تحلیل اکسرژی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل نانویی

بهداد شدیدی[۱] حسین حاجی آقا علیزاده*[۲]، برات قبادیان [۳]

[۱]دکترا، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ B.shadidi92@basu.ac.ir
[۲]استادیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان؛ h-alizade@basu.ac.ir
[۳]استاد، دانشگاه تربیت مدرس تهران؛ B.ghobadian@gmail.com

چکیده

هم اکنون روز به روز منابع سوخت‌های فسیلی و هیدروکربنی رو به زوال می‌باشند و حتی در کشوری مانند ایران که از منابع عظیم نفتی برخوردار است نیز عمر مخازن نفتی در نیمه دوم خود قرار دارد و استحصال نفت از این مخازن را با دشواری‌های فنی و تکنولوژیکی مواجه ساخته است که نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتر و استفاده از روش‌های گرانقیمت‌تری را می‌طلبد. این مسائل در کنار ملاحظات زیست محیطی و آلودگی‌های روز افزون تولید شده توسط سوخت‌های هیدروکربنی که باعث از بین رفتن منابع حیاتی و اساسی انسان‌ها و آیندگان است به طور حتم هزینه‌های بیشماری را در آینده‌ای نه چندان دور چه از لحاظ بیماری‌های تنفسی، غذایی و ... ایجاد خواهند نمود. بنابراین حتی استفاده از منابع ارزان قیمت فعلی فسیلی شاید در آینده نزدیک هم دیگر مقرون به صرفه نباشد و نیاز به جایگزین‌هایی مثل سوخت‌های پاک با توان تولید انرژی بالا و ارزان قیمت و در دسترس، مثل سوخت‌های زیستی را بیشتر نمایان سازد. یکی از موانع موجود بر سر راه استفاده از سوخت‌های زیستی در حال حاضر بازده پایین این سوخت‌ها در مقایسه با سوخت‌های فسیلی می‌باشد. استفاده از نانوکاتالیست‌های هیبریدی همگن یکی از بهترین گزینه‌ها در رفع این نقیصه می‌باشد. در این تحقیق از قانون دوم ترمودینامیک برای آنالیز اکسرژی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل (B10) و نانوکاتالیست سریم-مولیبدن به عنوان افزودنی در غلظت‌های مختلف (ppm ۹۰ و ۳۰،۶۰) بار مورد بررسی قرار گرفت. موتور مورد آزمایش، یک موتور دیزل تک سیلندر، چهار زمانه، پاشش مستقیم و هوا خنک بود. تحلیل اکسرژی موتور در سرعت rpm ۱۷۰۰ و شرایط تمام بار انجام گردید. نتایج نشان داد بازده اکسرژی موتور دیزل با افزایش غلظت نانوکاتالیست سریم-مولیبدن در مخلوط سوخت B10، افزایش یافت. بیشترین مقدار افزایش بازده اکسرژی (۳۱/۷٪) در سوخت B10 و در غلظت ppm ۹۰ اتفاق افتاد.

کلمات کلیدی: موتور دیزل، بیودیزل، نانوکاتالیست، اکسرژی

Exergy Analysis of a Diesel Engine Using Nano Diesel-Biodiesel Fuel Blend

Behdad Shadidi[1], Hossein Haji Agha Alizade[2], Barat Ghobadian[3]
[1] Bu-Ali Sian university, b.shadidi92@basu.ac.ir
[2] Bu-Ali Sian university, h-Alizade@basu.ac.ir
[3]Tarbiat Modares university, B.ghobadian@gmail.com

ABSTRACT

Currently, fossil and hydrocarbons fuels are in decline every day, and even in a country like Iran with vast oil reserves, the life of oil reservoirs is in its second half, and oil recovery from these reservoirs with technical difficulties and has faced a technological challenge requiring more investment and more expensive methods. These issues, along with environmental considerations and the increasing pollution generated by hydrocarbon fuels, which are destroying the vital resources of humans and the future, will surely cost a lot in the near future in terms of respiratory, food and etc illnesses. Therefore, even using current inexpensive fossil fuels may not be economically viable in the near future, and it will require more alternatives, such as clean fuels with high and affordable and affordable energy, such as biofuels. One of the impediments to using biofuels is the low efficiency of these fuels compared to fossil fuels. The use of homogeneous hybrid nanocatalysts is one of the best options for solving this problem. In this research, the second law of thermodynamic was employed to analyze the exergy of diesel engine fueled with diesel-biodiesel

نویسنده مسئول: حسین حاجی آقا علیزاده نشانی:همدان-چهارراه پژوهش- دانشگاه بوعلی سینا همدان تلفن: ۰۸۱۳۴۴۲۲۱۲۷ نمابر: ۰۸۱۳۴۴۲۲۱۲۸

blends (B10) and the hybrid nanocatalysts as additive at three concentrations (30, 60 and 90 ppm), containing cerium oxide and molybdenum. The research engine was a single cylinder, four-stroke, direct injection and air-cooled diesel engine. The exergy analysis was performed at 1700 rpm engine speeds and full load conditions. The results revealed that by increasing the amount of nanocatalysts in fuel blends, the exergy efficiency rate of diesel engine increased. The exergy efficiency rate of diesel engine (31.7%) occurred for the B10-90ppm fuel blend

Keywords: DIESEL ENGINE, BIODIESEL, NANOCATALYST, EXERGY

۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم در جهان امروز، تامین انرژی است. صنعتی شدن اکثر کشورها و وابستگی آن‌ها به انرژی و کاهش شدید منابع انرژی موجب افزایش قیمت جهانی سوخت‌های فسیلی و بحران انرژی شده و از طرف دیگر افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی باعث ایجاد بحران زیست محیطی در سطح جهان گردیده است. به همین دلیل، کشورهای پیشرفته جهان به ویژه آن‌هایی که از لحاظ منابع انرژی به سایر کشورها وابسته هستند، در سالیان اخیر تلاش‌های فراوانی در جهت مصرف و صرفه‌جویی منطقی سوخت‌های فسیلی، بهینه‌سازی تجهیزات انرژی‌بر و جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع تجدیدپذیر انجام داده‌اند.

