

## بررسی تکنولوژی موتورهای سوخت دوگانه (گازوئیل و گاز طبیعی) در ماشین آلات کشاورزی دیزلی

محسن شاکری

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۷۹/۷/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۷۹/۱۲/۱۷

### چکیده

در این بررسی تبدیل موتورهای دیزل به موتورهای دوگانه سوز (گازوئیل و گاز طبیعی) که از جمله کم هزینه ترین راهکارها برای حل مشکلات دیزل می باشد و تکنولوژی این روش در ماشین آلات کشاورزی دیزلی از قبیل تراکتور، کمباین، خرمکوب و دیگر موتورهای دیزلی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین این روش با دیگر روشهای موجود از جمله گازسوز کردن کامل موتور دیزل مقایسه و مزایا و معایب آن از نقطه نظر زیست محیطی و اقتصادی سنجیده شده است. با بررسی آزمایشات انجام شده و تبدیل موتورهای دیزل به موتور دوگانه سوز مشکلات زیست محیطی آن از جمله تولید آلاینده های هوا، مصرف بالای انرژی و سوخت گرانبهای گازوئیل به میزان قابل قبولی کاهش می یابد. این تکنولوژی به خصوص در کشاورزی جای بررسی کاملی دارد، از جمله مزایای آن می توان به افزایش عمر مفید موتور، کاهش دفعات تعویض روغن موتور، کاهش خوردگی در اجزای موتور و مهمتر از همه قابلیت کار موتور دوگانه سوز با سوخت گازوئیل به تنهایی، اشاره کرد.

**واژه های کلیدی:** موتور سوخت دوگانه، موتور دیزل، آلاینده های خروجی، مصرف انرژی سوخت، کشاورزی.

### مقدمه

سوخت و توان بالای اسب بخار در موتورهای امروزی ارائه شود. در بین راه حل های ممکن، گاز طبیعی به دلیل فراوانی و ارزانی تنها سوختی است که هر دو نیاز زیست محیطی و سوختی را تأمین می کند.

گاز طبیعی شامل گاز متان  $CH_4$  با بیش از ۸۰

بی ثباتی بازار پتروشیمی و کاهش میزان سفارشات نفت در روزهای اخیر، به خصوص برای کشورهای تولیدکننده نفت مانند کشور ما ایران، و ازدیاد فعالیتها و فشارهای زیست محیطی باعث شده تا روشهای جدیدی برای جوابگویی به کمبود





درصد و مقدار کمی هیدروکربنهای سنگین تر از قبیل اتان و پروپان، دی اکسیدکربن و آب می باشد. هیدرو کربنهای سنگین با باندهای بلندتر کربنی، انرژی حرارتی بیشتری برای واحد حجم گاز نسبت به گاز متان تولید می کنند. گازی که ترکیب آن بنحوی باشد گرمایی بیشتر از ۱۱۰۰ بی تی یو<sup>۱</sup> برای واحد حجم SCF<sup>۲</sup> تولید کند به عنوان گاز داغ شناخته می شود که سوخت بهتری برای استفاده در موتور محسوب می گردد (۱۰).

میزان مرغوبیت یک سوخت با عدد اکتان یا ستان آن سنجیده می شود، متأسفانه مشخصاتی که باعث مرغوبیت یک سوخت خوب در موتورهای جرقه ای می شوند معمولاً برای موتورهای تراکمی نامطلوب می باشند. سوختهای گازی برای اشتغال به نسبت تراکم بسیار بالا و یا توزیع انرژی حرارتی در سیلندر از یک منبع خارجی مانند شمع نیاز دارند.

راه حلی که در سیستم سوخت دوگانه ارائه می گردد، استفاده از مقدار کمی گازوئیل (Pilot) به عنوان شروع کننده احتراق و مشتعل کردن مخلوط گاز طبیعی و هوا در نسبت تراکم پایین، می باشد.

