



بررسی تأثیر افزودن ذرات نانویوچار حاصل از باگاس نیشکر به مخلوط سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول بر عملکرد و آلایندگی موتور دیزل تک‌سیلندر

سید امین میرباقری^۱، سید محمد صفی‌الدین اردبیلی^{۲*}، مصطفی کیانی ده کیانی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز،

seyedaminmirbagheri@gmail.com

۲. استادیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، m.safieddin@scu.ac.ir

۳. استادیار، مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، m.kiani@scu.ac.ir

چکیده

امروزه مدیریت و بازیافت پسماند محصولات کشاورزی و جلوگیری از هدر رفت، دفن و سوزاندن آن‌ها از یک طرف و از طرف دیگر افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و تجدید ناپذیر بودن و نگرانی‌های زیست‌محیطی حاصل از سوختن این سوخت‌ها و همچنین افزایش شدید قیمت سوخت‌های فسیلی، بسیاری از کشورها را با چالش مواجه کرده است. در این پژوهش با استفاده از باگاس نیشکر به عنوان یکی از پسماندهای محصولات کشاورزی، اقدام به تولید یک نانوذره زیستی به نام نانویوچار نموده و به عنوان افزودنی سوخت مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در این پژوهش از سوخت‌های تجدید پذیر بیودیزل و اتانول که در سال‌های اخیر استفاده از آن‌ها رشد یافته است، به صورت ترکیب با سوخت دیزل مورد استفاده قرار گرفت. این مطالعه تأثیر افزودن ذرات نانویوچار به مخلوط سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول را بر عملکرد و انتشار آلایندگی موتور دیزل تک‌سیلندر هوا خنک تحلیل کرد. اثر پارامترهای ورودی: نسبت بیودیزل (۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد)، نسبت اتانول (۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد)، غلظت نانویوچار (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ پی‌پی‌ام) و سرعت موتور (۱۸۰۰، ۲۰۰۰، ۲۲۰۰، ۲۴۰۰ و ۲۶۰۰ دور در دقیقه) هر کدام بر پارامترهای پاسخ (یعنی گشتاور، توان، مصرف سوخت ویژه ترمزی و انتشار آلایندگی‌های CO ، NO_x ، CO_2 و UHC) مورد بررسی قرار گرفت. روش سطح پاسخ (RSM) برای به حداکثر رساندن عملکرد موتور و به حداقل رساندن انتشار آلایندگی‌های آگروز استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از ذرات نانویوچار، مقدار گشتاور و توان را به ترتیب تا ۱۲/۴۳ درصد و ۱۱/۸۸ درصد افزایش می‌دهد، در حالی که مقدار $BSFC$ و انتشار آلایندگی CO ، NO_x ، CO_2 و UHC به ترتیب تا ۲/۹۳ درصد، ۱۳/۹۲ درصد، ۷۳/۳۳ درصد، ۲۲/۶۶ درصد و ۲۸/۰۶ درصد کاهش یافت.

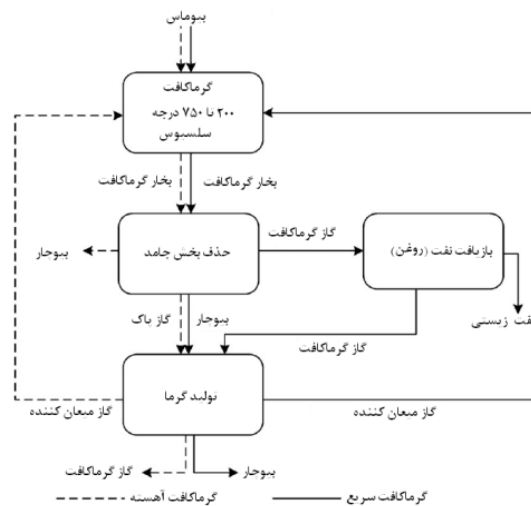
کلمات کلیدی: نانویوچار، بیودیزل، اتانول، باگاس نیشکر، عملکرد، انتشار آلایندگی، روش سطح پاسخ

*نویسنده مسئول: m.safieddin@scu.ac.ir

بررسی تأثیر افزودن ذرات نانویوچار حاصل از باگاس نیشکر به مخلوط سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول بر عملکرد و آلاینده‌گی موتور دیزل تک‌سیلندر

مقدمه

تجزیه گرمایی - شیمیایی زیست توده^۱ در نبود اکسیژن و یا حضور اکسیژن به صورت جزئی یا گرماکافت^۲ علاوه بر دی اکسید کربن، گازهای سوختی، مواد تبخیر شونده و بخارهای قیری، یک جزء جامد غنی از کربن بنام بیوچار^۳ تولید می‌نماید. بیوچار یک ماده متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه است که از گرمادهی بقایای آلی مانند ضایعات گیاهی، کودهای دامی و سایر ضایعات در دماهای ۲۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک محیط بدون اکسیژن یا با میزان اکسیژن محدود به دست می‌آید [۲۷]. دستگاه تولید بیوچار دارای یک مخزن می‌باشد که زیست توده در داخل آن قرار داده می‌شود و بعد از خارج کردن اکسیژن حرارت داده می‌شود و بدین ترتیب، زیست توده داخل مخزن تبدیل به بیوچار می‌شوند [۷].

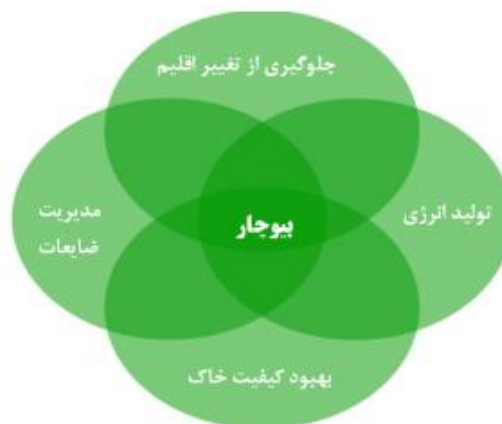


شکل (۱): محصولات حاصل از گرماکافت زیست توده [۶]

تولید جهانی بیوچار با هر دو روش گرماکافت آهسته و سریع، در سال ۲۰۰۵ بالغ بر ۴۴ میلیون تن بود. اثرات مفید بیوچار از بیش از ۲۰۰۰ سال پیش و در زمان کشاورزی "بریدن و سوختن"^۴ شناخته شده است [۴۵]. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع مواد اولیه، شرایط واحد گرماکافت، سرعت گرمادهی، اندازه ذرات بیوچار و دمای اوج گرماکافت و مدت زمان گرماکافت قرار می‌گیرد. دامنه گسترده فرایند گرماکافت منجر به تشکیل بیوچارهایی می‌شود که از نظر ترکیب عنصری و خاکستر، جرم مخصوص، تخلخل، توزیع اندازه منافذ، سطح ویژه، خصوصیات شیمیایی سطح، جذب و دفع آب و یونها، PH و یکنواختی ساختمان فیزیکی بسیار متفاوت هستند [۲۴، ۲۵]. دما از متغیرهای اصلی تهیه بیوچار است که تأثیر مهمی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و پایداری آن دارد.

1 Biomass
2 Pyrolysis
3 Biochar
4 Slash and burn

خصوصیاتی از بیوجار که تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند عبارتند از مقدار بیوجار تولید شده [۹، ۲۲]، درصد کربن، ترکیب عنصری [۴، ۵، ۲، ۱۳]، میزان خاکستر، میزان مواد فرار، وزن مخصوص، توزیع اندازه خلل و فرج، سطح ویژه، خصوصیات شیمیایی سطح [۳۱]، جذب سطحی آب و یون‌ها، PH [۱۸]، ساختمان فیزیکی و پایداری در مقابل تجزیه [۱۰، ۲۸]. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد با افزایش دمای گرماکافت بر میزان خاکستر آن افزوده می‌شود و همچنین بقایای چوبی نسبت به بقایای علفی خاکستر کمتری تولید می‌نماید [۱۳، ۱۴، ۴۷، ۳۰]. به طور کلی بیوجار برای تحقق چهار هدف مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید انرژی و همچنین بهبود خصوصیات خاک تهیه می‌شود [۳۵].



شکل (۲): اهداف کلی تولید و مصرف بیوجار [۲۷]

مدیریت ضایعات: تولید و مصرف بیوجار پتانسیل زیادی برای مدیریت ضایعات گیاهی و حیوانی دارد و بنابراین آلودگی محیط زیست را کاهش می‌دهد. ضایعاتی که برای تولید بیوجار استفاده می‌شوند شامل ضایعات محصولات کشاورزی [۴۶]، ضایعات جنگلداری [۳۶]، کودهای حیوانی [۳۲]، ضایعات فرآوری محصولات غذایی [۱۱]، ضایعات کاغذسازی [۴۴] و ضایعات جامد شهری و لجن فاضلاب هستند [۳۳].

کاهش تغییرات اقلیمی: تولید و مصرف بیوجار به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های کاهش تغییرات اقلیمی پیشنهاد شده است [۸].

کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی: در فرایند گرماکافت گازهایی از قبیل متان و اتان تولید می‌گردد که استفاده از انرژی به دست آمده از این گازها مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش داده و نیمی از کربن تثبیت شده طی فتوسنتز نگه داشته می‌شود [۲۹].