در کشور ایران به جهت وجود منابع غنی زیرزمینی و ظرفیت‌های بالای طبیعی، عرضه انرژی (برق، گاز و بنزین) با قیمت‌های پایین‌تر از نرخ جهانی صورت می‌گیرد و شاید همین موضوع باعث استفاده نادرست و غیر بهینه از منابع انرژی شده که باعث وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری بر اقتصاد کشور شده است. از طرفی در حال حاضر ۴۰ درصد از درآمد ملی با استخراج و صادرات منابع نفتی حاصل می‌شود و با توجه به بالا بودن سرانه و رشد سریع مصرف انرژی و پایین بودن قیمت انرژی در کشور، در صورت تداوم روند فعلی، ایران از ردیف کشورهای صادر کننده انرژی خارج خواهد شد. از طرف دیگر با توجه به محدودیت منابع انرژی‌های فسیلی، برای صیانت از این منابع و جلوگیری از تخریب محیط زیست و دستیابی به توسعه پایدار، باید در مدیریت تولید و مصرف انرژی در کشور اقدامات جدی صورت گیرد (Khoobbakht et al. 2016).

روش متداول برای ارزیابی یک فرآیند فیزیکی یا شیمیایی از لحاظ انرژی، نوشتن موازنه انرژی بر اساس قانون اول ترمودینامیک می‌باشد که از آن برای کاهش اتلاف حرارت و یا افزایش بازیابی حرارتی می‌توان استفاده کرد. در موتورهای درونسوز به طور تقریبی ۳۰ درصد از انرژی ورودی به کار مفید تبدیل می‌شود و باقیمانده انرژی از راه‌های مختلف در موتور تلف می‌شود. بنابراین برای بالابردن بازده موتور باید راه‌های اتلاف حرارت را شناسایی و مقدار حرارت تلف شده از این راه‌ها را بدست آورد. برای بدست آوردن این تلفات، نیاز به بررسی تعادل گرمایی موتور است. تعادل گرمایی در واقع شامل بررسی کار مفید، تلفات حرارتی سیستم خنک کننده، تلفات حرارتی اگزوز، تلفات حرارتی سیستم روغنکاری و غیره (تلفات محاسبه نشده) می‌باشد (Yuksel and Ceviz, 2003).

با تمام این توضیحات، بررسی تعادل گرمایی اطلاعات دقیقی در مورد افت کیفیت انرژی که در فرآیند اتفاق می‌افتد، نمی‌دهد. روش اکسرژی یک روش تحلیل است که تلفات ترمودینامیکی را بر اساس هر دو قانون اول و دوم ترمودینامیک برآورد می‌کند. کاربرد این روش، محل اتلاف انرژی را در یک فرآیند مشخص می‌کند و واحدهای عملیاتی را که برای بهبود در اولویت قرار دارند را نشان می‌دهد. این کار منتهی به تغییر و بهبود شرایط عملیاتی یا تجهیزات فنی فرآیند می‌شود. مدل‌های ترمودینامیکی چرخه واقعی موتور، ابزاری مناسب برای تجزیه و تحلیل کامل عملکرد موتور و پارامترهای عملیاتی مختلف می‌باشد (Heywood, 1998). تراز انرژی یک موتور درونسوز، تحلیل قانون اول ترمودینامیک است که تراز حرارتی نیز نامیده می شود (Taymaz, 2006). قانون دوم به بیان علم مربوط به این که کجاها انرژی مفید (کارا) از دست می‌رود و یا در یک سامانه موتور تخریب می‌شود، می‌پردازد. ارزیابی انرژی مفید، بیشترین عملکرد ممکن یک سامانه ترمودینامیکی را تعیین می‌کند. این یافته‌ها در کاهش اتلاف اکسرژی و به منظور بهبود عملکرد موتور از نظر بازدهی و توان خروجی کمک می‌کند (Caton, 2000).

از طرف دیگر مهم‌ترین موضوعی که در رابطه با سوخت‌های نفتی در موتورهای وسایل نقلیه می‌باشد، بحث توان و انرژی است. در سال‌های اخیر، وسایل نقلیه به خصوص آن‌هایی که دارای موتور دیزل می‌باشند، منشأ اصلی آلودگی مراکز شهری هستند. افزایش قابل توجه در میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در موتورهای درونسوز و اثرات منفی آلاینده‌های تولید شده در اثر سوختن آن‌ها بر محیط زیست، منجر به افزایش تمایل به استفاده از منابع جایگزین شده است.

