳ ساعت تحت دمای ۸۰°C داخل آون قرار گرفت. برای تولید نانوذرات از دستگاه آسیای مکانیکی سیاره‌ای مدل Retcsh ساخت کشور آلمان استفاده شد (شکل۲). جرم مشخصی از زغال و گلوله‌های ساچمه‌ای از جنس فولاد ضد زنگ[1] با نسبت مشخص درون کاپ‌ها قرارگرفت. سرعت دوران و زمان معین توسط دستگاه تنظیم و فرآیند تولید نانوذرات آغاز شد. با توجه به مشخص نبودن زمان موردنیاز جهت تکمیل فرآیند نمونه‌ها در مدت زمان ۴ ساعت و ۸ ساعت گرفته شد و با میکروسکوپ الکترونی روبشی(SEM) مدل FEI ESEM QUANTA 200 ساخت کشورآمریکا تصویر برداری شد تا در خصوص اندازه‌ی ذرات آن در حد نانو اطمینان حاصل گردد.



شکل ۱ : زغال باگاس نیشکر مورد استفاده در پژوهش



شکل ۲ : دستگاه آسیای مکانیکی سیاره‌ای

۲-۲- مشخصات روغن پایه

عوامل و پارامترهای مختلفی برای انتخاب روغن مدنظر قرار می‌گیرد. در این پژوهش با توجه به هزینه‌های آزمون‌ها و محدودیت مالی عملکرد روان‌کار در موتورسیکلت هوندا CD-125 بررسی شد. از طرفی یکی از منابع تولید آلایندگی در شهرها موتورسیکلت‌ها می‌باشند که توجه به این موضوع از اهمیت خاصی برخوردار است. در این پژوهش، از روغن پارس سوپر کیان ویژه ۶۰۰۰، SAE40

[1] Stainless steel

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

مطابق با استاندارد ملی ۵۸۵ که یک روغن مهم و پر کاربرد می‌باشد به‌عنوان روغن پایه استفاده شد. این روغن ساخت شرکت نفت پارس می‌باشد. مشخصات فیزیکی این روغن در جدول (۱) ذکر گردیده است.

جدول۱: مشخصات فنی روغن مورد استفاده در پژوهش [۱۰]

ویژگی	مقدار
ویسکوزیته سینماتیکی$(m^2/s)@25°C$	۲۰±۵۰۰
شکل ظاهری	مایع شفاف مایل به زرد
چگالی(kg/m^3)	۸۹۳
نقطه‌ی اشتعال (°C)	۲۳۴
نقطه‌ی ریزش(°C)	۹-

این روغن مناسب برای انواع موتورسیکلت‌ها می‌باشد. با توجه به این‌که این روغن جزء روغن‌های پر مصرف می‌باشد نیاز به افزایش طول عمر و هم‌چنین بهبود خواص روان‌کاری آن دارد.

۲-۳-تهیه نانو سیال و بررسی پایداری آن

پراکندگی و پایداری نانوذرات در روغن پایه برای روغن‌های روان‌کار اهمیت زیادی دارد، دست‌یابی به یک نانوسیال پایدار و مناسب برای کاربردهای صنعتی بزرگ‌ترین چالش است. جهت دست‌یابی به یک نانوسیال پایدار و پراکنده کردن نانوذرات درون سیال پایه از سورفکتانت Span 80 و حمام اولتراسونیک[۱] استفاده می‌شود. اسپن ۸۰ یک سورفکتانت غیریونی و دوگانه‌دوست می‌باشد که به‌دلیل خاصیت منحصربه‌فرد، آب‌دوستی و آب‌گریزی در صنعت با نام‌های مختلفی مثل توئین ۸۰ و پلی‌سوربات ۸۰ نیز شناخته می‌شود. این سورفکتانت جزء ترکیبات سنتزی است و کاملاً زیست‌تخریب‌پذیر بوده و به‌راحتی در محیط زیست تجزیه می‌شود. وجود چنین ویژگی‌هایی باعث شد که در این پژوهش از این ماده برای پخش‌شدن یکنواخت نانوذرات و عامل پایدارکننده سوسپانسیون‌ها استفاده شود. در روش مافوق صوت، زمان یک عامل مهم است که هنگام تهیه‌ی یک سوسپانسیون پایدار باید در نظر گرفته شود. مواد افزودنی نانو روان‌کار تنها درصورت انجام اولتراسونیک در مدت‌زمان بهینه، بهترین پایداری پراکندگی را از خود نشان می‌دهند. در یک بررسی مشخص شده است که پایداری پراکندگی نانوذرات PTEF با ۶۰ دقیقه اولتراسونیک بهترین نتیجه را خواهد داشت. در این حالت سوسپانسیون به مدت ۱۵ روز پایدار خواهد ماند [۱۱]. بنابراین نمونه‌ها برای مدت‌زمان ۶۰ دقیقه تحت امواج اولتراسونیک قرار گرفتند.حمام اولتراسونیک، دارای یک محفظه‌ی فلزی است که مقداری آب داخل آن قرار دارد؛ دستگاه متصل به این ظرف امواج ماورای صوت ایجاد می‌کند. یکی از موارد استفاده از این حمام پخش ذرات داخل محلول و در نتیجه یکنواخت شدن محلول موردنظر می‌باشد. این امواج می‌توانند پیوندهای بین تکه‌های کلوخه شده را بشکنند و باعث افزایش کیفیت محلول شوند[۱۲]. دراین پژوهش سورفکتانت و نانوذرات با نسبت ۱:۱ به روغن پایه افزوده شدند، هم‌چنین نانوذرات بیوچار هرکدام با غلظت‌های وزنی مختلف ۰/۵، ۱ و۲ به روغن پایه افزوده شد. برای بررسی پایداری استاتیکی نانوروان‌کارهای ساخته شده، هر کدام از مخلوط‌ها به صورت دیداری مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور همه‌ی نمونه‌های ساخته شده درون ظروف شیشه‌ای کاملاً شفاف ریخته شده و برای مدت زمان ۳ ماه در یک محیط کاملاً ساکن نگه‌داری شدند و روند تغییرات ایجاد شده در آن‌ها به صورت دوره‌ای و پیوسته مشاهده و ثبت گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که افزودن نانوذرات به روغن هیچ‌گونه تغییر حالتی در آن ایجاد نکرد. از طرف دیگر با گذشت زمان هیچ‌گونه رسوب و تغییر فازی مشاهده نشد که بیان‌گر پایداری بسیار خوب این نانو سیال‌ها می‌باشد.