افزایش آثار زیانبار آلودگی هوای ناشی از سوختن سوخت‌های فسیلی سبب به وجود آمدن اجبار در اجرای قوانین مبارزه با آلودگی هوا شده است. کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی به طور قابل توجهی می‌تواند انتشار آلاینده‌های زیانبار را کاهش دهد، که این امر می‌تواند با جایگزینی سوخت‌های تجدیدپذیر محقق شود. منابع پایدار انرژی‌های تجدیدپذیر نقش مهمی در آینده انرژی جهان دارند. در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های به دست آمده از زیست‌توده محصولات کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته‌اند [۲۳، ۱۲، ۲۰، ۴۱].

بیودیزل سوخت زیستی پایدار و تجدیدپذیر است که از روغن‌های گیاهی، روغن‌های پسماند، چربی‌های حیوانی و روغن حاصل از میکرو جلبک‌ها تولید می‌شود. این سوخت می‌تواند به صورت ترکیبی با سوخت دیزل بدون تغییرات ویژه‌ای در موتورها استفاده شود [۴۲، ۴۳].

تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از بیودیزل، میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته، دی اکسید کربن، مونوکسید کربن، اکسیدهای گوگرد و ذرات جامد خروجی از آگروز موتور را کاهش می‌دهد و تنها مقدار اکسیدهای نیتروژن را افزایش داده که می‌تواند از طریق تنظیم زمان پاشش سوخت کاهش دهد [۲۶].

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از الکل به صورت ترکیبی با سوخت دیزل در موتور، بر برخی خواص سوخت نظیر گرانروی، ارزش حرارتی، رطوبت و عدد ستان آن تأثیر می‌گذارد [۳۴، ۱۷].

الکل‌ها به دلیل داشتن اکسیژن، میزان اکسیژن موجود در محفظه احتراق را افزایش می‌دهند. تحقیقات بسیاری استفاده از افزودنی‌های الکی برای افزایش عملکرد و بازده احتراق پیشنهاد داده‌اند [۴۰، ۱۶].

از سوی دیگر، در طی سال‌های گذشته دانشمندان در زمینه فناوری نانو به موفقیت‌های مهمی دست یافته‌اند. نانوفناوری با ساختارهای ریز و مواد با اندازه بسیار کوچک در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانومتر سر و کار دارد. تغییر حالت میکروذرات به نانوذرات می‌تواند به تغییراتی در خواص فیزیکی ماده منجر شود. افزایش نسبت سطح به حجم و انتقال ذرات به محدوده‌ای که اثرات بین مولکولی غالب است، دو عامل مهم در تغییر خواص است [۲۱].

افزودن نانوذرات و یا نانو کاتالیزور به مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل سبب بهبود عملکرد، آلایندگی موتور و خواص فیزیکی-حرارتی سوخت مانند افزایش نسبت سطح به حجم، هدایت حرارتی و بهبود نفوذ توده سوخت می‌شود [۱۹].

تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که افزودن نانوذرات به سوخت دیزل، بیودیزل و مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل سبب افزایش نقطه اشتعال و گرانروی سینماتیکی شده است.

پیشینه پژوهش

سلواگاناپتی و همکاران، عملکرد و آلایندگی موتور دیزل تک سیلندر چهارزمانه آب‌خنک با استفاده از سوخت دیزل و نانوذرات اکسید روی که در غلظت ۲۵۰ ppm و ۵۰۰ ppm مخلوط شدند ارزیابی کردند. فشار اوج سیلندر برای ترکیب نانوذرات با دیزل بالاتر مشاهده شد. فشار اوج سیلندر برای سوخت دیزل در زاویه میل‌لنگ ۵ درجه پس از نقطه مرگ بالا ۶۹ بار به دست آمد، برای سوخت دیزل مخلوط با ۲۵۰ ppm از اکسید روی در زاویه میل‌لنگ ۲ درجه پس از نقطه مرگ بالا، ۶/۷۵ به دست آمد و برای سوخت دیزل مخلوط با ۵۰۰ ppm از اکسید روی در زاویه ۲ درجه بعد از نقطه مرگ بالا، ۷۸ به دست آمد. افزودن اکسید روی حرارت آزاد شده را ۱۸/۲ درصد برای غلظت ۲۵۰ ppm اکسید روی و ۲۰ درصد برای ۵۰۰ ppm اکسید روی افزایش داده است. انتشار NOx برای دیزل خالص در مقایسه با تمام مخلوط سوخت کمتر بود. راندمان حرارتی ترمزی برای سوخت با ۲۵۰ ppm اکسید روی ۲/۷۱٪ و ۴/۵۳٪ برای ۵۰۰ ppm اکسید روی بهبود یافته است [۳۸].

ساجیوان و همکاران، آزمایشی برای بررسی فعالیت کاتالیزوری اکسید سریم در موتورهای احتراق تراکمی مکش طبیعی چهار زمانه تک‌سیلندر آب‌خنک در سرعت نامی ۱۵۰۰ دور بر دقیقه انجام دادند. عملکرد و انتشار موتور با سوخت دیزل و

5 Quantum
6 Sivaganapthy
7 Sajeewan



دیزل دارای نانوذرات اکسید سریم با غلظت ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ ppm مقایسه شد. با اضافه شدن نانوذرات ویسکوزیته و نقطه اشتعال افزایش یافت. انتشار هیدروکربن با اضافه کردن نانوذرات کاتالیزوری در حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد، به ویژه در بارهای بالاتر کاهش یافته است. انتشار NOx حداکثر ۳۰٪ با اضافه کردن نانوذرات اکسید سریم در دیزل در بارهای بالاتر کاهش و کاهش بیشتر یعنی تا ۵۰٪ با اضافه کردن ۵٪ حجمی، تیمار سورفاکتانت نانوذرات پیدا شد [۳۷].

سلوان^۸ و همکاران، عملکرد و آلاینده‌گی سوخت دیزل خالص و مخلوط سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول با اکسید سریم ۲۵ ppm به‌عنوان افزودنی سوخت در موتور تک‌سیلندر چهارزمانه آب‌خنک تراکم متغیر در نسبت تراکم ۱۹ مورد بررسی قرار دادند. مصرف سوخت ویژه پائین‌تر برای ترکیبی از دیزل خالص با اکسید سریم مشاهده شد. راندمان حرارتی ترمزی بالاتر برای دیزل خالص مشاهده شد. بیشترین اوج فشار ۱۰/۲ MPa برای مخلوط سوخت دیزل با اکسید سریم پیدا شد. اضافه کردن اکسید سریم انتشار HC، CO در مقایسه با دیزل خالص کاهش داد. انتشار NOx در مقایسه با کل مخلوط سوخت، برای دیزل کمتر بود. حداقل ضریب جذب دود ۱/۲۷۳ برای مخلوط اکسید سریم با دیزل، بیودیزل و اتانول در فشار متوسط مؤثر ترمزی ۰/۴۴ MPa مشاهده شد [۳۹].

حسینی و همکاران، با افزودن نانوذرات به مخلوط سوخت دیزل و بیودیزل، تأثیر این مخلوط را بر عملکرد، آلاینده‌گی و حرارت موتور دیزل بررسی و تحلیل کردند. نتایج این پژوهش برای سوخت حاوی نانو ذرات کربن نشان داد که سوخت B10CNT30 و B5CNT60 نسبت به سوخت دیزل؛ گشتاور، توان، راندمان حرارتی، دمای گاز خروجی، ارتعاش و انتشار CO₂ و NO را افزایش و مصرف سوخت ویژه، CO، UHC و O₂ را کاهش می‌دهد. این نتایج برای سوخت حاوی نانوذرات اکسید آلومینیوم در سوخت B10AL90 نسبت به سوخت دیزل، با نسبت‌های متفاوت به همین صورت می‌باشد [۳].

الدرویش و همکاران (۱۳۹۶)، با افزودن نانوذرات نقره به مخلوط سوخت دیزل و زیست دیزل، تأثیر این مخلوط را بر عملکرد و ارتعاش موتور دیزل بررسی و تحلیل کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که ارتعاش، گشتاور، توان و دمای گازهای خروجی موتور با استفاده از سوخت حاوی نانوذرات اکسید نقره با غلظت ۵۰ ppm به ترتیب ۱۰/۸، ۶/۸، ۶/۸ و ۸/۳ درصد نسبت به سوخت B₂₀ افزایش و مصرف سوخت ویژه نیز ۶/۷ درصد کاهش داشته است [۱].

مواد و روش‌ها

گازوئیل

گازوئیل مورد استفاده در این پژوهش، از یک جایگاه سوخت در سطح شهر اهواز تهیه شد. گازوئیل عرضه شده این جایگاه، سوخت گازوئیل یورو ۴ بود. مشخصات سوخت گازوئیل یورو ۴ در جدول (۱) نشان داده شده است [۱۵].



