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 می‌شود. روغن به منظور کاهش اصطکاک و جلوگیری از سائیدگی در سرتاسر موتور توسط سیستم روغن کاری به گردش در می‌آید. هوا توسط سیستم ورود هوا به داخل سیلندرهای موتور کشیده می شود، و گازهای سوخته شده توسط سیستم خروج دود، و اگزوز از موتور خارج می‌شوند.

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، فلایول و ... می‌باشند و از آنجائیکه بیشتر حجم تشکیل یک موتور را سیلندر آن شامل می‌شود، بنابراین سیلندر یکی از اساسی ترین و مهم ترین قطعات در یک موتور بشمار می‌رود.

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 اندازه‌های 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 سیلندرهای مشابه در سرعت پیستون یکسان، دارای نمودار اندیکاتور و فشار موثر متوسط اصطکاکی یکسانی‌اند.

- 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 می‌یابد.

- دمای قطعاتی که در معرض گازهای داغ قرار می‌گیرند، با افزایش اندازه سیلندر ازدیاد می‌یابد، مگر اینکه برای کوتاه نگه داشتن مسیرهای جریان گرما، تغییراتی در طرح به عمل آید.

- در موتورها، چنانچه قطر سیلندر افزایش می‌یابد، 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.

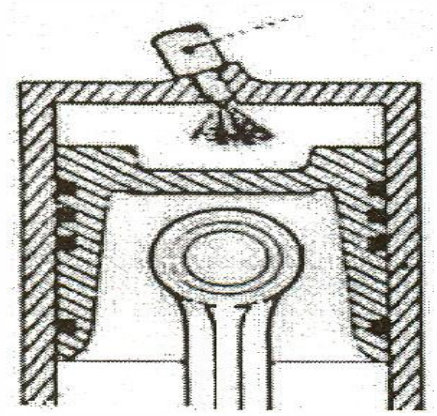
- با در نظر گرفتن نسبت سوخت و هوا و نسبت تراکم یکسان، با افزایش اندازه سیلندر در اثر کاهش اتلاف گرمای مستقیم، بازده موتور افزایش می‌یابد.

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 گازسوخت 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، نعلبکی 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 که حرکت شانه سوخت را به عهده دارد تنظیم می شود این گاورنر پشت یک پمپ انژکتور گازوئیلی کوپل شده است و در حقیقت پمپ انژکتور وظیفه دارد تا سوخت تنظیمی گاورنر را که با جابجائی شانه سوخت تنظیم می شود 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 و حال 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 کشیده می شوند. 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 چرخش میل لنگ کوپل شده است و این کوپل شدن به صورت یک فیدبک حلقه بسته عمل کرده بطوریکه، با افزایش دور موتور فنرها باز شده و با کاهش دور موتور فنرها بسته می شوند. اگر با یک اهرم بندی کاری کنیم که با کشیدن فنرها شانه سوخت به عقب رفته و برعکس با جمع شدن فنرها شانه سوخت جلو برود، در حقیقت یک گاورنر مکانیکی قابل کوپل به پمپ انژکتور ساخته ایم.

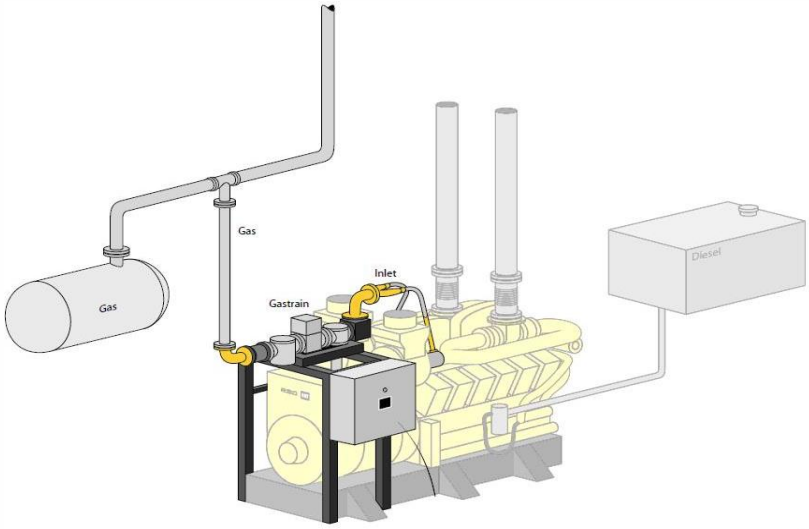
اگر در سیستم عملکرد گاورنر مکانیکی مذکور دقیق شویم، می ببینیم که تغییرات مکان شانه سوخت فقط و فقط تابعی از دور موتور بوده و هیچ اهرم بندی با محاسباتی مبنی بر انتگرال گیری از دور و یا مشتق گیری از آن نداریم. به سخن دیگر یک کنترل کننده سوخت مکانیکی از نوع کنترلر تناسبی (P) است. قابل یادآوری است که کنترل 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 متناسبا طراحی و ساخته و روی آن نصب می کنند و در این بین مهمترین مسئله تعیین مقدار کنترل تناسبی p می باشد. که پس از محاسبه آن و اجرای مکانیکی، نتیجه حاصله محصولی خواهد بود که هم اکنون روی بسیاری از انواع موتورهای خودروئی و صنعتی نصب می شوند.

