



## بررسی عملکرد و ارتعاش موتوری دیزلی با استفاده از نانو ذرات نقره اضافه شده به مخلوط سوخت دیزل و زیستدیزل

زهیر الدرویش<sup>۱</sup>، احمد تقی زاده علی سرایی<sup>۲\*</sup>، برات قبادیان<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، [zohair1980@gmail.com](mailto:zohair1980@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران، [ahmadtza@yahoo.com](mailto:ahmadtza@yahoo.com)

<sup>۳</sup> دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، [ghobadiab@modares.ac.ir](mailto:ghobadiab@modares.ac.ir)

\* نویسنده مسئول

### اطلاعات مقاله

### چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۴ اسفند ۱۳۹۵

پذیرش: ۲۱ آبان ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

زیستدیزل

نانو ذرات نقره

عملکرد موتور

ارتعاش

موتور دیزل

سوخت زیستدیزل متیل استری است که از روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی و یا روغن‌های پسماند پخت و پز با روش‌هایی مانند تبدیل استریفیکاسی تولید می‌شود. این سوخت در ترکیب با سوخت دیزل نفتی رفتارهای متفاوتی از خود بروز می‌دهد. در مواردی، می‌توان با افزودن نانو ذرات به مخلوط این سوخت‌ها خواص عملکردی و آلاینده‌گی آن را بهبود بخشید. در این تحقیق، از سوخت B20 در ترکیب با نانو ذرات نقره، برای بررسی عملکرد و ارتعاش آن در موتور تک استوانه‌ای استفاده شد و پس از پردازش، نتایج از لحاظ آماری نیز بررسی گردیدند. از نانو ذرات نقره با نسبت‌های ۵، ۲۰، ۳۵، ۵۰، ۶۵ و ۸۰ ppm در سوخت B20 استفاده شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل ارتعاش، گشتاور، توان، مصرف سوخت ویژه و دمای گازهای خروجی برای موتور تحت بار در سه سطح دور موتور ۲۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۳۵۰۰ د.د.د. بودند. نتایج نشان داد ارتعاش، گشتاور، توان و دمای گازهای خروجی موتور با استفاده از سوخت حاوی نانو ذرات اکسید نقره با غلظت Ag50 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.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

## ۱- مقدمه

افزایش اثرات زیانبار آلودگی هوای ناشی از سوختن سوخت‌های سنگواره‌ای باعث پدید آمدن اجبار در اجرای قوانین مبارزه با آلودگی هوا شده است. این امر باعث تشویق بسیاری از محققان برای بررسی راه‌های ممکن در استفاده از سوخت‌های جایگزین به جای نفت و مشتقات آن شده است. در بین سوخت‌های تجدیدپذیر، سوخت‌های به دست آمده از زیست توده<sup>۱</sup> مواد کشاورزی مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته‌اند؛ زیرا استفاده از این سوخت‌ها گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها را کاهش می‌دهند. از سوی دیگر کم شدن وابستگی به واردات سوخت و کاهش هزینه انرژی و جوابگویی برای بخشی از تقاضای انرژی نیز از دیگر خوبی‌های استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر اند [۳-۱].

زیست سوخت‌ها از مواد طبیعت مانند روغن‌های گیاهی، روغن‌های پسماند حاصل از غذاخوری‌ها، چربی‌های حیوانی و محصولات پسماند حاصل از گیاهان به دست می‌آیند و می‌توانند به صورت خالص یا مخلوط با سوخت‌های سنگواره‌ای در سامانه‌های حمل و نقل، گرمایش منازل، ساختمان‌ها و کارخانه‌ها و همچنین در فرآیندهای صنعتی به کار روند. در بین این سوخت‌ها، زیست‌دیزل که از روغن‌های مختلف گیاهی مانند سویا، آفتابگردان، ذرت، کلزا، پنبه‌دانه، نارگیل و غیره تولید می‌شود، به خاطر تولید آلاینده‌های کمتر در موتور مناسب به نظر می‌رسد [۶-۴].

زیست‌دیزل یکی از انواع سوخت‌های زیستی است و خواصی بسیار شبیه به سوخت دیزل دارد، با این تفاوت که حاوی مواد ناخوشایندی از قبیل گوگرد، ازت و آروماتیک‌های چند حلقه‌ای نیست. زیست‌دیزل به طور کلی از متیل استر یا اتیل استر تشکیل شده است و دارای چندین گروه الکیلی با زنجیرهای هیدروکربن C۱۵ تا C۱۷ است که به عنوان اسیدهای چرب شناخته می‌شوند. این سوخت می‌تواند بدون ایجاد تغییر، در موتورهای درون سوز به جای سوخت دیزل به کار رود [۷-۸].

تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از زیست‌دیزل باعث کاهش مقدار هیدروکربن‌های سوخته نشده، دی‌اکسیدکربن، منواکسیدکربن، اکسیدهای گوگرد و ذرات جامد منتشر شده از مجرای دود می‌شود. فقط مقدار کمی افزایش در اکسیدهای ازت به وجود می‌آید که می‌توان با تنظیم زمان بندی تزریق سوخت مقدار آن را کاهش داد [۱، ۹ و ۱۰]. از طرف دیگر، در طی سال‌های گذشته دانشمندان در زمینه فناوری و دانش نانو به موفقیت‌های مهمی دست یافته‌اند. نانو فناوری با ساختارهای ریز و مواد با اندازه بسیار کوچک در محدوده کمتر از ۱۰۰ نانومتر سروکار دارد.

تبدیل حالت میکروذرات به نانو ذرات می‌تواند به تغییراتی در خواص فیزیکی ماده منجر شود. افزایش نسبت سطح به حجم و انتقال ذرات به محدوده‌ای که اثرات بین ملکولی<sup>۲</sup> غالب است، دو عامل مهم در تغییر خواص اند [۱۱].

افزایش در نسبت سطح به حجم که به صورت تدریجی با کوچک شدن ذرات شدت می‌یابد، منجر به افزایش تسلط رفتار اتم‌های روی سطح ذره نسبت به اتم‌های درونی می‌شود. این عامل هم بر خواص ذره به تهایی و هم بر برهم کنش آن با دیگر مواد تأثیر می‌گذارد. در حال حاضر نانو ذرات از مواد بسیار مختلفی ساخته می‌شوند. اکثر نانو ذرات سفالی<sup>۳</sup>، فلزی و ترکیبی هستند. رایج‌ترین نانو ذرات، سفال‌ها هستند و اکثراً اکسید فلزاتی مانند تیتانیوم، روی، نقره، آلومینیوم و آهن اند [۱۲]. نانو ذرات نقره به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه‌ای که دارند، در عرصه‌های گوناگون پزشکی، صنعت، کشاورزی، دامپروری و بسته بندی، لوازم خانگی، آرایشی، بهداشتی و نظامی کاربردهای فراوانی پیدا کرده‌اند.

سطح گسترده و انرژی سطحی شدید سبب افزایش عملکرد واکنشگری نانو ذرات فلزی شده است. نانو ذرات نقره برای اکسید شدن ترکیبات آلی مانند اتیلن یا اکسید اتیلن و همچنین برای احیای ترکیبات ازت و غیره کاربرد دارند. فعالیت واکنشگری نانو ذرات نقره را می‌توان با توجه به اندازه ذره پایش کرد [۱۳].

تحقیقات وسیعی در مورد استفاده از نانو ذرات به عنوان افزودنی به سوخت انجام گرفته است. گانش و گوریشانکار<sup>۴</sup> اثر افزودنی نانو ذرات اکسید سریم به سوخت زیست‌دیزل را بر انتشار آلاینده‌های موتوری اشتعال تراکمی بررسی کردند. آزمون عملکرد، روی موتور تک استوانه و با استفاده از زیست‌دیزل به دست آمده از جاتروف<sup>۵</sup> و با اضافه کردن نانو ذرات اکسید سریم در اندازه ۱۰ تا ۲۰ نانومتر انجام شد. محدوده تجزیه و تحلیل ۸۰-۲۰ ذره در میلیون (د.د.م.) بود. نقطه اشتعال زیست‌دیزل و گرانیوی زیست‌دیزل با افزودن این نانو ذرات افزایش پیدا کرد. گرانیوی و لرزش پیوند مستقیم با مقدار مصرفی نانو ذرات دارند. همچنین آشکار شد بازده گرمایی ترمزی به طور کلی با مقدار نانو ذرات افزایش می‌یابد [۱۴]. فانگسوواناراک<sup>۶</sup> و همکاران بهبود خواص زیست‌دیزل از روغن نخل را با استفاده از افزودنی نانو TiO<sub>2</sub>، بر انتشار گازهای خروجی و عملکرد موتور بررسی کردند. گزارش شد که کیفیت سوخت به اندازه ۰.۱٪ اصلاح شد. گرانیوی و ارزش گرمایی، کاهش و عدد ستان و نقطه اشتعال سوخت افزایش یافت [۱۵].

