

افزایش توان و بهبود عملکرد شناور های دریایی با بهره گیری از نانو ذرات

در سوخت موتور های دیزل دریایی

عباس زارع نژاد اشکذری^۱، احسان عابدینی^۲، مصطفی زارع نژاد اشکذری^۳، محسن زارع نژاد اشکذری^۳

^۱ دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک و عضو هیات علمی، دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره) نوشهر

^۲ استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان

^۳ افسر دوم عرشه، کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران

چکیده

امروزه قدرت لازم برای به حرکت در آوردن کشتی ها عمدتاً بوسیله موتور های دیزلی تامین می گردد. از طرفی موتورهای دیزلی دریایی، به جهت کاربری های مختلف آن در صنایع دریایی از قبیل کشتی های تجاری، نفت کش ها، ناو ها، زیردریایی ها و غیره، مورد توجه سازندگان می باشند. همچنین این موتور ها به دلیل مصرف سوخت کمتر، توان، راندمان و دوام بیشتر نسبت به انواع موتورهای دیگر به عنوان منبع تولید قدرت، حائز اهمیت بوده اند. امروزه با سخت تر شدن استانداردهای دریایی و همچنین بحران انرژی موجود در جهان و بالطبع افزایش قیمت های سوخت مصرفی، ضروری است تا بتوان گام اساسی در بهینه کردن فرآیندهای احتراق به منظور بهبود عملکرد و توان که نگرش اصلی در طراحی این موتور ها خصوصاً در جنگ ها و عملیات های نظامی می باشد، برداشت. یکی از فناوری های نوین در جهت نیل به این اهداف، استفاده از سوخت های جایگزین و نیز افزودنی های مناسب نظیر نانو ذرات جامد به سوخت دیزل می باشد. در این مقاله به صورت تئوری، تاثیر افزودن نانو ذرات جامد آلومنیوم به سوخت دیزل، بر روی توان ترمزی و دیگر پارامترهای عملکردی موتور دیزل دریایی MAN B&W L16/24 در بار کامل و دور 1200 rpm بررسی شده است. نتایج نشان می دهد که افزودن نانو ذرات به سوخت، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تاخیر در اشتعال را کاهش می دهد. همچنین نانو ذرات، مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و سبب نفوذ بهتر جت سوخت به داخل هوای فشرده می گردد که باعث بوجود آمدن احتراق کامل تر و افزایش توان و راندمان احتراقی می گردد.

واژه های کلیدی: موتور دیزل دریایی، نانو ذرات، راندمان احتراقی

۱- مقدمه

موتورهای دیزلی دریایی، به جهت کاربری های گسترده آن در صنایع دریایی از قبیل کشتی های تجاری، نفت کش ها، ناو ها، زیردریایی ها و غیره، مورد توجه سازندگان می باشند. همچنین این موتور ها به دلیل مصرف سوخت کمتر، توان، راندمان و دوام بیشتر نسبت به انواع موتورهای دیگر به عنوان منبع تولید قدرت، مورد استفاده قرار می گیرند. امروزه در پی تکامل فناوری کشتی سازی و همچنین بحران انرژی موجود در جهان و بالطبع افزایش قیمت های سوخت مصرفی، ضروری است تا بتوان گام اساسی در بهینه کردن فرآیندهای احتراق برای کاهش مصرف سوخت، بهبود عملکرد و افزایش توان موتور برداشت. یکی از استراتژی های نوین در جهت نیل به این اهداف، استفاده از سوخت های جایگزین و نیز افزودنی های مناسب نظیر نانو ذرات جامد به سوخت دیزل می باشد. نانوذرات از ده ها یا صدها اتم یا مولکول و با اندازه ها و مورفولوژی های مختلف (آمورف، کریستالی، کروی شکل، سوزنی شکل و غیره) ساخته شده اند. اغلب نانوذرات که به طور تجاری مورد استفاده قرار می گیرند، به شکل پودر خشک می باشند. البته نانوذرات ترکیب شده در یک محلول که به شکل سوسپانسیون یا خمیری شکل است نیز مورد توجه می باشد. این ذرات در شکل ها و مورفولوژی های گوناگونی یافت می شوند. ساختارهایی از کروی گرفته تا فلسی، ورقه ای، شاخه ای، لوله ای و میله ای را دارند. نانو افزودنی های سوخت دیزل بطور اساسی بر صرفه جویی سوخت و بازده موتور تاثیر دارند. همچنین این نانو افزودنی ها سبب افزایش عمر موتور، کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری، کاهش سر و صدای موتور و نیز کاهش آلاینده های خروجی می گردند. به همین منظور تحقیقات بسیاری در این زمینه صورت گرفته است.