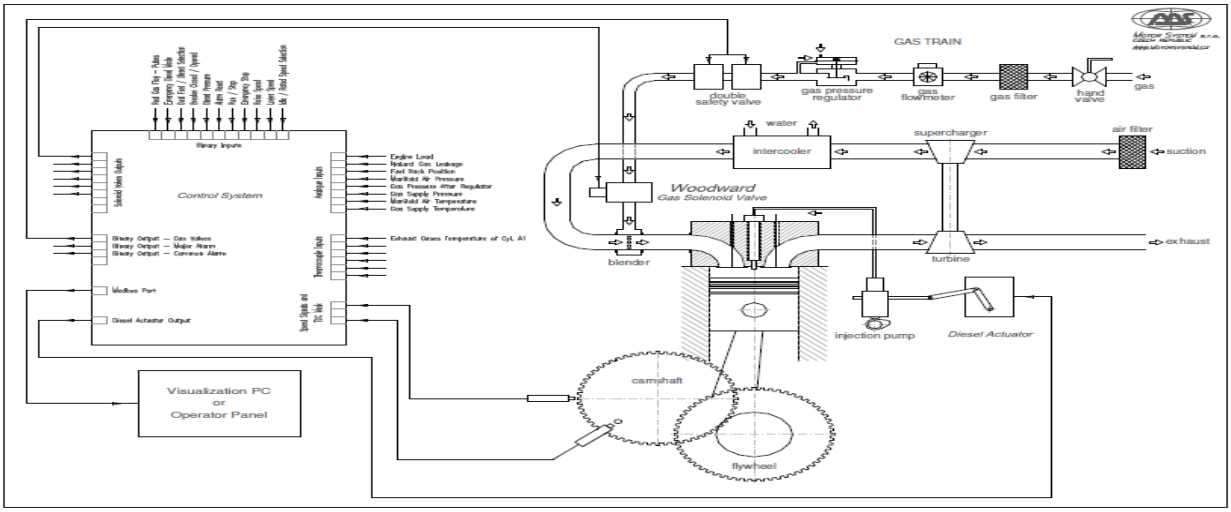
در موتورهای صنعتی دور را روی مقدار مرجع RPM ۱۵۰۰ تنظیم می کنند و فنری با ثابت فنر متناسب با نیروی گریز از مرکز در همین دور برای کنترل انتخاب می شود. ولی در موتورهای خودروئی دور موتور تابعی از پدال گاز راننده بوده و عملکرد گاورنر مکانیکی این موتورها با سه فنرکنترل می شود، که هرکدام از این فنرها مابین وزنه های گریز از مرکز و محور ی که با سرعتی متناسب با سرعت میل لنگ می چرخد، کوپل شده اند. اولین فنر مربوط به دور درجای موتور است که این فنر در دورهای پائین عملکرده و موتور را اصطلاحاً در ماله گاز کنترل می کند و طول فنر طوری است که در دورهای حدود RPM ۷۵۰ به وزنه ها نیرو وارد می کند. فنر دوم فنری است که با توجه به طولش در دورهای حدود ۲۲۰۰ RPM عملکرده و جلوی باز شدن بیش از حد وزنه ها را گرفته و مانع افزایش سوخت در این دور می شود. معمولا 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.

