

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی تبدیل انرژی

بررسی اثر افزودن نانو ذرات مختلف به سوخت دیزل بر عملکرد احتراقی شعله

نگارنده: حسین ذکاوتی

اساتید راهنما

دکتر محمود چهارطاقی

دکتر سید هادی پورحسینی

استاد مشاور

دکتر سید مجید هاشمیان

تیر ۱۳۹۸

شماره: ۱۱۲/۲۸۸/۱۵
تاریخ: ۹۸/۶/۱۵

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حسین ذکاوتی با شماره دانشجویی ۹۵۰۶۳۰۴ رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی تحت عنوان بررسی اثر افزودن نانو ذرات مختلف به سوخت دیزل بر عملکرد احتراقی شعله که در تاریخ ۱۳۹۸/۰۶/۱۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> مردود <input checked="" type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>خیلی خوب</u>)			
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input checked="" type="checkbox"/> عملی			
امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر محمود چهارطاقی	۱- استاد راهنمای اول
-	استادیار	دکتر سید هادی پورحسینی	۲- استاد راهنمای دوم
-	استادیار	دکتر سید مجید هاشمیان	۳- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر پوریا اکبرزاده	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر احمد نظری	۵- استاد ممتحن اول
	استاد	دکتر محمد حسن کیهانی	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد محسن شاه مردان

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تشکر و قدردانی

بر خود واجب می‌دانم از اساتید فرزانه جناب آقایان دکتر محمود چهارطاقی و دکتر سید هادی پورحسینی که به عنوان اساتید راهنما در مراحل مختلف این پایان‌نامه همواره با سعه صدر و گشاده رویی در کنار من بودند و در طول مدت تحصیل از راهنمایی‌های اخلاقی و علمی ایشان بهره‌جسته‌ام تشکر و قدردانی نمایم.

جناب آقای دکتر سید مجید هاشمیان به عنوان استاد مشاور مسئولیت سنگینی را قبول زحمت فرمودند و مطمئناً بدون حمایت‌ها، راهنمایی‌ها و روحیه بخشی ایشان، انجام بخش مهمی از این رساله میسر نمی‌شد. بدین وسیله از بزرگواری، حسن سلوک و حمایت بی دریغ ایشان تشکر کرده و برای ایشان طول عمر توام با سربلندی را آرزومندم.

تعمدنامه

اینجانب حسین ذکاوتی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی دانشکده مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی اثر افزودن نانو ذرات مختلف به سوخت دیزل بر عملکرد احتراقی شعله تحت راهنمایی آقایان دکتر محمود چهارطاقی و دکتر سید هادی پورحسینی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع نمی باشد.

چکیده

نانوسوخت از افزودن نانوذرات به سوخت مایع به دست می‌آید و مفهوم نوینی است که توجه زیادی را در ارتباط با سیستم‌های احتراقی به خود جلب کرده است. این پژوهش یک مطالعه آزمایشگاهی در مورد اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم و نانوذرات آهن به سوخت دیزل در غلظت‌های رقیق بر عملکرد احتراقی و انتشار آلاینده‌های یک مشعل سوخت مایع می‌باشد. بدین منظور ابتدا نانوذرات در غلظت‌های رقیق ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ درصد وزنی به سوخت دیزل افزوده و سپس مخلوط می‌شوند. در ادامه نانوسوخت وارد مشعل سوخت مایع شده و تابش حرارتی و دمای شعله و انتشار آلاینده‌ها در خروجی تحت آزمایش کوره، اندازه‌گیری می‌شوند. نتایج به دست آمده برای شعله نانوسوخت حاوی نانوذرات اکسید آلومینیم در مقایسه با شعله نانوسوخت حاوی نانوذرات آهن متفاوت است. نتایج به دست آمده برای نانوسوخت اکسید آلومینیم، افزایش ۱۰ درصدی تابش حرارتی، کاهش ۲ درصدی دمای شعله، افزایش ۲۵ درصدی غلظت آلاینده CO و کاهش ۱۰ درصدی غلظت آلاینده NOx در خروجی می‌باشند. اما نتایج به دست آمده برای نانوسوخت آهن، افزایش ۲۳ درصدی تابش حرارتی، افزایش ۵ درصدی دمای شعله و کاهش ۴۵ درصدی غلظت آلاینده CO و کاهش ۱۲ درصدی غلظت آلاینده NOx در خروجی است.

کلمات کلیدی

نانوسوخت، نانوذرات اکسید آلومینیم، نانوذرات آهن، مشعل سوخت مایع، تابش حرارتی شعله، دمای شعله، انتشار آلاینده‌ها

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول کلیات وهدف پژوهش.....
۲	۱-۱ مقدمه.....
۲	۲-۱ احتراق سوخت مایع.....
۳	۱-۲-۱ تمیزه شدن سوخت مایع.....
۴	۲-۲-۱ تبخیر.....
۴	۳-۲-۱ اختلاط.....
۵	۳-۲-۱ اشتعال واکنش شیمیایی.....
۵	۳-۱ معرفی نانو سوخت.....
۸	۴-۱ تعریف مسئله و هدف پژوهش.....
۹	۵-۱ ساختار پایان نامه.....
۱۱	فصل دوم مروری بر مطالعات گذشته.....
۱۲	۱-۲ مقدمه.....
۱۲	۲-۲ مطالعات انجام شده روی قطره سوخت حاوی نانوذرات.....
۲۰	۲-۲ مطالعات انجام شده روی عملکرد احتراقی و تولید آلاینده های موتور.....
۲۴	۲-۲ مطالعات انجام شده روی عملکرد احتراقی و تولید آلاینده های کوره.....
۲۹	فصل سوم مواد و روش.....
۳۰	۱-۳ آماده سازی نانو سوخت.....
۳۰	۱-۱-۳ سوخت دیزل.....
۳۱	۲-۱-۳ معرفی نانوذرات.....
۳۳	۳-۱-۳ تهیه نانو سوخت.....
۳۷	۲-۳ تجهیزات آزمایش.....
۳۷	۱-۲-۳ کوره آزمایشگاهی.....
۳۸	۲-۲-۳ مشعل گازوئیلی.....
۴۰	۳-۲-۳ اندازه گیری دبی سوخت مایع(گازوئیل).....
۴۰	۴-۲-۳ اندازه گیری سرعت هوا.....
۴۲	۵-۲-۳ اندازه گیری دما.....
۴۳	۶-۲-۳ اندازه گیری تابش گرمایی.....
۴۸	۷-۲-۳ سیستم اندازه گیری آلایندهها.....

۵۱	..... ۳-۲-۷-۱ نمونه برداری با دستگاه گاز آنالیزر
۵۲	..... ۳-۳ روش آزمایش
۵۵	..... فصل چهارم ارائه و بررسی نتایج
۵۶	..... ۴-۱ مقدمه
۵۶	..... ۴-۲ تابش
۵۷	..... ۴-۳ مکانیزم احتراق قطره نانو سوخت
۶۰	..... ۴-۴ نتایج گرمای تابشی شعله
۶۳	..... ۴-۵ نتایج دمای شعله
۶۵	..... ۴-۶ نتایج آلاینده ها
۶۶	..... ۴-۷ تصاویر شعله های غلظت های مختلف
۶۹	..... ۴-۸ اثر نانو سوخت اکسید آلومینیم بر خوردگی
۷۱	..... ۴-۹ تحلیل نتایج
۷۳	..... ۴-۱۰ نتیجه گیری و پیشنهادات
۷۴	مراجع

فهرست جداول

- جدول (۱-۳): درصد ترکیبات سوخت دیزل ۳۰
- جدول (۲-۳): مشخصات نانوذرات ۳۲
- جدول (۳-۳): مشخصات مشعل گازوئیلی ۳۹
- جدول (۴-۳): مشخصات فلومتر مدل STANDARD ST-619 ۴۲
- جدول (۵-۳): دبی حجمی و سرعت متوسط جریان هوای مشعل ۴۲
- جدول (۶-۳): مشخصات ترموپیل نوع HFPO1 ۴۷
- جدول (۷-۳): محدوده اندازه‌گیری و دقت سنسورهای مختلف دستگاه گازآنالیزر ۵۰

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱): فرآیند احتراق ۳
- شکل (۱-۲): مراحل احتراق قطره نانوسوخت ۱۳
- شکل (۲-۲): احتراق قطره اتانول حاوی نانوذرات آهن همراه با پدیده میکرو انفجار ۱۴
- شکل (۳-۲): احتراق قطره اتانول الف-سوخت خالص ب-سوخت حاوی نانوذرات آهن همراه با پدیده میکرو انفجار ۱۶
- شکل (۴-۲): شماتیک آزمایش صفحه داغ ۱۸
- شکل (۵-۲): شماتیک آزمایش دیگ بخار ۲۵
- شکل (۱-۳): مصرف انرژی در سال ۲۰۱۳ ۳۰
- شکل (۲-۳): نانوذرات اکسید آلومینیم ۳۲
- شکل (۳-۳): نانوذرات آهن ۳۳
- شکل (۴-۳): دستگاه پراب آلتراسونیک ۳۵
- شکل (۵-۳): ترازو با دقت بالا ۳۵
- شکل (۶-۳): نمونه نانوسوختها ۳۶
- شکل (۷-۳): کوره آزمایشگاهی ۳۸
- شکل (۸-۳): مشعل گازوئیلی ۳۹
- شکل (۹-۳): اندازه‌گیری دبی حجمی هوا توسط سرعت سنج ۴۱
- شکل (۱۰-۳): دبی-سرعت سنج هوا (فلومتر) ۴۱
- شکل (۱۱-۳): ترموکوپل نوع S و نمایشگر آن ۴۳
- شکل (۱۲-۳): نامگذاری طیف امواج الکترومغناطیسی بر حسب طول موج ۴۳
- شکل (۱۳-۳): محدوده تشعشع گرمایی در طیف الکترومغناطیس ۴۴
- شکل (۱۴-۳): ترموپیل نوع HFP01 و نمایشگر آن ۴۶
- شکل (۱۵-۳): لوکسمتر نوع TES 1332A ۴۷
- شکل (۱۶-۳): دستگاه اندازه‌گیری گازهای احتراقی ۴۸
- شکل (۱۷-۳): دستگاه گاز آنالیزر A KIGAS 310 ۵۰
- شکل (۱۸-۳): شماتیک ستاپ آزمایشگاهی ۵۳
- شکل (۱۹-۳): ستاپ آزمایشگاهی ۵۴
- شکل (۱-۴): شماتیک تعادل انرژی برای یک قطره نانوسوخت ۵۸
- شکل (۲-۴): نمودار گرمای تابشی برای غلظتهای اکسید آلومینیم ۶۰
- شکل (۳-۴): نمودار متوسط گرمای تابشی برای غلظت های مختلف اکسید آلومینیم ۶۱
- شکل (۴-۴): نمودار گرمای تابشی برای نانوذرات در طول شعله ۶۱
- شکل (۵-۴): نمودار متوسط گرمای تابشی برای نانوذرات ۶۲

- شکل (۴-۶): نمودار تابش درخشندگی برای نانوذرات ۶۳
- شکل (۴-۷): نمودار دمای مرکز شعله برای نانوذرات ۶۳
- شکل (۴-۸): نمودار متوسط دمای مرکز شعله برای نانوذرات ۶۴
- شکل (۴-۹): نمودار غلظت آلاینده CO ۶۵
- شکل (۴-۱۰): نمودار غلظت آلاینده NOX ۶۵
- شکل (۴-۱۱): شعله سوخت خالص ۶۶
- شکل (۴-۱۲): شعله نانوسوخت اکسید آلومینیم ۶۷
- شکل (۴-۱۳): شعله نانوسوخت آهن ۶۸
- شکل (۴-۱۴): قرار گرفتن میله‌های آهنی در معرض شعله نانوسوخت اکسید آلومینیم ۶۹
- شکل (۴-۱۵): ایجاد یک لایه محافظ اکسید بر روی قسمت‌های زنگزده ۷۰

فهرست علائم

CO.....	مونوکسید کربن
NO _x	اکسیدهای نیتروژن
T.....	دما
Al ₂ O ₃	اکسید آلومینیم
Fe.....	آهن
HC.....	هیدروکربن های نسوخته
λ	طول موج
C	سرعت نور
ν	فرکانس
α	ضریب جذب تابش
ρ	ضریب انعکاس تابش
τ	ضریب عبور تابش

فصل اول

کلیات و هدف پژوهش

۱-۱ مقدمه

در حال حاضر سهم قابل توجهی از مصرف انرژی جهان را احتراق پاشش^۱ سوخت مایع تشکیل می‌دهد و از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. در سال‌های اخیر از تزریق پاشش سوخت مایع استفاده‌های زیادی شده‌است؛ نظیر کوره‌ها، توربین‌های گازی، نیروگاه‌ها، صنایع ذوب و... . محدودیت منابع و اثرات مخرب بر محیط‌زیست، دو مسئله مهم در مورد این سوخت می‌باشد. استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، انرژی بادی و انرژی برق‌آبی، برای کاهش مصرف سوخت-های فسیلی مورد توجه قرار گرفته است. اما با این وجود هنوز موارد مصرف سوخت مایع بسیار گسترده است. از این رو بهبود احتراق و همچنین کاهش آلاینده‌های احتراق، برای حفظ منابع انرژی و محیط زیست امری ضروری می‌باشد.

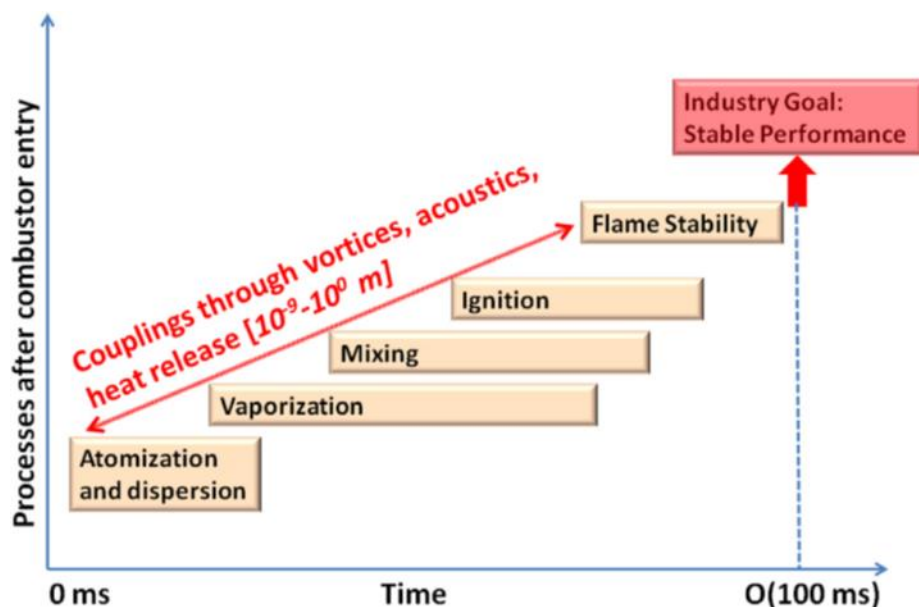
در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی با هدف دستیابی به کارایی بالاتر، انتشار آلاینده‌های کمتر و افزایش بازده دستگاه‌هایی که از سوخت مایع استفاده می‌کنند، انجام شده است. یکی از این روش‌ها افزودن نانوذرات به سوخت می‌باشد.

۱-۲ احتراق سوخت مایع

احتراق قدیمی‌ترین فناوری بشر است که بیش از یک میلیون سال است استفاده می‌شود. در حال حاضر حدود نود درصد پشتیبانی انرژی سراسر جهان ما مانند حمل و نقل، انرژی الکتریکی و گرمایش به وسیله احتراق انجام می‌شود. با وجود پژوهش‌های روز افزون برای دستیابی به انرژی‌های جایگزین، شکی نیست که در آینده نیز احتراق همچنان مهم خواهد ماند. واکنش‌های احتراقی یک گروه بسیار مهم از واکنش شیمیایی هستند. این واکنش‌ها برای زندگی روزمره‌ی ما حیاتی هستند [۱].

¹ Spray combustion

پاشش احتراق در مشعل‌های سوخت مایع، یک پدیده‌ی بسیار پیچیده است که شامل دینامیک در مقیاس‌های فضایی و زمانی چندگانه است. در اکثر سیستم‌های عملیاتی، فرآیند احتراق بسیار پیچیده و دنباله‌ای از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی است. فرآیندهایی که در تراز قطره رخ می‌دهد به طور کلی بر پدیده‌های گسترده‌ای مانند خاموشی شعله و تشکیل آلاینده‌ها تاثیر می‌گذارد. این فرآیندها به صورت شماتیک در شکل ۱-۱ نشان داده شده‌اند [۲].



شکل (۱-۱): فرآیند احتراق

۱-۲-۱ اتمیزه شدن سوخت مایع

اتمیزه شدن^۱ فرآیندی است که در آن حجم مایع به مجموعه‌ای از قطرات تبدیل می‌شود. این تبدیل از طریق تجزیه‌ی جت مایع به تعدادی از رشته‌ها، که به نوبه‌ی خود به قطرات تبدیل می‌شوند، انجام می‌گردد. تجزیه‌ی جت مایع به تعدادی از رشته‌ها، و سپس به قطرات کوچک، مستلزم چیره شدن بر نیروهای کشش سطحی سوخت مایع است. تزریق سوخت مایع به محفظه‌ی احتراق از طریق مشعل‌های اسپری، تجزیه‌ی سوخت مایع را به قطرات بسیار ریز (در حد میکرون) تسهیل می‌کند که این موضوع توزیع یکنواخت سوخت مایع در محفظه‌ی احتراق و انتقال حرارت را افزایش دهد. افزایش

^۱ Atomization

انتقال حرارت به واسطه‌ی افزایش سطح انتقال حرارت است. به عنوان مثال، اتمیزه کردن یک قطره به قطر ۱ سانتی‌متر به قطرات به قطر ۱۰۰ میکرومتر، یک میلیون قطره تولید می‌کند و سطح کلی آن را 10^4 بار افزایش می‌دهد. اکثر مشعل‌های سوخت مایع قطرات سوخت را در اندازه‌های ۷۵ تا ۱۳۰ میکرومتر اسپری می‌کنند [۲].

۱-۲-۲ تبخیر^۱

احتراق سوخت مایع در فاز گاز اتفاق می‌افتد و به سرعت انتقال جرم از فاز مایع به فاز بخار وابسته است. سرعت انتقال جرم متناسب با سطح قطره است. به منظور انجام احتراق با شدت بالا، تبخیر سریع قطرات سوخت یک ضرورت است. نرخ تبادل جرم و انرژی در فاز گاز یک قطره‌ی تبخیر شده تحت تأثیر سرعت آن و محیطی است که درون آن حرکت می‌کند [۲].

تبخیر قطرات سوخت مایع مهم‌ترین فرآیند در داخل محفظه‌ی احتراق است. گادسیو [۳] و اسپالدینگ [۴] قانون مشهور دی-تو^۲ را برای مدلسازی این فرآیند ارائه داده‌اند. براساس این مدل در هنگام تبخیر قطره، مربع قطر قطره به صورت خطی نسبت به زمان کاهش می‌یابد. به مرور زمان این قانون توسط محققان توسعه داده شده‌است اما کلیت آن به قوت خود باقی است.

۱-۲-۳ اختلاط^۲

برای ادامه احتراق سوخت بخار شده و گاز اکسید کننده باید با یکدیگر مخلوط شوند. بنابراین باید فضای مناسب برای مخلوط شدن در محفظه‌ی احتراق وجود داشته باشد. فرآیند مخلوط معمولاً مرحله‌ی محدود کننده‌ی احتراق است و شامل یک تعامل پیچیده از انتشار مولکولی و میدان جریان در محفظه‌ی احتراق می‌باشد [۲].

¹ Evaporation

² D² law

³ Mixing

۱-۲-۳ اشتعال-واکنش شیمیایی

هنگامی که یک قطره‌ی سوخت درون یک محیط با درجه حرارت بالا قرار می‌گیرد، فرآیند تبخیر آن شروع می‌شود. بخار سوخت تولید شده به سرعت با هوا مخلوط می‌شود. وقتی یک مخلوط هوا-بخار سوخت به نسبت مناسب تولید می‌شود و انرژی سوخت فعال می‌شود، اشتعال اتفاق می‌افتد. خصوصیات اشتعال معمولی ممکن است در اصطلاح تاخیر اشتعال^۱ بیان شود. تاخیر اشتعال به عنوان فاصله‌ی زمانی بین لحظه‌ای که قطره در معرض دمای محیط قرار می‌گیرد تا لحظه‌ای که در آن یک شعله قابل مشاهده باشد، تعریف می‌شود [۵].

انرژی آزاد شده توسط واکنش سوخت و گاز اکسیدکننده محصول مطلوب یک فرآیند احتراق است. این واکنش در فاز گاز اتفاق می‌افتد و محصولات احتراق را ایجاد می‌کند که ممکن است بی‌ضرر یا نامطلوب باشند. مکانیزم‌های اکسید کننده‌ای که در فرآیند احتراق دخیل هستند، در حالت ایده‌آل تنها تشکیل دهنده‌ی اکسیدکربن و آب می‌دهند. با این حال یک سری واکنش‌های اضافی در اثر اختلاط نامناسب سوخت و اکسیدکننده و نبود اکسیدکننده کافی اتفاق می‌افتند که منجر به تشکیل آلاینده‌ها می‌شوند.