ماکسول [۱] از اولین کسانی بود که در سال ۱۸۸۱ با افزودن ذرات جامد کروی به سیالات، ترکیبی بسیار رقیق و با صرف نظر از بر هم کنش ذرات با یکدیگر را بررسی کرد. نکته ای که باید مورد توجه قرار داد این است که معادله ای که ماکسول برای ضریب هدایت حرارتی سیال بدست آورد، فقط یک تخمین اولیه است و برای مخلوط هایی با غلظت حجمی کم ذرات کاربرد دارد.

گورو و همکاران [۲] در سال ۲۰۰۲ بطور تجربی تاثیر افزودن منیزیم، منگنز، کلسیم و مس به سوخت دیزل را، بر روی مقادیر آلاینده گی، بازده و کیفیت اشتعالی سوخت مورد، بررسی قرار دادند. آن ها در این بررسی مقادیر آلاینده های CO، CO₂، SO₂ و عدد ستان سوخت را در دو حالت دیزل خالص و دیزل با افزودنی های مذکور را بررسی کردند. نتایج حاصله بیانگر کاهش ۱۴/۳ درصدی آلاینده CO و افزایش ۴/۳ درصدی عدد ستان سوخت در اثر افزودن منگنز به سوخت دیزل می باشد.

تایگی و همکاران [۳] در سال ۲۰۰۸ با افزودن نانوذرات آلومنیوم و اکسید آلومنیوم به سوخت دیزل، انتقال حرارت به سوخت و احتمال اشتعال پذیری را مورد بررسی قرار دادند. آنها در این بررسی ذرات در ابعاد 10nm و 50nm و همچنین درصد های مختلف کسر حجمی (0.0%، 0.1% و

0.5%) را به سوخت دیزل اضافه کردند. آزمایشات انجام شده، نشان داد که انتقال حرارت به سوخت و احتمال اشتعال آن با افزودن نانو ذرات، افزایش می‌یابد.

آرول مزحی و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۹ بطور تجربی، اثر افزودن نانو ذرات اکسید سریم به دیزل خالص و مخلوط دیزل-بایو دیزل-اتانول را بر روی عملکرد و آلایندگی یک موتور دیزل بررسی کردند. اندازه ذرات اکسید سریم استفاده شده 32nm و موتور دیزل مورد استفاده، تک سیلندر چهار زمانه نسبت تراکم متغیر بود. آنها در این بررسی نتیجه گرفتند که بیشینه فشار داخل سیلندر با افزودن اکسید سریم و اتانول به سوخت دیزل، افزایش می‌یابد و همچنین اکسید سریم باعث می‌گردد که زمان تاخیر در اشتعال کاهش یابد. از نظر آلاینده‌های خروجی نیز افزودن اکسید سریم به مخلوط دیزل-بایو دیزل-اتانول باعث کاهش منوکسید کربن، دوده، و هیدرو کربن نسوخته در مقایسه با دیزل خالص می‌گردد.

