

بررسی فنی تبدیل موتور ژنراتورهای گازوئیلی به موتور ژنراتورهای DUAL FUEL (90% گاز طبیعی و 10% گازوئیل)

مقدمه

موتور، شامل سیلندر و تجهیزات جانبی بوده و مجموع این سیستم ها، موتور را قادر می سازد تا استارت زده و به عملکرد خود ادامه دهد. سوخت با سیستم سوخت رسانی برای موتور تامین شده و درجه حرارت موتور توسط سیستم خنک کاری کنترل می شود. روغن به منظور کاهش اصطکاک و جلوگیری از سائیدگی در سرتاسر موتور توسط سیستم روغن کاری به گردش در می آید. هوا توسط سیستم ورود هوا به داخل سیلندرها موتور کشیده می شود، و گازهای سوخته شده توسط سیستم خروج دود، و اگزوز از موتور خارج می شوند.

۱- عملکرد موتورهای احتراق داخلی

یک موتور از اجزای زیادی تشکیل یافته و هر یک از اجزای آن تاثیرات متقابل بر یکدیگر و نهایتاً بر روی عملکرد موتور دارند. اجزای قابل توجه و اصلی یک موتور شامل قطعاتی نظیر سیلندر، میل لنگ، میل سوپاپ، پیستون، شاتون، فلاپول و ... می باشند و از آنجائیکه بیشتر حجم تشکیل یک موتور را سیلندر آن شامل می شود، بنابراین سیلندر یکی از اساسی ترین و مهم ترین قطعات در یک موتور بشمار می رود.

۱-۱ تاثیر اندازه سیلندر در کارکرد موتور

چنانچه می دانید اساس فهم کارکرد موتور، دانستن تاثیر اندازه سیلندر می باشد. در یک گروه از سیلندرها با اندازه های متفاوت ولی با طرح متشابه و یکسان، آثار مربوط به اندازه سیلندر بر روی کارکرد موتور را می توان به شرح زیر بیان نمود:

- در درجه میل لنگ یکسان، تنشهای ناشی از فشار گاز و اینرسی قطعات (قطعات مونتاژ به سیلندر شامل پیستون، شاتون و قطعات سیستم سوپاپ) نیز یکسان خواهد بود به شرطی که:
- الف) سرعت متوسط پیستون برابر باشد.
- ب) نمودارهای اندیکاتور ($P - \theta$) یکسان باشد.
- ج) تنش های شدید ناشی از نیروهای ارتعاشی از میل لنگ و سایر قطعات ساختمان موتور وجود نداشته باشد.
- وقتی شرایط مکش و تخلیه (ورود و خروج) و نسبت سوخت و هوا یکسان باشد سیلندرها با مشابه با سرعت پیستون یکسان، دارای نمودار اندیکاتور و فشار موثر متوسط اصطکاکی یکسانی اند.
- چون وزن سیلندر با مکعب قطر داخلی یا با حجم جابجایی کلی پیستون متناسب است، بنابراین وقتی فشار متوسط و سرعت یکسان باشد، وزن بر هر اسب بخار مستقیماً متناسب با قطر داخلی افزایش می یابد.
- دمای قطعاتی که در معرض گازهای داغ قرار می گیرند، با افزایش اندازه سیلندر افزایش می یابد، مگر اینکه برای کوتاه نگه داشتن مسیرهای جریان گرما، تغییراتی در طرح به عمل آید.
- در موتورها، چنانچه قطر سیلندر افزایش یابد، به علت کاهش سرعت دورانی، کنترل فشارهای ماکزیمم سیلندر و شدت های ماکزیمم ازدیاد فشار، آسانتر شده و نتیجتاً می توان سوختهایی با کیفیت اشتعال پائین تر را بکار برد.

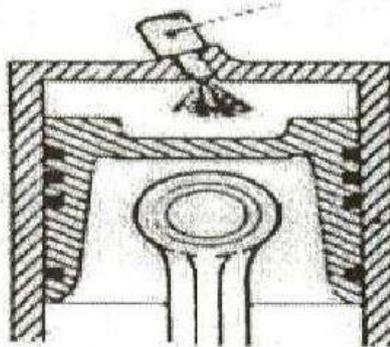
- با افزایش قطر داخلی سیلندر، خسارت ناشی از سایش در مدت زمان معینی، کاهش می‌یابد. یعنی در فاصله بین تعمیرات کلی یا تعویض قطعات، موتور مدت بیشتری کار می‌کند.
- با در نظر گرفتن نسبت سوخت و هوا و نسبت تراکم یکسان، با افزایش اندازه سیلندر در اثر کاهش اتلاف گرمای مستقیم، بازده موتور افزایش می‌یابد.

۲- سیستم سوخت رسانی

در سیستم سوخت سانی، یکی از قطعاتی که در نحوه سوخت رسانی بسیار موثر بوده و عملکرد موتور وابستگی زیاد به این مکانیزم دارد، همان انژکتور یا شیر تنظیم مقدار گاز سوخت می باشد. البته قابل ذکر است که نحوه سیستم سوخت رسانی به پارامترهای دیگری نظیر عدد ستان و نوع سیستم پاشش سوخت نیز بستگی دارد.

۲-۱ سیستم های پاشش مستقیم سوخت

در این روش، سوخت مستقیماً به داخل محفظه احتراق و در محلی که یک گودی در سر پیستون قرار دارد، تزریق می‌گردد. فاصله کمی بین سر پیستون و سر سیلندر در نقطه مرگ بالا وجود داشته، به طوری که هوای فشرده در سیلندر از سطح خارجی سر پیستون به سمت محفظه احتراق در مرکز پیستون به جریان می‌افتد. این جریان موجب شدت تلاطم و ترکیب شدن هوا با سوخت تزریق شده از انژکتور می‌شود. محفظه احتراق در سر پیستون ممکن است استوانه ای یا نیم کره ای، نعلیکی شکل یا به شکل قلب باشد. انژکتورها با الگوهای پاشش متفاوت، متناسب با محفظه احتراق مربوط طراحی شده‌اند.



شکل (۱): سیستم پاشش مستقیم سوخت

۲-۲ کنترل مکانیکی تزریق سوخت

در موتورهای دیزلی، تزریق سوخت به وسیله یک گاورنر مکانیکی و با حرکت شانه سوخت تنظیم می‌شود. این گاورنر پشت یک پمپ انژکتور گازویلی کوپل شده است و در حقیقت پمپ انژکتور وظیفه دارد تا سوخت تنظیمی گاورنر را که با جابجائی شانه سوخت تنظیم می‌شود با فشار لازم در داخل سیلندر و در زمان مناسب روی پیستون، چند لحظ قبل از نقطه مرگ بالای پیستون پاشش کند. پشت هر انژکتور محفظه ای قرار دارد که با پیشروی شانه حجم این محفظه کوچکتر می‌شود و با عقب رفتن شانه این حجم بزرگتر می‌شود و حجم این محفظه مقدار سوخت مکیده شده از باک سوخت را تعیین می‌کند. چگونه با توجه به گشتاور و سرعت موتور، محل دقیق شانه سوخت تعیین می‌شود؟ دو وزنه حول محوری که با دو فنر به آن محور کوپل شده اند فرض کنید، بدیهی است اگر این محور با سرعت ثابت بچرخد و نیروی گریز از مرکز مناسبی به وزنه وارد شود فنرها به سمت بیرون کشیده می‌شوند. با افزایش سرعت چرخش، این فنرها بازتر شده و با کاهش سرعت چرخش، فنرها

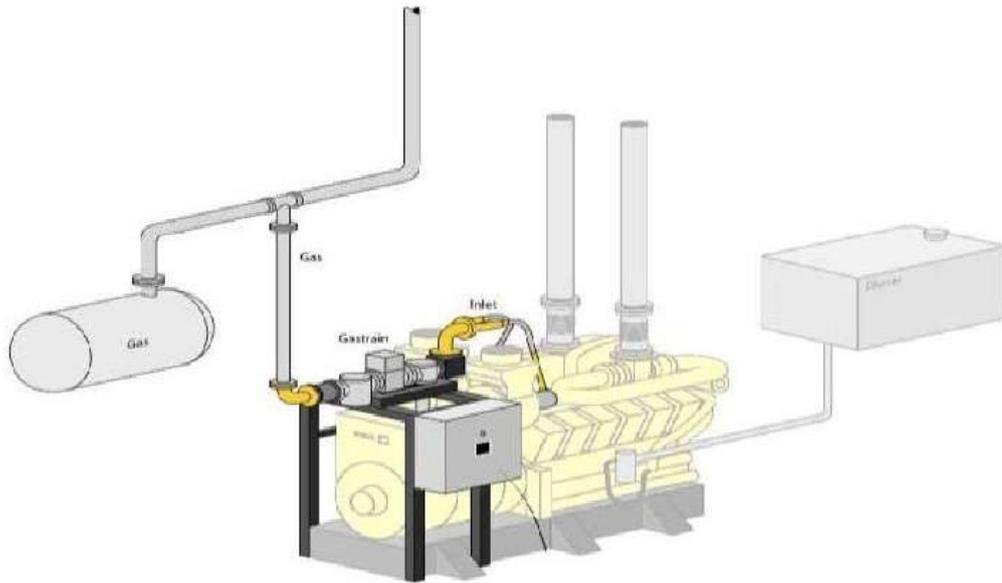
جمع می‌شوند و در حقیقت جابجائی فنر تابعی از سرعت چرخش وزنه‌ها حول محور خواهد بود. این محور به میل لنگ کوپل شده است که به صورت یک فیدبک حلقه بسته عمل کرده و با افزایش دور موتور فنرها باز شده و با کاهش دور موتور فنرها بسته می‌شوند. یک اهرم بندی مناسب بطوریکه با افزایش سرعت و کشیده شدن فنرها، شانه سوخت را به سمت عقب برده و سوخت را کاهش دهد و برعکس با کاهش سرعت سوخت را افزایش دهد، در حقیقت یک گاورنر مکانیکی قابل کوپل به پمپ انژکتور است.

اگر در سیستم عملکرد گاورنر مکانیکی مذکور دقیق شویم، می‌بینیم که تغییرات مکان شانه سوخت فقط و فقط تابعی از دور موتور بوده و هیچ اهرم بندی با محاسباتی مبنی بر انتگرال گیری از دور و یا مشتق گیری از آن نداریم. به سخن دیگر یک کنترل کننده سوخت مکانیکی از نوع کنترلر تناسبی (P) است. قابل یادآوری است که کنترلر مکانیکی از نوع تناسبی P دارای خطای ماندگار بوده و با افزایش مقدار آن Rise Time کاهش یافته و Overshoot افزایش پیدا می‌کند. شرکتهای سازنده پمپ انژکتورها معمولاً گاورنر آن را نیز متناسباً طراحی و ساخته و روی آن نصب می‌کنند و در این بین مهمترین مسئله تعیین مقدار کنترلر تناسبی P می‌باشد. که پس از محاسبه آن و اجرای مکانیکی، نتیجه حاصله محصولی خواهد بود که هم اکنون روی بسیاری از انواع موتورهای خودرویی و صنعتی نصب می‌شوند.

در موتورهای صنعتی دور را روی مقدار مرجع RPM ۱۵۰۰ تنظیم می‌کنند و فنری با ثابت فنر متناسب با نیروی گریز از مرکز در همین دور برای کنترلر انتخاب می‌شود. ولی در موتورهای خودرویی دور موتور تابعی از پدال گاز راننده بوده و عملکرد گاورنر مکانیکی این موتورها با سه فنر کنترل می‌شود، که هر کدام از این فنرها مابین وزنه‌های گریز از مرکز و محوری که با سرعتی متناسب با سرعت میل لنگ می‌چرخد، کوپل شده‌اند. اولین فنر مربوط به دور درجای موتور است که این فنر در دورهای پائین عملکردده و موتور را اصطلاحاً در ماله گاز کنترل می‌کند و طول فنر طوری است که در دورهای حدود 750 RPM به وزنه‌ها نیرو وارد می‌کند. فنر دوم فنری است که در موتورهای دیزلی با توجه به طولش در دورهای حدود 2200 RPM تا 2900 RPM عمل کرده و جلوی باز شدن بیش از حد وزنه‌ها را گرفته و مانع افزایش سوخت در این دور می‌شود. معمولاً موتورها یک دور نهائی دارند که، چنانچه دور موتور از آن تجاوز کند دچار آسیبهای جدی می‌شوند. فنر سوم هم با توجه به فشار پدال گاز توسط راننده، شانه سوخت را متناسب با آن تنظیم می‌کند.