پاوار و همکاران، نانو ذرات گرافن<sup>۷</sup> همراه با مخلوط دیزل و زیست‌دیزل را روی موتور تک استوانه دیزل بررسی کردند. نانو ذرات گرافن با

<sup>۶</sup> Compression ignition

<sup>۷</sup> Jatropha

<sup>۸</sup> Fangsuwannarak

<sup>۹</sup> Graphene

<sup>۱</sup> Biomass

<sup>۲</sup> Polycyclic aromatic hydrocarbons

<sup>۳</sup> Quantum

<sup>۴</sup> Ceramic

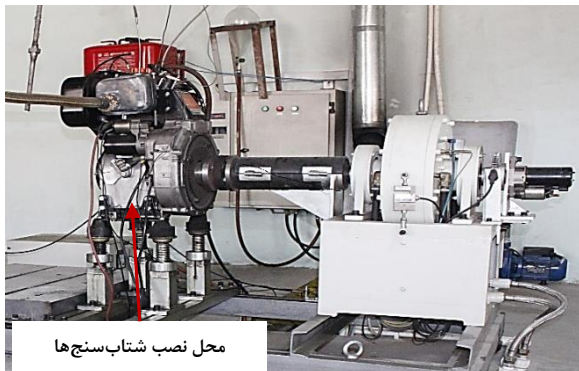
<sup>۵</sup> Ganesh and Gowrishankar

## ۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا، سوخت زیست‌دیزل از روغن پسماند و با استفاده از واکنش استری شدن<sup>۵</sup> تولید شد. سپس خصوصیات مهم آن با استاندارد ASTM-6751 مطابقت داده شد. پس از اطمینان از استاندارد بودن سوخت تولیدی، سوخت B20 (با استفاده از مخلوط ۲۰ درصد زیست‌دیزل و ۸۰ درصد دیزل) با ذرات اکسید نانو نقره که این ذرات دارای طول ۸ و قطر ۴ نانومتر و خلوص ۹۸ درصد اند، با نسبت‌های ۵، ۲۰، ۳۵، ۵۰، ۶۵ و ۸۰ د.د.م. ترکیب شد.

آزمایش در سه دور موتور ۲۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ د.د.م. تحت بار کامل و کلیه تیمارها در سه تکرار انجام گرفت. عملکرد و ارتعاش موتور مورد آزمایش با این مخلوط‌های سوخت، ارزیابی شد. پایش بار و دور به طور کاملاً دقیق و رقمی توسط لگام ترمز صورت گرفت. بعد از اضافه کردن نانو ذرات به سوخت، نمونه آزمایش، توسط دستگاه موج‌های فراصوتی (نوع UP400S، شرکت سازنده hielscher کشور آلمان) به هم زده شد، تا نانو ذرات به طور کامل و یکنواخت در سوخت حل و پخش شود.

۲-۱- مشخصات موتور تحت آزمایش و لگام ترمز  
موتور مورد نظر دیزلی ساخت کشور ایتالیا، Lombardini چهار زمانه و هوا خنک است. تعداد استوانه ۱، حجم استوانه ۵۳۰ سانتی‌متر مکعب، توان بیشینه ۱۲،۲ اسب بخار معادل ۹ کیلووات و بیشینه دور ۳۰۰۰ د.د.م. است. موتور در دمای محیط ۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار محیط ۸۷۸ میلی‌بار کار می‌کند. برای اعمال بار روی موتور و تعیین و اندازه‌گیری دور و گشتاور موتور، از لگام ترمز جریان گردابی با پایش از راه دور ساخت ایران با خطای بیشینه ۱ درصد استفاده شد (جدول ۱).



شکل ۱: میز آزمون و لگام ترمز موتور

## ۲-۲- مشخصات حسگرها

جدول ۱، مشخصات تمامی تجهیزات و حسگرها را نشان می‌دهد.

سوخت زیست‌دیزل در غلظت‌های ۵۰-۲۵ د.د.م. با همزن فراصوت مخلوط شدند. افزایش قابل توجهی در بازده گرمایی ترمزی و کاهش قابل توجه در مقدار آلاینده‌های مضر با اضافه کردن نانو ذرات گرافن ایجاد شد. مساحت بیشتر سطحی برای واکنش و هدایت گرمایی بزرگتر دلیل این امر ذکر گردید [۱۶].

سولرو<sup>۱</sup> با افزودن نانو ذرات اکسید آلومینیوم (آلومینا)<sup>۲</sup> به سوخت دیزل، مشخصه‌های پاشش، احتراق و رفتار شعله را بررسی کرد. وی در تحقیقات آزمایشگاهی خود نتیجه گرفت که نانو ذرات آلومینا، می‌تواند سازوکار اشتعالی سوخت را بهبود بخشد و سبب نفوذ بهتر سوخت تزریق شده به داخل هوای فشرده گردد. همچنین نانو ذرات آلومینا باعث می‌گردد که تبادل گرمایی بین فواره سوخت و گاز اطراف درون استوانه بهبود یابد. لذا باعث بوجود آمدن احتراق پایدار و افزایش بازده می‌شود [۱۷].

ساجیت<sup>۳</sup> و همکاران به طور تجربی تأثیر افزودن نانو ذرات اکسید سریم به سوخت زیست‌دیزل را بررسی کردند. آن‌ها در تحقیقات آزمایشگاهی خود، افزودن نانو ذرات اکسید سریم را روی عملکرد موتور، خصوصیات شیمیایی-فیزیکی سوخت و آلاینده‌های خروجی بررسی کردند. آن‌ها با مطالعه متغیرها، مقدارهای مختلف اکسید سریم (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ د.د.م.) را برای دستیابی به عملکرد بهینه موتور بررسی کردند. نتایج نشان داد نقطه اشتعال و گرانیوی زیست‌دیزل با افزودن نانو ذرات اکسید سریم افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر آلاینده‌های اکسیدهای ازت و هیدروکربنی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد [۱۸].

گورو<sup>۴</sup> و همکاران به طور تجربی تأثیر افزودن منیزیم، منگنز، کلسیم و مس به سوخت دیزل را روی مقادیر آلاینده‌ها، بازده و کیفیت اشتعالی سوخت بررسی کردند. مقادیر آلاینده‌های SO<sub>2</sub>، CO<sub>2</sub>، CO و عدد ستان سوخت در دو حالت دیزل خالص و دیزل با افزودنی‌های مذکور بررسی شدند. نتایج بیانگر کاهش ۱۴،۳ درصدی آلاینده CO و افزایش ۳،۴ درصدی عدد ستان سوخت در اثر افزودن منگنز به سوخت دیزل بود [۱۹].

نانو ذرات نقره، یکی از پرکاربردترین ذرات در حوزه فناوری نانو پس از نانو لوله‌های کربن است. هر روزه بر کاربرد آن جهان بویژه در ایران افزوده می‌شود. به همین دلیل در این تحقیق از آن استفاده شد. بررسی‌های انجام شده در منابع مختلف، اطلاعات علمی معتبری از تحقیقات انجام شده در کاربرد سوخت زیست‌دیزل با نانو ذرات نقره به صورت خالص و یا مخلوط با سوخت دیزل در موتور دیزل در دنیا و ایران، به دست نداد. لذا با توجه به نبودن اطلاعات علمی، بررسی تأثیر نانو ذرات نقره بر روی عملکرد و ارتعاشات موتور دانش فنی جدیدی است که در تحقیقات پیشین دیده نمی‌شود.