از جمله مهم‌ترین سوخت‌های جایگزین بیولوژیک می‌توان به بیودیزل اشاره کرد که به عنوان سوخت جایگزین قابلیت استفاده در موتور دیزل را دارا می باشد. این سوخت می‌تواند در موتورهای دیزل اشتعال تراکمی با اندکی تغییر و یا بدون تغییر و اصلاح مورد استفاده قرار گیرد. بیودیزل تجدیدپذیر، غیرسمی و بدون گوگرد و ترکیبات آروماتیک است. بیودیزل متیل یا اتیل‌استر روغن‌های گیاهی و حیوانی است. بیودیزل هم اکنون با درصدهای مختلفی با سوخت‌های دیزل ترکیب می‌گردد. میزان ترکیب تابعی از شرایط اقتصادی، قوانین زیست محیطی پذیرفته شده، توانایی و

قابلیت مواد به کار برده شده و خصوصیات احتراق است. از معایب استفاده از بیودیزل در موتور، کاهش توان موتور و افزایش مصرف سوخت و آلاینده NO_x می‌باشد (Xu et al., 2011). لذا یکی از راه‌حل‌های برطرف کردن این نقیصه، استفاده از مواد افزودنی به بیودیزل می‌باشد. یکی از این افزودنی‌های ایده‌آل، افزودنی خواهد بود که پارامترهای عملکرد موتور مانند توان را افزایش داده و همزمان با آن میزان مصرف سوخت و آلاینده‌های خروجی را کاهش دهد. همچنین افزودنی مطلوب خواهد بود که با افزودن مقدار کم‌تری از آن، این اهداف محقق گردد تا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد و مشکلات فنی اعم از گرفتگی در قسمت‌های تزریق سوخت یا آسیب در سایر قسمت‌های موتور را به وجود نیاورد (Wen-Jhy, 2011). از میان جایگزین‌هایی که می‌تواند منجر به دستیابی به این اهداف شود، می‌توان به استفاده از کاتالیست‌ها در سوخت اشاره کرد. یک کاتالیست می‌تواند نرخ واکنش‌ها را سرعت ببخشد و همچنین در فرآیند احتراق منجر به یک واکنش کامل‌تر و در نتیجه دستیابی به حداکثر انرژی آزاد شده توسط سوخت گردد. فعالیت کاتالیست‌ها به طور عمده به اندازه آن‌ها بستگی دارد، به طوری که با یک ذره کوچک‌تر به میزان فعالیت بالاتری می‌توان دست یافت زیرا می‌توان تعداد اتم‌های بیشتری را در واحد سطح داشت (Ganesh and Gowrishankar, 2011).

در تحقیقی اثر نانوکاتالیست هیبرید اکسید سریم به عنوان افزودنی در مخلوط سوخت دیزل – بیودیزل را بر روی عملکرد اکسرژی یک موتور دیزل مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از مخلوط سوخت‌های B5 (۵ درصد بیودیزل و ۹۵ درصد دیزل) و B20 (۲۰ درصد بیودیزل و ۸۰ درصد بیودیزل) استفاده نمودند. آزمایش‌ها در ۵ بار مختلف موتور و ۲ سرعت rpm ۲۲۰۰ و ۱۵۰۰ انجام پذیرفت. نتایج نشان داد با افزایش سرعت و بار موتور، تخریب اکسرژی افزایش یافت. گرچه، با افزایش بار، بازده اکسرژی افزایش یافت اما با افزایش سرعت این شاخصه کاهش یافت. همچنین، کاهش قابل توجهی در میزان آلاینده‌های موتور صورت گرفت. در نهایت، آنها نتیجه‌گیری کردند که استفاده از مخلوط سوخت دیزل – بیودیزل به همراه نانوکاتالیست اکسید سریم می‌تواند به عنوان جایگزین سوخت دیزل خالص معرفی گردد (Aghbashlo et al, 2016).

در پژوهشی دیگر از قانون اول و دوم ترمودینامیک جهت آنالیز انرژی و اکسرژی یک موتور دیزل با استفاده از مخلوط سوخت‌های دیزل، بیودیزل و اتانول استفاده نمودند. نتایج بدست آمده حاکی آن بود که با افزایش درصد حجمی بیودیزل و اتانول در سوخت دیزل، بازده اکسرژی کاهش یافت. ترکیب سوخت D80B14E6 شامل ۸۰ درصد سوخت دیزل، ۱۴ درصد بیودیزل و ۶ درصد اتانول در سرعت rpm ۱۹۰۰ و بار ۹۴ درصد دارای بالاترین بازده اکسرژی بود. نتایج آنالیز انرژی و اکسرژی مشخص نمود که ۴۳/۰۹ درصد اکسرژی سوخت تخریب گردیده و میانگین بازده گرمایی و بازده اکسرژی به ترتیب در حدود ۳۶/۶۱ و ۳۳/۸۱ درصد بدست آمد (Khoobbakht et al. 2016).

در تحقیق دیگری تحلیل انرژی و اکسرژی را بر روی یک موتور دیزل چهار سیلندر با استفاده از مخلوط‌های سوخت دیزل و بیودیزل انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش بیودیزل بازده گرمایی و تخریب اکسرژی به سبب پایین‌تر بودن ارزش حرارتی بیودیزل کاهش یافت. آن‌ها مخلوط سوخت B15 (۱۵ درصد بیودیزل و ۸۵ درصد دیزل) را به عنوان بهترین سوخت از نظر بازده انرژی و اکسرژی معرفی نمودند (Meisami and Ajam, 2015).