[۱] Uitrasonic

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

۲-۴ تعیین خواص فیزیکی نانو روان‌کارهای ساخته شده

در این پژوهش خواص فیزیکی سیال شامل چگالی، گران‌روی سینماتیکی، نقطه‌ی ریزش و نقطه‌ی اشتعال تعیین شد. چگالی به روش وزنی و براساس استاندارد ASTM به کمک هیدرومتر اندازه‌گیری شد. گران‌روی سینماتیک یکی از پارامترهای مهمی است که نقش اساسی در فرآیند روان‌کاری بازی می‌کند. گران‌روی سینماتیکی نمونه‌های ساخته شده، در دو دمای ۴۰ و ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و نیز در سه غلظت مختلف (۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی) براساس استاندارد ASTM D-445 اندازه‌گیری شد. تجهیز مورد استفاده ساخت شرکت Thermo Haake ازکشور آمریکا و مدل آن Visco Tester 7L بود. علاوه بر گران‌روی، خواص متعدد دیگری در رابطه با کیفیت عملکرد روغن در شرایط مختلف مطرح است که از آن جمله می‌توان به نقطه‌ی ریزش و نقطه‌ی اشتعال اشاره نمود. این دو پارامتر در واقع بیانگر محدوده‌ی دمایی کارکرد روغن می‌باشند. زیرا نقطه‌ی ریزش کم‌ترین دمایی است که روغن در آن حالت می‌تواند جریان داشته باشد، و نقطه‌ی اشتعال کم‌ترین دمایی است که در آن روغن به اندازه کافی به بخار تبدیل شده و با هوا مخلوطی قابل اشتعال به‌وجود می‌آورد که در واقع نشان دهنده‌ی کمینه و بیشینه دمای کارکرد روغن می‌باشند. این دو پارامتر مهم به‌ترتیب بر اساس استانداردهای ASTM D-97 و ASTM D-92 برای نانو روان‌کارها در سه غلظت مختلف اندازه‌گیری شدند. در این روش نمونه‌ی روغن با آهنگ خاصی سرد و درهر ۳ درجه کاهش دما، سیالیت آن ارزیابی شد. کم‌ترین دمایی که روغن می‌توانست جریان یابد نقطه‌ی ریزش می‌باشد و آن دما ثبت گردید. تجهیز مورد استفاده ساخت کشور آلمان و مدل آن HCP852 می‌باشد. برای اندازه‌گیری نقطه‌ی اشتعال نیز از دستگاه مدل Herzog ساخت کشورآلمان استفاده شد.

۲-۵ آزمون ضریب هدایت حرارتی

ضریب هدایت حرارتی سیالات به عنوان توانایی آن‌ها در انتقال گرما اندازه‌گیری شد. برای این منظور، از یک دستگاه با نام تجاری KD2-Pro ساخت شرکت Decagon Devices، کشور آمریکا استفاده گردید. این دستگاه از روش منبع حرارت خط گذرا برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی استفاده می‌کند.

۳- نتایج و بحث

هدف این پژوهش تولید نانوذرات از زغال باگاس نیشکر و بررسی تأثیر نانوذرات بیوچار تولیدی با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی در ترکیب با روغن‌پایه بر روی خواص فیزیکی، ضد سایشی، ضریب اصطکاک و ضریب انتقال حرارت هدایت (k) می‌باشد. آزمون‌های مربوطه بر اساس استانداردهای مناسب انجام و نتایج ثبت شد. در این بخش با توجه به داده‌های حاصل از آزمون‌ها نتایج به‌دست‌آمده، تحلیل و با مقایسه عملکرد مخلوط‌های نانو سیال با سیال پایه نقش نانوذرات در بهبود خواص روغن پارس سوپر کیان ویژه ۶۰۰۰ بررسی شد.

۳-۱ تولید نانو ذرات از زغال باگاس نیشکر

نتایج مربوط به آنالیز عنصری مخلوط نانوذرات تولیدی طی فرآیند آسیای مکانیکی با مدت زمان ۴ ساعت و ۸ ساعت و میزان آن‌ها با استفاده از آزمون EDS[1] یا(EDX، ایدکس) به ترتیب در جداول ۳ و ۴ ذکر شده است. آنالیز EDS نشان‌دهنده‌ی عناصر کربن، اکسیژن، سیلیسیم و کلسیم می‌باشد (شکل‌های ۵ و ۶). بر اساس نتایج پیک‌های اصلی مربوط به سیلیسیم و کربن است. از سوی دیگر محصول فرآیند آسیاکاری به دلیل افزایش سطح ویژه، به شدت تمایل به انجام واکنش با اتمسفر محیط را داشته، لذا وجود عنصر اکسیژن به دلیل مذکور به‌واسطه حمل و نقل و جابه‌حایی نمونه پودر در اتمسفر محیط قبل از آنالیز می‌باشد.