۱-۳ معرفی نانو سوخت

تحولات اخیر در زمینه بین رشته‌ای فناوری نانو و نیاز فوری برای یک جایگزین کارآمد از نظر انرژی و مناسب محیط‌زیست با سوخت‌های هیدروکربنی معمولی باعث شده است؛ تحقیقات اخیر در زمینه جدید نانو سوخت‌ها انجام شود. تولید سوخت‌های با چگالی انرژی بالا از نیازهای قطعی سیستم‌های صنعتی و احتراقی در آینده است. چگالی انرژی سوخت‌های معمولی موجود گاهی اوقات یک عامل محدودکننده‌ی مهم برای سیستم‌هایی است که از این سوخت‌ها استفاده می‌کنند. بنابراین افزایش چگالی انرژی این سوخت‌ها از نیازهای اساسی به شمار می‌رود. فلزاتی نظیر آلومینیم، دارای

^۱ Ignition delay

انرژی احتراق بالایی می‌باشند و به عنوان افزودنی در مواد منفجره به‌کار می‌روند. پیشرفت‌های اخیر در علوم و فناوری نانو، تولید نانومواد با اندازه‌ی کمتر از ۱۰۰ نانومتر را فراهم ساخته است که دارای انرژی زیادی هستند و مزایای فوق‌العاده‌ای نسبت به مواد با اندازه‌های میکرون دارند. نانوذرات به‌خاطر داشتن سطح ویژه‌ی بیشتر نسبت به میکروذرات، از خواص احتراقی بهتر نظیر تاخیر اشتعال کمتر، اشتعال سریع‌تر و احتراق کامل‌تر، برخوردار هستند [۶].

استفاده از نانومواد پر انرژی به‌عنوان مواد افزودنی سوخت برای بهبود احتراق سوخت مایع یک مفهوم جذاب است. تراکم انرژی بالای فلزات می‌تواند به‌طور قابل توجهی عملکرد احتراقی سوخت‌های مایع را بهبود ببخشد. در نتیجه مصرف این سوخت‌ها و انتشار آلاینده‌های ناشی از سوختن آن‌ها نظیر CO و NOx کاهش می‌یابد. مزایای بالقوه مواد افزودنی نانوساختار به‌بالا بودن ذاتی واکنش‌پذیری سطح مقطع آن‌ها، سطح ویژه‌ی بالا و تراکم بالای ویژگی‌های سطح، مرتبط است. در مقیاس نانومتر، یک ذره شامل هزاران اتم است و برای ذره با اندازه‌ی کمتر از ۵ تا ۱۰ نانومتر، نسبت سطح به حجم اتم‌ها به سرعت افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال، برای یک بلور کروی آهن، این نسبت در ۵ نانومتر ۲۵ درصد و در ۱ نانومتر ۹۰ درصد است. در چنین چگالی بالایی از اتم‌های سطحی، توده ماده تمایل به نمایش خواص اتم‌های سطحی دارد. به‌عنوان مثال، نانوذرات، نقطه انجماد و ذوب، گرمای ذوب و درجه حرارت تفجوشی پایین‌تری نسبت به هم‌تایان میکرونی و بزرگتر خود دارند. همچنین سطح ویژه‌ی بالاتر در مقیاس نانو باعث افزایش واکنش‌پذیری و فعالیت کاتالیزوری می‌شود. با این‌حال، یک حد پایین برای کاهش اندازه نانوذره وجود دارد؛ زیرا با کاهش اندازه ذره، ضخامت لایه اکسید بی‌اثر افزایش یافته که این از چگالی انرژی بالا مهم‌تر است [۶].

تعلیق سوخت نانو فناوری یا به اصطلاح "نانوسوخت"^۱، کلوئیدهای ثبات‌یافته‌ای هستند که حاوی افزودنی‌های نانومقیاس فعال (۱-۱۰۰ نانومتر)، به‌طور معمول در غلظت‌های رقیق، می‌باشند. ایده کلیدی، تهیه‌ی پتانسیل انرژی در مقیاس نانو به وسیله‌ی اضافه کردن مقدار کمی از ذرات فلزی

^۱ Nanofuel

نانومتری پر انرژی به سوخت‌های سنتی مانند بنزین و دیزل است. در این راستا، نانوذرات معلق نقش حامل‌های انرژی ثانویه را بازی می‌کنند که می‌توانند به سوخت‌های مرسوم اضافه شوند تا به‌عنوان تقویت‌کننده‌های احتراق عمل کنند. این سوخت‌ها سطح ویژه‌ی بالای نانوذرات و انرژی‌های شناخته شده‌ی بالای اکسیداسیون فلزات را با هم ترکیب می‌کنند تا سوخت‌های با چگالی انرژی بالا تولیدکنند و از این طریق باعث کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها شوند. تحقیقات متعدد اخیر نشان داده‌اند که سوخت‌های مرسوم همراه با نانوذرات عملکرد احتراق را به طرق زیر بهبود می‌بخشند:

- ۱- افزایش چگالی انرژی حجمی ۲- افزایش هدایت حرارتی ۳- افزایش فعالیت کاتالیزوری ۴- کاهش تأخیر اشتعال ۵- افزایش احتمال اشتعال ۶- افزایش نرخ پخش حرارت ۷- سوختن سریع‌تر ۸- کاهش دوده و انتشار آلاینده‌ها

نانوسوخت‌ها افزایش هدایت حرارتی (که با دما افزایش و با اندازه ذره کاهش می‌یابد)، انتشار جرم و انتقال گرمای تابشی را نشان می‌دهند. خواص تابشی افزایش یافته و هدایت حرارتی بالا، فرآیند تبادل گرما بین قطرات سوخت و هوای اطراف را شتاب می‌دهد. به عنوان مثال، یک افزایش ۱۵۰ درصدی در هدایت حرارتی روغن موتور با افزودن ۱٪ حجمی نانولوله‌های کربنی، گزارش شده‌است. از آنجایی که نانوذرات به راحتی پراکنده می‌شوند و فقط در غلظت‌های رقیق به مایع میزبان اضافه می‌شوند، تغییر خواص فیزیکی سوخت مانند کشش سطحی، ویسکوزیته و چگالی قابل ملاحظه نیست. به عنوان مثال، تانویر و چیائو گزارش دادند که حتی با اضافه کردن ۳٪ وزنی نانوذرات به سوخت‌های اتانول و دکان، تغییر کشش سطحی ناچیز است [۶].

از یک دیدگاه کاربردی، مطالعات اخیر، استفاده مستقیم از نانوذرات را به‌عنوان افزودنی به سوخت دیزل، در موتورهای احتراق داخلی در نظر گرفته‌اند [۲۱-۳۲]. آنها کاهش انتشار CO، HC و NOx در خروجی، کاهش زمان تأخیر احتراق، افزایش بازده حرارتی و کاهش مصرف سوخت را اثبات کرده‌اند. با

این حال در حال حاضر استفاده از نانوسوخت‌ها در احتراق‌های عملی به عنوان افزایشده احتراق، محرمانه است. محدودیت‌ها از موارد زیر نشأت می‌گیرند:

۱- گرایش ذاتی نانوذرات به جمع‌شدن و متراکم شدن؛ این همچنین مرحله ابتدایی کلیدی تعیین مشخصات سوخت را پیچیده می‌کند.

۲- حضور اجتناب‌ناپذیری توده‌ها در نانویویدهای خشک باعث کاهش سرعت واکنش پیش از اشتعال می‌شود، زیرا به شدت به خواص ترموفیزیکی و اندازه توزیع نانوذرات بستگی دارد.

۳- اگر چه افزودن فلزات نانومقیاس (به ویژه آلومینیوم و بور) باعث افزایش سرعت واکنش و چگالی انرژی سوخت پایه شده، مزایای عملکرد آنها به دلیل وجود لایه‌های اکسید غیرفعال انرژی کاهش می‌یابد.

۴- اکسید فلز جامد که به‌عنوان یکی از محصولات واکنش شکل می‌گیرد، ممکن است همراه با آگزوز به‌صورت ذرات ریز پس‌ماند خارج شود؛ بدین وسیله باعث ایجاد خطر سلامتی می‌شود [۶].

۱-۴ تعریف مسئله و هدف پژوهش

با توجه به حجم بالای استفاده از سوخت‌های فسیلی مایع در کاربردهای صنعتی نظیر مشعل‌های صنعتی، نیروگاه‌ها، صنایع ذوب، پتروشیمی و ...، لزوم بهبود عملکرد حرارتی این مشعل‌ها به منظور کاهش مصرف سوخت، بهره‌وری اقتصادی و کاهش اثرات زیست‌محیطی این سوخت‌ها، بسیار ضروری و حائز اهمیت است. مشعل‌های سوخت مایع یکی از رایج‌ترین تجهیزات هستند که برای تبدیل انرژی سوخت مایع به انرژی حرارتی در کاربردهای مختلف استفاده می‌شوند. این درحالی است که از منظر زیست‌محیطی نیز کاهش انتشار آلاینده‌های حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی مایع، به‌ویژه آلاینده NOx، در سال‌های اخیر به‌شدت مورد توجه قرار گرفته است. همچنین هدفمندسازی یارانه‌های انرژی و سوخت، از جمله سوخت‌های مایع و واقعی شدن قیمت حامل‌های انرژی بر ضرورت این موضوع می‌-

افزاید. با پیشرفت‌های صورت گرفته در علم نانو، استفاده از نانوذرات مختلف به عنوان افزودنی به سوخت‌های فسیلی مایع، می‌تواند بر بهبود عملکرد حرارتی و کاهش انتشار آلاینده NOx در مشعل-های سوخت مایع تاثیرگذار باشد. نانو ذرات، ذرات کوچک فلزات، اکسیدها، کاربیدها، نیتريد‌ها و یا نانولوله‌های کربنی با اندازه‌ی معمول کوچک‌تر از ۱۰۰ نانومتر هستند که به علت سطح بالای واکنش-پذیری و فعالیت کاتالیزوری اخیراً توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. در نتیجه، افزودن نانوذرات با غلظت‌های کم به سوخت‌های هیدروکربن مایع، روش جدیدی برای بهبود خواص فیزیکی، اشتعالی و احتراقی این سوخت‌ها است. براین اساس، در پژوهش حاضر، اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم (Al₂O₃) و آهن (Fe) بر پارامترهای عملکرد حرارتی (گرمای تابشی و دمای مرکز شعله) و کاهش آلاینده‌های احتراق (CO, NOx) یک مشعل با سوخت مایع دیزل (گازوئیل)، مورد بررسی قرار گرفته است.

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل چهار فصل است. در فصل اول به بررسی کلیات موضوع نظیر احتراق سوخت مایع، مفهوم نانو سوخت و هدف پژوهش می‌پردازیم. در فصل دوم به مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه نانو سوخت‌ها می‌پردازیم. در فصل سوم نانوذرات مورد استفاده در آزمایش‌ها، روش تهیه نانو سوخت و تجهیزات مورد استفاده در آزمایش معرفی می‌شوند. فصل چهارم هم به بررسی و ارائه نتایج اختصاص دارد.

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱ مقدمه

افزودن ذرات به سوخت مایع یک روش برای بهبود خواص اشتعال و احتراقی سوخت است. افزودن میکروذرات به سوخت‌های مایع از چند دهه‌ی قبل مورد توجه بوده است. نانوسوخت‌ها پتانسیل کاربرد در زمینه‌های مختلف از جمله احتراق، انتقال حرارت و ذخیره انرژی را دارند. پیشرفت‌های اخیر در زمینه نانو تکنولوژی و امکان تهیه نانو سوخت‌ها توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. ماکسول (۱۸۷۳) اولین کسی بود که توضیح داد، که افزودن ذرات به مایع پایه، یک ترکیب سوسپانسیون ایجاد می‌کند که می‌تواند هدایت حرارتی مؤثر را به دلیل تغییر در ویژگی‌های ترکیبی سیال پایه و ذرات، افزایش دهد. در ادامه تحقیقات چوبی و ایستمن نشان داد که نانوذرات در مقایسه با میکروذرات از خواص اشتعالی و احتراقی بهتری برخوردار هستند و مدت زمان بیشتری را در سیال پایدار می‌مانند [۷].

مطالعات انجام شده در زمینه نانوسوخت‌ها را می‌توان به سه دسته‌ی کلی تقسیم بندی کرد. دسته اول مطالعاتی هستند که بر روی قطره‌ی سوخت انجام شده است. دسته‌ی دوم مطالعاتی هستند که به بررسی عملکرد احتراقی و تولید آلاینده‌های نانوسوخت‌ها در موتور می‌پردازند و دسته‌ی سوم مطالعات محدودی هستند که عملکرد احتراقی و تولید آلاینده‌های نانوسوخت‌ها را در کوره بررسی می‌کنند.

۲-۲ مطالعات انجام شده روی قطره سوخت حاوی نانوذرات

گان و کیائو [۸]، اثر افزودن میکروذرات و نانوذرات آلومینیم به سوخت‌های دکان و اتانول، در غلظت‌های مختلف را مورد مطالعه قرار دادند. متغیرهای آن‌ها، اندازه‌ی ذرات و نوع سوخت مایع بود. آن‌ها رفتار احتراقی قطره‌ی سوخت معلق را روی فیبر سیلیکون کاربید در یک محفظه‌ی استوانه‌ای شکل بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که احتراق قطره‌های سوخت حاوی نانوذرات آلومینیم شامل پنج مرحله‌ی پیش گرمایش، اشتعال، احتراق معمولی، میکرو انفجار، اشتعال ماده پایدار کننده

و اشتعال آلومینیوم می باشد؛ درحالی که احتراق قطره‌ی سوخت حاوی میکروذرات فقط سه مرحله ابتدایی را شامل می‌شود. آن‌ها به نتیجه رسیدند که نانو سوخت‌ها نسبت به میکروسوخت‌ها می‌توانند زمان بیشتری پایدار بمانند و دارای سرعت واکنش بیشتری نیز هستند. از جمله نتایج دیگر تحقیق آن‌ها، بهتر بودن افزودن نانوذرات در غلظت‌های رقیق نسبت به غلظت‌های غلیظ بود. دلایل آن‌ها، افزایش چگالی انرژی سوخت بدون افزایش زمان احتراق، احتراق کامل‌تر و کیفیت بهتر نانو سوخت است.



احتراق معمولی



پیش گرمایش و اشتعال



اشتعال آلومینیوم



اشتعال ماده پایدار کننده

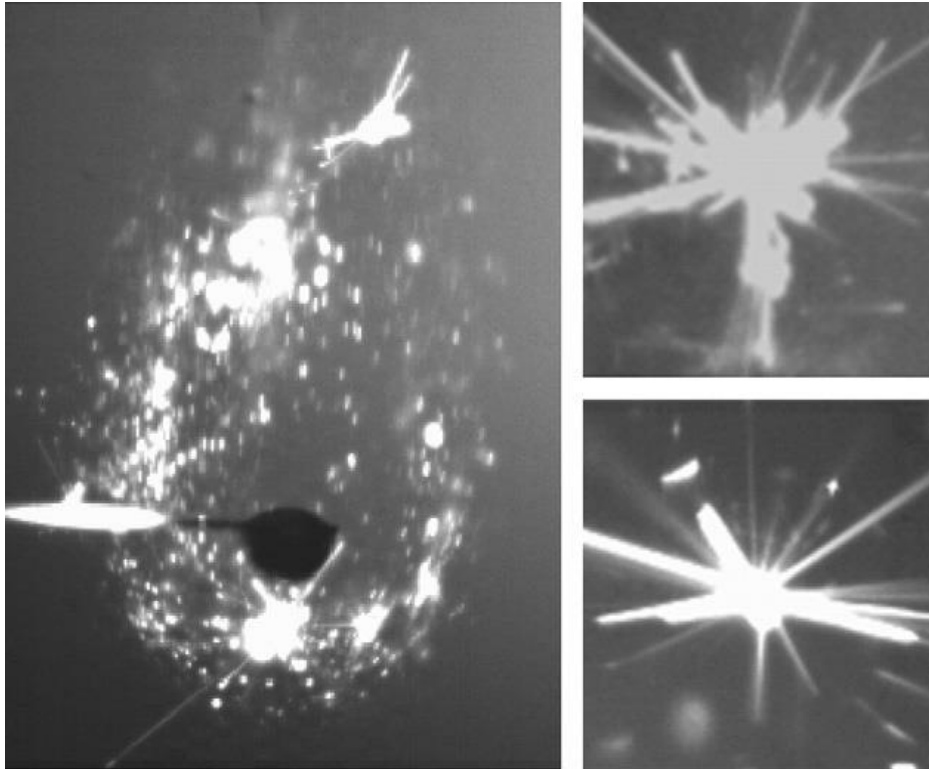


میکروانفجار

شکل (۱-۲): مراحل احتراق قطره نانو سوخت [۸]

در مطالعه دیگر گان و همکاران [۹]، اثر افزودن نانوذرات آهن و بور، بر رفتار احتراقی قطرات سوخت‌های اتانول و دکان، در غلظت‌های را مختلف بررسی کردند. نتایج آن‌ها بیانگر این موضوع است که نانو سوخت‌های غلیظ پس از تبخیر و احتراق کامل سوخت پایه، بیشتر نانوذرات به صورت یک توده انباشته می‌گردند که در صورت کافی بودن انرژی آزاد شده، این توده نیز مشتعل می‌گردد؛ اما در

نانوسوخت‌های رقیق احتراق سوخت پایه و نانوذرات در یک مرحله انجام می‌شود و پدیده‌ی میکروانفجار اتفاق می‌افتد.



شکل (۲-۲): احتراق قطره اتانول حاوی نانوذرات آهن همراه با پدیده میکرو انفجار [۹]

گان و کیائو در دو مطالعه‌ی مجزا به بررسی خواص تشعشعی سوخت اتانول حاوی نانوذرات مختلف پرداختند. در مطالعه‌ی اول آن‌ها [۱۰]، اثر افزودن نانوذرات آلومینیوم و اکسید آلومینیوم بر خواص تشعشعی و نرخ تبخیر قطرات سوخت اتانول مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزودن نانوذرات آلومینیوم در غلظت‌های رقیق به سوخت اتانول میزان جذب انرژی تابشی و در نتیجه نرخ تبخیر قطرات سوخت به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد؛ درحالی‌که این افزایش در حضور نانوذرات اکسید آلومینیوم کمتر است. در مطالعه‌ی دیگر [۱۱]، آنها تبخیر و خواص تابشی اتانول، حاوی نانوذرات کربن و نانولوله‌های کربن را بررسی کردند نتایج آنها نشان داد که افزودن نانوذرات نرخ تبخیر سوخت را افزایش می‌دهد. بیشترین افزایش مربوط به نانولوله‌های کربن است.

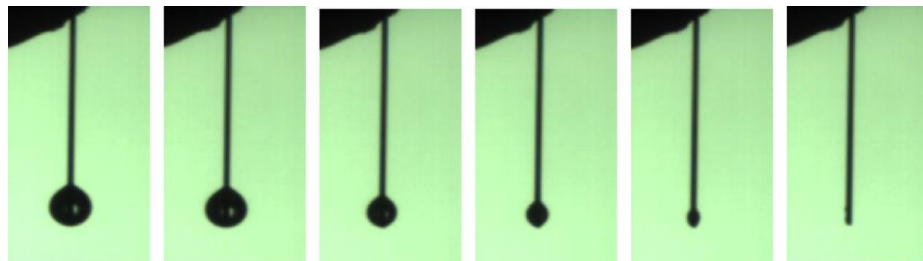
همچنین آن‌ها گزارش کردند که ضریب عبور تابش^۱ نانوسوخت‌ها در مقایسه با اتانول خالص به شدت کاهش می‌یابد و کمترین ضریب عبور تابش مربوط به نانو ذرات آلومینیوم است. با این حال نتایج مدل‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد که در نانولوله‌های کربن به دلیل پراکندگی کمتر انرژی میزان جذب انرژی تابشی از بقیه نانوذرات بیشتر می‌باشد.

تنویر و کیائو[۱۲]، نرخ سوختن قطرات اتانول در حضور نانوذرات آلومینیوم را با استفاده از آزمایش جریان قطره مطالعه کردند. آن‌ها گزارش کردند که با افزودن ۵ درصد جرمی از نانوذرات آلومینیوم به اتانول نرخ سوختن قطرات سوخت ۱۴۰ درصد افزایش می‌یابد. آن‌ها همچنین خواص ترموفیزیکی نانوسوخت اتانول-آلومینیوم را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزودن نانوذرات به اتانول ضریب انتقال حرارت هدایتی سوخت افزایش می‌یابد. به طور مثال در اثر افزودن ۵ درصد جرمی نانوذرات آلومینیوم به سوخت اتانول ضریب انتقال حرارت هدایتی، ۲۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین آن‌ها ویسکوزیته‌ی سوخت را در حضور نانوذرات اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که افزودن نانوذرات به سوخت تغییر چندانی در ویسکوزیته آن ایجاد نمی‌کند.

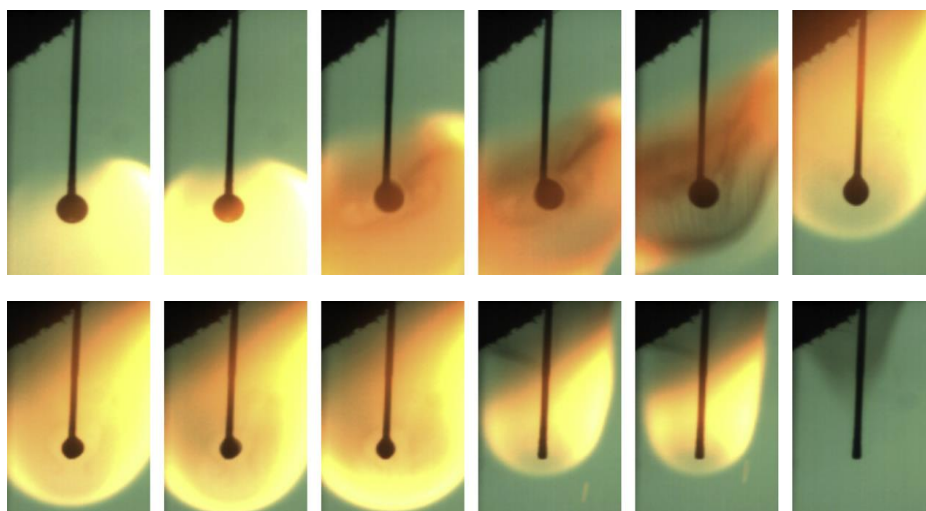
جاوید و همکاران[۱۳]، رفتار احتراقی و اشتعال خود به خودی قطره‌های سوخت هپتان حاوی نانو ذرات آلومینیوم، در غلظت‌های رقیق و غلیظ و در دماهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که تاخیر اشتعال قطرات سوخت هپتان با افزایش دمای محیط به صورت نمایی کاهش پیدا می‌کند. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات آلومینیوم در غلظت‌های رقیق به سوخت هپتان و در دماهای پایین محیط، تاخیر اشتعال قطرات سوخت را کاهش می‌دهد در صورتی که در غلظت‌های غلیظ این زمان افزایش می‌یابد. از دیگر نتایج آن‌ها تغییر رفتار احتراقی قطرات نانوسوخت هپتان-آلومینیوم نسبت به سوخت خالص است؛ به صورتی که قطرات نانوسوخت در هنگام سوختن از قانون کلاسیک دی-تو پیروی نمی‌کنند و پدیده‌ی میکروانفجار در هنگام سوختن این قطرات اتفاق می‌افتد.