هم اکنون روز به روز منابع سوخت‌های فسیلی و هیدروکربنی رو به زوال می‌باشند و حتی در کشوری مانند ایران که از منابع عظیم نفتی برخوردار است نیز عمر مخازن نفتی در نیمه دوم خود قرار دارد و استحصال نفت از این مخازن را با دشواری‌های فنی و تکنولوژیکی مواجه ساخته است که نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتر و استفاده از روش‌های گرانقیمت‌تری را می‌طلبد. این مسائل در کنار ملاحظات زیست محیطی و آلودگی‌های روز افزون تولید شده توسط سوخت‌های هیدروکربنی که باعث از بین رفتن منابع حیاتی و اساسی انسان‌ها و آیندگان است به طور حتم هزینه‌های بیشماری را در آینده‌ای نه چندان دور چه از لحاظ بیماری‌های تنفسی، غذایی و ... ایجاد خواهند نمود. بنابراین حتی استفاده از منابع ارزان قیمت فعلی فسیلی شاید در آینده نزدیک هم دیگر مقرون به صرفه نباشد و نیاز به جایگزین‌هایی مثل سوخت‌های پاک با توان تولید انرژی بالا و ارزان قیمت و در دسترس، مثل سوخت‌های زیستی را بیشتر نمایان سازد. یکی از موانع موجود بر سر راه استفاده از سوخت‌های زیستی در حال حاضر بازده پایین این سوخت‌ها در مقایسه با سوخت‌های فسیلی می‌باشد. استفاده از نانوکاتالیست‌های هیبریدی همگن یکی از بهترین گزینه‌ها در رفع این نقیصه می‌باشد که مشکلات فعلی استفاده از کاتالیست‌های موجود مثل رسوب‌گذاری کاتالیست‌های جامد ناهمگن یا نیاز به مقدار بالای این کاتالیست‌ها و در نتیجه ایجاد آلایندگی گازهای خروجی را ندارد و در صورت دستیابی به این هدف انجام موفقیت‌آمیز این پروژه، توان کشور در تولید و استفاده از این منابع جدید انرژی، افزایش خواهد یافت.

با توجه به موارد ذکر شده استفاده از جایگزین‌های سوخت فسیلی به ویژه سوخت بیودیزل به همراه استفاده از نانوکاتالیست‌ها و بررسی تاثیرات آن بر روی موتور امری ضروری به نظر می‌رسد لذا در تحقیق حاضر از نانوکاتالیست سریم-مولیبدن به عنوان افزودنی در مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل و تاثیر آن بر روی اکسرژی مطالعه خواهد شد.

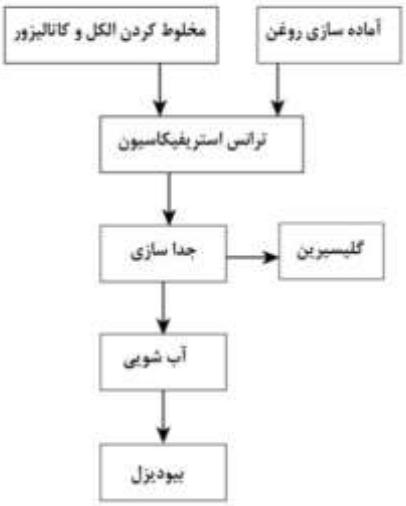
یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

۲- بخش مواد و روش‌ها

۲-۱- تولید سوخت بیودیزل

در این تحقیق از روغن پسماند به عنوان ماده اولید تولید بیودیزل و از روش ترانس‌استریفیکاسیون، به عنوان مناسب‌ترین و معمول‌ترین روش تولید سوخت بیودیزل استفاده گردید.

در روش ترانس استریفیکاسیون، روغن با استفاده از یک الکل در حضور یک واکنشگر مناسب به بیودیزل تبدیل می‌شود. شکل ۱ مراحل تهیه بیودیزل از روغن پسماند را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل پیدا است، ابتدا روغن آماده‌سازی گردید. سپس، الکل و کاتالیزور با هم مخلوط شده و به روغن اضافه شد. در مرحله بعد، واکنش ترانس‌استریفیکاسیون صورت گرفته و مرحله مهم تولید سپری شد. سپس بیودیزل از گلیسیرین جدا شده و در پایان بیودیزل تولید شده آبشویی گردیده و ناخالصی‌ها از آن جدا شد. این مراحل در ادامه با توضیحات مفصل‌تری بیان می‌گردند.



شکل ۱: مراحل تهیه بیودیزل از روغن پسماند

۲-۲- تهیه مخلوط‌های سوخت

پس از تهیه نانوکاتالیست و بیودیزل، نمونه‌های سوخت برای انجام آزمون‌های موتور و بدست آوردن تراز انرژی و تحلیل اکسرژی موتور، تهیه گردید. برای انجام آزمون‌ها از ترکیب ۱۰ درصد بیودیزل و ۹۰ درصد گازوئیل (B10) تهیه گردید. به نمونه سوخت، نانوکاتالیست با سه غلظت ppm ۳۰، ۶۰، و ۹۰ افزوده شد. همچنین چهار نمونه سوخت بدون کاتالیست به عنوان نمونه‌های شاهد نیز در نظر گرفته شدند.

۲-۳- مشخصه موتور مورد آزمایش

در این تحقیق از یک موتور دیزل تک سیلندر هوا خنک با حداکثر توان ۱۲ اسب بخار ساخت شرکت لمباردینی ایتالیا مدل 3LD 510 استفاده گردید (شکل ۲).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

شکل ۲: نمایی از سکوی آزمایش.

مشخصات این موتور در جدول (۱) نشان داده شده است:

جدول ۱: مشخصات موتور مورد آزمایش.

