بررسی میزان کاهش انتشار گازهای آلاینده خروجی از موتورهای دیزل با افزودن آب به سوخت گازوئیل به صورت امولسیون

عبدالعباس جعفری[1]*، عاطفه فضایلی[2]

۱- عضو هیأت علمی بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

۲- کارشناس ارشد بخش مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شیراز

* ایمیل نویسنده مسئول: ajafari@shirazu.ac.ir

چکیده

حجم بالایی از گازهای آلاینده موجود در هوا را گازهای خروجی اگزوز موتورها تشکیل میدهد که در این میان NO_X مهمترین گاز آلاینده و از عوامل اصلی تشکیل مه دود در شهرهای بزرگ به شمار می‌آید. ترکیب نیتروژن موجود در هوا با اکسیژن نیازمند درجه حرارت زیاد و فشار بوده که در درون محفظه احتراق موتورها این شرایط مهیا می‌باشد. بنابراین کاهش دمای احتراق درون موتور می‌تواند موجب کاهش تولید NO_X شود. به‌همین منظور در این تحقیق با افزودن آب به عنوان راهکاری جهت کاهش دمای احتراق موتور مورد بررسی قرار گرفته است. افزودن آب به سوخت به صورت امولسیون دو فازی انجام شده است. از آنجا که کاهش دمای احتراق، بر تشکیل سایر گازهای آلاینده و همچنین توان موتور تاثیرگذار خواهد بود مقدار بهینه اختلاط آب به سوخت که موجب کاهش معنی دار توان یا افزایش سایر گازهای آلاینده نشود مورد بررسی قرار گرفت و بدین منظور سه نسبت اختلاط ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ و گازوئیل خالص در یک موتور دیزل مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج، نشان دهنده کاهش چشمگیر میزان انتشار گاز آلاینده NO_X به میزان ۱۸/۶٪ ، ۳۴/۸٪ و ۴۳/۴٪ به ترتیب در مورد امولسیون‌های۱۰٪، ۱۵٪ و۲۰٪ بود در حالی‌که در اغلب دورهای موتور افزایش اندکی در توان مشاهده شد. بیشترین مقادیر افزایش توان در مورد امولسیون‌های ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ به‌ترتیب برابر بود با ۷/۲ درصد، ۷/۹ درصد و ۸/۴ درصد. از طرفی افزودن آب موجب افزایش سایر آلاینده‌ها شد که بیشترین مقدار آن در مورد هیدروکربن‌های نسوخته در امولسیون ۲۰ درصد می‌باشد.

واژه های کلیدی: آلودگی هوا، سوخت جایگزین، NOX، موتورهای درون‌سوز

مقدمه

خودروها را می‌توان یکی از مهمترین منابع آلودگی موجود محسوب نمود. آلاینده‌های شناخته شده در موتورهای احتراق داخلی هیدروکربنهای نسوخته HC، منوکسیدکربن CO، دی اکسید کربن CO_2، اکسیدهای نیتروژن NO_x، ذرات و همچنین آلدئیدها می‌باشند. محققین و دانشمندان تحقیقات زیادی در جهت کاهش آلاینده‌های خروجی از خودروها اعم از دیزل یا بنزینی انجام داده‌اند یکی از این روش ها استفاده از سوخت امولسیونی آب–گازوئیل است(Abu-Zaid, 2004).

استفاده از امولسیون‌های آب در گازوئیل شامل مزایایی از جمله کاهش میزان اکسیدهای نیتروژن، دوده، ذرات معلق و بهبود فرایند احتراق در موتورهای دیزل می‌باشد. وجود آب در گازوئیل باعث کاهش قابل توجه در انتشار NO_x و PM می‌شود (Barnaud, 2001; Fromager *et al.*, 2000) و شاید این امر دلیل اصلی استفاده از سوخت‌های امولسیونی باشد. طبق مطالعات انجام شده گزارش شده‌است که ۱۵٪ آب در گازوئیل می‌تواند باعث کاهش انتشار NO_x تا ۳۵٪ نسبت به احتراق گازوئیل به تنهایی شود (Ganesan *et al.*, 2002; Gonglun, 2005) اندازه ذرات آب در امولسیون و درجه پخش شدگی آب در گازوئیل فاکتور مهمی‌در میزان انتشار آلاینده‌ها است. در احتراق سوخت‌های سنگین امولسیون شده معلوم شده که ذرات ریزتر آب در امولسیون و کاهش میزان آب برای کاهش انتشار کک[۱] مورد نیاز است و سورفکتانت مناسبی برای امولسیون‌های با ذرات ریز آب نیز لازم می‌باشد.

محققین همچنین به بررسی اثر امولسیون با ۱۰ و ۱۵ درصد آب روی NOx، هیدروکربن‌ها و دوده و مصرف ویژه سوخت (sfc) پرداختند. کاهش قابل توجه در هیدروکربنها و دوده در امولسیون شامل ۱۰درصد آب دیده می‌شود. کاهش NOx بیشتر به میزان آب وابسته‌است و در میزان ۱۵درصد بیشترین کاهش NOx دیده می‌شود (Samec *et al.*, 2002).

در تحقیقی با مطالعه سوخت‌های امولسیونی با دامنه متنوعی از آب، نشان داده شده است که حضور آب اثر مثبتی روی بازده احتراق موتور تک سیلندر پاشش مستقیم دارد (Abu-Zaid, 2004).

ارزیابی آلاینده‌ها و عملکرد موتور دیزل دو نوع سوخت امولسیونی W/O نشان می‌دهد که در امولسیون‌های پایدار شده با سورفکتانت Gemini در مقایسه با انواع پایدار شده با امولسیون‌کننده معمولی، ذرات آب بهتر و یکنواخت‌تر درون سوخت توزیع شده و دارای پایداری بیشتری هستند و این امر به بهتر اتمیزه شدن سوخت منجر می‌گردد (Nadeem *et al.*, 2006).