^۱ Radiation transmission coefficient

در مطالعه‌ای دیگر جاوید و همکاران [۱۴]، به بررسی رفتار خوداشتعالی و احتراق نانوسوخت نفت سفید-آلومینیوم در دماهای بالای محیط و غلظت‌های رقیق آلومینیم پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که به طور مشابه با قطره‌های نفتی خالص، زمان تاخیر اشتعال قطرات نانوسوخت با افزایش دما، کاهش می‌یابد. با این حال، اضافه کردن غلظت رقیق نانوذرات آلومینیم به نفت سفید باعث کاهش تاخیر اشتعال می‌شود و دمای خوداشتعالی را پایین می‌آورد. دمای خوداشتعالی برای سوخت خالص 700°C و برای نانوسوخت 600°C به دست آمد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که با افزودن نانوذرات Al نرخ تبخیر، نرخ اکسیداسیون و نرخ احتراق افزایش می‌یابد.



الف



ب

شکل (۲-۳): احتراق قطره اتانول الف-سوخت خالص ب-سوخت حاوی نانوذرات آهن همراه با پدیده میکرو انفجار [۱۴]

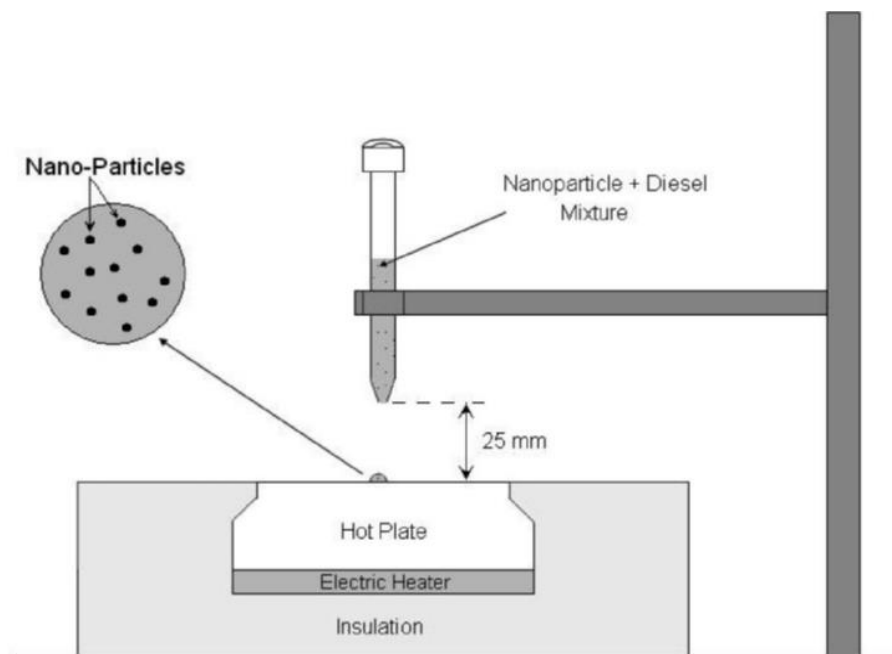
در مطالعه‌ای دیگر جاوید و همکاران [۱۵]، نرخ تبخیر قطرات نفت حاوی نانوذرات آلومینیم در غلظت-های رقیق (۰/۱، ۰/۵ و ۱ درصد وزنی) و در دماهای بالای محیط ($400-800^{\circ}\text{C}$) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دماهای پایین‌تر ($400-600^{\circ}\text{C}$) تبخیر قطرات نانوسوخت همانند قطرات سوخت خالص از قانون دی-تو تبعیت می‌کند؛ اما در دماهای بالاتر ($700-800^{\circ}\text{C}$) این رفتار تغییر می‌کند و پدیده‌ی میکرو انفجار اتفاق می‌افتد. در تمامی غلظت‌ها نرخ تبخیر قطرات نانوسوخت نسبت به سوخت خالص بیشتر است و بیشترین افزایش نرخ تبخیر (۵۶٪) مربوط به غلظت ۰/۵ در دمای 800°C می‌باشد.

اوی و همکاران [۱۶]، در یک تحقیق آزمایشگاهی مشخصه‌های احتراق قطرات سوخت دیزل حاوی نانوذرات اکسید گرافن، اکسید آلومینیم و اکسید سریم در غلظت‌های ۰/۱ و ۰/۱ درصد وزنی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات به سوخت سبب کاهش تاخیر اشتعال و افزایش نرخ سوختن می‌شود. آن‌ها مراحل پیش‌گرمایش، اشتعال و احتراق به همراه پدیده‌ی میکرو انفجار را برای سوختن قطرات نانوسوخت گزارش کردند. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن هر سه نانوذره خواص احتراقی سوخت را بهبود می‌بخشد و نانوذرات اکسید گرافن بیشترین تاثیر را دارند.

آزمایش صفحه‌ی داغ، یک روش دیگر برای مطالعه‌ی رفتار احتراقی قطرات سوخت مایع است. در این آزمایش پارامترهای تاخیر اشتعال و دمای اشتعال قطره سوخت بررسی می‌شوند. تاخیر اشتعال به عنوان فاصله زمانی از لحظه‌ی ای که قطره در معرض محیط با درجه حرارت بالا قرار گرفته است، تا لحظه‌ای که شعله قابل مشاهده باشد، تعریف می‌شود. در این آزمایش قطرات منفرد سوخت از فاصله-ای معین بر روی یک صفحه داغ فلزی با دمای مشخص سقوط می‌کنند و پس از سقوط قطره زمان مشتعل شدن آن و دمای صفحه داغ اندازه‌گیری می‌شود. بدین ترتیب دمای اشتعال و تاخیر اشتعال قطرات سوخت به دست می‌آید.

تیاگی و همکاران [۱۷]، اثر افزودن نانوذرات آلومینیم و اکسید آلومینیم به سوخت دیزل را در غلظت‌های رقیق (۰/۱ و ۰/۵ درصد وزنی) توسط آزمایش صفحه‌ی داغ بررسی کردند. برای هر غلظت، چندین قطره را از یک ارتفاع مشخص و تحت شرایط محیطی یکسان بر روی یک صفحه‌ی داغ از جنس فولاد رها کردند و احتمال اشتعال قطرات سوخت را براساس تعداد قطراتی که مشتعل می‌شوند، اندازه‌گیری کردند. آن‌ها مشاهده کردند که احتمال اشتعال قطرات نانو سوخت به میزان قابل توجهی بیشتر از قطرات سوخت خالص است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که نوع و اندازه‌ی نانوذرات بر احتمال اشتعال قطرات نانو سوخت تاثیری ندارد.

هیوانگ و همکاران [۱۸]، با استفاده از آزمایش صفحه‌ی داغ^۱ احتمال اشتعال قطرات سوخت اتانول حاوی نانوذرات اکسید آلومینیم، اکسید آهن و نانوتیوب کربنی را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات به اتانول احتمال اشتعال قطرات سوخت را افزایش می‌دهد.



شکل (۲-۴): شماتیک آزمایش صفحه داغ

^۱ Hot plate ignition

شمس و مقیمان [۱۹]، در یک تحقیق آزمایشگاهی اثر نوع نانوذرات، اندازه‌ی آن‌ها و اندازه قطرات سوخت را بر احتمال اشتعال سوخت دیزل بررسی کردند. همچنین اثر افزودن نانوذرات اکسید فلزی را بر تاخیر اشتعال قطرات سوخت دیزل مطالعه کردند. آزمایش‌های آن‌ها بر روی صفحه‌ی داغ و با نانوذرات اکسید آلومینیم (Al_2O_3)، اکسید آهن (Fe_3O_4) و اکسید تیتانیوم (TiO_2) در غلظت‌های رقیق ($0/03$ و $0/05$ درصد وزنی) انجام شد. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که احتمال اشتعال سوخت دیزل به طور قابل توجهی با افزودن نانوذرات اکسید فلزی افزایش می‌یابد. همچنین احتمال اشتعال نانوسوخت‌ها با افزایش غلظت نانوذرات، افزایش می‌یابد. احتمال اشتعال نانوسوخت‌های دیزل-اکسید آلومینیم و دیزل-اکسید آهن شبیه به یکدیگر و بیشتر از نانوسوخت دیزل-اکسید تیتانیوم است. نتایج برای نانوسوخت دیزل-اکسید آلومینیم نشان داد که اندازه‌ی نانوذرات بر احتمال اشتعال نانوسوخت تاثیرگذار نیست. به‌علاوه احتمال اشتعال با افزایش اندازه‌ی قطره‌ی سوخت، کاهش می‌یابد. همچنین آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که تاخیر اشتعال قطرات سوخت با افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم، کاهش می‌یابد.

جونز و همکاران [۲۰]، با افزودن نانوذرات آلومینیوم و اکسید آلومینیوم به سوخت اتانول، گرمای آزاد شده‌ی احتراق را توسط آزمایش بمب کالریتر استاتیک اندازه‌گیری کردند. غلظت‌های مورد استفاده‌ی آن‌ها برای نانوذرات آلومینیوم ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ درصد وزنی و برای نانوذرات اکسید آلومینیوم، ۰/۵، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی می‌باشد. نتایج آن‌ها نشان داد که حرارت آزاد شده از نانوسوخت اتانول-آلومینیوم به‌طور خطی با افزایش غلظت نانوذرات افزایش می‌یابد؛ اما گرمای آزاد شده از نانوسوخت اتانول-اکسید آلومینیوم افزایش چندانی ندارد.

۲-۲ مطالعات انجام شده روی عملکرد احتراقی و تولید آلاینده-

های موتور

با توجه به ویژگی‌های مختلف نانوذرات در بهبود خواص احتراقی سوخت، بسیاری از مطالعات با هدف افزایش راندمان موتور و کاهش آلاینده‌های آن انجام شده‌است. کاو و همکاران [۲۱]، احتراق نانوامولسیون دیزل-آب و نانوذرات آلومینیوم را در موتور دیزل بررسی کردند. آن‌ها برای تهیه‌ی امولسیون، ۳۰ تا ۶۰ سی‌سی از نانوسیال آب-آلومینیوم را به یک لیتر از سوخت دیزل افزوده و با یکدیگر مخلوط کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد کلی موتور با استفاده از نانوسوخت بهبود و آلاینده‌های خروجی آن از جمله ناکس، کاهش می‌یابد.

سلوان و همکاران [۲۲]، در یک تحقیق آزمایشگاهی، اثر افزودن نانوذرات اکسیدسربیم به سوخت دیزل و مخلوط سوخت‌های دیزل-بیودیزل و اتانول را بر عملکرد احتراقی و انتشار آلاینده‌های موتور دیزل بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که اکسیدسربیم به‌عنوان کاتالیزور اهداکننده و جذب‌کننده‌ی اکسیژن عمل می‌کند و اکسیژن را برای اکسیداسیون CO فراهم، و برای کاهش NOx جذب می‌نماید. انرژی فعال اکسیدسربیم به کاهش میزان رسوب کربن در داخل سیلندر موتور و در دمای دیواره کمک می‌کند و مانع از رسوب ترکیبات غیر قطبی روی دیواره سیلندر می‌گردد که این موضوع باعث کاهش میزان انتشار آلاینده‌ی HC می‌شود. آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که نانوذرات اکسیدسربیم می‌تواند به عنوان افزودنی در ترکیب سوخت‌های دیزل و دیزل-بیودیزل-اتانول به منظور بهبود احتراق کامل سوخت و کاهش قابل توجه انتشار آلاینده‌های آگروز مورد استفاده قرار گیرد.

ساجیوان و ساجیس [۲۳]، در یک تحقیق آزمایشگاهی اثر اکسیدسربیم (CeO_2) به‌عنوان افزودنی نانو در سوخت بیودیزل، بر خواص فیزیکی و شیمیایی سوخت و همچنین عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که نقطه اشتعال سوخت و ویسکوزیته‌ی آن

با افزودن نانوذرات، افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها بر روی موتور نشان دهنده‌ی بهبود کارایی آن و کاهش انتشار آلاینده‌های هیدروکربن و NOx است.

بشا و آناند [۲۴]، در یک تحقیق آزمایشگاهی به بررسی اثرات نانو امولسیون آب-دیزل و نانولوله-های کربنی، بر عملکرد احتراقی و انتشار آلاینده‌های یک موتور دیزل تک سیلندر پرداختند. نتایج آن-ها نشان داد که فشار حداکثر سیلندر برای نانوامولسیون کمتر از سوخت خالص است که این موضوع می‌تواند در نتیجه‌ی کاهش تاخیر اشتعال سوخت در اثر افزودن نانولوله‌های کربنی باشد. همچنین راندمان حرارتی و مصرف نانوامولسیون آب-دیزل، در مقایسه با سوخت خالص بهبود می‌یابد. انتشار آلاینده‌ی NOx و دود حاصل از احتراق نیز کاهش می‌یابد.

بشا و آناند [۲۵]، در تحقیقی دیگر اثرات افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم به امولسیون دیزل-آب را بر خواص احتراقی سوخت، عملکرد حرارتی و انتشار آلاینده‌های موتور دیزل بررسی کردند. آن‌ها برای تهیه نانو امولسیون، ۸۳٪ از سوخت دیزل، ۱۵٪ آب و ۲٪ سورفکتانت را به همراه نانوذرات اکسید آلومینیم در غلظت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ppm با یکدیگر مخلوط کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد موتور به‌طور قابل توجهی بهبود و انتشار آلاینده‌های NOx و دود کاهش می‌یابد. همچنین آن‌ها خواص تبخیر قطرات نانو امولسیون تهیه شده را توسط آزمایش صفحه داغ اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که نرخ تبخیر سوخت در حضور نانوذرات اکسید آلومینیم افزایش و زمان تبخیر کاهش می‌یابد.

در یک تحقیق آزمایشگاهی تواری و همکاران [۲۶]، اثر افزودن نانولوله‌های چند لایه کربنی به سوخت بایودیزل را بر عملکرد احتراقی و انتشار آلاینده‌های موتور دیزل بررسی کردند. غلظت‌های مورد استفاده‌ی آن‌ها ۲۵ و ۵۰ ppm بود. آن‌ها گزارش کردند که عملکرد گرمایی موتور در مقایسه با سوخت خالص بهبود می‌یابد. همچنین غلظت آلاینده‌های CO و HC افزایش و NOx کاهش می‌یابد.

بناپورماث و همکاران [۲۷]، در یک مطالعه آزمایشگاهی عملکرد گرمایی و انتشار آلاینده‌های یک موتور دیزل حاصل از سوخت بیودیزل حاوی نانوذرات گرافن و نقره و نانولوله‌های کربنی را بررسی کردند. غلظت‌های مورد استفاده‌ی آن‌ها ۲۵ و ۵۰ ppm بود. آن‌ها گزارش کردند که برای تمامی نانوذرات، خواص احتراقی و کاتالیزوری سوخت بهبود و انتشار آلاینده‌های هیدروکربنی کاهش می‌یابد. همچنین نانوذرات گرافن بهترین نتیجه نسبت به بقیه نانوذرات دارند. انتشار آلاینده‌ی NO_x در اثر افزودن تمام نانوذرات به سوخت افزایش می‌یابد.

فنگسواناراک و همکاران [۲۸]، با افزودن نانوذرات اکسید تیتانیوم به سوخت بیودیزل، خواص نانو سوخت حاصل و تاثیر آن بر عملکرد موتور دیزل و آلاینده‌های خروجی را بررسی کردند. آن‌ها نانوذرات را در غلظت‌های ۱٪ و ۲٪ حجمی به سوخت اضافه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از نانوذرات خواص سوخت را بهبود می‌دهد؛ نظیر کاهش لزجت سینماتیکی، افزایش دمای نقطه اشتعال و افزایش عدد ستان سوخت. همچنین عملکرد گرمایی موتور افزایش و میزان انتشار آلاینده‌های CO، NO_x و هیدروکربن‌های نسوخته کاهش می‌یابد.

مهتا و همکاران [۲۹]، به طور تجربی به بررسی ویژگی‌های احتراق، عملکرد موتور و پارامترهای انتشار آلودگی یک موتور تک سیلندر احتراق فشرده^۱ با استفاده از نانو سوخت‌ها پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که نانو سوخت‌هایی که از مخلوط شدن ذرات آلومینیم، آهن و بور با سوخت دیزل به دست می‌آیند دارای نرخ تبخیر بهتر و اشتعال سریع‌تر نسبت به سوخت خالص می‌باشند. مطالعه پارامترهای عملکرد موتور، کاهش قابل توجهی را در مصرف سوخت مخلوط با آلومینیم در مقایسه با سوخت دیزل نشان داد. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که انتشار مونوکسید کربن و انتشار هیدروکربن‌ها با استفاده از نانوذرات آلومینیم و آهن کاهش می‌یابد.

^۱ CI engine

گوموس و همکاران [۳۰]، در یک تحقیق تجربی اثرات افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم و اکسید مس را بر سوخت دیزل مورد مطالعه قرار دادند. پارامترهای مورد بررسی آن‌ها خواص ترموفیزیکی و پایداری مخلوط نانوسوخت‌ها، عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌های آن بود. نتایج آن‌ها نشان داد که پایداری نانوسوخت‌ها با استفاده از سورفکتانت و تنظیم PH بهبود می‌یابد. خواص فیزیکی نظیر چگالی، ویسکوزیته و نقطه تقطیر، تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌کنند. اما خواص گرمایی نظیر نقطه‌ی اشتعال و انتقال حرارت هدایتی سوخت بهتر می‌شوند. همچنین بازده موتور افزایش و انتشار آلاینده‌های CO، HC و NOx کاهش می‌یابد.

اتفاقی و همکاران [۳۱]، در یک تحقیق آزمایشگاهی اثرات نانوامولسیون دیزل-بیودیزل-آب حاوی نانوذرات کوانتومی کربن را بر مصرف سوخت، انتشار آلاینده‌ها و عملکرد احتراقی موتور دیزل بررسی کردند. آن‌ها برای تهیه‌ی نانو امولسیون ابتدا نانوذرات را در غلظت‌های مختلف با آب مخلوط کردند. سپس محلول حاصل را با مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل، مخلوط کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از نانوامولسیون مصرف سوخت را کاهش و قدرت موتور را افزایش می‌دهد که این موضوع به علت اختلاط بهتر سوخت با هوا در محفظه‌ی احتراق تولید اکسیژن بیشتر می‌باشد. همچنین انتشار هیدروکربن‌های نسوخته و NOx کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش قدرت موتور ۲۱٪ و بیشترین کاهش غلظت آلاینده‌ی NOx، ۲۵٪ گزارش شده است.

ماهالینگام و گانسان [۳۲]، در یک تحقیق آزمایشگاهی اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم به سوخت دیزل-بیودیزل را بر عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌های آن بررسی کردند. آن‌ها برای تهیه نانوسوخت، نانوذرات اکسید آلومینیم را در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ppm به مخلوط سوخت دیزل-بیودیزل اضافه کردند. آن‌ها گزارش کردند که با افزودن نانوذرات مصرف سوخت کاهش می‌یابد؛ که این موضوع در اثر خاصیت کاتالیزوری نانوذرات می‌باشد. بیشترین کاهش مربوط به غلظت ۱۰ ppm است. از دیگر نتایج آن‌ها بهبود عملکرد حرارتی موتور و کاهش آلاینده‌ی CO و افزایش آلاینده‌ی

NOx می‌باشد. کاهش آلاینده‌ی CO در نتیجه‌ی کاهش تاخیر اشتعال و احتراق کامل‌تر نانوسوخت است و افزایش آلاینده‌ی NOx در نتیجه افزایش دمای موتور و افزایش NOx حرارتی می‌باشد.

۲-۲ مطالعات انجام شده روی عملکرد احتراقی و تولید آلاینده- های کوره

علی‌رغم مطالعات زیادی که بررسی اثر افزودن نانوذرات بر عملکرد موتور و انتشار آلاینده‌های آن می‌پردازند، مطالعات اندکی در زمینه‌ی بررسی عملکرد نانوسوخت‌ها در کوره انجام شده است. مهرگان [۷]، در یک مطالعه‌ی عددی به بررسی اثر افزودن نانوذرات آلومینیم بر تبخیر، پارامترهای احتراقی و تولید آلاینده‌های سوخت‌های مایع اتانول و دکان در جریان داخل محفظه‌ی احتراق پرداخته‌است. نتایج به‌دست‌آمده برای نانوسوخت‌ها نشان می‌دهد که افزودن نانوذرات آلومینیم به دکان و اتانول سبب کاهش آهنگ تبخیر، کاهش دمای شعله و کاهش انتشار آلاینده‌های CO و NOx می‌گردد.

سانگور و همکاران [۳۳]، در یک تحقیق آزمایشگاهی به بررسی اثرات افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم و اکسید تیتانیوم به سوخت دیزل بر عملکرد احتراقی و انتشار آلاینده‌های شعله‌ی یک دیگ بخار پرداختند. آن‌ها نانوذرات را در غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ppm به سوخت دیزل اضافه کردند. نتایج آن‌ها به‌ترتیب زیر است:

۱- افزودن نانوذرات نرخ انتقال حرارت را افزایش می‌دهد که این موضوع در اثر خواص هدایت حرارتی بهتر نانوسوخت‌ها نسبت به سوخت خالص است.

۲- در شعله‌ی حاصل از احتراق نانوسوخت‌ها اندازه ناحیه دما بالا کاهش یافته و بازده حرارتی ۰/۴ درصد افزایش می‌یابد که این بهبود خواص احتراقی در نتیجه خاصیت کاتالیزوری نانوذرات می‌باشد.