در نزدیکی حد پایین پیستون، گاز طبیعی بعد از اختلاط کامل در مخلوط کن هوا-گاز، از طریق شیر سلونوئیدی سرعت بالا (HSV)<sup>۳</sup> وارد سیلندر شده و در حالیکه پیستون بالا می رود، فشرده گردیده و در نزدیکی حد بالایی پیستون، سوخت گازوئیل تزریق می گردد. سوخت گازوئیل با توجه به پایین بودن دمای احتراقی آن، محترق گردیده و مخلوط گاز و هوا را با خود می سوزاند. در این تکنولوژی نسبت تراکم بالای موجود در موتورهای دیزل حفظ شده که این باعث حفظ راندمان موتور در حالت دوگانه سوز می باشد.

موتور دیزل با سوخت دوگانه: موتور دیزل را می توان به نحوی تجهیز کرد که بطور همزمان از

گازوئیل و گاز طبیعی در وضعیت سوخت دوگانه استفاده کند. نکته قابل توجه، برابری راندمان سوختی این موتور با موتور دیزل معمولی می باشد. به عبارت دیگر این موتورها علاوه بر مزایای مختص به خود تضمینی برای حفظ مزایای موتورهای دیزل نیز می باشند. به کارگیری موتور با سوخت دوگانه به دلیل جایگزینی بخش عمده گازوئیل توسط گاز طبیعی (بالغ بر ۹۰ درصد)، مصرف سوخت را کاهش می دهد. نسبت پایین کربن به هیدروژن در گاز طبیعی نسبت به گازوئیل، امکان کاهش حدود ۱۵ درصد دی اکسیدکربن خروجی نسبت به سیستم دیزل معمولی را فراهم می کند که نتیجه آن کاهش گازهای گلخانه ای از قبیل انیدرید کربنیک می باشد (شکل ۱) (۷).

پاکیزگی بیشتر در احتراق سوخت دوگانه سبب آلودگی کمتر روغن روان کننده می شود، بنابراین در فواصل طولانی تری تعویض روغن و تعمیرات اساسی صورت می گیرد (۹). همچنین موتور دوگانه، دوده و اکسیدهای نیتروژن را که در موتورهای دیزل به میزان قابل توجهی تولید می گردند، به حداقل می رساند.

### مواد و روشها

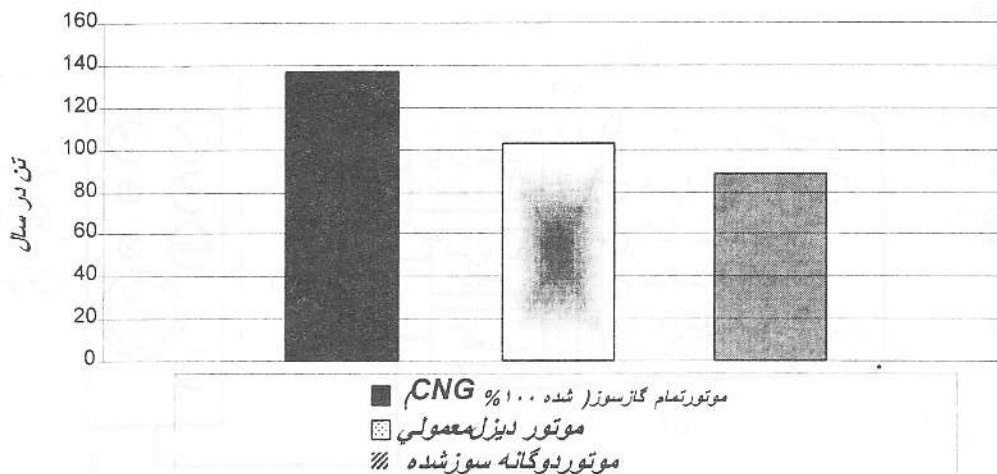
موتورهای سوخت دوگانه از یک سیستم تزریق چند نقطه ای (MDDF)<sup>۴</sup> بهره می برند. سیستم این نوع موتورها در یک بسته قابل اعتماد مهندسی (Kit) خلاصه شده است که قلب مجموعه یک

1- British Thermal Unit

2- Standard Cubic Feed

3- High Speed Valve

4- Multipoint Diesel Dual Fuel



شکل ۱- میزان خروجی گاز دی اکسید کربن به عنوان یک گاز گلخانه‌ای مهم.