۲-۳ انژکتور و دریچه تنظیم گاز و هوا

کار انژکتور در موتورهای تزریق مستقیم عبارت است از پاشش مقدار کم سوخت به اتاق احتراق در یک لحظه مشخص و در مدت زمان کوتاه، به حالت مطلوب و طبق قانون مشخص که خود تابعی از فضا و زمان و نوع اتاق احتراق و در صورت لزوم تغییرات سرعت دورانی موتور می‌باشد. در موتورهای تزریق مستقیم مدت زمان تزریق بسیار محدود است. برای موتوری با سرعت دورانی ۱۵۰۰ دور در دقیقه، این مدت حدود سه هزارم ثانیه بوده و مقدار سوخت تزریقی به مقتضای توان بین ۰/۳ تا ۲ گرم برای هر سیکل است. احتراق موقعی به صورت صحیح انجام می‌گیرد که ابتدا و خصوصاً انتهای تزریق سریع باشد، لذا با توجه به تغییرات دما، فشار، سرعت و اغتشاش هوای داخل اتاق احتراق در هنگام تزریق، تعیین و طراحی انژکتور فقط از راه تجربه امکان پذیر است. البته از برخی داده‌های مطمئن نیز استفاده می‌شود. در مقابل در سیستم DUAL FUEL علاوه تزریق گازوئیل توسط پمپ انژکتور گاز طبیعی با هوا در وتوری با هم ترکیب شده و از طریق یک دریچه تنظیم کننده به منیفولد هوا تزریق می‌شود و نهایتاً به داخل سیلندر و محفظه احتراق وارد می‌شود.

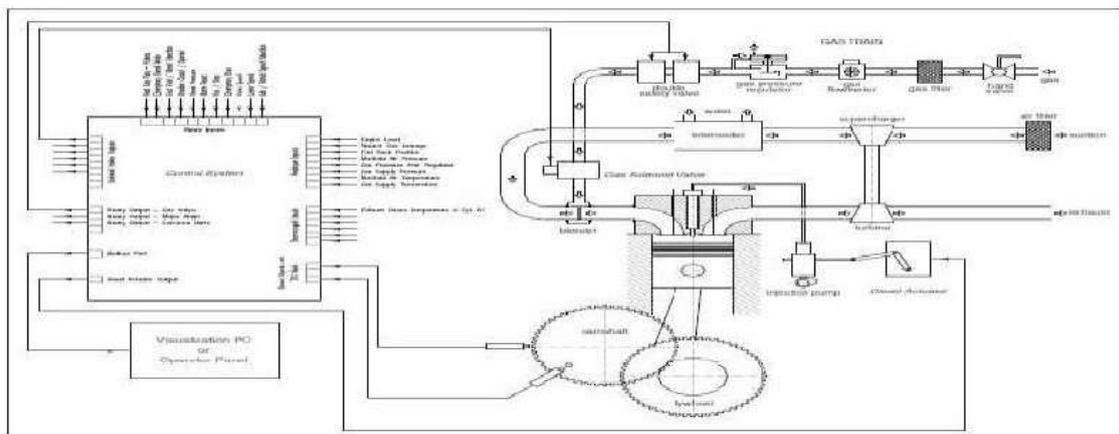


شکل(۲): شماتیک کلی از یک سیستم DUAL FUEL

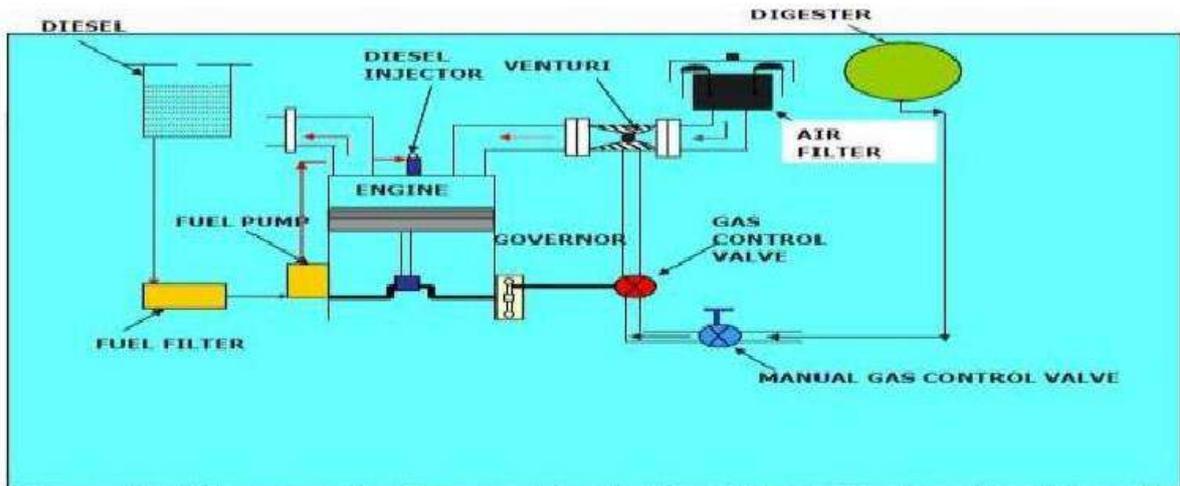
۲-۴ تکنولوژی های کنترل و تزریق گاز

دریچه تنظیم و میکسر گاز و هوا، با پیروی از تکنولوژیهای مختلف می تواند در ساختارهای مختلفی روی موتور نصب گردند که از این بین دو نوع آن عمومیت دارند:

❖ در اولین ساختار در مسیر گاز یک شیر تنظیم کننده قرار دارد که نسبت به تغییرات دور ناشی از تغییرات بار الکتریکی ژنراتور، ECU دریچه گاز را باز و بسته می کند. این مقدار گاز پس از خروج از شیر تنظیم کننده وارد یک ونتوری یا میکسر شده و با هوای ورودی از فیلتر هوا مخلوط می شود و این ترکیب وارد منیفولد هوا می شود که دو نمونه از نصب چنین سیستمهایی در زیر ارائه می گردد:



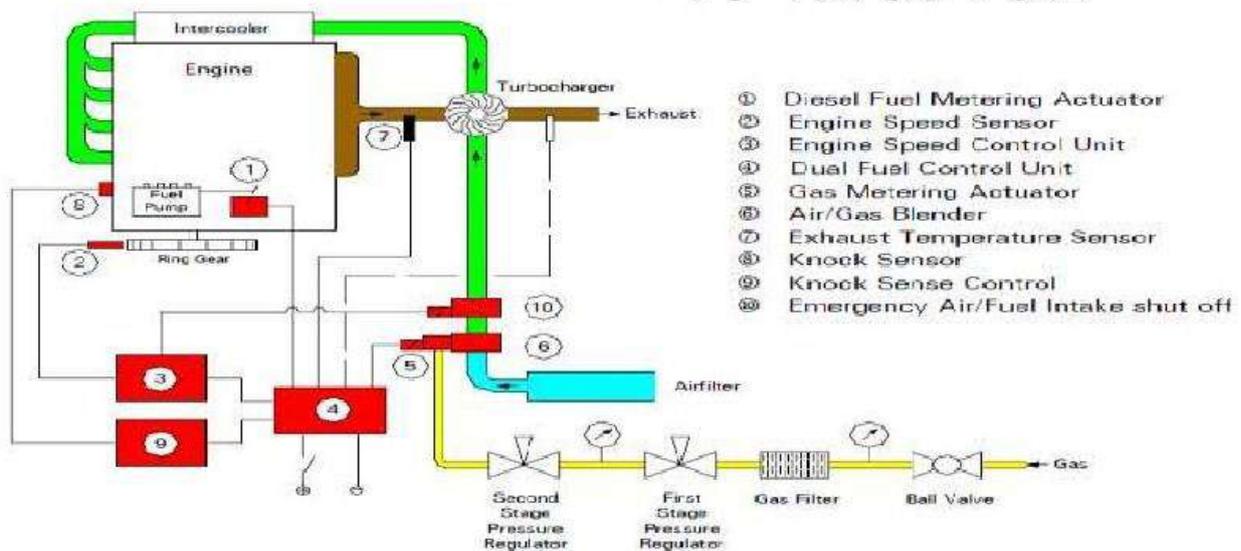
شکل(۳): شماتیک ۱ از ساختار تکنولوژی نوع اول



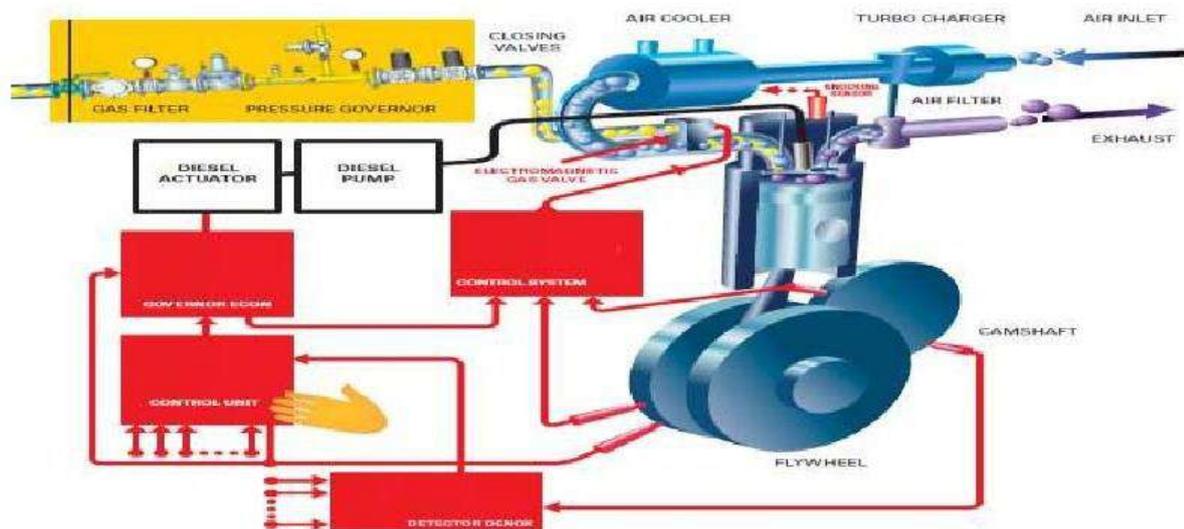
شکل (۴): شماتیک ۲ از ساختار تکنولوژی نوع اول

شکل (۴): شماتیک ۲ از ساختار تکنولوژی نوع اول

❖ در دومین ساختار در مسیر گاز یک رگولاتور تنظیم کننده قرار دارد که فشار گاز خروجی را تنظیم می کند و گاز پس از رگولاتور وارد یک ونتوری یا میکسر شده و با هوای ورودی از فیلتر هوا مخلوط می شود و در خروجی میکسر یک دریچه قرار دارد که ECU نسبت به تغییرات دور ناشی از تغییرات بار الکتریکی ژنراتور، دریچه را باز و بسته می کند. و با باز و بسته شدن این دریچه مقدار مشخصی ترکیب گاز و هوا وارد مینیفولد می شود که دو نمونه از نصب چنین سیستمهایی در زیر ارائه می گردد:



شکل (۵): شماتیک ۱ از ساختار تکنولوژی نوع دوم



شکل (۶): شماتیک ۲ از ساختار تکنولوژی نوع دوم

۲-۵ بررسی تبدیل دیزل به DUAL FUEL و برعکس؛ بصورت اتوماتیک و غیر اتوماتیک

اگر به مسئله از بعد دیگری بنگریم از لحاظ فنی به دو روش می توان موتورها را DUAL FUEL کرد:

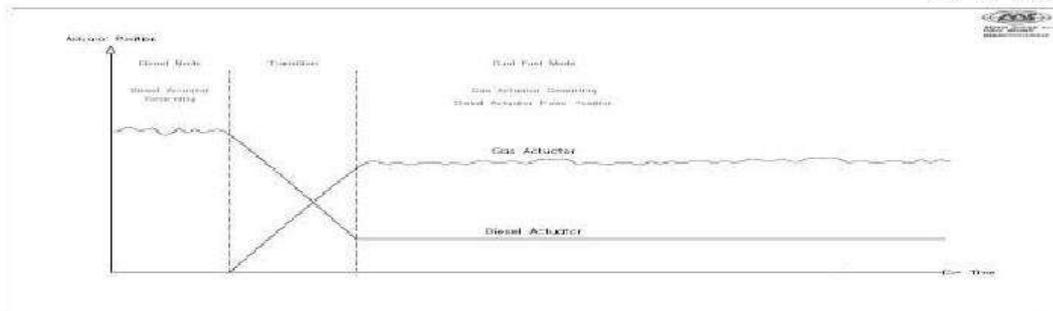
- ❖ در روش اول که هزینه اش از روش دوم بیشتر است، ECU علاوه بر کنترل مقدار گاز یا ترکیب هوا و گاز ورودی به منیفولد، با یک اکچویاتور الکترونیکی هیبل گاورنر پمپ انژکتور را هم کنترل می نماید. مزایای این روش که موجب افزایش قیمت آن هم می شود آن است که سیستم DUAL FUEL در صورت عدم دسترسی به سوخت گاز و یا قطع آن به هر دلیلی بصورت اتوماتیک سیستم را به حالت گازوئیلی برمی گردد و نیازی به انجام تغییرات فیزیکی و مکانیکی برای برگرداندن آن به حالت فقط گازوئیل سوز نیست. نمودار عملکرد روش اول در ذیل رسم شده است:



شکل (۷): نمودار تبدیل اتوماتیک دیزل به DUAL FUEL و برعکس

- ❖ در مورد روش دوم نیز قیمت تجهیزات نصب شده مربوط به کنترل هیبل گاورنر مکانیکی از قیمت هزینه ها کاسته شده و قیمت تمام شده پایین تری نسبت به روش اول خواهیم داشت. در این سیستم به جای استفاده از این تجهیزات، مقدار دبی سوخت گازوئیل خروجی از پمپ گازوئیل را در یک مقدار حدود ۲۰٪ مقدار ماکزیمم آن ثابت می کنیم. مسلماً در استفاده از این روش در صورت قطع گاز و یا استفاده نکردن از گاز به هر دلیلی و استفاده از

سیستم فقط گازوئیل سوز، باید پمپ گازوئیل باز شده و مقدار سوخت آن برای شرایط جدید تنظیم شود. توجه کنید در روش اول نیازی به این کار نبوده و سیستم آن را بصورت اتوماتیک انجام می دهد. نمودار عملکرد روش دوم در ذیل رسم گردیده است.