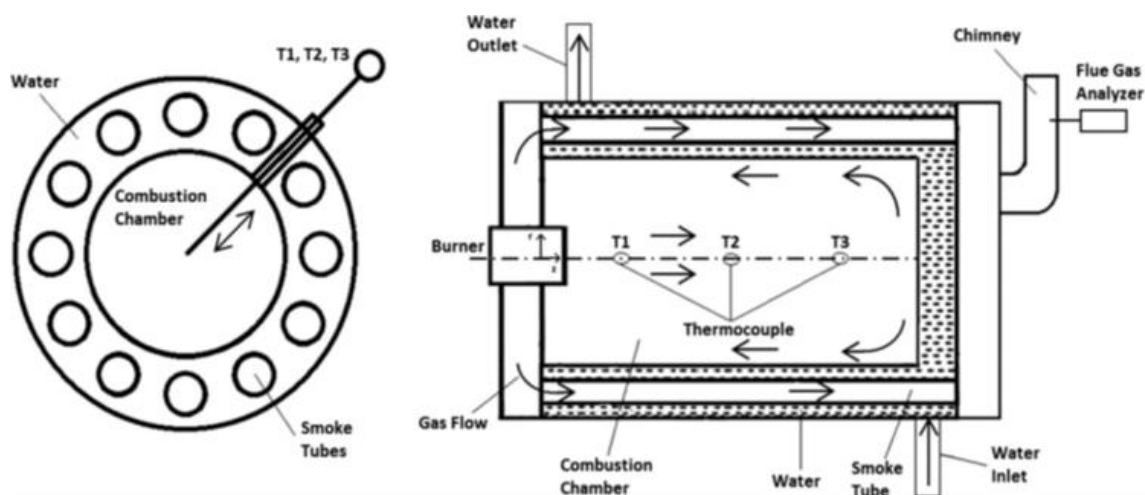
۳- افزودن نانوذرات در تمامی غلظت‌ها انتشار آلاینده‌ی CO را کاهش می‌دهد که بیشترین

کاهش مربوط به افزودن ۳۰۰ ppm از نانوذرات اکسید آلومینیم به سوخت دیزل است.

۴- افزودن نانوذرات تغییر محسوسی در انتشار آلاینده‌ی NOx ایجاد نمی‌کند.

اگرچه نتایج مربوط به نانوذرات اکسید آلومینیم و اکسید تیتانیوم روند مشابهی دارند اما عملکرد

نانوسوخت حاوی نانوذرات اکسید آلومینیم بهتر است.



شکل (۲-۵): شماتیک آزمایش دیگ بخار

وحید و همکاران [۳۴]، در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم به شعله‌ی گاز LPG، بر میزان انتقال حرارت تابشی از شعله را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزودن نانوذرات دمای حداکثر شعله را کاهش می‌دهد و با افزایش غلظت نانوذرات دمای ماکزیمم، افزایش می‌یابد. همچنین آن‌ها گزارش کردند که افزودن نانوذرات میزان انتقال حرارت تابشی از شعله را افزایش می‌دهد.

بقراطی [۳۵]، در یک پژوهش آزمایشگاهی اثر افزودن غلظت‌های مختلف نانو لوله کربنی چند دیواره با گروه عاملی هیدروکسیل (OH) به سوخت هیدروکربنی مایع (به منظور تغییر C/H سوخت پایه) بر توزیع دما و تابش حرارتی شعله را اندازه‌گیری کرد. نتایج نشان داد که افزایش کربن به صورت

نانوذرات، موجب افزایش سرعت واکنش‌ها، کاهش طول شعله، افزایش دما و افزایش تابش حرارتی و افزایش کربن به صورت سوخت سنگین‌تر (C/H بیشتر) موجب کندی احتراق، افزایش طول شعله، افزایش دما و افزایش تابش حرارتی می‌گردد. همچنین افزایش غلظت نانوذرات موجب افزایش سینتیک شیمیایی، افزایش دما و تابش‌های حرارتی و درخشانی می‌شود و نقطه بیشنه‌ی دما در شعله به ابتدای شعله نزدیک‌تر می‌گردد.

شمس [۳۶]، در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی اثر افزودن نانوذرات اکسید آهن، اکسید سریم و گرافن را بر خواص احتراقی و تولید آلاینده‌های سوخت دیزل و نیز بر تابش‌درخشانی (طیف‌مرئی) و تابش حرارتی (طول موج‌های تابشی مرئی و مادون قرمز) شعله بررسی کرد. نتایج آزمایش کوره نشان می‌دهد که افزودن نانوذرات دمای شعله را در بالادست (مقطع اول اندازه‌گیری دما) افزایش می‌دهد. در حالی‌که در پایین دست، دمای شعله نانوسوخت کم‌تر از دمای شعله سوخت خالص است. اندازه‌گیری بازده گرمایی بیان‌گر این است که در حضور نانوذرات اکسید آهن و گرافن، بازده گرمایی افزایش می‌یابد. بررسی تولید آلاینده‌ها نیز نشان می‌دهد که مقدار تولید اکسیدهای نیتروژن در حضور نانوذرات تغییر قابل توجهی ندارد و حداکثر ۷/۵ ppm افزایش می‌یابد. همچنین میزان تولید مونوکسید کربن در حضور نانوذرات اکسید فلزی کاهش و در حضور نانوذرات گرافن افزایش می‌یابد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که برای نانوسوخت‌ها در مقایسه با سوخت خالص توزیع شار گرمایی تابشی و محل بیشینه شار گرمایی تابشی به سمت بالادست شعله جابه‌جا شده است. می‌توان نتیجه گرفت که در حضور نانوذرات توزیع دمای محوری شعله نانوسوخت نیز به سمت بالادست شعله می‌رود. مقدار بیشینه شار گرمایی تابشی در حضور نانوذرات اکسید آهن و گرافن افزایش می‌یابد. مقادیر اندازه‌گیری تابش گرمایی و درخشانی از کل شعله نیز با افزودن نانوذرات افزایش می‌یابد.

پورحسینی و اسماعیلی [۳۷]، در یک تحقیق آزمایشگاهی اثر افزودن نانوذرات نقره بر عملکرد حرارتی-تابشی و انتشار آلاینده‌های یک مشعل سوخت مایع را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها

نشان داد که حرکت براوانی نانوذرات نقره و جابجایی موضعی بین نانوذرات و مایعات مجاور باعث افزایش نرخ تبخیر قطرات نانو امولسیون سوخت می‌شود و میزان مخلوط شدن سوخت با اکسید کننده‌ی هوا را بهبود می‌بخشد. علاوه بر اثر نانوذرات، میکروانفجار نانوذرات درون قطرات آب، میزان مخلوط شدن سوخت با هوا و نرخ اکسیداسیون را افزایش می‌دهد. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که اگرچه میانگین دمای شعله‌ی نانو امولسیون سوخت نسبت به سوخت خالص کمتر است؛ اما گرمای تابشی شعله افزایش می‌یابد. از دیگر نتایج آن‌ها کاهش غلظت آلاینده‌ی NO_x و عدم تغییر قابل توجه غلظت آلاینده‌های CO و CO_2 بود.

فصل سوم

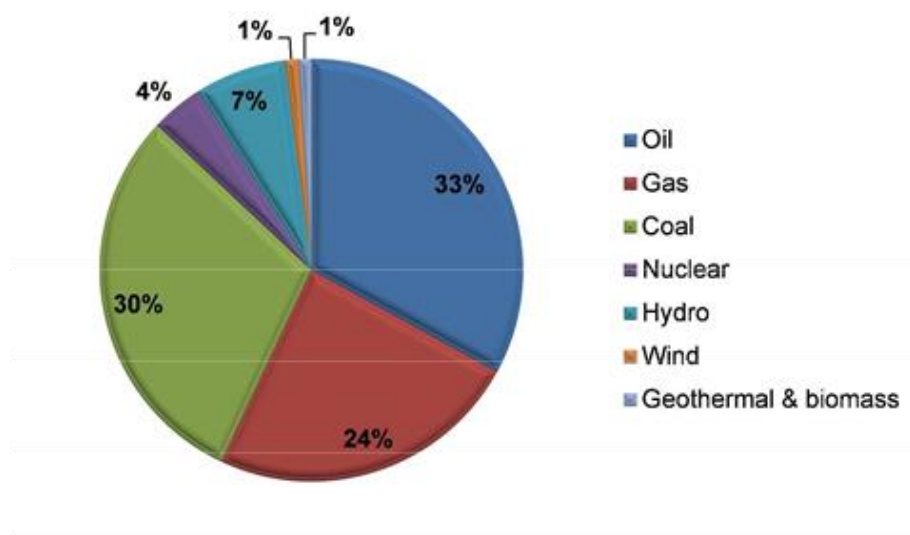
مواد و روش

۳-۱ آماده‌سازی نانوسوخت

در این قسمت ابتدا به معرفی سوخت دیزل و نانوذرات انتخابی پرداخته و سپس روش‌های آماده‌سازی نانوسوخت‌ها و روش به کار رفته در این پژوهش را معرفی می‌کنیم.

۳-۱-۱ سوخت دیزل

سوخت دیزل به صورت گسترده در صنایع حمل و نقل، کشاورزی، تولید برق، هواضا و غیره استفاده می‌شود. سوخت‌های فسیلی بر پایه نفت حدود ۳۳٪ از مصرف انرژی جهان را در سال ۲۰۱۳ به خود اختصاص داده‌اند. افزایش مصرف سوخت دیزل موجب افزایش آلودگی‌های شهری، گازهای گلخانه‌ای و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی می‌شود. با توجه به کاربردهای وسیع سوخت دیزل، اثر افزودن نانوذرات به این سوخت با هدف افزایش راندمان احتراق و کاهش آلاینده‌های آن بررسی می‌گردد. مشخصات و درصد ترکیبات سوخت دیزل مورد آزمایش در جدول (۳-۱) ارائه شده است [۳۶].



21

شکل (۳-۱): مصرف انرژی در سال ۲۰۱۳

جدول (۳-۱): درصد ترکیبات سوخت دیزل

Component	C	H	S	N
Mass fraction (%)	83.450	16.200	0.365	0.100

۳-۱-۲ معرفی نانوذرات

مواد نانومقیاس نسبت به مقیاس ماکرو دارای خواص فیزیکی، شیمیایی، الکتروسیسته و نوری بسیار متفاوتی هستند. مقیاس طول نانو ذرات عموماً بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. برای مقایسه، مقیاس طول یک اتم هیدروژن ۰/۱ نانومتر است. یک ذره کروی به قطر چند نانومتر، تنها هزاران اتم دارد. بنابراین، نسبت اتم‌های سطح به اتم‌های توده حجم به طور چشم‌گیری با کاهش قطره ذره، افزایش می‌یابد. از آنجایی که اتم‌های سطح هماهنگی کمتری دارند، خواص الکتریکی و ترموفیزیکی آن‌ها نسبت به اتم‌های توده حجم بسیار متفاوت است. هنگامی که نسبت سطح به حجم اتمی بزرگ می‌شود، ماده می‌تواند خواص اتم‌های سطح را نشان دهد. به عنوان مثال، طلا یک ماده بی اثر شناخته شده است. با این حال، اگر قطر ذرات طلا تا اندازه ۱-۵ نانومتر کاهش یابد، خواص کاتالیزوری عالی از خود نشان می‌دهند.

یکی از ویژگی‌های مهم مواد نانومقیاس، افزایش سطح مخصوص ماده است که باعث افزایش واکنش‌پذیری آن می‌شود. علاوه بر این نانوذرات نسبت به میکروذرات و ذرات بزرگتر دارای خواص کاتالیزوری و چگالی انرژی بهتری هستند.

نانوذرات فلزی و اکسید فلزی دسته‌ای راهبردی از نانوذرات هستند که به عنوان افزودنی به سوخت مورد توجه قرار گرفته‌اند. این نانوذرات به دلیل ضریب رسانش گرمایی و چگالی انرژی بالا می‌توانند خواص ترموفیزیکی سوخت پایه و در نتیجه انتقال حرارت در سوخت را بهبود دهند. همچنین نانوذرات می‌توانند تاخیر اشتعال دمای شروع اشتعال را تغییر داده و ویژگی‌های احتراقی سوخت را بهتر کنند.

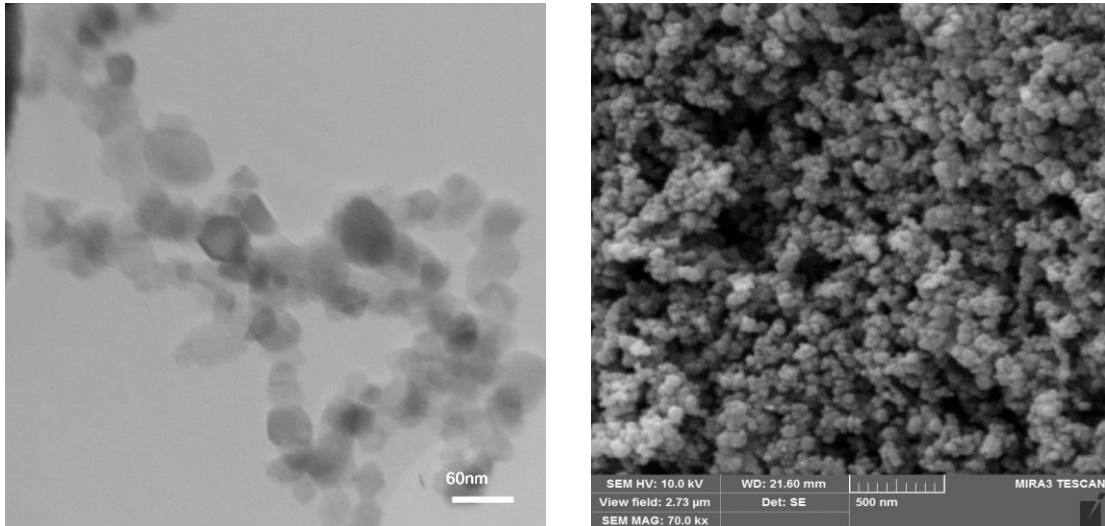
با توجه به ویژگی‌هایی که در بالا ذکر شد، در این پژوهش نانوذرات آهن و اکسید آلومینیم به عنوان افزودنی به سوخت انتخاب شده‌اند. برای مقایسه خواص نانو سوخت، یک نانوذره از نانوذرات فلزی و یک نانوذره از نانوذرات اکسید فلزی انتخاب شده است. نانوذرات از محصولات شرکت US Research

Nanomaterials تهیه شده است. مشخصات نانوذرات از قبیل خلوص و اندازه نانوذرات براساس اعلام شرکت سازنده در جدول (۲-۳) ارائه شده است.

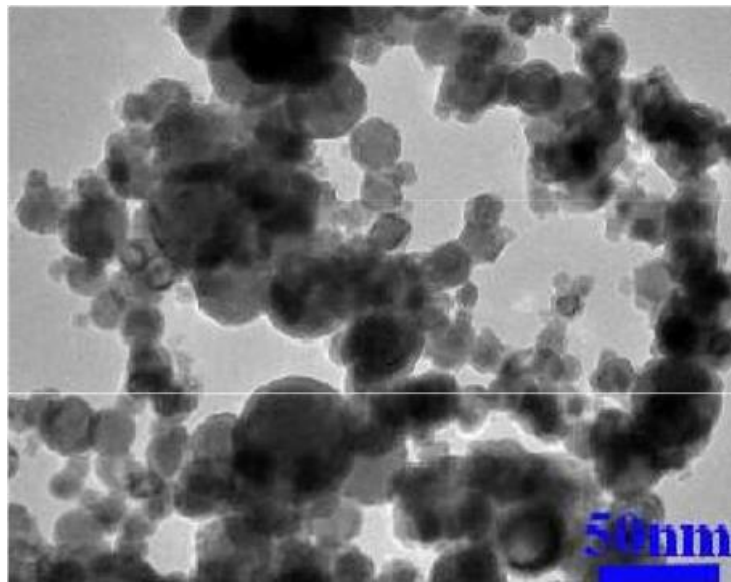
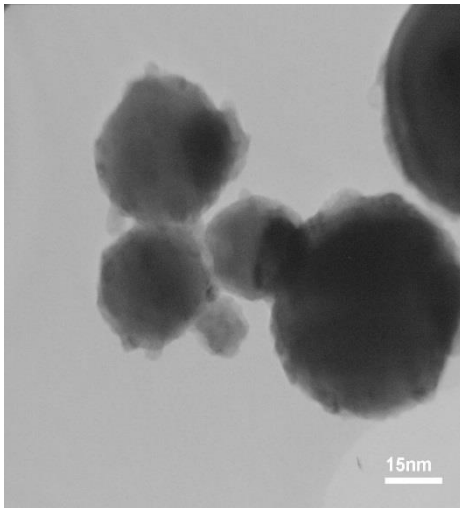
همچنین برای ملاحظه دقیق تر توزیع اندازه نانوذرات تصاویر مربوط به توزیع نانوذرات ارائه شده است.

جدول (۲-۳): مشخصات نانوذرات

چگالی [g/cm ³]	شکل-رنگ	متوسط قطر نانوذرات [nm]	درصد خلوص	نماد	نانوذره
۳/۹۷	کروی-سفید	۲۲	۹۹	Al ₂ O ₃	اکسید آلومینیم
۷/۹	کروی-مشکی	۳۵-۴۵	۹۹,۵	Fe	آهن



شکل (۲-۳): نانوذرات اکسید آلومینیم



شکل (۳-۳): نانوذرات آهن

۳-۱-۳ تهیه نانوسوخت

تهیه نانوسوخت از مراحل کلیدی در انجام آزمایش‌ها است. برای این منظور نانوذرات باید درون سوخت به خوبی مخلوط شوند تا نانوسوخت از پایداری لازم برخوردار باشد. پخش صحیح و پایداری این نانوذرات درون سوخت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گرایش ذاتی نانوذرات به جمع شدن و تشکیل کلوخه از عوامل اصلی برهم زدن پایداری نانوسوخت است. دو شیوه اصلی برای تهیه نانوسوخت وجود دارد که در ادامه معرفی می‌شود.

۱- روش تهیه یک مرحله‌ای: در روش یک مرحله‌ای یا تبخیر مستقیم، نانوذرات درون خود سیال تولید و پراکنده می‌شوند این روش شامل تبخیر تحت شرایط خلأ است. به طور مثال برای تولید نانوذرات فلزی در یک سیال، بخار فلز مستقیماً به درون سیال پایه هدایت می‌شود تا به شکل نانوذرات متراکم گردد. مزیت استفاده از این روش این است که سطح نانوذرات در معرض شرایط نامطلوب قرار نمی‌گیرد و در نتیجه اصطلاحاً بسیار تمیز باقی می‌مانند همچنین پدیده کلوخه‌ای شدن و انباشت نانوذرات کاهش می‌یابد. استفاده از این روش با

محدودیت هایی همراه است زیرا سیال باید فشار بخار بسیار کمی داشته باشد. با این حال روش های شیمیایی تک مرحله ای برای تهیه نانوسیال ها به وجود آمده است که از جمله آن ها می توان به روش احیای نمک فلزات و تهیه سوسپانسیون آن در حلال های مختلف اشاره کرد.

۲- روش تهیه دو مرحله ای: در فرآیند دو مرحله ای ابتدا نانوذرات باروش رسوب بخار شیمیایی در فضای گاز بی اثر به صورت پودر خشک تهیه شده و سپس درون سیال مخلوط می شوند. برای این کار از روش هایی مانند موج دهی صوت، همزن مغناطیسی و همگن ساز استفاده می شود تا توده های نانوذرات کاهش یافته و میزان پراکندگی آنها بهبود یابد. این روش برای تهیه نانو- سوخت ها در غلظت های رقیق از نانوذرات مناسب می باشد. علاوه بر این، نحوه پخش نانوذرات درون سیال پایه از اهمیت خاصی برخوردار است. مزیت استفاده از روش دو مرحله ای امکان تولید مقادیر زیادی از نانو پودرها در مقیاس صنعتی است. بررسی مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که اکثریت محققین از روش دو مرحله ای برای تهیه نانوسیال ها استفاده می کنند.

در این پژوهش نحوه آماده سازی نانوسوخت براساس روش دو مرحله ای است. بدین منظور ابتدا نانوذرات به صورت مکانیکی با سوخت مخلوط شده و سپس از روش موج دهی فراصوت برای توزیع یکنواخت نانوذرات استفاده شده است. مطالعات متعدد در این زمینه نشان داده است که استفاده از روش موج دهی فراصوت یک روش موثر در کاهش کلوخه ای شدن و ته نشینی نانوذرات در نانوسیال است. در گام بعدی مقدار لازم از نانوذرات برای تهیه نانو سوخت ها در غلظت های مشخص با استفاده از یک ترازوی دقیق با دقت ۰/۱ میلی گرم اندازه گیری می شود. سپس مخلوط سوخت و نانوذرات در دستگاه پراب آلتراسونیک مدل UP400A قرار می گیرد. شکل (۳-۳) دستگاه پراب آلتراسونیک استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد. برای دستیابی به پایداری مناسب نانوسوخت، دستگاه در فرکانس ۲۰ کیلوهرتز و با توان ۴۰۰ ولت تنظیم شده است. هر نمونه به مدت ۲۰ دقیقه درون دستگاه امواج فراصوت قرار می گیرد.