جدول (۱): استاندارد خواص سوخت دیزل یورو ۴ مربوط به آلودگی

تاریخ انتشار	روش	محدودیت‌ها		واحد	پارامتر
		حداکثر	حداقل		
۱۹۹۲	EN-ISO 5165	-	۵۱	-	عدد ستان
۱۹۹۵	EN-ISO 3675	۳۶۰	-	°C	تقطیر نقطه‌ی ۹۵٪
۱۹۹۵	ASTM D1319	۸۴۵	-	Kg/m ³	چگالی در ۱۵ درجه سانتی‌گراد
۱۹۹۵	IP 391	۱۱	-	% (m/m)	هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک
۱۹۹۶	Pr.EN-ISO/DIS 14596	۵۰	۱۰	Mg/kg	محتوای گوگرد

بیودیزل

بیودیزل مورد نیاز این پژوهش، از روغن پسماند آشپزخانه و به روش ترانس‌استریفیکاسیون در مرکز تحقیقات بیوانرژی دانشگاه تربیت مدرس تهران تولید شد. برخی از خصوصیات بیودیزل تولید شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): برخی از خصوصیات مهم بیودیزل تولیدی بر اساس استاندارد ASTM

واحد	بیودیزل	حدود مجاز	روش استاندارد آزمون	خصوصیت
°C	۱۷۶	کمترین ۱۳۰	ASTM D-92	نقطه اشتعال
mm ² /s	۴/۷۳	۶/۰ - ۱/۹	ASTM D-445	گرانروی سینماتیک
°C	-۱	-	ASTM D-2500	نقطه ابری شدن
°C	-۴	-	ASTM D-97	نقطه ریزش
-	L ۱/۵	-	ASTM D-1500	رنگ
-	1a	بیشترین شماره ۳	ASTM D-130	خوردگی مس
% mass	۰/۰۱۶	بیشترین ۰/۰۲	ASTM D-6584	گلیسرین آزاد
% vol.	۰/۰۵	بیشترین ۰/۰۵	ASTM D-2709	آب و رسوبات
g/cm ³	۰/۸۸۰	-----	-----	چگالی

اتانول

اتانول مورد نیاز این پژوهش، از شرکت زیست فرآورده سپاهان و با درصد خلوص ۹۹/۵ درصد تهیه گردید. تصویر آن در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): الکل اتیلیک ۹۹/۵ درصد شرکت زیست فرآورده سپاهان

نانویوچار

ماده خام مورد نیاز برای تولید بیوچار این پژوهش، پسماند جامد کارخانه‌های تولید شکر از نیشکر، به نام باگاس می‌باشد. باگاس نیشکر از کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر واقع در کیلومتر ۴۵ جاده اهواز- خرمشهر تهیه گردید. ابتدا باگاس را به مدت ۲۴ ساعت در هوای آزاد زیر نور خورشید قرار داده، سپس باگاس را از الک شماره ۲ عبور داده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آن تحت دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت باگاس خشک شده برای انجام عملیات گرماکافت، در کوره‌ی الکتریکی موجود در مرکز رشد دانشگاه شهید چمران اهواز و در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار داده شد و بیوچار باگاس نیشکر تولید شد که تصویر آن در شکل (۴) نشان داده شده است. همچنین مشخصات کوره الکتریکی در جدول (۳) آمده است.



شکل (۴): بیوچار باگاس نیشکر

جدول (۳): مشخصات کوره الکتریکی

حجم	۴۰ لیتر
توان	۶۰۰۰ وات
حداکثر درجه حرارت اعمالی	۴۰۰ درجه سلسیوس



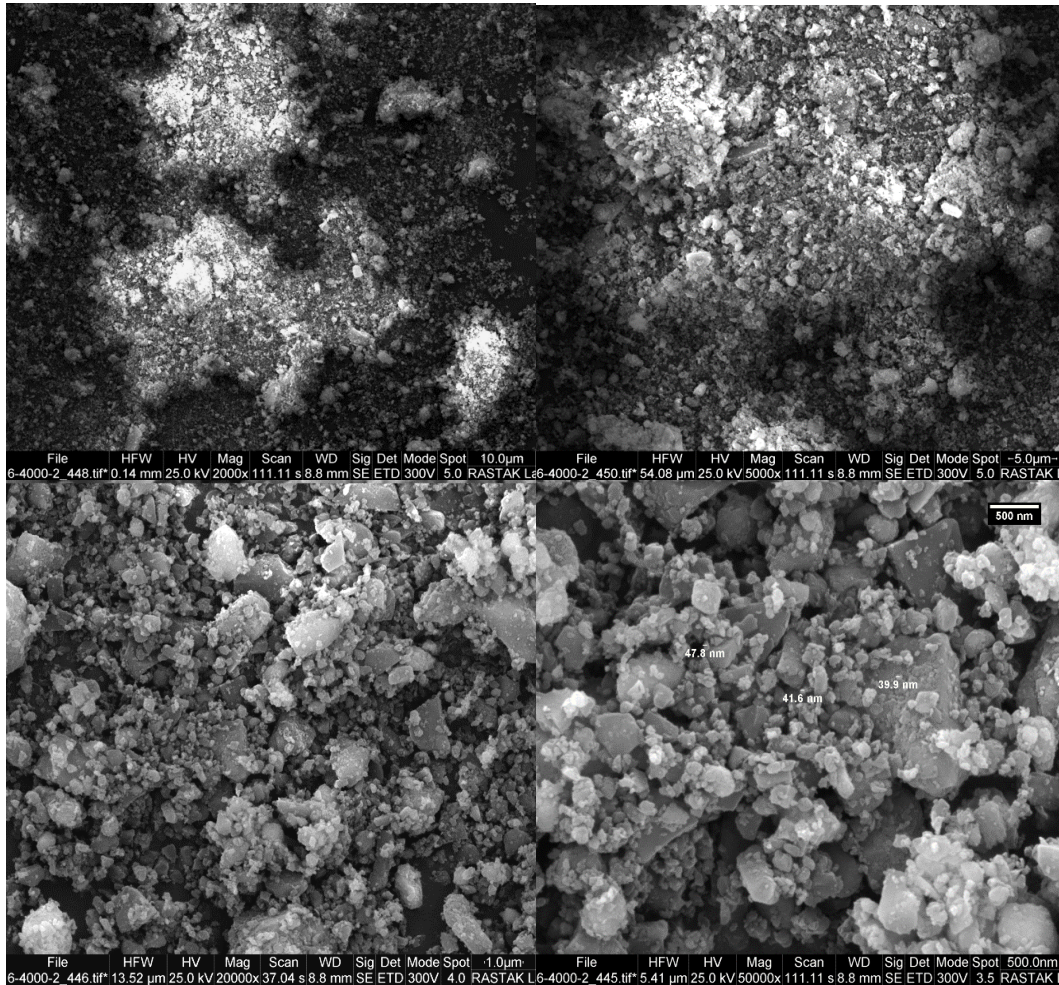
بیوچار تولید شده را به مرکز تحقیقات مواد و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول منتقل نمودیم. ابتدا بیوچار را به مدت ۲۰ دقیقه در آون قرار داده تا رطوبت احتمالی آن گرفته شود (شکل ۵)، سپس بیوچار را درون ظرف‌های دستگاه آسیاب مکانیکی سیاره‌ای قرار داده و به مدت ۸ ساعت عملیات آسیاب انجام گرفت (شکل ۶). سپس برای تعیین اندازه بیوچار آسیاب شده و اینکه به اندازه مورد نیاز ما رسیده است و ویژگی‌های ساختاری و اینکه از چه عناصری تشکیل شده است نیاز به تصویربرداری SEM و طیف سنجی اشعه X بود. تصویربرداری SEM و طیف سنجی اشعه X در آزمایشگاه تخصصی رستاک واقع در تهران انجام شد که به ترتیب در شکل (۷) و شکل (۸) نشان داده شده است.



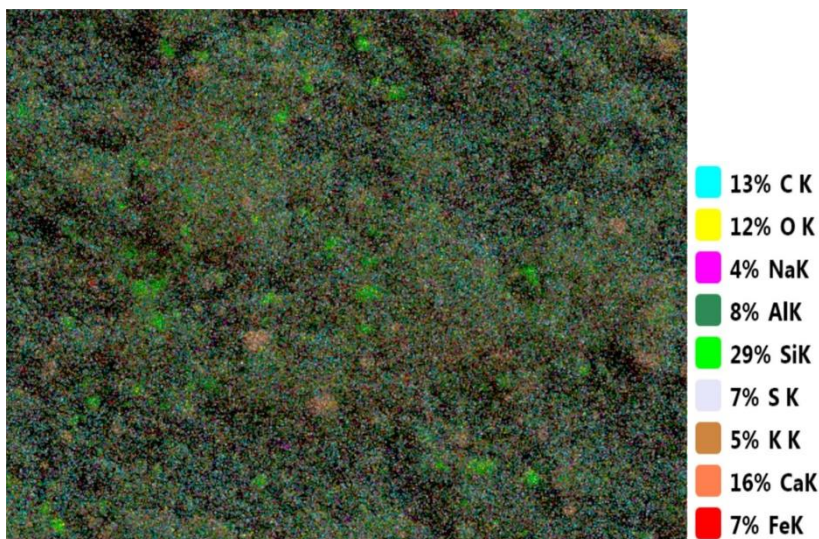
شکل (۵): آون



شکل (۶): دستگاه آسیاب مکانیکی سیاره‌ای



شکل (۷): تصاویر SEM نمونه بیوجار ۸ ساعت آسیاب شده



شکل (۸): طیف‌سنجی اشعه X نمونه بیوجار ۸ ساعت آسیاب شده



آزمون موتور دیزل با سوخت‌های تهیه شده

جدول (۴) متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده در این کار پژوهشی را نشان می‌دهد. در این پژوهش ترکیب‌های سوخت بدین صورت که بیودیزل در ۵ نسبت (۲-۰-۴-۶-۸ درصد)، اتانول در ۵ نسبت (۰-۲-۴-۶-۸ درصد) و نانویوچار در ۵ غلظت (۲۵-۵۰-۷۵-۱۰۰-۱۲۵ پی‌پی‌ام) با سوخت دیزل ترکیب شده و در ۵ سرعت موتور مختلف (۱۸۰۰-۲۰۰۰-۲۲۰۰-۲۴۰۰-۲۶۰۰ دور در دقیقه) مورد ارزیابی قرار گرفت.