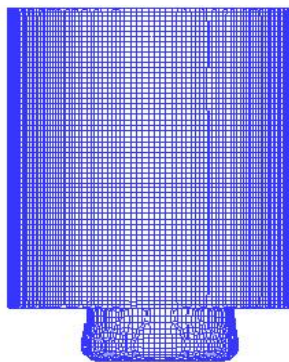
ساجیش و همکاران [۵]، در سال ۲۰۱۱ بطور تجربی تاثیر افزودن نانو ذرات اکسید سریم به سوخت بایو دیزل را بررسی کردند. آن‌ها در تحقیقات آزمایشگاهی خود، افزایش نانو ذرات اکسید سریم را بر روی عملکرد موتور، خصوصیات شیمیایی-فیزیکی سوخت و آلاینده‌های خروجی بررسی کردند. آن‌ها همچنین با اعمال مقادیر مختلف نانو ذرات اکسید سریم، مقدار بهینه ای برای آن انتخاب کردند. در واقع، آن‌ها بصورت مطالعه پارامتریک، مقادیر مختلف اکسید سریم (20، 40، 60 و 80ppm) را جهت دستیابی به عملکرد بهینه موتور بررسی کردند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که نقطه اشتعال و ویسکوزیته بایو دیزل با افزودن نانو ذرات اکسید سریم، افزایش می‌یابد. همچنین مقادیر آلاینده های NO_x و HC بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد

سولرو [۶] در سال ۲۰۱۲ با افزودن نانو ذرات اکسید آلومینیوم (آلومینا) به سوخت دیزل، به بررسی مشخصه های اسپری احتراق دیزلی و رفتار شعله پرداخت. وی در تحقیقات آزمایشگاهی خود نتیجه گرفت که نانو ذرات آلومینا، می‌تواند مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و سبب نفوذ بهتر سوخت تزریق شده به داخل هوای فشرده گردد. همچنین نانو ذرات آلومینا باعث می‌گردد که تبادل حرارتی بین جت سوخت و گاز اطراف درون سیلندر بهبود یابد. لذا باعث بوجود آمدن احتراق پایدار و افزایش راندمان می‌گردد.

در کار حاضر، شبیه سازی عددی احتراق بر روی عملکرد و توان خروجی موتور دیزل دریایی MAN B&W L16/24، انجام گرفته است. سپس تاثیر افزودن نانو ذرات جامد آلومینیوم به سوخت دیزل، بر روی مشخصه های اسپری، توان ترمزی و دیگر پارامترهای عملکردی موتور دیزلی مذکور بررسی شده است.

۲- مدل سازی موتور و معادلات حاکم

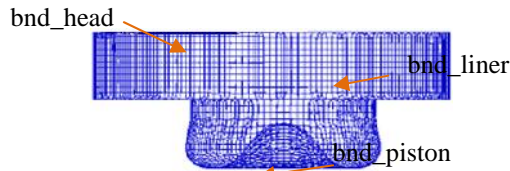
به منظور مدل سازی سه بعدی، در ابتدا یک سیلندر موتور در نرم افزار SolidWorks مدل شده است. با توجه به استراتژی که برای ایجاد شبکه در نرم افزار FIRE در نظر گرفته شده، نیاز به ایجاد یک شبکه سطحی از مدل می‌باشد. بنابر این شبکه ذکر شده درحالتی که پیستون در نقطه مرگ بالا قرار دارد، توسط نرم افزار ANSYS ICEM CFD تولید می‌شود. شبکه سطحی ایجاد شده در این مرحله، توسط نرم افزار FIRE فراخوانی می‌شود. در مراحل بعدی مدل سازی هندسه سه بعدی پیچیده موتور و ایجاد شبکه متحرک با استفاده از ابزار شبکه‌بندی FEP¹ انجام می‌شود. با توجه به اینکه تحلیل به صورت سوپاپ بسته یعنی از لحظه بسته شدن سوپاپ ورودی تا لحظه باز شدن سوپاپ خروجی انجام می‌گیرد، لذا دامنه محاسباتی مدل، شامل سیلندر می‌باشد که به سرسیلندر، بوش سیلندر و کاسه پیستون تقسیم می‌شود. در واقع یک شبکه سطحی شامل سیلندر را برای تولید شبکه متحرک در کورس تراکم و انبساط در نظر می‌گیریم. شکل ۱ شبکه نهایی را بعد از بسته شدن سوپاپ نشان می‌دهد.