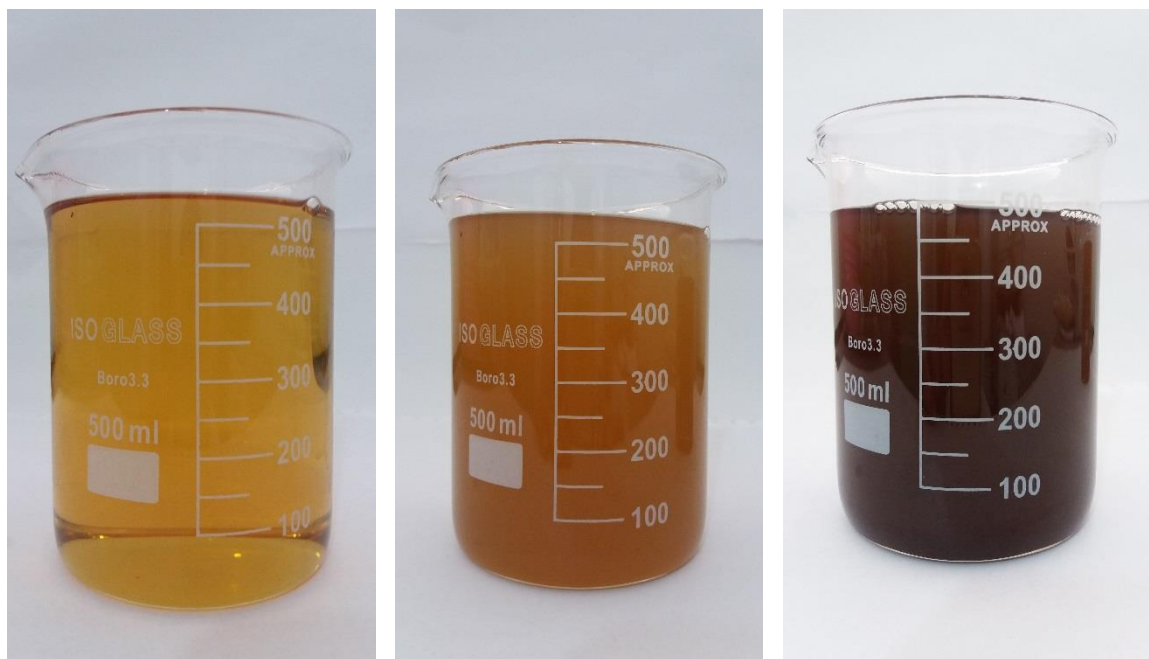


شکل (۳-۴): دستگاه پراب التراسونیک



شکل (۳-۵): ترازو با دقت بالا

نانوسوختها در غلظت‌های ۰/۰۵ و ۰/۰۲۵ درصد وزنی تولید شده‌اند. علت استفاده از غلظت‌های رقیق، جلوگیری از پدیده کلوخه‌ای شدن است. همچنین اکثر مطالعات انجام شده نشان دادند که خواص نانوذرات در غلظت‌های رقیق بهتر نمایان می‌شود. از آنجا که هدف این مطالعه بررسی تاثیر افزودن نانوذرات بر خواص احتراقی سوخت دیزل است، از پایدار کننده‌های شیمیایی استفاده نشده است. تمامی آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش بلافاصله پس از تولید نانوسوخت انجام شده است. همچنین برای کاهش سطح نشینی نانوذرات در حین انجام آزمایش از یک همزن استفاده می‌شود.



خالص

اکسید آلومینیم

آهن

شکل (۳-۶): نمونه نانوسوخت‌ها

۲-۳ تجهیزات آزمایش

در این قسمت تجهیزات مورد استفاده در آزمایش را معرفی می‌کنیم.

۱-۲-۳ کوره آزمایشگاهی

کوره آزمایشگاهی استفاده شده در این پژوهش، از یک استوانه افقی با طول ۱۲۰۰ mm و قطر ۵۰۰ mm تشکیل شده، که در قسمت ورودی آن محلی برای نصب مشعل و در قسمت خروجی نیز محلی برای اتصال دودکش تهیه شده است. سطح داخلی کوره کاملاً صیقلی است، تا هیچ گونه مقاومتی در مقابل حرکت گازهای داغ به وجود نیاید. بدنه کوره از فولاد AISI316 جهت مقاومت در دماهای بالا ساخته شده است. اطراف کوره توسط عایق حرارتی دما بالا با ضخامت مناسب پوشیده شده است. به طوریکه انتقال حرارت از بدنه کوره را تقریباً صفر در نظر گرفت. جنس عایق حرارتی پشم سنگ و ضخامت آن ۴۰ mm می‌باشد. جهت اندازه گیری دما و آلاینده‌ها در قسمت‌های مختلف بدنه کوره و نیز دودکش، سوراخ‌هایی برای نمونه برداری تعبیه شده است. فاصله‌ی آن‌ها به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۸۰ سانتی‌متر از ابتدای کوره می‌باشد. همچنین از آنجایی که چگالی کم گازهای احتراق سبب تمایل حرکت آنها به سمت بالا می‌شود، لذا برای مکش بهتر و کاهش افت فشار از یک دودکش عمودی با ارتفاع ۲ متر استفاده شده است. در شکل (۱-۳) کوره آزمایشگاهی نشان داده شده است.

تمامی آزمایشات بعد از رسیدن دمای کوره به حالت پایدار انجام می‌شود. معیار اینکه چه موقع به حالت پایدار رسیده‌ایم، عدم تغییر قابل توجه دما در نقاط مختلف کوره است.



شکل (۷-۳): کوره آزمایشگاهی

۳-۲-۲ مشعل گازوئیلی

مشعل‌های سوخت مایع از نوع غیر پیش آمیخته هستند و در آنها سوخت و اکسیدکننده از طریق مسیرهای مجزایی در مشعل، وارد محفظه احتراق (کوره) شده و در آنجا با هم مخلوط می‌شوند. در شکل (۸-۳) تصویری از مشعل آزمایش و در جدول (۱-۳) مشخصات آن نشان داده شده است. قسمت‌های مهم مشعل گازوئیلی شامل ۱- موتور ۲- پمپ گازوئیل ۳- شیر برقی ۴- چشم الکتریکی (فوتوسل) ۵- سیستم جرقه زنی ۶- نازل ۷- پره‌های پخش کننده هوا ۸- رله می‌باشد.

این مشعل ساخت شرکت گرمیران و مدل آن GND 300 است.



شکل (۳-۸): مشعل گازوئیلی

جدول (۳-۳): مشخصات مشعل گازوئیلی

۱۲۵	توان موتور [W]
۲۷۳۰/min	دور موتور
۱۲۰۰۰۰	ظرفیت حرارتی [Kcal/h]
پمپ دنده‌ای	پمپ سوخت
۷-۱۴	فشار پمپ [bar]

۳-۲-۳ اندازه‌گیری دبی سوخت مایع (گازوئیل)

برای اندازه‌گیری دبی گازوئیل، از یک استوانه مدرج استفاده شده است. با اندازه‌گیری زمان به وسیله کرنومتر میزان مصرف سوخت بر حسب لیتر در ثانیه محاسبه می‌شود. به این ترتیب که در ابتدای کار حجم گازوئیل ظرف قرائت شده و در پایان آزمایش نیز خوانده می‌شود. با کسر این دو مقدار از هم و اندازه‌گیری زمان شروع تا پایان آزمایش میزان دبی سوخت مصرفی مشخص خواهد شد. برای کاهش خطا این کار در چندین نوبت انجام شده و مقدار متوسط در محاسبات لحاظ شده است. مقدار به دست آمده عبارت است از ۱۰۰ میلی‌لیتر در ۷۳ ثانیه، که با تبدیل واحد، دبی سوخت ۰/۰۷۳۸ لیتر در دقیقه بدست می‌آید.

۳-۲-۴ اندازه‌گیری سرعت هوا

برای اندازه‌گیری دبی حجمی هوای ورودی به مشعل، از یک دبی-سرعت سنج دیجیتال کالیبره شده مدل STANDARD ST-619 (شکل ۳-۳) استفاده شده است. این دبی-سرعت سنج ساخت شرکت استاندارد کشور چین است. دارای دقتی برابر با ۲٪ مقدار سرعت اندازه‌گیری شده می‌باشد. سرعت سنج در داخل یک کانال دایروی انعطاف پذیر که بین مشعل و ورودی کوره قرار گرفته، نصب شده است. طول کانال ۲۰cm و سطح مقطع آن دایره‌ای به قطر ۱۲cm است. سرعت و دبی هوا با تغییر دریچه‌ای که در محل ورود هوا به مشعل نصب شده قابل تنظیم می‌باشد. با اندازه‌گیری دبی حجمی جریان و وارد کردن سطح مقطع کانال به سرعت سنج، سرعت متوسط جریان هوا در کانال مشخص می‌شود. در جدول ۳-۵ اطلاعات به دست آمده مربوط به دبی حجمی و سرعت متوسط جریان هوا نشان داده شده است دهد.



شکل (۳-۹): اندازه‌گیری دبی حجمی هوا توسط سرعت سنج



شکل (۳-۱۰): دبی-سرعت سنج هوا (فلومتر)

جدول (۳-۴): مشخصات فلومتر مدل STANDARD ST-619

۰/۴	کمترین جریان قابل اندازه‌گیری (m/s)
۳۰	بیشترین جریان قابل اندازه‌گیری (m/s)
پره‌ای	نوع سنسور

جدول (۳-۵): دبی حجمی و سرعت متوسط جریان هوای مشعل

سرعت متوسط هوا [m/sec]	دبی حجمی هوا [m ³ /min]
۳/۹۵	۱/۳۳

۳-۲-۵ اندازه‌گیری دما

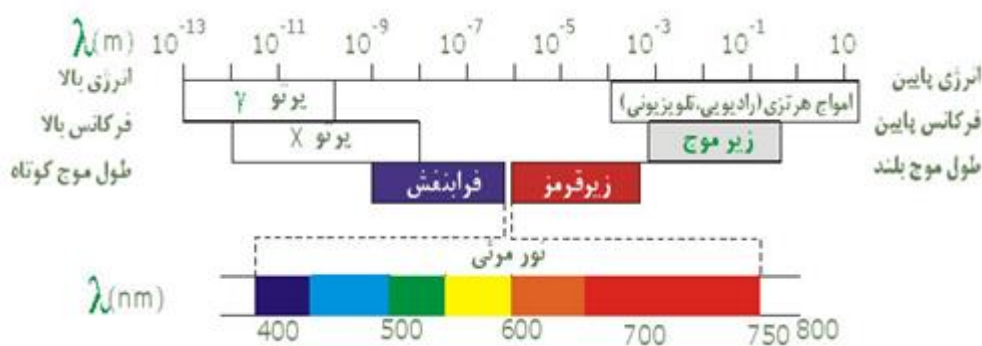
برای اندازه‌گیری توزیع دمای محوری کوره، از یک ترموکوپل نوع S با تحمل دمایی ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و دقت ۲/۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شده است. ترموکوپل‌ها از اتصال دو فلز (رسانا) ناهمجنس به یکدیگر درست می‌شوند. بسته به نوع فلز یا آلیاژ فلزی، انواع ترموکوپل‌ها به وجود می‌آیند. ترموکوپل نوع S از خانواده ترموکوپل‌های فلزات نجیب (پلاتینی) است. شاخه مثبت این ترموکوپل از آلیاژ ۱۰ درصد رودیوم و ۹۰ درصد پلاتین و شاخه منفی آن از پلاتین خیلی خالص تهیه شده است. ویژگی مهم فلزات نجیب و آلیاژهای آنها این است که در دماهای بالا تحت تاثیر تغییرات ساختاری و واکنش‌های شیمیایی قرار نمی‌گیرند. این ویژگی به همراه قابلیت تحمل دماهای بالا و دقت زیاد باعث شده تا این ترموکوپل به عنوان یک وسیله مناسب برای اندازه‌گیری دما در کاربردهای احتراقی مطرح شود. این ترموکوپل مجهز به یک سیستم نمایشگر الکترونیکی، برای نمایش دمای اندازه‌گیری شده و یک غلاف سرامیکی محافظ است که پراب اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد. در شکل (۳-۱۱) تصویری از این ترموکوپل نشان داده شده است.



شکل (۱۱-۳): ترموکوپل نوع S و نمایشگر آن

۲-۳-۶ اندازه‌گیری تابش گرمایی

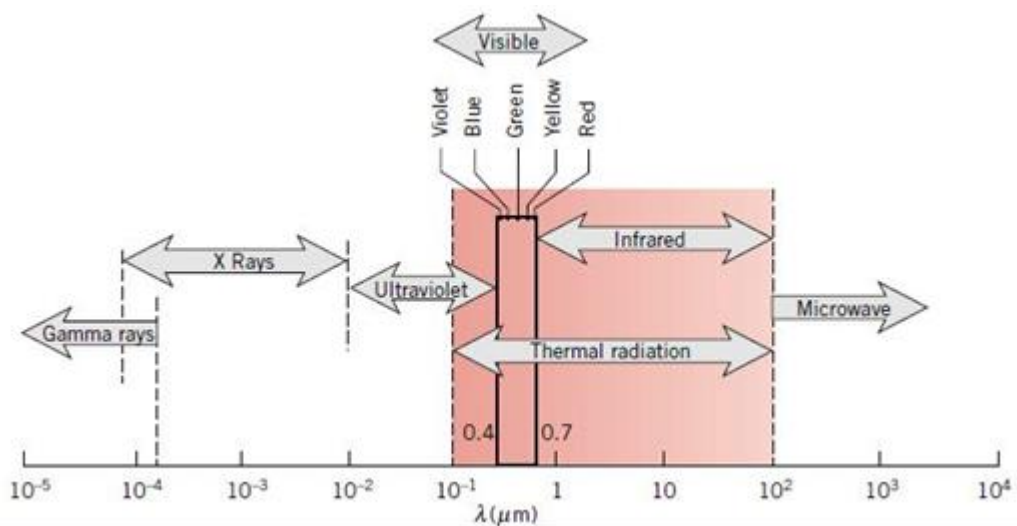
تشعشع از گسیل انرژی توسط ماده نشأت گرفته و برای انتقال آن نیازی به وجود ماده یا محیط واسطه نیست. یکی از رایج‌ترین نظریه‌ها درباره تشعشع، نظریه‌ای است که تشعشع را انتشار امواج الکترومغناطیسی^۱ معرفی می‌کند. این امواج بر اساس خاصیتی به نام طول موج طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۱۲-۳ نام‌گذاری طیف امواج الکترومغناطیسی بر حسب طول موج را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲-۳): نام‌گذاری طیف امواج الکترومغناطیسی بر حسب طول موج

¹ Electromagnetic Waves

در این طیف تشعشع اشعه گاما، اشعه ایکس و امواج ماوراء بنفش که همگی طول موجهای کوتاه دارند، مورد توجه فیزیکدانها و محققین هسته‌ای است که با انرژی زیاد سر و کار دارند. ویژگی این امواج انرژی بالا و نفوذپذیری زیاد آنها است به طوری که به دلیل عبور آنها از اجسام جامد در تصویر برداری‌های پزشکی از این امواج استفاده می‌شود. در مقابل این امواج با طول موج کوتاه، امواج با طول موج بلند مایکروویو^۱ و امواج رادیویی قرار دارد که در کاربردهای مخابراتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این در حالی است که قسمت مرکزی طیف امواج الکترومغناطیس را که شامل طول موج‌های بین ۰/۱ تا ۱۰۰ میکرومتر بوده و شامل امواج مرئی و مادون قرمز^۲ (فروسرخ) است را تشعشع گرمایی (حرارتی) می‌گویند و در انتقال گرما کاربرد دارد (شکل ۳-۱۳).



شکل (۳-۱۳): محدوده تشعشع گرمایی در طیف الکترومغناطیس

برای اندازه‌گیری میزان تابش در ناحیه فروسرخ و مرئی از آشکارساز یا دتکتور^۳ استفاده می‌شود. بعضی از آشکارسازها به تشعشع در تمام طیف حرارتی حساس هستند در صورتیکه برخی دیگر در

^۱ Microwaves

^۲ Infrared Waves

^۳ Detector

محدوده معینی از طول موج‌ها کار می‌کنند. اساساً دو نوع آشکارساز وجود دارد ۱- حرارتی ۲- فوتونی^۱.

آشکارسازهای حرارتی بر پایه گرم کردن یک عضو به وسیله اشعه تابنده استوار است. این آشکارسازها معمولاً از ترموکوپل‌هایی ساخته شده که یا به تنهایی عمل می‌کنند و یا تعدادی از آنها را برای افزایش دقت و حساسیت به طور سری به هم متصل می‌کنند و اصطلاحاً ترموپیل^۲ نامیده می‌شوند. به طور کلی از آشکارسازهای حرارتی برای آشکارسازی طول موج‌های مادون قرمز طیف حرارتی استفاده می‌شود.

آشکارسازهای فوتونی بر پایه عمل متقابل تشعشع و الکترون‌ها در یک جامد استوار هستند. در این مواد تابش سبب تحریک الکترون‌ها برای رفتن به تراز انرژی بالاتر می‌شود. این جامدات معمولاً از مواد نیمه‌هادی ساخته می‌شوند. از مهم‌ترین این آشکارسازها می‌توان به آشکارسازهای فوتوولتائیک^۳ و آشکارسازهای فوتورسانا اشاره کرد.

آشکارسازهای فوتوولتائیک (سلول‌های فوتوولتائیک) رایج‌ترین آشکارساز فوتونی است. یک سلول فوتوولتائیک از یک نیمه‌هادی که معمولاً روکش سلنیوم روی یک هادی مثل آهن می‌باشد، تشکیل شده است. وقتی این نیمه‌هادی را در معرض تشعشعی با طول موج معین قرار می‌دهند سبب می‌شود که در سطح مشترک هادی و نیمه‌هادی جریانی به وجود آید. سلول‌های فوتوولتائیک لزوماً به تابش در ناحیه طیف مرئی حساس هستند. بر این اساس در این پژوهش از آشکارساز حرارتی ترموپیل برای اندازه‌گیری تابش در ناحیه فرو سرخ و از آشکارساز فوتوولتائیک برای اندازه‌گیری تابش در ناحیه مرئی طیف امواج الکترومغناطیسی استفاده شده است [۳۸].

^۱ Photonic

^۲ Thermopile

^۳ Photovoltaic

برای اندازه گیری تابش حرارتی از سنسور حرارتی ترموپیل مدل HFP01 استفاده شده است. این ترموپیل ساخت شرکت HUKSEFLUX کشور هلند است. ترموپیل HFP01 شارحرارتی را برحسب وات بر متر مربع اندازه گیری می کند. سنسور HFP01 یک گرماسنج است. این ترموپیل تفاوت دما بین دوجداره سرامیک کامپوزیت پلاستیک را اندازه گیری می کند. از مشخصات بارز آن می توان به مقاومت گرمایی و الکتریکی پایین و حساسیت سنسور بالا نام برد. مشخصات این ترموپیل در جدول (۳-۴) آمده است.



شکل (۳-۱۴): ترموپیل نوع HFP01 و نمایشگر آن

جدول (۳-۶): مشخصات ترموپیل نوع HFP01

-2000 تا +2000	محدوده اندازه‌گیری [W/m ²]
60×10^{-6}	دقت [V/(W/m ²)]
8×10^{-4}	مساحت حسگر [m ²]
71×10^{-4}	مقاومت سنسور گرمایی [K/(W/m ²)]
$5/4 \times 10^{-3}$	ضخامت سنسور [m]

برای اندازه‌گیری تابش در ناحیه مرئی طیف امواج الکترومغناطیسی (تابش درخشانی) از آشکار ساز فوتولتائیک مدل TES 1332A ساخت شرکت TES تایوان استفاده شده است. دقت این دستگاه برابر ۳٪ است. برای مطالعه اثر نانوذرات بر تابش درخشانی از این دستگاه استفاده شده است.



شکل (۳-۱۵): لوکس‌متر نوع TES 1332A

۷-۲-۳ سیستم اندازه‌گیری آلاینده‌ها

نوع و دقت تجهیزات از مهم‌ترین فاکتورهای هر اندازه‌گیری است، به همین دلیل با پیشرفت تکنولوژی، دقت و توانایی وسایل اندازه‌گیری افزایش یافته و در نتیجه کیفیت اندازه‌گیری نیز بهتر شده است. در این پژوهش از دستگاه گاز آنالیزر A KIGAS 310، برای اندازه‌گیری غلظت گازهای CO₂، CO و NO_x استفاده شده است.

دستگاه گاز آنالیزر A KIGAS 310 از شرکت ابزار KIMO کشور فرانسه است و از سه قسمت اصلی واحد کنترل‌کننده، جعبه آنالیزکننده گاز و پراب تشکیل شده است. در شکل ۱۶-۳ این سیستم اندازه‌گیری نشان داده شده است.



شکل (۱۶-۳): دستگاه اندازه‌گیری گازهای احتراقی

جعبه آنالیز کننده گاز شامل تمامی سنسورها، پمپ‌ها، باطری‌ها و تجهیزات الکترونیکی و کامپیوتری می باشد. همچنین شامل تمامی فیلترها، حافظه و تمامی سخت افزار لازم برای اندازه-گیری جریان گاز و گاز خروجی در دودکش می باشد.

واحد کنترل کننده، تمامی اندازه‌گیری‌های مربوط به جریان گاز و پارامترهای مربوط به شرایط کاری را به طور همزمان نمایش می‌دهد. جعبه آنالیز کننده گاز به وسیله واحد کنترل کننده، کنترل و برنامه ریزی می‌شود. حافظه واحد کنترل قابلیت نگهداری ۲۵۰۰۰۰ داده را دارد. این حافظه به قسمت‌هایی به نام فایل تقسیم شده است، که هر فایل به قسمت‌های کوچکتری به نام لوکیشن تقسیم می‌شود. واحد کنترل به همراه صفحه نمایش دارای پرینتر، سنسور فشار و حافظه به منظور ذخیره اطلاعات می‌باشد. همچنین قابلیت اتصال پراب استاندارد با فیلتر جهت آنالیز گازهای دودکش و پراب اندازه‌گیری اختلاف فشار را دارد.

پرآب اندازه‌گیری قابلیت تحمل دما تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد را دارد. طول لوله پرآب استاندارد ۷۰ cm و جنس آن از فولاد ضد زنگ می‌باشد. دستگاه همچنین قابلیت اتصال پرآب استاندارد به طول ۳۳/۵ cm و تحمل دمایی ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد را نیز داراست. علاوه بر این پرآب صنعتی با قابلیت افزایش طول از ۱ m تا ۳ m و تحمل دمایی ۶۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز قابل اتصال به دستگاه می‌باشد. این پرآب با فیلتر، جهت آنالیز گازهای دودکش دارای گرد و غبار به کار می‌رود.

دستگاه به منظور تعیین مقدار اکسیژن و آلاینده‌های موجود در جریان گاز، از سنسورهای الکتروشیمیایی استفاده می‌کند.



شکل (۳-۱۷): دستگاه گاز آنالیزر A KIGAS 310

در جدول ۳-۷ محدوده اندازه‌گیری و دقت سنسورهای مختلف دستگاه اندازه‌گیری A KIGAS

310 ارائه شده است.