به منظور بررسی اثر پارترهای نسبت سوخت، غلظت نانوذرات و سرعت بر عملکرد و میزان آلاینده‌های موتور، از روش سطح پاسخ و نرم افزار Design Expert ver.11 استفاده گردید. شکل کلی مدل آماری برای پیش‌بینی عامل y بر اساس متغیرهای X_1, X_2, \dots, X_k مطابق رابطه (۱)، نشان داده شده است.

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad (1)$$

نوع تابع f ، در نهایت توسط نرم افزار بهینه سازی شد. در این رابطه، ε بیانگر اثر متغیرهای دیگری (میزان خطا) است که ممکن است بر مقدار y تاثیر گذار باشند، اما در تابع f در نظر گرفته نشده اند.

جدول (۴): سطوح انتخابی برای متغیرهای مستقل

سطح متغیر مستقل ↓	۱	۲	۳	۴	۵
سرعت موتور (rpm)	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰	۲۶۰۰
بیودیزل (%)	۰	۲	۴	۶	۸
اتانول (%)	۰	۲	۴	۶	۸
نانویوچار (ppm)	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
نماد	D ₁₀₀ B ₀ E ₀ NB ₂₅	D ₉₆ B ₂ E ₂ NB ₅₀	D ₉₂ B ₄ E ₄ NB ₇₅	D ₈₈ B ₆ E ₆ NB ₁₀₀	D ₈₄ B ₈ E ₈ NB ₁₂₅

در این تحقیق، از سامانه آزمون موتور در مجموعه آزمایشگاه ترمودینامیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول استفاده شد. این سامانه مجهز به دماسنج گازهای خروجی از آگروز، دماسنج روغن موتور و دینامومتر بود و همچنین در هر آزمایش میزان مصرف سوخت اندازه گیری شد. مشخصات موتور مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۵) نشان داده شده است. همچنین تصویر موتور و دینامومتر در شکل (۹) نشان داده شده است.

جدول (۵): مشخصات موتور

Hatz 1B20-6	مدل
شرکت گونت آلمان	کارخانه سازنده
۱	تعداد سیلندر
۶۲ میلی متر	کورس سیلندر
۶۹ میلی متر	قطر سیلندر
Approx. 1.5 kW (در سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه)	توان خروجی
هوا خنک	نوع سیستم خنک کاری
تزریق مستقیم	نوع سیستم سوخت رسانی
	نسبت تراکم



۲۱ :۱ Lxwxh 485× 355× 520 mm ۳۸ Kg	ابعاد موتور وزن خالص موتور
--	-------------------------------



شکل (۹): تصویر موتور و دینامومتر

اندازه‌گیری مقدار آلاینده‌ها توسط آنالیزر دود

برای اندازه‌گیری سطح آلاینده‌های خروجی از آگزوز، از یک دستگاه آنالیزر مدل Motor Scan 8070 استفاده گردید. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری ۵ گاز CO، CO₂، NO_x، UHC و O₂ را دارا می‌باشد. دقت آلاینده‌سنج در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶): مشخصات آنالیزر دود

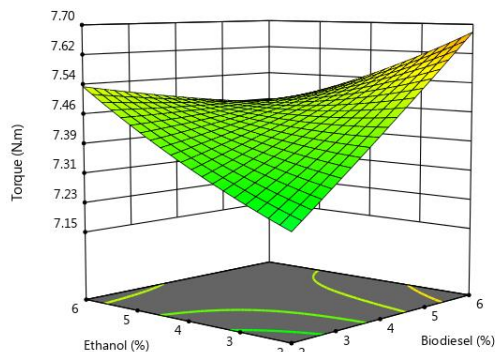
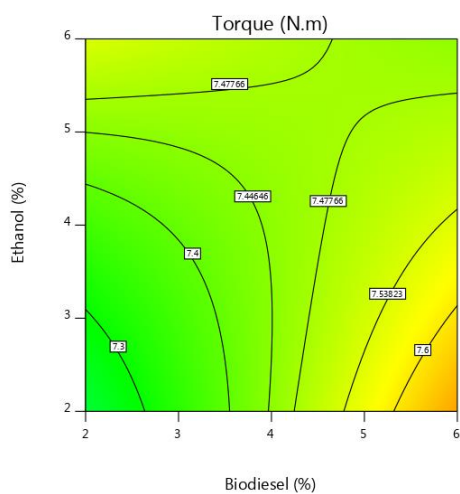
دقت اندازه گیری	گازهای قابل اندازه گیری
± 0.1	CO (% Vol.)
± 0.1	CO ₂ (% Vol.)
± 1	NO _x (ppm)
± 1	UHC (ppm)
± 1	O ₂ (% Vol.)

نتایج و بحث

بررسی نمودارهای سطح پاسخ

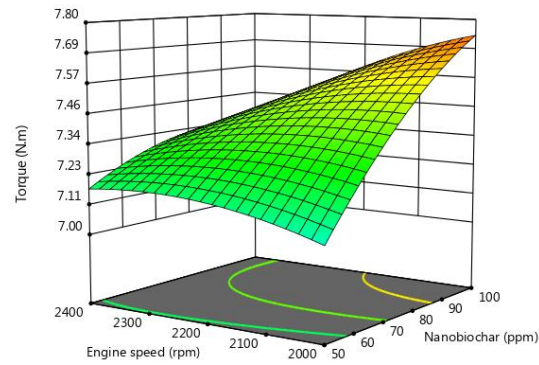
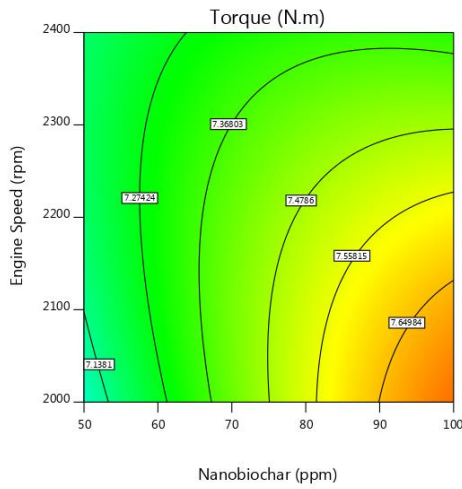
گشتاور (Torque)

شکل (۱۰) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول را بر گشتاور خروجی نشان می‌دهد. با افزایش نسبت بیودیزل، گشتاور افزایش یافت و در ۸ درصد به بیشترین مقدار خود رسید و رشد ۵/۱ درصدی را نشان داد. همچنین گشتاور با افزایش نسبت اتانول از صفر تا ۳ درصد، ۰/۴ درصد کاهش و از ۳ تا ۸ درصد، ۱/۴۷ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۰): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر گشتاور

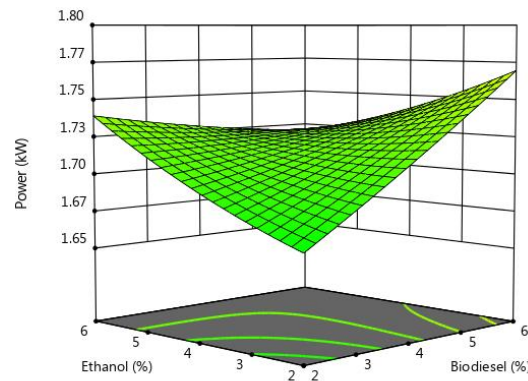
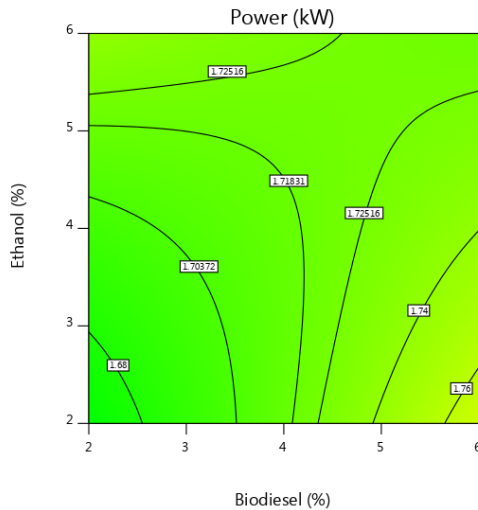
شکل (۱۱) تأثیر غلظت نانوبیوجار و سرعت موتور را بر گشتاور خروجی نشان می‌دهد. گشتاور با افزایش غلظت نانوبیوجار از ۲۵ تا ۱۱۳ پی پی ام، ۱۲/۴۳ درصد افزایش و از ۱۱۳ تا ۱۲۵ پی پی ام، ۰/۱۳ درصد کاهش یافت. همچنین گشتاور با افزایش سرعت موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۰۵۰ دور در دقیقه، ۱/۱ درصد افزایش و از ۲۰۵۰ تا ۲۶۰۰ دور در دقیقه ۵/۱ درصد کاهش یافت.