شکل (۸): نمودار تبدیل دیزل به DUAL FUEL غیر قابل برگشت اتوماتیک به سیستم فقط گازوئیل

۲-۶ عدد ستان C16 H34

از پارامترهای اساسی سوخت در موتورهای عدد ستان آن می باشد که در زیر به شرح آن می پردازیم:

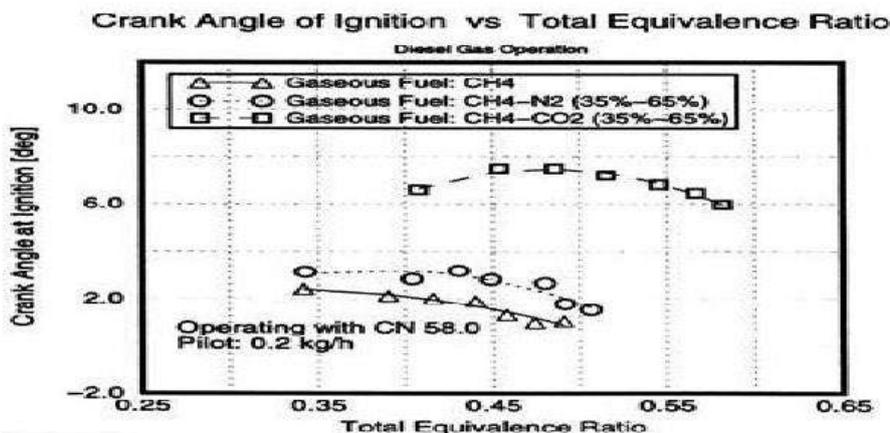
- قابلیت اشتعال خود به خودی یک سوخت را با عدد ستان آن سوخت اندازه گیری می کنند، که در واقع نوعی سنجش «در مهلت اشتعال» آن است. مهلت اشتعال، مدت زمانی است که خواه بر حسب هزارم ثانیه و خواه بر حسب عدد ستان، از راه مقایسه سوخت مورد نظر با دو سوخت مرجع بیان می شود، یکی ستان خالص که به آن به صورت قرار دادی عدد صد داده شده است و دیگری آلفا متیل نفتن با عدد صفر. قابلیت اشتعال خود به خودی سوخت، به جنس و شیوه پالایش آن بستگی دارد. هر چه ئیدروکربورها از لحاظ گرمائی پایدار باشند، عدد ستان آنها کمتر است. به این ترتیب، ئیدروکربورهای حلقوی (ئیدروکربونهایند که ملکول آنها حاوی حلقه بنزینی می باشند) که از لحاظ شکست مولکولی مقاوم هستند، به مدت زمان بیشتری برای اشتعال خود به خود نیاز دارند.
- عدد ستان نشان دهنده مدت زمان بوده، لذا هر چه مدت زمانی که برای احتراق در اختیار است کوچکتر، یا به عبارت دیگر سرعت دورانی موتور بزرگتر باشد، اهمیت عدد ستان بیشتر می شود. تاثیر عدد ستان سوخت بر عملکرد موتور را می توان بصورت خلاصه چنین بیان کرد که، مهلت اشتعال با عدد ستان اندازه گیری می شود و بر قابلیت راه اندازی موتور سرد اثر می گذارد. نتیجه ای که از بهبود راه اندازی موتورها با افزایش عدد ستان حاصل می شود تقریباً عمومی است، به طوری که هر چه دمای محیط خارج سردتر باشد حساسیت نسبت به افزایش عدد ستان، بیشتر می شود.
- در موتورهای کوچک (معمولی)، عدد ستان بر نرمی کار موتور و نیز بر کیفیت احتراق اثر می گذارد. در موتورهای مجهز به پیش احتراق، نسبت به موتورهای مجهز به تزریق مستقیم؛ این تاثیر کمتر است. در طرح های تزریق مستقیم باید از سوختی که عدد ستان آن خیلی بزرگ و بنابر این اشتعال آن خیلی کوتاه باشد استفاده کرد، در این حال نیز با وجود آنکه احتمال «صدمه» بسیار کم می شود، مقداری از سوخت به محض ورود به اتاق محترق می شود و مانع اختلاط مناسب باقی مانده سوخت تزریق شده و هوای تازه می گردد و در نتیجه کیفیت عمومی احتراق افت نموده و دوده بدبویی ایجاد می شود. ضمناً نوک انژکتور بیش از حد گرم می شود و روی آن رسوبات ذغالی می بندد و نتیجتاً بر روی سیستم سوخت رسانی و تحویل سوخت اختلال ایجاد می کند. در برخی موارد که عدد ستان بعضی از سوخت ها خیلی بالاست از مواد اضافی مانند نیترات اتیل برای بهبود آن استفاده می شود. **زمانیکه یک موتور دیزلی به موتور DUAL FUEL تبدیل می شود بدلیل پایین بودن عدد ستان گاز طبیعی،**

احتمال اینکه گاز طبیعی در اثر فشار تراکم، خودبخود منفجر شود صفر است. در این موتور انفجار تنها وقتی اتفاق خواهد افتاد که گازوئیل وارد محفظه احتراق شده و منفجر شده و گاز را هم به همراه خود بسوزاند. بنابراین ترتیب و زمانهای احتراق با تغییر سیستم به DUAL FUEL تغییری نخواهد کرد.

۲-۷ زمان بندی پاشش

اهمیت این زمان بندی در کنترل پریود تاخیر اشتعال (Time Delay) و زمان احتراق می باشد. زیرا پریود تاخیر در اشتعال به منظور کاهش نرخ ازدیاد فشار و حداکثر فشار درون سیلندر و نتیجتاً کاهش احتمال پدیده کوبش و بهبود عملکرد موتور، بایستی حداقل مقدار را دارا باشد. بنابر این عوامل موثر بر زمان تاخیر در اشتعال، بایستی تحت کنترل قرار بگیرند. تغییر مدت پاشش اثر چندانی بر زمان تاخیر در اشتعال ندارد، زیرا همیشه در سیلندر دامنه وسیعی از نسبت سوخت به هوا وجود دارد. بر اساس نتایج تجربی، تاخیر در زمان پاشش موجب کاهش سر و صدای احتراق در سرعت های پایین موتور گردیده و هم چنین جلو انداختن زمان شروع پاشش در سرعت های بالای موتور، موجب کاهش مصرف مخصوص سوخت می گردد. نتایج تجربی دیگری نشان می دهد که هر قدر زمان شروع تزریق به TDC (نقطه مرگ بالا) نزدیکتر باشد، قدرت خروجی موتور بیشتر خواهد بود.

در موتور دیزلی با توجه به شرایط طراحی موتور این زمانبندی ها تنظیم شده اند. با توجه به عدد ستان پایین گاز طبیعی این سوخت به خودی خود منفجر نشده و در نتیجه زمانبندی طراحی شده برای سوخت دیزلی به هم نخواهد خورد. ولی بهترین زوایای انفجار قبل از نقطه مرگ بالای پیستون در نسبتهای مختلف گاز و هوا چقدر می تواند تغییر کند؟ با توجه به عدد اسکیموتریک سوخت گاز (که عدد ۱۷ می باشد) و نمودار زیر؛ نتیجه می گیریم که تغییرات زاویه ای حداکثر نیم درجه خواهد بود. و از طرفی می دانیم در طراحی موتور و تست عملکرد، که با اندازه گیری گشتاور خروجی موتور مشخص می شود، تغییرات در زاویه آتش و پاشش حتی تا یک درجه نیز در عملکرد یا گشتاور موتور تأثیری نخواهد داشت به عبارت دیگر با تبدیل سیستم گازوئیلی به DUAL FUEL در رابطه با زاویه های پاشش و انفجار افت گشتاور و توان نخواهیم داشت و همان زاویه های پاشش و انفجار مخصوص موتور گازوئیلی برای موتور DUAL FUEL نیز مناسب می باشند.



شکل (۹): تغییرات بهترین نقاط انفجار نسبت به نقطه مرگ بالای پیستون شماره ۱ در دور ۱۵۰۰ rpm و در نسبتهای مختلف مخلوط گاز و هوا

۳- بررسی استهلاک موتور گازوئیلی با موتور DUAL FUEL

وقتی موتوری از حالت گازوئیلی به DUAL FUEL تبدیل می شود دو عامل می تواند موجب استهلاک بیشتر موتور شود یکی افزایش فشار متوسط محفظه احتراق نسبت به حالت قبلی و دیگری افزایش دمای محفظه احتراق نسبت به حالت قبلی که بصورت مجزا به بررسی آنها می پردازیم:

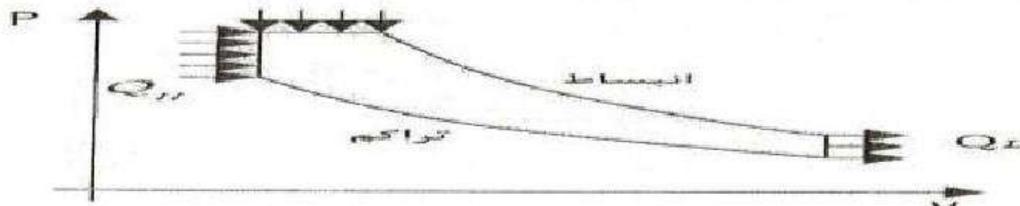
الف: تغییرات فشار متوسط محفظه احتراق در حالت تبدیل به سیستم DUAL FUEL
ب: تغییرات دمای محفظه احتراق در حالت تبدیل به سیستم DUAL FUEL

۳-۱ چرخه موتور

عملیات مشخصی در داخل یک موتور اتفاق می افتد تا موجب کارکرد موتور شود. این عملیات به صورت یک چرخه تکرار می شود. موتور چهار زمانه چرخه ای شامل چهار کورس پیستون دارد که عبارتند از: مکش، تراکم، قدرت (احتراق) و تخلیه.

- **مکش:** کورس مکش هوا با باز شدن سوپاپ هوا و حرکت پیستون به سمت پائین آغاز می شود. هوا از طریق سوپاپ هوا به داخل سیلندر مکیده می شود و در نقطه BDC محفظه احتراق از هوای تازه پر شده است (BDC نقطه مرگ پایین پیستون است) ولی در سیستم DUAL FUEL در این کورس سوخت گاز به عنوان سوخت کمکی به همراه هوا وارد این محفظه می شود ولی با توجه به شرایط اسکیومتریک گاز و چگالی گاز نسبت به حالت گازوئیلی مقدار هوای ورودی کاهش نخواهد یافت.

- **تراکم:** پس از رسیدن به نقطه BDC پیستون به سمت بالا حرکت کرده و هوای مکیده شده به داخل سیلندر را متراکم می سازد. در این حالت سوپاپ های هوا و دود بسته می شود. با بالا رفتن پیستون - وقتی پیستون به نقطه TDC می رسد - هوا به حداکثر تراکم می رسد. هوا در موتور 6LE به نسبت شانزده به یک و در موتورهای 6LET و 6LETCA به نسبت چهارده و نیم به یک حجم اولیه فشرده می شود.