توسط سوخت دیزل از یک پمپ تزریق استاندارد سوخت دیزل ۱۴ تغذیه می‌شود (۱۲۰۱۱).

گاز طبیعی (NG) از منبع گاز طبیعی<sup>۳</sup> ۲۵ با فشار حدود ۲۰ پوند بر اینچ مربع از شیر سلونوئیدی قطع‌کن گاز طبیعی<sup>۴</sup>، رگلاتر گاز ۲۸، شیر اندازه‌گیر گاز<sup>۵</sup> ۳۰ و مخلوط‌کن هوا-گاز<sup>۶</sup> عبور کرده تا به سیلندر وارد می‌شود، بع عبارت دیگر گاز طبیعی به مخلوط‌کن هوا-گاز، بین ورودی کمپرسور توربوشارژر و فیلتر هوا، وارد می‌شود.

واحد کنترل الکترونیکی<sup>۱</sup>، پمپ تزریق سوخت دیزل ۱۴ را کنترل می‌کند. مقدار سوخت دیزل لازم به عنوان Pilot برای وضعیت سوخت دوگانه بصورت منحنیهای گشتاور اسمی موتور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در حافظه ECU برنامه‌ریزی می‌گردد. شکل ۳ منحنی B گشتاور

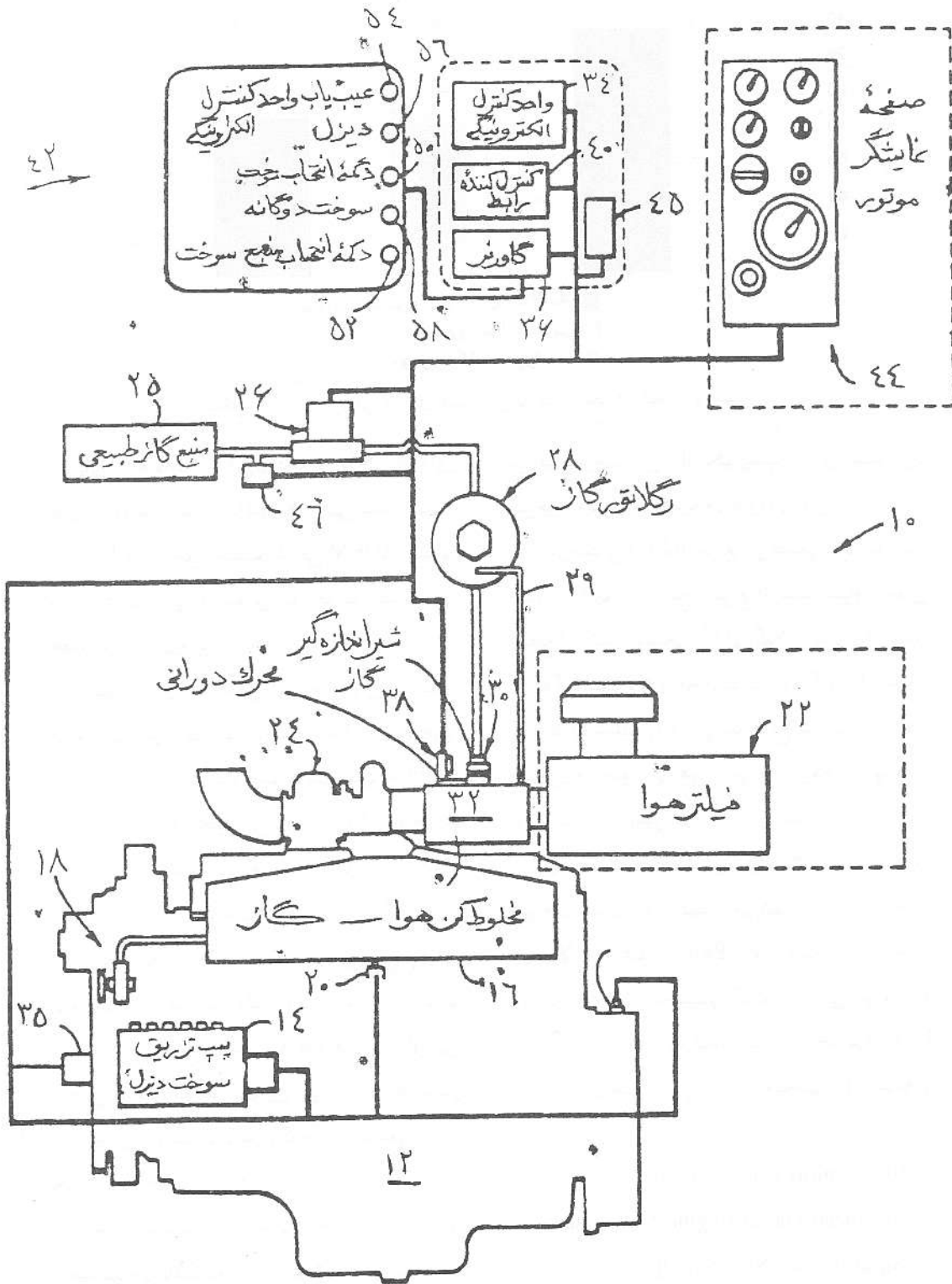
ریزپردازنده به نام ECU<sup>۱</sup> دارد که به کمک داده‌های آزمایشی موتور، پمپ انژکتور طراحی شده است. سیستم ECU شامل سیستم کنترلی ADEM<sup>۲</sup> است که ارتباط بین این دو بخش توسط نرم‌افزارهای مخصوص امکان‌پذیر می‌باشد (۱۳،۶،۵،۴).

