JARC

مقاله علمی -پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی اثر افزایش دی‌متیل‌کربنات بر کارایی بنزین موتور درون‌سوز

علی‌اکبر میران بیگی[۱]، نادر غلامی[۲و*] و محمدمهدی اسکندری[۳]

۱. دانشیار پژوهشکده توسعه فناوری‌های پالایش و فراورش نفت، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران.

۲. مربی (دکترا) پژوهشکده توسعه فناوری‌های شیمیایی، پلیمری و پتروشیمی، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران.

۳. استادیار مرکز پژوهش و توسعه فناوری‌های نانو و کربن، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران.

دریافت: اردیبهشت ۱۴۰۴ بازنگری: خرداد ۱۴۰۴ پذیرش: خرداد ۱۴۰۴

https://doi.org/10.30495/JACR1.1404.1208360

چکیده

دی‌متیل‌کربنات (DMC) ویژگی بسیار خوبی برای آمیختن با بنزین موتور دارد. در این پژوهش، برای بهبود بازده، پایداری احتراق و کارایی مؤثر در کاهش آلاینده‌های احتراق در یک موتور درون‌سوز، DMC به‌عنوان یک افزودنی اکسیژن‌دار به بنزین افزوده شد و برای نخستین بار اثر آن بر بنزین به‌عنوان افزودنی بررسی شد. در این راستا، اثر احتراق بنزین پایه (۱۰۰ درصد) و نسبت‌های آمیختگی ۳، ۶ و ۹ درصد حجمی بر کارکرد موتوری و آلایندگی یک موتور چهار سیلندر بررسی شد. گازهای خروجی اگزوز با یک تجزیه‌گر گازی ویژه اندازه‌گیری شد. نتیجه‌های به‌دست‌آمده نشان داد که آمیختن DMC با بنزین تأثیر نامطلوبی بر شاخص‌های کیفی بنزین موتور نداشت و افزون بر قابلیت افزایش عدد اکتان بنزین پایه، موجب افزایش توان موتور، گشتاور، کاهش مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌های HC و NO_X و ذره‌های معلق نیز شد. کربن مونوکسید هم تا حدود ۲۹ درصد وزنی کاهش یافت. همچنین، مقدار هیدروکربن و ترکیب‌های نیتروژن‌دار به‌ترتیب تا حدود ۵۰ و ۷۳ درصد وزنی در دور موتورهای متفاوت، کاهش داشتند.

واژه‌های کلیدی: دی‌متیل‌کربنات، آلودگی هوا، افزودنی‌های سوخت، بهبود دهنده‌های عدد اکتان، آلاینده‌های هیدروکربنی.

مقدمه

افزایش آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مسائل کشورهای توسعه‌یافته امروزی است. گازهای خروجی از اگزوز نقش مهمی را در این آلودگی دارند و استفاده از سوخت‌های دیگری به‌عنوان جایگزین بنزین ضروری است، بدون اینکه نیاز به تغییرهای عمده در ساختار موتورها باشد. نخستین کاربرد افزودنی‌های سوخت، حذف ضربه در موتورهای بنزینی در اوایل قرن بیستم بود. اصلاح‌کننده‌های احتراق، پاداکسنده‌ها، بازدارنده‌های خوردگی و شوینده‌های کنترل رسوب، همگی نمونه‌هایی از افزودنی‌های سوخت هستند. افزون‌براین، افزودنی‌های بنزین را

* عهده‌دار مکاتبات: gholamin@ripi.ir

می‌توان برای کاربردهای متنوعی از جمله تقویت‌کننده‌های عدد اکتان، پاک‌کننده‌های پاشانه[1] سوخت و پادیخ‌ها استفاده کرد. با توجه به تنوع گسترده افزودنی‌های مورداستفاده در سوخت بنزین به‌عنوان یک روش مؤثر در بهبود عدد اکتان سوخت و کاهش آلاینده‌های موتوری، آن‌ها به چهار گروه عمده بهبوددهنده‌های عدد اکتان، پاک‌کننده‌های رسوب کاربراتور، تقویت‌کننده‌های فرایند احتراق و اکسیژن‌دهنده‌های موردنیاز احتراق بنزین، تقسیم‌بندی شده‌اند [۱]. استفاده از سوخت‌های استری با درجه خلوص بالا نتیجه‌های بسیار خوبی را از نظر تأمین کیفیت سوخت از خود نشان می‌دهد. به هنگام افزایش این‌گونه مواد به داخل بنزین، چگالی، فراریت، عدد اکتان و آنتالپی احتراق تغییر می‌کند [۲ و ۳]. با استفاده از اکسیژن-دهنده‌ها، سوخت تمیزتر و عاری از هر گونه رسوب می‌شود و قدرت تراکم‌پذیری سوخت در داخل موتور بدون ایجاد کوبش[2] افزایش می‌یابد. همچنین توان موتور را با افزایش اکتان سوخت ارتقاء خواهد بخشید [۴ و ۵]. ترکیب‌های اکسیژن‌دار، ترکیب‌های غنی از اکسیژن هستند که به هنگام افزایش به سوخت موتور، موجب تولید سوخت پاک‌تر و کاهش آلاینده‌های سمی می‌شوند. ترکیب سوخت‌های موجود، مانند بنزین، با غلظت‌های کم تا متوسط هیدروکربن‌های اکسیژن‌دار، گزینه خوبی برای دستیابی به کاهش انتشار CO_2 با به‌کارگیری زیرساخت‌های موجود است [۶ و ۷]. ترکیب‌های اکسیژن‌داری که تاکنون به‌طور متداول و به‌وفور استفاده شده‌اند اتانول و متیل ترشیاری‌بوتیل‌اتر (MTBE[3]) است [۸ تا ۱۱]. ترکیب‌های اکسیژن‌دار دیگر مانند دی‌متیل کربنات (DMC[4]) که از تخمیر فراورده‌های کشاورزی مانند ذرت و غلات به‌وجود آمده‌اند، هم به‌طورمستقیم و هم در تهیه اتیل‌ترشیاری‌بوتیل‌اتر (ETBE[5]) به‌کار می‌روند [۱۲ و ۱۳]. دی‌متیل کربنات به‌دلیل کم‌سمی‌بودن، آمادگی آمیختگی بالا با سوخت‌های هیدروکربنی معمولی، نداشتن پیوندهای C-C و داشتن اکسیژن بالا، به‌عنوان یک سوخت با ارزش درنظرگرفته می‌شود. هنگامی‌که DMC برای استفاده در موتورهای بنزینی با بنزین ترکیب می‌شود، انتشار آلاینده‌ها در مقایسه با استفاده از بنزین خالص کاهش می‌یابد. احتراق سریع‌تر و بازده موتور بالاتر در ترکیب‌های DMC/بنزین تحت شرایط کارکرد موتور بدون چربی مشاهده می‌شود، در حالی‌که سرعت احتراق سوخت مخلوط به-طورتقریبی برابر یا کمتر از بنزین خالص در شرایط استوکیومتری است. بومی‌کردن دانش فنی ساخت دی‌متیل کربنات برای بالابردن عدد اکتان، ارزشمند است و سوخت حاوی این ماده از قدرت کارایی موتوری بالا برخوردار است و کمترین معضلات زیست‌محیطی را به‌دنبال دارد. از محدودیت-های به‌کارگیری بهبوددهنده‌های عدد اکتان مانند ترکیب‌های اکسیژن‌دا ر[6] (MTBE، TBA، ETBE و متانول) و ارگانومتالیک‌های MMT[7]، فروسن و ترکیب‌های آنیلینی، سمیت بالای آن‌ها، فشار بخار بالا، وابسته‌بودن فرایند به واکنشگرهایی که از خارج تأمین می‌شوند مانند واکنشگرها و یا کاتالیست‌های موردنیاز فرایند، همچنین، آلودگی هوا (انتشار آلاینده‌های فلزهای سنگین، NO_X, VOC) و آلودگی آب‌های زیرزمینی است. مزایای رقابتی DMC، تأمین واکنشگرها آن به‌طور صد در صد در داخل کشور، آسانی فرایند تولید و عدم سمیت زیست‌محیطی این فراورده است. این طرح کاربردی با هدف قطع وابستگی و خودکفایی پالایشگاه‌های کشور در شرایط کنونی و در زمان‌های بحران و به‌منظور ارتقاء کیفیت فراورده‌های بنزین تولیدی داخل کشور انجام شده است. سوخت‌های اکتان بالا منجر به افزایش قدرت و شتاب و کاهش مصرف سوخت ویژه می‌شوند. با افزایش عدد اکتان، انتشار CO کاهش یافت که نتیجه نسبت هوا به سوخت بالاتر ناشی از فشار تقویتی بالاتر است [۶]. DMC جاذبه زیادی را به‌عنوان

1. Injector
2. Knock
3. Methyl tertiary butyl ether (MTBE)
4. Dimethyl carbonate
5. Ethyl tertiary butyl ether
6. Oxygenates
7. Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl

افزودنی به سوخت، در دنیا ایجاد کرده است. بنابراین، لازم است که تولید انبوه این ماده از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد [۱۴ تا ۱۸].

نظر به اهمیت و کاربرد جهانی ماده دی‌متیل کربنات به‌عنوان اکتان افزای سبز بنزین موتور و واکنشگر در ساخت مواد و قطعه‌های بسپار در صنایع پتروشیمی، در این پژوهش، تأثیر افزایش آن بر عدد اکتان بنزین، بازده گرمایی سوخت به‌دست آمده و آلایندگی‌های خروجی اگزوز بررسی شد.

بخش تجربی

دستگاه‌های آزمایشگاهی

همه آزمایش‌ها بر روی یک موتور ۴ سیلندر (چهار زمانه ۱) درون‌سوز مدل Pre-mark 4 ساخت هندوستان با ویژگی‌های فنی آورده‌شده در جدول ۱، انجام شد. موتور به یک دینامومتر هیدرولیک جفت شده بود. دستگاه چگالی‌سنج دیجیتالی از شرکت اتریشی Anton paar برای اندازه‌گیری چگالی نمونه بنزین شاهد و آمیخته با DMC با نسبت‌های متفاوت، به‌کارگرفته شد. همچنین، از دستگاه کارل فیشر مدل Titrando 852 (شرکت Metrohm) سوئیس استفاده شد. اندازه‌گیری مشخصه‌های عمومی بنزین مندرج در جدول ۲ با شرایط یادشده در استانداردهای مرتبط با هر کمیت انجام شد.

مواد شیمیایی

ایزوپروپیل الکل و تولوئن با خلوص ۹۸ درصد از شرکت مرک آلمان تهیه شد. همچنین، استون، اتانول، متانول و زایلن با خلوص آزمایشگاهی بدون نیاز به تخلیص بیشتر از شرکت آلدریچ آمریکا تهیه و استفاده شد. بنزین پایه پالایشگاهی از پالایشگاه تهران با اکتان پایه ۸۳ و چگالی ۰/۷۲۴۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب در دمای ۱۵/۵۶ درجه سلسیوس تهیه شد.

جدول ۱ ویژگی‌های فنی موتور مورداستفاده در انجام آزمایش‌ها

ساخت	داخلی
نوع	چهار زمانه
خنک‌کننده	آب
تعداد سیلندر	۴
بیشینه گشتاور	۷۶@۲۵۰۰ rpm
بیشینه توان	۵۰ bhp@۴۴۰۰ rpm
نسبت تراکم‌پذیری	۷/۲ : ۱
سامانه سوخت	کاربراتوری
ظرفیت	۱۵۰۰ میلی‌لیتر
تجهیزات جانبی	دینامومتر هیدرولیک
ثابت دینامومتر	۲۰۰۰

سوخت آزمایشی و افزودنی

در این سلسله از پژوهش‌ها، DMC به‌عنوان یک افزودنی اکسیژن‌دار به سوخت بنزین موتور مطالعه شد. برای این منظور بنزین عاری از افزودنی (۱۰۰ درصد) به‌عنوان سوخت شاهد در آزمایش‌های موتوری و نسبت‌های آمیختگی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد حجمی (D3، D6، D9 و D12) بنزین و DMC استفاده شد. در جدول ۳ ویژگی فیزیکوشیمیایی DMC (به‌عنوان افزودنی) ارائه شده است.

جدول ۲ مشخصه‌های عمومی بنزین پایه پالایشگاه تهران و نسبت‌های متفاوت آمیختگی DMC با آن

ردیف	آزمون		بنزین	DMC	آمیختگی بنزین با DMC				روش آزمون
					3%(v/v)	6%(v/v)	9%(v/v)	12%(v/v)	
۱	چگالی در دمای ۱۵/۵۶ درجه سلسیوس (kg/m^3)		۰/۷۲۴۵	۱/۰۷۵۰	۰/۷۳۴۸	۰/۷۴۴۵	۰/۷۵۶۵	۰/۷۶۴۸	ASTM D4052
۲	عدد اکتان پژوهشی		۸۳/۰	۱۱۸/۰	۸۴/۱	۸۵/۲	۸۶/۱	۸۷/۱	ASTM D2699
۳	مقدار گوگرد (ppm)		۱۹/۰	---	۱۸/۱	۱۷/۲	۱۶/۵	۱۶/۰	ASTM D5453
۴	H_2S و RSH (ppm)		<۱	---	<۱	<۱	<۱	<۱	UOP 163
۵	عدد اسیدی کل (mg KOH/g)		۰/۰۸	---	۰/۰۷	۰/۰۶	<۰/۰۵	<۰/۰۵	ASTM D664
۶	فشار بخار Reid (psi)		۸/۶۶	۱/۷۱	۸/۶۵	۸/۶۳	۸/۶۰	۸/۵۸	ASTM D323/D4953
۷	مقدار صمغ (پیش از شستشو) (mg/100ml)		۲/۸	۲/۰	۲/۶	۲/۷	۳/۰	۳/۰	ASTM D381
۸	مقدار صمغ (پس از شستشو) (mg/100ml)		۰/۸	۲/۰	۰/۶	۰/۶	۰/۸	۰/۸	ASTM D381
۹	پایداری عدد اکسایش (min)		>۴۸۰	>۴۸۰	>۴۸۰	>۴۸۰	>۴۸۰	>۴۸۰	ASTM D7525
۱۰	خوردگی تیغه مسی		۱a	---	۱a	۱a	۱a	۱a	ASTM D130
۱۱	بنزن (درصد جرمی)		۳/۰۰	---	۲/۹۰	۲/۸۲	۲/۷۰	۲/۵۹	ASTM D5580
۱۲	وزن مولکولی (g/mol)		۱۱۰	۹۰/۱۴	۱۱۰	۱۱۲	۱۱۵	۱۱۵	OSMOMAT
۱۳	گرمای احتراق (mJ/kg)		۴۳/۵۰	۱۶/۳	۴۲/۶۸	۴۱/۸۶	۴۱/۰۴	۴۰/۲۲	ASTM D240
۱۴	مقدار آب (ppm)		۱۵۰	---	۱۴۸	۱۵۲	۱۵۳	۱۴۹	ASTM D6304
۱۵	تجزیه پونا (PONA)	درصد حجمی آروماتیک	۳۶/۷	---	۳۵/۵	۳۴/۱	۳۳/۰	۳۲/۴	ASTM D1319
		درصد حجمی اولفین	۲/۸	---	۲/۵	۲/۱	۱/۵	۱/۳	
		درصد حجمی اشباع	۶۰/۵	---	۶۲/۰	۶۳/۸	۶۵/۵	۶۶/۳	
۱۶	تقطیر در فشار ۷۶۰ mmHg نقطه جوش آغازی (IBP) (°C)		۳۶/۲	۸۸/۸	۳۹	۴۰	۳۸/۱	۴۱/۴	ASTM D86
	بازیابی ۵ درصد حجمی (°C)		۵۱/۵	۸۹/۱	۴۹/۹	۴۸/۷	۴۸/۵	۴۹/۲	
	بازیابی ۱۰ درصد حجمی (°C)		۵۵/۳	۸۹/۱	۵۳/۳	۵۲/۱	۵۱/۹	۵۲/۸	
	بازیابی ۱۵ درصد حجمی (°C)		۵۸/۱	---	۵۶/۲	۵۴/۹	۵۴/۹	۵۵/۴	
	بازیابی ۲۰ درصد حجمی (°C)		۶۰/۷	---	۵۸/۵	۵۷/۵	۵۷/۶	۵۷/۶	
	بازیابی ۳۰ درصد حجمی (°C)		۶۶/۶	---	۶۴/۶	۶۳/۱	۶۳/۱	۶۳/۳	
	بازیابی ۴۰ درصد حجمی (°C)		۷۴/۴	---	۷۱/۶	۶۹/۶	۶۹/۵	۶۹/۶	
	بازیابی ۵۰ درصد حجمی (°C)		۸۳/۵	۸۹/۲	۸۰/۹	۷۸/۰	۷۷/۱	۷۶/۸	
	بازیابی ۶۰ درصد حجمی (°C)		۹۴/۲	---	۹۲/۲	۸۸/۷	۸۶/۴	۸۵/۶	
	بازیابی ۷۰ درصد حجمی (°C)		۱۰۹/۶	---	۱۰۷/۷	۱۰۴/۲	۱۰۱/۲	۹۸/۶	
	بازیابی ۸۰ درصد حجمی (°C)		۱۲۷/۸	---	۱۲۶/۷	۱۲۳/۸	۱۲۲/۲	۱۲۱/۴	
	بازیابی ۸۵ درصد حجمی (°C)		۱۳۷/۵	---	۱۳۶/۴	۱۳۴/۴	۱۳۲/۶	۱۳۱/۸	
	بازیابی ۹۰ درصد حجمی، (°C)		۱۴۶/۷	---	۱۴۶/۵	۱۴۴/۶	۱۴۳/۷	۱۴۳/۲	
	بازیابی ۹۵ درصد حجمی (°C)		۱۶۴/۶	---	۱۶۳/۶	۱۶۳/۰	۱۶۲/۲	۱۶۰/۷	
	نقطه جوش پایانی (FBP) (°C)		۱۷۷/۶	۸۹/۸	۱۷۵/۴	۱۷۴/۶	۱۷۳/۲	۱۷۱/۷	
	بازیابی مجموع (درصد حجمی)		۹۸	۹۹/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۵	۹۷/۴	
	باقی‌مانده (درصد حجمی)		۱/۵	۰/۳	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	
	هدررفت* (درصد حجمی)		۰/۵	۰/۲	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶	

* Loss

جدول ۳ ویژگی فیزیکوشیمیایی DMC موردمطالعه

آزمون	نتیجه	روش آزمون
چگالی (kg/m^3) (در دمای ۲۵ درجه سلسیوس)	۱٫۰۶۳۰	ASTM D4052
گران‌روی سینماتیک (mm^2/s) (در دمای ۱۰ درجه سلسیوس)	۰٫۶۷۶۷	ASTM D445
نقطه اشتعال (°C)	۱۸٫۰	ASTM D93
حلالیت در بنزین	بسیار محلول	Visual
حلالیت در آب	امتزاج‌ناپذیر	Visual
نقطه انجماد (°C)	۴٫۰	ASTM D2386
مقدار آب (ppm)	<۱۰	ASTM D6304
ضریب شکست (در دمای ۲۰ درجه سلسیوس)	۱٫۳۶۸۲	ASTM D1218
نقطه جوش (°C)	۸۹٫۰	---

اندازه‌گیری مقدار مصرف سوخت و آلایندگی

انتشار آلاینده‌های به‌دست‌آمده از موتور با یک تجزیه‌گر گازی آلمانی AVL مدل C50 اندازه‌گیری شد. در این راستا گازهای(ppm) HC[1] ، (%) CO، (%) CO_2 و (ppm) NO_X با تجزیه‌گر یادشده مطالعه شد. سرعت جریان سوخت با اندازه‌گیری حجمی با یک بورت و کرنومتر تعیین شد. سوخت از مخزن و از راه یک بورت مدرج وارد موتور شد.

تجهیزات اتاق آزمون

تجهیزات مورداستفاده در این آزمون لگام ترمز، دستگاه اندازه‌گیری مصرف سوخت بنزین، دستگاه کنترل دمای سوخت بنزین، دستگاه اندازه‌گیری مقدار هوای اضافه، دستگاه اندازه‌گیری گازهای نشتی محفظه لنگ، دستگاه تبرید و مبدل خنک‌کن روغن موتور بودند.

روش کار

ابتدا موتور ۲۰ لیتر بنزین پایه (۱۰۰ درصد) در دورهای متفاوت از ۱۰۰۰ الی ۶۰۰۰ دور بر دقیقه (rpm) با دو نسبت تراکم پذیری ۱۰:۱ و ۱۱:۱ از سوخت پایه شروع به‌کار کرد. پس از تکمیل آزمایش با بنزین یادشده، آزمایش‌ها با بنزین آمیخته‌شده با DMC به نسبت‌های آمیختگی ۳، ۶ و ۹ درصد و در سرعت‌های متفاوت یادشده آغاز شد.

نتیجه‌ها و بحث

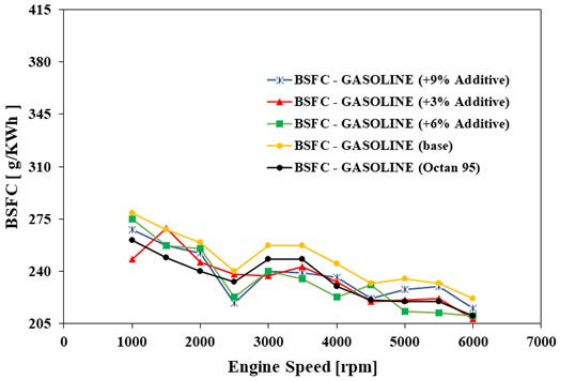
بررسی مصرف سوخت ویژه (BSFC[2])

مصرف سوخت ویژه با افزودن DMC در مقایسه با بنزین بدون افزودنی، کاهش یافت. منظور از مصرف سوخت ویژه نسبت مقدار مصرف سوخت به توان موتور است. با توجه به افزایش بیشتر توان موتور در مقایسه با مصرف سوخت، مصرف سوخت ویژه (BSFC)، کاهش یافت. با وجود کمتربودن ارزش گرمایی سوخت اکسیژن‌دار (DMC) در مقایسه با بنزین معمولی، به‌دلیل آسان‌سازی توان، مصرف سوخت ویژه کاهش یافت. همچنین، پایین‌بودن انرژی پیوندی درون مولکولی و شکستگی پیوندها در دمای پایین‌تر احتراق، برای مولکول DMC بسیار تاثیرگذار است و موجب افزایش سرعت احتراق و کاهش مصرف سوخت ویژه شد. برپایه شکل ۱ در همه

1. Hydrocarbons

2. Brake-specific fuel consumption

حالت‌های آمیختن DMC با بنزین، مصرف سوخت ویژه پایین‌تر از بنزین بدون افزودنی است.

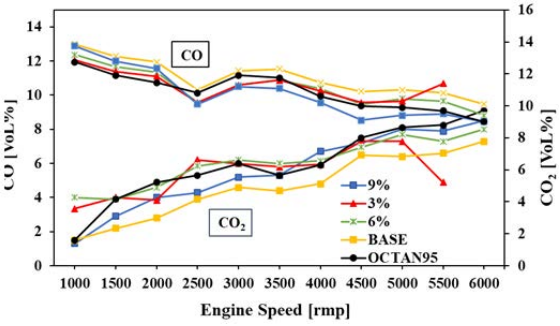


شکل ۱ مصرف ویژه سوخت ترمزی موتور با دورهای متفاوت

اندازه گیری مقدار آلاینده کربن مونوکسید (CO)

در این پژوهش انتشار آلاینده‌های به‌دست‌آمده از موتور با یک تجزیه‌گر گازی مدل AVL اندازه‌گیری شده است. در این خصوص گازهای HC (ppm)، CO (%)، CO_2 (%) و NOx (ppm) با تجزیه‌گر مذکور مطالعه شدند. لازم به‌ذکر است که در همه آزمایش‌ها موتوری وآلایندگی مقدار سوخت موردنیاز ۲۰ لیتر درنظرگرفته شد.

شکل ۲ تاثیر افزودن DMC به بنزین را بر مقدار انتشار آلاینده CO نشان می‌دهد. حضور کربن مونوکسید ناشی از کمبود اکسیژن در فرایند احتراق است. این پدیده می‌تواند موجب پایین‌آمدن کارایی موتور شود. در مقایسه با بنزین پایه، با افزایش DMC کاهش چشمگیری در CO مشاهده می‌شود. این موضوع ناشی از حضور مولکول دی‌متیل کربنات به‌عنوان تامین‌کننده اکسیژن موردنیاز در فرایند احتراق است. مقدار آلایندگی CO در دور موتور ۴۰۰۰ rpm به‌ترتیب برای نسبت‌های آمیختگی ۳ تا ۹ درصد بین ۰/۷ تا ۳ درصد حجمی تغییر می‌کند. در این بررسی همچنین، اثر نسبت‌های آمیختگی DMC به بنزین پایه بر مقدار آلایندگی CO_2 مطالعه شد که نتیجه‌های آن در شکل ۲ ارائه شده است. با افزایش دور موتور میزان آلایندگی CO_2 به‌تدریج افزایش می‌یابد. با کامل‌شدن فرایند احتراق ناشی از حضور DMC به‌عنوان تامین‌کننده اکسیژن، مقدار CO_2 افزایش می‌یابد که در دور موتورهای بالاتر این مقدار افزایش، بیشتر مشاهده می‌شود. در دور موتورهای بالاتر به دلیل افزایش مقدار مصرف سوخت، غلظت CO_2 در گازهای خروجی اگزوز افزایش خواهد یافت.



شکل ۲ درصد حجمی گاز کربن دی‌اکسید و کربن منوکسید در گازهای خروجی در پیش از واکنشگر شیمیایی

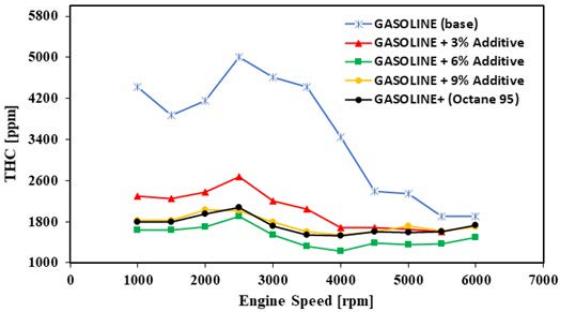
انتشار آلاینده‌های هیدروکربنی (HC)

انتشار آلاینده هیدروکربنی در موتورهای بنزینی بیانگر کیفیت آمیختگی سوخت–هوا و احتراق ناقص در طول فرایند احتراق است. شکل ۳ انتشار HC تحت شرایط ثابت مصرف سوخت (۲۰ لیتر) در هر دور موتور را در نسبت‌های آمیختگی متفاوت DMC با بنزین نشان می‌دهد. در این مطالعه مشخص شد که کاهش انتشار آلاینده HC با نسبت‌های آمیختگی متفاوت DMC، به‌طور چشمگیری اتفاق می‌افتد. در نسبت مخلوط سازی ۶ درصد از افزودنی، مقدار آلاینده HC به کمینه مقدار خود می‌رسد. بنابراین، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دی‌متیل کربنات در اکسایش کامل هیدروکربن‌ها با هوا، می‌تواند نقش بسیار موثری داشته باشد.

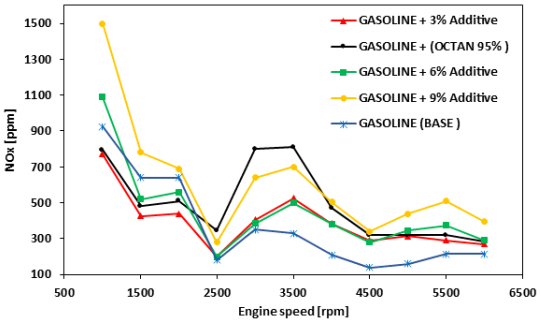
انتشار آلاینده‌های NO_X

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود. مقدار NOx با افزایش DMC به‌دلیل حضور اکسیژن کافی و تقویت فرایند

احتراق به‌ویژه در دورهای موتور بالا افزایش می‌یابد. با این حال در دورهای پایین موتور تا ۲۵۰۰ دور بر دقیقه، مقدار آلایندگی NO_X به‌ویژه برای درصد آمیختگی پایین DMC کاهش یافته است. به‌ویژه اینکه مقدار آن در مقایسه با بنزین پایه و بنزین اکتان ۹۵ پایین‌تر است. اگر چه مقدار NO_X در دورهای بالاتر نسبت به بنزین پایه افزایش یافته است، در مقایسه با بنزین با اکتان ۹۵ از مقدار کمتری برخوردار است.



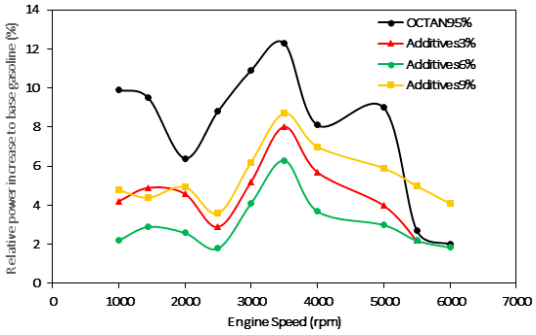
شکل ۳ درصد حجمی گاز هیدروکربن‌های نسوخته در گازهای خروجی در پیش از واکنشگر شیمیایی



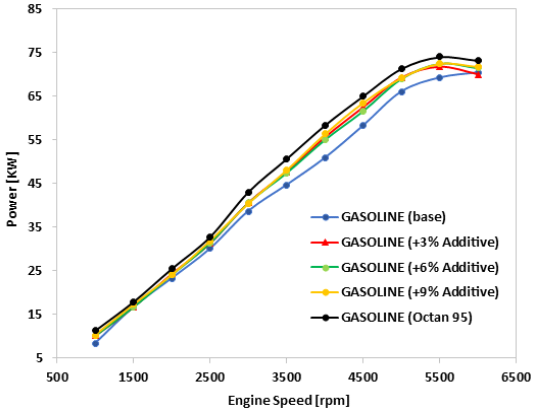
شکل ۴ درصد حجمی اکسیدهای ازت در گازهای خروجی در پیش از واکنشگر شیمیایی

اندازه‌گیری مقدار توان موتور

در این پژوهش، همچنین آزمون‌های متفاوت تمام بار و جزئی توان بر روی موتور انجام شدند. در همه آزمایش‌ها از یک مرجع دیگر افزون بر بنزین پایه (بنزین سوپر با اکتان ۹۵) نیز استفاده شد. شکل ۵ روند افزایش نسبی توان موتور را نسبت به بنزین پایه با اکتان ۸۳ نشان می‌دهد. بر پایه این شکل، در دورهای میانی و بالا، توان موتور به‌طورمحسوسی افزایش یافته است و بیشترین مقدار افزایش در دورهای میانی بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ دور بر دقیقه مشاهده می‌شود. با افزایش درصد DMC بدون هیچ‌گونه آسیب و مخاطرات فنی بر موتور، توان موتور افزایش می‌یابد. افزون‌برآن، در دورهای بالاتر از ۵۰۰۰ دور بر دقیقه توان نسبی در مقایسه با بنزین با اکتان ۹۵ به‌طور تقریبی مشابه و در مواردی بالاتر است. منحنی توان مطلق هر یک از نمونه‌های مورد آزمون در شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۵ اثر افزایش دی‌متیل کربنات در دورهای متفاوت موتور بر توان موتور



شکل ۶ توان مطلق موتور در دورهای متفاوت با سوخت‌های موردآزمون

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تاثیر افزودنی دی‌متیل کربنات بر شاخص‌های کیفی بنزین بررسی شد. همچنین، کارایی و انتشار آلاینده‌های موتور با مشخصه‌های ارائه‌شده با سوخت بنزین پایه و سوخت‌های حاوی ۳ تا ۹ درصد DMC از بررسی و نتیجه‌های زیر به‌دست آمد:

– ماده دی‌متیل کربنات تاثیر نامطلوبی بر شاخص‌های کیفی بنزین موتور نداشت. این ماده با عدد اکتان ۱۱۸ در مقایسه با سایر اکتان افزاهای اکسیژن‌دار قابلیت موثرتری در افزایش عدد اکتان بنزین پایه داشت. همچنین، قابلیت انحلال کامل این ماده در بنزین، عدم سمیت، فشار بخار پایین و عدم انحلال آن در آب، ویژگی‌های مفید این ماده بودند.

– بالابودن مقدار اکسیژن موجود در ساختار DMC و فشار بخار پایین آن موجب کاهش قابل‌توجه قطع جریان سوخت در بنزین و افزایش اندیس چابکی می‌شود.

– در همه شرایط، مصرف سوخت ویـژه کمتـر از مصـرف سوخت در بنزین پایه به‌دست آمد.

– بهره گرمایی به هنگام افزایش DMC بالاتر از بنزین پایه به‌دست آمد.

– بنزین حاوی DMC در همه نسبت‌های آمیختگی، کاهش چشمگیری را در مقدار غلظت HC و CO از خود نشان داد.

– استفاده از افزودنی DMC در نسبت‌های آمیختگی بالا، موجب افزایش CO_2 و NO_X در دورهای متفاوت شد. در دورهای موتور پایین‌تر تغییر NO_X کاهشی و ناچیز بود.

– در طی آزمون رویداد خاصی که بر نتیجه‌های آزمون و یا قطعه‌های آزمونی اثرگذار باشد، رخ نداد.

– بیشینه گشتاور تصحیح‌شده موتور در حالت تمام بار برابر با ۱۳۷ N.m و در دور ۵۰۰۰ rpm روی داد که با افزودن ترکیب‌های DMC تا ۱۰ N.m افزایش یافت.

– مصرف ویژه سوخت ترمزی به‌طورتقریبی در همه دورها با افزودن ترکیب‌های DMC از ۲ تا ۱۰ درصد بهبود یافت.

– دی‌متیل کربنات افزون بر نقش اکتان افزایی، اثر مطلوب دیگری بر کارایی موتور و کاهش آلایندگی داشت.

مراجع

[1] Daud S, Hamidi MA, Mamat R. A review of fuel additives' effects and predictions on internal combustion engine performance and emissions. AIMS Energy. 2022;10(1):1-22. doi: org10.3934/energy.2022001

[2] Rahiman MK, Santhoshkumar S, Subramaniam D, Avinash A, Pugazhendhi A. Effects of oxygenated fuel pertaining to fuel analysis on diesel engine combustion and emission characteristics. Energy. 2022;239:122373. doi: org/10.1016/j.energy.2021.122373

[3] Oppong F, Xu C, Li X, Luo Z. Esters as a potential renewable fuel: A review of the combustion characteristics. Fuel Processing Technology. 2022;229:107185. doi: org/10.1016/j.fuproc.2022.107185

[4] Rodríguez-Fernández J, Ramos Á, Barba J, Cárdenas D, Delgado J. Improving fuel economy and engine performance through gasoline fuel octane rating. Energies. 2020;13(13):3499. doi: org/10.3390/en13133499

[5] Amaral LV, Santos ND, Roso VR, de Oliveira Sebastião RD, Pujatti FJ. Effects of gasoline composition on engine performance, exhaust gases and operational costs. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021;135:110196. doi: org/10.1016/j.rser.2020.110196

[6] Suzuki S, Takahashi E, Oguma M, Akihama K. Effect of blending dimethyl carbonate and ethanol with gasoline on combustion

characteristics. fuels. 2023,4(4):441-53. doi: org/10.3390/fuels4040027

[7] Schifter I, González U, González-Macías C. Effects of ethanol, ethyl-tert-butyl ether and dimethyl-carbonate blends with gasoline on SI engine. Fuel. 2016;183:253-61. doi: org/10.1016/j.fuel.2016.06.051

[8] Pirouzfar V, Hakami M, Hassanpour zonoozi, M, Su CH. Improving the performance of gasoline fuels by adding methanol and methyl tertiary-butyl ether along with metal oxides titanium oxide and magnesium oxide. Energy. 2024;294:130687. doi: org/10.1016/j.energy. 2024.130687

[9] Yang Q, Shao S, Zhang Y, Hou H, Qin C, Sun D, Liu Y. Comparative study on life cycle assessment of gasoline with methyl tertiary-butyl ether and ethanol as additives. Science of the total environment. 2020;724:138130. doi: org/10.1016/j.scitotenv.2020.138130

[10] Abdellatief TM, Ershov MA, Savelenko VD, Kapustin VM, Makhova UA, Klimov NA, et al. Advanced progress and prospects for producing high-octane gasoline fuel toward market development: State-of-the-art and outlook. Energy & Fuels. 2023;37(23):18266-90. doi: org/10.1021/acs.energyfuels.3c02541

[11] Abdellatief TM, Ershov MA, Kapustin VM, Chernysheva EA, Mustafa A. Low carbon energy technologies envisaged in the context of sustainable energy for producing high-octane gasoline fuel. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2023;56:103103. doi: org/10.1016/j.seta.2023. 103103

[12] Estevez R, Aguado-Deblas L, Luna D, Bautista FM. An overview of the production of oxygenated fuel additives by glycerol etherification, either with isobutene or tert-butyl alcohol, over heterogeneous catalysts. Energies. 2019;12(12):2364. doi: org/10. 3390/en12122364

[13] Yang B, Sun W, Moshammer K, Hansen N. Review of the influence of oxygenated additives on the combustion chemistry of hydrocarbons. Energy & Fuels. 2021;35(17):13550-68**.** doi: org/10.1021/acs. energyfuels.1c01841

[14] Pearce JM, Parncutt R. Quantifying global greenhouse gas emissions in human deaths to guide energy policy. Energies. 2023;16(16):6074. doi: org/10.3390/en16 166074

[15] American Society for Testing and Material (ASTM USA Standards), Standard Test Method for Determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, tertiary-Amyl Alcohol and C1 to C4 Alcohols in Gasoline by Gas Chromatography, ASTM D4815, 2022. doi: 10.1520/D4815-99

[16] Yang B, Yang Z, Wei J, Yin Z, Zeng Y, Qian Y, et al. Oxidation-induced variations in the physical and fragmentation characteristics of exhaust soot from DMC-diesel blend: effect of NO presence in the air atmosphere. Fuel. 2024;370:131817. doi: org/10.1016/j.fuel. 2024.131817

[17] Wang Q, Ni J, Huang R. The potential of oxygenated fuels (n-octanol, methylal, and dimethyl carbonate) as an alternative fuel for compression ignition engines with different load conditions. Fuel. 2022;309:122129. doi: org/10.1016/j.fuel.2021.122129

[18] Abdalla AO, Liu D. Dimethyl carbonate as a promising oxygenated fuel for combustion: A review. Energies. 2018;11(6):1552. doi: org/10.3390/en11061552

Laboratory investigation of the effect of increasing of dimethyl carbonate on the efficiency of internal combustion engine gasoline

A.A. Miran Beigi[1], N. Gholami[2,*], M.M. Eskandari[3]

1. Associate Prof. of Oil Refining Research Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran.
2. Instructor (PhD) of Chemical Science and Technology Research Division, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran.
3. Assistant Prof. of Nanotechnology Research Centre, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran.

Abstract: Dimethyl carbonate (DMC) has excellent properties for mixing with gasoline. In this research, for the first time, the effect of dimethyl carbonate on gasoline as an additive was studied and investigated. In this regard, the effect of combustion of base gasoline (100%) and mixing ratios of 3, 6 and 9 volume percent on the engine performance and pollution of a four-cylinder engine was investigated. Exhaust gases were measured using a special gas analyzer. The obtained results showed that mixing DMC with gasoline did not have a negative effect on the quality indicators of motor gasoline. The octane number of base gasoline, engine power, and torque increased, and fuel consumption reduced. In addition, CO, HC, NO_X pollutants, and suspended particles reduced. Carbon monoxide decreased by about 29 wt.%. The amount of hydrocarbons and nitrogen compounds showed a significant decrease of about 50 and 73 wt.%, respectively, at different engine speeds.

Keywords: Dimethyl carbonate, Air pollution, Fuel additives, Octane number improvers, Hydrocarbon pollutants.

*** Corresponding author Email:**
gholamin@ripi.ir