خصوصیات امولسیون سازی مربوط به امولسیون سه فازی گازوئیل/آب/گازوئیل (o/w/o) را بررسی شد نتایج نشان می دهد با افزایش میزان فاز داخلی امولسیون، تعداد ذرات مایع افزایش و منجر به افزایش کدورت امولسیون شده و در نتیجه ته نشینی این ذرات، نرخ جدا شدن گازوئیل و آب سریع‌تر و به‌سرعت کدورت کاهش یافته‌است (Lin *et al.*, 2003).

[۱] Coke

نتایج عملکرد موتور و خصوصیات آلاینده‌های منتشر شده از موتور با سوخت امولسیون سه فازی o/w/o نشان می دهد که مقدار ارزش گرمایی سوخت با درصد آب در سوخت‌های امولسیون‌شده رابطه معکوس دارد، مقدار بیشتر آب، مقادیر کمتری ارزش گرمایی تولید می‌کند و در نتیجه امولسیون‌ها دارای bsfc بیشتری نسبت به گازوئیل خالص و دارای bsfc کمتری نسبت به امولسیون‌های w/o مخصوصاً با ۲۰درصد آب هستند (Lin *et al.*, 2006).

برای تهیه امولسیون میتوان از روشهای مختلفی استفاده کرد در پژوهشی از روش اولتراسونیک برای تهیه امولسیون‌های دوفازی w/o و سه‌فازی o/w/o استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که انواع مختلف مایعات که با هم مخلوط نمی‌شوند ممکن است با استفاده از این روش تا حد زیادی مخلوط شده و امولسیون با ذرات ریزتر و یکنواخت‌تر شکل گیرد (Lin *et al.*, 2006).

تحقیقی در مورد ساخت امولسیون سه فازی و دو فازی آب در گازوئیل (w/o و o/w/o) به روش اولتراسونیک لرزشی[۱] انجام شد و نتایج آن با روش همگن کردن مکانیکی[۲] مقایسه گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که امولسیون ساخته شده با لرزاننده اولتراسونیک دارای ویژگی‌های مطلوب‌تری نسبت به روش دیگر می‌باشد. از جمله اینکه ذرات آب (فاز پراکنده) خیلی ریزتر و یکنواخت‌تر در گازوئیل (فاز پیوسته) توزیع شده اند و با نرخ پایین‌تری از آن جدا می‌شوند که‌این امر منجر به پایداری بیشتر امولسیون می‌شود و می‌توان میزان آب بیشتری در گازوئیل حل کرد (Lin *et al.*, 2008).

مواد و روش ها

در این تحقیق، با اضافه کردن مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰٪ آب به گازوئیل، درصد مناسب اختلاط آب و گازوئیل به‌منظور کاهش آلاینده‌ها تعیین و تغییرات توان ، مصرف سوخت و میزان آلاینده‌های خروجی از اگزوز با استفاده از سوخت‌های امولسیونی بررسی شد.

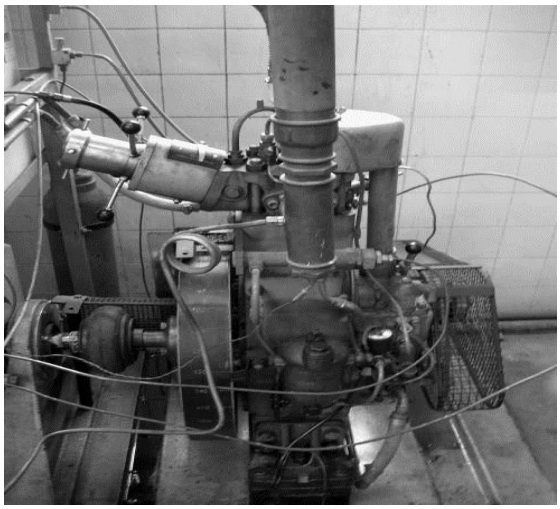
برای انجام آزمایش ها از یک موتور احتراق داخلی چهار زمانه، آب خنک با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ استفاده شد. موتور مذکور دارای سامانه نسبت تراکم متغیر بوده و توان مذکور تنها در وضعیت نسبت تراکم ۱۸:۱ حاصل می‌گردد. (شکل۱ تا ۳).

جدول ۱. مشخصات موتور احتراق داخلی استفاده شده در تحقیق

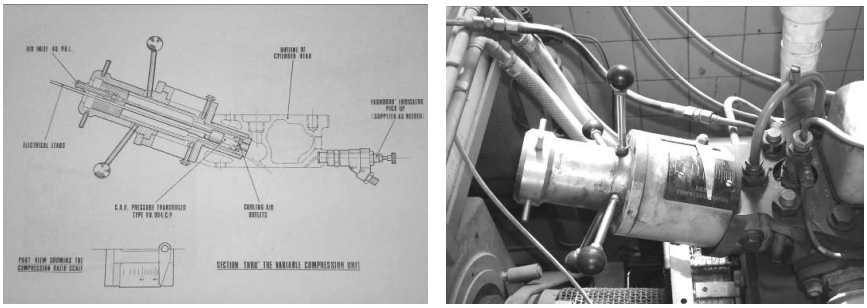
توان موتور (Bhp)	**۹ hp در ۱۸۰۰ دور**
تعداد سیلندر	تک سیلندر
کورس پیستون	۱۲۰ میلی متر
قطر داخلی سیلندر	۹۰ میلی متر