با همکاری و هماهنگی این دو بخش و ارتباط الکترونیکی بین آنها زمان دقیق و مقدار سوخت برای تزریق گازوئیل به عنوان سوخت Pilot در سیلندر محاسبه و تنظیم می‌گردد. ECU با توجه به فشار داخل منیفلد، دمای هوای ورودی، فشار گاز، دمای گاز و ویژگی سوخت، با فرستادن سیگنال‌های الکترونیکی به سوپاپ تزریق گاز طبیعی، باز و بسته‌شدن و به عبارت دیگر زمان تزریق گاز را تنظیم کرده تا به این وسیله بهترین بازده و کمترین آلودگی حاصل گردد. عنصر کلیدی این مجموعه شیر سلونوئیدی سرعت بالا بوده که گاز طبیعی را در محل درجه هوای ورودی به سیلندر تزریق می‌کند. سایر اجزاء سیستم شامل حساسه‌های استاندارد و مخصوص می‌باشد که اطلاعات کارکرد موتور را در هر لحظه به ریزپردازنده منتقل می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود موتور سوخت دوگانه ۱۰ همان موتور دیزل ۱۲ بوده، که

- 1- Electronical Control Unit
- 2- Advanced Diesel Engine Managment
- 3- Natural Gas (NG) Supply
- 4- NG Shut-off Valve
- 5- NG Metering Valve
- 6- NG/Air Mixer





۶۰



شکل ۲ - شمای کلی از سیستم موتور سوخت دوگانه.

موتور در وضعیت سوخت دیزل خالص، منحنی A گشتاور در وضعیت سوخت دوگانه برای بار بیشتر از ۸۰ درصد و منحنی C گشتاور را برای بار کمتر از ۸۰ درصد نشان می‌دهد.

یک گاورنر گاز طبیعی ۳۶ محرک دورانی<sup>۱</sup> ۳۸ را کنترل می‌کند که بدین طریق شیر اندازه‌گیری کنترل می‌شود. این گاورنر سیگنال سرعت موتور را از پیکاپ سرعت موتور<sup>۲</sup> ۳۷ دریافت می‌کند. این نوع گاورنر شامل پتانسیومتر تنظیم سرعت میانی<sup>۳</sup> بوده و حد پایین سرعت را برای وضعیت سوخت دوگانه تعیین می‌کند که بسته به نوع موتور حداقل دور موتور را در محدوده ۱۲۰۰ تا ۲۳۰۰ دور بر دقیقه نگه می‌دارد که این عمل با ولتاژ ارسالی از کنترل کننده رابط ۴۰ کنترل می‌شود.