مدل	3LD 510
کارخانه ساخت	شرکت لمباردینی ایتالیا
تعداد سیلندر	۱
کورس سیلندر	۹۰ میلی لیتر
قطر سیلندر	۸۵ میلی لیتر
حجم سیلندر	۵۱۰ سانتی متر مکعب
حداکثر توان در ۳۰۰۰ rpm	۱۲/۲ اسب بخار (۹ کیلووات)
حداکثر گشتاور در ۱۸۰۰ rpm	۳۳ نیوتن متر
نسبت تراکم	۱۷/۵ :۱

۴-۲- محاسبات اکسرژی

توازن اکسرژی برای یک سامانه حجم کنترل در شرایط حالت پایا به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Moran and Shapiro, 2000):

$$\dot{E}x_w-\dot{E}x_{heat}=\sum \dot{m}_{in}\varepsilon_{in}-\sum \dot{m}_{out}\varepsilon_{out}-\dot{E}x_{dest} \quad (۱)$$

که در آن :

$\dot{E}x_{heat}$: نرخ انتقال اکسرژی مربوط به گرمای اتلافی به محیط بر حسب کیلووات (انتقال از طریق سامانه خنک کننده).

$\dot{E}x_w$: نرخ اکسرژی کار که برابر توان ترمزی یا نرخ کار مفید موتور می باشد (kW).

$\dot{m}$: دبی جرمی (kg/s).

ε: اکسرژی ویژه (kJ/kg).

$\dot{E}x_{des}$: نرخ تخریب اکسرژی (kW).

در انجام تحلیل اکسرژی، اکسرژی گرمای اتلافی به مقداری از اتلاف اکسرژی اتلاق می‌شود که از حجم کنترل به محیط انتقال می‌یابد و نرخ هدر رفت اکسرژی به تمامی گرمای اتلافی که از سامانه خنک‌کننده در دمای مربوطه (T_c) به دمای تعادل با محیط که برابر با ۲۹۸ درجه کلوین (T_0=298 K) انتقال می‌یابد، گفته می‌شود.

$$\dot{E}x_{heat}=Qloss\sum \left(1-\frac{To}{Tc}\right) \quad (۲)$$

نرخ اکسرژی کار خالص برابر با نرخ انرژی خالص (توان ترمزی) می‌باشد.

$$\dot{E}x_w=W \quad (۳)$$

از آنجایی که اکسرژی هوا برابر صفر می‌باشد بنابراین اکسرژی ورودی تنها شامل اکسرژی شیمیایی سوخت می‌باشد که با استفاده از رابطه ذیل محسوب می‌شود:

$$\dot{E}_{xin}=\dot{m}_{fuel}\varepsilon_{fuel} \quad (۴)$$

که در آن $\dot{m}_{fuel}$ برابر با آهنگ مصرف سوخت (kg/s) و اکسرژی ویژه سوخت (kJ/kg) می‌باشد. اکسرژی شیمیایی سوخت را می‌توان با استفاده از رابطه (۵) محاسبه کرد (Lyn, 1962):

$$\varepsilon_{fuel} = H_u\varphi \quad (۵)$$

که در آن Hu ارزش گرمایی پایین و φ ضریب اکسرژی شیمیایی می‌باشد.

برای سوخت های مایع، ضریب اکسرژی شیمیایی φ برابر است با:

$$\varphi=1.0401+0.1728\frac{h}{c}+0.432\frac{0}{c}+0.2169\frac{a}{c}(1-2.0628\frac{h}{c}) \quad (۶)$$

که در آن h، c، o و a به ترتیب نسبت جرمی هیدروژن، کربن، اکسیژن و سولفور سوخت می‌باشند. اکسرژی خروجی شامل اکسرژی شیمیایی و ترمومکانیکی گاز خروجی می‌باشد. اکسرژی ترمومکانیکی عبارت است از:

$$\varepsilon_{tm} = h - h_o - T_o(s - s_o) \quad (۷)$$

که در آن S، آنتروپی ویژه (kJ/kgK) و h، آنتالپی ویژه (kJ/kg) گازهای خروجی می‌باشد.

اکسرژی شیمیایی گازهای خروجی با استفاده از رابطه (۸) بدست می‌آید. نسبت مولی گازهای خروجی با موازانه معادله واقعی احتراق سوخت به وسیله دستگاه آلاینده‌سنج محاسبه می‌شود.

$$\varepsilon_{chem} = \overline{R}T_0 ln\frac{y}{y^e} \quad (۸)$$

که در آن $\overline{R}$ ثابت گاز کامل، T_0 دمای محیط، y درصد مولی اختلاط گاز خروجی و y^e درصد مولی گاز در محیط بیرون می‌باشد (Moran and Shapiro, 2000).

نرخ اکسرژی خروجی را می‌توان با استفاده از رابطه ذیل به دست آورد.

$$\dot{E}_{x_{ex}} = \sum\dot{m}_i(\varepsilon_{tm} + \varepsilon_{chem})i \quad (۹)$$

که در آن دبی جرمی تولیدات حاصل از احتراق (kg/s) و ε_{chem} و ε_{tm} به ترتیب اکسرژی شیمیایی و اکسرژی ترمومکانیکی حاصل از گازهای خروجی (kJ/kg) می‌باشد.