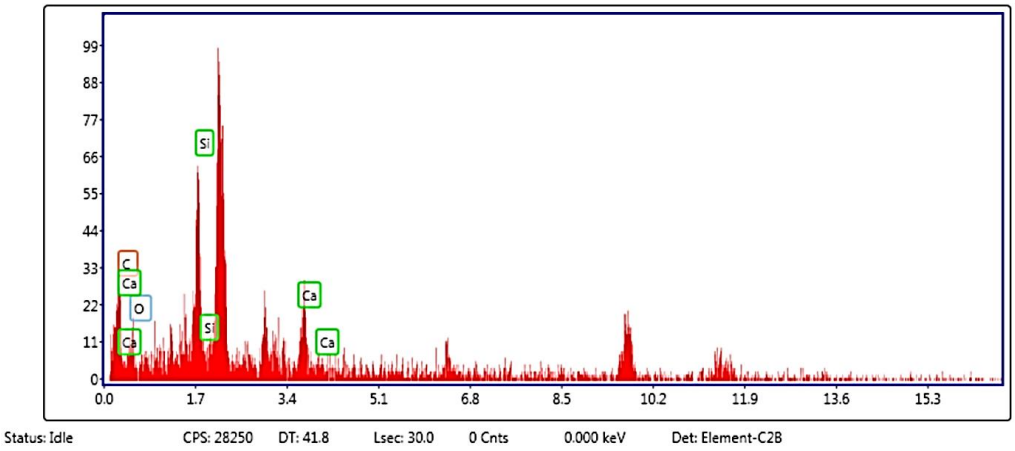
[1] Energy Dispersive Spectroscopy

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

جدول ۳: عناصر موجود در پودر نانوذرات حاصل از فرآیند آسیا کاری به مدت ۴ ساعت

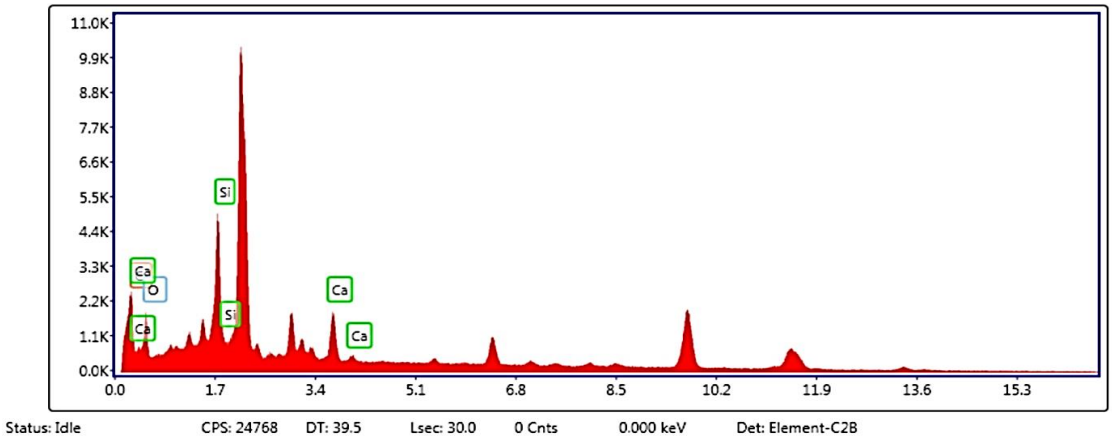
عنصر	٪وزنی	٪اتمی	Net Int.
کربن(C)	۳۲/۸۲	۴۵/۶۶	۳/۴۶
اکسیژن(O)	۳۶/۷۲	۳۸/۳۴	۴/۳۶
سیلیسیم(Si)	۱۸/۵۱	۱۱/۰۱	۱۷/۶۸
کلسیم(Ca)	۱۱/۹۵	۴/۹۸	۸/۰۵



شکل ۵ : آنالیز EDSمربوط به پودر نانو ذرات حاصل از فرآیند

جدول ۴: عناصر موجود در پودر نانوذرات حاصل از فرآیند آسیا کاری به مدت ۸ ساعت

عنصر	٪وزنی	٪اتمی	Net Int.
کربن(C)	۲۹/۳۹	۴۰/۸۲	۲۴۸/۱۶
اکسیژن(O)	۴۲/۲۲	۴۴/۰۳	۴۶۰/۱۹
سیلیسیم(Si)	۱۸/۶۹	۱۱/۱۱	۱۴۴۲/۸۳
کلسیم(Ca)	۹/۷	۴/۰۴	۵۳۴/۰۱

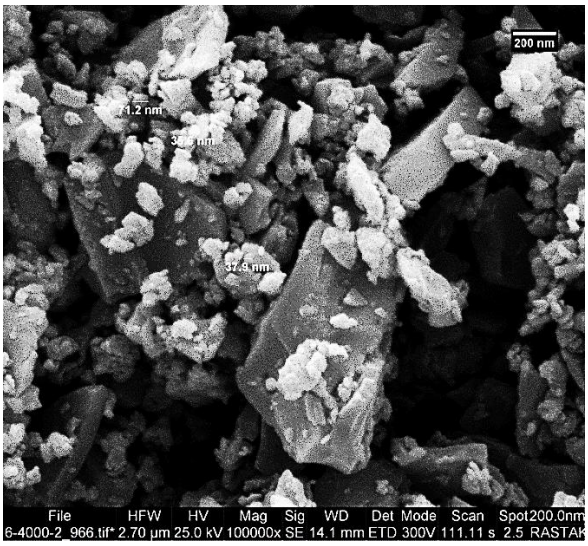


شکل ۶ : آنالیز EDS مربوط به پودر نانوذرات حاصل از فرآیند آسیا کاری به مدت ۸ ساعت

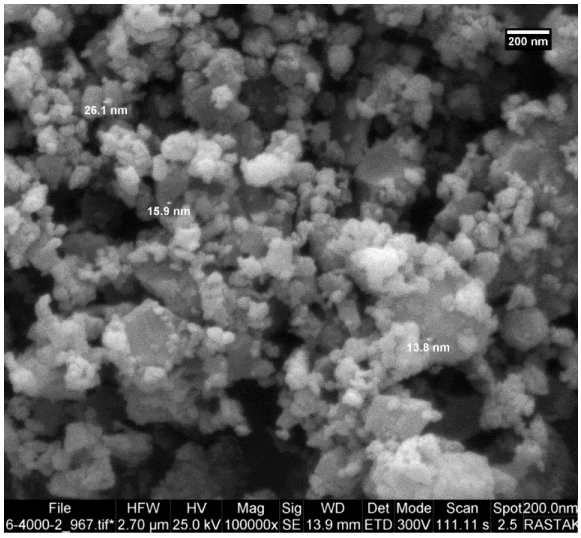
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