کنترل کننده رابط بر عملکرد ECU و کنترل کننده گاز طبیعی نظارت کرده و امکان کنترل دستی از طریق برد کنترلی ۴۲ را ایجاد می‌کند. همچنین، کنترل کننده رابط بطور خودکار بین وضعیت سوخت دیزل و یا سوخت دوگانه با توجه به شرایط کاری و نیز دستورات رسیده از طرف اپراتور، بهترین حالت را بر می‌گزیند. گاورنر که خود یک کنترل کننده سرعت می‌باشد. سعی در ثابت نگه داشتن سرعت موتور خواهد داشت. این گاورنر با دریافت سیگنالهایی از کنترل کننده رابط که نشان دهنده سرعت مطلوب (مثلاً ۱۸۰۰ دور بر دقیقه) است با باز و بسته کردن شیر کنترل کننده، سعی در ثابت نگه داشتن دور موتور خواهد داشت. ارتباط مناسب بین اپراتور و موتور توسط صفحه نمایشگر موتور ۴۴ ایجاد می‌شود که دارای شاخصهای معمول موتور دیزل از قبیل سرعت سنج، اندازه گیر سوخت، دما و فشار روغن و غیره می‌باشد.

ECU، گاورنر، گاز طبیعی و کنترل کننده رابط در یک محفظه قرار گرفته و صفحه کنترل بر روی آن

نصب می‌گردد. کنترل کننده رابط به عنوان یک رابط میانی بین اپراتور و ECU (برای تنظیم موتور در وضعیت دیزل) و گاورنر (برای تنظیم سرعت) عمل می‌کند. در حین کار موتور در وضعیت سوخت دوگانه، گاورنر توسط کنترل کننده رابط نقطه تنظیم<sup>۴</sup> سرعت را تنظیم می‌کند. مقادیر مطلوب سرعت از جدول ارزیابی موجود در کنترل کننده رابط که شامل نقطه تنظیم سرعت بر حسب دور موتور است، به دست می‌آید.

کنترل کننده رابط نیز با ارسال درصد سیگنال حدی به گاورنر از مصرف بیش از حد سوخت در وضعیت سوخت دوگانه در دورهای پایین جلوگیری می‌نماید. این عمل به کنترل کننده رابط این امکان را می‌دهد تا منحنی گشتاور موتور دیزل را تخمین بزند.

تا کنون با توجه به طرحهای اجرا شده در سطح کشور، در موتور دیزل گازسوز شده، سیستم احتراقی موتور از حالت سیکل دیزل به سیکل اتو تبدیل می‌شود. به عبارت دیگر سیستم پمپ انژکتور و سوزنهای تزریق کنار گذاشته شده و بجای آن سیستم جرقه زنی شمع و دلکو جایگزین می‌شود.