بازده اکسرژی که تنها توان مفید موتور مدنظر می‌باشد برابر با (Dincer and Rosen, 2007):

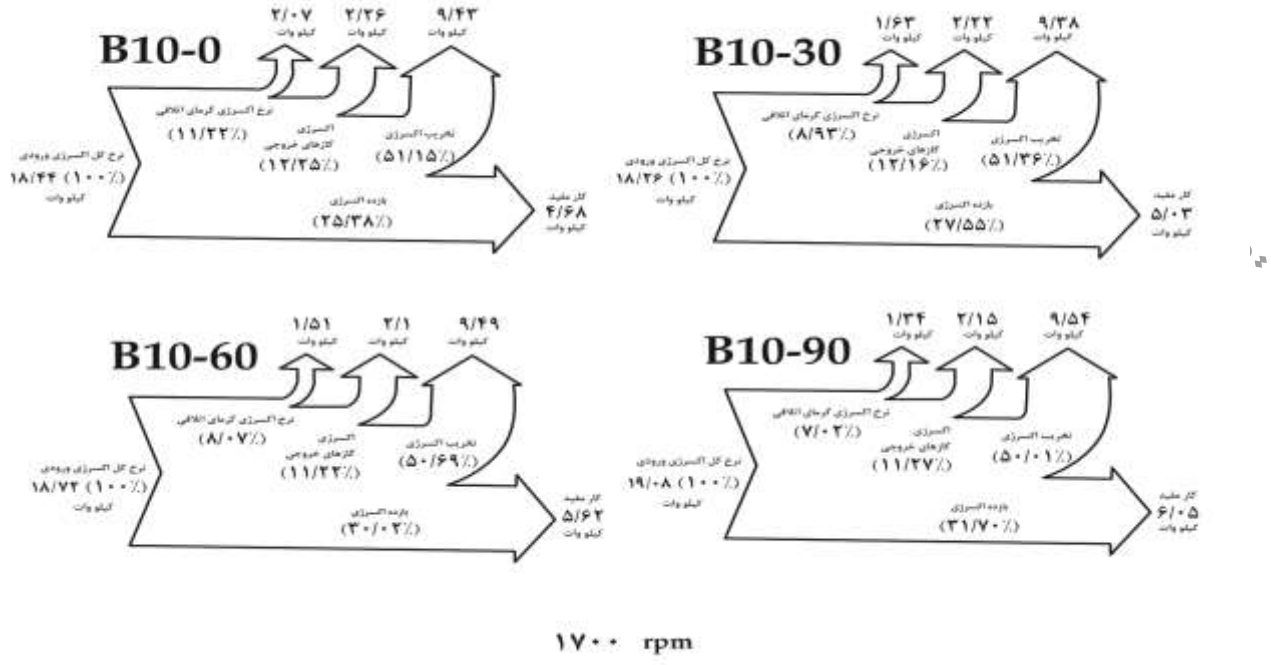
$$BEE = \frac{\dot{E}x_w}{\dot{E}x_{in}} \quad (۱۰)$$

که در آن $\dot{E}x_w$ برابر است با نرخ اکسرژی کار و $\dot{E}x_{in}$، نرخ اکسرژی سوخت می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

شکل (۳) طرحواره فرآیند اکسرژی موتور را در سرعت ۱۷۰۰ rpm نشان می‌دهد. با توجه به نمودارها، مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت نانوکاتالیست در سوخت B10 بدون نانوکاتالیست، بازده اکسرژی افزایش و نرخ اکسرژی گرمای اتلافی و مقدار اکسرژی گازهای خروجی کاهش یافت. با افزایش غلظت نانوکاتالیست از صفر تا ppm ۹۰، بازده اکسرژی از ۲۵/۳۸ به ۳۱/۷۰ درصد افزایش و نرخ اکسرژی گرمای اتلافی و مقدار اکسرژی گازهای خروجی به ترتیب ۱۱/۲۲ به ۷/۰۲ و از ۱۲/۲۵ به ۱۱/۲۷ درصد کاهش یافت. در مورد تخریب اکسرژی نیز با افزایش ppm ۳۰ نانوکاتالیست سریم-مولیبدن به سوخت B10، این تلفات با اندکی افزایش از ۵۱/۱۵ به ۵۱/۳۶ درصد رسید و پس از آن با اضافه شدن نانوکاتالیست تا ppm ۹۰، به ۵۰/۰۱ درصد کاهش یافت.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران



شکل ۳: تحلیل اکسرژی در حجم کنترل موتور برای مخلوط سوخت B10 و نانوکاتالیست‌ها در سرعت ۱۷۰۰ rpm.

همانطور که از نمودارها نمایان است، با افزایش نانوکاتالیست سریم- مولیبدن به سوخت، مقدار بازده اکسرژی افزایش می‌یابد. علت این افزایش این است که سوخت برای آزاد شدن انرژی با اکسیژن واکنش نشان می‌دهد. وجود اکسیژن بیشتر باعث احتراق کامل‌تر می‌گردد. به عبارت دیگر، زمانی که اکسیژن ناکافی باشد، احتراق ناقص رخ خواهد داد که باعث تولید آلاینده‌های بیشتر و در نتیجه شکل‌گیری رسوبات کربن در دیواره محفظه احتراق می‌گردد، که این رسوبات باعث کاهش عملکرد موتور می‌گردد که نتیجه آن افزایش توان تولیدی موتور است. با توجه به این که نانوکاتالیست‌های مورد استفاده در این آزمایش شامل اکسید سریم و اکسید مولیبدن در زنجیره خود دارای مولکول اکسیژن هستند لذا باعث بهبود احتراق می‌گردند که نتیجه آن افزایش توان تولیدی موتور است. همچنین، نانوکاتالیست سنتز شده به عنوان افزودنی در سوخت، در زمان انفجار، میلیون‌ها نانو خوشه تولید خواهد کرد که رسوبات را تجزیه و از هم می‌پاشاند و از شکل‌گیری دوباره آن‌ها جلوگیری می‌کند. به دلیل این پدیده، افزایش توان تولیدی اتفاق خواهد افتاد. همچنین با توجه به رابطه مستقیم بین توان تولیدی و بازده اکسرژی ، لذا با افزایش توان، بازده اکسرژی نیز افزایش می‌یابد.