شکل (۱۰): نمودار تغییرات فشار- حجم در سیکل تراکم و در داخل محفظه احتراق



شکل (۱۱): نمودار تغییرات فشار- حجم در سیکل قدرت و در داخل محفظه احتراق

- **قدرت:** درست کمی قبل از رسیدن پیستون به TDC (نقطه مرگ بالای پیستون)، سوخت به محفظه احتراق پاشیده می شود تا احتراق صورت گیرد. از آنجایی که هوای داغ محفظه احتراق شامل یک مخلوط قابل احتراق با ذرات سوخت می باشد احتراق یا اشتعال به سرعت اتفاق می افتد و فشار داخل سیلندر را افزایش می دهد. گازهای انبساط یافته در اثر

احتراق، در داخل سیلندر روی تاج پیستون نیرویی اعمال می کند که باعث رانش پیستون به سمت پایین می شود. پس از پایان تراکم و مهلت اشتعال، احتراق آغاز می شود. در این شرایط فشار با چنان سرعتی زیاد می شود که امکان مهار کردن احتراق از بین می رود.

- **تخلیه دود:** در این زمان سوپاپ دود باز شده، پیستون به سمت بالا حرکت کرده و گازهای سوخته شده از طریق مجرای سوپاپ دود به بیرون رانده می شود. در این حالت سوپاپ هوا بسته بوده و وقتی پیستون به نقطه TDC می رسد سوپاپ دود نیز بسته می شود. در این مرحله سوپاپ هوا درست قبل از بسته شدن کامل سوپاپ دود باز می گردد که این حالت را قیچی کردن سوپاپ ها می نامند.

۳-۲ مهلت اشتعال

منظور از مهلت اشتعال همان مدت زمان بین ابتدای تزریق و ابتدای اشتعال می باشد. این مدت هر قدر به درازا بیانجامد باعث احتراق تخریبی یکپارچه و بنابراین بروز صدمه و نیز فشار زیاد بر قطعات مختلف موتور می گردد. ضمناً، با طولانی شدن این مهلت، ذرات سوخت فرصت می یابد که به جداره ها چسبیده و در نتیجه شرایط زیر را در محفظه احتراق ایجاد نماید:

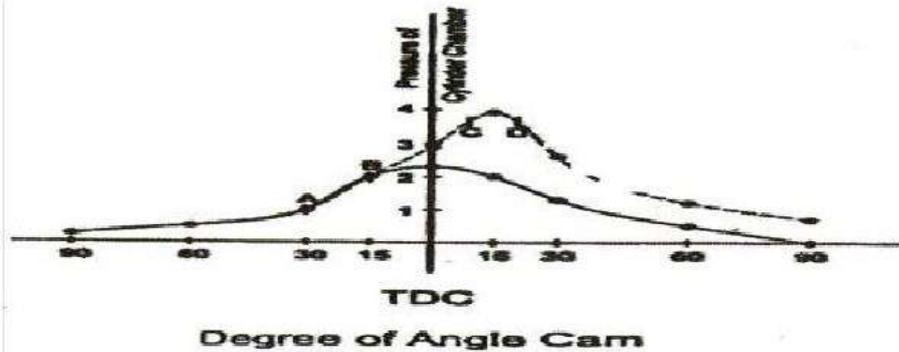
- اگر جداره ها سرد باشند، سوخت از روی آنها سرازیر و بالاخره باعث فساد روغن می شود.
 - اگر جداره ها گرم باشند، روی آنها احتراق ناقص انجام می گیرد و تولید رسوب می کند.
- بنابراین اگر مهلت اشتعال زیاد باشد، از لحاظ مکانیکی استقامت موتور کم شده و از لحاظ گرمایی نیز بازده تنزل یافته و ممکن است دمای سر پیستون بسیار زیاد شود. برای کاهش مهلت اشتعال لازم است که موتور گرم و کیفیت تراکم آن خوب باشد.

۳-۳ احتراق

برای هر موتور احتراق داخلی، احتراق کامل فقط زمانی رخ می دهد که نسبت هوا به سوخت برای آن موتور به ازای دورها و بارهای مختلف در شرایط مطلوب و نزدیک به حالت استوکیومتریک نگه داشته شود. برای موتورهای اشتعال تراکمی این شرایط مطلوب با نسبت هوا به سوخت، کمی فقیرتر از حالت استوکیومتریک یعنی با مقداری هوای اضافی $(\lambda > 1)$ بدست آورده می شود. هر چه قدر به ازای دورها و بارهای مختلف، این نسبتهای هوا به سوخت، ثابت نگه داشته شود؛ علاوه بر اینکه عملکرد موتور (توان، گشتاور و راندمان) بالا می رود، به دلیل احتراق کامل، آلاینده های حاصل از آن نیز پایین تر خواهد بود. به خصوص آلاینده هایی مثل اکسیدهای کربن و هیدروکربنها نسوخته که عمدتاً در اثر احتراق ناقص به وجود می آیند. در رابطه با این شرایط مطلوب عملکرد، مشکلی که موتورهای اشتعال تراکمی با آن مواجه هستند این است که در این موتورها، در هر دوری با تغییر بار، میزان سوخت ورودی به سیلندر تغییر می کند ولی میزان هوای ورودی به سیلندر به ازای بارهای مختلف تقریباً ثابت می ماند. این امر باعث می شود که در بارهای جزئی نسبت هوا به سوخت بسیار بالا رفته و علاوه بر اینکه عملکرد موتور به شدت افت می کند، میزان آلاینده های حاصل از احتراق نیز افزایش می یابد.

۳-۴ فرایند احتراق در موتورها

با توجه به اینکه نهایتاً با رسیدن درجه حرارت به دمای مطلوب، احتراق به یکباره آغاز می گردد. پس از احتراق، فشار و دما به صورت ناگهانی افزایش یافته و این عمل باعث می شود ذرات سوخت مشتعل شوند. نمودار ذیل مقایسه بین افزایش فشار در سیلندر، از ۹۰ درجه چرخش میل لنگ قبل از نقطه مرگ بالا تا ۹۰ درجه بعد از نقطه مرگ بالا را نشان می دهد. نمودار مربوطه شامل دو منحنی یکی به فرم خط چین و دیگری به فرم خط پر می باشد.



شکل (12): نمودار تغییرات ناگهانی فشار در داخل سیلندر

خط چین: تغییرات ناگهانی فشار در داخل سیلندر را نشان می‌دهد. اگر بعد از کورس تراکم، سوختی تزریق نشود افت و خیز فشار در طول کورس ها یکنواخت می‌باشد.

خط پر: تغییر فشار در کورس تراکم و قدرت (انفجار) با افزایش سریع فشار ناشی از عمل احتراق را نشان می‌دهد.

- شرح چهار فاز احتراق :

A-B: زاویه آتش از نقطه A آغاز می‌شود، اما احتراق هنوز صورت نمی‌گیرد این تاخیر تا زمانی می‌باشد که سوخت به اندازه کافی گرم شده و عمل احتراق شروع شود. اشتعال (احتراق) در نقطه B آغاز می‌شود.

B-C: مرحله احتراق سریع. احتراق از نقطه B ادامه پیدا می‌کند. سوختن سریع سوخت، باعث افزایش فشار بطور ناگهانی می‌شود تا اینکه به نقطه C می‌رسیم. در طی این مرحله احتراق غیر قابل کنترل می‌باشد.

C-D: مرحله کنترل شده احتراق، سوخت به طور یکنواخت می‌سوزد. احتراق نسبت به سوخت موجود در محفظه احتراق کنترل می‌شود تا اینکه به نقطه D، جائیکه زمان پاشش خاتمه پیدا می‌کند خواهد رسید.

پیشروی احتراق: جرقه زنی در نقطه D خاتمه یافته اما احتراق تا وقتی که تمام سوخت گاز طبیعی و گازوئیل؛ هر دو بسوزند، ادامه می‌یابد.

احتراق به عواملی نظیر طرح محفظه احتراق، طرح و اندازه نازل انژکتور، نوع سوخت استفاده شده و شرایط کاری موتور بستگی دارد. چنانچه مرحله تاخیر طولانی شود، مقدار زیادی از سوخت به صورت غیر قابل کنترل تزریق شده و در نتیجه فشار به طور ناگهانی افزایش یافته و انفجاری حاصل می‌شود که با برخورد امواج فشار آن به دیواره فلزی سیلندر و سر سیلندر، موجب ایجاد ضربه می‌گردد. این پدیده موجب بد کار کردن موتور نیز می‌گردد.

۳-۵ ظرفیت حجمی موتور

مجموع حجم جابجائی سیلندر ظرفیت حجمی نامیده می‌شود و مقدار هوایی است که در یک چرخه کامل و در داخل سیلندر موتور متراکم می‌شود.

نسبت تراکم: از تقسیم کل حجم هوای داخل سیلندر (محفظه احتراق) در نقطه مرگ پائین (BDC) به حجم هوایی که در بالای پیستون در نقطه مرگ بالا (TDC)، بدست می‌آید. به حجم هوای موجود در بالای سر پیستون در نقطه مرگ بالا «حجم محفظه احتراق» گفته می‌شود.

$$\Gamma_{\text{compression}} = \frac{V_{\text{Induction}} + V_{\text{Combustion Chamber}}}{V_{\text{Combustion Chamber}}}$$

$R =$ نسبت تراکم
 $V_1 =$ حجم مکش
 $V_c =$ حجم محفظه احتراق
 دبی جرمی سوخت:

$$m = \frac{\rho \cdot V}{t}$$

$\rho =$ جرم مخصوص سوخت بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب
 $V =$ حجم سوخت مصرفی بر حسب متر مکعب
 $T =$ زمان مصرف بر حسب ثانیه
 $M =$ دبی جرمی سوخت مصرفی بر حسب کیلو گرم

۳-۶ گشتاور موتور:

گشتاور موتور همان اعمال نیروی پیستون در جهت چرخیدن میل لنگ است. وقتی که پیستون در کورس قدرت به پایین حرکت می کند، به میل لنگ موتور اعمال گشتاور می کند. هر چه فشار احتراق بیشتر، نیروی اعمال شده به پیستون زیاد شده و در نتیجه گشتاور ایجاد شده نیز افزایش می یابد. از دینامومتر برای اندازه گیری گشتاور موتور و توان خروجی استفاده می شود. T گشتاور اعمالی توسط دینامومتر و واحد آن (N.m) است.

$$T = f \cdot F \cdot \frac{r \cdot r}{\sqrt{r^2}}$$

۳-۷ بازده حجمی

بازده حجمی بستگی به هوای ورودی به سیلندر در کورس مکش دارد. برای ۱۰۰ درصد بازده حجمی، بایستی محفظه سیلندر پر از هوای با فشار یک اتمسفر گردد. اما در عمل چنین نبوده بلکه همواره کمی محدودیت توسط سیستم مکش هوا وجود دارد که بازده حجمی را کاهش می دهد. در موتورهای با دور بالا با افزایش دور، زمان پر شدن سیلندر از هوا (زمان کورس مکش) کاهش یافته و بدین ترتیب بازده حجمی تقلیل می یابد. در موتورهای که گازهای سوخته شده به طور طبیعی در اثر پمپ کردن پیستون تخلیه می شوند بازده حجمی خیلی کمتر از موتورهای است که سیلندر آنها توسط یک دمنده و یا توربو شارژر پر می شود. در این موتورها هوا با فشار، داخل سیلندرها شده و بدین ترتیب بازده حجمی موتور افزایش می یابد. بازده حجمی عبارت از نسبت حجم هوای تازه ورودی، به حجم جاروب شده توسط پیستون در داخل سیلندر است. بنابراین بازده حجمی عبارت است از: خارج قسمت جرم هوای مکیده شده در طول مرحله مکش به جرم هوای حجم جاروب در فشار و دمای محیط.

این تعریف به خوبی بیانگر اهمیت بازده حجمی بوده و مشخص می کند که یک موتور چقدر می تواند قدرت تولید نماید. چرا که رابطه مستقیمی بین آهنگ جرمی جریان هوا به داخل یک موتور و قدرت تولید شده در سیلندرها موتور وجود دارد. با توجه به تعریف فوق، برای بازده حجمی رابطه زیر را می توان نوشت:

$$e_v = \frac{2 \times \dot{M}_i}{N \cdot V_d \cdot \rho_i}$$

$N =$ تعداد دورها در زمان واحد (rev/sec)

$\dot{M}_i =$ دبی جرمی هوا ورودی بر حسب کیلوگرم بر ثانیه

$V_d =$ کل حجم جایجائی موتور بر حسب متر مکعب

$\rho_i =$ چگالی هوای ورودی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

ضریب ۲ در این معادله بدین علت ظاهر می شود که در موتور چهار زمانه به ازای هر دو دور میل لنگ یک چرخه وجود دارد. اگر رابطه بالا را بر حسب دبی هوای ورودی مرتب کنیم خواهیم داشت:

$$\dot{M}_a = \rho_{air} \times \frac{N}{\gamma} \times V_d \times e_v$$

$$V_d = n \times V_s$$

$$V_s = A_p \times S = \frac{\pi}{4} \times b^2 \times S$$

$$\dot{M}_a = \rho_a \times \frac{\pi}{4} \times b^2 \times S \times n \times e_v$$

=N تعداد سیلندرهاى موتور

=V_s حجم جاروب یک سیلندر بر حسب

=B قطر داخل سیلندر بر حسب متر

=A_p مساحت سطح پیستون بر حسب متر مربع

=S کورس پیستون بر حسب متر

چنانچه مشاهده می شود در رابطه بالا برای محاسبه دبی جرمی هوای ورودی به موتور، تمامی موارد به جز بازده حجمی جزو مشخصات موتور بوده و مقادیرشان معلوم است.