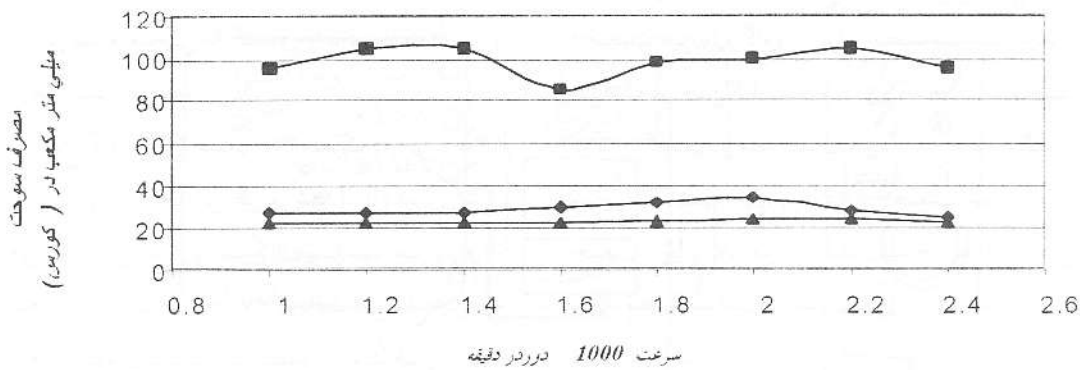
## نتایج و بحث

ذخیره گاز طبیعی بر روی یک وسیله نقلیه مهمی به حساب می‌آید. استفاده از مخازن سنگین فولادی، ظرفیت حمل و پایداری وسیله نقلیه را کاهش می‌دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود از مخازنی از جنس الیاف مصنوعی (کامپوزیت) استفاده شود. هر

- 1- Rotary Actuator
- 2- Engine Speed Pick-up
- 3- Internal Speed Adjust Potentiometer
- 4- Set Point



برای بار بیشتر از ۸۰ درصد و منحنی C گشتاور برای بار کمتر از ۸۰ درصد رانشان می دهند.



شکل ۳- منحنیهای محدودیت گشتاور ECU که در ECU برنامه‌ریزی می‌شود.

ماشین‌آلات کشاورزی مانند تراکتور و تیلر، احتیاج به مکانی ایمن و جادار ضرورت دارد. طبق بررسیهای انجام شده بهترین مکان بالای سقف دستگاه انتخاب شده است، مثلاً در تراکتور و کمباین، با در نظر گرفتن شرایطی خاص، از نظر ایمنی مناسب خواهد بود. البته حفظ تعادل و پایداری ماشین از اهمیت بالایی برخوردار است که با در نظر گرفتن ارتفاع کم برای مخزن مورد استفاده، می‌توان این مشکل را نیز تعدیل نمود. در جدول ۲ قیمت تبدیل یک دستگاه موتور دیزل به موتور دوگانه‌سوز برآورد شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود مدت بازگشت هزینه بسیار کوتاه بوده و بعد از این مدت سیستم سوددهی خواهد داشت. به این ترتیب علاوه بر منفعت مادی برای مالک موتور، در مصرف سوخت ارزشمند گازوئیل که امروزه درصد عظیم آن وارداتی بوده، صرفه‌جویی شده و از خروج میلیونها دلار ارز از کشور جلوگیری خواهد شد. با تبدیل موتور

چند این روش هزینه بالاتری دارد ولی در دراز مدت نه تنها این هزینه اضافی جبران می‌شود بلکه بعد از آن سوددهی خواهد داشت. جدول ۱ نمونه‌ای از آخرین قیمت‌های این نوع مخازن در ایران و وزن هر یک را نشان می‌دهد (۳،۲).

با توجه به اینکه فشار مخزن نگهداری گاز طبیعی فشرده (CNG) در حد ۲۰۰ بار می‌باشد حجم اشغال شده توسط گاز بسیار کم خواهد بود. البته وزن مخصوص گاز فشرده حدود ۲۰ درصد گازوئیل می‌باشد و این به آن مفهوم است که حجم ذخیره‌ای در حدود ۵ برابر گازوئیل برای انجام کار یکسان احتیاج می‌باشد. ولی این مشکل در صورتی که فقط از گاز به عنوان سوخت جایگزین استفاده شود، رخ خواهد داد و در سیستم موتور سوخت دوگانه به دلیل استفاده از تکنولوژی سیستم کنترل الکترونیکی میزان مصرف گاز و حجم مورد نیاز برای ذخیره تفاوت چندانی با موتور دیزل نخواهد داشت (جدول ۱).

مکان مخزن ذخیره گاز در ماشین حایز اهمیت است چون با توجه به کوچکی اندازه بعضی از



موتور دیزل	موتور دیزلی تمام	واحد		
با سوخت دوگانه	گازسوز			
۸۴	۲۵۰	Le	ظرفیت	
۱۶۰	۴۱۰	کیلوگرم	وزن	فولادی با
۲۵۰۰	۶۰۰۰	US\$	قیمت	جدار کامپوزیت

Le: لیتر گاز معادل یک لیتر گازوئیل

جدول ۲- مقایسه کامل بین دو موتور.