[۱] Ultrasonically Vibrating

[۲] Mechanically homogenizing



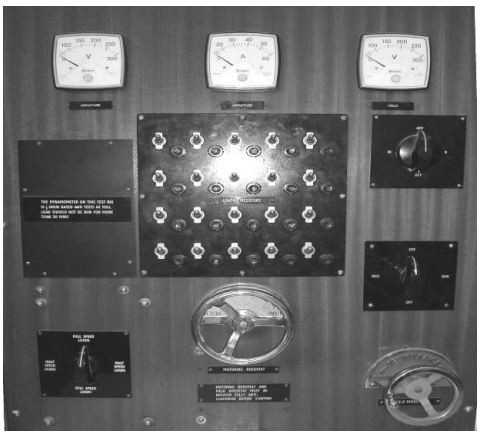
شکل ۱: موتور احتراق داخلی تک سیلندر استفاده شده در آزمایش‌ها



(ب) (الف)

شکل۲: الف) سامانه تغییر نسبت تراکم موتور، ب) نقشه برش طولی

به منظور اندازه‌گیری توان لگامی موتور احتراق داخلی از یک دستگاه دینامومتر الکتریکی استفاده شد . در این دینامومتر اعمال بار بر محور خروجی موتور به کمک کوپلینگ مغناطیسی انجام می‌شود. به کمک یک رئوستای گردان هنگامی‌که موتور–ژنراتور در وضعیت موتور الکتریکی است می‌توان دور موتور را با تغییر میزان جریان عبوری از مدار تغییر داد.



شکل۳: پانل تجهیزات الکتریکی مربوط به موتور–ژنراتور

تهیه سوخت

در این تحقیق سوخت با مقادیر ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ درصد آب تولید شد. برای تهیه امولسیون مخلوطی از Span 80 و Tween 80 با HLB=۸ تهیه شد. مقدار لازم امولسیون‌کننده برای تشکیل امولسیون پایدار حداقل ۲٪ حجمی می‌باشد که با توجه به افزایش مقدار آب در امولسیون‌های ۱۵٪ و ۲۰٪ به‌ترتیب مقادیر ۳٪ و ۴٪ کل مخلوط، امولسیون‌کننده اضافه شد. لذا به منظور تهیه سوخت مصرفی در هر آزمایش ۴ لیتر سوخت با ترکیب جدول ۱ تهیه شد.

در تهیه سوخت سرعت همزن از جمله عوامل مهم در تهیه امولسیون و تأثیرگذار بر اندازه قطر ذرات آب در گازوئیل و همچنین پایداری امولسیون می‌باشد به همین دلیل در این تحقیق از یک دستگاه همزن با دور ۳۰۰۰ rpm استفاده شد که تا حد امکان امولسیون یکنواخت با قطرات ریز تشکیل شود.

جدول۱: مقادیر اختلاط گازوئیل، آب و امولسیون‌کننده برای تهیه امولسیون‌های۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰ ٪

نسبت اختلاط	گازوئیل(cc)	آب(cc)	امولسیون‌کننده(cc)
٪۱۰	۹۰۰	۱۰۰	۲۰
٪۱۵	۸۵۰	۱۵۰	۳۰
٪۲۰	۸۰۰	۲۰۰	۴۰

نحوه انجام آزمایش‌ها

در انجام هر یک از آزمایشات، برای اطمینان از امکان روشن شدن دستگاه با سوخت امولسیونی، مخزن سوخت به‌طور کامل تخلیه شده و با سوخت جدید و انجام هواگیری تا انژکتورها، موتور راه‌اندازی و با استفاده از موتور الکتریکی دینامومتر و به کمک رئوستا دور موتور به ۸۰۰rpm افزایش داده شده و در این لحظه با رها کردن Decompressor موتور دیزل روشن می‌شد. پس از روشن شدن موتور، شیر آب خنک کننده در موقعیت بسته قرار داده شده و بعد از ۵ دقیقه انتظار برای گرم شدن موتور، سرعت موتور به حداکثر ۱۷۰۰ rpm رسانیده می‌شد.

تمام آزمایش‌ها، در شرایط یکسان دما و فشار و به منظور اطمینان بیشتر از صحت داده‌ها، هر یک از آزمایش‌های گشتاور و اندازه‌گیری‌های آلاینده‌ها در سه تکرار انجام شد.

اندازه‌گیری توان توسط دینامومتر

پس از گرم شدن موتور و رسیدن به دمای ۸۰ درجه سانتیگراد آزمایش‌ها شروع می‌گردید. مطابق روش مرسوم در اندازه‌گیری توان و ترسیم نمودار دور– گشتاور و دور– توان موتورهای احتراق داخلی، دور موتور به حداکثر رسانده شده و آزمایشات از دور۱۷۰۰ rpm آغاز می‌گردید. در این دور، موتور در حالت بی باری بوده و لذا گشتاور و توان خروجی صفر بود. با تغییر وضعیت موتور الکتریکی به ژنراتور و با

بستن هریک از کلیدهای مقاومتی بارگذاری روی موتور انجام گردید. زدن هر کلید موجب اعمال بار بر موتور شده و عکس العمل گشتاور وارده با اندازه‌گیری وزنه‌ها و نیروسنج دینامومتر محاسبه می‌گردید. اندازه‌گیری دبی سوخت مصرفی و محاسبه SFC با استفاده از بالن های مدرج که در پانل مربوط به موتور قرار دارد انجام شد. در این قسمت سه بالن با حجم معین وجود دارد، دو قسمت با حجم ۱۵ cc و یک قسمت با حجم ۳۰ cc که در هر یک از مراحل بار گذاری، مدت زمان مصرف ۱۵ cc سوخت اندازه‌گیری می‌گردید.