۳-۸ توان اسمی

توان اسمی بر اساس توان حقیقی ایجاد شده در داخل سیلندر و در اثر فرایند احتراق تعریف می شود. مقداری از توان تولید شده در سیلندر موتور جهت غلبه بر نیروی اصطکاکی استفاده می شود. بنابر این توان اسمی همواره بزرگتر از توان خروجی موتور می باشد.

$$bsfc = \frac{3.6 \times 10^6 \times \dot{m}_{Fuel}}{Power} \text{ (gr / KW.hr)}$$

توان خروجی = افت توان اصطکاکی - توان اسمی

۳-۹ بازده موتور

بازده موتور عمدتاً به صورت بازده مکانیکی و حرارتی بوده و به شرح زیر می باشد:

روش بازده مکانیکی: بازده مکانیکی ارتباط بین توان خروجی و توان ورودی (توان اسمی) را تعیین می کند.

$$\eta_m = \frac{Power}{i.p.} \times 100\%$$

۳-۱۰ راندمان حرارتی ترمزی سوخت دیزل:

$$\eta_{thb} = \frac{Power}{Chemical\ energy\ of\ fuel}$$

$$Chemical\ energy\ of\ fuel = \dot{m}_{d.f} (LHV)_{diesel}$$

$$(LHV)_{diesel} = 42450 \left(\frac{Kj}{Kg} \right)$$

$$(LHV)_{diesel} = Low\ thermal\ value$$

$$\dot{m}_{d.f} = Flow\ rate\ of\ diesel\ fuel$$

۳-۱۱ راندمان حرارتی ترمزی سوخت گاز طبیعی:

$$\eta_{thb} = \frac{Power}{Chemical\ energy\ of\ fuel}$$

$$\text{Chemical energy of inlet Fuel} = \dot{m}_{d,f} (\text{LHV})_{\text{NG}}$$

$$(\text{LHV})_{\text{NG}} = 9160 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} \right)$$

$(\text{LHV})_{\text{NG}}$ = Low thermal value

$\dot{m}_{d,f}$ = Flow rate of gas fuel

۳-۱۲ بازده کلی

سوخت با مقدار معینی از انرژی وارد موتور می شود که دارای توانائی مشخصی برای انجام کار است. در هر مرحله از فرایند احتراق سوخت در سیلندر، مقداری از انرژی به هدر خواهد داد. در یک موتور مورد استفاده با توجه به اتلافهای ممکن ۳۰ درصد انرژی سوخت مصرفی در موتور، انرژی قابل دسترس برای انجام کار است.

۳-۱۳ نمودارهای مربوط به تغییرات فشار محفظه احتراق در حالت تبدیل به سیستم (DUAL FUEL)

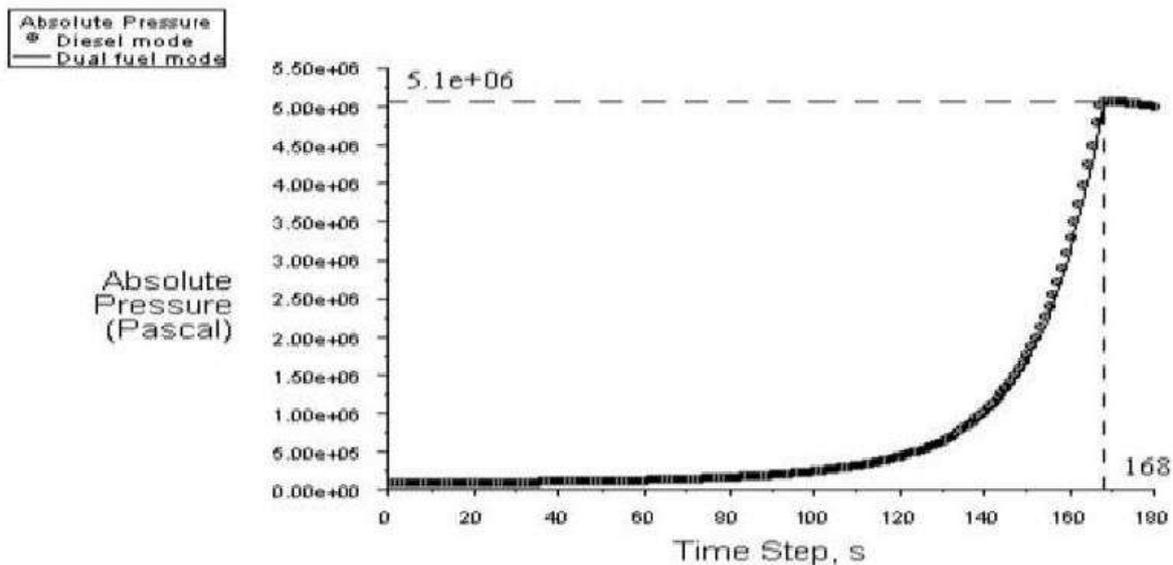


Figure 6.1 – Pressure Distribution for Diesel Mode and Dual Fuel Mode

شکل (۱۳): نمودار تغییرات مقایسه ای فشار مطلق محفظه احتراق موتور گازوئیلی با موتور تبدیل شده به DUAL FUEL

با توجه به شکل (۱۳) در موتورهای گازوئیلی تبدیل شده به DUAL FUEL دمای محفظه احتراق در طول پروسه احتراق نه تنها افزایش نمی یابد بلکه مقدار اندکی کاهش دما نیز در آنها داریم، به عبارت دیگر در صورت تبدیل موتورهای گازوئیلی به موتورهای DUAL FUEL دمای کاری موتور یا کاهش خواهد یافت و یا حداکثر این دما ثابت باقی خواهد ماند و در نتیجه در تبدیل این موتورها به DUAL FUEL هیچ افزایش دمایی و هیچ استهلاکی در اثر افزایش دما نخواهیم داشت.

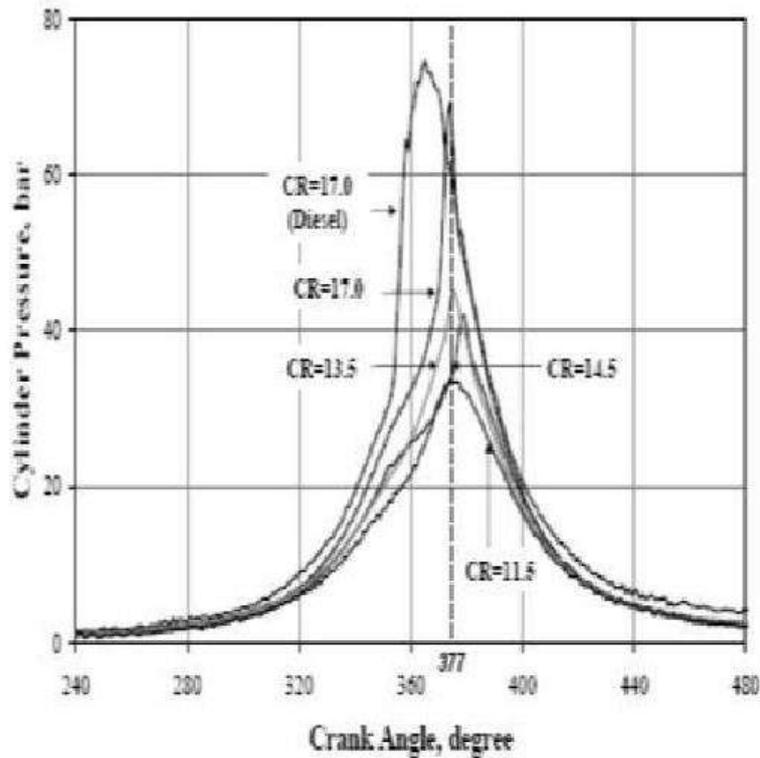


Fig. 4 Comparison of p-θ Curves at Different CR; Ignition Timing is at MBT or Close to MBT (Within MBT + 2° CA).
The p-θ curves correspond to ignition setting of 10°, 10°, 14° and 15° BTC for CR of 17, 14.5, 13.5 and 11.5
شکل (۱۴): نمودار مقایسه ای تغییرات فشار محفظه احتراق در موتورهای تبدیل شده به DUAL FUEL

بر اساس این نمودارهای شکل (۱۴) هرچه نسبت تراکم کمتر باشد ماکزیمم فشار ایجاد شده نیز کاهش خواهد یافت. به عبارت دیگر فشار ماکزیمم محفظه احتراق در موتورهای 6LE با نسبت تراکم ۱۶:۱ حدود ۶۰ بار خواهد شد ولی در مقابل این فشار ماکزیمم در موتورهای 6LET, 6LETCA با نسبت تراکم ۱۴/۵:۱ حدود ۴۱ بار خواهد شد که بسیار پایین تر از موتورهای 6LE می باشد. در اثر کم بودن این فشار، مسلماً استهلاک این موتورها نیز کمتر می شود.
نکته دیگری که از نمودار فوق بر می آید آن است که برای نسبت تراکم ۱۷ به یک در حالت DUAL FUEL نسبت به حالت گازوئیلی ماکزیمم فشار محفظه احتراق از ۷۵ بار به ۷۰ بار کاهش پیدا کرده است. این جمله نشان دهنده آن است که، اگر موتوری را از حالت گازوئیلی به DUAL FUEL تبدیل کنیم فشار ماکزیمم محفظه احتراق ۷٪ کاهش پیدا می کند.

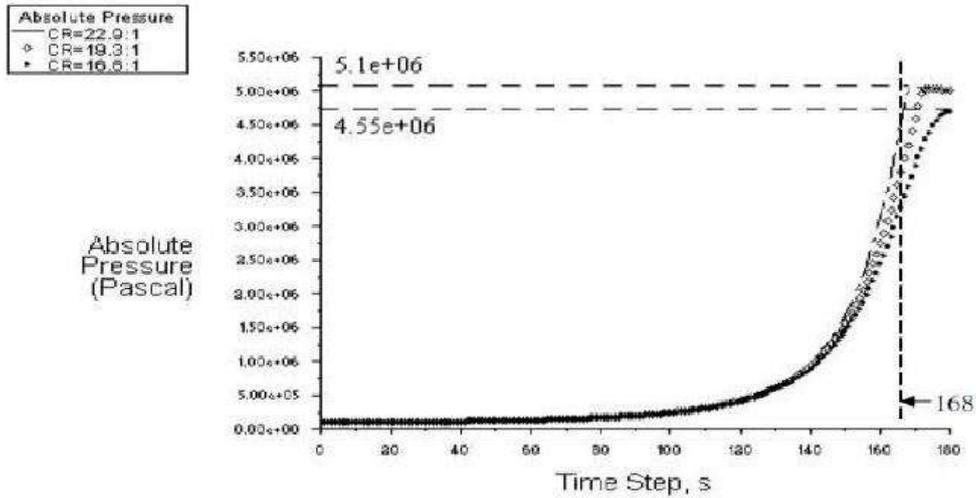


Figure 6.4 - Pressure Distribution for Different Compression Ratios (CR)

شکل (۱۵): نمودار تغییرات مقایسه ای فشار مطلق محفظه احتراق موتور گازوئیلی و موتور تبدیلی در نسبتهای تراکم مختلف

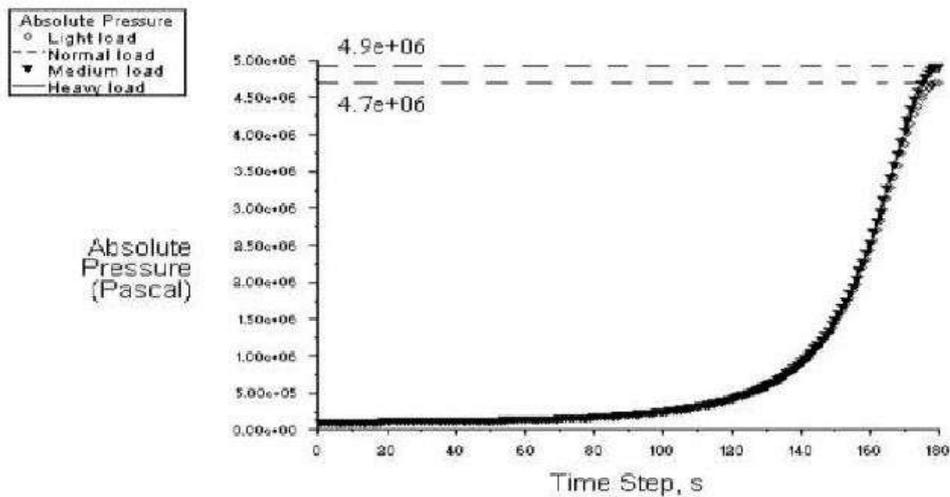


Figure 6.10 - Pressure Distribution for Different Load Conditions for CR = 16.6:1

شکل (۱۶): نمودار تغییرات مقایسه ای فشار مطلق محفظه احتراق موتور گازوئیلی و موتور تبدیلی در بارها و توانهای مختلف

در این نمودار که برای نسبت تراکم ۱۶/۶:۶ رسم شده است نشان داده شده که درموتورهای DUAL FUEL فشار محفظه احتراق از بی باری تا بار کامل حداکثر ۵٪ تغییر می کند.