<sup>۱</sup> Gürü

<sup>۵</sup> Esterification

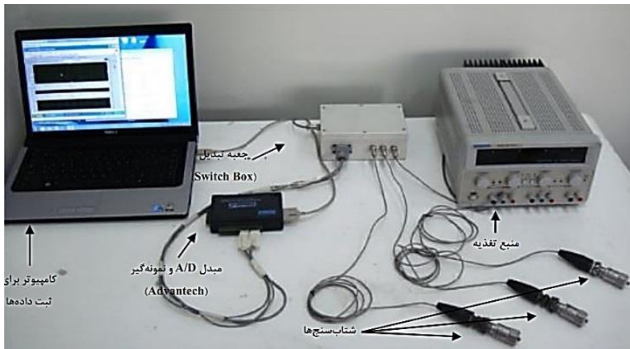
<sup>۶</sup> Eddy current

<sup>۱</sup> Solero

<sup>۲</sup> Alumina

<sup>۳</sup> Sajith

در جدول ۱ آمده است. به منظور شناسایی مبدل پیوسته به رقمی و تنظیمات مسیرها و بسامد نمونه‌گیری از نرم‌افزار لب-ویو استفاده شد. آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شد.



شکل ۲: سامانه اندازه‌گیری ارتعاش

#### ۲-۴- تحلیل‌ها

##### ۲-۴-۱- تحلیل داده

##### ۲-۴-۱-۱- تبدیل فوریه

هر تابع متناوب  $x(t)$  با دوره  $\tau$  می‌تواند در شکل سری‌های فوریه مختلط بیان شود [۴].

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_0 t} \quad (1)$$

که  $\omega_0$  بسامد پایه و به صورت  $\omega_0 = \frac{2\pi}{\tau}$  است.

$$c_n = \frac{1}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) e^{jn\omega_0 t} dt \quad (2)$$

معادله (۱) نشان می‌دهد که تابع  $x(t)$  با دوره  $\tau$  می‌تواند به صورت مجموع یک تعداد نامحدود متناوب بیان شوند. بنابراین دوره تناوب بزرگتر  $\tau$  انبوهی از طیف بسامدی می‌شود. متناوب دامنه‌هایی دارند که به وسیله معادله (۲) و بسامدهایی که ضرایبی از بسامد پایه  $\omega_0$  هستند، مشخص می‌شوند.

##### ۲-۴-۱-۲- ریشه مجموع مربعات (ر.م.م.) شتاب

برای داده‌های تصادفی و رقمی ر.م.م. به صورت معادله (۳) محاسبه می‌شود که  $a$  مقدار دامنه در زمان  $t_k$  است. برای محاسبه ر.م.م. از کل داده‌های ارتعاشی در حوزه زمان استفاده شد.

$$a_{RMS} = \left[ \sum_{k=1}^N a^2(t_k) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

##### ۲-۴-۲- توان موتور

مقدار توان موجود در چرخ‌لنگر موتور که توان ترمزی نیز نامیده می‌شود از معادله (۴) محاسبه می‌شود. در این معادله،  $P$  توان موتور در چرخ

#### جدول ۱: مشخصات تجهیزات استفاده شده برای آزمایش‌ها

لگام ترمز	جریان گردابی با پایش از راه دور، نوع MPA-40، ساخت ایران، با بیشینه دور ۸۰۰۰ د.د.د. و بیشینه گشتاور ۱۱۰ نیوتن‌متر.
شتاب سنج	AC102-1A، ساخت شرکت CTC، کاربرد استاندارد، وزن ۹۰ گرم، دامنه بسامدی ۱۵۰۰۰-۰٫۵ هرتز، حساسیت ۱۰۰ mV/g، بازه دمایی ۱۲۱ تا ۵۰- سانتی‌گراد، بسامد تشدید ۲۳۰۰۰ هرتز.
مبدل پیوسته به رقمی <sup>۱</sup>	Advantech USB-4711 ۱۶ راه ورودی (AI)، ۲ راه خروجی (AO)، ۸ راه ورودی رقمی (DI)، ۸ راه خروجی رقمی (DO).
سایر تجهیزات	- حسگر اندازه‌گیری دمای گازهای خروجی از نوع K با دامنه کاری از ۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد. - حسگر مصرف سوخت، نوع حجمی و OVAL - حسگر اندازه‌گیری رطوبت محیط، با دامنه کاری از ۳ تا ۹۹ درصد با دقت $\pm ۲٫۵$ درصد. - حسگر اندازه‌گیری فشار محیط، با دامنه کاری از ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ میلی‌بار. - حسگر اندازه‌گیری دمای محیط با دامنه کاری از ۱۰- تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، نوع PT100 - شتاب‌سنج مدل AC-101 ساخت شرکت CTC با دامنه اندازه‌گیری ۰٫۵ Hz تا ۱۵۰۰۰ هرتز.

#### ۲-۳- اندازه‌گیری ارتعاش

کل سامانه اندازه‌گیری ارتعاش در شکل ۲ نشان داده شده است. به منظور جمع‌آوری داده‌های ارتعاش بدنه موتور از سه عدد شتاب‌سنج استفاده شد (جدول ۱). شتاب‌سنج‌ها در یک نقطه در قسمت پایین بدنه موتور در سه جهت عمودی، جانبی و طولی نصب شدند. محل نصب طوری تعیین شد که تمامی ارتعاشات تولید شده ثبت گردد (نزدیک چرخ‌لنگر).

شایان ذکر است که، از یک سکوی عایق برای نصب موتور استفاده شد و به همین دلیل هر گونه نوفه منتقل شده از زمین حذف شد. بسامد نمونه‌گیری ۳۰ kHz انتخاب شد. دلیل انتخاب این بسامد نمونه‌گیری، جلوگیری از پدیده عدم شناسایی بسامد داده بر طبق قضیه نایکوئیست-شنون است که باعث می‌شود برخی از داده‌ها به خوبی ثبت نشوند. به همین دلیل بسامد نمونه‌گیری بیش از دو برابر بیشینه بسامد ارتعاش سامانه یا شتاب‌سنج انتخاب می‌شود. برای حذف نوفه، تبدیل ولتاژ پیوسته<sup>۲</sup> شتاب‌سنج به داده‌های رقمی قابل ثبت و تنظیم بسامد نمونه‌گیری از یک مبدل پیوسته به رقمی استفاده شد که مشخصات آن

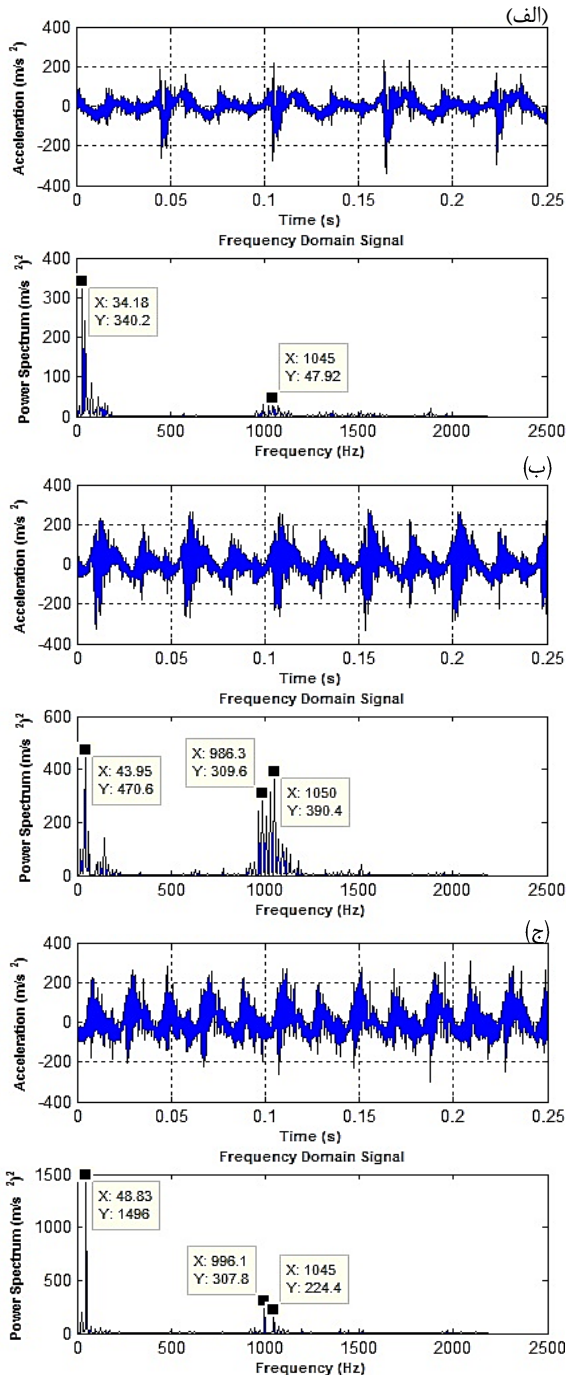
<sup>۱</sup> Root mean square (R.M.S)

<sup>۱</sup> Analog to digital (A to D)

<sup>۲</sup> Analog

### ۳-۱- تحلیل ارتعاشی

نمونه‌ای از داده‌های حوزه زمانی و بسامدی در دورهای موتور ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ د.د.د.، برای سوخت Ag80 در راستای محور عمودی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: تحلیل حوزه زمانی و بسامدی سوخت Ag80 در (الف) ۲۰۰۰، (ب) ۲۵۰۰ و (ج) ۳۰۰۰ د.د.د.