جدول (۳-۷): محدوده اندازه‌گیری و دقت سنسورهای مختلف دستگاه گاز آنالیزر

Parameters	Sensor	Measuring range	Resolution	Accuracy*	T ₉₀ response time
Long-life O ₂	Electrochemical	From 0% to 21%	0.1% vol.	±0.2% vol.	30 s
CO (with H ₂ compensation)	Electrochemical	From 0 to 8000 ppm	1 ppm	From 0 to 200 ppm: ±10 ppm From 201 to 2000 ppm: ±5% of the measured value From 2001 to 8000 ppm: ±10% of the measured value	30 s
NO	Electrochemical	From 0 to 5000 ppm	1 ppm	From 0 to 100 ppm: ±5 ppm. From 101 to 5000 ppm: ±5% of the measured value	30 s
Low range NO	Electrochemical	From 0 to 500 ppm	0.1 ppm	From 0 to 40 ppm: ±2 ppm From 41 to 500 ppm: ±5% of the measured value	30 s
NO _x	Calculated**	From 0 to 5155 ppm	0.1 ppm or 1 ppm***	-	-
NO ₂	Electrochemical	From 0 to 1000 ppm	1 ppm	From 0 to 100 ppm: ±5 ppm. From 101 to 1000 ppm: ±5% of the measured value	80 s
SO ₂	Electrochemical	From 0 to 5000 ppm	1 ppm	From 0 to 100 ppm: ±5 ppm. From 101 to 5000 ppm: ±5% of the	80 s

				measured value	
CO₂	Calculated**	From 0 to 99% vol	0.1% vol	-	-
CH₄	Semiconductor	From 0 to 10000 ppm From 0 to 1% Vol From 0 to 20%LEL	1 ppm 0.0001% Vol 0.002 %LEL	±20% of full scale	40 s
Flue gas temperature	K thermocouple	From -100 to +1250°C	0.1°C	±0.4% of the measured value or ±1.1°C	45 s
Ambient temperature	Internal NTC	From -20 to +120°C	0.1°C	±0.5 °C	
Ambient temperature	Pt100 (1/3 DIN external probe)	From -50 to +250°C	0.1°C	±0.3% of the measured value ±0.25°C	30 s
Dew point temperature	Calculated**	From 0 to +99°Ctd	0.1 °C	-	-
DHW temperature	TcK (external probe)	From -200 to +1300°C	0.1°C	±0.4% of the measured value or ±1.1°C	-
Draft	Piezoelectric	From -10 to +10 Pa From -1000 to +1000 Pa	0.1 Pa 1 Pa	From -100 to -10 Pa: ±2 Pa From -10 to +10 Pa: ±0.5 Pa From +10 to +100 Pa: ±2 Pa Above: ±2% of the measured value	-
Differential pressure	Piezoelectric	From -20 000 to +20 000 Pa	1 Pa	From -20 000 to -751 Pa: ±0.5% of the measured value ±4.5 Pa From 750 to -61 Pa: ±0.9% of the measured value ±1.5 Pa From -60 to 60 Pa: ±2 Pa From 61 to 750 Pa: ±0.9% of the measured value ±1.5 Pa From 751 to 20 000 Pa: ±0.5% of the measured value ±4.5 Pa	-
Losses	Calculated**	From to 100%	0.1%	-	-
Flue gas velocity	Calculated**	From to 99.9 m/s	0.1 m/s	-	-
Excess air (λ)	Calculated**	From 1 to 9.99	0.01	-	-
Lower efficiency (ηs)	Calculated**	From 0 to 100%	0.1%	-	-
Higher efficiency (ηt) (condensation)	Calculated**	From 0 to 120%	0.1%	-	-
Opacity index	External instrument	From 0 to 9	-	-	-

۳-۲-۷-۱ نمونه برداری با دستگاه گاز آنالیزر

برای نمونه برداری توسط این دستگاه دو روش وجود دارد:

- نمونه برداری به صورت اتوماتیک

• نمونه برداری به صورت دستی

در این پژوهش برای سنجش آلاینده‌ها، از روش نمونه برداری به صورت دستی استفاده شده، که به تشریح آن می پردازیم:

۱- متعلقات دستگاه شامل پراپ و کابل برق را نصب و دستگاه را روشن می کنیم (۶۰ ثانیه زمان صفر کردن دستگاه است).

۲- انتخاب نوع سوخت دستگاه: برای انتخاب نوع سوخت وارد منوی دفترچه می شویم. گزینه input را انتخاب کرده و در منوی ظاهر شده گزینه fuel و سپس سوخت مورد نظر را انتخاب می کنیم.

۳- لوله نمونه برداری را در محل آزمایش قرار داده و حدوداً ۲ دقیقه صبر می کنیم تا پراپ با محیط نمونه برداری هم‌دمای شود.

۴- دکمه Pstart را فعال می کنیم تا پمپ شروع به مکش و نمونه برداری کند. برای تعیین آلاینده‌های خروجی دودکش، نمونه برداری در فاصله طولی یک متر قبل از خروج محصولات از دودکش به هوای آزاد و نیز در مکان شعاعی بین $\frac{1}{3}$ تا $\frac{2}{3}$ شعاع دودکش (۱۶ سانتی متر) صورت گرفته است.

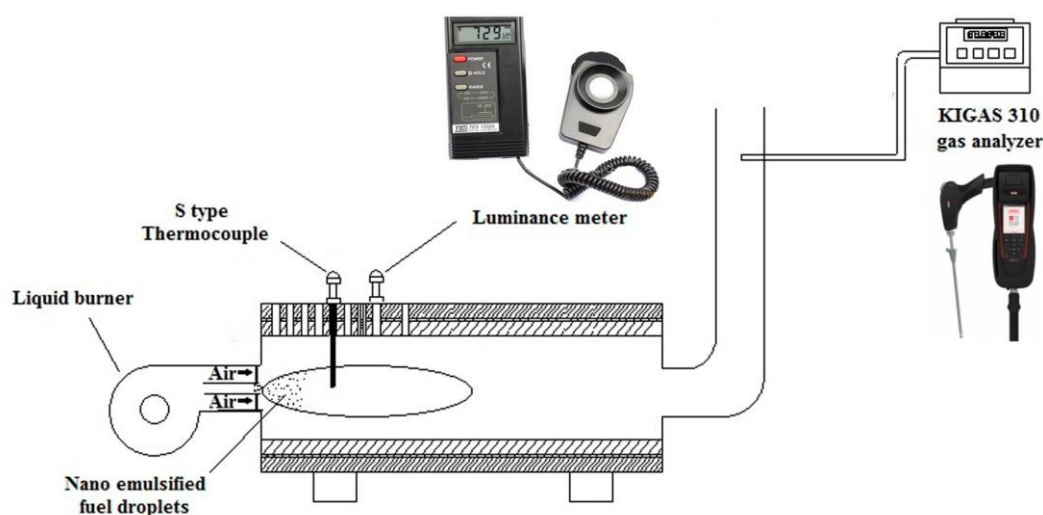
۵- بعد از اینکه دمای گاز ثابت شد (به شرایط پایدار رسیدیم) مقادیر به دست برای غلظت مواد مختلف را یادداشت می کنیم.

۶- دکمه Pstop را فشار می دهیم تا نمونه برداری متوقف شود.

۳-۳ روش آزمایش

آزمایش‌ها بر روی کوره استوانه‌ای آزمایشگاهی انجام شد. یک مشعل سوخت مایع با ظرفیت ۱۲۰ هزار کیلو کالری بر ساعت انتخاب و در ابتدای کوره برای ایجاد شعله نصب شد. سوخت مایع توسط یک نازل مخروطی توخالی که در مرکز خروجی مشعل قرار گرفته است، جریان می یابد تا

قطرات حاصل با جریان هوا ترکیب شوند. فشار تزریق سوخت ۱۰ بار و زاویه مخروط اسپری ۶۰ درجه است. یک ترموکوپل نوع S برای اندازه گیری دمای محوری استفاده شد. علاوه بر این، تابش حرارتی شعله توسط تابش سنج ترموپیل اندازه گیری می شود. همچنین، برای جلوگیری از تداخل تابش منتشر شده از دیواره های کوره، تابش حرارتی شعله در خارج از کوره اندازه گیری شد. تابش حرارتی از اشعه مادون قرمز و تابش مرئی تشکیل شده است. در تحقیقات احتراق، طول موج قابل مشاهده از شعله به نام درخشانی شناخته می شود. برای به دست آوردن درخشندگی شعله، از یک لوکس متر دیجیتال TES-1332A استفاده کردیم. یک گاز آنالیزر KIGAS 310 (شرکت ابزار KIMO) برای به دست آوردن غلظت انتشار CO و NOx در خروجی کوره استفاده شد. دقت اندازه گیری CO و NO به ترتیب ± 10 و ± 5 ppm بود. برای اطمینان از دقت نتایج، تمام آزمایش ها دوبار انجام شد. آزمایش در شرایط محیطی با دمای ۳۰ درجه سانتی گراد و فشار محیط ۱۰۰ کیلوپاسکال و رطوبت هوای ۲۰٪ و در ارتفاع ۱۱۰۵ متر از سطح دریا انجام شده است.



شکل (۳-۱۸): شماتیک ستاپ آزمایشگاهی



شکل (۳-۱۹): ستاپ آزمایشگاهی

فصل چہارم

ارائہ و بررسی نتائج

۴-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا مقدمه‌ای درباره تابش حرارتی بحث می‌کنیم. سپس انتقال حرارات از قطره حاوی نانوذرات بررسی کرده و در ادامه نتایج به دست آمده از آزمایش‌های اندازه‌گیری تابش و دمای شعله و غلظت آلاینده‌ها در خروجی را ارائه می‌کنیم. در پایان این فصل به تحلیل و جمع‌بندی نتایج می‌پردازیم.

۴-۲ تابش

تابش به صورت ساده توسط انتقال انرژی بوسیله امواج الکترومغناطیسی تعریف می‌شود که مشخصات آن با توجه به طول موج یا فرکانس طبق رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\lambda = C/\nu \quad (۴-۱)$$

که C سرعت نور، λ طول موج و ν فرکانس می‌باشد. در انتقال حرارت تابشی، طول موج بیشترین کاربرد را دارد. در احتراق متداول در صنعت، با توجه به گستره دمایی آن، طیف طول موجی مادون قرمز بیشترین تاثیر را دارد.

چهار حالت ممکن در هنگام تابش در جامد، مایع یا گاز به صورت زیر است:

- طیف تابشی جذب شود
- طیف تابشی منعکس شود
- طیف تابشی عبور کند
- ترکیبی از سه حالت فوق اتفاق افتد

به‌طور کلی:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (۴-۲)$$

که α ضریب جذب، ρ ضریب انعکاس و τ ضریب عبور است. ضریب عبور برای بیشتر مواد جامد

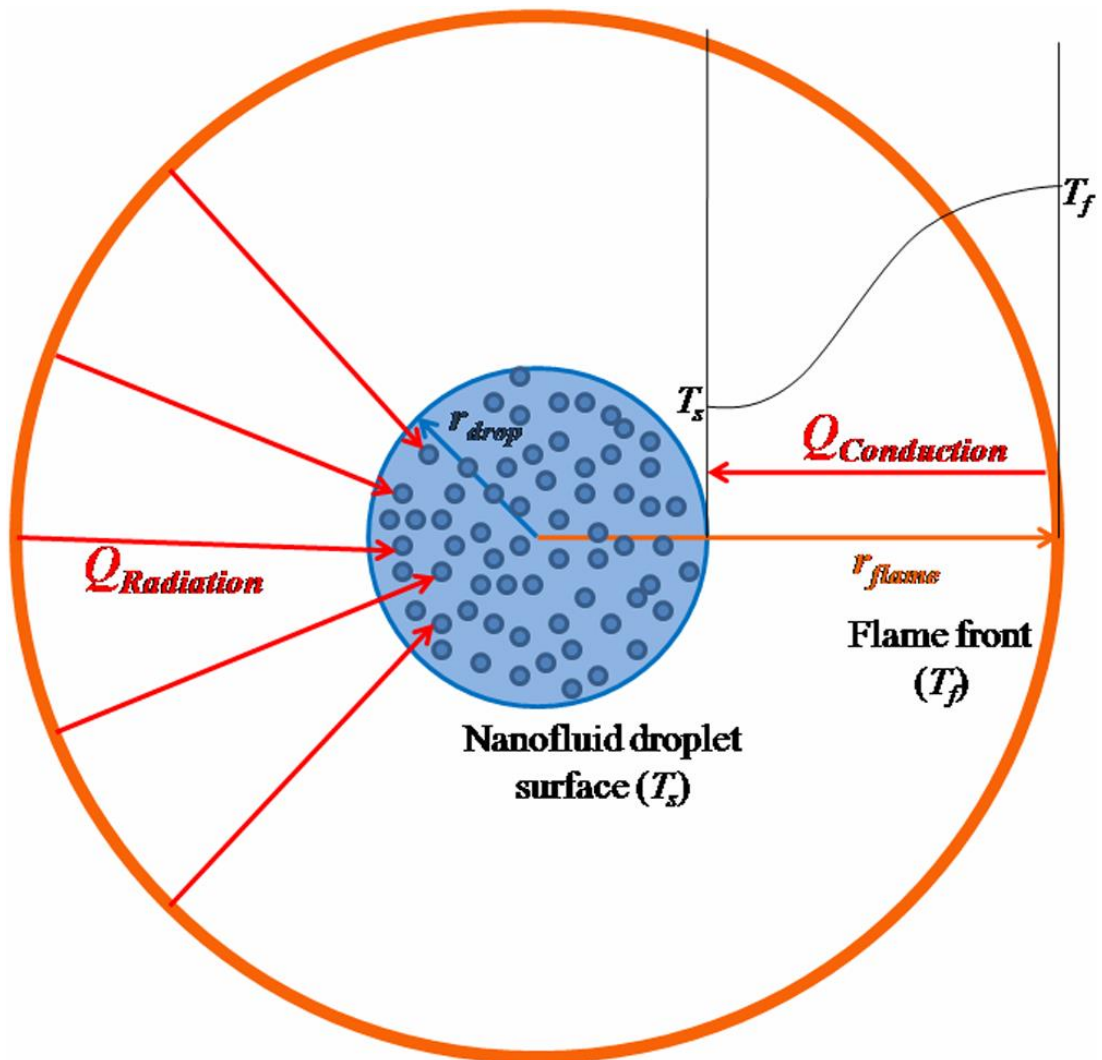
به جز موادی مانند شیشه و پلاستیک، ناچیز است. بنابراین ضریب جذب و ضریب انعکاس با یکدیگر نسبت عکس دارند.

۳-۴ مکانیزیم احتراق قطره نانوسوخت

احتراق قطره نانوسوخت یک پدیده بسیار پیچیده است، که شامل فرایندهای چندفازی، چندجزئی و چند مقیاسی می‌باشد. فرایندهای فیزیکی و شیمیایی متعددی در حین احتراق قطره نانوسوخت اتفاق می‌افتد و این فرآیندها می‌توانند با یکدیگر در تعامل باشند که این موضوع مسئله را دشوارتر می‌کند. این فرایند شامل تبخیر سوخت مایع، احتراق سوخت مایع در فاز بخار، احتراق ذرات جامد، انتقال جرم و انرژی بین فازها، دینامیک ذرات و سایر ترکیبات است. علاوه بر این، خواص فیزیکی نانوسوخت‌ها می‌تواند بسیار متفاوت‌تر از سوخت‌های پایه باشد. به عنوان مثال نانوسوخت‌ها هدایت حرارتی که از حرکت تصادفی نانوذرات درون سوخت مایع نشأت می‌گیرد را، به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهند. علاوه بر این، خواص تابش نانوذرات نیز می‌تواند به احتراق کمک کند. نظریه‌های متعددی برای توضیح افزایش هدایت حرارتی نانوسوخت‌ها پیشنهاد شده است؛ مانند حرکت براونی نانوذرات، هدایت حرارتی بیشتر در لایه تماسی بین نانوذرات و قطرات سوخت و "تونل زدن" فونون‌های حرارتی از یک ذره به ذره دیگر. با این وجود، مطالعه درباره دیگر خواص انتقال حرارتی نانوسوخت‌ها، به خصوص خواص تابشی و نوری آن‌ها، کمتر انجام شده است.

مشعل‌های سوخت مایع از تزریق اسپری استفاده می‌کنند تا سوخت مایع را به قطره‌های کوچک تبدیل کنند. در چنین سیستم‌های احتراق اسپری، قطر متوسط قطرات معمولاً از مقیاس میکرومتر است. بنابراین، هنگامی که نانوذرات به سوخت مایع مورد استفاده در سیستم اضافه می‌شوند، قطره‌های سوخت حاوی تعدادی از نانوذرات درون خود می‌باشند. نانوذرات جامد دارای خصوصیات حرارتی بهتر از قطرات سوخت مایع هستند؛ بنابراین، می‌توانند سرعت تبخیر و فرآیند مخلوط کردن قطرات، ویژگی‌های احتراق و انتشار آلاینده را تغییر دهند.

شکل (۱-۴) شماتیک تعادل انرژی برای یک قطره نانوسوخت را نشان می‌دهد. انتقال حرارت کل از شعله به قطره شامل دو قسمت است: ۱- گرمای هدایتی ($Q_{conduction}$) و ۲- جذب تابش توسط نانوذرات ($Q_{radiation}$).



شکل (۱-۴): شماتیک تعادل انرژی برای یک قطره نانوسوخت

۱- انتقال حرارت هدایتی:

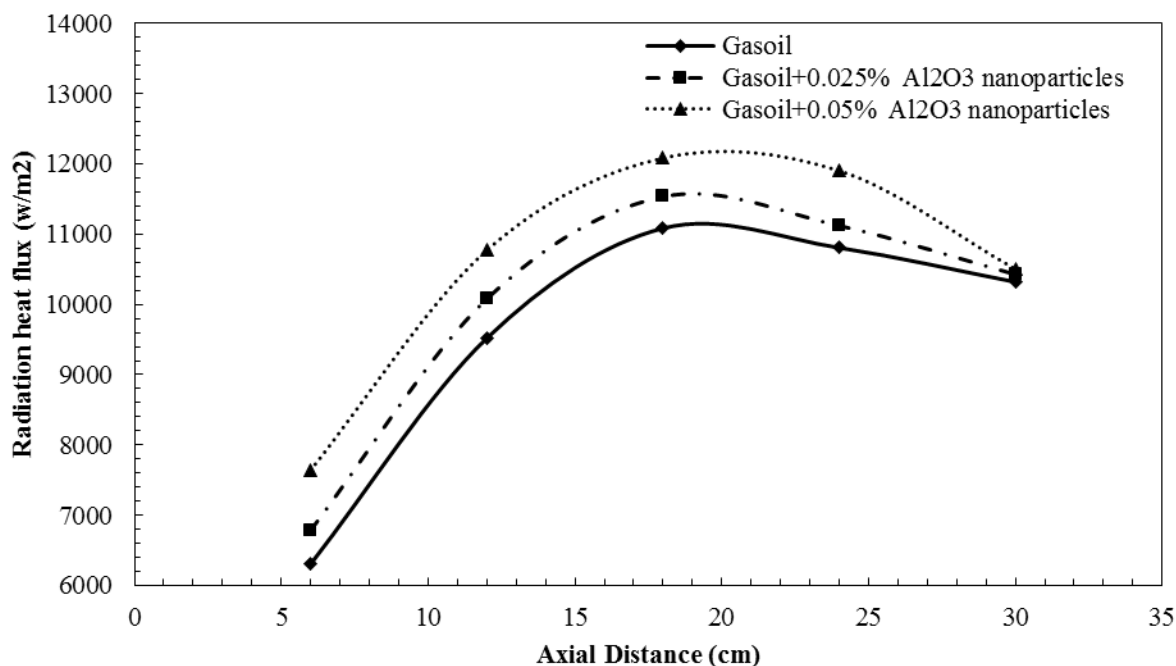
نانوذرات دارای ضریب هدایت حرارتی بالاتر از سوخت دیزل هستند. بنابراین، آنها گرما را از منطقه واکنش شعله سریع‌تر از قطره‌های سوخت جذب می‌کنند و در نتیجه نرخ افزایش دمای نانوذرات بیشتر از مایعات مجاور خواهد بود. در نتیجه، از آنجا که بین نانوذرات و مایعات مجاور

اختلاف دما وجود دارد و نانوذرات دارای حرکت براونی هستند، انتقال حرارت جابجایی محلی بین نانوذرات و مایعات مجاور رخ می‌دهد. این پدیده گرمای جذب شده را درون مایع پایه پراکنده می‌کند و در نتیجه باعث افزایش دمای قطره می‌شود که میزان نرخ تبخیر قطره‌های نانوسوخت را در مقایسه با سوخت دیزل افزایش می‌دهد.