۳-۱۴ نمودارهای مربوط به تغییرات دمای محفظه احتراق در حالت تبدیل به سیستم (DUAL FUEL)

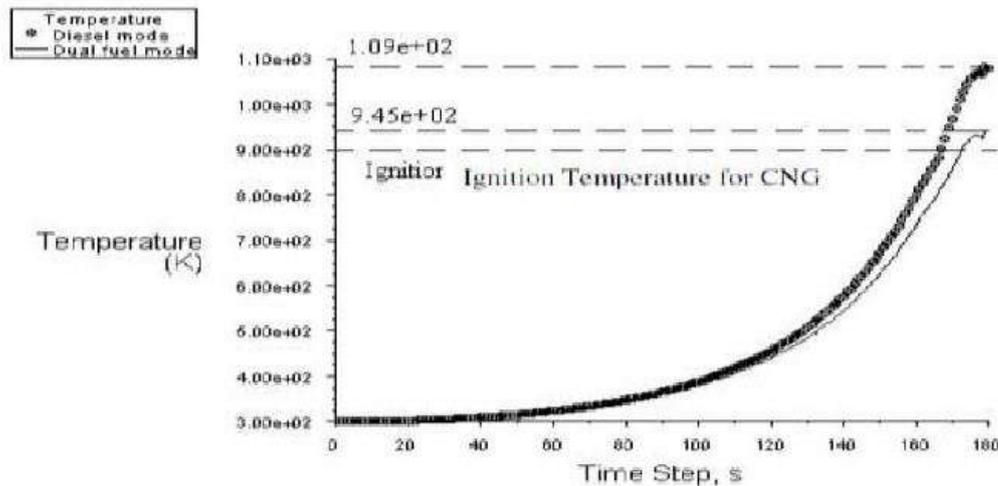


Figure 6.2 – Temperature Distribution for Diesel Mode and Dual Fuel Mode

شکل (۱۷): نمودار تغییرات مقایسه ای دمای محفظه احتراق موتور گازوئیلی با موتور تبدیل شده به (DUAL FUEL)

مطابق شکل فوق زمانیکه یک موتور گازوئیلی به موتور DUAL FUEL تبدیل می شود در طول پروسه انفجار دمای محفظه انفجار کاهش پیدا کرده و به موازات آن حداکثر دمای ایجاد شده نیز کاهش می یابد. محاسبات نشان می دهد حداکثر دمای ممکن ایجاد شده حالت DUAL FUEL نسبت به حالت گازوئیل سوز ۷٪ کمتر می باشد. در نتیجه این کاهش دما، استهلاک موتور نیز در حالت DUAL FUEL نسبت به حالت گازوئیلی بیش از ۷٪ کاهش پیدا خواهد کرد.

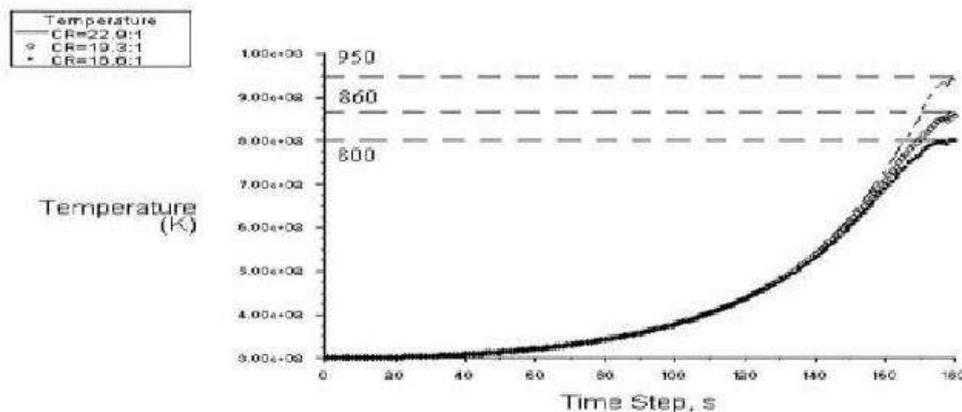


Figure 6.5 - Temperature Distribution for Different Compression Ratios (CR)

شکل (۱۸): نمودار تغییرات مقایسه ای دمای محفظه احتراق موتور تبدیلی در نسبتهای تراکم مختلف

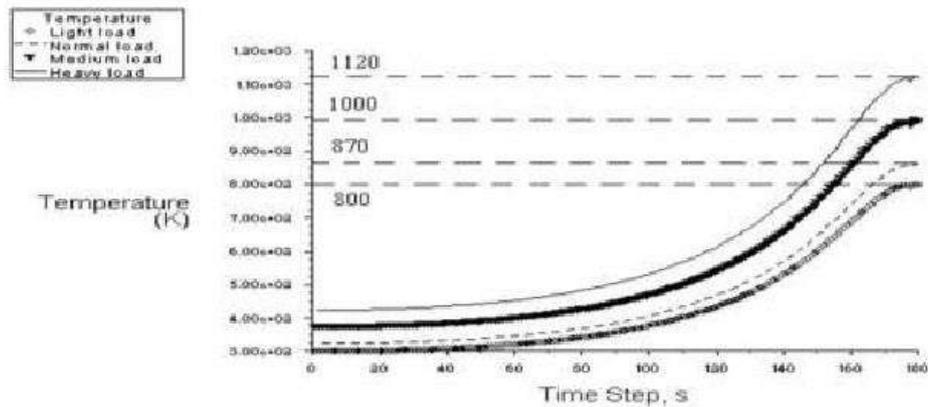


Figure 6.11 - Temperature Distribution for Different Load Conditions for CR = 16.6:1

شکل (۱۹): نمودار تغییرات مقایسه ای دمای محفظه احتراق موتور تبدیلی در بارها و توانهای مختلف

با توجه به نتایج آزمایش های مربوط به شکل (۱۹) مشاهده می شود که با افزایش بار موتور، دمای موتور افزایش پیدا می کند. این افزایش دما از بی باری تا بار کامل در موتور DUAL FUEL حدود ۴۰٪ خواهد بود که معادل همان افزایش دمای موتور در حالت گازوئیل سوز از بی باری تا بار کامل است.

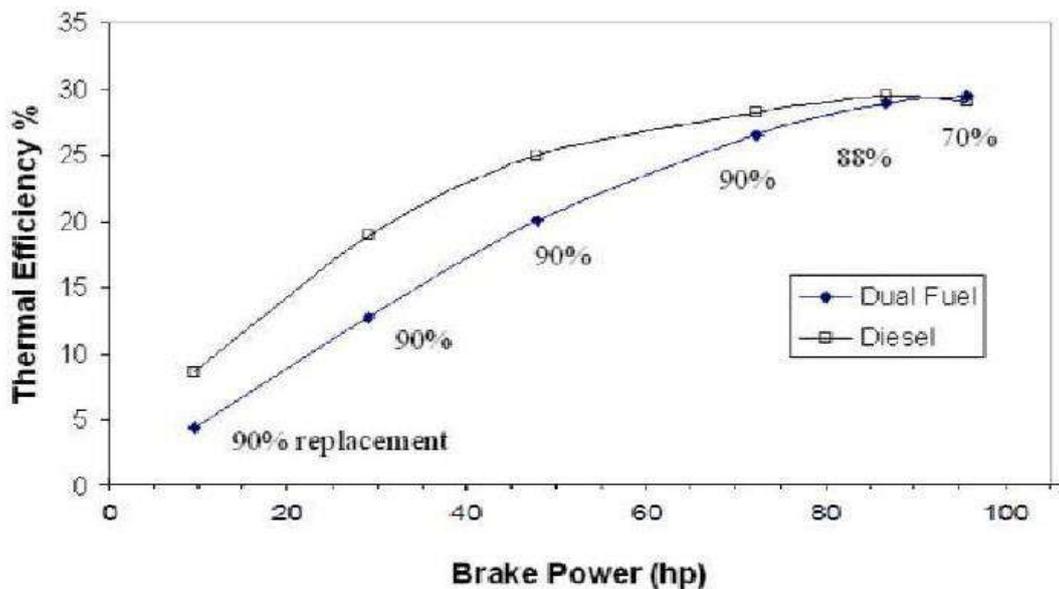


Fig. 8b. Variation of thermal efficiency for dual fuel operations using maximum possible gas replacements.

شکل (۲۰): تغییرات بازده حرارتی برای عملکرد حالت DUAL FUEL با حداکثر گاز تزریقی (۹۰٪)

مطابق شکل (۲۰) چنان که مشاهده می کنید راندمان حرارتی موتور DUAL FUEL که ماکزیمم درصد سوخت گاز را تا ۹۰٪ افزایش داده شده ارایه گردیده است. مقدار این راندمان برای تمامی بارها و توانهای اعمالی از بی باری تا بار کامل در مقایسه با راندمان حرارتی مدل گازوئیل سوز کمتر می باشد.

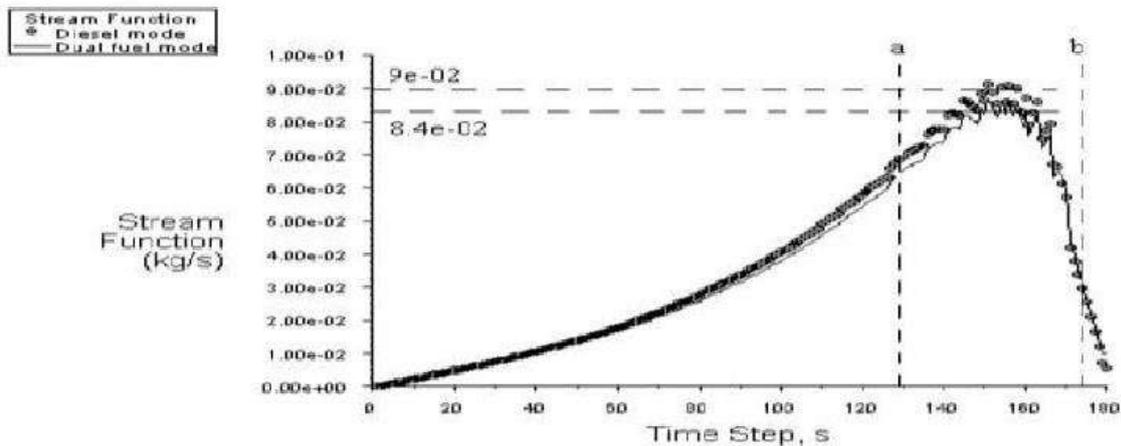


Figure 6.3 – Stream Function for Diesel Mode and Dual Fuel Mode
شکل (۲۱): تغییرات بخار آب در تبدیل از حالت گازوئیلی به حالت (DUAL FUEL)

مطابق این شکل مقدار این پارامتر در موتور DUAL FUEL مقداری کاهش خواهد داشت که باعث بهبود عملکرد موتور خواهد شد.