لنگر برحسب کیلووات،  $T$  گشتاور موجود در چرخ لنگر برحسب نیوتن متر و  $n$  دور موتور برحسب دور بر دقیقه است.

$$P = \frac{2\pi Tn}{60000} \quad (۴)$$

لگام ترمز مقدار گشتاور و دور موتور را اندازه‌گیری کرده و با استفاده از معادله (۴) توان موتور را ثبت می‌کند. تغییرات گشتاور برحسب دور تا قبل از دور نامی موتور بسیار کم است و اگر گشتاور ثابت فرض شود، معادله توان موتور به صورت  $P = dn$  در می‌آید که در آن  $d = \frac{T}{9554}$  عددی ثابت است.

### ۳-۴-۲- مصرف ویژه سوخت

مصرف سوخت ویژه عبارت است از جرم سوخت برحسب گرم که برای تولید یک کیلووات ساعت کار واقعی در موتور مصرف می‌شود و با SFC نمایش داده می‌شود. مقدار مصرف سوخت ویژه از معادله (۵) محاسبه می‌شود. در این معادله  $M$  برابر با آهنگ مصرف سوخت برحسب گرم بر ساعت و  $P$  توان تولیدی برحسب کیلووات است.

$$SFC = \frac{M}{P} \quad (۵)$$

### ۳-۴-۴- روش تحلیل نتایج

میانگین مقادیر RMS حاصل از شتاب بدنه موتور، در سه جهت طولی، عمودی و جانبی با استفاده از معادله (۳) محاسبه شد. به منظور بررسی و تحلیل آماری داده‌های آزمایش، از نرم افزار ساس<sup>۲</sup> و با روش اسپلت-پلت استفاده گردید. پس از اطمینان از معنی‌داری اثر اصلی دور و اثر اصلی مخلوط‌های سوخت در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، (ارتعاش موتور، گشتاور، توان، مصرف سوخت ویژه و دمای گازهای خروجی)، همچنین اثر متقابل (دور×مخلوط سوخت)، مقایسه میانگین ترکیب‌های تیماری (سوخت و دور) با روش دانکن و در سطح احتمال ۱ درصد بررسی شده و نتایج تحلیل شد. در پایان مقادیر افزایش یا کاهش ارتعاش، توان، گشتاور، مصرف سوخت ویژه و دمای گازهای خروجی نسبت به سوخت B20 به صورت درصد محاسبه گردید. پردازش داده ارتعاشات با استفاده از نرم افزار متلب<sup>۳</sup> در حوزه زمان و بسامد صورت گرفت.

### ۳- نتایج و بحث

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده برای هر آزمایش شامل ارتعاش موتور، گشتاور، توان، مصرف ویژه سوخت، و دمای گازهای خروجی اند که در ادامه تحلیل‌های مربوط به آن‌ها انجام خواهد شد.

<sup>۳</sup> MATLAB

<sup>۱</sup> Specific Fuel Consumption

<sup>۲</sup> SAS

جدول ۲: جدول تجزیه انحراف تغییرات جذر میانگین مربعات ارتعاش حوزه زمان برای دور موتور و مخلوط‌های سوخت مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F Value
دور موتور	۲	۲۴۱۹۱٫۳	۱۲۰۹۵٫۷	۲۶۶۴٫۵**
سوخت	۶	۵۹۶۶	۹۹٫۴	۲۱٫۹**
سوخت × دور موتور	۱۲	۷۷۵٫۵	۶۴٫۶	۱۴٫۲**
خطا	۲۸	۱۲۷٫۱	۴٫۵	

\*\* معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (دانکن)

جدول ۳: مقایسه میانگین ارتعاش موتور مخلوط سوخت

سوخت	RMS شتاب (m/s <sup>2</sup> )		
	۲۰۰۰ د.د.د.	۲۵۰۰ د.د.د.	۳۰۰۰ د.د.د.
B20	۴۹٫۱ <sup>D</sup>	۶۹٫۱ <sup>D</sup>	۹۰٫۳ <sup>C</sup>
Ag5	۵۰٫۲ <sup>D</sup>	۶۹٫۷ <sup>DC</sup>	۹۱٫۸ <sup>C</sup>
Ag20	۵۲٫۲ <sup>C</sup>	۷۱٫۱ <sup>CB</sup>	۹۸٫۱ <sup>B</sup>
Ag35	۵۶٫۷ <sup>B</sup>	۷۲٫۲ <sup>AB</sup>	۱۰۱٫۶ <sup>AB</sup>
Ag50	۵۷٫۷ <sup>AB</sup>	۷۳٫۱ <sup>A</sup>	۱۰۲٫۹ <sup>AB</sup>
Ag65	۵۸٫۳ <sup>A</sup>	۷۳٫۶ <sup>A</sup>	۱۰۶٫۴ <sup>A</sup>
Ag80	۵۸٫۶ <sup>A</sup>	۷۳٫۸ <sup>A</sup>	۱۰۷٫۷ <sup>A</sup>

حروف مشابه در هر ستون در یک سطح قرار دارند.

نانو ذرات نقره اضافه شده به سوخت B20 عدد ستان و ارزش گرمائی سوخت را افزایش می‌دهد و احتراق کامل‌تر و قویتری صورت می‌پذیرد که این عامل ممکن است ارتعاش موتور را افزایش دهد. در بین تمامی دورهای موتور، دور ۳۰۰۰ د.د.د. دارای بیشترین مقدار ارتعاش و دور ۲۰۰۰ د.د.د. دارای کمترین مقدار ارتعاش است.

با توجه به این موضوع و همچنین معادله (۴) می‌توان نتیجه گرفت که ارتعاش به هر دو عامل دور موتور و گشتاور بستگی دارد ( $T \times n$ ). با توجه به یکسان بودن شرایط موتور برای همه نمونه‌های سوخت، از قبیل تمیزی روغن، تمیزی صافی هوا، مقدار اصطکاک بین سنبه و استوانه و سالم بودن سازه آن، می‌توان نتیجه گرفت که ارتعاش موتور به دو عامل اصلی تعداد ضربه‌های انفجار سوخت در واحد زمان (برای همه سوخت‌ها ثابت است) و شدت ضربات انفجار (به نوع سوخت بستگی دارد) وابسته است [۴].

تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره در غلظت Ag50 بر درصد تغییرات ارتعاش موتور نسبت به B20 خالص، در جدول ۲ آمده است. به طور میانگین در تمامی دوره‌ها، ارتعاش موتور برای Ag50 نسبت به

در نمودارهای حوزه بسامد، مشاهده می‌شود که اوج بسامدهای ارتعاش (بیشترین مقادیر شتاب)، یک راست به دور موتور وابسته است (۳۴، ۱۸، ۴۳، ۹۵ و ۴۸، ۸۳ به ترتیب برای دورهای ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۳۰۰۰ د.د.د.) که ناشی از بسامد دور میل‌لنگ و تناوب احتراق است. با توجه به چهار زمانه بودن موتور تک استوانه مورد آزمایش، در هر دو دور میل‌لنگ، یک احتراق وجود دارد. طبق معادله (۶)، در نمودارهای حوزه بسامد، مقدار اوج ارتعاش، دقیقاً با دو برابر تعداد احتراق در یک ثانیه در استوانه موتور وابستگی مستقیم دارد:

$$f = \frac{SN}{60n} \text{ (Hz)} \quad (6)$$

که  $f$  بسامد اولین اوج بیشینه در نمودار حوزه بسامد،  $S$  تعداد استوانه‌های موتور،  $N$  دور موتور بر حسب د.د.د. و  $n$  برابر است با ۲ (برای دوزمانه) یا ۱ (برای چهار زمانه).