۲- انتقال حرارت تابشی

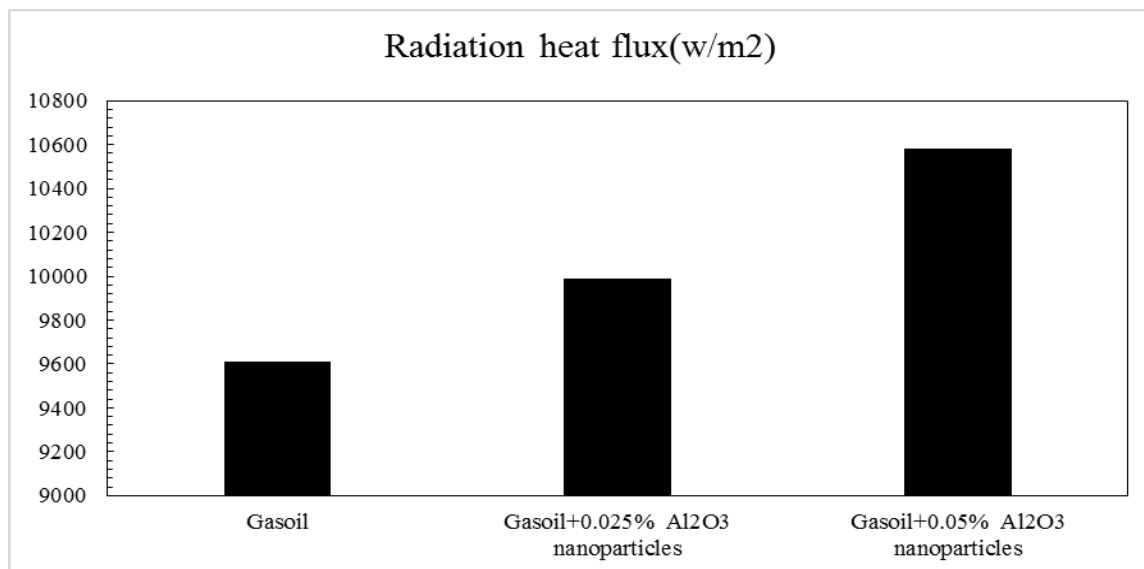
هنگامی که یک قطره نانوسوخت در معرض تابش قرار می‌گیرد، بخشی از انرژی تابش منعکس می‌شود و بقیه به درون قطره از طریق جذب وارد می‌شوند. در یک قطره نانوسوخت، انرژی تابشی توسط مایع پایه و نانوذرات جذب می‌شود و دومی ممکن است مهم‌تر باشد. اگر ضریب جذب تابش نانوذرات نسبت به ضریب انعکاس آن‌ها بیشتر باشد مقدار انرژی تابشی جذب شده را افزایش می‌دهد که این موضوع باعث افزایش نرخ تبخیر قطره نانوسوخت می‌گردد. اما اگر ضریب انعکاس تابش نانوذرات نسبت به ضریب جذب آن‌ها بیشتر باشد، بیشتر انرژی از قطره نانوسوخت دفع می‌شود که این موضوع می‌تواند سبب کاهش نرخ تبخیر قطره نانوسوخت شود. براساس تحقیقات انجام شده سهم انتقال حرارت تابشی نسبت به انتقال گرمای هدایتی در مکانیزم احتراق قطره نانوسوخت بیشتر است [۱۲].

۴-۴ نتایج گرمای تابشی شعله



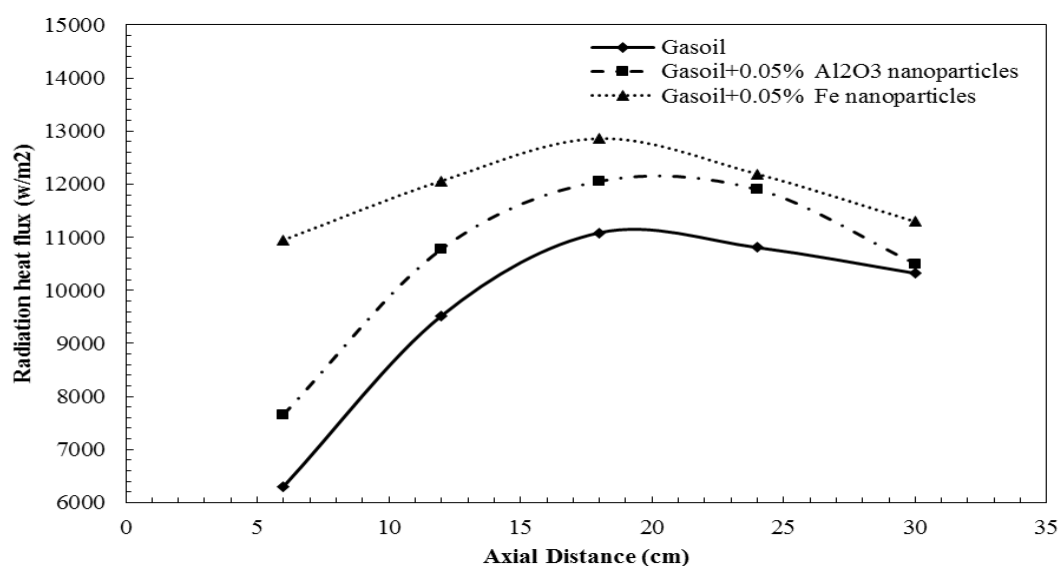
شکل (۴-۲): نمودار گرمای تابشی برای غلظت‌های اکسید آلومینیم

این نمودار نشان می‌دهد که برای تمامی غلظت‌ها، چه سوخت خالص و چه سوخت همراه با نانوذرات رفتار شعله طبق یک الگو می‌باشد. به عبارت دیگر برای هر سه غلظت، در ابتدای شعله مقدار گرمای تابشی کم است و با حرکت در راستای شعله مقدار گرمای تابشی افزایش می‌یابد تا به یک مقدار ماکزیمم می‌رسد و سپس کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه با افزودن نانوذرات به سوخت رفتار انتقال حرارت تابشی در طول شعله تغییر نمی‌کند.



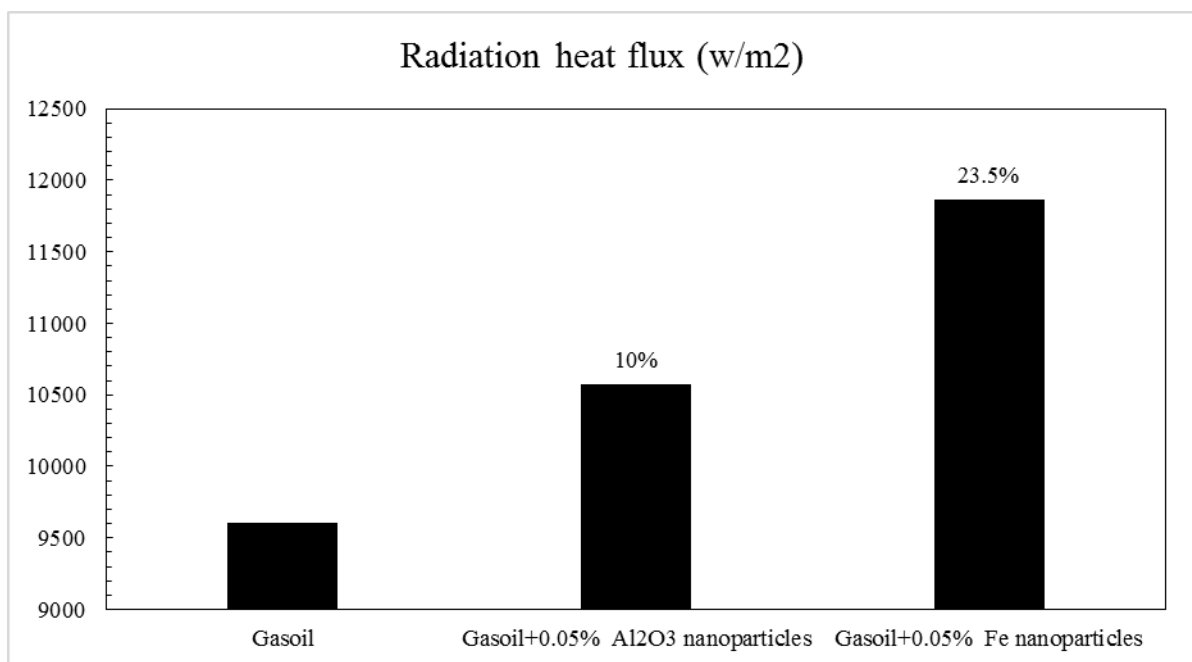
شکل (۳-۴): نمودار متوسط گرمای تابشی برای غلظت های مختلف اکسید آلومینیم

این نمودار نشان می دهد که در اثر افزودن نانوذرات Al₂O₃ به سوخت دیزل مقدار متوسط گرمای تابشی افزایش می یابد؛ که این افزایش با افزایش غلظت بیشتر می شود. علت استفاده از غلظت های رقیق این است که در غلظت های بالای نانوذرات پدیده کلوخه شدن اتفاق می افتد که این امر باعث ته نشین شدن نانوذات شده و اثر افزودن آنها را از بین می برد.



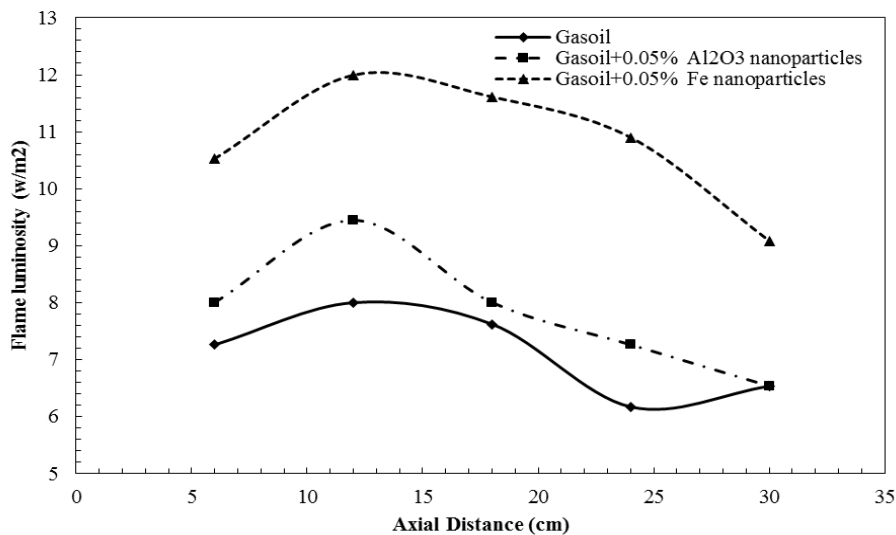
شکل (۴-۴): نمودار گرمای تابشی برای نانوذرات در طول شعله

این نمودار نشان دهنده این موضوع است که با افزودن نانوذرات مقدار گرمای تابشی شعله افزایش می یابد که این افزایش برای نانوذرات Fe بیشتر از Al_2O_3 می باشد. همچنین محل مقدار ماکزیمم حرارت تابشی برای هرسه حالت، یک نقطه می باشد. نکته قابل توجه دیگر برای نانوذرات Fe این است که افزودن این نانوذرات علاوه بر افزایش مقدار گرمای تابشی باعث ایجاد یک شعله همگن شده است. به عبارت دیگر مقدار گرمای تابشی در نقاط مختلف به یکدیگر نزدیک شده است که این امر باعث پخش حرارت در تمام طول شعله می گردد.



شکل (۴-۵): نمودار متوسط گرمای تابشی برای نانوذرات

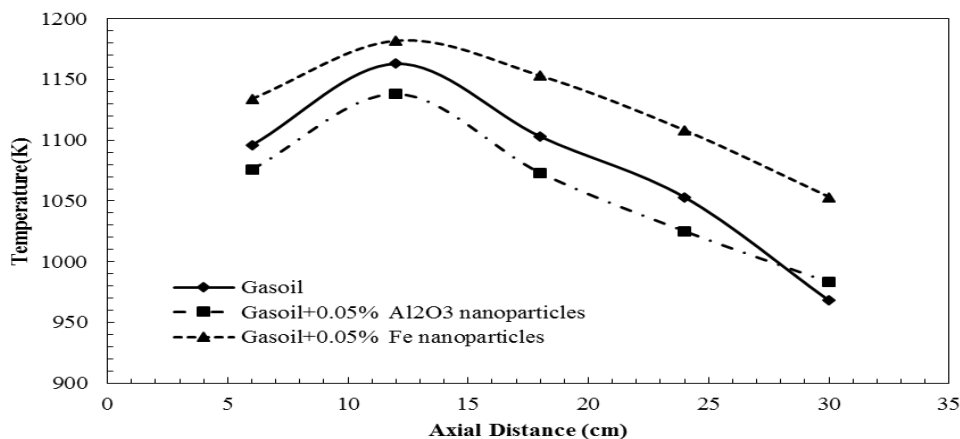
این نمودار نشان می دهد که متوسط گرمای تابشی شعله در اثر افزودن نانوذرات Al_2O_3 ، ۱۰ درصد و در اثر افزودن نانوذرات Fe، ۲۳ درصد افزایش می یابد. که افزایش حاصله از Fe از Al_2O_3 بیشتر است.



شکل (۴-۶): نمودار تابش درخشندگی برای نانوذرات

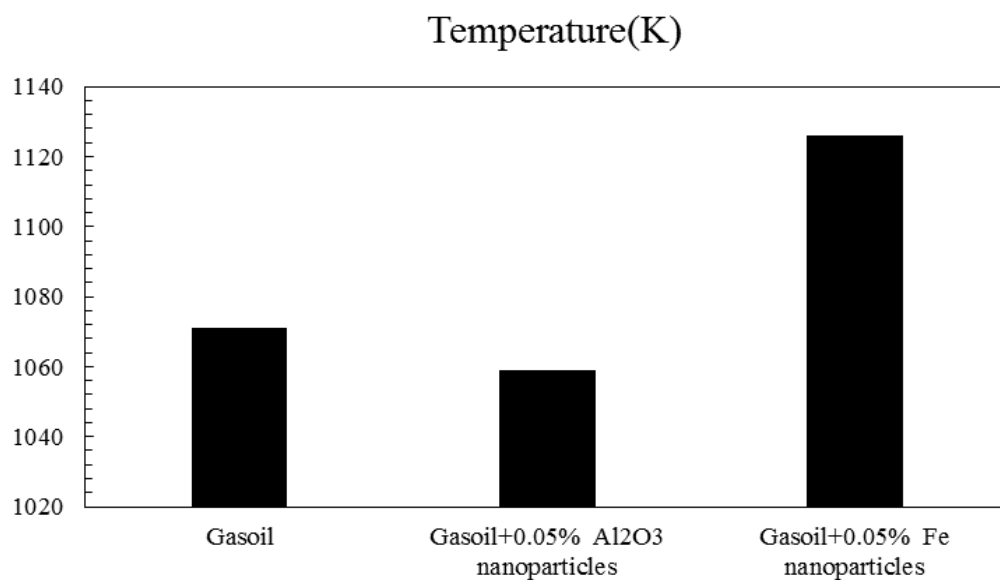
گرمای تابشی از دو مولفه‌ی تابش مادون قرمز و تابش درخشندگی تشکیل می‌شود که سهم تابش درخشندگی نسبت به تابش مادون قرمز بسیار ناچیز می‌باشد. نمودار فوق نشان دهنده تابش درخشندگی برای هر سه شعله می‌باشد که بیانگر این موضوع است که درخشندگی شعله در اثر افزودن نانوذرات افزایش می‌یابد که این افزایش برای نانوذرات Fe نسبت به Al₂O₃ بیشتر می‌باشد.

۵-۴ نتایج دمای شعله



شکل (۴-۷): نمودار دمای مرکز شعله برای نانوذرات

این نمودار نشان می‌دهد که تغییرات دما نیز مانند گرمای تابشی در طول شعله طبق یک الگو می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا دما افزایش یافته تا به یک مقدار ماکزیمم می‌رسد و سپس یک روند کاهشی را طی می‌کند.

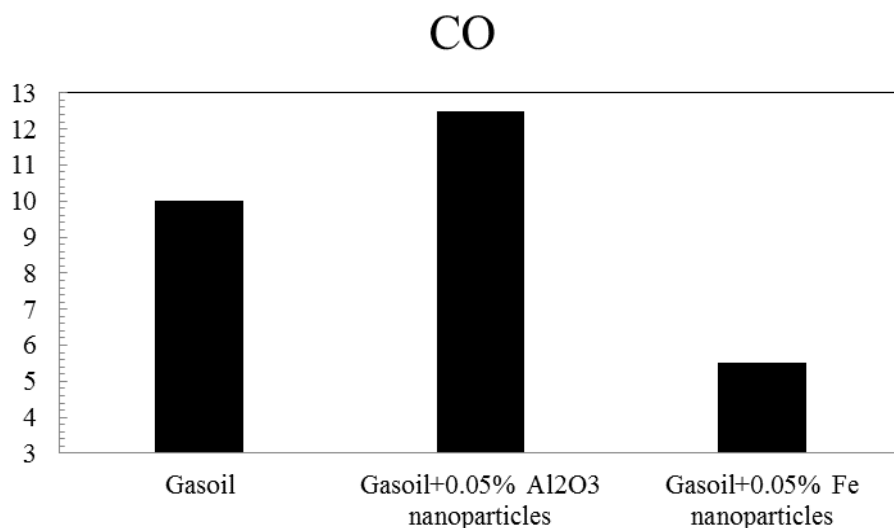


شکل (۴-۸): نمودار متوسط دمای مرکز شعله برای نانوذرات

نکته قابل توجه این نمودار این است که دمای شعله‌ی حاوی نانوذرات آهن بیشتر از حالت خالص

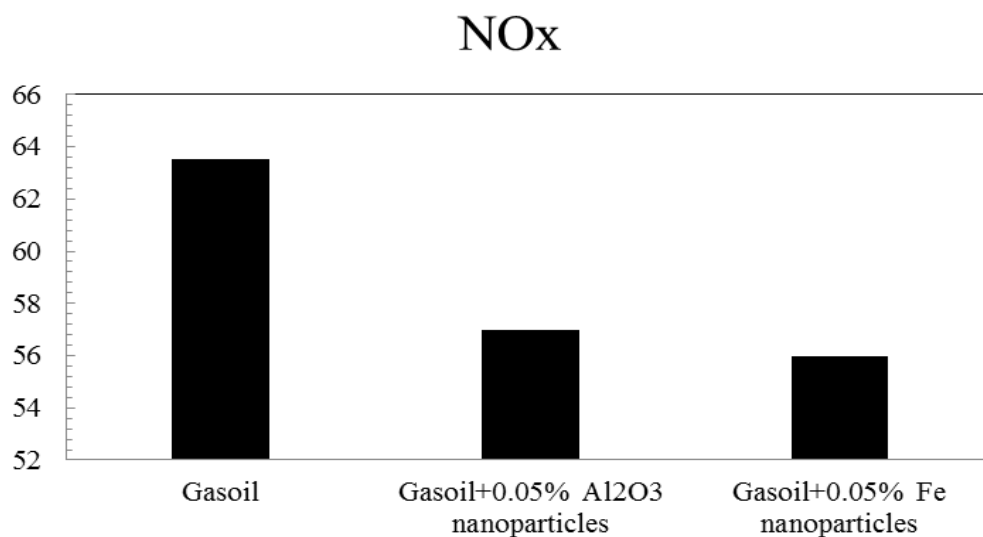
و دمای شعله حاوی نانوذرات اکسید آلومینیم کمتر از حالت خالص می‌باشد.

۴-۶ نتایج آلاینده‌ها



شکل (۴-۹): نمودار غلظت آلاینده CO

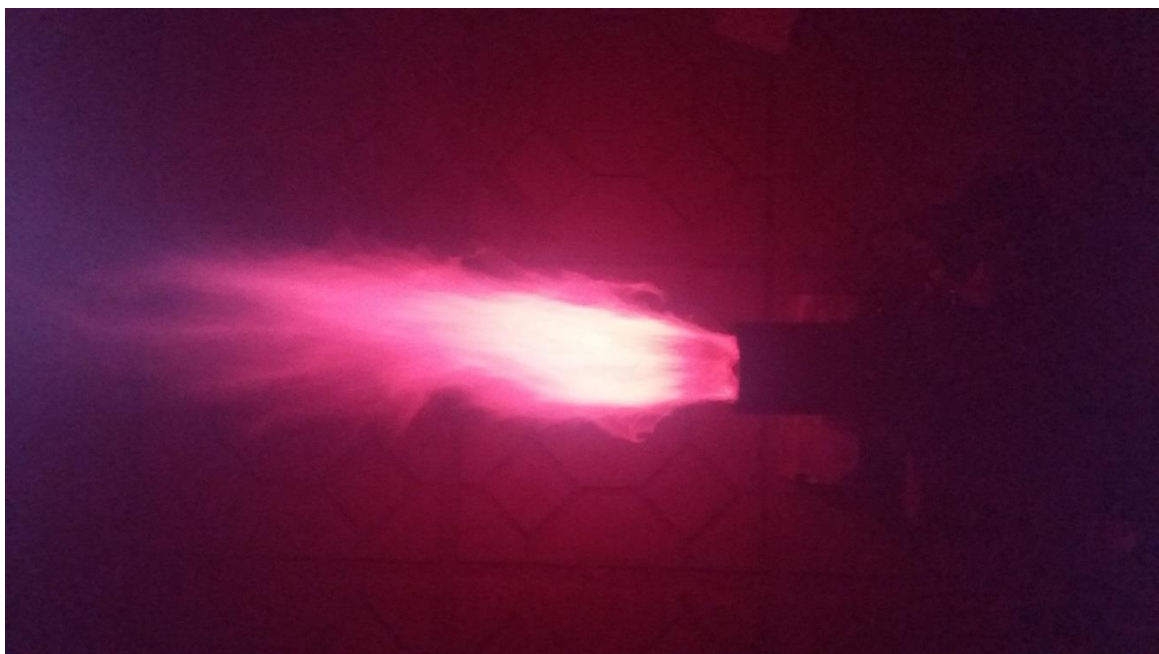
این نمودار نشان می‌دهد که غلظت آلاینده CO در اثر افزودن نانوذرات Al₂O₃ به سوخت دیزل افزایش و در اثر افزودن نانو ذرات Fe به سوخت کاهش می‌یابد.