شکل ۱: شبکه محاسباتی موتور بعد از بسته شدن سوپاپ

¹ FAME ENGINE Plus

اکنون باید سطوح مرزی با اسامی مناسب، برای اعمال شرایط مرزی انتخاب گردد. در مورد موتور مورد نظر، این نواحی بر روی شبکه نهایی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: سطوح و حجم های انتخاب شده جهت اعمال شرایط مرزی و شرایط اولیه

نرم افزار FIRE مانند دیگر کدهای عمل کننده به روش حجم محدود، اقدام به گسسته سازی معادلات پیوستگی جرم، مومنتوم و انرژی به همراه مدلی برای آشفستگی نموده و سپس با یک الگوریتم تکراری اقدام به حل معادلات جبری حاصل می کند. البته در این بررسی بررسی از مدل خود اشتعالی Shell [۷]، مدل احتراقی Eddy Breakup [۸]، مدل آشفستگی k- استاندارد [۹]، مدل Dukowicz برای انتقال حرارت و تبخیر قطرات سوخت [۱۰]، مدل آلایندهی Zeldovich برای آلاینده NO_x [۱۱] و مدل Hiroyasu برای تشکیل آلاینده Soot [۱۱] و مدل NSC برای اکسیداسیون Soot [۱۲]، استفاده شده است. جزئیات این مدل ها در ادبیات فن موجود می باشد که برای اطلاعات بیشتر به مراجع ذکر شده، رجوع شود. همچنین جهت مدل سازی تئوری نانو ذرات با دیزل، آنها را می توان به دوجز تقسیم کرد، یکی سیال پایه که دیزل خالص می باشد و دیگری ذرات جامد نانو که آن را ذره می نامیم. جهت مدل سازی نانو ذرات، خواص موثر مخلوط همگن نانو ذرات افزوده شده با دیزل (دانسیته موثر، گرمای ویژه موثر، هدایت حرارتی و غیره) را بر پایه نظریه های قابل قبول، محاسبه می کنیم.

مشخصات موتور مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات موتور MAN B&W L16/24

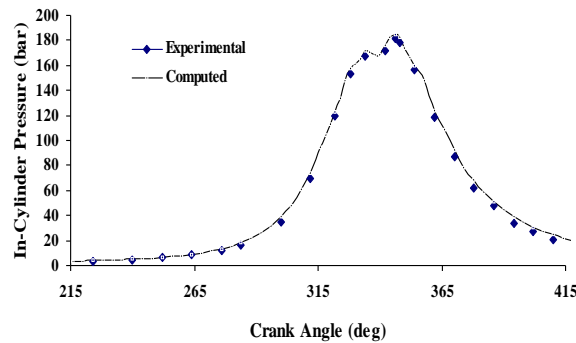
MAN B&W L16/24	ساخت و مدل موتور
دیزلی پاشش مستقیم، ۴ زمانه	نوع موتور
5	تعداد سیلندر
0.160	قطر پیستون (m)
0.240	کورس پیستون (m)
15.5:1	نسبت تراکم
1200	دور موتور (rpm)
9.6	سرعت متوسط پیستون (m/s)
180	ماکزیمم فشار داخل سیلندر (bar)