به طور نمونه، برای موتور چهار زمانه و تک استوانه‌ای در دور ۲۰۰۰ د.د.د. بسامد اوج ارتعاش برابر با ۳۳،۳۳ هرتز (بسامد احتراق ۱۶،۶۶ هرتز) است. برای موتور چهار زمانه و چهار استوانه در دور ۲۰۰۰ د.د.د. بسامد اوج ارتعاش باید برابر با ۱۳۳،۳۳ هرتز (بسامد احتراق ۶۶،۶۶ هرتز) باشد. دلیل ایجاد این اوج‌ها ضربات سنبه است.

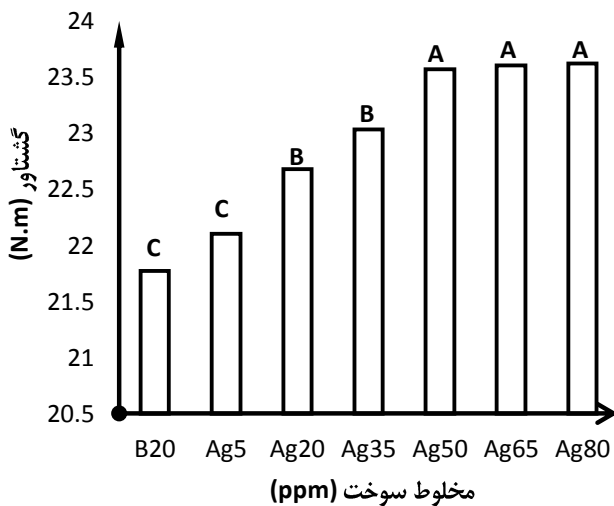
در نمودار شکل ۳-ب مشاهده می‌گردد که برای همه مخلوط‌های سوخت در دور موتور ۲۵۰۰ د.د.د. دامنه ارتعاش در نوار بسامدی ۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰ هرتز به مقدار زیادی نسبت به دورهای دیگر افزایش یافته است. علت این امر می‌تواند به تزریق بیشتر سوخت در این دور و بیشینه شدن توان برگردد. زیرا افزایش مقدار سوخت پاشیده شده، نوسان فشار حاصل از احتراق را در داخل استوانه افزایش می‌دهد. در نتیجه ارتعاش بدنه موتور افزایش می‌یابد و تا حدی کوبش ایجاد می‌گردد. در دورهای ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ د.د.د. این امر کمتر مشاهده شد ولی تا حدی این نوسان وجود دارد. ارتعاشات با بسامد بیش از ۱۰۰۰ هرتز، بیشتر برای نوسان فشار داخل استوانه است.

برای بررسی آماری، داده‌های ارتعاش با استفاده از برنامه ساس تجزیه و تحلیل شد و جدول انحراف مطابق جدول ۲، برای صفت مورد بحث (سه تکرار) تشکیل داده شده است. با توجه به جدول ۲، مشاهده گردید که اثر اصلی دور و اثر اصلی مخلوط سوخت در ارتعاش موتور معنی‌دار است و اثر متقابل بین مخلوط سوخت و دور موتور معنی‌دار شده است، لذا مقایسه میانگین برای مخلوط‌های سوخت و دور موتور به صورت اثرهای متقابل انجام گرفت.

جدول ۳ تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره اضافه شده به سوخت B20 را بر مقدار ارتعاش موتور نشان می‌دهد. در دورهای ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ د.د.د.، مخلوط سوخت‌های Ag80، Ag65، Ag50 بیشترین مقدار ارتعاش را دارند و B20 کمترین مقدار ارتعاش را دارد. در دور ۳۰۰۰ د.د.د.، مخلوط‌های سوخت Ag80 و Ag65 دارای بیشترین مقدار ارتعاش اند و در B20 کمترین مقدار ارتعاش ایجاد می‌شود.

گشتاور را ایجاد می‌کند که در سوخت B20 خالص به دلیل ارزش گرمایی ضعیف‌تر زیست‌دیزل، گشتاور موتور کاهش می‌یابد [۲۰]. هر قدر نسبت زیست‌دیزل در دیزل بیشتر شود، مقدار گشتاور خروجی کاهش پیدا می‌کند. همچنین، گشتاور خروجی با افزایش سهم نانو ذرات در مخلوط سوخت افزایش می‌یابد که نشان می‌دهد، انرژی تولید شده در استوانه بر اثر احتراق کامل‌تر و همزمان، بیشتر شده است و کیفیت احتراق بهبود می‌یابد. در نتیجه فشار متوسط حاصل از احتراق سوخت، بیشتر شده و این امر منجر به افزایش نیروی F در معادله (۴) خواهد بود که این علامت به نوع سوخت برمی‌گردد. با توجه به اینکه R (طول دسته میل‌لنگ) ثابت است، پس  $T = FR$  است.

تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره در غلظت Ag50 بر مبنای B20، بر درصد تغییر گشتاور نسبت به B20 خالص، در شکل ۴ نشان داده شده است (حروف نشان داده شده بالای هر میله در یک گروه قرار دارند و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با هم ندارند). افزودن نانو ذرات نقره در Ag50، گشتاور این سوخت را نسبت به B20، ۷٫۶ درصد افزایش می‌دهد.



شکل ۴: مقایسه میانگین گشتاور بر حسب سوخت

شکل ۵ نشان می‌دهد که برای میانگین همه مخلوط‌های سوخت در دور ۲۰۰۰ د.د.د، گشتاور بیشینه بود و با تند شدن دور موتور، مقدار گشتاور کاهش پیدا می‌کند. علت این امر، در اثر خوب پرنشیدن استوانه در مرحله مکش یا تنفس در دوره‌های تندتر است. اگر چه در پیچه‌های تنفسی در سرعت‌های خیلی تند به طور کامل باز باشند، پرنشیدن استوانه به خوبی صورت نمی‌گیرد، زیرا زمان کمتری برای این امر موجود است و در نتیجه فشار تراکم و بعدها فشار انفجار ضعیف‌تر می‌شود و نیروهای لختی قسمت‌های متحرک موتور قوی‌تر می‌شوند و گشتاور واقعی موتور کمتر می‌شود.

B20 خالص ۱۰٫۸ درصد افزایش پیدا کرده است. دلیل این امر احتمالاً به دلیل قوی شدن فشار داخل استوانه و افزایش نوسان فشار است. منشأ ارتعاش موتور احتراق، تغییرات فشار داخل استوانه و یا کوبش در موتور است. همبستگی بین ارتعاشات کل با راستای عمودی، جانبی و طولی به ترتیب ۰٫۹۴، ۱ و ۰٫۹۹ است. بیشترین همبستگی ارتعاشات کل با راستای جانبی وجود دارد (دارای بیشترین مقدار ارتعاش). این نشان می‌دهد که لختی قطعات، ضربات جانبی سنبه و سیلی سنبه عوامل اصلی ارتعاش موتور هستند. همبستگی بین دور و ارتعاشات موتور ۱ به دست آمد. این نشان می‌دهد که ارتعاشات موتور کاملاً از چرخش میل‌لنگ موتور و لختی قطعات تأثیر می‌پذیرد. همبستگی بین دور موتور و ارتعاش در راستای عمودی، جانبی و طولی به ترتیب ۰٫۹۳، ۰٫۹۹ و ۱ به دست آمد که نشان می‌دهد، ارتعاش در راستای عمودی کمترین وابستگی را به دور موتور دارد. ضریب همبستگی بین موتور با ارتعاش راستای عمودی، جانبی و طولی به ترتیب ۰٫۳۸، ۰٫۷۰ و ۰٫۷۳- به دست آمد. این نشان می‌دهد که ارتعاشات بیشتر وابسته به لختی قطعات است به این دلیل که ارتعاشات حاصل از ضربات احتراق سوخت در راستای عمودی است و انتظار می‌رود که بیشترین ارتعاش در این راستا ایجاد شود.

#### ۲-۳- تحلیل و بررسی گشتاور موتور

داده‌های به دست آمده با استفاده از برنامه‌ای نرم‌افزاری ساس تجزیه و تحلیل آماری شد و جدول تجزیه انحراف مطابق جدول (۴) برای گشتاور موتور تشکیل داده شد. با توجه به این جدول، مشاهده گردید که اثر اصلی دور و اثر اصلی مخلوط سوخت در گشتاور موتور معنی‌دار است و اثر متقابل بین مخلوط سوخت و دور موتور معنی‌دار نشده است.