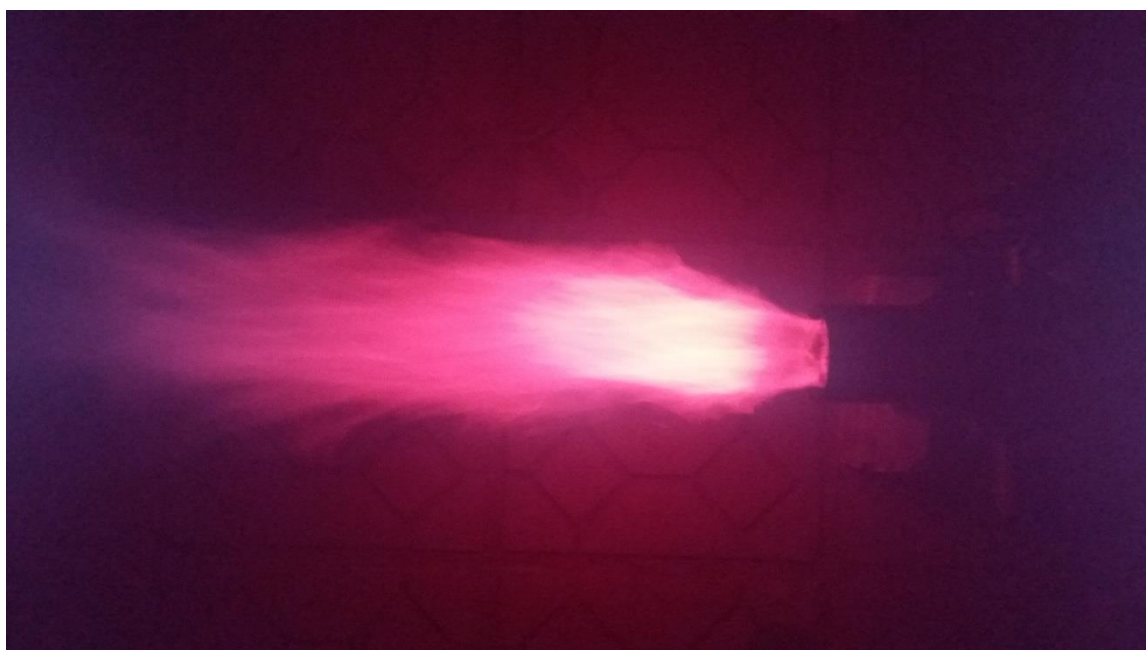
شکل (۴-۱۰): نمودار غلظت آلاینده NO_x

این نمودار نشان می‌دهد که غلظت آلاینده NO_x در دود حاصل از احتراق سوخت دیزل در اثر افزودن نانوذرات Al_2O_3 و Fe کاهش می‌یابد؛ که این کاهش برای نانوذرات Fe بیشتر می‌باشد.

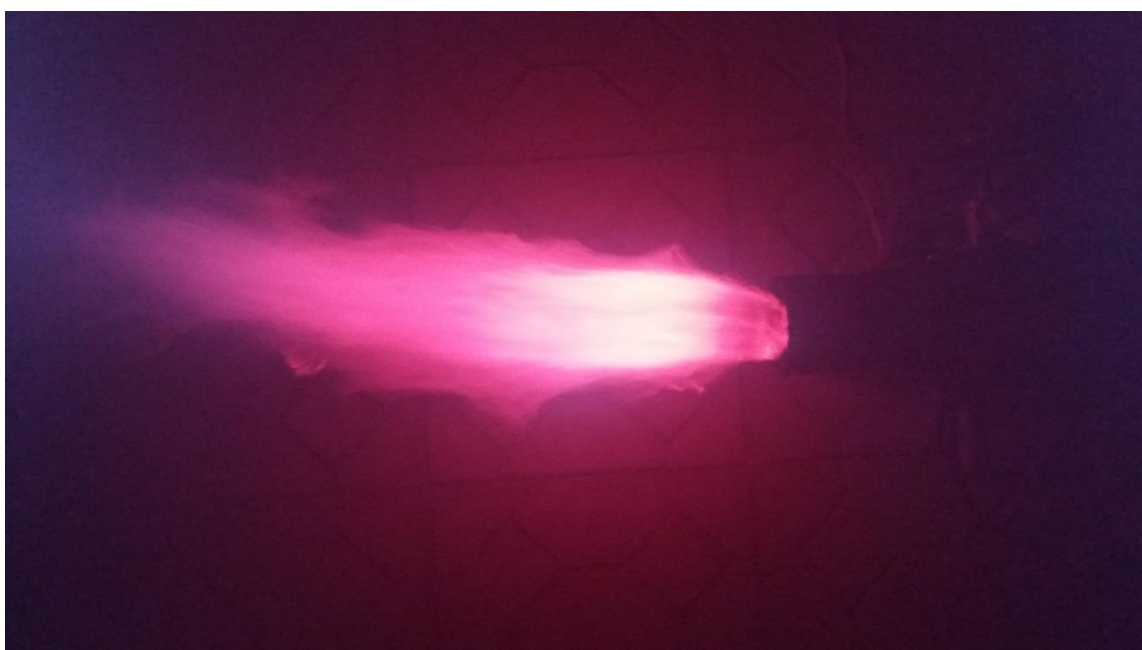
۷-۴ تصاویر شعله‌های غلظت‌های مختلف



شکل (۴-۱۱): شعله سوخت خالص



شکل (۴-۱۲): شعله نانو سوخت اکسید آلومینیم



شکل (۴-۱۳): شعله نانو سوخت آهن

۴-۸ اثر نانو سوخت اکسید آلومینیم بر خوردگی

یکی دیگر از آزمایش‌های انجام شده بررسی اثر شعله حاصل از نانو سوخت اکسید آلومینیم بر خوردگی فلز آهن است. بدین منظور چند میله زنگ زده آهنی توسط یک تخته چوب ثابت شده و در معرض شعله حاصل از نانو سوخت اکسید آلومینیم قرار می‌گیرد. بعد از روشن شدن مشعل، میله‌ای زنگ‌زده را درون شعله قرار می‌دهیم. بعد از گذشت حدود بیست دقیقه مشعل را خاموش می‌کنیم. همانطور که در شکل (۴-۱۴) مشاهده می‌شود، نانوذرات اکسید آلومینیم به صورت یک پوشش بر روی قسمت‌هایی که میله‌های آهنی در معرض شعله بوده‌اند، قرار گرفته‌اند. بنابراین شعله حاصل از نانو سوخت اکسید آلومینیم خوردگی را از بین می‌برد و با ایجاد یک لایه اکسید بر روی قسمت‌های زنگ‌زده، از خوردگی آن‌ها جلوگیری می‌کند. شایان ذکر است که برای ایجاد این لایه تمام قسمت‌های مورد نظر باید در معرض شعله حاصل از نانو سوخت اکسید آلومینیم قرار گیرد. از دیگر نتایج این آزمایش، تایید وجود نانوذرات در شعله است.



شکل (۴-۱۴): قرار گرفتن میله‌های آهنی در معرض شعله نانو سوخت اکسید آلومینیم



شکل (۴-۱۵): ایجاد یک لایه محافظ اکسید بر روی قسمت‌های زنگ‌زده

۴-۹ تحلیل نتایج

با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌گردد که در اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم به سوخت دیزل متوسط گرمای تابشی شعله افزایش، دمای شعله کاهش، غلظت آلاینده CO افزایش و غلظت آلاینده NOx کاهش می‌یابد. همچنین در اثر افزودن نانوذرات اکسید آهن به سوخت دیزل متوسط گرمای تابشی شعله افزایش (که این افزایش نسبت به اکسید آلومینیم بیشتر است)، دمای شعله افزایش، غلظت آلاینده CO و NOx کاهش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌گردد داده‌ها به دست آمده از آزمایشات مربوط به این دو نانوذره رفتارهای متفاوتی را نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد که مکانیزم عملکرد این دو نانوذره در قطرات سوخت و تاثیر آنها بر عملکرد احتراقی شعله و غلظت آلاینده‌ها متفاوت است.

اندازه نانوذرات از اندازه قطرات سوخت که توسط نازل (داری قطر ۲۰۰ میکرون) پاشش می‌شوند بسیار کوچکتر است. بنابراین هر قطره‌ی سوخت را که در نظر بگیریم دارای تعداد زیادی از این نانوذرات می‌باشد. با توجه به مطالعه مقالات و نتایج به دست آمده می‌توان در مورد تاثیر نانوذرات آهن این طور نتیجه گرفت که علت افزایش تابش به این دلیل است که ضریب جذب تابش و ضریب انتقال حرارت رسانش برای نانوذرات آهن نسبت به قطره سوخت بیشتر هستند. این موضوع باعث جذب زودتر حرارت توسط نانوذره می‌شود. بنابراین قطره هم از بیرون و هم از درون گرما می‌بیند که این پدیده باعث افزایش نرخ تبخیر قطرات سوخت می‌شود. با افزایش نرخ تبخیر، احتراق کامل‌تر و سریع‌تر صورت می‌گیرد که این پدیده باعث آزاد شدن بیشتر گرما و افزایش دما و در نتیجه باعث افزایش تابش می‌شود. همچنین غلظت آلاینده CO در اثر احتراق کامل‌تر کاهش می‌یابد.

در مورد تاثیر نانوذرات اکسید آلومینیم می‌توان این طور نتیجه گرفت که ضریب انعکاس این نانوذرات نسبت به ضریب جذب آنها بیشتر است. بنابراین حرارت ایجاد شده در شعله در اثر برخورد به این ذرات منعکس می‌شود. این انعکاس به نوعی باعث افزایش ضریب صدور تابش شعله می‌شود که

این موضوع باعث افزایش تابش می‌گردد. با انعکاس گرمای شعله، حرارت از شعله دفع می‌گردد در نتیجه نرخ تبخیر قطرات سوخت کاهش می‌یابد و احتراق ناقص رخ می‌دهد و در نتیجه دما کاهش و غلظت آلاینده CO، افزایش می‌یابد.

در مورد تفاوت اثر این دو نانوذره می‌توان گفت که نانوذرات آهن باعث آزاد شدن حرارت بیشتر و احتراق کامل‌تر می‌شوند اما نانوذرات اکسید آلومینیم باعث انعکاس حرارت از شعله و احتراق ناقص می‌گردند.

مکانیزم تشکیل NOx در شعله به سه دسته سوختی، حرارتی و فوری تقسیم می‌شود. NOx سوختی به ترکیبات نیتروژن‌دار سوخت مربوط می‌شود. یعنی هر چه سوخت دارای نیتروژن بیشتری باشد، غلظت آلاینده NOx در محصولات احتراق بیشتر است. NOx حرارتی با دما ارتباط مستقیم دارد و با افزایش آن افزایش می‌یابد. NOx فوری در صورت ایجاد محیط‌های پر سوخت در شعله ایجاد می‌گردد.

در اثر افزودن نانوذرات آهن و اکسید آلومینیم، غلظت آلاینده NOx در محصولات احتراق کاهش می‌یابد، که این کاهش برای نانوذره آهن بیشتر است. در مورد اکسید آلومینیم می‌توان گفت که با کاهش دما در این شعله غلظت آلاینده NOx کاهش می‌یابد. اما در مورد آهن با وجود افزایش دما، غلظت آلاینده NOx کاهش یافته است. این موضوع حائز اهمیت است که علاوه بر افزایش دما، زمان ماند قطرات سوخت در شعله نیز در تشکیل آلاینده NOx موثر است. بدین ترتیب که هرچه احتراق سریع‌تر انجام شود فرصت تشکیل NOx کمتر می‌شود. بنابراین با وجود افزایش دما در شعله‌ی حاوی نانوذرات آهن، به علت احتراق سریع‌تر، غلظت آلاینده NOx کاهش می‌یابد. در مورد اختلاف غلظت NOx و کاهش بیشتر آن برای شعله آهن، می‌توان به این موضوع اشاره کرد که با احتراق کامل‌تر امکان تشکیل محیط‌های پرسوخت در شعله کاهش می‌یابد. بنابراین این اختلاف مربوط به تشکیل NOx فوری می‌باشد.

۴-۱۰ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم (Al_2O_3) و آهن (Fe) به سوخت دیزل در غلظت‌های ۰/۰۲۵ و ۰/۰۵ درصد وزنی بر پارامترهای عملکرد حرارتی (گرمای تابشی و دمای مرکز شعله) و کاهش آلاینده‌های احتراق (CO , NO_x) یک مشعل با سوخت مایع دیزل (گازوئیل)، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده عبارتند از:

۱. در اثر افزودن نانوذرات اکسید آلومینیم و آهن به سوخت دیزل گرمای تابشی شعله به ترتیب ۱۰٪ و ۲۳٪ افزایش می‌یابد.
۲. دمای شعله نانوسوخت اکسید آلومینیم نسبت به حالت خالص کمی کمتر می‌شود (در حدود ۲٪) در صورتی که دمای شعله نانوسوخت آهن نسبت به حالت خالص ۵٪ افزایش می‌یابد.
۳. غلظت آلاینده CO برای نانوسوخت اکسید آلومینیم ۲۵٪ افزایش و برای نانوسوخت آهن ۴۵٪ کاهش می‌یابد.
۴. غلظت آلاینده NO_x برای هر دو نانوسوخت کاهش می‌یابد که این کاهش برای نانوسوخت اکسید آلومینیم ۱۰٪ و برای نانوسوخت آهن ۱۲٪ است.
۵. نانوسوخت اکسید آلومینیم خوردگی فلزاتی که در معرض شعله قرار گرفته‌اند را از بین می‌برد.

براساس نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود که در کاربردهایی که افزایش راندمان حرارتی سوخت و کاهش آلاینده‌ها مهم است از نانوسوخت آهن استفاده شود و برای از بین بردن خوردگی فلزات از نانوسوخت اکسید آلومینیم استفاده گردد.

با توجه به نتایج به دست آمده در مورد از بین رفتن خوردگی توسط شعله نانوسوخت اکسید آلومینیم، پیشنهاد می‌شود که انتقال حرارت هدایتی فلزاتی که پوشش اکسید آلومینیم روی آن‌ها تشکیل شده است اندازه‌گیری شود تا مشخص شود این لایه پوشش بر انتقال حرارت هدایتی چه تاثیری دارد.

مراجع

- [1] مقیمان، محمد، احتراق، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۱.
- [۲] Rah S-C. Combustion of liquid fuels and pollutant formation: A review Part I. Liquid fuel combustion process 1984.
- [۳] Godsava GAE. Studies of the combustion of drops in a fuel spray—the burning of single drops of fuel. Symposium (International) on Combustion. 1953;4:818-30.
- [۴] Spalding DB. The combustion of liquid fuels. Symposium (International) on Combustion. 1953;4:847-64.
- [۵] Kim DM, Baek SW, Yoon J. Ignition characteristics of kerosene droplets with the addition of aluminum nanoparticles at elevated temperature and pressure. Combustion and Flame. 2016;173:106-13.
- [۶] Basu S, Miglani A. Combustion and heat transfer characteristics of nanofluid fuel droplets: A short review. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2016;96:482-503.
- [۷] مهرگان م. (۱۳۹۲)، پایان‌نامه ارشد: "مطالعه عددی اثر افزودن نانوذرات بر تبخیر و احتراق سوخت های مایع". دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۸] Gan Y, Qiao L. Combustion characteristics of fuel droplets with addition of nano and micron-sized aluminum particles. Combustion and Flame. 2011;158:354-68.
- [۹] Gan Y, Lim YS, Qiao L. Combustion of nanofluid fuels with the addition of boron and iron particles at dilute and dense concentrations. Combustion and Flame. 2012;159:1732-40.
- [۱۰] Gan Y, Qiao L. Radiation-enhanced evaporation of ethanol fuel containing suspended metal nanoparticles. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012;55:5777-82.
- [۱۱] Gan Y, Qiao L. Optical Properties and Radiation-Enhanced Evaporation of Nanofluid Fuels Containing Carbon-Based Nanostructures. Energy & Fuels. 2012;26:4224-30.
- [۱۲] Tanvir S, Qiao L. Effect of Addition of Energetic Nanoparticles on Droplet-Burning Rate of Liquid Fuels. Journal of Propulsion and Power. 2014;31:408-15.

- [١٣] Javed I, Baek SW, Waheed K. Autoignition and combustion characteristics of heptane droplets with the addition of aluminium nanoparticles at elevated temperatures. *Combustion and Flame*. 2015;162:191-206.
- [١٤] Javed I, Baek SW, Waheed K. Autoignition and combustion characteristics of kerosene droplets with dilute concentrations of aluminum nanoparticles at elevated temperatures. *Combustion and Flame*. 2015;162:774-87.
- [١٥] Javed I, Baek SW, Waheed K, Ali G, Cho SO. Evaporation characteristics of kerosene droplets with dilute concentrations of ligand-protected aluminum nanoparticles at elevated temperatures. *Combustion and Flame*. 2013;160:2955-63.
- [١٦] Ooi JB, Ismail HM, Swamy V, Wang X, Swain AK, Rajanren JR. Graphite Oxide Nanoparticle as a Diesel Fuel Additive for Cleaner Emissions and Lower Fuel Consumption. *Energy & Fuels*. 2016;30:1341-53.
- [١٧] Tyagi H, Phelan PE, Prasher R, Peck R, Lee T, Pacheco JR, et al. Increased Hot-Plate Ignition Probability for Nanoparticle-Laden Diesel Fuel. *Nano Letters*. 2008;8:1410-6.
- [١٨] Huang Z, Kan W, Lu Y, Cheng T, Yu LY, Hu X. Effect of Nanoparticle Suspensions on Liquid Fuel Hot-Plate Ignition2014.
- [١٩] Shams Z, Moghiman M. An experimental investigation of ignition probability of diesel fuel droplets with metal oxide nanoparticles. *Thermochimica Acta*. 2017;657:79-85.
- [٢٠] Jones M, Li C, Afjeh A, Peterson G. Experimental study of combustion characteristics of nanoscale metal and metal oxide additives in biofuel (ethanol)2011.
- [٢١] R. Mitchell M, E. Link R, Kao M-J, Ting C-C, Lin B-F, Tsung T-T. Aqueous Aluminum Nanofluid Combustion in Diesel Fuel2008.
- [٢٢] Arul V, Selvan V A, r b A, Udayakumar M. Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine2009.
- [٢٣] Sajith V, B. Sobhan C, P. Peterson G. Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel2010.
- [٢٤] Basha DJS, r b A. An Experimental Investigation in a Diesel Engine Using Carbon Nanotubes Blended Water-Diesel Emulsion2011.

- [۲۵] Basha JS, Anand RB. An Experimental Study in a CI Engine Using Nanoadditive Blended Water–Diesel Emulsion Fuel. *International Journal of Green Energy*. 2011;8:332-48.
- [۲۶] Tewari P, Doijode E, Banapurmath N, Yaliwal V. Experimental investigations on a diesel engine fuelled with multiwalled carbon nanotubes blended biodiesel fuels 2013.
- [۲۷] Banapurmath N, Sankaran R, Tumbal A, T. N N, M. Hunshyal A, Ayachit N. Experimental investigation on direct injection diesel engine fuelled with graphene, silver and multiwalled carbon nanotubes-biodiesel blended fuels 2014.
- [۲۸] Fangsuwannarak K, Triratanasirichai K. Improvements of palm biodiesel properties by using nano-TiO₂ additive, exhaust emission and engine performance 2013.
- [۲۹] Mehta RN, Chakraborty M, Parikh PA. Nanofuels: Combustion, engine performance and emissions. *Fuel*. 2014;120:91-7.
- [۳۰] Gumus S, Ozcan H, Ozbey M, Topaloglu B. Aluminum oxide and copper oxide nanodiesel fuel properties and usage in a compression ignition engine. *Fuel*. 2016;163:80-7.
- [۳۱] Ettefaghi E, Ghobadian B, Rashidi A, Najafi G, Khoshtaghaza MH, Rashtchi M, et al. A novel bio-nano emulsion fuel based on biodegradable nanoparticles to improve diesel engines performance and reduce exhaust emissions. *Renewable Energy*. 2018;125:64-72.
- [۳۲] Mahalingam S, Ganesan S. Effect of nano-fuel additive on performance and emission characteristics of the diesel engine using biodiesel blends with diesel fuel. *International Journal of Ambient Energy*. 2018:1-6.
- [۳۳] Sungur B, Topaloglu B, Ozcan H. Effects of nanoparticle additives to diesel on the combustion performance and emissions of a flame tube boiler. *Energy*. 2016;113:44-51.
- [۳۴] Waheed K, Baek SW, Javed I, Kristiyanto Y. Investigations on Thermal Radiative Characteristics of LPG Combustion: Effect of Alumina Nanoparticles Addition. *Combustion Science and Technology*. 2015;187:827-42.
- [۳۵] [بقراتی م، (۱۳۹۶)، رساله دکتری: "اثر تغییر نسبت C/H با اختلاط سوخت های مایع سبک بر میزان تابشمیری شعله و تاثیر آن بر نرخ انتقال حرارت تابشی شعله"، دانشگاه فردوسی مشهد.
- [۳۶] [شمس ز، (۱۳۹۶)، رساله دکتری: "مطالعه آزمایشگاهی اثر افزودن نانوذرات برویژگی های احتراقی و تولید آلاینده های سوخت مایع"، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۳۷] Pourhoseini SH, Esmaeeli R. Effect of Nanosilver/Water-in-Kerosene Emulsion on NOx Reduction and Enhancement of Thermal Characteristics of a Liquid Fuel Burner. *Energy & Fuels*. 2017;31:14288-95.

[۳۸] پورحسینی ه، (۱۳۹۳)، رساله دکتری: "مطالعه آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی اثر افزودنی‌های جامد و مایع زغال‌سنگ آنتراسیت و نفت سفید بر زردسوزی، انتقال حرارت تابشی و تولید آلاینده‌ها در شعله‌های دیفیوژن گاز طبیعی"، دانشگاه فردوسی مشهد.

Abstract

Nanofuel obtains from the addition of nanoparticles to liquid fuels which is a new concept that has attracted much attention in a field of combustion systems. This laboratory research aims to examine the effect of adding aluminum oxide and iron nanoparticles to diesel fuel at dilute concentrations on combustion performance and emissions of a liquid fuel burner. For this purpose, the nanoparticles are first added to the diesel fuel at dilute concentrations (0.025% and 0.05% by weight) and then mixed. Nanofuel is then introduced into the liquid fuel burner, and the thermal radiation and flame temperature and emission of pollutants are measured at the output of the furnace test. The results obtained for the nanofuel flame containing aluminum oxide nanoparticles are different from the nanofuel flame containing iron nanoparticles. The results obtained for aluminum oxide nanofuel are including a slight increase in thermal radiation (10%), a decrease in flame temperature (2%), an increase in the concentration of CO in pollutants (25%), and a decrease in the concentration of Nox (10%) in the output. But the results for iron nanofuel show a higher increase in thermal radiation (23%), an increase in flame temperature (5%), and a reduction in the concentration of CO (45%) and Nox (12%) in the outlet.

Keywords: nanofuel, aluminum oxide nanoparticles, iron nanoparticles, liquid fuel burner, thermal radiation, flame temperature, emission of pollutants



Shahrood University of Technology

Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

M.Sc. Thesis in Energy Conversion Engineering

Study the effect of adding different nanoparticles to Diesel fuel on flame combustion characteristics

By: Hossein Zekavati

Supervisor:

Dr. Mahmud Chahartaghi

Dr. Seayed Hadi Poorhosseini

Advisor:

Dr. Seayed Majid Hashemian

June 2019