همچنین، با افزایش نانوکاتالیست سریم- مولیبدن به مخلوط سوخت، مقدار اکسرژی گرمای اتلافی و اکسرژی گازهای خروجی کاهش می‌یابند.

احتراق ناقص باعث بالا رفتن آلاینده‌ها و بر جا گذاشتن رسوبات بیشتر در محفظه احتراق می‌گردد. این رسوبات باعث شکل‌گیری رسوبات کربن در دیواره محفظه احتراق و در نتیجه باعث افزایش آلاینده‌ها به ویژه آلاینده اکسیدهای نیتروژن (NO_x) می‌گردد.

نانو ذرات اکسید سریم و اکسید مولیبدن به عنوان کاتالیست می‌توانند به عنوان رهاکننده یا فراهم کننده اکسیژن در فرآیند احتراق با دو مکانیزم عمل کنند.

در مکانیزم اول، اکسید سریم و اکسید مولیبدن می‌توانند با فراهم کردن مولکول اکسیژن و افزایش مقدار اکسیژن در واکنش باعث احتراق کامل‌تر و در نتیجه کاهش آلاینده‌ها گردند (معادلات ۱۱ و ۱۲).

$$2CeO_2 \leftrightarrow Ce_2O_3 + \frac{1}{2}O_2 \qquad (۱۱)$$

$$2MoO_3 \leftrightarrow 2MoO_2 + O_2 \qquad (۱۲)$$

منطق استفاده کردن از اکسید سریم و اکسید مولیبدن به عنوان کاتالیست این است که عدد اکسایش پایین Ce^{3+} و Ce^{4+} برای سریم و عدد اکسایش پایین Mo^{4+} و Mo^{6+} باعث رخ دادن سریع واکنش‌های فوق در گازها می‌گردد (Scattergood, 2006).

همچنین معادلات (۱۳ تا ۱۶) نشان می‌دهند که اکسید سریم و مولیبدن، اکسیژن مورد نیاز را برای کاهش آلاینده‌های CO و UHC، بوسیله فراهم کردن اکسیژن مورد نیاز برای اکسید کردن هیدروکربن‌ها و منوکسید کربن را نشان می‌دهند.

$$(2x+y)CeO_2 + C_xH_y \leftrightarrow \left\{\frac{(2x+y)}{2}\right\} Ce_2O_3 + \frac{x}{2}CO_2 + \frac{y}{2}H_2O \quad (۱۳)$$

$$(2x+y)MoO_3 + C_xH_y \leftrightarrow \left\{\frac{(2x+y)}{2}\right\} MoO_2 + \frac{x}{2}CO_2 + \frac{y}{2}H_2O \quad (۱۴)$$

$$2CeO_2 + CO \leftrightarrow Ce_2O_3 + CO_2 \quad (۱۵)$$

$$2MoO_3 + CO \leftrightarrow MoO_2 + CO_2 \quad (۱۶)$$

در مکانیزم دوم اکسید سریم و مولیبدن از طریق جذب اکسیژن باعث کاهش تولید آلاینده NO_x می‌گردند (معادلات ۱۷ و ۱۸).

اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در نتیجه واکنش اکسیژن و نیتروژن در دمای بالا تولید می‌شوند. در حقیقت با افزایش دمای احتراق، مقدار NO_x افزایش می‌یابد. احتراق ناقص سوخت آلاینده‌های بیشتری تولید می‌کند و باعث تشکیل رسوبات کربن در محفظه احتراق می‌گردد. این رسوبات باعث افزایش دمای محفظه احتراق و در نتیجه افزایش NO_x می‌گردد.

$$Ce_2O_3 + NO \leftrightarrow 2CeO_2 + \frac{1}{2}N_2 \quad (۱۷)$$

$$MoO_2 + NO \leftrightarrow MoO_3 + \frac{1}{2}N_2 \quad (۱۸)$$

بر اساس دو معادله فوق، مشاهده می‌گردد که نانو ذرات اکسید سریم و مولیبدن به عنوان کاتالیست می‌توانند باعث کاهش تولید NO_x و در نتیجه کاهش دمای احتراق گردند.

با توجه به مطالب فوق و مطالعه دو مکانیزم ذکر شده که در سیلندر اتفاق می‌افتد، مقدار اکسرژی گرمای اتلافی و همچنین اکسرژی گازهای خروجی با استفاده از نانوکاتالیست سریم-مولیبدن نسبت به مخلوط سوخت بدون نانوکاتالیست کاهش یافته است.

نتایج مشابهی توسط محققان دیگر با استفاده از نانوکاتالیست‌های دیگر انجام شده است. Mirzajanzade et al, 2015، با استفاده از اکسید سریم در مخلوط سوخت‌های دیزل- بیودیزل (B5 و B20) باعث کاهش ۱۸/۹، ۳۸/۸ و ۷۱/۴ به ترتیب برای آلاینده‌های NO_x، CO و HC شدند. همچنین Aghbashlo et al, 2016، کاهش آلاینده‌های NO_x، CO و HC را با استفاده از اکسید سریم در مخلوط سوخت‌های دیزل- بیودیزل گزارش نمودند.