موتور دیزل	موتور دیزلی تمام	واحد		
با سوخت دوگانه	گازسوز			
۴۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	Le	سوخت مصرفی در یکسال	
۰/۱۳	۰/۰۶	US\$/L	هزینه جاری سوخت	
۶۰۰۰	۱۵۰۰۰	US\$	هزینه تبدیل موتور	
۷۰	۱۰۰	%	جایگزینی گازوئیل	
۲۸۰۰۰	۲۰۰۰۰&۴۰۰۰۰	Le&L	جایگزینی در یکسال	
۲۵۰۰	۲۴۰۰	US\$	صرفه جویی سالانه	
۲/۴	۶/۲	سال	مدت بازگشت سرمایه	

سالانه حدود ۳۰۰۰ دلار ارزیابی خواهد داشت (۳،۲).

در یک نگاه کلی فراوانی ماشین آلات کشاورزی و استفاده بالا از آنها در توان و دور موتورهای بالا، منجر به مصرف بالای سوخت می شود، بنابراین چه بهتر که بتوان از سوختی فراوان و ارزان استفاده نمود. این طرح کمک قابل ملاحظه ای به سیاستهای دولت و برگشت سرمایه خواهد داشت.

نکته مهم در مورد موتورهای سوخت دوگانه، قابلیت آنها از حیث کار در هر دو حالت سوخت دوگانه و فقط سوخت گازوئیل بوده، که مهمترین مزیت آنها نسبت به موتورهای دیزلی تمام گازسوز می باشد. این قابلیت در مورد ماشین آلات کشاورزی باعث می شود تا اگر به سوخت گازی در شرایط

دیزل به موتور سوخت دوگانه در موتورهای ماشین آلات کشاورزی، دود مرئی حذف شده، اقتصاد سوخت در حد مطلوبی حفظ می شود و طول مدت بازگشت هزینه های تبدیل، بدون احتساب رایانه و کمکهای اهدایی، قابل قبول می گردد (جدول ۱ و ۲).

کاهش مصرف سوخت گازوئیل و جایگزینی آن با گاز طبیعی علاوه بر کاهش هزینه های جاری سوخت، باعث جلوگیری از واردات گازوئیل و خروج ارز می گردد و گاز طبیعی فراوان موجود در مخازن نفتی کشور در راه بهینه ای مصرف خواهد شد.

با یک حساب سرانگشتی، بعد از مدت یادشده هر موتور دیزل متوسط کشاورزی با توان متوسط،





خاص دسترسی نباشد، استفاده کننده ماشین با تغییر وضعیت سوخت رسانی از حالت دوگانه به یگانه (گازوئیل تنها) همچنان به کار با ماشین ادامه دهد.

از دیدگاه زیست محیطی، با تبدیل موتور دیزل به موتور دوگانه سوز مشکلات زیست محیطی موتورهای دیزل از جمله تولید آلاینده های هوا به میزان قابل قبولی کاهش می یابد. با استفاده از سیستم کنترل رایانه ای در موتورهای دوگانه سوز و تنظیم نسبت دو سوخت در بارگذاری های مختلف ایجاد اکسیدکربن<sup>۱</sup>، هیدروکربن<sup>۲</sup> و به خصوص ذرات معلق<sup>۳</sup> و اکسیدازت<sup>۴</sup> به شدت کاهش یافته و مشکلات آلودگی هوای شهرهای بزرگ کشور به ویژه تهران تا حد زیادی کم شود (شکل ۴).

شکل ۵ نشان دهنده مقایسه عملکرد چند موتور آزمایشی در بارگذاری های مختلف می باشد. همان طور که ملاحظه می شود در بارگذاری های پایین موتور دیزل دوگانه سوز مصرف سوخت معادل بسیار کمتری نسبت به موتور تمام گازسوز شده دارد و دلیل آن حفظ نسبت تراکم بالا در موتور دوگانه سوز می باشد. همچنین در بارگذاری های بالاتر از ۷۰ درصد کارکرد این موتور از موتور دیزل اولیه نیز بهتر می نماید که دلیل آن استفاده از سیستم کنترل الکترونیکی هوشمند در تنظیم مصرف هر یک از دو سوخت می باشد.