شکل‌های (۷) و (۸) تصاویر مربوط به SEM پودر حاصل از فرآیند آسیاکاری به ترتیب با مدت زمان ۴ ساعت و ۸ ساعت را نشان می‌دهد. با مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ میزان کلوخه‌های موجود در نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۴ ساعت بیش‌تر است و نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۸ ساعت دارای ابعاد کوچکتری هستند. در طول فرآیند آسیاکاری ذرات پودر به‌واسطه اعمال ضربه توسط گلوله‌های آسیاب، تحت تغییر فرم پلاستیسته بسیار شدیدی قرار می‌گیرند. این فرآیند موجب انتقال جرم بین ذرات پودر شده و در نهایت موجب تشکیل ترکیبات جدید و نیز تغییر فاز ذرات پودر می‌گردد.



شکل ۷: تصویر SEM از نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۴ ساعت با بزرگ‌نمایی ۱۰۰هزار برابر



شکل ۸: تصویر SEM از نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۸ ساعت با بزرگ‌نمایی ۱۰۰هزار برابر

بررسی نتایج XRD نیز تشکیل ترکیب‌های دی‌اکسیدسیلیسیم (SiO_2) و کربنات کلسیم ($CaCo_3$) را نشان می‌دهد. در شکل‌های (۹) و (۱۰) به ترتیب الگوی پراش اشعه X نانو ذرات تولید شده با فرآیند آسیاکاری با مدت زمان ۴ و ۸ ساعت را نشان می‌دهد. بر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

اساس نتایج XRD مربوط به پودر نانوذرات تولیدشده با مدت زمان ۴ساعت، کربنات‌کلسیم با کد رفرنس 01-085-1108، دارای ساختار کریستال Rhombohedral و مشخصات ذیل میباشد:

a =4.9803, b =4.9803, c =17.0187, Alpha (°):90.0000, Beta (°): 90.0000, Gamma (°):120.0000

بیش‌ترین شدت پیک (۱۰۰٪) در زاویه ۲۶/۶۸۶ درجه ایجاد شده است. دی‌اکسیدسیلیسیم با کد رفرنس01-086-1629 دارای ساختار کریستال هگزانول (Hexagonal) و مشخصات ذیل می‌باشد:

a=4.9030, b =4.9030, c=5.3999, Alpha (°): 90.0000, Beta (°): 90.0000, Gamma (°) :120.0000

که بیش‌ترین شدت پیک (۱۰۰٪) در زاویه ۲۶/۶۸۶ درجه ایجاد شده است.

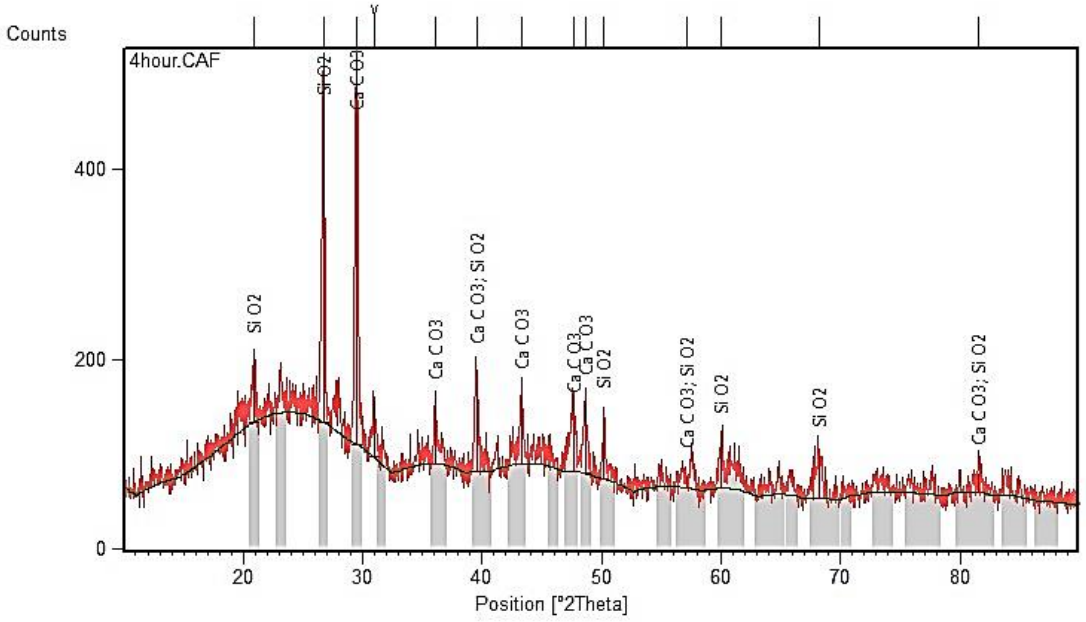
نتایج XRD مربوط به پودر نانوذرات تولیدشده با مدت زمان ۸ ساعت، برای ترکیب کربنات‌کلسیم بیش‌ترین شدت پیک (۱۰۰٪) در زاویه ۲۹/۴۶۶ درجه ایجاد شده است. این ترکیب با کد رفرنس01-085-1108، دارای ساختار کریستال Rhombohedral و مشخصات ذیل می‌باشد:

4.9803, b =4.9803, c =17.0187, Alpha (°):90.0000, Beta (°): 90.0000, Gamma (°):120.0000=a

ترکیب دی‌اکسیدسیلیسیم نیز با کد رفرنس 01-085-0795 دارای ساختار کریستال شش ضلعی(Hexagonal) و مشخصات ذیل می‌باشد:

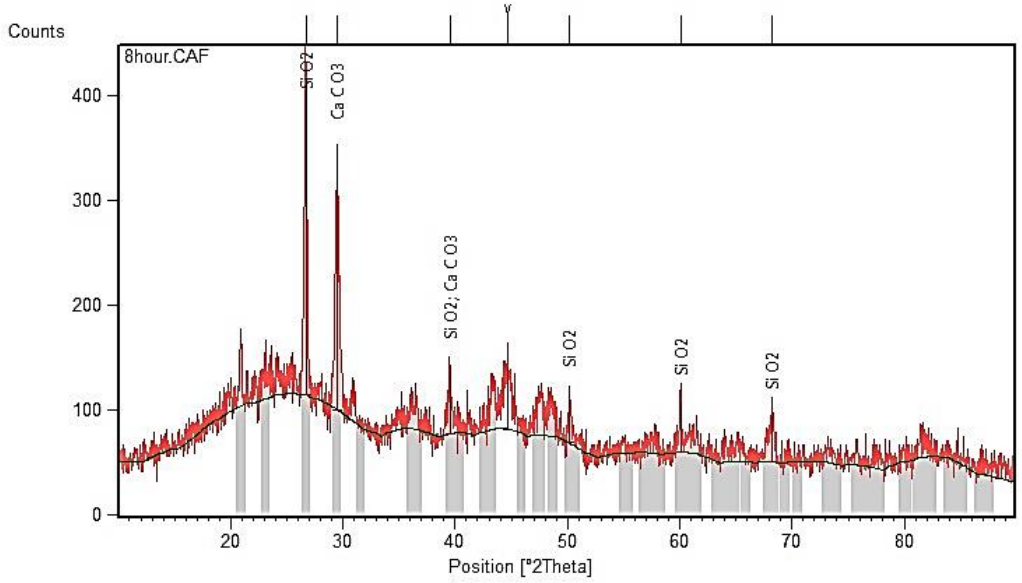
a =4.9108, b =4.9108, c= 5.4028, Alpha (°): 90.0000, Beta (°): 90.0000, Gamma (°):120.0000

برای ترکیب دی اکسید سیلیسیم بیشترین شدت پیک(۱۰۰٪) در زاویه ۲۶/۶۵۴ درجه ایجاد شده است.



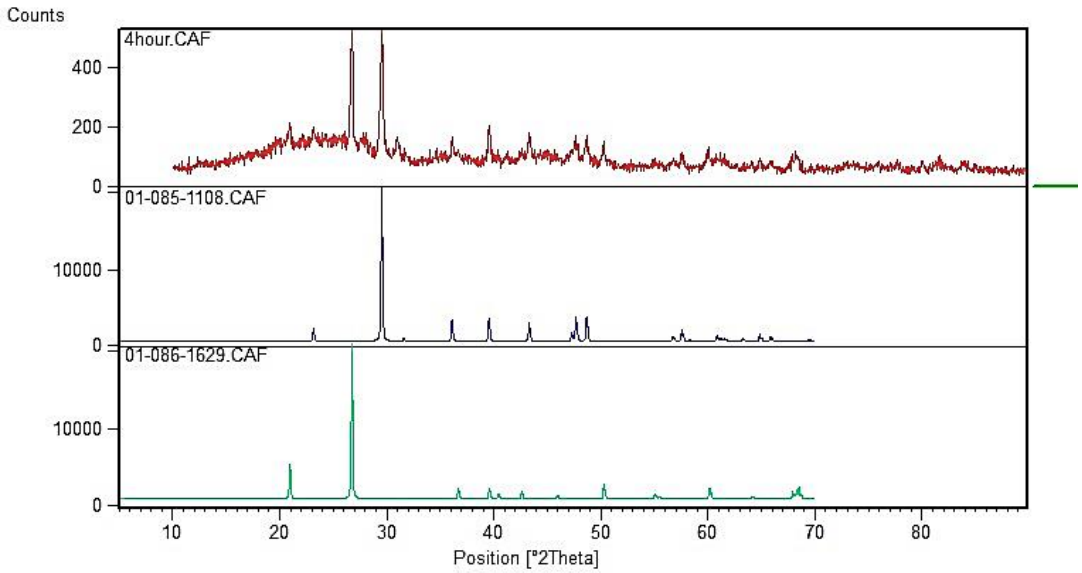
شکل ۹: الگوی پراش نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۴ ساعت

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]