شکل (۱۱): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر گشتاور

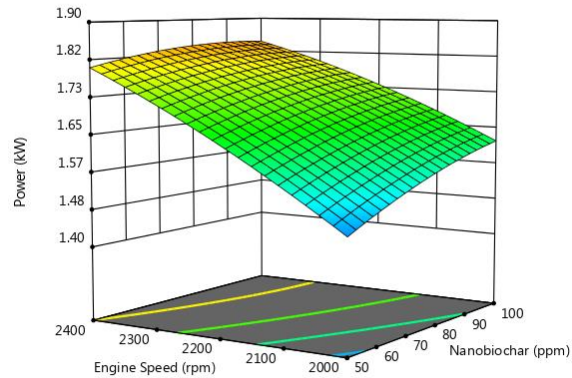
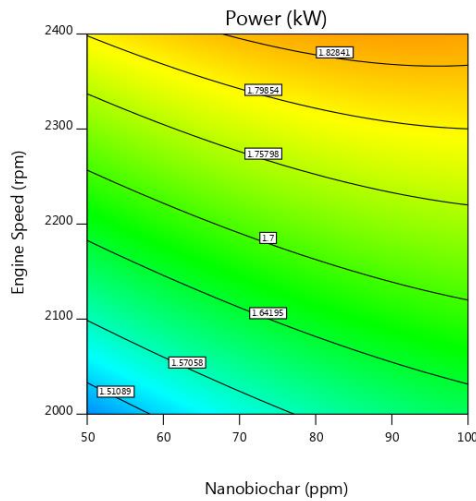
توان (Power)

شکل (۱۲) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول را بر توان نشان می‌دهد. با افزایش نسبت بیودیزل، توان افزایش یافت و در ۸ درصد به بیشترین مقدار خود رسید و رشد ۵/۳۶ درصدی را نشان داد. همچنین توان با افزایش نسبت اتانول از صفر تا ۴ درصد، ۰/۵۸ درصد کاهش و از ۴ تا ۸ درصد، ۱/۷۴ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۲): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر توان

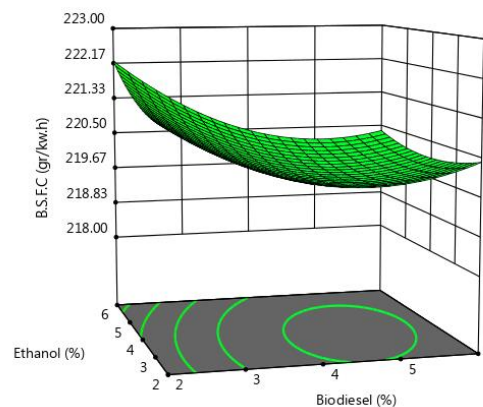
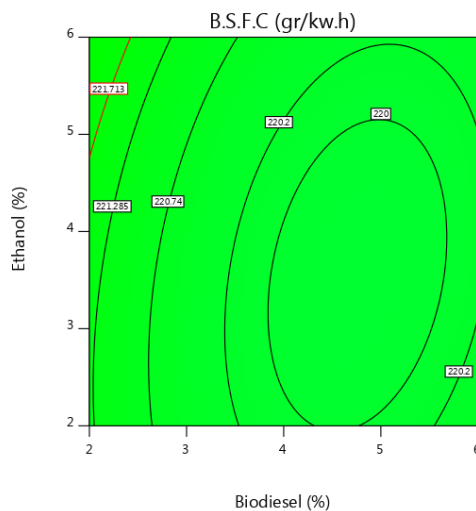
شکل (۱۳) تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور را بر توان نشان می‌دهد. توان با افزایش غلظت نانوبیوچار از ۲۵ تا ۱۱۵ پی‌پی‌ام، ۱۱/۸۸ درصد افزایش و از ۱۱۵ تا ۱۲۵ پی‌پی‌ام، ۰/۲۳ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش سرعت موتور، توان افزایش یافت و در ۲۶۰۰ دور در دقیقه به بیشترین مقدار خود رسید و رشد ۳۹/۱۳ درصدی را نشان داد.



شکل (۱۳): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر توان

مصرف سوخت ویژه ترمزی (BSFC)

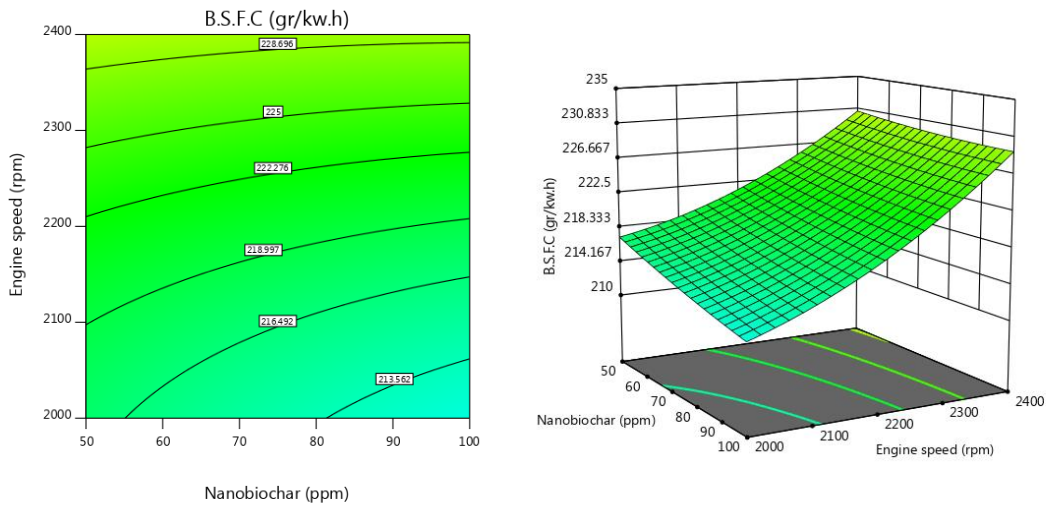
شکل (۱۴) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول را بر مصرف سوخت ویژه ترمزی نشان می‌دهد. مصرف سوخت ویژه ترمزی با افزایش نسبت بیودیزل از صفر تا ۵ درصد، ۲/۱۵ درصد کاهش و از ۵ تا ۸ درصد، ۰/۹۵ درصد کاهش یافت. همچنین مصرف سوخت ویژه ترمزی با افزایش نسبت اتانول تقریباً ثابت ماند و به میزان ۰/۳۹ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۴): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر مصرف سوخت ویژه ترمزی

شکل (۱۵) تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور را بر مصرف سوخت ویژه ترمزی نشان می‌دهد. با افزایش غلظت نانوبیوچار، مصرف سوخت ویژه ترمزی کاهش یافت و در ۱۲۵ پی‌پی‌ام به کمترین مقدار خود رسید و به میزان ۲/۹۳ درصد

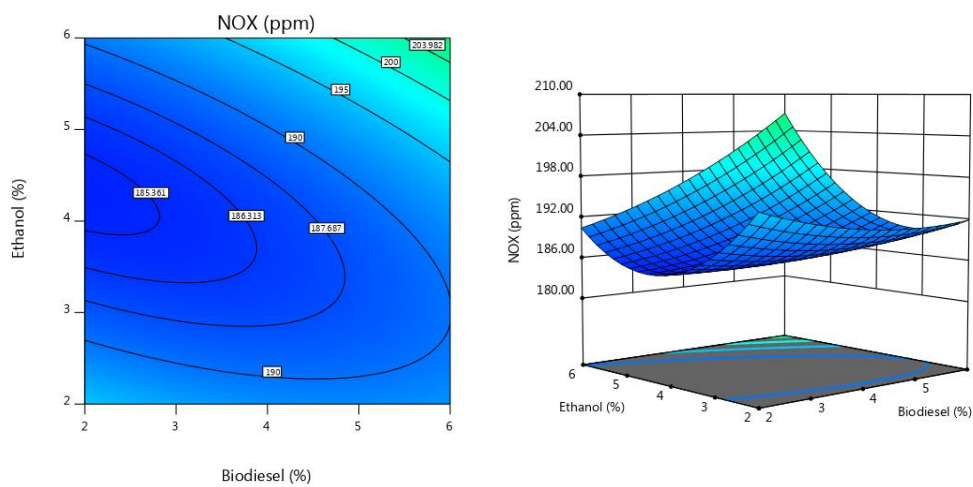
کاهش یافت. همچنین با افزایش سرعت موتور، مصرف سوخت ویژه ترمزی افزایش یافت و در سرعت ۲۶۰۰ دور در دقیقه به بیشترین مقدار خود رسید و به میزان ۱۴/۴۷ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۵): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر مصرف سوخت ویژه ترمزی