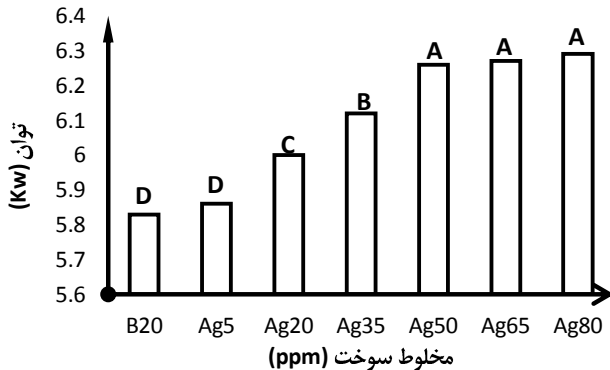
جدول ۴: تجزیه انحراف تغییرات گشتاور برای دور موتور و مخلوط سوخت

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع		F Value
		مربعات	میانگین مربعات	
دور موتور	۲	۲۱۵۷٫۶	۱۰۷۸٫۸	۶۱۶۶٫۲**
سوخت	۶	۳۰٫۹	۵٫۲	۳۹٫۵**
سوخت × دور موتور	۱۲	۱٫۳	۰٫۱	۰٫۶ <sup>ns</sup>
خطا	۲۸	۴٫۸	۰٫۲	

\*\*معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (دانکن)، <sup>ns</sup>عدم معنی‌دار بودن

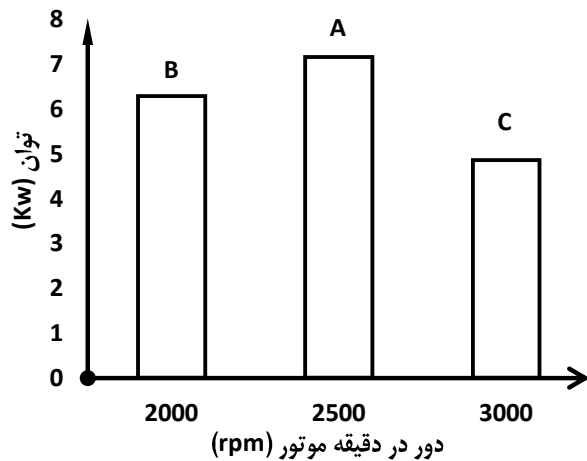
شکل ۴ تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره اضافه شده به B20 بر گشتاور موتور را نشان می‌دهد. مخلوط سوخت‌های Ag80، Ag65، Ag50 در تمامی دوره‌های آزمایش، بیشترین گشتاور و B20 کمترین

گشتاور غلظت‌های  $Ag_{50}$ ,  $Ag_{65}$ ,  $Ag_{80}$  و اینکه از نظر آماری در یک گروه قرار گرفته‌اند (سطح A) و با توجه به جنبه اقتصادی و گران بودن قیمت نانو ذرات،  $Ag_{50}$  دارای بهترین عملکرد توان است.



شکل ۶: نمودار مقایسه میانگین توان بر حسب سوخت

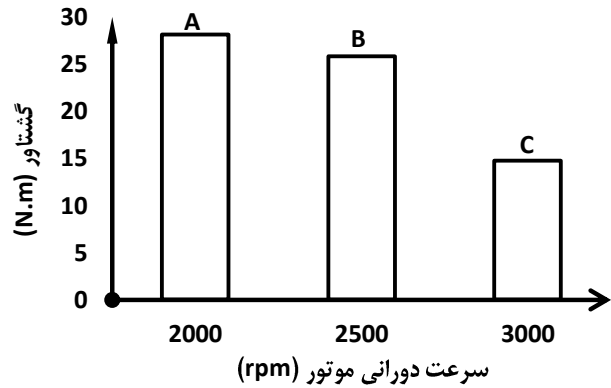
شکل ۷، نشان می‌دهد در دور ۲۵۰۰ د.د.د. برای تمامی مخلوط‌های سوخت، توان بیشینه است و با تندتر شدن دور موتور، مقدار توان ترمزی بشدت کاهش پیدا می‌کند. علت این امر در بند ۳-۳ توضیح داده شد. در دورهای کندتر از دور نامی موتور، با توجه به اینکه در آن دورها گشتاور تولیدی بیشتر از گشتاور حاصل در دور نامی است، اندکی کاهش در توان ترمزی ملاحظه می‌شود. معادله (۴) این گفته را به خوبی نشان می‌دهد. در دورهای تند، ممکن است احتراق سوخت بخوبی صورت نگیرد (دور نامی موتور ۳۰۰۰ د.د.د.) و نمی‌توان در مورد کیفیت سوخت اظهار نظر کرد. بهترین دور برای ارزیابی سوخت دور ۲۰۰۰ د.د.د. است.



شکل ۷: نمودار مقایسه میانگین توان بر حسب دور موتور

۳-۴- تحلیل و بررسی مصرف سوخت ویژه

جدول ۶ تجزیه انحراف را برای مصرف سوخت ویژه در تمامی سوخت‌ها و دورهای موتور نشان می‌دهد. مشاهده گردید که اثر اصلی دور و مخلوط سوخت بر مصرف سوخت ویژه موتور معنی‌دار است و همچنین اثر متقابل بین مخلوط سوخت و دور موتور معنی‌دار شده است.



شکل ۵: نمودار مقایسه میانگین گشتاور بر حسب دور موتور

۳-۳- تحلیل و بررسی توان موتور

داده‌های به دست آمده با استفاده از برنامه ساس تجزیه و تحلیل شده و جدول تجزیه انحراف مطابق جدول ۵، برای توان موتور تشکیل داده شده است. نتایج آماری در این قسمت مشابه گشتاور موتور است و مشاهده می‌گردد که اثر اصلی دور و مخلوط سوخت بر توان ترمزی موتور معنی‌دار است. در حالی که اثر متقابل بین مخلوط سوخت و دور موتور معنی‌دار نشده است.

جدول ۵: جدول تجزیه انحراف تغییرات توان برای دور موتور و

مخلوط سوخت			
منابع تغییر آزادی	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات
دور موتور	۲	۵۶،۵	۲۸،۲
سوخت	۶	۲،۱	۰،۳
سوخت × دور موتور	۱۲	۰،۱	۰،۰۰۶
خطا	۲۸	۰،۱	۰،۰۰۵

\*\*معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (دانکن)، ns عدم معنی‌دار بودن

توان ترمزی، دلالت بر توانی که به طور واقعی به وسیله موتور تحویل داده می‌شود به کار می‌رود. شکل ۶، تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره اضافه شده به B20 بر توان موتور را نشان می‌دهد. مخلوط‌های سوخت  $Ag_{80}$ ,  $Ag_{65}$ ,  $Ag_{50}$  در تمامی دورهای مورد آزمایش، بیشترین توان و B20 کمترین توان را در موتور دیزل ایجاد می‌کند. همچنین، توان ترمزی با افزایش سهم نانو ذرات نقره در مخلوط سوخت افزایش می‌یابد که نشان دهنده بهبود احتراق و تبدیل مؤثر انرژی سوخت به کار مفید است. علت این افزایش توان را می‌توان به انرژی تولید شده در استوانه در اثر افزایش نسبت سطح به حجم نانو ذرات افزایش ضریب انتقال حرارت در این سوخت‌ها نسبت داد [۱۱ و ۲۱]. افزودن نانو ذرات نقره در  $Ag_{50}$ ، توان ترمزی سوخت را نسبت به B20، ۶،۸ درصد افزایش داد. با توجه به اختلاف ناچیز بین مقادیر

در بین تمامی دورها و برای همه مخلوط‌های سوخت، دور ۲۵۰۰ د.د.د. دارای کمترین مصرف سوخت ویژه و دور ۳۰۰۰ د.د.د. از این لحاظ بیشترین است. برای سوخت Ag50 در تمام دورها، مصرف سوخت ویژه آن به طور میانگین ۶٫۷ درصد نسبت به B20 خالص کاهش پیدا کرده است.

### ۵-۳- تحلیل و بررسی دمای گازهای خروجی

جدول ۸ تجزیه انحراف برای صفت مورد بحث را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که اثر اصلی دور و مخلوط سوخت بر دمای گازهای خروجی موتور معنی‌دار است و اثر متقابل بین مخلوط سوخت و دور موتور معنی‌دار نشده است.