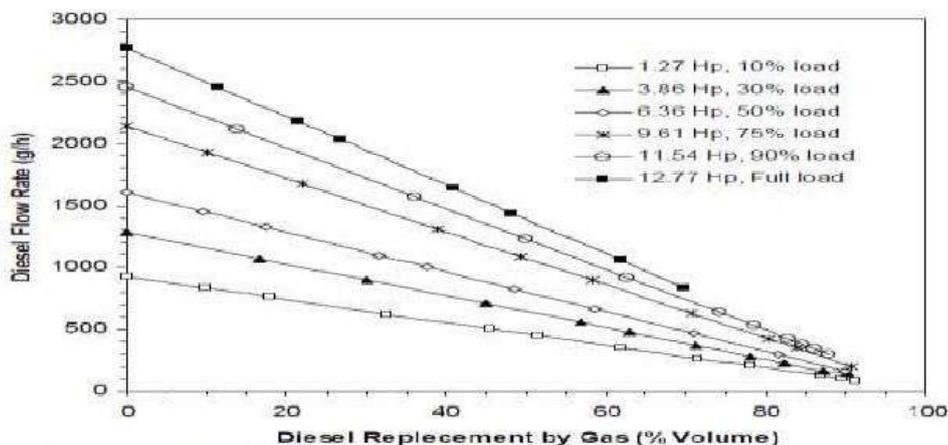
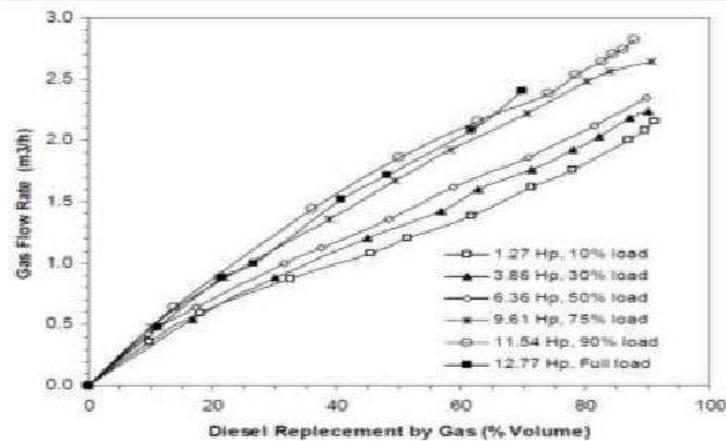


Fig. 6c. Variation of diesel flow rate with increased diesel replacement.

شکل (۲۲): تغییرات نحوه ترکیب سوختهای گازوئیل و گاز طبیعی برای بارها و توانهای مختلف



شکل (۲۳): نمودار تغییرات مصرف گاز نسبت به تغییرات جایگزینی گاز بجای گازوئیل

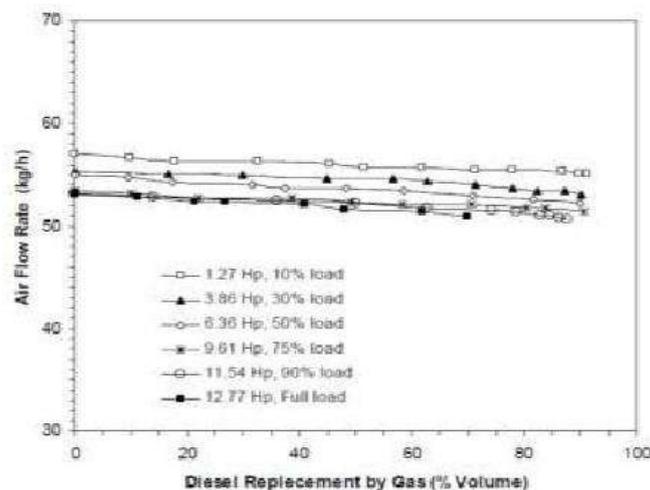


Fig. 6a. Variation of air flow rate with increased diesel replacement by natural gas at different power levels.

شکل (۲۴): تغییرات جریان هوای ورودی به محفظه احتراق نسبت به تغییرات جایگزینی گاز بجای گازوئیل در بارها و توانهای مختلف

مطابق شکل فوق بازده حجمی موتور در حالت DUAL FUEL مقداری نسبت به حالت گازوئیلی کاهش پیدا خواهد کرد. ولی از آنجایی که موتور از نوع صنعتی و دور آن در ۱۵۰۰ RPM ثابت می باشد و این دور از حداکثر دور نامی طراحی موتور که حداقل RPM ۲۰۰۰ می باشد بسیار پایین تر است و از سوی دیگر می دانیم که با کاهش دور بازده حجمی موتور افزایش پیدا می کند؛ حال اینکه افزایش بازده حجمی در اثر کم بودن دور موتور، به کاهش آن در اثر تبدیل از حالت گازوئیلی به DUAL FUEL می چربد و بنابراین افت توانی در رابطه با پارامتر بازده حجمی در موتور DUAL FUEL نخواهیم داشت.

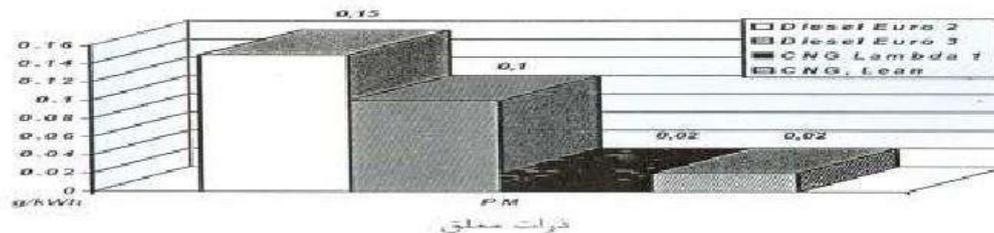
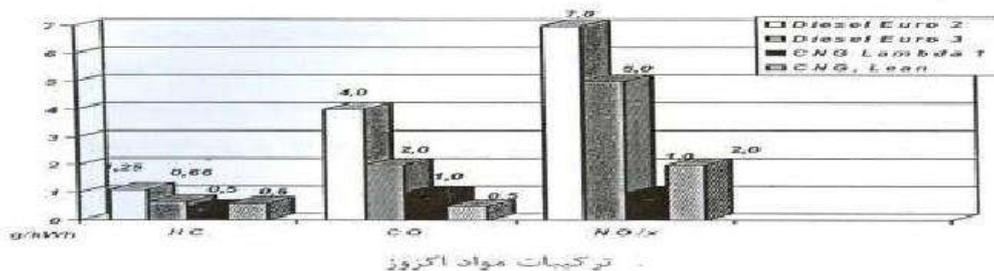
۴- گاز طبیعی

NG به معنای گاز طبیعی و قابل دسترس در بسیاری از نقاط دنیاست. اساساً قسمت عمده این گاز شامل متان (CH_4) می باشد که بستگی به منابع استخراج آن غلظتش از ۸۱٪ تا ۹۸٪ است. عناصر دیگر شامل اتان Ethane، پروپان Propane، بوتان Butane یا دی اکسید کربن CO_2 و نیتروژن N می باشد. NG گازی است بی بو که جهت تشخیص، به آن ماده ای بودار، مانند سولفور اضافه می کنند که شبیه بوی تخم مرغ گندیده می باشد. سولفور اضافه شده حاوی مواد THT که عامل ترکیب بویایی و موجب خوردگی در مخازن می شود.

گاز متان به مراتب سبکتر از هوا می باشد، بنابراین در اثر نشستی خیلی سریع تبخیر می گردد. NG دارای جرم حجمی کمی می باشد (0.17 Kg / Lit) یا (0.65-0.72 Kg/m³) بستگی به سطح کیفیت گاز استخراجی، گازها به دو گروه سنگین (High) و سبک (Low) تقسیم می شوند. در هنگام مصرف گاز برای سیستم باید نوع گاز مطابقت داده شود.

۴-۱ مقایسه آلودگی موتور گازوئیلی بسبب به موتور DUAL FUEL

- میزان آلودگی CO تقریباً یک پنجم آلودگی CO در موتور دیزل است.
- میزان آلودگی HC تا حدود ۶۵٪ و با نصب کاتالیست تا حدود ۸۵٪ در مقایسه با موتور دیزل کمتر می باشد.
- میزان آلودگی NO تا حدود ۷۰٪ در موتور DUAL FUEL کاهش یافته است.
- میزان آلودگی ذرات معلق با اندازه گیری های به عمل آمده تقریباً نزدیک صفر می باشد و عملاً حذف گردیده است.



شکل (۲۵): نمودار ترکیبات گازهای خروجی آگزوز

۴-۲ مشخصات موتور (DUAL FUEL)

- میزان آلودگی کم آن در خروجی آگزوز با میزانی قابل قبول.
- میزان ذرات آلوده NO_x به مراتب بهتر از EURO صفر.
- تقریباً خروجی آگزوز بدون بو می باشد.

- میزان آلودگی صوتی نسبتاً کمی دارد.
- گاز NG در دسترس می‌باشد. و همچنین جزو منابع طبیعی و ارزان محسوب می‌شود.

بنابراین موتورهای **DUAL FUEL** را در جاهائی می توان استفاده کرد که:

- مستلزم داشتن حداکثر قوانین محیط زیست است.
 - با قیمت ارزان گاز در دسترس باشد.
 - خواهان سیستم های محرک متفاوت باشند.
 - جلب و رضایت انجمن های محلی و یا سازمانهای مربوطه.
- عملکرد موتورهای Dual FUEL مقرون به صرفه بوده و آلودگی کمتری نسبت به موتور بنزینی و گازوئیلی مشابه برای محیط زیست داشته، گر چه قیمت تمام شده اولیه موتور بالاست. این موتورها معمولاً دارای سر و صدای کمتری نسبت به موتورهای بنزینی و دیزلی می‌باشند.
- تمام موتورهای دیزلی بگونه‌ای طراحی شده‌اند که اجزاء آنها از اجزاء مشابه در موتورهای بنزینی سنگین تر و مقاومتر می‌باشند (این موضوع از لحاظ تحمل نیروی گریز از مرکز و نیروهای اینرسی که در موتورهای بزرگتر هستند، ضروری می‌باشد). به علت طراحی مقاوم تر، موتورها نیاز به نگهداری کمتر داشته و فاصله بین تعمیر اساسی موتور نیز بیشتر خواهد بود. حال اگر این موتورها **DUAL FUEL** شوند، مقاومت زیاد قطعات به عنوان بیس طراحی اولیه بیشتر خود را نمایان خواهد کرد.

۳-۴- تجهیزات موتور (DUAL FUEL)

– کنترل دور و تنظیم آن روی یک دور ثابت

بدین منظور یک عدد میکسر گاز و هوا به همراه دریچه قابل تنظیم گاز و هوا به همراه تجهیزات جانبی و پوزیشنر آنها و یک اکچوایتور الکترونیکی تنظیم گازوئیل که وظیفه تثبیت دور موتور را برعهده دارند و همگی آنها از یک ست ECU الکترونیکی فرمان می‌گیرند که مقدار تنظیم را بر اساس اطلاعات دریافتی از سنسورهای دور و فیدبک موقعیت دریچه های گاز و گازوئیل محاسبه و به عملگرها ارسال می‌کند.

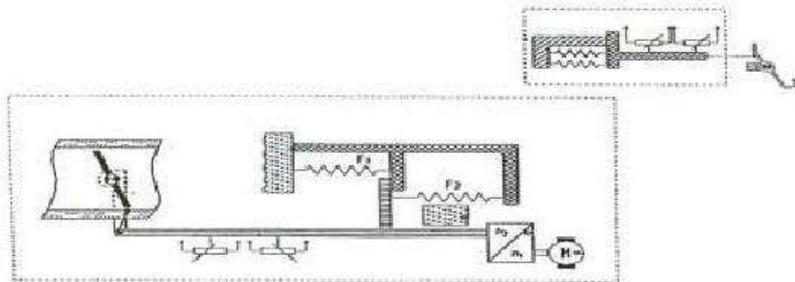
– محرک دریچه گاز و هوا

محرک دریچه مدل دارای عملکرد الکترونیکی است. دریچه هوا بوسیله یک موتور الکتریکی که با یک دستگاه چرخ دنده قابل تنظیم به دمپر دریچه متصل است. این موتور الکتریکی بوسیله ولتاژ ۲۴ ولت کار می‌کند.



شکل (۲۶): دریچه تنظیم هوا

پتانسیومترهای متصل شده، وضعیت دریچه هوا را مشخص می کنند. وضعیت دریچه هوا باید در درجه مورد نظر ثابت شده باشد.



شکل (۲۷): نحوه عملکرد پوزیشنر دریچه هوا

در حالت آزاد و بدون کار، دریچه هوا با باز کردن مقداری هوا جهت مکش به کار می افتد تا موتور روشن شود. قسمت اتصال دهانه دریچه هوای محاسبه شده برای موتورهای شرکت بنیان دیزل، دارای قطر داخلی ۷۰ میلی متر می باشد.

- اکچوایتور گازوئیل

این اکچوایتور یک عملگر الکترونیکی می باشد که وظیفه تنظیم مقدار سوخت گازوئیل را بر عهده دارد.

- میکسر

وظیفه ترکیب مناسب و یکنواخت گاز و هوا را بر عهده دارد.

