بررسی عملکرد آتش‌زایی و پراکنش آلاینده‌های زیست‌دیزل تولیدشده از سه روغن غیر خوراکی جدید در یک موتور دیزلی

فرید جعفری حقیقی[۱]، حسنعلی بهرامی[۲]، مهدی ارجمند[۳]*، برمک جعفری حقیقی[۴]

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مکاترونیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد اراک، دانشگاه سراسری اراک، اراک، ایران

۳- دانشیار مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران

پیام نگار: m_arjmand@azad.ac.ir

چکیده

پراکنش آلاینده‌های سه‌گونهٔ جدید از زیست‌دیزل (روغن مریم‌گلی، اکلیل کوهی و نعناع) و عملکرد آتش‌زایی آنها در یک موتور دیزلی بررسی شد؛ نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که با افزایش نسبت زیست‌دیزل مخلوط شده با سوخت دیزل، با افزایش دور موتور، مقدار گشتاور کاهش می‌یابد؛ نزدیک‌ترین نتایج به سوخت دیزل مربوط به زیست‌دیزل مریم‌گلی است. زیست‌دیزل مریم‌گلی نشان داد توان تولید شده ۱ تا ۲ درصد بالاتر از سایر زیست‌دیزل‌ها است. بالاترین میزان مصرف ویژهٔ سوخت ترمزی[۱] در زیست‌دیزل نعناع مشاهده شد. دمای گاز خروجی[۲] برای مریم‌گلی بین ۱ تا ۳ درصد پایین تر از دو گونهٔ دیگر زیست‌دیزل است. همهٔ زیست‌دیزل‌ها میزان اکسیدهای ازت[۳]، مونوکسید کربن[۴] و دی‌اکسید گوگرد[۵] را کاهش دادند. بالاترین نرخ کاهش کدورت دوده[۶] برابر با ۸۵ درصد، مربوط به زیست‌دیزل مریم‌گلی بوده است.

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۰

شماره صفحات: ۷۰ تا ۸۴

کلیدواژه‌ها: زیست‌دیزل نعناع، زیست‌دیزل اکلیل کوهی، زیست‌دیزل مریم‌گلی، پراکنش گازهای خروجی، عملکرد موتور

۱. مقدمه

افزایش جمعیت از یک‌سو و افزایش روزافزون تقاضای کشورها برای سوخت‌های فسیلی از سوی دیگر، امروزه به یکی از بزرگترین معضلات جهانی تبدیل شده است[۲و۱]. در استفاده ازسوخت‌های فسیلی مشکلات متعددی هست که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به منابع محدود و آثار منفی و مخرب زیست‌محیطی اشاره کرد[۵-۳]. سوخت زیست‌دیزل یکی از بهترین منابع سوختی جایگزین برای سوخت‌های فسیلی در جهان است. از مهم ترین دلایل برای این ادعا می‌توان به قابلیت‌های متعدد این سوخت

* تهران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، دانشکدهٔ مهندسی شیمی و پلیمر، گروه مهندسی شیمی

1. BSFC
2. EGT
3. NOx
4. CO
5. SO_2
6. Smoke Opacity

از قبیل زیست‌تجزیه‌پذیری، کم گوگرد بودن و نداشتن سم اشاره کرد[۱۰-۶].

سوخت‌های زیست‌دیزل به‌طور معمول قابل تقسیم به سه نسلند؛ که شامل زیست‌دیزل به‌دست آمده از روغن‌های گیاهی خوراکی (نسل اول)، روغن‌های گیاهی غیر خوراکی (نسل دوم) و زیست‌دیزل به‌دست آمده از چربی‌های حیوانی، جلبک‌ها و روغن‌های خوراکی پسماند هستند. تاکنون نسل اول از زیست‌دیزل‌ها در سطح جهانی بسیار مورد توجه بوده‌اند. البته کاستی‌هایی نیز در رابطه با این نسل وجود دارد که از جملهٔ مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به سطح وسیع زمین‌های کشاورزی و مواد اولیهٔ خوراکی مورد استفادهٔ انسان در تولید آن‌ها اشاره کرد؛ درحالی‌که بسیاری از کشورها با مشکل تأمین مواد غذایی انسانی روبه‌رو هستند. با این‌وجود استفاده از این‌نسل زیست‌دیزل ممکن است منجر به افزایش قیمت روغن‌های خوراکی و نیز زیست‌دیزل شود. نسل دوم از زیست‌دیزل‌ها به‌طور معمول از روغن‌های غیر خوراکی ساخته می‌شود و همین امر سبب شده است که تأثیری بر منابع غذایی انسان‌ها نداشته‌باشد؛ اگرچه از بزرگترین مشکلات این نسل می‌توان به محدودیت تولید زیست‌دیزل در مقیاس صنعتی و همچنین نداشتن تنوع برای تولید در تمامی مناطق جهان اشاره کرد. در رابطه با نسل سوم زیست‌دیزل‌ها، برخی از کاستی‌هایی که می‌توان برای آنها برشمرد، این‌گونه است: مشکلات زیستی در نتیجهٔ استفاده از چربی‌های حیوانات آلوده، قیمت‌های بالاتر کشت و برداشت مکرر جلبک‌ها در مقایسه با نسل اول و دوم و همچنین الزامات پیشرفتهٔ فناوری برداشت جلبک و انرژی مصرفی بیشتر، که باعث افزایش کل هزینهٔ تولید می‌شود. روغن‌های تولید شده از منابع جلبک، به‌دلیل دارا بودن محتوای بالاتر اسیدهای چرب اشباع نشده، در هنگام قرار گرفتن در معرض هوا با خطر بیشتری از اکسایش روبه رو می‌شوند. اندازهٔ دقیق زیست‌دیزل تولید شده از مقدار معینی از منبع جلبک، تقریباً قابل پیش بینی نیست. بنابراین تولید زیست‌دیزل از جلبک‌ها بدون در نظر گرفتن گزینه‌های دیگر تولید، از نظر اقتصادی چندان مقرون به صرفه نیست. وجود ناخالصی‌های ناخواستهٔ جامد در روغن‌های پسماند و داشتن مقدار زیاد آب و همچنین اسیدهای چرب آزاد از دیگر مشکلات مربوط به نسل سوم زیست دیزل است که باعث آبکافت، تولید کف و عملکرد پایین‌تر و به‌دنبال آن مصرف زیاد کاتالیزور می‌شود[۱۴-۹].

با بررسی اشکال‌ها و کاستی‌های نسل اول و سوم زیست‌دیزل‌ها به نظر می‌رسد که نسل دوم زیست‌دیزل همچنان جایگزینی مناسب‌تر و امیدوارکننده‌تر برای سوخت‌های فسیلی هستند. نسل دوم زیست‌دیزل به‌مراتب دارای گستردگی مناسب‌تری است که نشان می‌دهد از نظر زیست‌محیطی سازگاری بالاتری دارد؛ زیرا کشت دانه‌های روغنی غیر خوراکی مورد استفاده در آنها باعث کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای مانند کربن دی اکسید می‌شود. روند تولیدی بسیار سادهٔ این نسل و همچنین هزینهٔ تولید پایین و در دسترس بودن آن، از مهمترین ویژگی‌های این نسل از سوخت‌های زیست‌دیزل است[۱۸-۱۵].

گازهای گلخانه‌ای تولیدشده به‌وسیلهٔ زیست‌دیزل‌ها معمولاً شامل دی‌اکسید کربن[1]، NOx، CO و ذرات معلق است. گزارش‌های متعددی بر روی گونه‌های جدید زیست‌دیزل ارائه شده است تا در زمینه‌های مختلف امکان دسترسی گونهٔ جدید با قابلیت‌های بهتر حاصل شود. در مطالعه‌ای که اخیراً انجام شده است سه گونه از نسل دوم زیست‌دیزل‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بالاترین میزان تولید توان با زیست‌دیزل به‌دست آمده روغن جاتروفا است که مقدار آن حدود ۵٪ بیشتر از سوخت دیزل و سایر ترکیبات است. با افزایش میزان زیست‌دیزل در مخلوط با سوخت دیزل، مصرف سوخت خاص ترمز با افزایش روبه‌رو شد ولی از سوی دیگر با افزایش دور موتور این مقدار (مصرف سوخت خاص ترمز) کاهش پیدا کرد. مقدار دودهٔ تولید شده در حضور زیست‌دیزل‌ها با کاهش روبه رو بود و این مقدار با افزایش دور موتور نیز همچنان کاهش داشت[۱۹]. در گزارش دیگری روغن فندق کلزا به‌عنوان سوخت زیست‌دیزل نشان داد که تأخیرهای تزریق و اشتعال و حداکثر نرخ انتشار گرما طی افزودن بیشتر زیست‌دیزل به سوخت دیزل با کاهش روبه‌رو شد و این در حالی اتفاق می‌افتد که مدت‌زمان آتش‌زایی و تزریق یک‌روند صعودی داشته‌است. همچنین در این گزارش بر این اصل تأکید شده است که زیست‌دیزل در مخلوط با دیزل، میزان NOx را افزایش می‌دهد؛ این درحالی است که اندازهٔ هیدروکربن‌های نسوخته[2] CO, و دوده کاهش چشمگیری داشته است[۲۰]. در گزارشی دیگر پژوهشگران از روغن خرما استفاده کردند، در این گزارش آن‌ها نشان دادند که میزان HC در هر دو نوع زیست‌دیزل

1. CO_2
2. THC

بین ۷/۹۳٪ تا ۹/۵٪ کاهش پیدا کرده‌است. آن‌ها همچنین نشان دادند که میزان NOx با افزایشی در حدود ۰/۲۹ تا ۴/۴۳٪ نسبت به سوخت دیزل مواجه شد[۲۱]. در گزارش دیگری بر روی روغن پوست گردو، در حضور ۱۰٪ پنتانول مطالعه شده است؛ نتایج حاکی از آن بوده که زیست‌دیزل به‌دست آمده در این شرایط با کاهش CO، HC، NOx و دوده همراه بوده‌است[۲۲]. در گزارش دیگری از کاپوک و مورینگا برای ساخت زیست‌دیزل استفاده شد، در این گزارش که از روغن نسل دوم به‌عنوان سوخت زیست‌دیزل استفاده شده است مقدار NO و CO_2 به‌ترتیب به میزان ۱۴ تا ۱۷٪ و ۱ تا ۳٪ نسبت به سوخت دیزل بیشتر پراکنش پیدا کرده است، در حالی که میزان پراکنشCO و HC به ترتیب در حدود ۲۳ تا ۲۸٪ و ۱۶ تا ۳۱٪ بوده است[۲۳]. در گزارش بعدی که روغن خردل به‌عنوان سوخت زیست‌دیزل مورد بررسی قرار گرفته، نتایج نشان داد که میزان CO در مقایسه با سوخت دیزل به مقدار قابل توجهی کاهش داشته، در حالی که میزان NOx در حدود ۲۲/۱٪ افزایش را برای زیست‌دیزل نشان داده‌است[۳]. زیست‌دیزل گریپ‌فروت در مقایسه با سوخت دیزل در کاهش انتشار دود و همچنین عملکرد در موتور دیزل در گزارش دیگری بررسی شد. پراکنش دوده زیست‌دیزل به‌دلیل بهبود در مصرف سوخت خاص، نسبت به سوخت دیزل پایین‌تر بود[۲۴]. در گزارش دیگری نتایج نشان داد که استفاده از زیست‌دیزل در مخلوط‌های سوختی باعث کاهش پراکنش مونوکسید کربن (تا ۳۱ درصد) و هیدروکربن (تا ۶۳ درصد) و افزایش مونوکسید نیتروژن (تا ۴۰ درصد) شد؛ همچنین افزایشی در مصرف سوخت ویژه (۳۰-۱۵ درصد) را نشان داد[۲۵]. در گزارش دیگری روغن پسماند خوراکی به‌عنوان سوخت زیست‌دیزل استفاده شده‌است. نتایج نشان داد که با افزایش سهم زیست‌دیزل در مخلوط میزان پراکنش گازهای دی‌اکسید کربن، مونوکسید کربن، اکسیدهای ازت و دوده کاهش و میزان اکسیژن موجود درگازهای خروجی افزایش می‌یابد ولی در این گزارش در خصوص پراکنش هیدروکربن‌های نسوخته اشاره‌ای نشده است[۲۶]. زیست‌دیزل خاک رنگبر در گزارش دیگری مورد استفاده قرار گرفت. نمونهٔ زیست‌دیزل تهیه شد و زیست‌دیزل حاصل از روغن پسماند، در مقایسه با سوخت دیزل در موتور دیزل مورد ارزیابی قرار گرفت؛ نتایج برای شرایط عملکرد موتور در بیشینهٔ گشتاور نشان داد که در دور پایین موتور (۱۶۰۰rpm) هر دو سوخت زیست‌دیزل کاهش ۱۲/۵ درصدی پراکنش دوده و افزایش ۶/۴ درصدی آلایندهٔ NOx نسبت به دیزل در پی داشتند. در بیشینهٔ سرعت (۲۸۰۰rpm)، زیست‌دیزل روغن خاک رنگبر تأثیر مثبتی بر مصرف سوخت ویژه و مصرف سوخت ویژهٔ کمتری نسبت به دیزل دارد. از سوی دیگر، این سوخت بازده حرارتی ترمزی را نیز بهبود داد و در بار کامل و سرعت (۲۸۰۰rpm)، در مقایسه با دیزل تقریباً ۳/۶ درصد افزایش بازده نشان داد[۲۷]. در همهٔ این گزارش‌ها تلاش برای پیدا کردن نمونهٔ مناسب زیست‌دیزل برای جایگزینی با سوخت دیزل بوده است ولی در تمامی نمونه‌ها مشکل عمده، تولید انبوه و حصول نتایج مناسب عنوان شده‌است.

در این تحقیق از سه نمونهٔ جدید زیست‌دیزل به‌عنوان خوراک استفاده شده است. گونه‌های استفاده شده در این گزارش شامل زیست‌دیزل به‌دست آمده از روغن مریم‌گلی[1]، روغن اکلیل کوهی[2] و روغن نعناع[3] است. در تحقیق حاضر عملکرد آتش‌زایی و پراکنش آلاینده‌ها در دور موتورهای مختلف و مقایسهٔ زیست‌دیزل حاصل از سه‌روغن یاد شده با سوخت دیزل مطالعه شده است. نمونه‌های مورد مطالعه در مناطق خشک کشور رشد می‌کنند و گزینه‌های مناسبی برای تولید در ایران هستند.

۲. مواد و روش

روغن مریم‌گلی، اکلیل کوهی و نعناع با خلوص بالا از شرکت ارمغان میمند تهیه شد. روش ترانس استریفیکاسیون برای هر سه نمونه استفاده شد و از هیدروکسید پتاسیم به عنوان کاتالیزور در مورد استفاده قرار گرفت. هیدروکسید پتاسیم در متانول حل شد و به ازای هر ۵۰۰g روغن مصرفی به‌طور تقریبی ۳/۵g کاتالیست به‌کار رفت. ۲/۲g هیدروکسید پتاسیم[4] توزیین و در ۱۳۰mL متانول حل شد. متانول استفاده شده تولید شرکت مرک آلمان و دارای خلوص ۹۹/۹ درصد است. واکنش گرمازا طی حل‌شدن KOH در متانول اتفاق می‌افتد از این‌رو از یک چگالندهاستفاده شده است تا مانع از بخارشدن الکل شود. برای افزایش بازدهی نیز از یک همزن مغناطیسی استفاده شده‌است. وقتی که کاتالیست به‌طور کامل در

1. Salvia Officinalis
2. Rosmarinus Officinalis
3. Mentha
4. KOH

متانول حل شد، مونوکسید برای اضافه کردن به روغن آماده شد. در این تحقیق برای انجام واکنش ترانس‌استریفیکاسیون از نسبت تقریبی روغن به الکل ۱:۵ استفاده شد. دمای ۶۰ درجهٔ سلسیوس برای مخلوط متوکسید و روغن، به‌مدت‌زمان ۱ ساعت در نظر گرفته شد، سپس مادهٔ اولیه برای شست‌وشو با آب گرم مقطر مخلوط گردید. مقدار آب استفاده شده در هر مرحله از آبشویی، دو برابر حجم زیست‌دیزل بود؛ بعد از چندین بار شست‌و شو فاز آبی شفاف شد که این بیانگر حذف کامل آلودگی‌ها بود، سپس زیست‌دیزل و فاز آبی از طریق قیف جداسازی و با دستگاه گریزانه جدا شد؛ به‌این‌ترتیب که بر روی زیست دیزل تشکیل شده در دستگاه آب با فشار خیلی آرام و دمای ۵۰ درجهٔ سلسیوس از طریق دیواره به آرامی وارد دستگاه و سپس توسط همزن به‌مدت ۲ دقیقه با سرعت مینیمم هم زده شد. سپس به مخلوط آب و زیست‌دیزل زمان داده شد تا ته‌نشین شود. با توجه به اینکه چگالی آب بیشتر از زیست‌دیزل است، در نتیجه آب در قسمت پایینی تانک جمع و از طریق شیر پایین دستگاه خارج گردید. این روند ۳ بار انجام شد و در هرمرتبه آب خروجی شفاف‌تر شد و در نتیجه حاوی مواد حل شدهٔ کمتری بود. استاندارد زیست‌دیزل برای زیست‌دیزل خالص در جدول (۱) آمده است. زیست‌دیزل تولید شده به ترکیب درصدهای حجمی ۵[1]، ۲۰[2]، ۸۰[3] و ۱۰۰[4] به دیزل اضافه شد. مشخصه‌یابی زیست‌دیزل‌های تولیدشده به شرح زیر بر اساس روش‌های آزمون استاندارد بین‌المللی انجام و نتایج آزمون‌ها در جدول‌های (۲) تا (۴) آورده شده‌است.

جدول ۱. مشخصه‌های استاندارد زیست‌دیزل.

مشخصه	ASTM Method	واحد	محدودیت
نقطهٔ اشتعال	D۹۳	°C	۱۳۰min
آب و رسوب	۲۷۰۹D	%vol	۱۳۰max
گرانرَوی	۴۴۵D	mm^2/s	۱/۹ -۶
خاکستر سولفاته	۸۷۴D	%mass	۰/۰۲۰ max
سولفور	۵۴۵۳D	%mass	۰/۰۵ max
ستان	۶۱۳D	-	۴۷ min
نقطهٔ ابری شدن	۲۵۰۰D	°C	Report
باقیماندهٔ کربن	۴۵۳۰D	% mass	۰/۰۵ max
عدد اسیدی	۶۶۴D	Mg KOH/g	۰/۸ max
محتوای فسفر	۴۹۵۱D	%mass	۰/۰۰۱ max
درجهٔ حرارت تقطیر ، درجهٔ حرارت معادل جوی	۱۱۶۰D	°C	۳۶۰ Max

جدول ۲. مشخصه‌های زیست‌دیزل حاصل از روغن مریم‌گلی با ترکیب درصدهای مختلف.

سوخت	گرانروی $mm^2.s^{-1}$ (۴۰°C)	چگالی $g.cm^{-3}$ (۱۵°C)	ارزش حرارتی $kJ.kg^{-1}$	عدد ستان
	D-۴۴۵	D-۱۲۹۸	D-۲۰۱۵	D-۶۱۳
دیزل	۲/۵۴	۰/۸۴۰	۰/۴۴۷	۴۸
۵B	۲/۵۸	۰/۸۴۳	۴۴۳۰۰	۵۱
۲۰B	۲/۹۱	۰/۸۵۵	۰۳۸۴۳	۵۵
۸۰B	۳/۴۹	۰/۸۶۹	۴۲۹۸۰	۵۹
۱۰۰B	۳/۸۱	۰/۸۷۲	۴۱۷۸۰	۶۰

1. B5 2. B20 3. B80 4. B100

جدول ۳. مشخصه‌های زیست‌دیزل حاصل از روغن اکلیل کوهی با ترکیب درصدهای مختلف.

سوخت	گرانرَوی $mm^2.s^{-1}$ (۴۰°C)	چگالی $g.cm^{-3}$ (۱۵°C)	ارزش حرارتی $kJ.kg^{-1}$	عدد ستان
	D-۴۴۵	D-۱۲۹۸	D-۲۰۱۵	D-۶۱۳
دیزل	۲/۵۴	۰/۸۴۰	۴۴۷۰۰	۴۸
۵B	۲/۶۰	۰/۸۴۲	۴۳۴۸۰	۵۰
۲۰B	۳/۱۰	۰/۸۵۷	۴۲۵۸۰	۵۳
۸۰B	۳/۷۸	۰/۸۶۷	۴۱۹۴۰	۵۶
۱۰۰B	۳/۹۲	۰/۸۷۱	۴۱۱۲۰	۵۸

جدول ۴. مشخصه‌های زیست‌دیزل حاصل از روغن نعناع با ترکیب درصدهای مختلف.

سوخت	گرانرَوی $mm^2.s^{-1}$ (۴۰°C)	چگالی $g.cm^{-3}$ (۱۵°C)	ارزش حرارتی $kJ.kg^{-1}$	عدد ستان
	D-۴۴۵	D-۱۲۹۸	D-۲۰۱۵	D-۶۱۳
دیزل	۲/۵۴	۰/۸۴۰	0.447	84
۵B	۲/۶۱	۰/۸۴۱	۴۳۴۴۰	۴۹
۲۰B	۳/۱۳	۰/۸۵۲	۴۲۵۵۰	۵۳
۸۰B	۳/۷۹	۰/۸۶۵	۴۱۹۰۰	۵۵
۱۰۰B	۳/۹۱	۰/۸۷۰	۴۱۱۰۰	۵۸

آزمون عملکرد آتش‌زایی نمونه‌های سوخت در موتور دیزل با یک سیلندر انجام شد. مشخصه‌های موتور مورد استفاده در جدول (۵) آورده شده‌است. میزان گازهای خروجی با دستگاه DRAGER MSI COMPACT 150 و میزان دوده با smoke-meter SUN ASA 200 اندازه‌گیری شد. مدل دستگاه نیروسنج مورد استفاده در این گزارش BT-140 model می‌باشد. پراکنش گازهای خروجی و عملکرد موتور در حالت بارگزاری کامل و دورهای مختلف موتور بررسی شد.

۳. بحث و نتایج

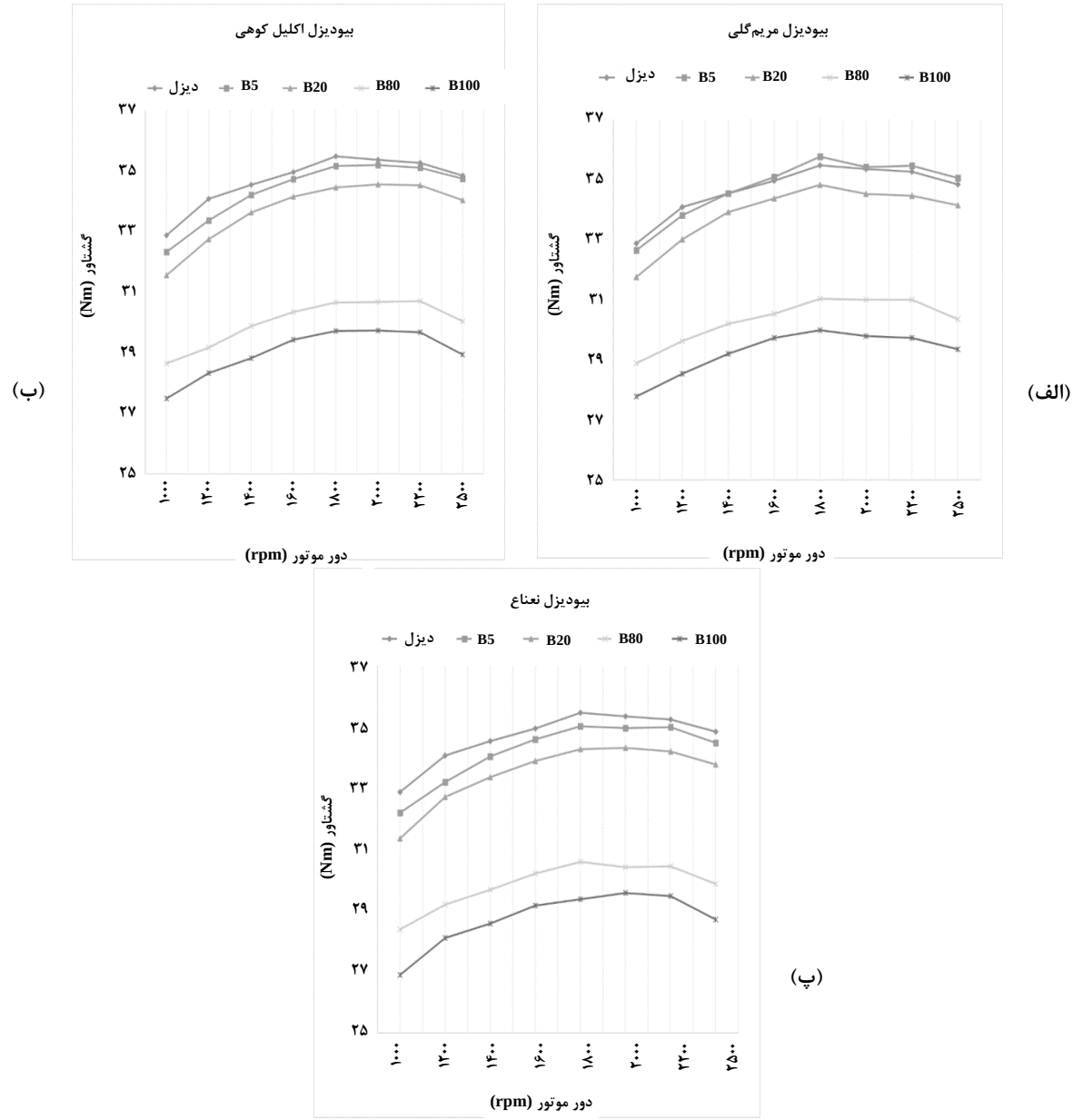
۳-۱ گشتاور

گشتاور تولیدشده برای همهٔ سوخت‌های مورد مطالعه، در شکل (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود برای همهٔ زیست‌دیزل‌های تولیدشده، با افزایش میزان زیست‌دیزل مخلوط شده با سوخت دیزل مقدار گشتاور تولیدی کاهش می‌یابد؛ هرچند در B5 زیست‌دیزل مریم‌گلی گشتاور تولیدشده بالاتر از سوخت دیزل بوده‌است (گشتاور تولیدی در دور موتورهای ۱۸۰۰

جدول ۵. مشخصه‌های موتور مورد استفاده در ارزیابی عملکرد آتش‌زایی نمونه‌های سوخت.

نوع	Diesel۱۸۶Rainbow–
تعداد سیلندر	۱
سیستم خنک‌کننده	Air Cooling
نسبت تراکم	۱۸/۱
سیستم تزریق	Direct Injection
بیشینهٔ توان	۱۰ HP
بیشینهٔ دور متور	۳۶۰۰ rpm
(Mep) فشار متوسط مؤثر	۵۶۱/۶ Kpa
سرعت متوسط پیستون	۷/۰ m/sn (at ۳۰۰۰ rpm)
نیروسنج	BT-۱۴۰

تا ۲۵۰۰). همهٔ سوخت‌های مورد استفاده با افزایش دور موتور به یک نقطهٔ بیشینه می‌رسند که این امر در دور موتور ۱۸۰۰rpm اتفاق افتاده است. بعد از این دور موتور، شاهد یک روند کاهشی در گشتاور برای همهٔ سوخت‌ها هستیم. علت اصلی کاهش میزان گشتاور با افزایش میزان زیست‌دیزل، در سوخت مربوط به گرانرَوی بالاتر و ارزش حرارتی پایین‌تر سوخت‌های زیست‌دیزل نسبت به سوخت دیزل است؛ از این‌رو پایین‌ترین گشتاور متعلق به زیست‌دیزل خالص (B100) برای تمامی نمونه‌های مورد مطالعه است. بالاترین میزان گشتاور مربوط به زیست‌دیزل مریم‌گلی در B5 مشاهده شد. این مقدار برای B5 (زیست‌دیزل مریم‌گلی) ۱ درصد بالاتر از اکلیل کوهی و ۲ درصد بالاتر از زیست‌دیزل نعناع در ۱۰۰۰rpm می‌باشد. در دور موتور ۱۸۰۰rpm، بالاترین مقدار B5 برای زیست‌دیزل مریم‌گلی است که به‌ترتیب مقدار ۱، ۲ و ۳ درصد بالاتر از سوخت دیزل، اکلیل کوهی و نعناع است. در تمام نمونه‌های مورد مطالعه B100، بالاترین مقدار گشتاور به‌خاطر بالاتر بودن ارزش حرارتی و پایین‌تر بودن گرانرَوی متعلق به زیست‌دیزل مریم‌گلی است که مقدار آن از اکلیل کوهی و نعناع به‌میزان ۱ و ۲ درصد در اکثر دورهای موتور بیشتر است در حالی که نسبت به سوخت دیزل خالص به‌مقدار ۱۶ درصد کمتر می‌باشد.

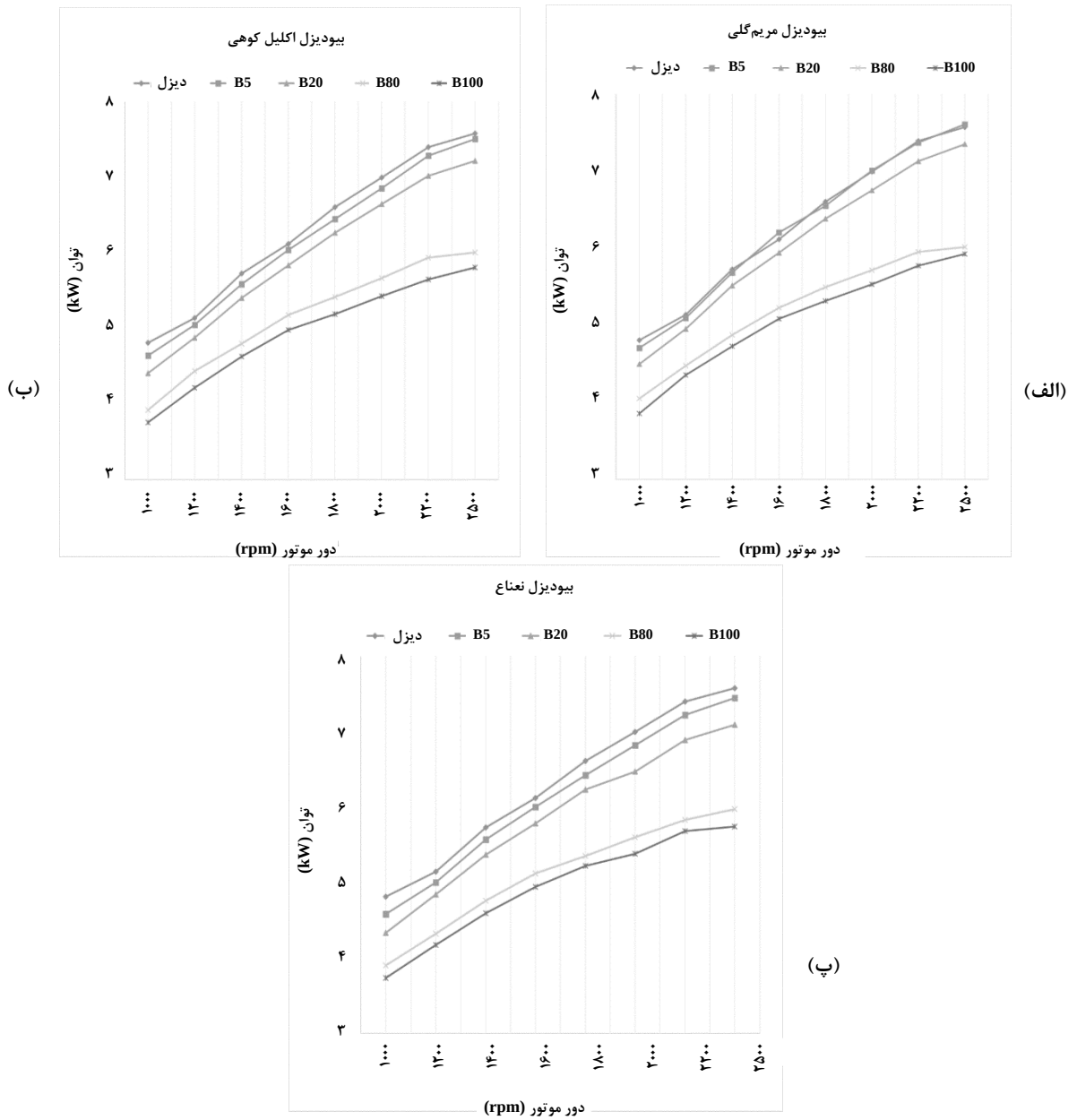


شکل ۱. نمودار تغییرات گشتاور تولیدشده به‌وسیلهٔ منابع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه نسبت به دور موتور.

۳-۲ توان

توان تولیدشده به‌وسیلهٔ زیست‌دیزل‌های متفاوت در شکل (۲) نشان داده شده‌است؛ در تمامی نتایج به جز B5 زیست‌دیزل مریم‌گلی، با افزایش میزان سهم زیست‌دیزل در سوخت دیزل، میزان توان تولیدی کاهش یافته‌است به‌طوری‌که در B100 مقدار توان تولیدی برای تمامی زیست‌دیزل‌ها کمتر از سوخت دیزل می‌باشد. در B5 برای زیست‌دیزل مریم‌گلی اختلاف توان تولیدی با سوخت دیزل تنها کمتر از ۱ درصد است، این درحالی است که این اختلاف برای زیست‌دیزل اکلیل کوهی و نعناع در حدود ۱ و ۲ درصد است.

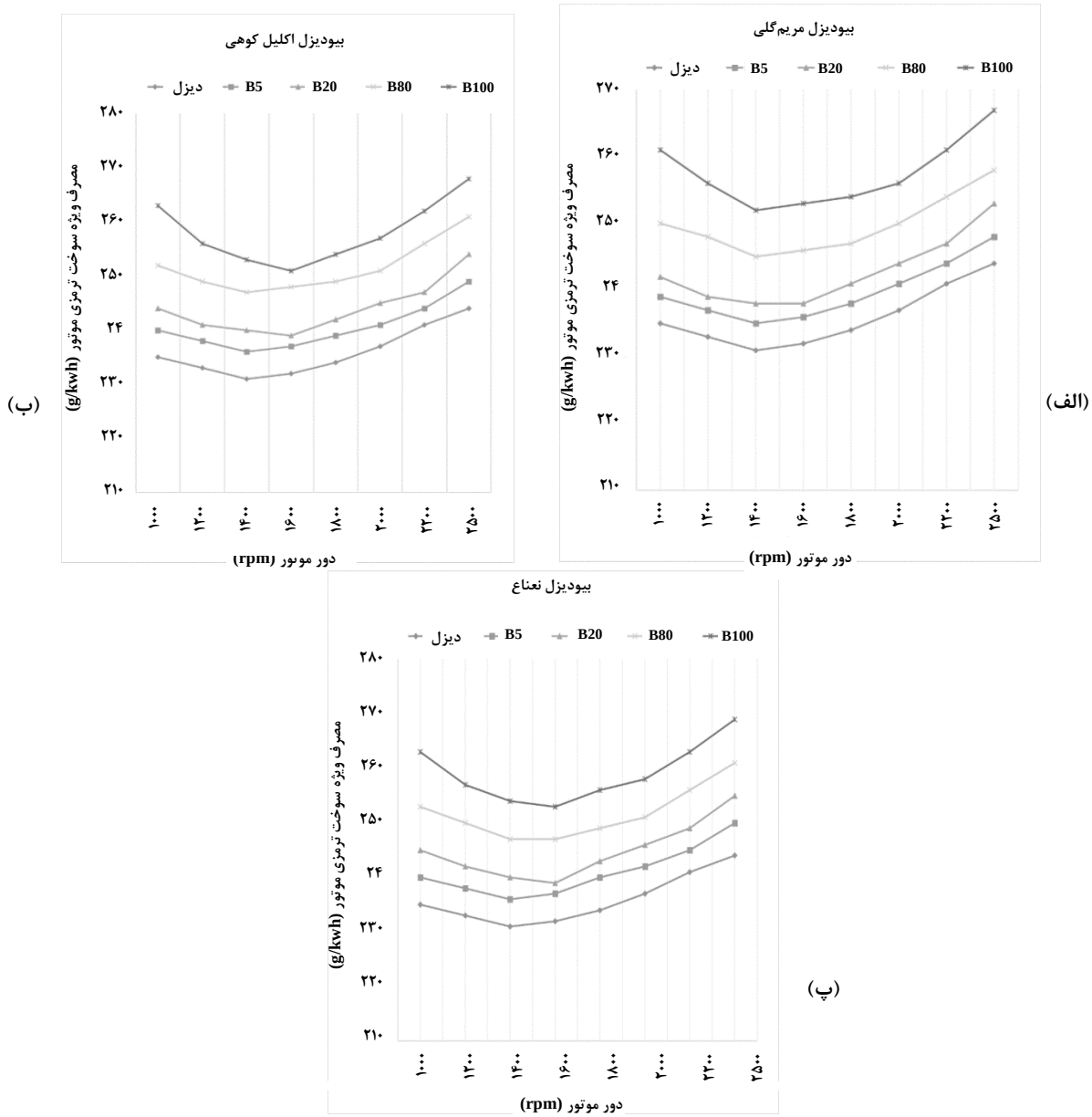
با افزایش میزان دور موتور میزان توان تولیدی برای تمامی سوخت‌ها رو به افزایش است. در دور موتورrpm ۱۰۰۰، میزان توان برای B100 مریم کوهی به میزان ۳ و ۴ درصد از زیست‌دیزل اکلیل کوهی و نعناع بیشتر است که علت آن گرانرَوی پایین‌تر و ارزش حرارتی بیشتر زیست‌دیزل مریم کوهی است، اگرچه به مقدار ۱۷ درصد از سوخت دیزل کمتر است. در دور موتور rpm۲۵۰۰، توان تولیدی برای زیست‌دیزل B100 مریم کوهی ۳ درصد بیشتر از دو گونهٔ دیگر از زیست‌دیزل است و اختلاف ۲۳ درصدی با سوخت دیزل خالص دارد.



شکل ۲. نمودار تغییرات توان تولیدشده به‌وسیلهٔ منابع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه نسبت به دور موتور.

۳-۳ مصرف ویژهٔ سوخت ترمزی موتور

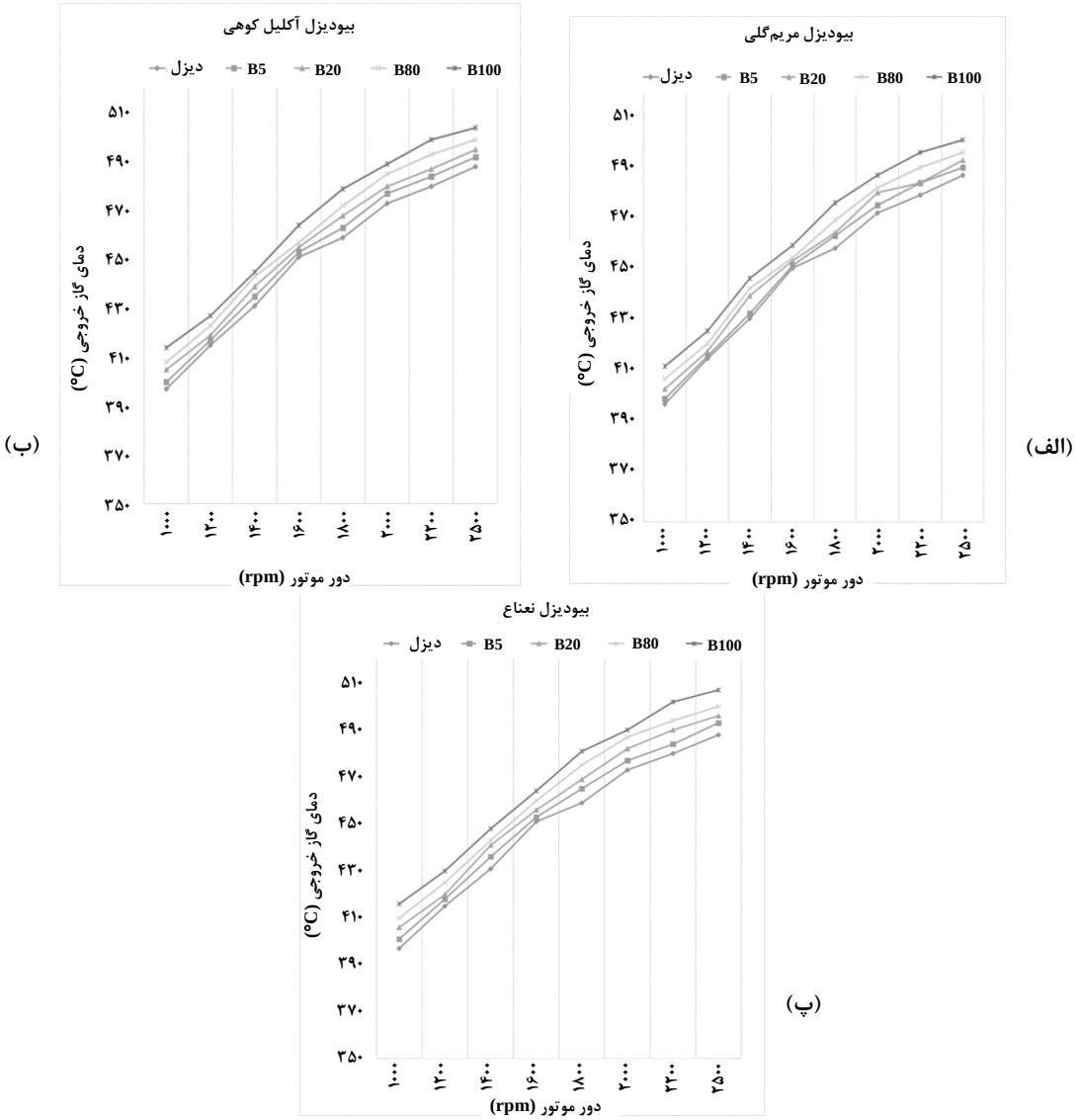
BSFC برای تمامی سوخت‌های مورد مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمامی سوخت‌های بررسی شده ابتدا در BSFC یک کاهش و پس از آن یک افزایش نشان داده‌است. با افزایش میزان زیست‌دیزل در ترکیب، افزایش BSFC در تمامی زیست‌دیزل‌ها دیده می‌شود. عوامل متعددی می‌توانند بر روی BSFC تأثیر بگذارند، که افزایش BSFC با افزایش ارزش حرارتی و گرانرَوی رخ می‌دهد. بالاترین میزان BSFC در زیست‌دیزل نعناع و در دور موتور ۲۵۰۰rpm به‌دست آمده است که در حدود ۲۶۹g/kWh است و این مقدار از زیست‌دیزل مریم‌گلی و اکلیل کوهی به مقدار تقریبی ۱ درصد بیشتر و نسبت به سوخت دیزل به مقدار تقریبی ۱۰ درصد بالاتر است. پایین‌ترین مقداری که برای زیست‌دیزل مریم‌گلی، اکلیل کوهی، نعناع و دیزل در B100 مشاهده‌شده به ترتیب ۲۵۲g/kWh، ۲۵۲g/kWh، ۲۵۳g/kWh، ۲۳۱g/kWh است. در تمامی زیست‌دیزل‌های مورد مطالعه، زیست‌دیزل مریم‌گلی در B5 نزدیک‌ترین نتایج به سوخت دیزل دارد. مقدار BSFC در دور موتور ۱۰۰۰rpm برابر با ۲۳۹g/kWh برای زیست‌دیزل مریم‌گلی در B5 است که نسبت به سوخت دیزل تنها ۲ درصد بالاتر است.



شکل ۳. تغییرات مصرف ویژهٔ سوخت ترمزی موتور (BSFC) به‌وسیلهٔ منابع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه نسبت‌به دور موتور.

۳-۴ دمای گاز خروجی

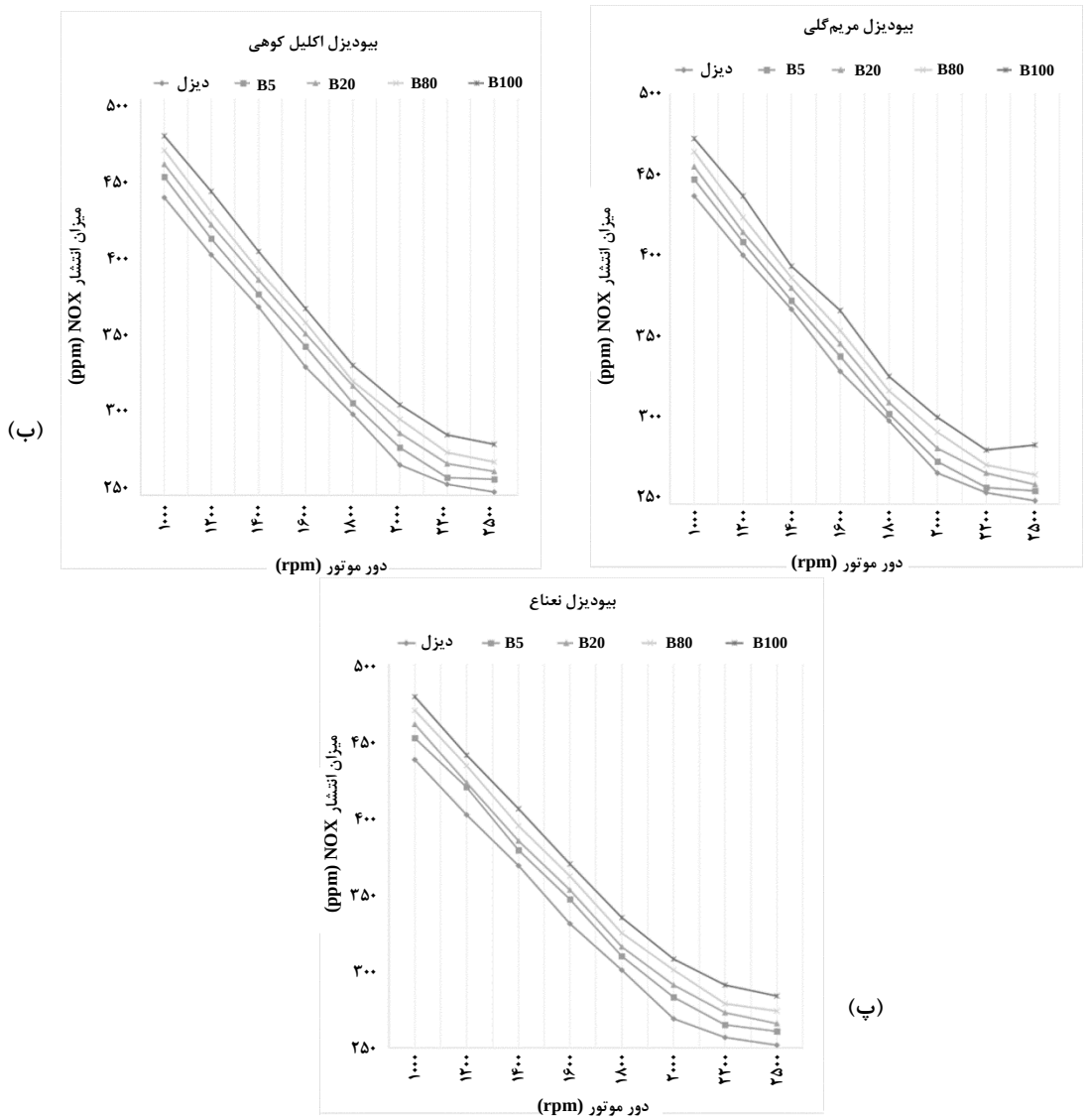
نتایج به‌دست آمده در شکل (۴) نشان می‌دهد که در تمام نمونه‌های سوخت‌های مورد مطالعه، با افزایش دور موتور EGT افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار زیست‌دیزل در سوخت دیزل، میزان EGT نیز افزایش پیدا می‌کند؛ به گونه‌ای که سوخت دیزل خالص پایین‌ترین میزان EGT و B100 دارای بالاترین میزان EGT خواهد بود. یکی از عواملی که بر روی EGT تأثیر بسزایی دارد زمان تأخیر در اشتعال است. افزایش این زمان باعث تأخیر در آتش‌زایی و افزایش میزان EGT می‌شود. یکی دیگر از عواملی که تأثیر بسزایی بر روی زمان تأخیر در اشتعال دارد؛ عدد ستان است. افزایش عدد ستان باعث کاهش EGT می‌شود. همان‌گونه که اشاره شد زیست‌دیزل مریم‌گلی با داشتن عدد ستان بالاتر دمای گاز خروجی کمتری نسبت‌به دو سوخت دیگر زیست‌دیزل دارد. در دور ۱۰۰۰rpm، EGT برای B5 زیست‌دیزل مریم‌گلی ۳۹۹°C است که به میزان ۱ درصد بالاتر از سوخت دیزل است و همچنین به میزان تقریبی ۱ درصد از زیست‌دیزل اکلیل کوهی و نعناع پایین‌تر است (۴۰۰°C، ۴۰۱°C). در دور موتور ۲۵۰۰rpm، نتایج به‌دست‌آمده مشابه حالت قبل است. در خصوص زیست‌دیزل مریم‌گلی مقدار EGT برای B100 در دور موتور ۱۰۰۰rpm، ۴۱۲°C است که نسبت به سوخت دیزل ۴ درصد بالاتر است، و در دور موتور ۲۵۰۰rpm این عدد به ۵۰۲°C می‌رسد که ۳ درصد از سوخت دیزل و ۱ درصد از دوگونهٔ دیگر زیست‌دیزل بالاتر است.



شکل ۴. نمودار تغییرات دمای گاز خروجی (EGT) ناشی از آتش‌زایی منابع مختلف زیست‌دیزل نسبت به دور موتور.

۳-۵ پراکنش NOx

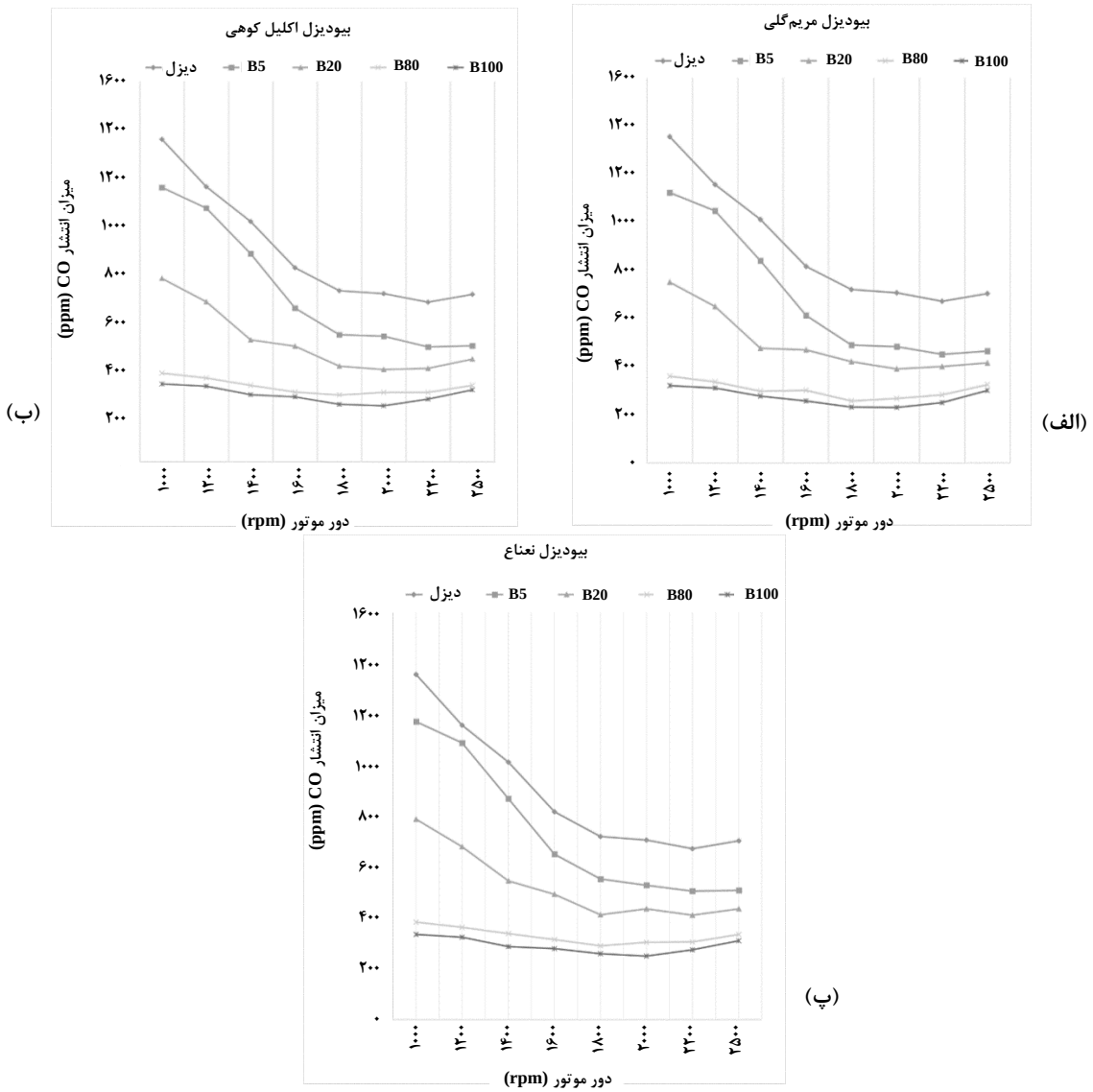
پراکنش میزان NOx در زیست‌دیزل‌های مورد مطالعه در شکل (۵) نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود افزایش میزان سهم زیست‌دیزل در سوخت، باعث افزایش میزان پراکنش NOx نیز می‌شود؛ یکی از عواملی که سهم بسزایی در افزایش میزان پراکنش NOx دارد بالا بودن میزان گازهای خروجی است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بالا بودن گازهای خروجی سبب شده‌است که میزان NOx نیز افزایش یابد. بالاترین میزان گازهای خروجی مربوط به زیست‌دیزل نعناع است. در دور موتور ۱۰۰۰rpm مقدار NOx تولیدی برای B100 حاصل از روغن نعناع (۴۷۹ppm) نسبت به زیست‌دیزل اکلیل کوهی، مریم‌گلی و دیزل به ترتیب به میزان ۲،۱، ۸ بیشتر است. در دور موتور ۲۵۰۰rpm، مقدار NOx به مقدار ۲۸۴ppm رسیده است که به ترتیب ۱ و۱۱ درصد از زیست‌دیزل اکلیل کوهی و دیزل بالاتر است؛ در حالی که این میزان از زیست‌دیزل مریم‌گلی ۱ درصد کمتر است. یکی از عللی که با افزایش دور موتور، میزان NOx رو به کاهش گذاشته است این است که افزایش میزان کارکرد حجمی و جریان گاز درون سیلندر در دور موتورهای بالا منجر به اختلاط سریع‌تر سوخت و هوا شده که خود منجر به کاهش زمان اشتعال می‌شود؛ پس از آن زمان واکنش هر چرخه موتور کاهش می‌یابد به طوری که زمان اقامت گاز در داخل سیلندر کوتاه و این امر منجر به کاهش پراکنش NOx می‌شود.



شکل ۵. نمودار میزان پراکنش NOx حاصل از آتش‌زایی انواع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه در دور موتور متفاوت.

۳-۶ پراکنش CO

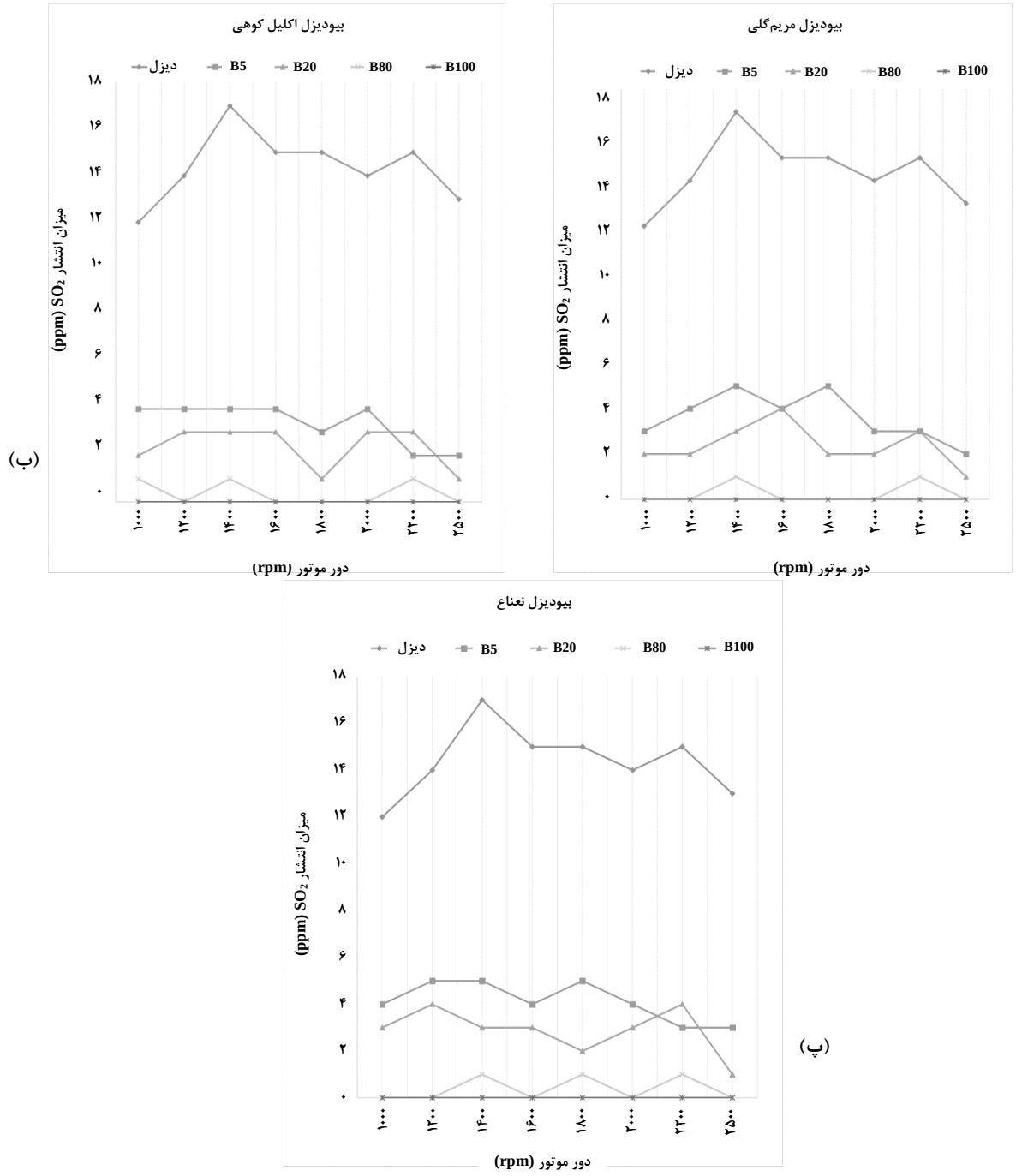
میزان پراکنش CO در زیست‌دیزل‌های متخلف در شکل (۶) نشان داده شده‌است. بالاترین میزان تولید CO مربوط به سوخت دیزل در ۱۰۰۰rpm و برابر با ۱۳۵۸ppm است و این مقدار با افزایش دور موتور روندی کاهشی دارد تا به نقطهٔ حدقل خود برسدمی‌رسد و دوباره روند افزایشی به خود می‌گیرد. افزایش میزان زیست‌دیزل در سوخت دیزل، باعث کاهش چشمگیر میزان پراکنش CO می‌شود و کمترین میزان تولید CO مربوط به B100 برای تمامی زیست‌دیزل‌ها است. یکی از علل کاهش CO محتوای اکسیژن در سوخت زیست‌دیزل می‌تواند باشد که منجر به سوختن بهتر در دورهای مختلف موتور می‌شود. از این‌رو زیست‌دیزل مریم‌گلی با دارا بودن بالاترین میزان اکسیژن سبب شده که دارای مقادیر تولیدی CO کمتری باشد. افزایش میزان اکسیژن در زیست‌دیزل سبب شده که B100 پایین‌ترین میزان پراکنش CO را داشته‌باشد. در دور موتور ۱۰۰۰rpm پایین‌ترین مقدار تولید CO با میزان ۳۰۰ppm مربوط به زیست‌دیزل مریم‌گلی است و در ادامه اکلیل کوهی و نعناع قرار دارند که میزان تولید CO در آنها به ترتیب در حدود ۳۲۹ و ۳۳۶ppm است. در دور موتور ۲۵۰۰rpm، مقدار CO در زیست‌دیزل مریم‌گلی به ۳۰۱ppm می‌رسد که این میزان کمتر از مقدار CO در زیست‌دیزل اکلیل کوهی و نعناع است (۳۱۱ppm ،۳۰۴ppm).



شکل ۶. نمودار میزان پراکنش CO حاصل از آتش‌زایی انواع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه در دور موتورهای متفاوت.

۳-۷ پراکنش SO_2

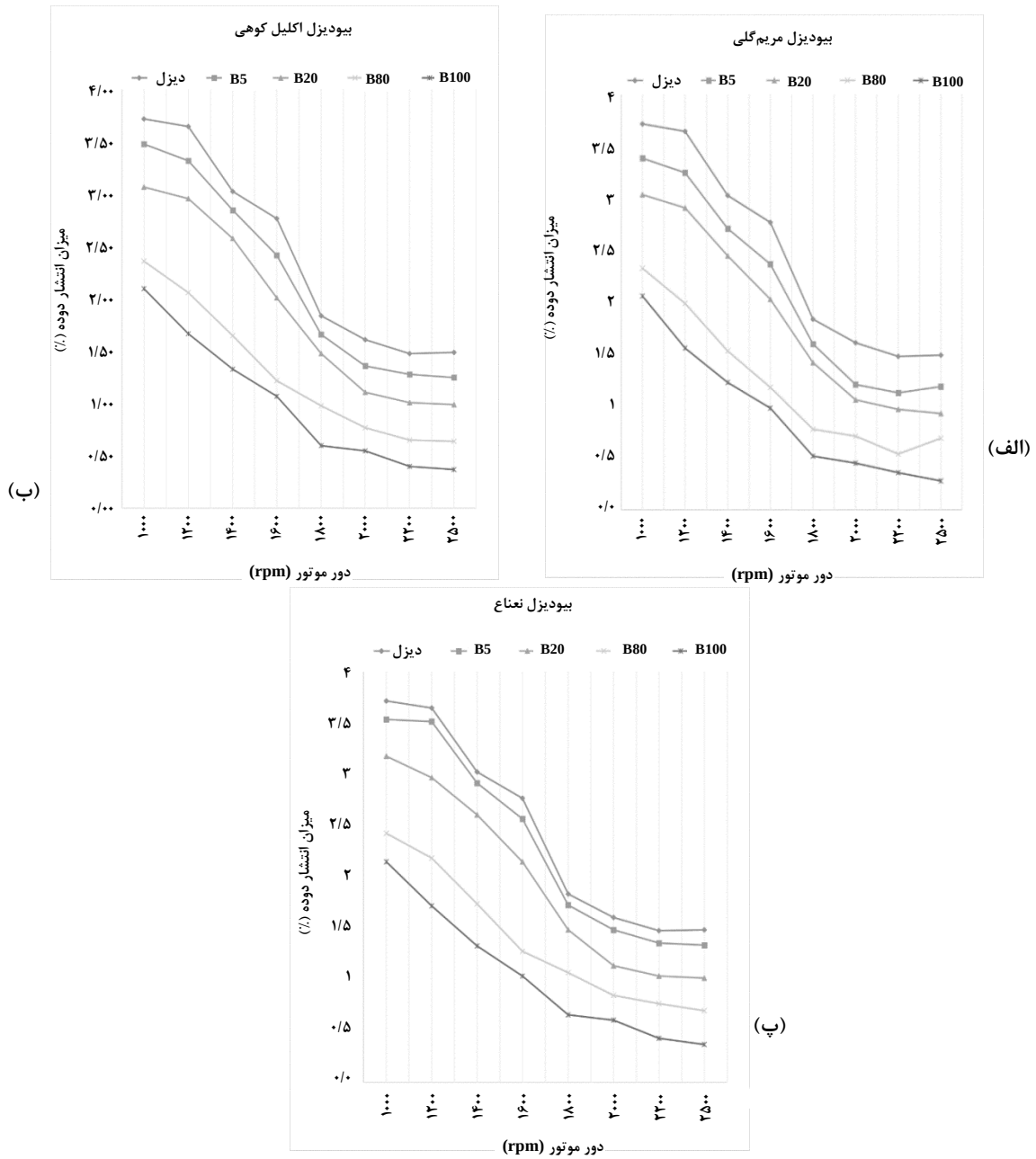
میزان پراکنش SO_2 در شکل (۷) نشان داده شده است. به‌علت وجود میزان بسیار پایین گوگرد در زیست‌دیزل، رفتار زیست‌دیزل‌های مورد مطالعه در پراکنش SO_2 تقریباً مشابه هم است. با افزایش میزان زیست‌دیزل در مخلوط آن با دیزل، SO_2 به‌طور چشمگیری کاهش پیدا کرده است، که این امر به‌علت نبود گوگرد در سوخت زیست‌دیزل است؛ به‌طوری که در B100 این مقدار برابر صفر است.



شکل ۷. نمودار میزان پراکنش SO_2 حاصل از آتش‌زایی انواع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه در دور موتورهای متفاوت.

۳-۸ پراکنش دود

کدورت دوده برای تمام زیست‌دیزل‌ها و سوخت دیزل در شکل (۸) نشان داده شده است. یکی از عللی که سوخت‌های زیست‌دیزل نسبت به سوخت دیزل دارای مقدار کمتری کدورت دوده هستند این است که میزان محتوای اکسیژن در سوخت زیست‌دیزل بیشتر است. افزایش میزان اکسیژن سبب سوختن کامل‌تر و از این‌جهت باعث کاهش چشمگیر کدورت دوده می‌شود؛ مریم‌گلی دارای بالاترین میزان اکسیژن است. میزان کدورت دوده برای سوخت زیست‌دیزل مریم‌گلی در B100 به میزان ۴۵ درصد کمتر از سوخت دیزل (در دور موتور ۱۰۰۰rpm) است، از سوی دیگر کدورت دوده برای زیست‌دیزل مریم‌گلی به میزان ۲ درصد کمتر از سوخت اکلیل کوهی و همچنین به میزان ۵ درصد از زیست‌دیزل نعناع کمتر است. در دور موتور ۲۵۰۰rpm، کدورت دوده برای زیست‌دیزل مریم‌گلی به میزان ۸۲ درصد کمتر از سوخت دیزل است، به‌علاوه کدورت دوده برای سوخت زیست‌دیزل مریم‌گلی به میزان ۱۵ درصد کمتر از دو سوخت دیگر زیست‌دیزل است.



شکل ۸. نمودار میزان کدورت دودهٔ حاصل از آتش‌زایی انواع مختلف زیست‌دیزل مورد مطالعه در دور موتورهای متفاوت.

۴. نتیجه‌گیری کلی

در حال حاضر زیست‌دیزل یکی از منابع مناسب تجدیدپذیر برای جایگزینی با سوخت‌های فسیلی است. دراین تحقیق سه‌نوع منبع جدید زیست‌دیزل بررسی شده‌است تا گزینهٔ مناسبی که قابلیت رشد در مناطق آب و هوایی خشک همچون ایران را دارد و هزینهٔ تولید و نگهداری آن نیز کم و مقرون به صرفه است، انتخاب و ارائه گردد. بنابراین ما از سه‌نوع سوخت جدید زیست‌دیزل استفاده کرده‌ایم که شامل زیست‌دیزل مریم‌گلی، اکلیل کوهی و نعناع است. هرسه گونه قابلیت رشد در مناطق آب و هوایی خشک را دارند و همین امر سبب می‌شود بیشتر کشورهای منطقه توانایی تولید آن‌را داشته باشند. گشتاور تولید شده به‌وسیلهٔ زیست‌دیزل مریم‌گلی نتایج بهتری را نسبت به دیگر نمونه‌های مطالعه شده نشان داد. همچنین در بحث توان تولیدشده زیست‌دیزل مریم‌گلی نتایج بهتری را نسبت به دیگر سوخت‌های مورد مطالعه نشان داد. در تمامی سوخت‌های بررسی شده در این گزارش BSFC ابتدا یک کاهش را تجربه کرده، سپس دوباره رشد کرده‌است. در تمامی سوخت‌ها با افزایش میزان دور موتور، EGT افزایش یافته است، با این‌حال سوخت دیزل خالص، پایین‌ترین میزان EGT را دارا است. با افزایش میزان سهم زیست دیزل در سوخت باعث افزایش میزان پراکنش NOx نیز می‌شود. با افزایش میزان زیست‌دیزل در سوخت باعث کاهش چشمگیر میزان پراکنش CO می‌شود و کمترین میزان تولید CO مربوطبه B100 برای تمامی نمونه‌های زیست‌دیزل است. با افزایش میزان زیست‌دیزل به‌طور چشمگیری SO_2 کاهش یافته است. میزان کدورت دوده برای سوخت زیست‌دیزل مریم‌گلی کاهش ۸۵ درصدی را تجربه کرده‌است. زیست‌دیزل مریم‌گلی نسبت به تمامی زیست‌دیزل‌ها به‌طور کلی نتایج بهتری در عملکرد آتش‌زایی و پراکنش آلاینده‌ها نشان داده است، اگرچه تمامی زیست‌دیزل‌های تولید شده توانایی صنعتی‌شدن و استفاده را دارند ولی نزدیک‌ترین مقدار به سوخت دیزل مربوط به B5 از زیست‌دیزل مریم‌گلی است.

مراجع

[1] Balan, K., Yashvanth, U., Booma Devi, P., Arvind, T., Nelson, H., Devarajan, Y., "Investigation on emission characteristics of alcohol biodiesel blended diesel engine", Journal of Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 41, pp. 1879-1889, (2019).

[2] Abed, K., Gad, M., El Morsi, A., Sayed, M., Elyazeed, S. A., "Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions", Egyptian journal of petroleum, 28, pp. 183-188, (2019).

[3] Uyumaz, A., "Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with mustard oil biodiesel fuel blends at different engine loads", Journal of Fuel, 212, pp. 256-267, (2018).

[4] Venu, H., Subramani, L., Raju, V. D., "Emission reduction in a DI diesel engine using exhaust gas recirculation (EGR) of palm biodiesel blended with TiO_2 nano additives", Journal of Renewable Energy,140, pp. 245-263, (2019).

[5] Uyumaz, A., "Experimental evaluation of linseed oil biodiesel/diesel fuel blends on combustion, performance and emission characteristics in a DI diesel engine", Journal of Fuel, 267, pp. 117-150, (2020).

[6] Hasan, M., Rahman, M., "Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review", Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, pp. 938-948, (2017).

[7] Gharehghani, A., Mirsalim, Hosseini, M., "Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission", Journal of Renewable Energy, 101, pp. 930-936, (2017).

[۸] نجفی، ب.، "بررسی تجربی و شبیه‌سازی ریاضی فرآیند احتراق سوخت بیودیزل حاصل از روغن پسماند"، نشریهٔ تحقیقات موتور، سال ششم، ۱۷(۶۰)، (۱۳۸۹).

[9] Ardjmand, M., Jafarihaghighi, F., Mirzajanzadeh, M., "Combustion and Emission Analysis of Cyclamen Persicum and Fritillariapersica Biodiesel",1, Biotechnology: unite prime publication, USA, (2020).

[10] Ardjmand, M., Jafarihaghighi, F., Hassani, M. S., Bazel, N., Bahrami, H., "A Comprehensive Review on the Physical and Chemical Properties of the Three Generations of Biofuels", 1. Advances in Biotechnology, openaccessebook, USA, (2020).

[11] Dragone, G., Fernandes, B. D., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., "Third generation biofuels from microalgae", 105, pp. 763–768, Procedia Engineering, (2015).

[12] Singh, A., Olsen, S. I., Nigam, P. S., "A viable technology to generate third-generation biofuel", Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 86, pp. 1349-1353, (2011).

[13] Pinto, A. C., "Biodiesel: an overview", Journal of the Brazilian Chemical Society, 16, pp. 1313-1330, (2005).

[14] Nautiyal, P., Subramanian, K., Dastidar, M., Kumar, A., "Experimental assessment of performance, combustion and emissions of a compression ignition engine fuelled with Spirulina platensis biodiesel", Journal of Energy, 193, pp. 116-168, (2020).

[15] Sreenath, J., Pai, A., "Biodiesel: A Review on Next Generation Fuels", J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci, 43, pp. 58-66, (2018).

[16] Radhakrishnan, S., Munuswamy, D. B., Devarajan, Y., Mahalingam, A., "Performance, emission and combustion study on neat biodiesel and water blends fuelled research diesel engine", Journal of Heat and Mass Transfer, 55, pp. 1229-1237, (2019).

[17] Manigandan, S., Gunasekar, P., Devipriya, J., Nithya, S., "Emission and injection characteristics of corn biodiesel blends in diesel engine", Journal of Fuel, 235, pp. 723-735, (2019).

[18] DeMarini, D. M., Mutlu, E., Warren, S. H., King, C., Gilmour, M. I., Linak, W. P., "Mutagenicity emission factors of canola oil and waste vegetable oil biodiesel: Comparison to soy biodiesel", Journal of Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 846, pp. 403-507, (019).

[19] Sahoo, P., "Comparative evaluation of performance and emission characteristics of jatropha, karanja and polanga based biodiesel as fuel in a tractor engine", Journal of Fuel, 88, pp. 1698-1707, (2009).

[20] Öztürk, E., "Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil–hazelnut soapstock biodiesel mixture", Journal of Fuel Processing Technology, 129, pp. 183-191, (2015).

[21] Ashraful, A., "Impact of edible and non-edible biodiesel fuel properties and engine operation condition on the performance and emission characteristics of unmodified DI diesel engine", Journal of Biofuels, 7, pp. 219-232, (2016).

[22] Devarajan, Y., kumar Jayabal, R., Ragupathy, D., Venu, H., "Emissions analysis on second generation biodiesel", Journal of Frontiers of Environmental Science & Engineering, 11, pp. 3, (2017).

[23] Sanjid, A., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Varman, M., Zulkifli, N. W. B. M., Abedin, M. J., "Performance and emission of multi-cylinder diesel engine using biodiesel blends obtained from mixed inedible feedstocks", Journal of cleaner production, 112, pp. 4114-4122, (2016).

[24] Jafarihaghighi, F., Ardjmand, M., "Performance analysis of biodiesel from grapefruit seed oil", presented at the 2nd International Conference on Technology and Innovation in Science, Engineering and Technology, (1398).

[۲۵] سلطانی‌نظر، ل.، علیزاده، ح.، ربانی، ح.، شدیدی، ب.، "بررسی عملکرد و انتشار آلاینده‌های موتور دیزل با مخلوط سوخت بیودیزل و دیزل"، هشتمین کنگرهٔ ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون ایران، ۲ (۱۱)، (۱۳۹۲).

[۲۶] پورمهدی، ب.، نجفی، ب.، "مطالعهٔ تأثیر مخلوط‌های مختلف سوخت دیزل و بیودیزل بر انتشار آلاینده‌های موتور دیزل"، دومین کنگرهٔ ملی کشاورزی ارگانیک، ۲ (۵)، (۱۳۹۲).

[۲۷] پوروثوقی، ن.، "بررسی تأثیر بیودیزل روغن پسماند و خاک رنگبر بر عملکرد و آلایندگی موتور دیزل"، نشریهٔ سوخت و احتراق.. سال پنجم، ۲(۳۵)، (۱۳۹۱).