شکل ۱۰ : الگوی پراش نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۸ ساعت

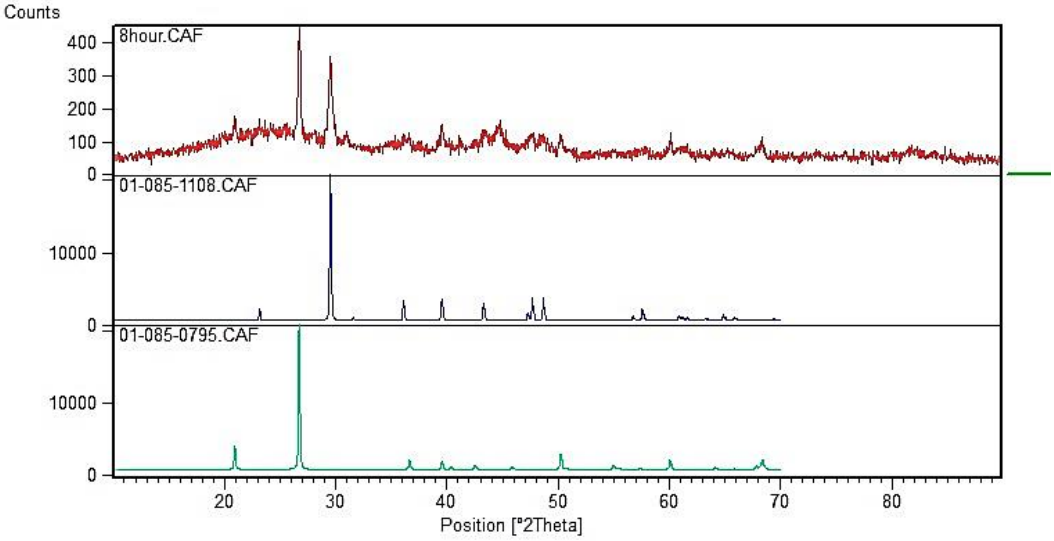
در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) به‌ترتیب مقایسه الگوی پراش نانو ذرات تولید شده با مدت زمان ۴ ساعت و ۸ ساعت با الگوی پراش کدهای رفرنس مربوط به ترکیب‌های کربنات‌کلسیم ($CaCo_3$) و دی‌اکسیدسیلیسیم (SiO_2) نشان داده شده است. توزیع نمودار گویای هم‌خوانی نمودار پراش با کدهای رفرنس می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی نانوذرات تولید شده طی فرآیند آسیاکاری و مدت زمان ۴ و ۸ ساعت، نانوذرات تولیدی در مدت زمان ۸ ساعت دارای ابعد کوچکتر و کلوخه‌های کم‌تر بود. به‌همین خاطر در ادامه پژوهش از این نانوذرات جهت ترکیب با روغن پایه و انجام آزمون‌های مورد نظر استفاده شد.



شکل ۱۱ : مقایسه الگوی پراش نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۴ ساعت با الگوی پراش کدهای رفرنس مربوط به ترکیب‌های کربنات کلسیم($CaCo_3$) و دی اکسید سیلیسیم(SiO_2)

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]



شکل ۱۲ : مقایسه الگوی پراش نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۸ ساعت با الگوی پراش کدهای رفرنس مربوط بهترکیب‌های کربنات‌کلسیم ($CaCo_3$) و دی‌اکسیدسیلیسیم (SiO_2)

۳-۲ نتایج آزمون خواص فیزیکی سیال

نتایج حاصل از آزمون تعیین خواص فیزیکی مخلوط‌های روان‌کار در جدول (۵) ذکرشده است. با توجه به نتایج با افزایش غلظت نانوذرات بیوچار در روغن پایه، چگالی مخلوط‌های نانو نسبت به روغن پایه افزایش یافت. گران‌روی مخلوط‌های نانو روان‌کار نسبت به روغن پایه در دمای ۴۰°C همراه با افزایشی ناچیز بود. میزان تغییرات گران‌روی برای مخلوط‌های حاوی نانو ذرات با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی نسبت به روغن پایه به‌ترتیب ۰/۱۸، ۰/۸ و ۲/۹ درصد افزایش داشت. افزایش گران‌روی مخلوط‌های نانو روان‌کار حاوی نانو ذرات با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی در دمای ۱۰۰°C نیز نسبت به روغن پایه به ترتیب ۳/۷، ۴/۸ و ۶/۶ درصد بود. عوامل مختلفی بر میزان تغییرات گران‌روی نانو سیالات، تأثیرگذار است. این عوامل شامل نوع نانوذرات، نوع سیال پایه، درصد ترکیب نانوذرات با سیال پایه، روش مورداستفاده برای پراکنده‌سازی نانوذرات درون سیال پایه و هم‌چنین میزان پراکندگی نانوذرات می‌باشد. معمولاً با افزایش غلظت نانوذرات میزان گران‌روی هم افزایش می‌یابد ولی عمدتاً در غلظت‌های پایین این تغییرات چندان محسوس نیست.

جدول ۵ : مقایسه خواص فیزیکی روغن پایه و نانو روان‌کارها

نام آزمون	واحد	استاندارد	روغن پایه	نانو روغن با غلظت ۰/۵٪	نانو روغن با غلظت ۱٪	نانو روغن با غلظت ۲٪
گران‌روی در دمای 40°C	سانتی استوک	ASTM D445	۱۶۱/۷	۱۶۲	۱۶۳	۱۶۶/۴
گران‌روی در دمای 100°C	سانتی استوک	ASTM D445	۱۶/۱۶	۱۶/۷۶	۱۶/۹۴	۱۷/۲۳
چگالی در دمای15°C	kg/m^3	ASTM D4052	۹۰۰	۹۰۶	۹۰۷	۹۰۷
نقطه ریزش	°C	ASTM D97	-۱۸	-۲۱	-۲۲	-۲۳
نقطه اشتعال	°C	ASTM D92	۲۴۶	۲۲۵	۲۲۳	۲۲۲