۳- نتیجه گیری

در این بخش نتایج مختلف مربوط به شبیه سازی احتراق در اثر افزودن نانو ذرات جامد آلومینیوم به سوخت دیزل با حالت دیزل خالص مقایسه گردیده است. در شکل ۳، منحنی فشار در حالت پایه برای نتایج تجربی و عددی آورده شده است. از لحاظ کیفی با توجه به اینکه در این موتور، پاشش سوخت در نزدیکی نقطه مرگ بالا^۲ یا به عبارتی با تاخیر زیاد^۳ صورت می گیرد، در منحنی فشار، کمی بعد از TDC (بعد از پیک اول)، افت نسبی فشار مشاهده می شود. این امر به دلیل وجود تاخیر در اشتعال و دیر پاشش سوخت است. در ابتدا سوخت کمی مشتعل می شود و مقداری انرژی آزاد می شود که در ادامه باعث احتراق سوخت پاشیده شده در نواحی دیگر محفظه احتراق و افزایش آهنگ آزادسازی انرژی می شود. اثر محسوس این روند در پیک دوم منحنی فشار مشاهده می شود. به عبارت دیگر در ابتدای پاشش، سوخت کمتری به صورت پیش آمیخته محترق می شود و در ادامه شرایط را برای احتراق در فاز نفوذی فراهم می کند. در این مرحله بیشتر گرمای سوخت به صورت ملایم تری آزاد می شود.

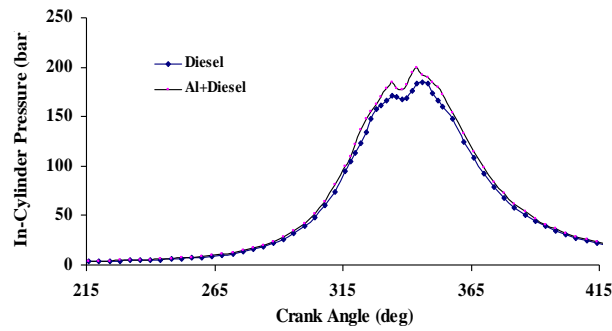
² TDC (Top Dead Center)

³ Retard



شکل ۳: مقایسه تجربی و عددی منحنی فشار بر حسب زاویه لنگ در حالت سوخت دیزل خالص

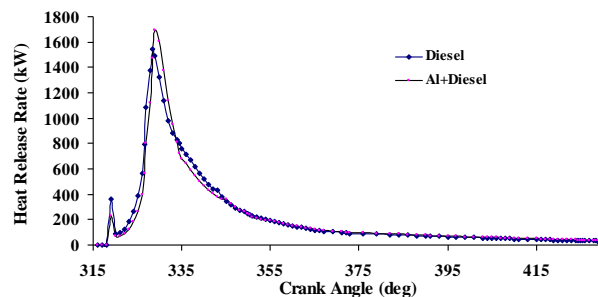
در شکل ۴ منحنی فشار بر حسب زاویه میل لنگ برای حالت های سوخت دیزل خالص و نانو ذرات جامد آلومینیوم اضافه شده به سوخت دیزل آورده شده است.



شکل ۴: منحنی فشار بر حسب زاویه میل لنگ برای سوخت دیزل و نانو ذرات جامد آلومینیوم اضافه شده به سوخت

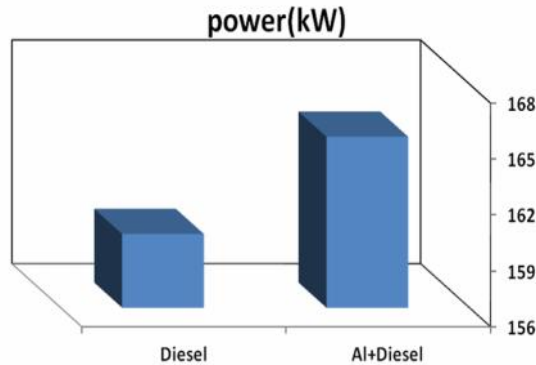
همان طور که مشاهده می شود هر دو نمودار، رفتار کیفی تغییرات فشار داخل سیلندر را به درستی پیش بینی کرده اند. ولی ماکزیمم فشار داخل سیلندر، برای نانو ذرات آلومینیوم اضافه شده به سوخت دیزل، بیشتر از سوخت دیزل خالص است. در نتیجه افزودن نانو ذرات آلومینیوم به سوخت، آلومینیوم در دماهای بالا با بخار آب موجود در محفظه احتراق واکنش داده و هیدروژن آزاد می شود. در اثر سوختن هیدروژن در محفظه احتراق، انرژی آزاد شده باعث کامل تر شدن احتراق و بهبود آن می گردد. لذا فشار داخل سیلندر افزایش یافته و بالطبع ماکزیمم فشار بالاتری نسبت به دیزل خالص خواهد داشت.