- سنسور دور موتور

به دلایل زیادی در این سیستم ما از دو سنسور دور موتور استفاده کردیم، یکی اصلی و دیگری کمکی می باشد. سنسورهای دور موتور از نوع سنسورهای القایی هستند. سنسورهای دور موتور به وسیله یک سیم پیچ احاطه شده است، و به وسیله یک شکاف باریک جدا شده و مستقیماً روبروی یک لبه فلایویل قرار گرفته و هسته فلزی نرم به یک مغناطیس دائمی وصل شده است. میدان مغناطیسی به درون لبه فلایویل گسترش یافته و آن را تحت تاثیر قرار می دهد. هنگام قرارگیری دندانه ها در روبروی سنسور، میدان مغناطیسی ایجاد شده و باعث تقویت شار مغناطیسی بوبین می شود و در یک فاصله دیگر باعث تضعیف شدن شار مغناطیسی بوبین می شود. این دو حالت به طور متناسب و متناوب با چرخش چرخ دندانه از یک دنده به یک دنده دیگر منتقل می گردد. شار مغناطیسی، جریان القایی متناوب در بوبین را تغییر می دهد. این نوسانات ولتاژ با دور موتور متناسب است. هر دو سنسور دور موتور بر روی پوسته نصب می شوند. با توجه به اینکه فلایویل دارای تعداد مشخصی سوراخ بر روی لبه بیرونی می باشد با شمردن این دندانه ها دور موتور را می توان با دقت و سرعت بالایی اندازه گیری کرد.



شکل (۲۸): سنسور دور و سوکت مربوطه

- سنسور فشار گاز

این سنسور که در آن یک پل مقاومتی است و با یک پوسته فولادی مخصوص دارد. این پل مقاومتی با خمش بدنه سنسور که ناشی از فشار اتمسفر است تنظیم و میزان شده است. این خمش در اثر تغییر فشار گاز از تنظیم خارج شده و یک سیگنال متناسب با فشار را ارسال می کند. این سنسور روی پوسته نصب شده و توسط یک مدار آنالیز الکتریکی تقویت شده و به ECU وصل می شود. سنسور فشار گاز روی دستگاه میکسر گاز و هوا نصب می شود.



شکل (۲۹): سنسور فشار گاز NG و سوکت مربوطه

- سنسور دمای گاز

سنسور دمای گاز همانند سنسور دمای مایع خنک کننده ساخته شده است اما با این تفاوت که دامنه اندازه گیری به حداقل رسیده و به دمای محیطی 20°C تقلیل یافته است. سنسور حرارتی روی ورودی میکسر گاز و هوا نصب می شود.



شکل (۳۰): سنسور دمای گاز ورودی به موتور و سوکت مربوطه

۴-۴- آئین نامه های ایمنی و ایمنی کار

مأخذ: دستورالعمل ایمنی در کار روی سیستمهای گازسوز Dr. Wilms

گاز NG یک گاز طبیعی و قابل دسترس در منابع زیرزمینی می باشد. عمدتاً ترکیب آن شامل متان Methane (قسمت اصلی)، اتان Ethane، پروپان Propane، بوتان Butane، دی اکسید کربن CO₂ و نیتروژن Nitrogen می باشد. به همین دلیل به منظور افزایش سطح ایمنی به آن گوگرد Sulphurous (شبهه تخم مرغ گندیده) افزوده تا قابل استشمام شده و بتوان بوی گاز را تشخیص داد. شناخت ترکیبات گاز NG طبیعی بسیار مهم است زیرا می توان ترکیبات شیمیایی مختلفی داشته باشند.

– اقدامات لازم در هنگام وقوع آتش سوزی

- هنگام آتش سوزی توسط گاز، شعله آن را نباید خاموش کرد. بلکه در جایی مناسب اقدام به خنک کردن قطعات و محوطه اطراف آتش گردد.
- اقدام به بستن فلکه قطع کن روی کپسولها، پمپ و مخازن گردد.
- گاز در حال سوختن = گاز کنترل شده
- در صورت سرایت آتش به محل های دیگر، آن را توسط کپسول آتش نشانی مهار کنید .
- در صورت زبانه کشیدن آتش، باید سریعاً به آتش نشانی اطلاع داده و تا آن زمان برای مهار آتش اقدامات لازم صورت پذیرد.
- در صورتیکه سیستم متوقف می باشد، هر ۴ هفته یکبار باتریها شارژ گردند.
- اگر سیستم بیش از ۳ ماه در حالت خاموش متوقف شود می بایست دستورالعمل استاندارد در مورد آن اعمال شود.
- کابل دستگاه مدول کنترل الکترونیکی را فقط در زمانیکه سوئیچ خاموش است می توان قطع و وصل نمود.
- هنگام شستشوی سیستم از شستشوی و مرطوب نگاه داشتن قطعات الکترونیکی و الکتریکی اجتناب گردد.
- به منظور جوشکاری برق، توجه داشته باشید که اتصالات سر باتری را جدا نموده و اتصال منفی جوشکاری را در نزدیکی محل جوشکاری قرار دهید.
- در صورت انجام کارهای نقاشی توجه داشته باشید مدول کنترل های الکترونیکی در معرض دمای بالای ۸۵°C قرار نگیرد، در چنین وضعیتی باید اتصالات را جدا کرد.

– علائم هشدار دهنده و ایمنی تجهیزات NG

در حین کار روی سیستم گازسوز سیستم باید توسط علائم هشداردهنده ایمن سازی شود. این علائم طبق آئین نامه UVV (VBG125) در جلو و عقب سیستم جهت اطلاع دیگران قرار گیرد. همچنین این علائم بر روی موتور و دیگر قسمتهای سیستم مربوطه بصورت برجسته قرار گرفته باشد. در هر قسمتی که در حال کار هستید توسط نوار قرمز و سفید محصور گردد.

– سطح ایمنی کار و راهنمای دستورالعمل

جهت کار روی سیستم گازسوز، می بایست راهنمای دستورالعمل طبق آئین نامه مناطق خطرناک نوشته شده و مشمول تمام اطلاعات موردنیاز جهت ایمنی باشد. کلیه کارگران باید به این آئین نامه آگاه باشند و حتی از راهنمای دستورالعمل شرکت تولیدکننده سیستم گازسوز مطلع باشند. قبل از شروع به کار کلیه پرسنل مربوطه باید طبق راهنمای دستورالعمل آموزش دیده باشند، این آموزش هم باید هر دو سال تجدید گردد. آموزشهای مذکور باید ثبت و بایگانی گردد.

نمونه دستورالعمل

نکات ایمنی در مورد سیستمهای گازسوز

گاز طبیعی (NG)

- ✓ بی رنگ، سبک، قابل اشتعال، تحت فشار ۲۰۰ بار
- ✓ عمدتاً شامل متان. گازی است بی بو که به آن مواد THT جهت شناسائی اضافه می گردد.

خطراتی که انسان و محیط زیست را تهدید می کند:

- ✓ قابل ترکیب با هوا و خاصیت انفجاری دارد.
- ✓ متمرکز شدن این گاز در یک محیط بسته باعث مسمومیت و کمبود اکسیژن در خون انسان می گردد.

ابعاد حفاظتی و مقررات خطر

- ✓ کشیدن سیگار ممنوع.
- ✓ انجام هر عملیاتی که شامل وجود آتش و شعله باشد در مجاورت سیستم گازسوز می باشد صورت نگیرد.
- ✓ از اعمال عملیات حرارتی بیش از 60°C پرهیز شود.
- ✓ امور تعمیرات روی سیستم گازسوز فقط در تعمیرگاه مخصوص به این سیستم انجام پذیرد.
- ✓ سیستم تهویه هوا فعال باشد.
- ✓ در زمان تعمیر موتور را توسط سوئیچ خاموش نکنید بلکه ابتدا اصلی فشار بالا را بسته تا بقیه گاز در سیستم توسط موتور مصرف شده و سپس خاموش شود.
- ✓ بعد از باز کردن قطعات سیستم گاز، مقدار باقیمانده توسط سوپاپ مکنده تخلیه شود. در نهایت سیستم گاز را باز کنید و عملیاتی از قبیل تعمیرات و تعویض قطعات را انجام دهید و در ادامه این کارها باید فوراً انجام شده و سپس سیستم کاملاً آبیندی شود.
- ✓ در حین کار از آتش شعله و یا جرقه در محوطه استفاده نگردهد.

حفاظتهای تنفسی:

- ✓ با توجه به سبک بودن وزن گاز، در محوطه تعمیرگاه، از انباشته شدن گاز پیشاپیش با فعال کردن سیستم تهویه هوا جلوگیری به عمل آید.

کارهای لازم در صورت بروز خطر

- ✓ در صورت بروز نشت گاز موثرترین تهویه هوا، باز کردن دریچه های اطراف و دودکش مربوطه می باشد.
- ✓ فقط از سیستم و تجهیزات الکترونیکی که از نظر انفجاری ایمن هستند استفاده شود.
- ✓ وسایل جرقه ساز را از محل دور کنید.
- ✓ در صورت ممکن خودروها به محوطه باز منتقل شود.
- ✓ در صورتی که شعله به صورت یکنواخت می سوزد خاموش نکنید بلکه آتش نشانی را مطلع کنید.
- ✓ مسیرهای خروجی:
- ✓ شماره تلفن حوادث:
- ✓ بعد از استنشاق: رساندن هوای تازه، تماس با کمکهای اولیه دکتر اگر نیاز بود.
- ✓ بعد از تماس با لباس: لباس آلوده را فوراً عوض کنید.
- ✓ امداد رسان:
- ✓ گاز باقیمانده در سیستم گازسوز باید با کیوم تخلیه گردد.

– آئین نامه ایمنی در رابطه با سیستم گازسوز موتورهای DUAL FUEL

۱. موتور بوسیله اهرم شیر قطع کن گاز تغذیه NG خاموش گردد. و شیرهای مخازن به ترتیب بسته شود.
۲. سوپاپ تخلیه باید در دسترس باشد تا جهت تخلیه و نصب لوله واسطه به سهولت انجام شود.
۳. لوله های سیستم گاز NG مطابق استاندارد DIN2403 با رنگ زرد علامت گذاری شود.
۴. کشیدن سیگار در محوطه موتور و سیستم گازسوز ممنوع می باشد.
۵. شیلنگ ها

محدوده حرارتی	فشار ترکیدن در (bar) 20 C	حداکثر فشار کارکرد در (bar) 20 C	قطر داخلی شیلنگ mm	نوع شیلنگ
-۴۰ تا ۹۵°C	96	24	6/4	PB-4
-۴۰ تا ۹۵°C	80	20	9/5	PB-6
-۴۰ تا ۹۵°C	80	20	12/7	PB-8

– آیین نامه ایمنی در مورد شیلنگها

- هرگز بیش از فشار تعیین شده، مورد استفاده قرار نگیرد.
- هرگز شیلنگ را بیش از محدوده حرارتی تعریف شده استفاده نکنید.
- شیلنگ را تاب ندهید، از اعمال هر بریدگی یا حرارت بیش از حد بر روی آن اجتناب کنید.
- فقط از شیلنگ مقاوم برای سرشیلنگی Buna-N استفاده کنید.
- قبل از استفاده از شیلنگ آنرا از نظر شکاف و ترک، نشستی، خراش، متورم شدن روکش بیرونی و خرابی یا ایراد در اتصالات قسمت بوش موردبررسی قرار دهید.

– خالی کردن و تخلیه گاز طبیعی برای تعمیرات موتور

- سوئیچ خاموش باشد.
- کابلهای باتری را از اتصالات مربوطه جدا کنید.
- اتصال زمین را به سیستم وصل کنید.
- شیلنگ تخلیه را به لوله مصرفی متصل کنید.
- سوپاپ ساچمه ای روی لوله مصرف را باز کنید تا گاز NG تخلیه شود.
- بعد از مرحله خالی کردن، به منظور بازرسی سعی کنید استارت خالی بزنید (موتور روشن نشود).

۵- لیست کارها جهت تبدیل موتور گازوئیلی به موتور DUAL FUEL

۵-۱- لیست کارهایی که روی موتور ژنراتور گازوئیلی انجام می شود تا به موتور ژنراتور DUAL FUEL تبدیل شود:

- انتخاب و جانمایی و نصب دو سنسور دور موتور روی پوسته فلاپویل
- انتخاب جانمایی و نصب سنسور اکسیژن (لامبدا) روی آگزوز موتور
- جانمایی و ساخت واسط مربوطه و نصب دریچه هوا
- جانمایی و ساخت واسط مربوطه و نصب اکچواتور پمپ گازوئیل
- جانمایی و ساخت واسط مربوطه و نصب میکسر گاز و هوا
- جانمایی و ساخت و نصب مسیرسیم بندی روی موتور
- جانمایی و نصب سیستم کنترل الکترونیکی در تابلو کنترل موتور ژنراتور

۵-۲- کارهای که باید در محل نصب موتور ژنراتور DUAL FUEL انجام شود :

- جانمایی و نصب کنتور گاز متناسب با حداکثر مصرف موتور
- جانمایی و نصب شیر گاز دستی
- جانمایی و نصب شیر گاز برقی قطع گاز اضطراری Shut off
- جانمایی و نصب فیلتر گاز شهری
- جانمایی و نصب رگولاتور
- جانمایی و نصب گیج فشار گاز
- نصب سیستم اعلان حریق مرکزی