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

بر اساس نتایج آزمون، نانو ذرات موجود در روغن پایه سبب کاهش نقطه اشتعال شده است. این کاهش برای مخلوط‌های نانو روان‌کار با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی نسبت به روغن پایه به‌ترتیب ۸/۵، ۹/۳ و ۹/۷۵ درصد بود. نقطه‌ی اشتعال به‌عنوان یکی از مشخصه‌های کیفی روغن‌های روان‌کار است و هرچه نقطه‌ی اشتعال بالاتر باشد امکان کارکرد روغن در دماهای بالاتر میسر می‌شود. در حالت عادی روغن‌های با نقطه‌ی اشتعال بالا به دلیل دارا بودن هیدروکربن‌های با وزن مولکولی زیاد، دارای گران‌روی بالایی نیز می‌باشند، بالا بودن گران‌روی روان‌کار در حالت عادی به‌عنوان یک عیب محسوب شده و سبب بروز مشکلاتی برای سامانه‌ی روان‌کاری می‌شود. در این پژوهش اثر نانوذرات بیوچار بر تغییرات ایجاد شده در میزان نقطه‌ی ریزش نیز بررسی شد. نتایج نشان داد وجود نانوذرات در ترکیب با روغن سبب افزایش نقطه‌ی ریزش شده است. این افزایش برای مخلوط‌های نانو روان‌کار با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی نسبت به روغن پایه به‌ترتیب ۱۶/۶، ۲۲/۲ و ۲۷/۷ درصد بود. معمولاً وجود نانوذرات به‌عنوان مواد افزودنی در ترکیب با روغن سبب می‌شود ذرات پارافین موجود در روغن را در دمای پایین به‌صورت معلق نگه دارد و از بسته شدن روغن (جامد شدن) جلوگیری کند. نانوذرات معلق باعث می‌شوند که خواص انتقالی سیال کاملاً تغییر کند و انتقال حرارت به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یابد. به‌دلیل این خواص ویژه، نانوسیال‌ها کاربردگسترده‌ای در انتقال حرارت دارند.

در این پژوهش جهت انجام آزمون تعیین ضریب هدایت حرارتی پس از ساخت نمونه‌های نانو روان‌کار با درصدهای وزنی ۰/۵، ۱ و۲ از ترکیب نانوذرات بیوچار با روغن پایه، آزمون انجام شد. نتایج حاصل از این آزمون در جدول ۶ ذکرشده است. با توجه به نتایج حاصل با افزایش میزان نانوذرات در روان کار انتقال حرارت هدایتی بیش‌تر شد. این افزایش برای نانو روان‌کارها با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و۲ نسبت به روغن پایه به‌ترتیب ٪۲/۳، ٪۹/۱۶ و ۱۹/۸ بود. افزایش ضریب انتقال حرارت هدایتی با افزایش میزان نانوذرات در سیال، مربوط به افزایش سطح ویژه نانو ذرات می‌باشد که فاصله‌ی ذرات در سیال کم می‌شود و امکان قرارگیری اتم‌ها در کنار هم و تشکیل ساختار خوشه‌ای فراهم می‌شود، این ساختار همانند یک مبدل لوله و پوسته عمل می‌کند که در آن نانوذرات حکم لوله و سیال روان کار مثل پوسته تبادل حرارت می‌کنند و یا به نحوی دیگر ضریب انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. بنابراین افزایش ضریب هدایت حرارتی روغن روان‌کار به‌منظور بالا بردن مقاومت آن در برابر افزایش دما، به‌عنوان یک پارامتر مهم در بهبود عملکرد آن می‌باشد. بهبود ضریب هدایت حرارتی روغن روان‌کار را می‌توان یک نکته‌ی مثبت در ارتباط با بهبود خواص روان‌کاری روغن پایه در نظر گرفت. نتایج، نشان‌دهنده افزایش ضریب هدایت حراتی هر کدام از نانو سیال‌ها در مقایسه با سیال پایه بود.

جدول ۶: میزان ضریب انتقال حرارت هدایتی نانو سیال‌ها با غلظت‌های مختلف

درصد وزنی	ضریب هدایت حرارتی K (W/m.K)
۰	۰/۱۳۱
۰/۵	۰/۱۳۴
۱	۰/۱۴۳
۲	۰/۱۵۷

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مربوط به SEM پودر حاصل از فرآیند آسیاکاری به‌ترتیب با مدت زمان ۴ ساعت و ۸ ساعت نشان داد، میزان کلوخه‌های موجود در نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۴ ساعت بیشتر است و نانوذرات تولید شده با مدت زمان ۸ ساعت دارای ابعاد کوچک‌تری هستند. در طول فرآیند آسیاکاری ذرات پودر به‌واسطه اعمال ضربه توسط گلوله‌های آسیاب، تحت تغییر فرم پلاستیسیته بسیار شدیدی قرار می‌گیرند. این فرآیند موجب انتقال جرم بین ذرات پودر شده ودر نهایت موجب تشکیل ترکیبات جدید و نیز تغییر فاز ذرات پودر می‌گردد. هم‌چنین باتوجه به نتایج با افزایش غلظت نانوذرات بیوچار در روغن پایه، چگالی مخلوط‌های نانونسبت به روغن

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

پایه افزایش، گران‌روی همراه با افزایشی ناچیز، نقطه اشتعال کاهش و نقطه‌ی ریزش افزایش یافت. عوامل مختلفی بر میزان تغییرات گران‌روی نانو سیالات، تأثیرگذار است. این عوامل شامل نوع نانوذرات، نوع سیال پایه، درصد ترکیب نانوذرات با سیال پایه، روش مورداستفاده برای پراکنده‌سازی نانوذرات درون سیال پایه و هم‌چنین میزان پراکندگی نانوذرات می‌باشد. معمولاً با افزایش غلظت نانوذرات میزان گران‌روی هم افزایش می‌یابد ولی عمدتاً در غلظت‌های پایین این تغییرات چندان محسوس نیست. نقطه‌ی اشتعال به‌عنوان یکی از مشخصه‌های کیفی روغن‌های روان‌کار است و هرچه نقطه‌ی اشتعال بالاتر باشد امکان کارکرد روغن در دماهای بالاتر میسر می‌شود. وجود نانوذرات به‌عنوان مواد افزودنی در ترکیب با روغن سبب می‌شود ذرات پارافین موجود در روغن را در دمای پایین به‌صورت معلق نگه دارد و از بسته شدن روغن (جامد شدن) جلوگیری کند. نانوذرات معلق باعث می‌شوند که خواص انتقالی سیال کاملاً تغییر کند و انتقال حرارت به‌طورقابل ملاحظه‌ای بهبود یابد. هم‌چنین با افزایش میزان نانوذرات در سیال، سطح ویژه نانو ذرات زیاد و فاصله‌ی ذرات در سیال کم می‌شود. نتیجه آن تشکیل ساختار خوشه‌ای اتم‌ها و افزایش ضریب هدایت حرارتی نانو روان‌کارها می‌باشد. به دلیل این خواص ویژه، نانوسیال‌ها کاربرد گسترده‌ای در انتقال حرارت دارند.