جدول ۸: تجزیه انحراف تغییرات دمای گازهای خروجی برای دور

موتور و مخلوط سوخت				
F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
**۱۰۱۵٫۵	۱۵۹۲۴۲٫۲	۳۱۸۴۸۴٫۸	۲	دور موتور
**۳۴٫۷	۵۴۴۳٫۶	۳۲۶۶۱٫۵	۶	سوخت
ns ۱٫۸	۲۸۴٫۷	۳۴۱۶٫۴	۱۲	سوخت×دور موتور
	۱۵۶٫۸	۴۳۹۰٫۵	۲۸	خطا

\*\*معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (دانکن)، ns عدم معنی‌دار بودن

شکل ۸ تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره اضافه شده به سوخت B20 را بر دمای گازهای خروجی نشان می‌دهد. مخلوط‌های سوخت Ag80, Ag65, Ag50 در تمامی دورهای مورد آزمایش، داغ‌ترین و B20 سردترین دمای گازهای خروجی را دارند. همچنین دمای گازهای خروجی با افزایش سهم نانو ذرات نقره در مخلوط سوخت افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند همانند دلایل گفته شده برای افزایش گشتاور موتور باشد. افزودن نانو ذرات نقره در Ag50، دمای گازهای خروجی را نسبت به سوخت B20، ۸٫۳ درصد افزایش داده است.

شکل ۹ نشان می‌دهد در همه مخلوط‌های سوخت در دور ۲۵۰۰ د.د.د.، دمای گازهای خروجی بیشینه بود و در دور ۳۰۰۰ د.د.د.، مقدار دمای گازهای خروجی بشدت سرد شده است. در دورهای کندتر هوا فرصت کافی برای ورود به استوانه را دارد و احتراق کامل‌تر است. به همین دلیل توان ترمزی و دمای گازهای خروجی همبستگی زیادی با هم دارند. در کل داغ‌ترین گازهای خروجی در تندترین آهنگ مصرف سوخت (۲۵۰۰ د.د.د.) و سردترین گازهای خروجی در کندترین آهنگ مصرف سوخت (۳۰۰۰ د.د.د.) ملاحظه شد.

جدول ۶: تجزیه انحراف تغییرات مصرف سوخت ویژه برای دور

موتور و مخلوط سوخت				
F Value	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
**۱۱۹۷٫۸	۶۵۷۶۰٫۶	۱۳۱۵۲۱٫۳	۲	دور موتور
**۳۹٫۳	۲۱۵۴٫۸	۱۲۹۲۸٫۵	۶	سوخت
**۲۰٫۶	۱۱۳۰٫۸	۱۳۵۶۹٫۱	۱۲	سوخت×دور موتور
	۵۴٫۹	۱۵۳۷٫۲	۲۸	خطا

\*\*معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد (دانکن)

جدول ۷ تأثیر افزایش سهم نانو ذرات اکسید نقره اضافه شده به B20 را بر مقدار مصرف سوخت ویژه موتور نشان می‌دهد. در دور ۲۰۰۰ د.د.د.، مخلوط‌های سوخت Ag80, Ag65, Ag50, Ag35 دارای کمترین مقدار مصرف سوخت ویژه و B20 دارای بیشترین مقدار مصرف سوخت ویژه است. در دور ۲۵۰۰ د.د.د.، مخلوط سوخت‌های Ag80, Ag65, Ag50 دارای کمترین و B20 دارای بیشترین مقدار مصرف سوخت ویژه است و در دور ۳۰۰۰ د.د.د.، مخلوط سوخت‌های Ag80, Ag65 کمترین مقدار مصرف سوخت ویژه را دارد. علت این امر در کمتر بودن ارزش گرمایی زیست‌دیزل است و برای تولید توان یکسان مقدار سوخت بیشتری مصرف می‌شود. افزایش سهم زیست‌دیزل، از طرفی باعث افزایش چگالی سوخت می‌شود و از طرف دیگر موجب کاهش ارزش گرمایی مخلوط سوخت دیزل و زیست‌دیزل می‌شود. افزایش چگالی سوخت موجب افزایش جرم مصرفی سوخت می‌گردد.

جدول ۷: جدول مقایسه میانگین مصرف ویژه سوخت، نانو نقره

مصرف ویژه سوخت	مصرف ویژه سوخت		
	سوخت	۲۰۰۰ د.د.د.	۲۵۰۰ د.د.د.
B20	۲۸۷٫۳ <sup>A</sup>	۲۸۰٫۱ <sup>A</sup>	۴۰۲٫۱ <sup>A</sup>
Ag5	۲۸۰٫۵ <sup>A</sup>	۲۷۳٫۱ <sup>B</sup>	۴۰۲٫۲ <sup>A</sup>
Ag20	۲۸۰٫۹ <sup>A</sup>	۲۷۳٫۲ <sup>B</sup>	۳۸۶٫۷ <sup>AB</sup>
Ag35	۲۶۴٫۳ <sup>B</sup>	۲۸۵٫۱ <sup>D</sup>	۳۸۴٫۵ <sup>AB</sup>
Ag50	۲۷۲٫۴ <sup>B</sup>	۲۶۵٫۴ <sup>C</sup>	۳۶۷٫۱ <sup>B</sup>
Ag65	۲۷۱٫۱ <sup>B</sup>	۲۶۵٫۱ <sup>C</sup>	۳۲۶٫۷ <sup>C</sup>
Ag80	۲۷۱٫۸ <sup>B</sup>	۲۶۵٫۱ <sup>C</sup>	۳۱۰٫۱ <sup>C</sup>

حروف مشابه در هر ستون در یک سطح قرار دارند.

در این تحقیق، مقدار نانو ذرات نقره مورد نیاز برای تولید Ag50، ۵۰ د.د.م. است. به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم سوخت، ۵ گرم نانو ذرات نقره مورد نیاز است که با توجه به چگالی سوخت B20 (در این تحقیق ۰.۸۶۶ گرم بر سانتی متر مکعب)، می توان نتیجه گرفت که برای این مقدار نانو ذرات، ۱۱۵.۴ لیتر مخلوط سوخت مورد نیاز است. پس برای ۱۰۰ لیتر مخلوط سوخت B20، ۴.۳۳ گرم نانو نقره برای رسیدن به غلظت ۵۰ د.د.م. استفاده می شود.

نانو ذرات نقره به صورت انبوه در ایران در حال تولید است و قیمت تقریبی هر گرم ۱۰ هزار تومان است. به نظر می رسد استفاده از این نوع نانو ذرات در سوخت دیزل، زیست دیزل و مخلوط آن ها، مقرون به صرفه است.

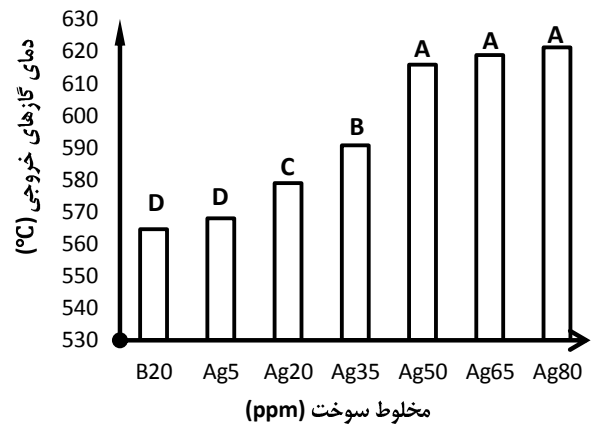
#### ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از سوخت زیست دیزل و نانو ذرات نقره به عنوان افزودنی به سوخت دیزل برای ارزیابی عملکرد یک موتور تک استوانه ای استفاده شد. نتیجه گیری شد نانو ذرات نقره اضافه شده به سوخت B20، قدرت اشتعال سوخت را تقویت می کند. در نتیجه بهبود احتراق، افزایش توان و کاهش مصرف سوخت ویژه مشاهده شد.