با توجه به نتایج، در مجموع مزایای موتورهای دوگانه سوز را در موارد زیر خلاصه کرد (۱۴، ۱۵، ۱۶).  
۱- اقتصادی بودن تبدیل موتور از نظر هزینه های ثابت.

۲- کاهش هزینه های جاری سوخت با توجه به فراوانی گاز طبیعی در مخازن گازی کشور.

۳- کاهش شدید آلاینده های خروجی موتورگ (نسبت به موتورهای دیزل).

۴- ثابت ماندن توان و قدرت موتور همانند موتور

دیزل.

۵- قابلیت کار موتور با سوخت گازوئیل به تنهایی در مواقع ضروری و ناگهانی.

۶- کارکرد عالی و قابل اطمینان در طی زمان طولانی.

۷- انتقال حرارت و راندمان حرارتی همانند موتور دیزل (راندمان حرارتی بالا).

۸- سازگار با تسهیلات رایانه ای برای کنترل و تنظیم موتور.

۹- سازگار با تسهیلات سیستم الکترونیکی موتور.

۱۰- اشغال حجم بسیار کمتر برای ذخیره سوخت گاز طبیعی نسبت به دیگر انواع سیستمها.

۱۱- افزایش عمر مفید موتور نسبت به موتور دیزل.

۱۲- کاهش دفعات تعویض روغن موتور به دلیل استفاده از سوخت تمیزتر گاز طبیعی.

۱۳- احتیاج به تعمیرات کمتر موتور و کاهش خوردگی در موتور (سوخت گازوئیل موجود در

کشور دارای درصد بسیار بالایی گوگرد (حدود ۰/۱٪) است که نسبت به حالت استاندارد آن (حدود ۰/۰۵٪

تا ۰/۱ درصد) مقدار قابل توجهی است و این خود ایجاد خوردگی شدید در اجزاء موتور بخصوص

سوزن تزریق و پمپ تزریق گازوئیل می نماید که با جایگزینی سیستم سوخت دوگانه و کاهش زیاد در

مصرف گازوئیل در موتور این مشکلات تا حدی زیادی کاهش می یابد (۱).

1- CO

2- Total hydrocarbhone

3- Particulate matter

4- Nox



۱. آمار شهرداری تهران، ۱۳۷۶.
۲. آمار موجود در شرکت واحد اتوبوسرانی شهر تهران، ۱۳۷۷.
۳. بدخششان، ا.و.ن. سلامی ۱۳۷۷. چهارمین کنگره مهندسی شیمی، ۱۸-۲۰ اسفند، دانشگاه صنعتی شریف.
4. Arsenault, J., Goetz & J. Larocque. 1993. United States Patent No. 5224457, July 6.
5. Badakhshan, A. 1998. Air pollution and its Impact on Energy Development, Vol. 2, 1st Edition.
6. Badakhshan, A., & E. mirosh. 1996. The Second North American Conference and Exhibition, 19-22 November, Orlando, Florida.
7. Badakhshan, A. & E. Morish. 1997. Processing of the 15th World petroleum Congress Published by John Willey & Sons.
8. Caterpillar Co., Dual-Fuel Engines.
9. Graf, B.R. 1995. United States Patent No. 5450832, September 19.
10. Hedrick, J.C. & G.Bourn. 1999. United States patent No. 5890459.
11. J. & H. Diesel Service, Inc.,
12. Lilly, L.C.R. 1984. Diese Engines Reference Book, 1st Edition, Butterworth and Co.
13. Magdi, K.K. 1997. Future Diesel Engines, SAE Technical Paper Series 972687.
14. Sallami, N., A. Badakhshan, M.Kazemeini, M. Soltanieh, M.D. checkel & M. Zheng. 1998. Proceeding of the Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers (ASME).
15. South Coast Air Quality. 1995.
16. The ECI Dual Fuel Sourcebook., 1998. Energy Conversion Co. Ltd.