فهرست منابع

[1] Akinci, A., Sen, S.,&Sen, U., Friction and wear behavior of zirconium oxide reinforced PMMA Composites, Elsevier, Part B, 56 (2014), 42–47.

[2] Sedaghat Hosseini, M., Rostami, M., and Mohammadi, A., Study of Effects of Nano-Diamond as an Oil Additive on Engine Oil Properties and Wear Rate of the Internal Parts of Agricultural Tractors Engines, Mechanical Engineering, 57A . (2013), 14443-14447.

[3] Liu, G., Li, X., Qin, B., Xing, D., Guo, Y. and Fan, R., Investigation of the mending effect and mechanism of copper nano-particles on a tribologically stressed surface, Tribology Letters, 17.4. (2004), 961-966.

[4] Sanukrishna S. S., Vishnu, S., Krishnakumar, T. S., and Jose Prakash, M., Effect of oxide nanoparticles on the thermal, rheological and tribological behaviours of refrigerant compressor oil: An experimental investigation, International Journal of Refrigeration, 26, 90 (2018), 32–45.

[5] Su, Y., Tang, Zh., Wang, G., and Wan, R., Influence of carbon nanotube on the tribological properties of vegetable based Oil, Advances in Mechanical Engineering, 23 (2018), 10, 1–11.

[6] Laad, M., Ponnamma, D., and Sadasivuni, K.K., International Journal of Applied Engineering Research, 12, 11 (2017), 2855-2861.

[7] Mandlik, S.N., Mande, A.C.,and Nimbalkar, S.R., EXPRIMENTAL ANALYSIS OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF LUBRICATING OIL USING NANOPARTICLE ADDITIVES, www.ijariie.com, 12 (2016), 637-645.

[8] Baskar, S., Sriram, G., and Arumugam, S., Experimental Analysis on Tribological Behavior of Nano Based Bio-Lubricants using Four Ball Tribometer. Tribology in Industry 37,4 (2015), 449-454.

[9] Su,Y., Tang,Zh., Wang, G.,and Wan, R., Influence of carbon nanotube on the tribological properties of vegetablebased Oil, Advances in Mechanical Engineering, 10, 5 (2018), 1–11.

[10] http://www.behranoil.com/fa/product/2303-HP.html

[11] Zhao, J., Huang, Y., He, Y., & Shi, Y. Nanolubricant additives: A review. Friction, 9 2021, 891-917.

[۱۲] وفائی‌زاده، م.، و تقی‌پور، ع. (۱۴۰۰). بررسی تجربی تأثیر نانو ذرات بر خواص تریبولوژیکی زیست روان‌کارها، مجله مهندسی مکانیک، ۵۱، ۱، ۲۷۵-۲۶۷.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

Experimental Study on the Effect of Speed and Time Parameters on the Synthesis of Nanoparticles Produced from Sugarcane Bagasse (Nano-Biochar) Using Mechanical Milling and Their Impact on the Physical and Thermal Properties of Nano-Lubricants

Abbas Taghipour[1]*, Niyusha Tabandeh[2]

[1]* Institute of Manufacturing Engineering and Industrial Technologies, Dez.C., Islamic Azad University, Dezful, Iran, ab.taghipoor@iau.ac.ir

[2] Student, Department of Chemical Engineering, Urmia University of Technology, Urmia, Iran, niyusha.tabandeh@gmail.com

Received: March 2025 - Accepted: May 2025

Abstract

Nanoparticles, due to their exceptionally high surface area and geometric structure, can significantly enhance anti-wear properties and reduce friction when combined with lubricants. This research consists of three stages. In the first stage, nanoparticles were produced from sugarcane bagasse (nano-biochar) using mechanical milling for durations of 4 and 8 hours. The production of biochar nanoparticles from sugarcane waste as bio-nanoparticles can be a step toward mitigating environmental issues. The nanoparticles produced at these two durations were evaluated using EDS and XRD tests, and based on the results, the nanoparticles produced after 8 hours were deemed more suitable.In the second stage, the nanoparticles were mixed with Pars Super Kian 6000 oil, commonly used in motorcycles, at concentrations of 0.5%, 1%, and 2% by weight. The physical and thermal properties of each mixture were determined. Based on the conducted tests and the results obtained for the four oil samples, it was found that the nano-lubricant with a 2% weight concentration exhibited the best performance. These results indicate that increasing the weight concentration of biochar nanoparticles as an additive in the oil has a positive effect on improving its physical and thermal properties.

Keywords: Bio-nanoparticles, Physical properties, Thermal properties, Lubricant.

*corresponding author: ab.taghipoor@iau.ac.ir

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.82377/jeed.2025.2.546]

Cite this article as: Abbas Taghipour, Niyusha Tabandeh. Experimental Study on the Effect of Speed and Time Parameters on the Synthesis of Nanoparticles Produced from Sugarcane Bagasse (Nano-Biochar) Using Mechanical Milling and Their Impact on the Physical and Thermal Properties of Nano-Lubricants. **Journal of Energy Conversion, 2025, 12(1), 1-14.**