در شکل ۵ نرخ آزاد سازی گرما بر حسب زاویه میل لنگ برای حالت های سوخت دیزل خالص و نانو ذرات جامد آلومینیوم اضافه شده به سوخت دیزل آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود آزاد سازی گرمای داخل سیلندر برای حالت نانو ذرات جامد آلومینیوم اضافه شده به سوخت دیزل بالاتر از دیزل خالص می باشد. به طور کلی وجود نانو ذرات فلز در محفظه احتراق، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تاخیر در اشتعال را کاهش می دهد.



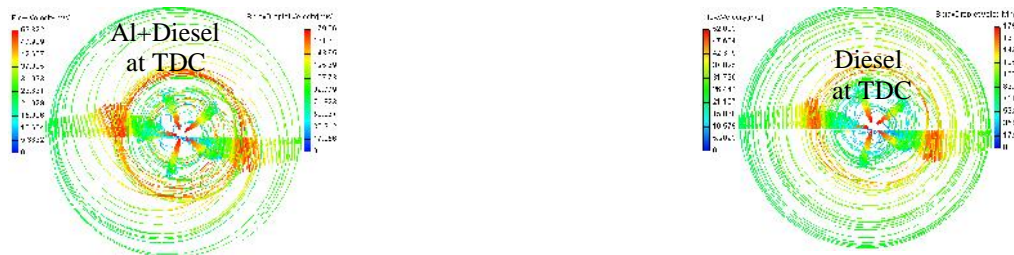
شکل ۵: نرخ آزاد سازی گرمای داخل سیلندر بر حسب زاویه میل لنگ برای سوخت دیزل و نانو ذرات جامد آلومینیوم اضافه شده به سوخت

در شکل ۶ مقادیر توان ترمزی برای برای حالت های سوخت دیزل خالص و نانو ذرات جامد آلومنیوم اضافه شده به سوخت دیزل مقایسه شده است. به طور کلی وجود نانو ذرات فلز در محفظه احتراق، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تاخیر در اشتعال را کاهش می دهد. همچنین نانو ذرات جامد هنگام پاشش به سوخت کمک می کنند تا در هوای فشرده بیشتر نفوذ کنند و اختلاط سوخت با هوا بهبود یافته و لذا احتراق کامل تر شده که باعث افزایش توان ترمزی و راندمان می گردد. همان طور که مشاهده می شود نانو ذرات آلومنیوم افزوده شده به سوخت دیزل بیشترین مقدار توان ترمزی را تولید می نماید.



شکل ۶: مقایسه مقادیر توان ترمزی برای برای سوخت دیزل و نانو ذرات جامد آلومنیوم اضافه شده به سوخت دیزل

در شکل ۷ سرعت قطره های اسپری و چرخش اسپری برای حالت های سوخت دیزل خالص و نانو ذرات جامد آلومنیوم اضافه شده به سوخت دیزل، در نقطه مرگ بالا آورده شده است. به دلیل اینکه پاشش سوخت در کاسه انجام می شود، تفاوت چندانی در چرخش اسپری در نقطه مرگ بالا مشاهده نمی شود. ولی با این وجود، شدت بیشتر چرخش برای نانو ذرات آلومنیوم افزوده شده به سوخت دیزل نسبت به سوخت دیزل خالص، محسوس تر است.