تخریب اکسرژی بالاترین مقدار را در آنالیز اکسرژی در مقایسه با پارامترهایی که تاکنون بررسی گردید، دارا می‌باشد. افزایش غلظت نانوکاتالیست در سوخت ابتدا باعث افزایش و سپس باعث کاهش تخریب اکسرژی شده است که نشان‌دهنده روند مشخصی نمی‌باشد، ممکن است دلیل آن واکنش‌های پیچیده‌ای است که در محفظه احتراق اتفاق می‌افتد. Aghbashlo et al, 2016، Kumar, 2016 و Acikkalp et al, 2014 همین روند نامشخص را برای تخریب اکسرژی گزارش نموده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اکسرژی یک موتور دیزل تک سیلندر با استفاده از مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل (B10) و نانوکاتالیست سریم-مولیبدن در غلظت‌های مختلف (۰،۳۰،۶۰ و ۹۰ ppm) و سرعت (۱۷۰۰ rpm) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و نتایج ذیل بدست آمد:

۱- بازده اکسرژی موتور دیزل با افزایش غلظت نانوکاتالیست سریم-مولیبدن در مخلوط سوخت B10، افزایش یافت. با افزایش نانوکاتالیست سریم-مولیبدن از ۰ تا ۹۰ ppm مقدار بازده اکسرژی B10-90 در دور ۱۷۰۰ rpm، از مقدار ٪۲۶/۸۷ به مقدار ٪۳۱/۷ رسید که بالاترین افزایش را در تمامی مخلوط‌های سوخت داشت.

۲- افزایش ۰ تا ۹۰ ppm نانوکاتالیست سریم-مولیبدن به مخلوط سوخت باعث کاهش اکسرژی گرمای اتلافی گردید و از مقدار ٪۱۱/۲۲ به مقدار ٪۷/۰۲ کاهش پیدا کرد.

۳- اکسرژی گازهای خروجی موتور در مخلوط دیزل-بیودیزل با افزایش غلظت نانوکاتالیست سریم-مولیبدن، اندکی کاهش یافت.

۴- تخریب اکسرژی با افزایش نانوکاتالیست سریم-مولیبدن به مخلوط سوخت B10، دارای روند مشخصی نبوده و با افزایش نانوکاتالیست ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت.

۵- مراجع

Yüksel, A. and Ceviz, M. (2003). Thermal balance of a four stroke SI engine operating on hydrogen as a supplementary fuel. Energy 28:1069-1080.

Taymaz, I. (2006). An experimental study of energy balance in low heat rejection diesel engine. Energy 31:364-371.

Heywood , J.B. (1988). Internal combustion engine fundamental . New York, McGraw-Hill .

Caton, J.A. (2000). On the destruction of a availability (exergy) due to combustion process with specific application to internal-combustion engines. Energy 25:1097–117.

Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Mohammadi, P., Mirzajanzadeh, M., Ardjmand, M. and Rashidi, A. (2016). Effect of an emission-reducing soluble hybrid nanocatalyst in diesel/biodiesel blends on exergetic performance of a DI diesel engine. Renewable Energy 93:353-68.

Ganesh, D. and Gowrishankar, G. (2011). Effects of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fueled CI engine. Internationa conference in electrical and control engineering, 16-18 September, China, pp. 3453-59.

Wen-Jhy, L., Yi-Cheng, L., Francis, K.M., Sheng-Lun, L., Yashuhiro, F., Chao-Ning, L. and Lin-Chi, W. (2011). Assessment of energy performance and air pollutant emissions in a diesel engine generator fueled with water-containing ethanol-biodiesel-diesel blends of fuels. Energy 36:5591-99.

Xue, J., Grift, T.E. and Hansen, A.C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. Renew. Sust. Energy Rev. 15 (2):1098-1116.

Meisami, F. and Ajam, H. (2015). Energy, exergy and economic analysis of a diesel engine fueled with castor oil biodisesl. International Journal of Engine Research Special Issue:1-12.

Khoobbakht G., Karimi M. and Najafi G. (2016). Exergy and Energy Analysis of Combustion of Blended Levels of Biodiesel, Ethanol and Diesel Fuel in a DI Diesel Engine. Applied Thermal Engineering 99:720-729.

Dincer, I. and Rosen, M.A. (2007). Exergy: Energy Environment and Sustainable Development. Elsevier.

Lyn, W.T. (1962). Study of burning rate and nature of combustion in diesel engines. Proceeding of the 9th international Symposium on combustion, August 27 to September 1, New York, pp. 1069-1082.

Moran, M.J. and Shapiro, H.N. (2000). Fundamental of Engineering Thermodynamics. Third Edition, John Wiley & Sons, New York, pp. 1388-6150 .

Scattergood, R. (2006). Cerium oxide nano particles as fuel additives. United States Patent, US 2006/0254130 A1, Issued November 16.

Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M. Rashidi, A., Ghobadian B., Barkhi M. and Pazouki M. (2015). A novel soluble nano-catalysts in diesel–biodiesel fuel blends to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions. Fuel 139:374–382.

Kumar, D. (2016). Exergy analysis of engine for Karanja biodiesel. International Journal of Current Multidisciplinary Studies 2:290-293.

Acikkalp, E., Yamik, H. and Icingur, Y. (2014). Performance of a compression ignition engine operated with sunflower ethyl ester under different engine loads. Journal of Energy in Southern Africa 25:81-90.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران