

## بررسی بیودیزل به عنوان سوخت مصرفی در موتورهای درون سوز دیزلی و ارزیابی استفاده از آن در ایران

مجتبی ساعی مقدم  
استادیار - دانشگاه صنعتی قوچان  
mojtabasaei@qiet.ac.ir

پدرام ناصحی  
دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشگاه صنعتی قوچان  
nasehiP@mailfa.com

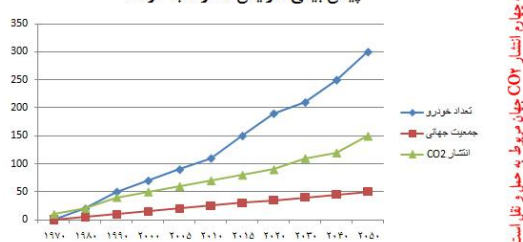
ابوذر لایقی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشگاه صنعتی قوچان  
aboozarlayghi@gmail.com

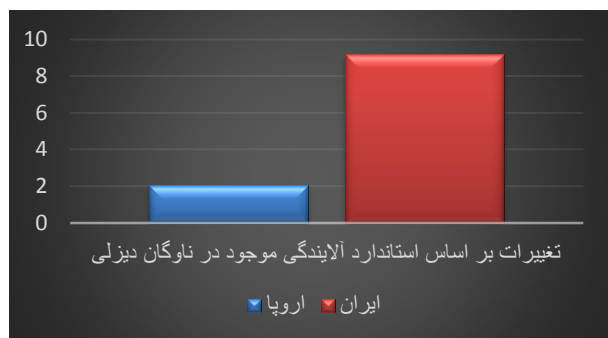
### چکیده

به دلیل کارایی بالایشان مورد استفاده قرار می گیرند. موتورهای دیزلی با سرعت بالای در حال نابودی محیط زیست هستند و این در حالی است که بشر به حد زیادی وابستگی به آن ها دارد. پس می بایست یک راه حل مناسب برای بهبود آلاینده‌گی آن ها پیدا کند. یکی از بهترین پیشنهادها می‌تواند این زمینه تغییر سوخت این نوع موتورها است. [59] در ایران به دلیل وجود بحران آلودگی مخصوصاً در کلان شهرها و استفاده از ناوگان فرسوده و دور از استانداردهای جهانی نیاز جدیدتری به این تغییر احساس می‌شود. شکل ۲: تفاوت میان آلاینده‌گی تولیدی از ناوگان حمل و نقل مورد استفاده در ایران و اروپا. (وجود این میزان اختلاف به خاطر وجود ناوگان دیزلی موجود در ایران با استانداردهای یورو ۲، ۳ و ۴ در ایران است در حالی که استاندارد مورد استفاده در اروپا یورو ۶ است). شکل ۳: میزان آلاینده‌گی تولیدی از ناوگان دیزلی ایران در سال‌های مختلف. یکی از جایگزین‌های ممکن برای سوخت‌های فسیلی بیودیزل ها هستند. بیودیزل ها می‌توانند به دو صورت راه گشای این مشکل باشند یک این که آن‌ها به‌طور طبیعی آلودگی کمتری تولید می‌کنند عددی حدود ۱۰ تا ۲۰٪ و دوم آن که همان میزان آلودگی در جریان بیودیزل جهت پرورش گیاه مصرف می‌شود.

پیش بینی افزایش مصرف به درصد



شکل ۱. پیش‌بینی سهم بخش حمل و نقل در مصرف انرژی جهانی و انتشار گازهای گلخانه‌ای CO2 [5]



شکل ۲- تفاوت میان آلاینده‌گی تولیدی از ناوگان حمل و نقل مورد استفاده در ایران و اروپا بر اساس g/km [5]

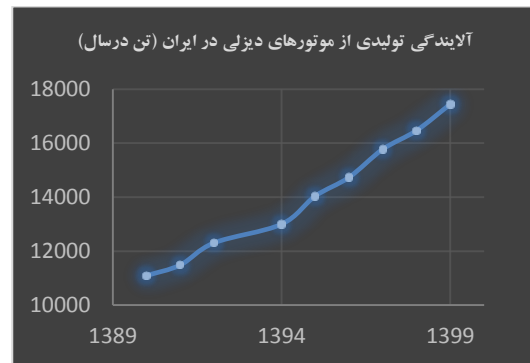
سوخت قابلیت اجرا شدن را داشت. در این زمان گزینه‌های بسیاری مدنظر قرار گرفت که یکی از مهم‌ترین آن‌ها بیودیزل ها بودند. [50]

در دنیای که در آن سوخت‌های فسیلی رو به پایان هستند و از طرفی تأثیر منفی زیادی بر محیط زیست دارند، اکثر کشورهای جهان روی به استفاده از سوخت‌های تجدید آورده‌اند. کشور ایران با وجود اینکه میزان زیادی سوخت‌های فسیلی را دارا است، اما به دلیل مشکلات گسترده‌ای که در بحث زیست محیطی و آلودگی هوا به دلیل فرسودگی سیستم حمل و نقل دیزلی‌اش دارد. نیاز مبرمی به استفاده از سوخت‌های پاک و تجدید پذیر دارد. سوخت‌های که علاوه بر تجدید پذیر بودن آلاینده‌گی کمتری را نیز داشته باشند. در مقاله پیش رو تلاش کردیم تا قابلیت‌های، عملکرد و خواص بیودیزل ها را در موتورهای درون سوز دیزلی را بررسی کرده. تا میزان تأثیرشان را برای شرایط فعلی ایران حداقل برای سیستم حمل و نقل عمومی و برون شهری متناسب با پتانسیل ایران در تولید این سوخت ارزیابی کنیم. توان اجرایی و تأثیر آن بر اقلیم ایران در کنار تأثیر بیودیزل بر موتور بحث اصلی است. از طرفی با درک این که ایران توان تولید 721252 تن بیودیزل در سال را دارد، اهمیت این موضوع بیشتر می‌شود.

کلمات کلیدی: موتورهای احتراق داخلی، دیزلی، بیودیزل

### مقدمه

یکی از پارامترهای مهم رشد اقتصادی هر کشور میزان توانمندی سیستم حمل و نقل آن کشور است که بر پایه موتورهای درون سوز استوار است. بر اساس تعریف‌های موجود پارامتر رشد اقتصادی زمانی اثر بخش خواهد بود که همراه با توسعه پایدار باشد، بدین معنا که سیستم به گونه‌ای طراحی شود که توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی را تداوم بخشد. کشور ما نیز در جهت توسعه خود از این قاعده مستثنا نیست. یکی از دغدغه اساسی در زمینه توسعه سیستم حمل و نقل تأمین سوختی مصرفی است (غالباً بنزین و دیزل). در جهان به دلیل گسترده تر شدن سالانه ناوگان حمل و نقل میزان تقاضا برای سوخت حدود 1/1% افزایش می‌یابد [55] در ایران به دلیل فرسوده بودن سیستم حمل و نقل و اجرایی نشدن قسمت دوم برنامه سهمیه بندی سوخت افزایش مصرف در سال حدود 6% است. ولی متأسفان در ایران به دلیل فرسودگی ناوگان حمل و نقل موتوری و دور بودن آن‌ها از استانداردهای روز دنیا به مراتب بیشتر است. در حال حاضر میزان ۲۲٪ از آلودگی‌های تولیدی بشر به خاطر حمل و نقل است. آژانس بین المللی انرژی (IEA) پیش‌بینی می‌کند تا سال ۲۰۲۰ این آلودگی به 32% برسد و در بین سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۵ 8.5 میلیارد مترمکعب گاز CO2 در فضا منتشر شد. [56] شکل ۱: پیش‌بینی مصرف انرژی. بخش گسترده‌ای از این آلاینده‌گی‌ها توسط موتورهای درون سوز دیزلی تولید می‌شود که به نسبت بقیه موتورهای درون سوز آلاینده‌گی بیشتری دارند ولی



شکل ۳- میزان آلاینده‌ی تولیدی از ناوگان دیزلی ایران در سال‌های مختلف [53]

با توجه به وجود اختلاف شدید در میزان انتشار آلاینده‌ی در ناوگان‌های دیزلی ایران و جهان نیاز بیشتری به استفاده از سوخت پاک در ایران احساس می‌شود. این در حالی است که ایران یکی از ده تولیدکننده بزرگ آلودگی گازی در جهان است. از طرفی میدانیم که ایران پتانسیل لازم برای تولید بیودیزل را دارا است. شاید این روش یکی از سریع‌ترین راه‌حل‌های بحران آلودگی در ایران باشد. در ادامه موتورهای دیزلی و تاریخچه آن‌ها، بیودیزل‌ها، قابلیت‌ها و عملکردشان شرح داده می‌شود و در نهایت به پتانسیل‌های موجود در ایران پرداخته می‌شود.

## ۲- موتورهای دیزل

موتورهای دیزلی نوعی از موتورهای درون‌سوز هستند که برخلاف موتورهای درون‌سوز عمومی اساس کارشان بر پایه سیستم جرقه‌زنی نیست بلکه اساس کار آن‌ها بر پایه افزایش تراکم گاز و در نتیجه احتراق است. تولید موتور دیزل به سال ۱۸۹۲ برمی‌گردد. در آن زمان رادولف دیزل با صرف ۱۴ سال تلاش شبانه‌روزی توانست این سیستم را تولید کند و حق تولید آن را به نام خود ثبت کند. سبک‌کار این موتورها و روش احتراقشان بر پایه فشرده‌سازی سوخت استوار است، به این صورت که در موتورهای دیزل فشار گاز ورودی تا حدود ۲۰ برابر افزایش پیدا می‌کند (حدود ۲ برابر موتورهای بنزینی) و در اثر این عمل دما و فشار گاز تا جای افزایش می‌یابد که باعث احتراق سوخت می‌گردد. این موتورها در زمان تولید دارای مشکلاتی فراوانی بودند که از جمله آن‌ها می‌توان به سنگینی زیاد و کند بودن آن‌ها اشاره کرد. ولی در طول سال‌ها این مشکلات تا حد زیادی برطرف شد تا جایی که موتورهای دیزل قابلیت عملیاتی و اطمینان پیدا کردند؛ و به چرخه صنعت وارد شدند. از خاصیت‌های کلیدی این موتورها می‌توان به این موارد اشاره کرد که موتورهای دیزل نسبت به سوخت حساسیت کمتری را دارا هستند و در آن‌ها می‌توان انواع مختلف سوخت را استفاده کرد. میزان مصرف سوخت به نسبت قدرت خروجی و گشتاور تولیدی‌شان، کمتر از موتورهای بنزینی است. بازده حرارتی این نوع موتورها حدود ۱۰ درصد بیشتر از موتورهای بنزینی است. اما به‌رحال موتورهای دیزل مشکلاتی هم دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تولید بیشتر ذرات معلق به نسبت موتورهای بنزین سوز اشاره کرد. این مشکل با توجه به استفاده گسترده این موتورها باعث آسیب جدی به محیط‌زیست شده است. این مشکل تا حدی جدی بود که باعث شد در مرحله اول قوانین سخت‌گیران‌ای را برای تولید این نوع موتورها اعمال کنند. لیکن بازم مشکل به‌طور کلی حل نشد. تا آن‌جا که محققان را مجبور به اقدام کرد. یکی از روش‌های ممکن به جهت حل این مشکل تغییر دادن سوخت این موتورها بود که با توجه به حساسیت کم این نوع موتور به

## ۳- بیودیزل

شروع تولید بیودیزل به سال ۱۸۹۳ برمی‌گردد. زمانی رادولف دیزل به‌سختی به دنبال سوختی برای موتور تولید خودش می‌گشت. برای اولین بار روغن بادام‌زمینی را به‌عنوان سوخت امتحان کرد. ولی به دلایلی موفقیت‌آمیز نبود. سال‌ها بعد دانشمندان زیادی بر روی بیودیزل کار کردن د تا در نهایت در سال ۱۹۷۷ فرایند صنعتی تولید آن توسط Expedito Parente آغاز شد. در سال‌های بعد روش‌های دیگر از مواد اولیه گوناگون مورد استفاده قرار گرفت و نهایتاً در سال ۱۹۹۱ اولین استاندارد جهت تولید این ماده صادر شد؛ و در سال‌های بعد تکامل یافت تا به شکل نهایی خود در سال ۲۰۰۸ رسید. [10]

بیودیزل یا عملاً هر نوع از سوختی دارای مشخصات بسیار کاربردی است که برای توصیف آن ماده دانست و بیان آن‌ها ضروری است از مهم‌ترین این خصوصیات می‌توان به: ویسکوزیته، تراکم‌پذیری، نقطه اشتعال و عدد ستان آن اشاره کرد. طبیعی است که روغن‌های مختلف مشخصات مختلفی را نیز دارا می‌باشند. هستند که در جدول ۱ آمده است. نقطه اشتعال یکی از خواص بیودیزل است که برای دانه‌های مختلف تفاوت دارد. مثلاً برای روغن کانولا (290.5C) است و برای سویا (280 C) است که به‌طور متوسط از دیزل بالاتر است. از این خاصیت می‌توان نتیجه گرفت که بیودیزل برای حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی ایمن‌تر است. ویسکوزیته سینماتیک بیودیزل‌ها بین ۱۰ تا ۱۵ برابر دیزل است و بین (30-55 CST) است. ارزش گرمایی روغن‌های گیاهی در حدود (32-40 Mj/Kg) است که از دیزل کمتر است اما با ترکیب با دیزل قابل قبول می‌شود. [18]

هر نوع از بیودیزل دارای مشخصات خاص خود است که بیان‌گر کیفیت سوخت است. [22] یکی از خاصیت‌های مهم بیودیزل چگالی آن است و از دیگر خواص آن می‌توان به ویسکوزیته، نقطه اشتعال، درجه حرارت، نقطه ابری، پایداری الکترواستاتیک و ... اشاره کرد که در خصوص هر کدام توضیحات مختصری در زیر داده شده است؛ این خواص در نهایت ویژگی‌های کلیدی سوخت را مشخص می‌کنند. [12, 14, 21, 22, 23, 24]

\* **ارزش گرمایی:** یکی از پارامترهای کلیدی سوخت است که مبین کیفیت سوخت است. در تحقیق‌های مختلفی مشخص شده که ارزش حرارتی بیودیزل در حالت‌های مختلف پایین‌تر از دیزل نفتی است. انرژی گرمایی سوخت بیودیزل در حدود (۳۹\_۴۱ Mj/Kg) است که در مقایسه با سوخت دیزل (43 Mj/kg) کمتر است اما از زغال‌سنگ که (32\_37 Mj/kg) بیشتر است. [26] مقدار گرمای بیشتر باعث گرما و حرارت بالاتر در موتور می‌شود که باعث بهبود عملکرد موتور می‌شود.

\* **عدد ستان:** معیاری برای اندازه‌گیری تأخیر احتراق در سوخت در موتورهای دیزل است. این میزان نشان‌دهنده آن است که سوخت در زمان مناسب خود مشتعل می‌گردد. عدد مینای عدد ستان برای گازوئیل ۵۰ است که هر چه پایین‌تر باشد احتراق یکنواخت‌تر است.

\* **نقطه اشتعال:** اگر نیاز به بررسی امنیت سوخت شود اولین پارامتری که باید بررسی شود نقطه اشتعال است. تا مشخص شود حساسیت سوخت در زمان نگهداری و حمل‌ونقل تا چه میزان است. [33] این مقدار بیان‌گر آن است که یک سوخت در چه دمایی به‌اندازه کافی بخار تولید می‌کند که به برخلاف آنچه در ظاهر گفته می‌شود روغن نباتی را نمی‌توان به‌صورت مستقیم مورد استفاده قرارداد. دلیل آن این است که ویسکوزیته بالاتر

بیودیزل ها در موتورهای دیزل مشکلات اساسی به وجود می آورد، چون انژکتور به طور عمومی برای این ویسکوزیته بالا طراحی نشده است. [19] **جدول ۳:** برخی مشکلات استفاده از بیودیزل در این حالت در موتور را نشان می دهد. باین حال تکنیک های برای اصلاح این حالت وجود دارد مانند:

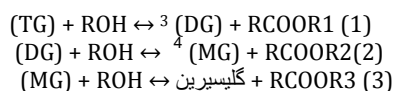
پیرو لیز ۱، رقیق کردن ۲ و میکرو امولسیون [8, 21]

پیرو لیز یا تجزیه در اثر حرارت: فرایندی است که در حضور کاتالیست و اعمال حرارت یک ماده به ماده دیگر تبدیل می شود. این فرایند به نسبت دیگر فرایندها ساده تر است. [12, 14]

رقیق کردن: فرایندی است که بیودیزل را با سوخت دیزل مخلوط می کند که باعث کاهش ویسکوزیته سوخت شده و مناسب برای استفاده در موتور می شود. [22]

**در شکل ۳:** فرایند عمومی تولید بیودیزل را از روغن های گیاهی نشان می دهد. در میان همه روش ها فرایند انتقال روشی اقتصادی تر و کارآمدتری برای تولید بیودیزل است که از آن به صورت گسترده استفاده می شود. در **جدول ۴:** فرایندهای تولید بیودیزل باهم مقایسه می شوند.

تکنیک های تولید بیودیزل به شرح زیر می باشند:



جدول ۲: پتانسیل های کشورهای مختلف در تولید بیودیزل [12, 16]

منطقه	کشور	مواد
آسیا / جنوب شرق آسیا	چین ایران	روغن زیتون پخت و پز / کل زا پالم، جاتروفا، کرچک، جلبک
اروپا	فرانسه ایتالیا	کلزا / آفتابگردان کلزا / آفتابگردان
امریکا شمالی	ایالات متحده امریکا	سویا / روغن زیتون / بادام زمینی

جدول ۳: برخی مشکلات استفاده از روغن های خام در موتور

مشکل در موتور	دلیل	منبع
رسوب کردن کربن قطعات	ویسکوزیته بالا	[23]
گرفتگی فیلتر	محصولات پلیمریزاسیون	[10-20]
مشکل در سوخت رسانی	ویسکوزیته بالا	[10]

جدول ۴: مقایسه تکنیک های تولید بیودیزل [9-10]

فناوری	پیرو لیز [۶۲]	ترانس استریفیکاسیون [۶۵-۲۹,۶۳]
مزایای	بدون آلودگی، فرایند ساده	خواص سوخت به دیزل نزدیک است - مناسب برای صنعت
معایب	درجه حرارت بالا تجهیزات گران	همراه با واکنش های جانبی

۴۵٪ را است.

۴-۵: دکتر مجتبی ساعی مقدم و همکارانش [6] در پژوهشی تلاش کردند

نقطه اشتعال برسد. در شرایط عمومی تمامی بیودیزل ها دمای احتراق بالاتری نسبت به دیزل دارند. پس بیودیزل برای حمل و نقل و ذخیره سازی امن تر است. [10, 20] بر اساس استانداردهای ایالات متحده و اروپا نقطه اشتعال بیودیزل ها به ترتیب ۹۳ و ۱۲۰ درجه سانتی گراد است. [33]

\* **ویسکوزیته سینماتیک:** یکی از ویژگی های مهم سوخت است که بسته به کاربرد سوخت در شرایط مختلف آن را می توان تغییر داد. [17] همچنین معیار بسیار قابل توجه ای برای زمان ذخیره سازی سوخت است. به طور کلی ویسکوزیته خود را در دماهای پائین بیشتر نشان می دهد و در مقابل جاری شدن مقاومت بیشتری نشان می دهد. [29] در آزمایش های مختلف مشخص شده است که ویسکوزیته بیودیزل ۱۰ تا ۱۵ برابر دیزل نفت است.

جدول ۱: خصوصیات روغن خام و مقایسه با دیزل [17, 18]

نقطه اشتعال C	عدد ستان	ویسکوزیته (mm <sup>2</sup> /s)	نام روغن
۲۴۱	۳۴,۸	۳۷,۲	روغن کنجد
۲۷۱	۴۱,۸	۳۹,۶	بادام زمینی
۲۴۶	۳۷,۶	۳۷	کلزا
۲۶۰	۴۱,۳	۳۱,۳	روغن گل رنگ
۲۶۰	۴۰,۲	۳۵,۵	کنجد
۲۵۴	۳۷,۹	۳۲,۶	سویا
۲۷۴	۳۷,۱	۳۳,۹	آفتابگردان
۲۶۷	۴۲	۳۹,۶	پالم
۳۶۴	۵۱,۵	۲۷,۶۴	روغن نارگیل
۷۶	۵۰	۳,۰۶	دیزل

### ۳-۱: تولید بیودیزل

از کاربردهای مهم بیودیزل می توان به استفاده آن به عنوان جایگزین سوخت های نفتی نام برد، در نتیجه انتخاب مواد اولیه آن از حساسیت بالای برخوردار است. از طرفی مواد اولیه حدود ۷۵٪ هزینه های تولید بیودیزل را شامل می شوند، پس انتخاب ماده اولیه یکی از مهم ترین سرفصل های تولید آن است. [11] تا به امروز حدود ۳۵۰ منبع مختلف برای تولید بیودیزل پیداشده است که به دودسته روغن های خوراکی و غیرخوراکی تقسیم شده اند. از مهم ترین این مواد می توان به: روغن بادام زمینی، روغن سویا، روغن آفتابگردان، روغن ذرت، روغن سیبوس برنج، روغن نخل، روغن پنبه دانه، توتون و تنباکو زباله روغن های پخت شده و چربی های حیوانی اشاره کرد. [14, 15] کشورهای مختلف منابع مختلف تولید بیودیزل را دارا هستند. به عنوان مثال کلزا منبع اصلی تولید بیودیزل در اروپا است. در حالی که سویا بیشترین استفاده برای تولید بیودیزل در ایالات متحده را دارد. در همین حال، مالزی و اندونزی اغلب از روغن نخل برای تولید بیودیزل استفاده می کنند. [16] جدول ۲: پتانسیل های کشورهای مختلف برای تولید بیودیزل را نشان می دهد. [12, 16] درصد روغن موجود در هر ماده عامل اصلی برای انتخاب منبع تولید بیودیزل است پارامتر مهم در تولید بیودیزل دقت به ترکیب اسیدهای چرب در هر منبع از بیودیزل است. [19, 8]

<sup>1</sup> Pyrolysis  
<sup>2</sup> Dilution  
<sup>3</sup> Diglycerides  
<sup>4</sup> Monoglyceride  
<sup>5</sup> Transesterification

تا با افزودن افزودنی‌های آلاینده‌ی حاصل از سوخت دیزل‌ها را کاهش دهند. آن‌ها در نهایت موفق شدند با افزودن نیترو متان (CH<sub>3</sub>NO<sub>2</sub>) میزان انتشار دوده بر اثر سوخت را به میزان ۲۵٪ کاهش دهند.

۵-۵: Labeckas and Slavinskas [36] به بررسی عملکرد و انتشار گازهای گلخانه‌ای یک موتور احتراق داخلی (موتور دیزل) با (۰.۳-۰.۵) مخلوط از روغن کل‌زا و سوخت موشک در (1400-2200rpm) پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از کارشان نشان داد که بازده حرارتی (BTE) سوخت ترکیبی بالاتر از سوخت جت خالص است؛ و همچنین نتایج آلاینده‌ی انتشار یافته از موتور نشان داد که CO و NO<sub>x</sub> به میزان کمی افزایش پیدا کرده‌اند.

۵-۶: Altair و همکارانش [37] دریافتند که بیودیزل غنی‌شده با سوخت‌های مخلوط، سوختی عالی‌تر و بهتر از بیودیزل است. با توجه به میزان آلاینده‌ی آن‌ها که به میزان ۱۵٪ کاهش پیدا کرده است.

۵-۷: Chauhan و همکارانش [32] در پژوهشی کلیدی دریافتند که ترکیب (5, 10, 20, 30%) از بیودیزل می‌تواند به‌عنوان بیودیزل کارآمد مورد استفاده قرار گیرد. همچنین دریافتن میزان CO<sub>2</sub>, CO, HC, BTE و تراکم دود به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد. ولی مقدار انتشار NO<sub>x</sub> آن اندکی افزایش پیدا می‌کند.

۵-۸: Rajaraman و همکارانش [37] در تحقیق طولانی موفق به تولید بیودیزل حاصل از روغن درخت موری‌گا شدند و آن را با متیل استر مخلوط کردن و در یک موتور دیزل در شرایط کارکرد مختلف مورد آزمایش قرار دادند. در نهایت مشخص شد که سوخت تولیدی نسبت به بیودیزل خالص بازده حرارتی (BTE) آن حدود ۱۰٪ بهبود یافته است. و انتشار آلاینده‌ی آن در بخش تولید دوده حدود ۲۰٪ بهتر شده است.

۵-۹: Kalam و همکارانش [24] دریافتند که مخلوط ۸۵٪ گاز و ۱۵٪ روغن درخت نخل و ۵٪ روغن درخت نارگیل باعث بهتر شدن (BTE) بیودیزل به میزان ۱/۲٪ می‌شود و این ترکیب انتشار CO را (۱۷-۲۱٪) و انتشار HC را نیز (۲۳٪) کاهش می‌دهد و تنها باعث افزایش ۲٪ انتشار NO<sub>x</sub> می‌شود.

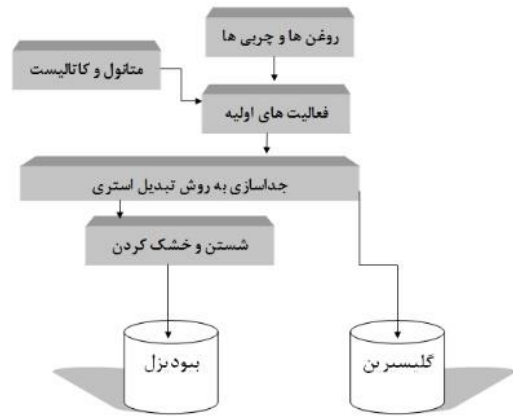
۵-۱۰: Selvam and Vadivel [38] بیودیزل خالص را از گوشت گوساله تولید کردند و نشان دادند بازده (BTE) در این فرایند به میزان ۱۰٪ افزایش یافته است و مقدار آلاینده‌ی انتشار یافته در این روش به میزان قابل توجهی، CO و UHC و تراکم دوده را به میزان ۲۴.۷٪، ۳۲.۵٪، ۶۳٪ بهبود پیدا کرده است.

**۶: خاصیت‌های احتراق انواع بیودیزل در احتراق داخلی موتورها**

**درون‌سوز**

۶-۱: دکتر میثم طباطبایی و همکارانش [4] در تحقیق ارزشمند به تأثیر مواد افزودنی بر روی بیودیزل‌ها پرداختند. در نتیجه یافتن که مواد افزودنی به‌طور متوسط موجب بهبود عملکرد موتور شود اما می‌بایست در انتخاب مواد دقت کافی را کرد تا بهترین مواد را انتخاب کرد. برای مثال افزایش متانول و اتانول می‌تواند تا میزان ۱۰٪ کارکرد سوخت را بهبود بخشد.

۶-۲: دکتر بهمن نجفی و همکارانش [3] در پژوهشی برای تعیین اندیس بیودیزل‌های تولیدی از ترکیبات استیل استر دریافتن که اندیس بیودیزل



شکل ۳: فرآیند عمومی تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی خام [3]

**۴: مزایا و معایب بیودیزل دارای مزایا متعدد و همچنین کمبودهای است. [11, 34, 35]**

- ۱- تولید بیودیزل آسان‌تر از دیزل است و زمان کمتری نیاز دارد.
- ۲- بیودیزل از لحاظ اقتصادی ارزشمندتر از دیزل است.
- ۳- بیودیزل انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری مانند CO<sub>2</sub>, CO, PM, HC را نسبت به دیزل دارد.
- ۴- بیودیزل در موتورهای درون‌سوز بهتر می‌سوزد چون عدد ستان بالاتری دارد.

۵- به‌صورت خود به خودی مشتعل نمی‌شود.

همچنین دارای معایبی است که در زیر به آن اشاره می‌کنیم.

- ۱- سوخت‌های بیودیزل به‌طور متوسط ۵٪ کاهش قدرت رادارند.
- ۲- بیودیزل برنج و مس را در خود حل می‌کند.
- ۳- ویسکوزیته بالا به علت توده مولکولی بزرگ و ساختار شیمیایی روغن‌های گیاهی منجر به مشکل در پمپاژ و نهایتاً احتراق در موتور می‌شود.
- ۴- انتشار NO<sub>x</sub> بالاتر نسبت به دیزل دارد.

**۵: عملکرد و انتشار گازهای گلخانه‌ای بر اثر سوخت بیودیزل در موتورهای احتراق داخلی**

بر خلاف سوخت‌های فسیلی که به‌واسطه سوخت کربن‌های تولیدشده در گذر زمان انرژی آزاد می‌کنند و کربن‌های دفن شده را به‌صورت CO<sub>2</sub> آزاد می‌کنند. درحالی‌که بیودیزل‌ها بر اثر سوخت گازهای را آزاد می‌کنند که در چرخه تولیدشان به‌وسیله گیاهانشان مصرف می‌شوند و در اصل خنثی هستند.

۵-۱: دکتر برات قبادی و همکارانش [1] در تحقیق با افزودن نانولوله‌های کربن به سوخت بیودیزل B5 و B10 در یک موتور تک سیلندر در دور موتور (1800, 2300, 2800rpm) دریافتن که گشتاور و توان موتور هر دو حدود ۵٪ افزایش داشته و آلاینده‌ی تولیدی از موتور (CO) ۶٪ کاهش را داشته است.

۵-۲: دکتر برات قبادیان و همکارانش [2] در پژوهشی دیگر با تغییر زمان پاشش در موتور دیزل با سوخت B20 دریافتن که تنظیم زمان پاشش سوخت در موتور می‌توان عملکردی مشابه با دیزل خالص در خصوص قدرت موتور به دست آورد و هم‌زمان میزان آلاینده‌ی را نیز کاهش داد.

۵-۳: دکتر علی‌اصغر خلیلی و همکارانش [5] با بررسی نانو امولسیون‌ی در دیزل‌ها دریافتن این مواد توانایی کاهش دوده تولیدی از موتور تا میزان

جدول ۵: خلاصه‌ای از کارهای آزمایشی در احتراق بیودیزل در

موتورهای دیزلی				
منبع	نتایج احتراق	شرایط عملکرد	نوع بیودیزل	موتور cylinder
[45]	فشار سیلندر بالاتر	۱۵۰۰ دور در دقیقه	اسفناج	1
[46]	فشار سیلندر بالاتر	۱۵۰۰ دور در دقیقه	روغن نئین	1
[41]	فشار سیلندر بالاتر	شرایط کارکرد کامل	روغن نخل	1
[47]	نرخ آزاد شدن حرارت پایین تر	۱۵۰۰ دور در دقیقه	سویا	1
[49]	نرخ آزاد شدن گرما بیشتر است	۳۰۰۰ دور در دقیقه	کورتون	4
[40]	فشار سیلندر بالاتر	۱۵۰۰ دور در دقیقه	کلزا	6
[48]	نرخ آزاد شدن حرارت پایین	سرعت موتور مختلف	کلزا	6

#### ۷: منابع تولید بیو دیزل در ایران

در سال‌های اخیر تولید بیودیزل در جهان بیش از ۲۰ برابر شده است. جالب است بدانیم این افزایش تولید در کشورهای بوده است که خود دارای منابع نفت هستند. (مانند: امریکا به‌عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده بیودیزل) [51] ایران دارای وسعتی با بیش از 1,648,000 مترمربع است. ایران با دارا بودن اقلیم‌های متنوع ای توانایی پرورش بسیار زیادی از دانه‌های روغنی را دارد؛ که از آن‌ها می‌توان به: کلزا، سویا، کنجد، زیتون، آفتابگردان و ... اشاره کرد. **جدول ۶:** محصولات کشت‌شده در ایران و توانایی تولید بیودیزل از آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۶: محصولات کشت‌شده در ایران و پتانسیل تولید بیودیزل از آن‌ها				
ردیف	نوع گیاه	میزان تولید (تن)	میزان کشت (هکتار)	توانایی تولید بیودیزل (تن)
۱	کلزا	356892	169162	142156
۲	ذرت	2361298	326925	236126
۳	گردو	241863	169621	148118
۴	سویا	118818	14993	34164
۵	گلرنگ	4551	4622	1458
۶	زیتون	61339	95244	12268
۷	کنجد	34368	42222	11184
۸	آفتابگردان	21221	23982	12612
۹	بادام	81322	52491	44126
	کل	3618542	1068831	721252

#### نتیجه‌گیری:

بیودیزل سوختی دوست دارد محیط‌زیست است که بسیاری از پارامترهای لازم به جهت انتخاب به‌عنوان بهترین جایگزین سوخت‌های فسیلی در موتورهای درون‌سوز دیزلی را دارا است. پارامترهای همچون در دسترس بودن، آلاینده‌گی کمتر، مصرف CO<sub>2</sub> تولیدی در جریان پرورش مجدد گیاه، با بررسی

های تولیدی از روغن‌های سویا، کلزا، آفتابگردان، سبوس برنج و ... در بازه (38\_45) قرار دارند و در مقایسه با دیزل که اندیسش ۵۱ است اختلاف کمی را نشان می‌دهد. پس می‌توان نتیجه گرفت بیودیزل‌ها کیفیت قابل قبولی از نظر کیفیت احتراق دارند.

۳-۶: Agarwal و همکارانش [42] با مطالعه اثر بیودیزل‌های مختلف با درجه خلوص (10, 20,30%) در یک موتور دیزل تک سیلندر درون‌سوز با دور موتور متوسط حدود (1500 rpm) و فشارهای مختلف تزریق متفاوت (300,500,700,100) نشان دادند که تمام ترکیبات در تمام فشارهای واردی شده به موتور. قدرت و فشار خروجی را نسبت به حالت خالص بهبود بخشیده‌اند. همچنین زمان موردنیاز برای وارد شدن سوخت بیودیزل در موتور به نسبت دیزل کمتر بوده و راندمان بهتری را نشان می‌دهد و زمان احتراق بهتری را نیز فراهم می‌کند.

۴-۶: Ozturk [34] گزارش داد بیودیزل B5 و B10 که مخلوطی از روغن‌زیتون و کلزا است موجب کاهش کوبش در موتورهای تک سیلندر دیزلی می‌شود و همچنین پارامترهای تأخیر حرارتی، سرعت آزادسازی حرارتی، میزان تزریق بیودیزل و مدت رانش سوخت را به کامل بهبود داده است و در نتیجه اثر دوپل کردن این بیودیزل خالص با مخلوط‌های بسیار قابل قبول بوده است.

۵-۶: Chong و همکارانش [43] در تحقیقاتی مهم فهمیدند که دوره احتراق سوخت بیودیزل نخل که طول زنجیر آن‌ها با (0.4 – 0.6 CAD) کوتاه‌تر شده بسیار بهینه‌تر از دیزل است. همچنین دوره‌های استرس موتور را کاهش می‌دهد.

۶-۶: در تحقیق دیگری نشان داده شد که بیودیزل B30, B20, B10 از مشتقات کل‌زا، پارامترهای تأخیر اشتعال و آزاد شدن گرما را به میزان ۶ تا ۱۰٪ بهبود می‌بخشد. همچنین فشار احتراق را در دور موتور (1400 rpm) حدود ۱٫۹ تا ۶٫۲٪ بهبود می‌بخشد میزان تأثیر آن در فشار (2200 rpm) حدود ۰٫۸ تا ۵٫۵٪ است. [36]

۷-۶: Ozesen و همکارانش [40] در تحقیقی دریافتن بیودیزل به دلیل محتوای اکسیژن بیشتر که دارد قدرت احتراق بیشتری را تولید می‌کند.

۸-۶: Muralidharan and Vasudevan [44] در تحقیقی بر روی بیودیزل تولیدشده به‌وسیله روغن‌زیتون خوراکی (پخت‌وپز) دریافتند که بیودیزل حاصل دارای فشار بالاتر و نرخ آزادسازی گرمای بهتر است؛ و اسپری شدن بهتری در موتور دارا است. به همین جهت موتور کارکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد؛ و فشار تولیدی از این بیودیزل حدود ۸٫۵٪ بهبود یافته است.

۹-۶: Sahoo و همکارانش [25] در تحقیقی یافتند که بیودیزل مخلوط شده با پلانگ متیل استر فشار بهتری را دارا هست و این خاصیت حدود ۸٫۵٪ نسبت به سوخت دیزل طبیعی بهتر است. خلاصه‌ای از کارهای انجام‌شده محققان در **جدول ۵** آمده است.

های که در مقاله روی کارهای محققان مختلف انجام دادیم ( به جهت بررسی میزان آلاینده‌گی ناشی از سوخت بیودیزل و رفتار کارکردی موتور

- 11 - Lin L, Cunshan Z, Vittayapadung S, et al. Opportunities and challenges for biodiesel fuel. *Appl Energy*
- 12 - Mofijur M, Masjuki HH, Kalam MA, et al. Effect of biodiesel from various feedstocks on combustion characteristics, engine durability and materials compatibility: a review. *Renew Sustain Energy*
- 13 - Atabani AE, Silitonga AS, Badruddin IA, et al. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:2070–93.
- 14 - Atabani AE, Silitonga AS, Ong HC, et al. Non-edible vegetable oils: a critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel *Jatropha* biodiesel oil and its blends. *Energy* 2012;37:616–22
- 15 - Mofijur M, Rasul MG, Hassan NMS, Masjuki HH, Kalam MA, Mahmudul HM. Assessment of physical, chemical and tribological properties of different biodiesel fuel... In: Rasul M, editor.
- 16 - Avinash A, Subramaniam D, Murugesan A. Biodiesel—A global scenario. *Renew Sustain Energy Rev*
- 17 - Habibullah M, Masjuki HH, Kalam MA, et al. Potential of biodiesel as a renewable energy source in Bangladesh. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;50:819–34.
- 18 - Atabani AE, Mahlia TMI, Anjum Badruddin I, et al. Investigation of physical and chemical properties of potential edible and non-edible feedstocks for biodiesel production, a comparative analysis.
- 19 - Mofijur M, Masjuki HH, Kalam MA, et al. Prospects of biodiesel from *Jatropha* in Malaysia. *Renew Sustain*
- 20 - Wan Ghazali WNM, Mamat R, Masjuki HH, Najafi G. Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;51:585–602.
- 21 - Demirbas A. Biodiesel production from vegetable oils via catalytic and noncatalytic supercritical methanol transesterification methods. *Prog Energy Combust Sci* 2005;31:466–87.
- 22 - Abbaszaadeh A, Ghobadian B, Omidkhan MR, Najafi G. Current biodiesel production technologies: a comparative review. *Energy Convers Manag* 2012;63:138–48.
- 23 - Habibullah M, Masjuki HH, Kalam MA, et al. Biodiesel production and performance evaluation of coconut, palm and their combined blend with diesel in a single-cylinder diesel engine. *Energy Convers Manag*
- 24 - Kalam MA, Masjuki HH, Jayed MH, Liaquat AM. Emission and performance characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil. *Energy* 2011;36:397–402
- 25 - Sahoo PK, Das LM. Combustion analysis of *Jatropha*, *Karanja* and *Polanga* based biodiesel as fuel
- 26 - Oliveira L, Da Silva M. Comparative study of calorific value of rapeseed, soybean, *Jatropha curcas* and *crambe* biodiesel. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'13)*
- 27 - Saluja RK, Kumar V, Sham R. Stability of biodiesel—A review. *Renew Sustain Energy Rev*

دیزل با سوخت بیودیزل) متوجه این موضوع شدیم که بیودیزل توانایی کاهش میزان آلاینده‌گی حاصل از کارکرد موتورهای دیزل را به‌طور متوسط تا ۲۰٪ در شرایط کارکرد تقریباً مساوی دارد. حال با توجه به شرایط فعلی ایران و میزان آلاینده‌گی که سیستم حمل‌ونقل دیزلی‌اش تولید می‌کند (16000 ton/year). بیودیزل‌ها به دلیل کمتر بودن انتشار آلاینده‌گی‌شان تا حدود ۲۰٪ گزینه‌ای بسیار بارز هستند. این مقوله وقتی ارزشمندتر می‌شود که تأثیر ۲۰ درصد در کل آلاینده‌گی تولید در ایران را بررسی کنیم که عددی شگفت‌انگیز (۳۱۰۰ تن در سال) آلاینده‌گی کمتر دست می‌یابیم و از طرفی باید در نظر بگیریم که ایران به‌خوبی توانایی تولید این سوخت را با توجه به اقلیم گسترده‌اش دارد چیزی حدود (721252) تن در سال. در ایران توانایی کشت محصولات هم چون کلزا، ذرت، گردو، بادام و ... وجود دارد. که می‌توان از آن‌ها به‌خوبی بیودیزل تولید کرد. این فرایند علاوه بر کاهش آلودگی و حفظ محیط‌زیست باعث می‌شود. از طرفی با مدیریت تولید می‌توان هم میزان مصرف خود را تأمین کنیم هم به تولید بیودیزل پردازیم با این کار می‌توان حد زیادی از دیزل تولیدی خود را صادر کنیم که از نظر اقتصادی به‌صرفه است.

در نهایت بررسی‌های به‌عمل آمده نشان داد استفاده از بیودیزل‌ها راه‌کار بسیار ارزشمندی برای بهبود مشکل آلاینده‌گی در ایران می‌باشد. و پیشنهاد می‌گردد در زمینه تولید بیودیزل در تحقیقات بیشتری انجام گیرد.

#### منابع:

- ۱ - برات قبادیان - بررسی عملکرد و آلاینده‌گی موتور دیزل با افزودن نانولوله‌های کربن به مخلوط سوخت دیزل و بیو دیزل - سومین کنفرانس مهندسی عمران - گرگان ۱۳۹۵
- ۲ - برات قبادیان - تأثیر زمان پاشش بر سوخت بیودیزل در موتور دیزل - نشریه ماشین‌های کشاورزی - ۱۳۹۶
- ۳ - بهمن نجفی - تعیین اندیس دیزل سوخت‌های بیودیزل تولیدشده از ترکیبات اتیل استر اسیدهای چرب - علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره هفدهم، شماره تابستان، ۹۴
- 4 - Meisam Tabatabaei - Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation - *Progress in Energy and Combustion Science* - 2017
- ۵ - علی‌اصغر خلیلی - بررسی عملکرد گازوییل نانو امولسیون در انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در مقایسه با سوخت پایه - مجله پژوهش نفت
- ۶ - مجتبی ساعی مقدم - به‌کارگیری دو افزودنی نیتروژن دار و پایه فلزی در سوخت دیزل برای بهبود خواص فیزیکی شیمیایی سوخت و کاهش نشر آلاینده‌ها - مجله پژوهش‌های نفت ۱۳۹۵
- 7 - Rahman MM, Rasul M, et al. Hassan NMS. Study on the Tribological Characteristics of Australian Native First Generation and Second Generation Biodiesel Fuel... *Energies* 2017:10–55.
- 8 - Silitonga AS, Atabani AE, Mahlia TMI, et al. A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel
- 9 - Advanced Biouels Study Strategic Directions for Australia. L.E.K. 2011.
- 10 - Jayed MH, Masjuki HH, Kalam MA, et al. Prospects of dedicated biodiesel engine vehicles in Malaysia and Indonesia. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:220–35.
- 28 - Van Gerpen J. Cetane number testing of biodiesel. In: *Proceedings of the third liquid fuels conference*;

2016;62:866–81

46 - Dhar A, Kevin R, Agarwal AK. Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DIC engine. *Fuel Process Technol*

47 - Qi DH, Geng LM, Chen H, et al. Combustion and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil. *Renew Energy* 2009;

48 - Sayin C, Gumus M, Canakci M. Effect of fuel injection pressure on the injection, combustion and performance characteristics of a DI diesel engine fueled with canola oil methyl esters-diesel fuel blend:

49 - Kivevele TT, Kristóf L, Bereczky Á, Mbarawa MM. Engine performance, exhaust emissions and combustion  
50 - Anonymous. *Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, Diesel Energy 51 - Lim, S. Teong, L.K. (2010), "Recent trends, opportunities and challenges of biodiesel in Malaysia: an overview", Renewable and Sustainable Energy Reviews*

۵۲ - پروتوکول استاندارد یورو

۵۳ - سایت آمار ایران

54 - Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines

55 - *International Energy Outlook 2040*; June 2013.

56 - Gorham R. An assessment of causes, strategies and tactics, and proposed actions for the international community. Division for Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs; 2002

57 - Mofijur M, Rasul MG, Hyde J, et al. Role of biofuel and their binary (diesel– biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction. *Renew Sustain*

58 - Nick Allen Green house gas reduction in transportation-an Energy industry perspective. *JSAE International Powertrain, Fuel and Lubes Meeting. Kyoto, Japan August 30-September 2; 2011.*

59 - *Malaysian Energy Statistics Handbook*; 2014

29 - Rao PV. Experimental investigations on the Influence of properties of *Jatropha* biodiesel on performance, combustion, and emission characteristics of a DI-CI engine. *World Acad Sci Eng Technol*

30 - Alptekin E, Canakci M. Characterization of the key fuel properties of methyl ester– diesel fuel blends. *Fuel*

31 - Atabani AE, Silitonga AS, Badruddin IA, et al. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:2070–93

32 - Chauhan BS, Kumar N, Cho HM. A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with

33 - Arbab MI, Masjuki HH, Varman M, et al. Fuel properties, engine performance and emission characteristic of common biodiesels as a renewable and sustainable source of fuel. *Renew Sustain Energy Rev*

34 - Atadashi IM, Aroua MK, Aziz AA. High quality biodiesel and its diesel engine application  
*Emission, Reduction (DEER)*. (2002)

35- Demirbas A. *Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines*. London:

36 - Labeckas G, Slavinskas S. Combustion phenomenon, performance and emissions of a diesel engine with aviation turbine JP-8 fuel and rapeseed biodiesel blends. *Energy Convers Manag* 2015;105:216

37 - Altaie MAH, Janius RB, Rashid U, et al. Performance and exhaust emission characteristics of direct-injection diesel engine fueled with enriched biodiesel. *Energy Convers Manag* 2015;106:365–72

38 - Rajaraman S, Yashwanth GK, Rajan T et al. Experimental investigations of performance and emission characteristics of *Moringa* oil methyl ester and its diesel

39 - Selvam DJP, Vadivel K. Performance and emission analysis of DI diesel engine fuelled with methyl esters of beef tallow and diesel blends. *Proc Eng* 2012;38:342

40 - Ozsezen AN, Canakci M, Turkcan A, Sayin C. Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. *Fuel* 2009;88:

41 - Sharon H, Karuppusamy K, Soban Kumar DR, Sundaresan A. A test on DI diesel engine fueled with methyl esters of used palm oil. *Renew Energy*

42 - Agarwal AK, Dhar A, Gupta JG, et al. Effect of fuel injection pressure and injection timing of *Karanja* biodiesel blends on fuel spray, engine performance, emissions and combustion characteristics.

43- Chong CT, Ng J-H, Ahmad S, Rajoo S. Oxygenated palm biodiesel: ignition, combustion and emissions quantification in a light-duty diesel engine. *Energy Convers Manag*

44 - Muralidharan K, Vasudevan D, Sheeba KN. Performance, emission and combustion characteristics of biodiesel fuelled variable compression ratio engine. *Energy*

45 - Puhan S, Jegan R, Balasubbramanian K, Nagarajan G. Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine. *Renew*