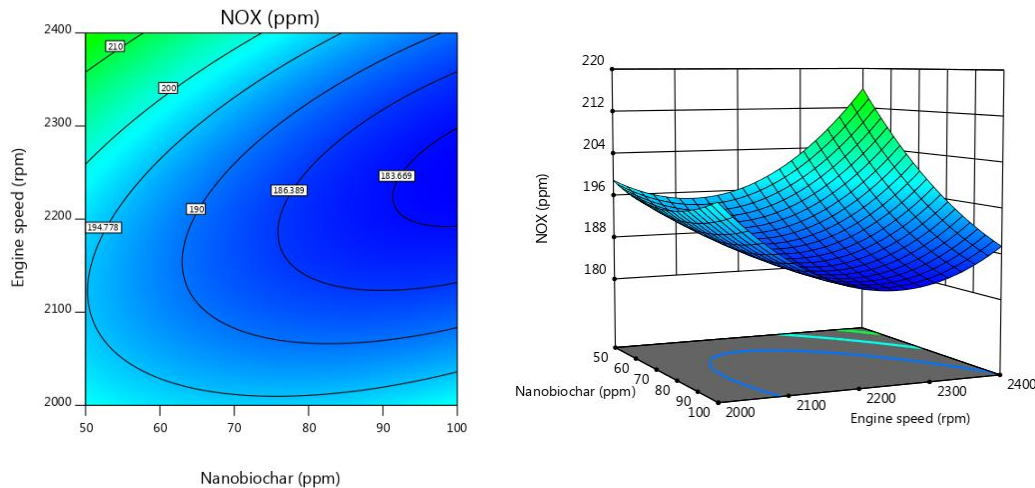
آلاینده‌گی NO_x

شکل (۱۶) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول بر انتشار آلاینده‌گی NO_x را نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده‌گی با افزایش نسبت بیودیزل از صفر تا ۲ درصد، ۱/۲۱ درصد کاهش و از ۲ تا ۸ درصد به میزان ۸/۳۳ درصد افزایش یافت. همچنین انتشار این آلاینده‌گی با افزایش نسبت اتانول از صفر تا ۳/۸ درصد، ۱۱/۷۶ درصد کاهش و ۳/۸ تا ۸ درصد به میزان ۱۹/۱۲ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۶): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر انتشار NO_x

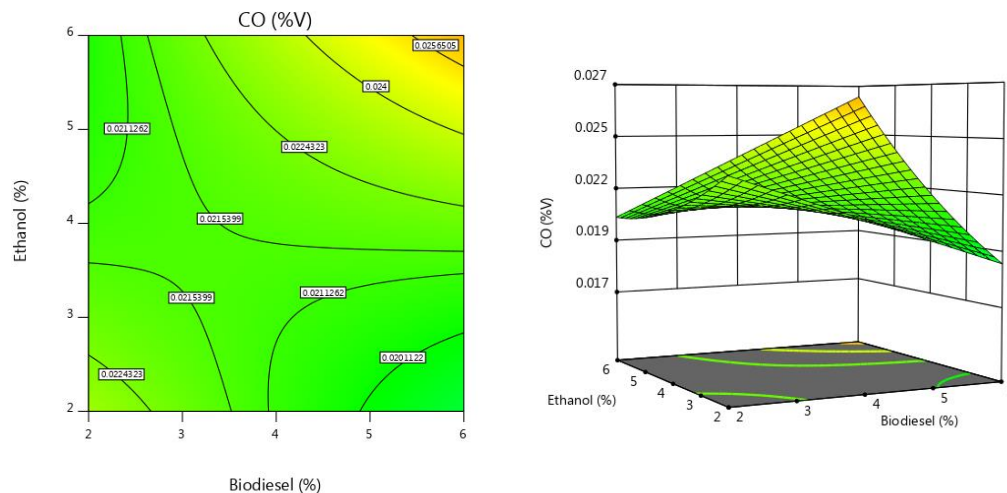
شکل (۱۷) تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور را بر انتشار آلاینده‌گی NO_x نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده‌گی با افزایش غلظت نانوبیوچار از ۲۵ تا ۱۰۰ پی‌پی‌ام، ۱۳/۹۲ درصد کاهش و از ۱۰۰ تا ۱۲۵ پی‌پی‌ام، ۱/۹۰ درصد افزایش یافت. همچنین انتشار این آلاینده‌گی با افزایش سرعت موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ دور در دقیقه، ۱۷/۵۷ درصد کاهش و از ۲۲۰۰ تا ۲۶۰۰ دور در دقیقه، ۲۵/۱۵ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۷): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر انتشار NO_x

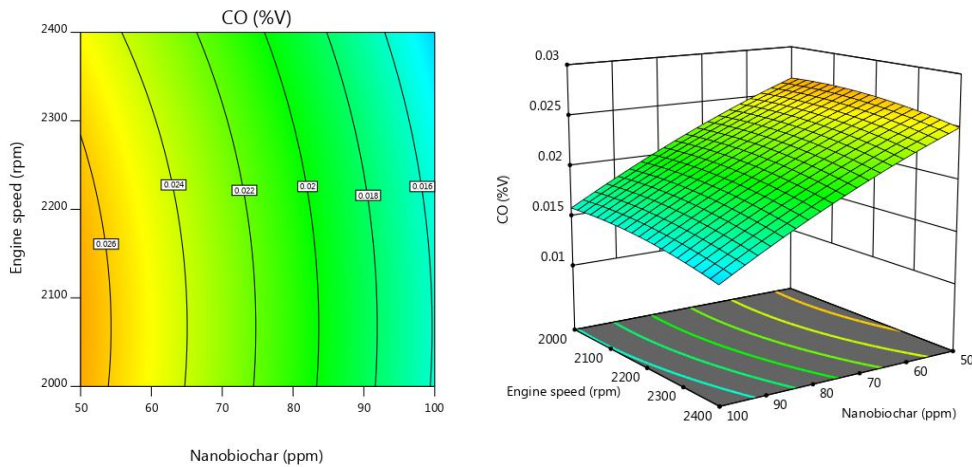
آلاینده‌گی CO

شکل (۱۸) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول را بر انتشار CO نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده‌گی با افزایش نسبت بیودیزل، با شیب ثابتی افزایش یافت و در ۸ درصد به بیشترین مقدار خود رسید و رشد ۴/۷۶ درصدی را نشان داد. همچنین انتشار این آلاینده‌گی با افزایش نسبت اتانول از صفر تا ۲ درصد، ۳/۲۳ درصد کاهش و از ۲ تا ۸ درصد، به میزان ۲۷/۱۴ درصد افزایش یافت.



شکل (۱۸): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر انتشار CO

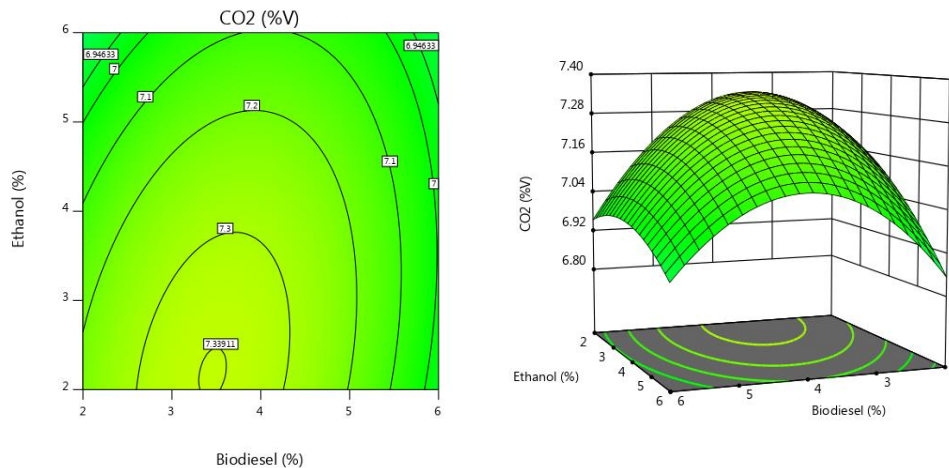
شکل (۱۹) تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور را بر انتشار CO نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده با افزایش غلظت نانوبیوچار کاهش یافت و در ۱۲۵ پی‌پی‌ام به کمترین مقدار خود رسید و کاهش ۷۳/۳۳ درصدی را نشان داد. همچنین انتشار این آلاینده با افزایش سرعت موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۰۸۰ دور در دقیقه، ۴/۷۶ درصد افزایش و از ۲۰۸۰ تا ۲۶۰۰ دور در دقیقه، ۲۲/۷۳ درصد کاهش یافت.



شکل (۱۹): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر انتشار CO

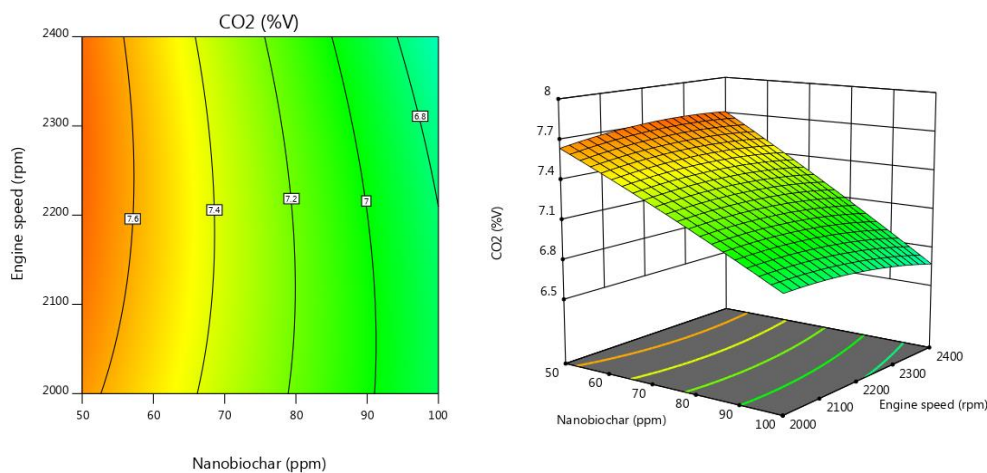
آلاینده‌گی CO₂

شکل (۲۰) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول را بر انتشار آلاینده‌گی CO₂ نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده با افزایش نسبت بیودیزل از صفر تا ۳/۸ درصد، ۱۲/۶۷ درصد افزایش و از ۳/۸ تا ۸ درصد، ۱۴/۵۴ درصد کاهش یافت. همچنین انتشار این آلاینده با افزایش نسبت اتانول از صفر تا ۲/۶ درصد، ۱/۳۹ درصد افزایش و از ۲/۶ تا ۸ درصد، ۷/۳۸ درصد کاهش یافت.



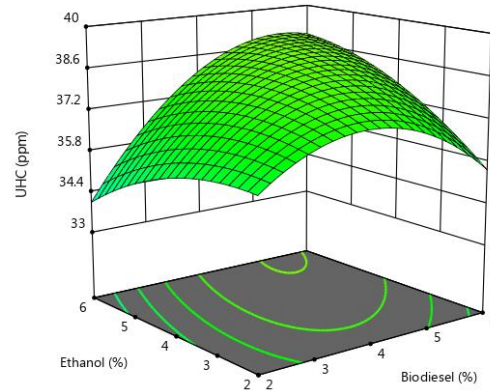
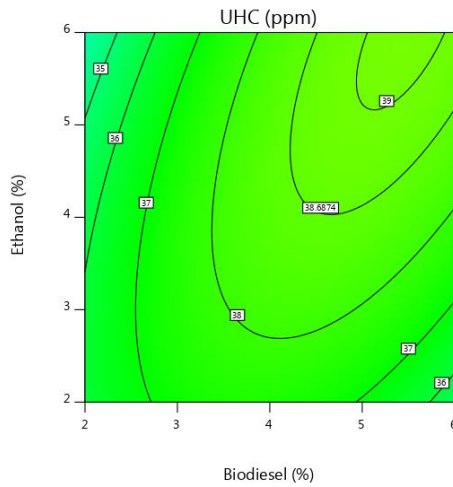
شکل (۲۰): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر انتشار CO₂

شکل (۲۱) تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور را بر انتشار CO₂ نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده با افزایش غلظت نانوبیوچار کاهش یافت و در ۱۲۵ پی‌پی‌ام به کمترین مقدار خود رسید و ۲۲/۶۶ درصد کاهش را نشان داد. همچنین انتشار این آلاینده با افزایش سرعت موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۱۷۰ دور در دقیقه، ۱/۹۶ درصد افزایش و از ۲۱۷۰ تا ۲۶۰۰ دور در دقیقه، ۳/۲۹ درصد کاهش یافت.

شکل (۲۲): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر انتشار CO₂

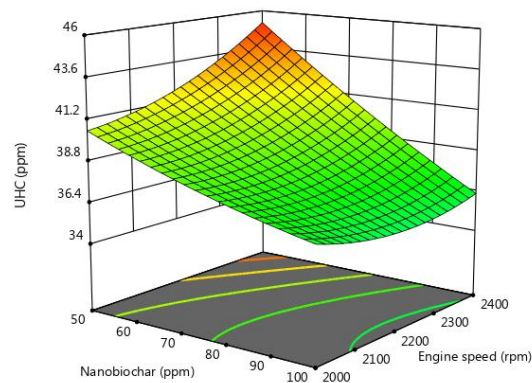
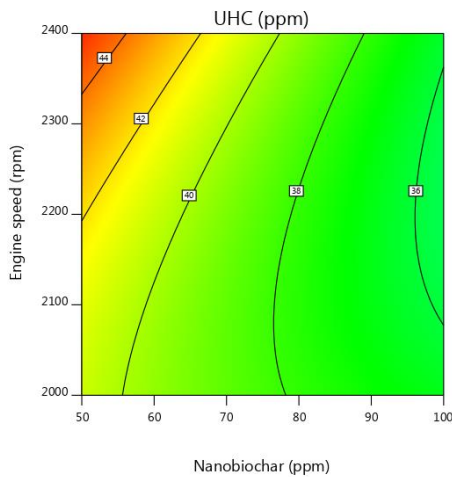
آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته UHC

شکل (۲۲) تأثیر نسبت بیودیزل و اتانول را بر انتشار آلاینده‌های هیدروکربن‌های نسوخته نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده با افزایش نسبت بیودیزل از صفر تا ۴/۷ درصد، ۳۰/۳۸ درصد افزایش و از ۴/۷ تا ۸ درصد، ۱۲/۰۸ درصد کاهش یافت. همچنین انتشار این آلاینده با افزایش نسبت اتانول از صفر تا ۴/۶ درصد، ۹/۶۱ درصد افزایش و از ۴/۶ تا ۸ درصد، ۵/۲۹ درصد کاهش یافت.



شکل (۲۲): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر درصد بیودیزل و اتانول بر انتشار UHC

شکل (۲۳) تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور را بر انتشار UHC را نشان می‌دهد. انتشار این آلاینده‌گی با افزایش غلظت نانوبیوچار، کاهش یافت و در ۱۲۵ پی‌پی‌ام به کمترین مقدار خود رسید و کاهش ۲۸/۰۶ درصدی را نشان داد. همچنین انتشار این آلاینده‌گی با افزایش سرعت موتور از ۱۸۰۰ تا ۲۰۵۴ دور در دقیقه، ۳/۸۳ درصد کاهش و از ۲۰۵۴ تا ۲۶۰۰ دور در دقیقه، ۱۵/۳۳ درصد افزایش یافت.



شکل (۲۳): نمودار سه بعدی و گراف دو بعدی تأثیر غلظت نانوبیوچار و سرعت موتور بر انتشار UHC

نتیجه‌گیری

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی عملکرد (توان، گشتاور و مصرف سوخت ویژه ترمزی) و آلاینده‌گی (CO_2 , CO , NO_x) و UHC) موتور دیزل تک‌سیلندر با افزودن ذرات نانوبیوچار به مخلوط سوخت دیزل، بیودیزل و اتانول به روش سطح پاسخ و با کمک نرم افزار Design Expert 11، مدل Central Composite بود. نتایج نشان داد که استفاده از ذرات نانوبیوچار، مقدار



گشتاور و توان را به ترتیب تا ۱۲/۴۳ درصد و ۱۱/۸۸ درصد افزایش می‌دهد، در حالی که مقدار BSFC و انتشار آلاینده‌گی CO₂، CO، NO_x و UHC به ترتیب تا ۲/۹۳ درصد، ۱۳/۹۲ درصد، ۷۳/۳۳ درصد، ۲۲/۶۶ درصد و ۲۸/۰۶ درصد کاهش یافت.

مراجع:

۱. الدرویش، ز.، تقی‌زاده علی سرایی، ا. و قبادیان، ب. ۱۳۹۶. بررسی عملکرد و ارتعاش موتوری دیزلی با استفاده از نانوذرات نقره اضافه شده به مخلوط سوخت دیزل و زیست‌دیزل. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات موتور، ۴۶: ۱۵-۲۶.
۲. بهشتی، م.، علیخانی، ح.، متشرع زاده، ب. و محمدی، ل. ۱۳۹۵. تغییرات کیفیت بیوجار تولید شده از کود گاوی در طی فرایند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، (۱): ۷۵۹-۷۶۴.
۳. حسینی، س.، ح.، تقی‌زاده علی سرایی، ا.، قبادیان، ب. و عباس‌زاده مایوان، ا. ۱۳۹۶. مدل‌سازی اثر نانولوله‌های کربن اضافه شده به مخلوط سوخت دیزل- بیودیزل بر عملکرد و آلاینده‌گی یک موتور دیزل با استفاده از شبکه عصبی. نشریه علمی- پژوهشی سوخت و احتراق، گرگان.
۴. خادم، ا.، رئیسی، ف. و بشارتی، ح. ۱۳۹۵الف. تأثیر بیوجار ذرت بر قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک های آهکی. دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، تهران.
۵. خادم، ا.، رئیسی، ف. و بشارتی، ح. ۱۳۹۵ب. تأثیر دمای گرم‌کافت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوجار ذرت و تصاعد دی اکسید کربن از خاک. دومین کنگره ملی توسعه و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک ایران، تهران.
۶. خادم، ا.، رئیسی، ف. و بشارتی، ح. ۱۳۹۶. مروری بر اثرات کاربرد بیوجار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، (۱)۵: ۱۳- ۳۰.
۷. عظیم زاده، ی. و نجفی، ن. ۱۳۹۵. اثر بیوجار بر ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک. نشریه مدیریت اراضی، (۲)۴: ۱۶۱-۱۷۳.

8. Amonette, J., and Joseph, S. 2009. Characteristics of biochar: Microchemical properties. In: Lehmann J. and Joseph S. Biochar for environmental management. Science and Technology. Earthscan, London, pp. 33–52.
9. Aston, S., Doerr, S., and Perrott, A.S. 2013. The impacts of pyrolysis temperature and feedstock type on biochar properties and the effects of biochar application on the properties of sandy loam. Geophysical Research Abstracts.
10. Baldock, J.A., and Smernik, R.J. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinus resinosa (Red Pine) wood. Organic Geochemistry 33:1093-1109.
11. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, T.B., and Haefele S. 2013. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (Lactuca sativa) and cabbage (Brassica chinensis). Agronomy 3:404–418.
12. Cheikh, K., Sary, A., Khaled, L., Abdelkrim, L., and Mohanad, T. 2016. Experimental assessment of performance and emissions maps for biodiesel fueled compression ignition engine, Appl. Energy. Vol. 161, pp: 320-329.



13. Devi, P., and Saroha, A.K. 2013. Effect of temperature on biochar properties during paper mill sludge pyrolysis. *International Journal of Chemtech Research* 5:682–687.
14. Dume, B., Berecha, G., and Tulu, S. 2015. Characterization of biochar produced at different temperatures and its effect on acidic Nitosol of Jimma, Southwest Ethiopia. *International Journal of Soil Science* 10:63-73.
15. Fuel Quality Monitoring (FQM) in EU, US and Japan. Indo-JARI Roundtable, India Habitate centre, March 17-18, 2008.
16. Ghadikolaei, M.A. 2016. Effect of alcohol blend and fumigation on regulated and unregulated emissions of IC engines - A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 57, pp: 1440-1495.
17. Ghobadian, B. 2012. Liquid biofuels potential and outlook in Iran, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, pp: 4379-4384.
18. Gundale, M.J., and DeLuca, T.H. 2006. Temperature and substrate influence the chemical properties of charcoal in the Ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. *Forest Ecology and Management* 231:86–93.
19. Heydari-Maleny, K., Taghizadeh-Alisarai, A., Ghobadian, B., and abbaszadeh-mayvan, A. 2017. Analyzing and evaluation of carbon nanotubes additives to diesohol-B2 fuels on performance and emission of diesel engines. *Fuel*, 196, pp: 110-123.
20. Hosseini, S.H., Taghizadeh-Alisarai, A., Ghobadian, B., and Abbaszadeh-Mayvan, A. 2016. Modeling the effects of Carbon nanotubes added to diesel-biodiesel fuel blends on performance and emissions of a diesel engine using artificial neural network. *Fuel and Combustion*, 10, p: 1440-1495.
21. Ichinose, N., Ozaki, Y., and Kashii, S. 1992. *Superfine particle technology*, Springer-Verlag.
22. Kanyaporn, C., Kiatsiriroat, T., Vorayos, N., and Thararax, C. 2012. Biochar production from freshwater algae by slow pyrolysis. *Maejo International Journal of Science and Technology* 6:186–195.
23. Lahane, S., and Subramanian, K.A. 2015. Effect of different percentages of biodiesel-diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine. *Fuel*. Vol. 139, pp: 537-545.
24. Laird, D.A., Fleming, P.D., Karlen, D.L., Wang, B., and Horton, R. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158:436–442.
25. Laird, D.A., Rogovska, N.P., Garcia-Perez, M., Collins, H.P., Streubel, J.D., and Smith, M. 2010. Pyrolysis and biochar opportunities for distributed production and soil quality enhancement. In: Braun R. Karlen D. and Johnson D. Sustainable alternative fuel feedstock opportunities, challenges and roadmaps for six U. S. regions. *Proceedings of the Sustainable Feedstocks for Advance Biofuels Workshop*, pp. 257–281.
26. Lee, S.W., Herage, T., and Young, B. 2004. Emission reduction potential from the combustion of soy methyl ester fuel blended with petroleum distillate fuel. *Fuel*, 83, pp: 1607-1613.
27. Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management- an introduction. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 1–11.



28. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota- a review. *Soil Biology and Biochemistry* 43:1812–1836.
29. Mahtab, A., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., and Ok, Y.S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water- a review. *Chemosphere* 99:19–33.
30. Mohan, D., Pittman, C.U., and Steele, P.H. 2006. Pyrolysis of Wood/Biomass: A critical review. *Energy and Fuels* 20:848-889.
31. Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., and Niandou, M.A.S. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a Southeastern coastal Plain soil. *Soil Science* 174:105–112.
32. Ouyang, L., Wang, F., Tang, J., Yu, L., and Zhang, R. 2013. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13:991–1002.
33. Paz-Ferreiro, J., Gasco, G., Gutiérrez, B., and Mendez, A. 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biology and Fertility of Soils* 48:511–517.
34. Rajaeifar, M.A., Tabatabaei, M., Ghanavati, H., Khoshnevisan, B., and Rafiee, S. 2015. Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 51, pp: 886-898.
35. Rodriguez, M. 2010. Biochar as a strategy for sustainable land management, poverty reduction and climate change mitigation/adaptation. Master of Science Thesis. University of Amsterdam, Nederland.
36. Rutigliano, F.A., Romano, M., Marzaioli, R., Baglivo, I., Baronti, S., Miglietta, F., and Castaldi, S. 2014. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop. *European Journal of Soil Biology* 60:9–15.
37. Sajeevan, A.C., and Sajith, V. 2013. Diesel engine emission reduction using catalytic nanoparticles: an experimental investigation. *Journal of Engineering*, 2013.
38. Selvaganapthy, A., Sundar, A., Kumaragurubaran, B., and Gopal, P. 2013. An Experimental Investigation to study the Effects of Various Nano Particles with Diesel on Di Diesel Engine. *ARPJ Journal of Science and Technology*, 3(1).
39. Selvan, V.A.M., Anand, R.B., and Udayakumar, M. 2009. Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine. *J Eng Appl Sci*, 4(7), pp.1819-6608.
40. Sharma, A., and Murugan, S. 2015. Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fuelled with non-petroleum fuel: a study on the role of fuel injection timing, *J. Energy Inst.*, 88, pp: 364-375.
41. Taghizadeh-Alisarai, A., Assar, H.A., Ghobadian, B., and Motevali, A. 2017. Potential of biofuel production from pistachio waste in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp: 510-522.
42. Taghizadeh-Alisarai, A., Ghobadian, B., Tavakoli-hashhin, T., and Mohtasebi, S.S. 2012. Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends. *Fuel*. 102, pp: 414-422.



43. Tan, P.Q., Ruan, S.S., Hu, Z.Y., Lou, D.M., and Li, H. 2014. Particle number emissions from a light-duty diesel engine with biodiesel fuels under transient-state operating conditions. *Applied Energy*, 113, pp: 22-31.
44. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, Y.K., Downie, A., Rust, J., Josepp, S., and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of paper mill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil* 37:235–246.
45. Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review* 64:5-10.
46. Wu, F., Jia, Z., Wang, S.S., Chang, X., and Startse, A. 2013. Contrasting effects of wheat straw and its biochar on greenhouse gas emissions and enzyme activities in a Chernozemic soil. *Biology and Fertility of Soils* 49:555–565.
47. Yang, H., and Sheng, K. 2012. Characterization of biochar properties affected by different pyrolysis temperatures using visible near infrared spectroscopy. *International Scholarly Research Network Spectroscopy*.



The effect of adding nanobiochar particles from sugar cane bagasse to diesel, biodiesel and ethanol blend fuel on the performance and emissions characteristics of a single cylinder diesel engine

Seyed Amin Mirbagheri¹, Seyed Mohammad Safieddin Ardebili^{2*}, and Mostafa Kiani deh kiani

1. Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz
2. Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz
3. Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz

Abstract

Nowadays, the managing and recycling of agricultural waste and the prevention of waste, burial and incineration on one hand and on other hand the increasing use of fossil fuels and the non-renewables and environmental concerns resulting from the burning of these fuels and the sharp rise in fossil fuel prices, it has challenged many countries. In this study, was a sugar cane bagasse as a waste of agricultural products, produced a bio-nano particle called nanobiochar and used as a fuel additive. In addition, biodiesel and ethanol renewable fuels, which have been used in recent years, have been used in combination with diesel fuel. This study analyzed the effect of adding nanobiochar particles to diesel, biodiesel and ethanol blend fuel on the performance and emissions of a single cylinder air-cooled diesel engine. The effect of input parameters: biodiesel ratio (0%, 2%, 4%, 6% and 8%), ethanol ratio (0%, 2%, 4%, 6% and 8%), nanobiochar concentration (25, 50, 75, 100 and 125 ppm) and engine speed (1800, 2000, 2200, 2400 and 2600 rpm) each on response parameters (it means torque, power, BSFC and emission of pollutants NO_x, CO, CO₂ and UHC). Response surface method (RSM) was employed to maximize engine performance and minimize the emissions of exhaust diesel. The results showed that using of nanobiochar dosage increases torque and power values up to 12.43% and 11.88% respectively, while the BSFC value and the exhaust emission engine including NO_x, CO, CO₂ and UHC decreased by 2.93%, 13.92%, 73.33%, 22.66 and 28.06%, respectively.

Key words: Nanobiochar, Biodiesel, Ethanol, Sugar cane bagasse, Performance, Emissions, Response surface methode

*Corresponding author

E-mail: m.safieddin@scu.ac.ir