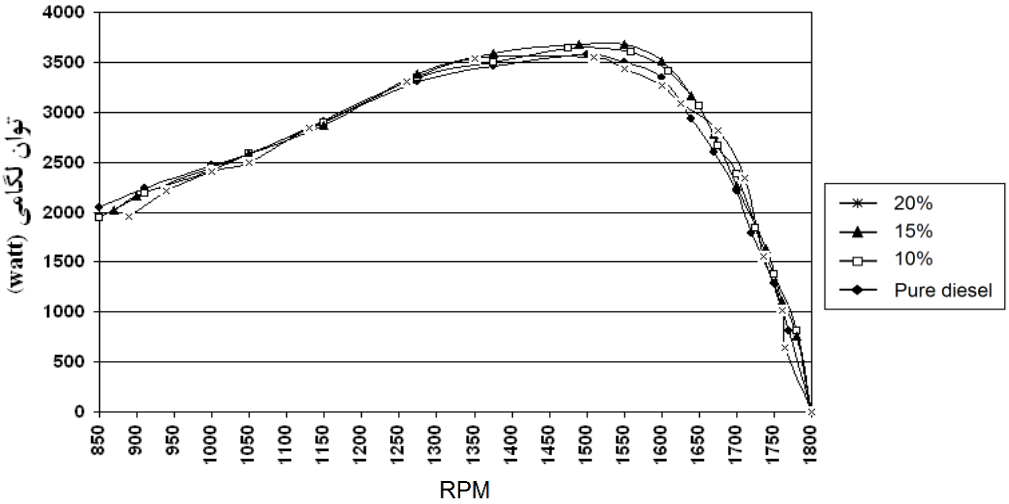
اندازه‌گیری مقادیر گازهای آلاینده

به‌منظور تعیین میزان گازهای خروجی از موتور و مقایسه آنها بین گازوئیل خالص و انواع امولسیون‌های تهیه شده از یک دستگاه آنالیزر دود EUROGAS مدل ۸۰۲۰ استفاده شد. آنالایزر به‌کار رفته در این آزمایش‌ها قادر به تعیین میزان گازهای خروجی از اگزوز شامل CO، CO_2 و O_2 برحسب درصد و گازهای NO و HC بر حسب ppm و نیز تعیین نسبت استوکیومتری λ می‌باشد. در هر مرحله بارگذاری با مکش دود خروجی از اگزوز موتور به دستگاه آنالایزر دود مقادیر گازهای آلاینده ثبت می‌شد. ثبت اعداد پس از ثابت شدن مقادیر صورت می‌گرفت.

نتایج و بحث

تست توان

با استفاده از مقادیر دور و گشتاور اندازه‌گیری‌شده توسط دینامومتر و به‌کمک روابط ۱ تا ۳ مقادیر توان خروجی موتور به ازای دورهای مختلف موتور تحت بارگذاری‌های مختلف محاسبه گردید. شکل ۴ نتایج مربوط به تست توان را به صورت نمودار توان-دور در هنگام استفاده از سوخت گازوئیل خالص و سه سوخت امولسیونی با نسبتهای اختلاط ۱۰٪ ، ۱۵٪ و ۲۰٪ آب نشان می دهد.



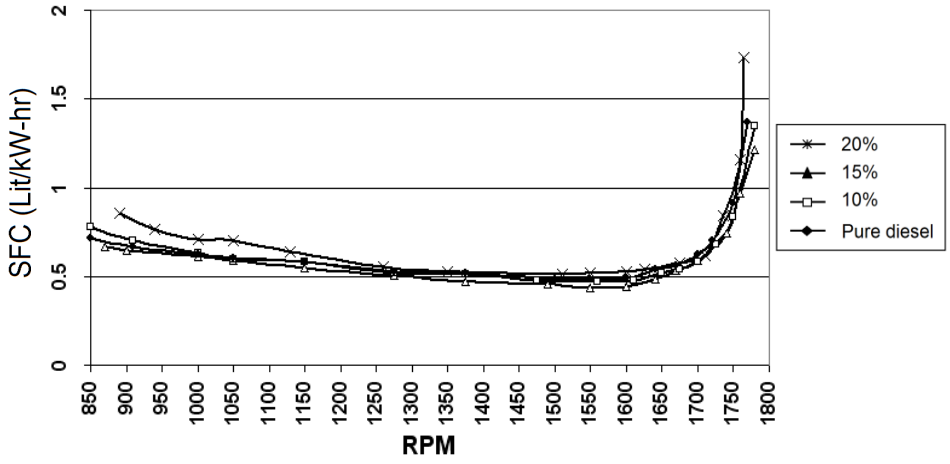
شکل٤: نمودار توان موتور دیزل با استفاده از سوخت گازوئیل خالص و سوختهای امولسیونی ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪

چنانکه ملاحظه می‌شود افزودن آب به سوخت در هیچ یک از نسبتهای اختلاط، موجب کاهش توان موتور به صورت معنی داری نشده و حتی اندکی افزایش توان نیز مشاهده می‌شود. بیشترین مقادیر افزایش توان امولسیون‌های ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰ درصد به ترتیب برابر با ۷/۲ درصد، ۷/۹ درصد و ۸/۴ درصد در دورهای ۱۷۰۰ rpm، ۱۶۴۰ rpm و ۱۶۷۵ rpm اتفاق افتاده است.

همچنین با مقایسه نمودارهای نسبتهای اختلاط مختلف در دورهای پایین مشاهده می‌شود که توان تولید شده در نسبتهای اختلاط بالاتر اندکی کمتر از گازوئیل خالص بوده ولی در دورهای بالاتر این حالت بر عکس شده و توان تولید شده مخلوط‌های امولسیونی تا حدودی بیشتر از گازوئیل خالص است. علت افزایش توان را می‌توان در دو عامل دانست نخست اینکه آب با جذب حرارت از سوخت به بخار تبدیل شده و افزایش حجم آن موجب افزایش فشار وارد بر سر پیستون می‌شود دوم اینکه بروز ریزانفجار در اثر وجود آب در سوخت، موجب اتمیزه شدن بهتر سوخت شده‌است که خود موجب کاهش زمان تاخیر اشتعال می‌گردد. این مطلب در مورد دورهای پایین که فرصت احتراق بیشتر است کمک چندانی به افزایش گشتاور نمی‌کند. همچنین هنگامی‌که موتور تحت بار قرار گرفته‌است و دور کاهش یافته فشار محفظه احتراق زیاد شده‌است که وقوع ریز انفجارها را که در اثر تبخیر ناگهانی بخار آب است کاهش داده‌است.

آزمایش‌های مصرف ویژه سوخت (SFC)

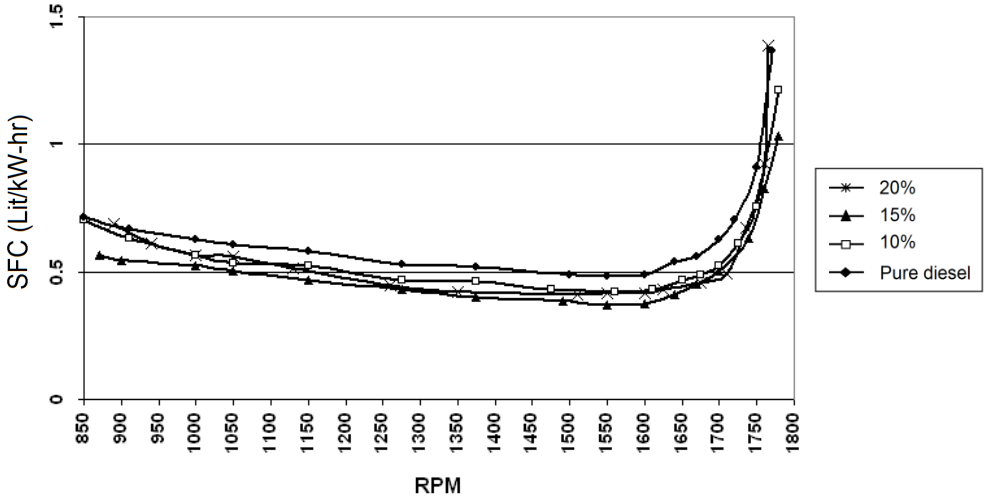
مقدار دبی سوخت مصرفی با اندازه‌گیری زمان مصرف ۱۵ میلی لیتر سوخت، محاسبه شده و با درنظر گرفتن توان در هر دور مقادیر SFC محاسبه گردید. در شکل ۵ مشاهده می‌شود مقادیر SFC در دورهای مختلف، به‌دلیل بارگذاری موتور متفاوت می‌باشد. مصرف ویژه سوخت‌های امولسیونی بسیار نزدیک به گازوئیل خالص بوده و در مورد امولسیون ۱۵٪ در تمام دورها، SFC کاهش یافته است.



شکل۵: تغییرات SFC سوخت با تغییر درصد اختلاط آب در امولسیون

علاوه بر این از آنجا که این کاهش مصرف مربوط به کاهش میزان مجموع سوخت امولسیونی (مجموع گازوئیل و آب) می‌باشد، بنابراین اگر میزان خالص گازوئیل مصرف شده را درنظر بگیریم میزان مصرف سوخت باز هم کمتر خواهد شد که در شکل ۶

آورده شده است. کاهش SFC در استفاده از سوخت امولسیونی در تحقیقات سمک و همکاران (۲۰۰۲)، ابوزید (۲۰۰۴)، سوکاهارا و یوشیموتو[۱] (۱۹۹۲) نیز مشاهده شده است. اما لین و ونگ (۲۰۰۴) و همچنین گوجی و همکاران[۲] (۲۰۰۶) و لین و چن (۲۰۰۸) عکس این مطلب یعنی افزایش SFC را گزارش کردند که در دور ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ اتفاق افتاده است.

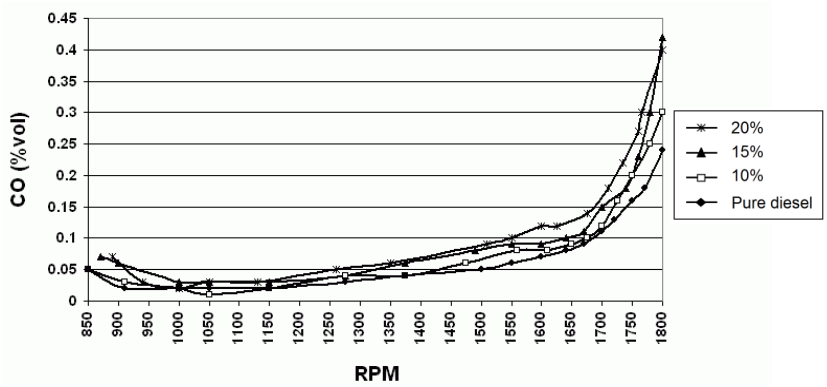


شکل ٦: تغییرات SFC گازوئیل خالص

تاثیر اختلاط آب بر میزان انتشار گازهای خروجی از اگزوز

میزان انتشار گاز آلاینده مونوکسید کربن (CO)

نمودارهای شکل ۷ مقایسه‌ای بین مقادیر انتشار CO گازوئیل خالص و امولسیون‌ها را تحت دورهای مختلف موتور نشان می‌دهد.



شکل۷: میزان انتشار گاز CO از گازوئیل و امولسونها با درصد اختلاط‌های مختلف

چنانکه در کلیه نمودارهای شکل ۷ مشاهده می‌شود میزان گاز CO خروجی از اگزوز در دورهای بالا زیاد بوده و با افزایش بارگذاری روی موتور و کاهش دور موتور این مقدار کاهش می‌یابد. علت این امر را می‌توان چنین بیان کرد که در دورهای بالا،

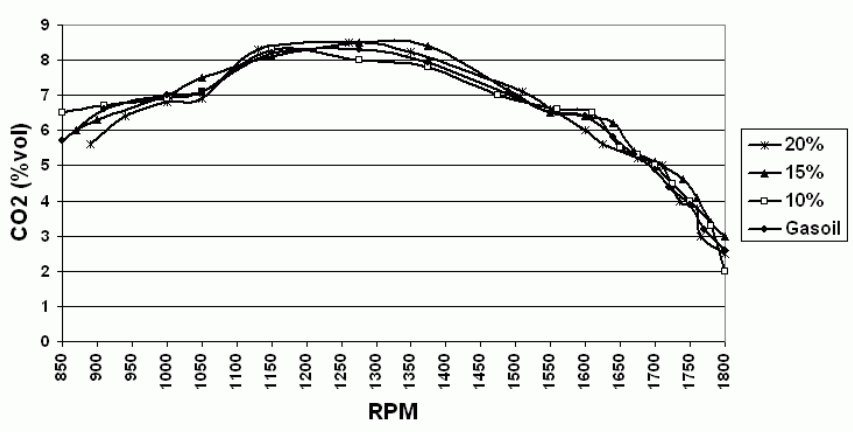
[۱] Tsukahara M, Yoshimoto Y.

[۲] Jamil ghojel

زمان تنفس کاهش یافته و به تبع آن بازده حجمی نیز کاهش می‌یابد که موجب می‌شود نسبت سوخت به هوا به سمت مخلوط غلیظ‌تر سوق یابد که نتیجه آن سوختن ناقص هیدروکربنها و تشکیل CO می‌باشد. به همین دلیل با بارگذاری بر روی موتور و کاهش دور موتور از میزان CO تولید شده کاسته شده‌است. بنابراین روشن گذاشتن موتور بدون بارگذاری بشدت موجب آلوده کردن هوا می‌شود. همچنین افزودن آب به گازوئیل موجب افزایش میزان تولید گاز CO شده‌است. افزایش میزان گاز CO نیز متناسب با نسبت اختلاط آب به گازوئیل افزایش یافته‌است. دلیل این امر را می توان چنین دانست که وجود آب موجب کاهش دما و ناقص سوختن گازوئیل شده‌است. همچنین حضور مولکول‌های آب در محفظه احتراق موجب تماس کمتر مولکول‌های هوا با گازوئیل و احتراق ناقص شده‌است. افزایش CO در اثر استفاده از سوخت امولسیونی در تحقیقات لین و ونگ (۲۰۰۴) و لین و چن (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است هر چند مغایر با نتایج تحقیات ندیم و همکاران است که کاهش CO را مشاهده کرده‌اند.

میزان انتشار گاز CO_2

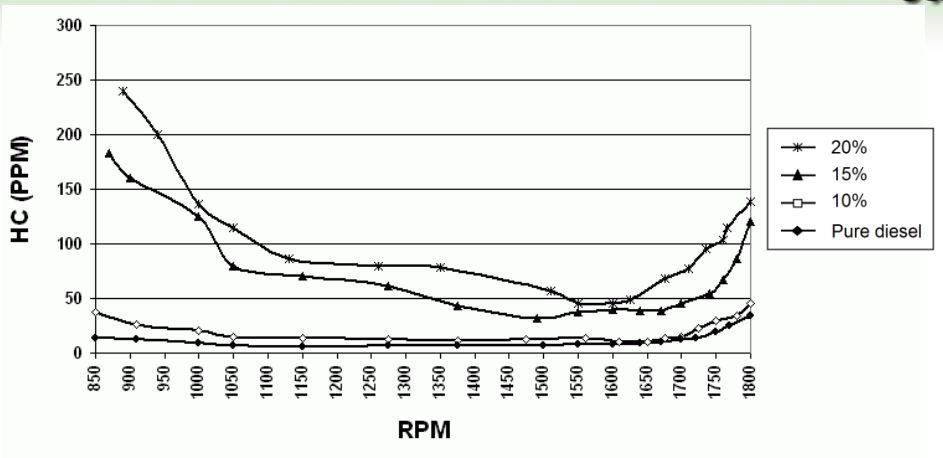
گاز CO_2 فرآورده مطلوب احتراق بوده و در صورتی تشکیل می‌شود که احتراق به‌صورت کامل انجام گردد. هر چقدر میزان گاز CO_2 تولید شده بیشتر باشد نشان دهنده کارکرد بهتر موتور می‌باشد. در واقع گاز CO_2 و بخار آب گازهای اصلی هستند که موجب ایجاد فشار بر سر پیستون و تولید انرژی مکانیکی می‌شوند. میزان تولید گاز CO_2 در موتور با افزایش بارگذاری افزایش یافته و پس از رسیدن به یک بیشینه با افزایش بارگذاری کاهش یافته است. چنانکه در نمودارهای شکل ۸ مشاهده می‌شود افزودن آب تاثیر مشخصی در افزایش یا کاهش تولید گاز CO_2 نداشته است. این مطلب مشابه نتایج ارائه شده توسط لین و چن (۲۰۰۸) می‌باشد.



شکل۸: میزان انتشار گاز CO2 از گازوئیل و امولسیون‌ها با درصد اختلاط‌های مختلف

میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته (HC)

در اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده از دود خروجی اگزوز موتور هنگام استفاده از سوخت گازوئیل خالص و امولسیون‌ها(شکل ۹) مشاهده شد که وجود آب و افزایش مقدار آن موجب افزایش هیدروکربن‌های نسوخته گشته است. به‌عبارت دیگر حضور آب در کنار سوخت دیزل موجب شده تا قسمتی از سوخت امکان اشتعال نیابد و به‌صورت نسوخته خارج شود.



شکل۹: میزان انتشار هیدروکربن‌های نسوخته از سوخت گازوئیل و امولسیون‌ها با درصد اختلاطهای مختلف

افزایش مقدار هیدروکربن‌های نسوخته در مورد امولسیونهای ۱۵٪ و ۲۰٪ با تفاوت زیادی نسبت به گازوئیل خالص و امولسیون ۱۰٪ دیده می‌شود. از کنار هم قرار دادن نتایج این قسمت و توان تولید شده می توان چنین نتیجه گرفت که علیرغم بروز مشکل در سوختن گازوئیل، حضور آب در محفظه احتراق موجب جذب انرژی از حرارت محفظه احتراق و تبدیل آن به بخار و ایجاد فشار و توان شده است به‌شکلی که این افزایش تا حد زیادی توانسته است جبران کننده عدم سوختن سوخت شود.

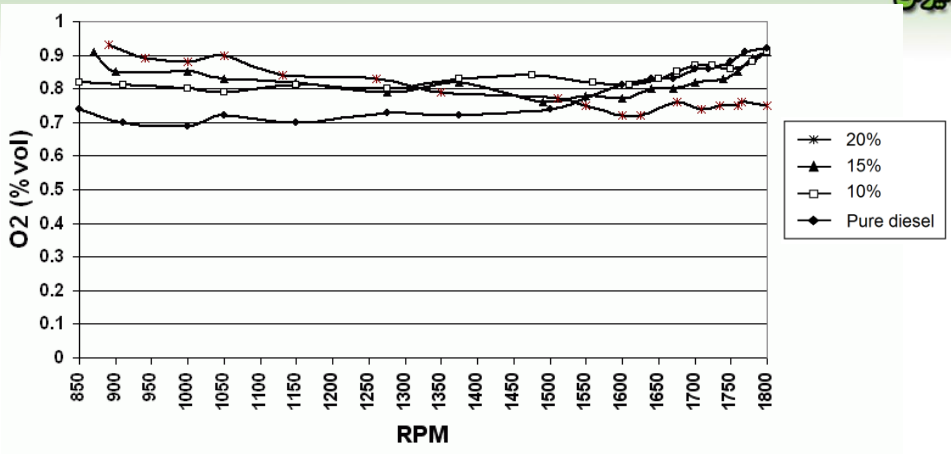
افزایش HC در تحقیقات انجام شده توسط پارک[۱] و همکاران (۲۰۰۱) نیز مشاهده شده است ولی برخلاف نتایج تحقیقات گوجی همکاران (۲۰۰۶) و سمک و همکاران (۲۰۰۲) می‌باشد که کاهش HC را گزارش کرده‌اند.

میزان گاز O2

حضور گاز O_2 در اگزوز برخلاف گاز CO می باشد و افزایش O_2 نشانه رقیق شدن نسبت سوخت به هوا می‌باشد. به عبارت دیگر وجود مقادیر زیاد O_2 در اگزوز نشانه عدم احتراق می‌باشد. به همین دلیل افزایش O_2 در اگزوز با افزایش هیدروکربن‌های نسوخته (HC) یا گاز مونوکسید کربن همراه می باشد.

اندازه‌گیری اکسیژن موجود در دود خروجی از اگزوز می تواند نشان دهنده کیفیت احتراق هنگام استفاده از گازوئیل خالص و سوختهای امولسیونی در محفظه احتراق موتور باشد. نمودارهای شکل ۱۰ بیانگر افزایش میزان اکسیژن خروجی از اگزوز به ازای افزایش میزان آب موجود در امولسیون می‌باشد. با مشاهده این نمودارها می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزودن آب تا حدودی موجب کاهش احتراق سوخت گازوئیل شده‌است. که با نتایج ارائه‌شده در قسمتهای اندازه‌گیری CO و HC مطابقت دارد. تحقیقات لین و چن (۲۰۰۸) و لین و ونگ (۲۰۰۴) حاکی از این است که تغییرات معنی‌داری در O_2 خروجی از اگزوز مشاهده نشده است.

[۱] Park., J.W



شکل ۱۰: میزان اکسیژن خروجی از اگزوز با سوخت گازوئیل و امولسیون‌ها

میزان انتشار گاز NO

چنانکه در نمودارهای شکل ۱۱ مشاهده می‌شود افزودن آب به گازوئیل به ترتیب با افزایش درصد اختلاط آب، موجب کاهش میزان انتشار گاز آلاینده NO شده است.

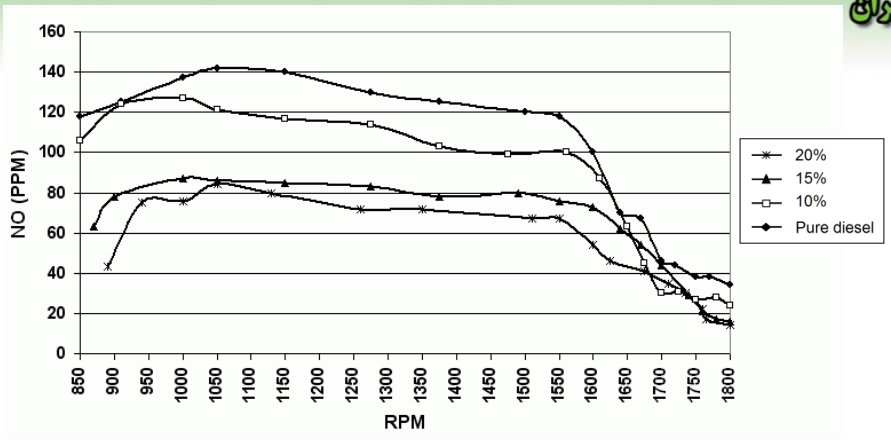
علت این امر این است که تشکیل گاز NO نیازمند دمای زیاد بوده و آب موجب کاهش دما و در نتیجه کاهش میزان تولید NO شده‌است. میزان کاهش NO با افزایش نسبت اختلاط آب به گازوئیل افزایش یافته هرچند تفاوت معنی‌داری بین درصد اختلاط ۱۵٪ و ۲۰٪ مشاهده نمی‌شود.

کاهش میزان انتشار گاز NO در دورهای پایین بیشتر مشهود است چون با بارگذاری بر روی موتور درجه حرارت افزایش می‌یابد. اما در مورد سوختهای امولسیونی وجود آب مانع افزایش درجه حرارت شده و در نتیجه میزان تولید گاز NO کاهش یافته‌است. ولی در دورهای بالا به‌دلیل بارگذاری کم درجه حرارت موتور به خودی خود کم بوده و حضور آب چندان تفاوتی بین سوختها از نظر انتشار NO ایجاد نکرده‌است.

از طرفی سوالی که مطرح می‌شود این است که چرا با کاهش درجه حرارت موتور، از توان و گشتاور موتور کاسته نشده‌است که علت آنرا می‌توان جذب حرارت توسط آب و تبدیل شدن به بخار آب و افزایش فشار سر پیستون دانست که موجب افزایش فشار و گشتاور شده‌است.

با توجه به میزان کاهش NO در مقایسه با سایر گازهای آلاینده می توان چنین نتیجه گرفت که مهمترین اثر افزودن آب به گازوئیل به‌صورت امولسیونی کاهش میزان انتشار گاز NO بوده‌است.

در تحقیقات ارائه شده توسط گوجی و همکاران (۲۰۰۶) نیز ۲۹٪ تا ۳۷٪ کاهش NO_X در استفاده از سوخت امولسیونی مشاهده شده است. همچنین ندیم و همکاران (۲۰۰۶) و لین و ونگ (۲۰۰۴) و لین و چن (۲۰۰۸) نیز موثر بودن استفاده از امولسیون آب در گازوئیل در کاهش NO_X را گزارش نموده‌اند.



شکل۱۱: میزان انتشار گاز NO از سوخت گازوئیل و امولسیون‌ها با درصد اختلاطهای مختلف

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده، نتیجه گیری های زیر را می‌توان به اختصار بیان نمود:

- کاهش چشمگیر میزان انتشار گاز آلاینده NOx به میزان ۱۸/۶٪ ، ۳۴/۸٪ و ۴۳/۴٪ به ترتیب در مورد امولسیون‌های۱۰٪، ۱۵٪ و۲۰٪
- افزایش نسبی توان که بیشترین مقادیر افزایش توان در مورد امولسیون‌های ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ به‌ترتیب برابر بود با ۷/۲ درصد، ۷/۹ درصد و ۸/۴ درصد می‌باشد
- کاهش مصرف سوخت

منابع

Abu-Zaid, M. 2004. Performance of single cylinder, direct injection diesel engine using water fuel emulsions. Energy Conversion and Management 45, 697-705.

Fromager, M., Schmelzle, P., Schulz, P. 2000. 2nd International Symposium on Fuels and Lubricants, New Delhi, Symposium Papers, 2, 435.

Ganesan, S., Ramesh, AJ. 2002. An experimental study of the characteristics of a LPG-based dual-fuel engine using a water/Diesel emulsions as the pilot fuel, J Inst Energy, 75(502) , 2-10.

Gonglun, C., Daniel, T. 2005. An experimental study of stability of oil-water emulsion. Fuel Process Technol, 86, 499-508.

Lin, CY., Chen, LW. 2006. Emulsification characteristics of three- and two-phase emulsions prepared by the ultrasonic emulsification method, Fuel Processing Technology, 87, 309 – 317.

Lin, CY., Chen, LW. 2008. Comparison of fuel properties and emission characteristics of two- and three-phase emulsions prepared by ultrasonically vibrating and mechanically homogenizing emulsification methods, Fuel, 87, 2154–2161.

Lin, CY., Wang KH. 2003. The fuel properties of three-phase emulsions as an alternative fuel for diesel engines, Fuel, 82, 1367–1375.

Lin, CY., Wang, KH. 2004. Effects of an oxygenated additive on the emulsification characteristics of two- and three-phase diesel emulsions, Fuel, 83, 507–515.

Lin, CY., Wang, KH. 2004. Diesel engine performance and emission characteristics using three-phase emulsions as fuel, Fuel, 83, 537–545.

Nadeem, M., Rangkuti, C., Anuar, K., Haq, M.R.U., Tan, I.B., Shah, S.S. 2006. Diesel engine performance and emission evaluation using emulsified fuels stabilized by conventional and gemini surfactants, Fuel, 85, 2111–2119.

Samec, N., Kegl, B., Dibble, RW. 2002. Numerical and experimental study of water/oil emulsified fuel combustion in a Diesel engine, Fuel, 81, 2035–2044.