شکل ۷: سرعت قطره های اسپری و چرخش اسپری برای سوخت دیزل و نانو ذرات جامد آلومنیوم اضافه شده به سوخت دیزل

با توجه به نتایجی که در بالا ذکر شد، می توان این گونه نتیجه گیری کرد که افزودن نانو ذرات جامد به سوخت دیزل سبب بهبود شرایط عملکردی موتور و کاهش آلایندگی های خروجی می گردد. البته باید توجه داشت که تغییرات ایجاد شده در پارامتر های عملکردی و آلایندگی ها با توجه به شرایط کاری موتور می باشد. بطور کلی وجود نانو ذرات فلز در محفظه احتراق، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تاخیر در اشتعال را کاهش می دهد. همچنین با توجه به اینکه نگرش اصلی در طراحی موتور های دیزلی دریایی به سبب کاربرد های مختلف آن (نظیر ناوهای جنگی، زیردریایی ها، کشتی های تجاری، تانکر های نفتکش و غیره) افزایش توان و قدرت می باشد، وجود نانو ذرات جامد در سوخت سبب می شود که هنگام پاشش، سوخت در هوای فشرده بیشتر نفوذ کنند و اختلاط سوخت با هوا بهبود یافته و لذا احتراق کامل تر شده که باعث افزایش توان ترمزی و راندمان می گردد.

۴- مراجع

- [1] Maxwell, J.C., 1881. **A Treatise On Electricity and Magnetism**. Clarendon Press, Oxford, UK. 1881.
- [2] Guru, M., Karakaya, U., Altıparmak, D. and Alicilar, A. **Improvement of Diesel Fuel Properties by Using Additives**. Energy Conversion and Management, 43(1), pp. 1021-1025, 2002.
- [3] Tyagi, H., Phelan, P., Parsher, R., Peck, R., Lee, T., Pacheco, J., and Arentzen, P., **Increased Hot-Plate Ignition Probability for Nanoparticle Diesel Fuel**. Nano Letters, 8(5), pp. 1410-1416, 2008.
- [4] Arul Mozhi Selvan, V., Anand, R.B., and Udayakumar, M., **Effects of Cerium Oxide Nanoparticle in Diesel and Diesel-Biodiesel Ethanol Blends on the Performance and Emission Characteristics of a CI Engine**. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 4(7), pp. 1-6, 2009.

- [5] Sajish, V., Sobhan, C.B. and Peterson, G.P., **Experimental Investigation on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel**. 47(1), pp. 1–69, 2010.
- [6] Solero, G., **Experimental Analysis of the Influence of Inert Nano-additives upon Combustion of Diesel Sprays**. Nanoscience and Nanotechnology, 2(4), pp. 129–133, 2012.
- [7] Halstead, M., Kirsch, L., and Quinin, C., **The Auto ignition of Hydrocarbon Fueled at High Temperatures and Pressures–Fitting of a Mathematical Model**". Combustion Flame, Vol. 30, pp 45–60, 1977.
- [8] Patterson, M.A., Kong, C., Hampson, G.J., and Reitz, R.D., **Modeling The Effects of The Fuel Injection Characteristics on Diesel Engine Soot and NOx Emission**. SAE Paper 940523, 1994.
- [9] Baumgarten, C., **Mixture Formation in Internal Combustion Engines**. Springer–Verlag Berlin Heidelberg, 1965.
- [10] Dukowicz, J. K., **Quasi-Steady Droplet Change in the Presence of Convection**. Los Alamos, N. Mex., USA: Los Alamos Scientific Laboratory, Informal report, 1997.
- [11] CFD AVL FIRE Software., **Help of CFD AVL FIRE Software**, Part: Spray, 2008.
- [12] Nagle, J., Strickland-Constable, R. F., **Oxidation of Carbon between 1000–2000 C**. Proceedings of the Fifth Conference on Carbon, New York: Pergamon, 1962.