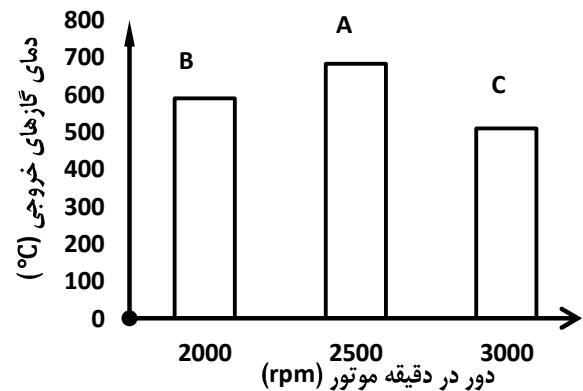
نتایج نشان داد که استفاده از سوخت حاوی نانو ذرات اکسید نقره با غلظت ۵۰ د.د.م. (Ag50)، ارتعاش، گشتاور، توان و دمای گازهای خروجی موتور را به ترتیب ۱۰.۸، ۶.۸، ۶.۸ و ۸.۳ درصد نسبت به سوخت B20 افزایش داده و مصرف سوخت ویژه نیز ۶.۷ درصد کاهش داشته است. همچنین، نتایج نشان داد که عملکرد نانو ذرات Ag50، Ag65 و Ag80 در یک سطح قرار داشتند، اما به دلیل صرفه اقتصادی نانو ذرات Ag50، این ذره به عنوان افزودنی به سوخت بیودیزل پیشنهاد می شود.

#### مراجع

- [1] S. Lahane, K.A. Subramanian, 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, 2015.
- [2] G. Tüccar, E. Tosun, T. Özgür, K. Aydın, Diesel engine emissions and performance from blends of citrus sinensis biodiesel and diesel fuel, Fuel. Vol. 132, pp. 7-11, 2014.
- [3] K. Cheikh, A. Sary, L. Khaled, L. Abdelkrim, T. Mohand, Experimental assessment of performance and emissions maps for biodiesel fueled compression ignition engine, Appl. Energy. Vol. 161, pp. 320-329, 2016.
- [4] A. Taghizadeh-Alisaraei, B. Ghobadian, T. Tavakoli-Hashjin, S.S.S.S. Mohtasebi, Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends, Fuel. Vol. 102, pp. 414-422,



شکل ۸: نمودار مقایسه میانگین دمای گازهای خروجی بر حسب سوخت



شکل ۹: نمودار مقایسه میانگین دمای گازهای خروجی بر حسب دور موتور

#### ۳-۶- مقایسه نتایج و انتخاب سوخت بهینه

در این تحقیق سوخت Ag50 به دلایل ذکر شده به عنوان تیمار بهینه انتخاب شد. جدول ۹ به طور خلاصه مقایسه ویژگی های سوخت Ag50 را با سوخت شاهد B20 نشان می دهد.

جدول ۹: درصد تغییرات ویژگی های مختلف سوخت Ag50 نسبت به

سوخت B20		سوخت Ag50		تغییرات (%)
مصرف سوخت	ویژگی سوخت	مصرف سوخت	ویژگی سوخت	
گشتاور	ارتعاش	توان	گازهای خروجی	
↑۶.۸	↑۱۰.۸	↑۶.۸	↑۸.۳	
		↓۶.۷		

تحقیقات دیگر محققان ثابت کرده است که انتشار آلاینده ها در مخلوط سوخت حاوی نانو ذرات و زیست دیزل کاهش می یابد که این امر به علت وجود اکسیژن کافی در زیست دیزل و نقش نانو ذرات در بهبود احتراق است.

- CI engine, in: *Electr. Control Eng., IEEE*, pp. 3453 – 3459, 2011.
- [15] K. Fangsuwannarak, K. Triratanasirichai, N. Ratchasima, Improvements of Palm Biodiesel Properties by Using Nano-Tio 2 Additive, Exhaust Emission and Engine Performance, *Rom. Rev. Precis. Mech. Opt. Mechatronics*. Vol. 43, pp. 111–118, 2013.
- [16] V.A. Bhagwat, C. Pawar, N.R. Banapurmath, Graphene Nanoparticle - Biodiesel Blended Diesel Engine, *Int. J. Eng. Res. Technol.* Vol. 4, pp. 75–78, 2015.
- [17] G. Solero, Experimental Analysis of the Influence of Inert Nano-additives upon Combustion of Diesel Sprays, *Nanosci. Nanotechnol.* Vol. 2, pp. 129–133, 2012.
- [18] V. Sajith, C.B. Sobhan, G.P. Peterson, Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel, *Adv. Mech. Eng.* Vol. 47, pp. 1–6, 2010.
- [19] M. Gürü, U. Karakaya, D. Altıparmak, A. Alıcılar, Improvement of Diesel fuel properties by using additives, *Energy Convers. Manag.* Vol. 43, pp. 1021–1025, 2002.
- [20] N. Nabi, S. Akhter, M.Z. Shahadat, Improvement of engine emissions with conventional diesel fuel and diesel – biodiesel blends, *Bioresour. Technol.* Vol. 97, pp. 372–378, 2006.
- [21] O.M.I. Nwafor, G. Rice, A.I. Ogbonna, Effect of advanced injection timing on the performance of rapeseed oil in diesel engines, *Renew. Energy*. Vol. 21, pp. 433–444, 2000.
- 2012.
- [5] A.A. Mayvan, B. Ghobadian, G. Najafi, Current Biodiesel Production Technologies: a Comparative Review, *Most*. Vol. 63, pp. 4–7, 2011.
- [6] A. Murugesan, C. Umarani, R. Subramanian, N. Nedunchezian, Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines — A review, 2008.
- [7] S.W. Lee, T. Herage, B. Young, Emission reduction potential from the combustion of soy methyl ester fuel blended with petroleum distillate fuel, *Fuel*. Vol. 83, pp. 1607–1613, 2004.
- [8] J.M. Dias, M.C.M. Alvim-ferraz, M.F. Almeida, Bioresource Technology Production of biodiesel from acid waste lard, *Bioresour. Technol.* Vol. 100, pp. 6355–6361, 2009.
- [9] J. Xue, T.E. Grift, A.C. Hansen, Effect of biodiesel on engine performances and emissions, *Renew. Sustain. Energy Rev.* Vol. 15, pp. 1098–1116, 2011.
- [10] S. Pehan, M. Svoljšak, M. Kegl, B. Kegl, Biodiesel influence on tribology characteristics of a diesel engine, *Fuel*. Vol. 88, pp. 970–979, 2009.
- [11] N. Ichinose, Y. Ozaki, S. Kashii, *Superfine Particle Technology*, Springer-Verlag, 1992.
- [12] C. Burda, X. Chen, R. Narayanan, M.A. El-Sayed, Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes, *Chem. Rev.* Vol. 105, pp. 1025–1102 2005.
- [13] J. Nam, C.S. Thaxton, C.A. Mirkin, Nanoparticle-Based Bio-Bar Codes for the Ultrasensitive Detection of Proteins, *Science (80)*. Vol. 301, pp. 1884–1886, 2003.
- [14] D. Ganesh, G. Gowrishankar, Effect of nano-fuel additive on emission reduction in a biodiesel fuelled



## Evaluation of Performance and Vibration of a Diesel Engine Using Ag Nanoparticles Added to Diesel and Biodiesel Fuel Blends

Z. Aldarvish<sup>1</sup>, A. Taghizadeh-Alisarai<sup>2\*</sup>, B. Ghobadian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran, [zoheir1980@gmail.com](mailto:zoheir1980@gmail.com)

<sup>2</sup> Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran, [ahmadtza@yahoo.com](mailto:ahmadtza@yahoo.com)

<sup>3</sup> Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran, [ghobadian@modares.ac.ir](mailto:ghobadian@modares.ac.ir)

\*Corresponding Author

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 22 February 2017

Accepted: 12 November 2017

#### Keywords:

Biodiesel

Ag Nanoparticles

Engine Performance

Vibration

Diesel Engine

### ABSTRACT

Biodiesel fuel is a methyl ester that is usually produced from plant oils, animal fats or waste cooking oils by transesterification methods. This fuel can blend with crude diesel and shows different behavior. In some cases, these fuels can be mixed with nanoparticles to improve its performance and emission. In this study, the B20 fuel mixed with Ag nanoparticles were used to evaluate the performance and vibration of a single-cylinder engine, and after the post-processing, the results were analyzed statistically. Ag nanoparticles with ratios of 5, 20, 35, 50, 65 and 80 ppm mixed with B20 fuel were used. The measured characteristics were vibration, torque, power, specific fuel consumption and exhaust temperature for under load engine at three levels speeds of 2500, 2000 and 3000 rpm. The results showed that the vibration, torque, power and temperature exhaust were increased by 10.8, 6.8, 6.8, and 8.3%, respectively, using Ag nanoparticles (Ag50) compared to B20. However, the specific fuel consumption was reduced 6.7% for this fuel.