۳-۲ انژکتور و دریچه تنظیم گاز و هوا

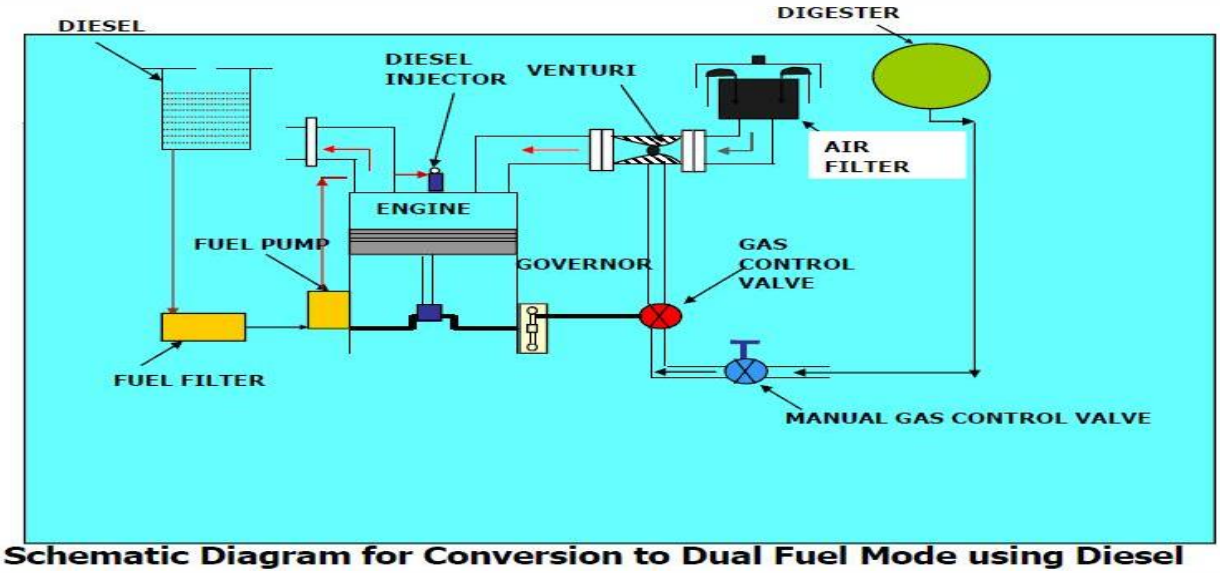
کار انژکتور در موتورهای تزریق مستقیم عبارت است از پاشش مقدار کم سوخت به اتاق احتراق در یک لحظه مشخص و در مدت زمان کوتاه، به حالت مطلوب و طبق قانون مشخص که خود تابعی از فضا و زمان و نوع اتاق احتراق و در صورت لزوم تغییرات سرعت دورانی موتور می باشد. در موتورهای تزریق مستقیم مدت زمان تزریق بسیار محدود است. 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 می گیرد 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 داده های مطمئن نیز استفاده می‌شود. در مقابل در سیستم **DUAL FUEL** علاوه تزریق گازوئیل توسط پمپ انژکتور گاز طبیعی با هوا در ونتوری با هم ترکیب شده و از طریق یک دریچه تنظیم کننده به منیفولد هوا تزریق می شود و نهایتا به داخل سیلندر و محفظه احتراق وارد می شود.



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 واین ترکیب وارد منیفولد هوا می شود که دو نمونه از نصب چنین سیستمهایی در زیر ارائه می گردد:

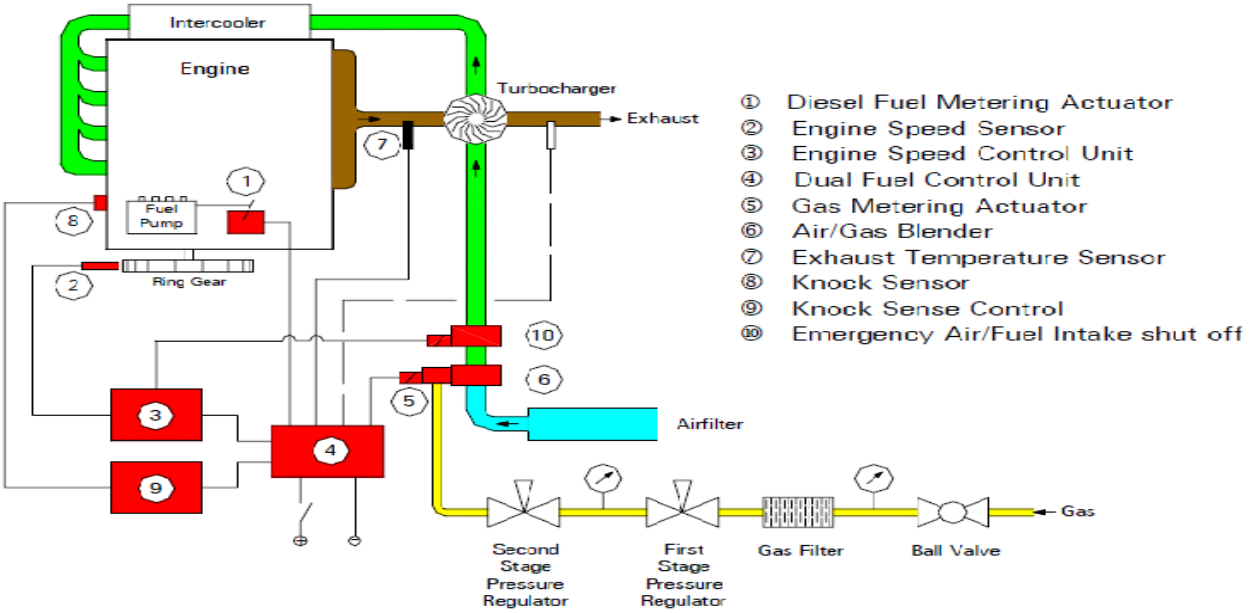


شکل(۳): شماتیک ۱ از ساختار تکنولوژی نوع اول

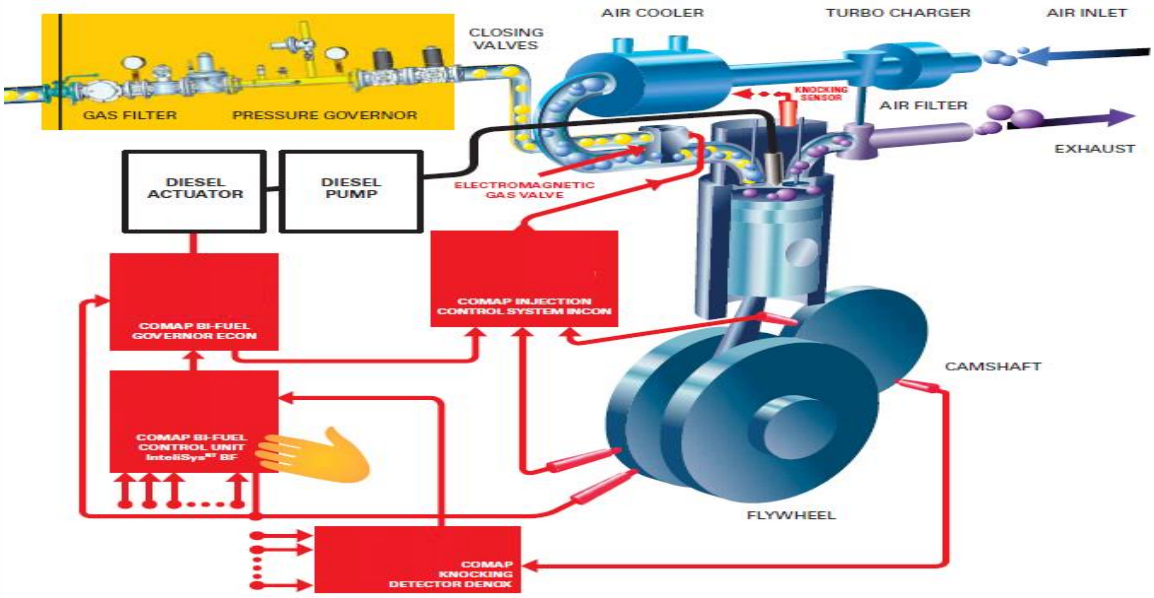


شکل(۴): شماتیک ۲ ازساختار تکنولوژی نوع اول

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 منیفولد می شود که دو نمونه از نصب چنین سیستمهایی در زیر ارائه می گردد:



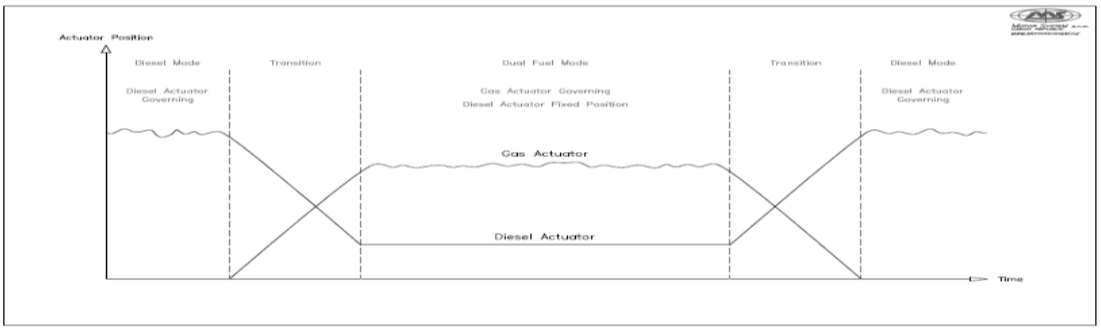
شکل(۵): شماتیک ۱ از ساختار تکنولوژی نوع دوم



شکل(۶): شماتیک ۲ از ساختار تکنولوژی نوع

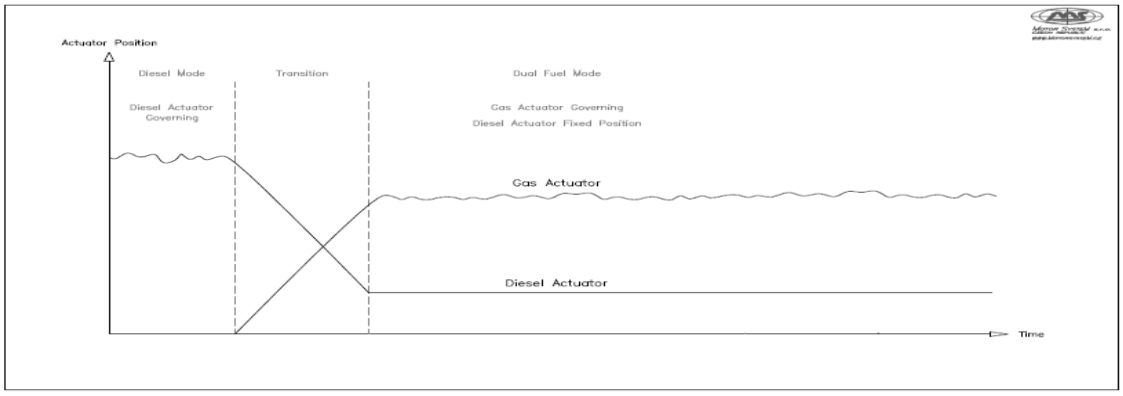
۲-۵ بررسی تبدیل دیزل به DUAL FUEL و برعکس بصورت اتوماتیک و غیر اتوماتیک

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 اکچوایتور 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 هزینه‌ها کاسته شده و قیمت تمام شده پایین تری نسبت به روش اول خواهیم داشت.در این سیستم بجای استفاده از این تجهیزات، مقدار دبی سوخت گازوئیل خروجی از پمپ گازوئیل را در یک مقدار حدود ۲۰٪ مقدار ماکزیمم آن ثابت می کنیم. مسلما 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

۶-۲ عدد ستان $C_{16}H_{34}$

از پارامترهای اساسی سوخت در موتورها عدد ستان آن می‌باشد که در زیر به شرح آن می‌پردازیم ، قابلیت اشتعال خود به خودی یک سوخت را با عدد ستان آن سوخت اندازه‌گیری می‌کنند، 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 می‌شود، 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 می‌باشند) 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 می‌باشد کوچکتر، یا به عبارت دیگر سرعت دورانی موتور بزرگتر باشد، اهمیت عدد ستان بیشتر می‌شود. تاثیر عدد ستان سوخت برعملکرد 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 می‌شود. در موتورهای کوچک (معمولی)، عدد ستان بر نرمی کار موتور و نیز بر کیفیت احتراق اثر می‌گذارد. 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 می‌شود 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 می‌شود و روی آن رسوبات ذغالی می‌بندد 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 می‌شود. زمانیکه یک موتوردیزلی به موتور **DUAL FUEL** تبدیل می‌شود 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.

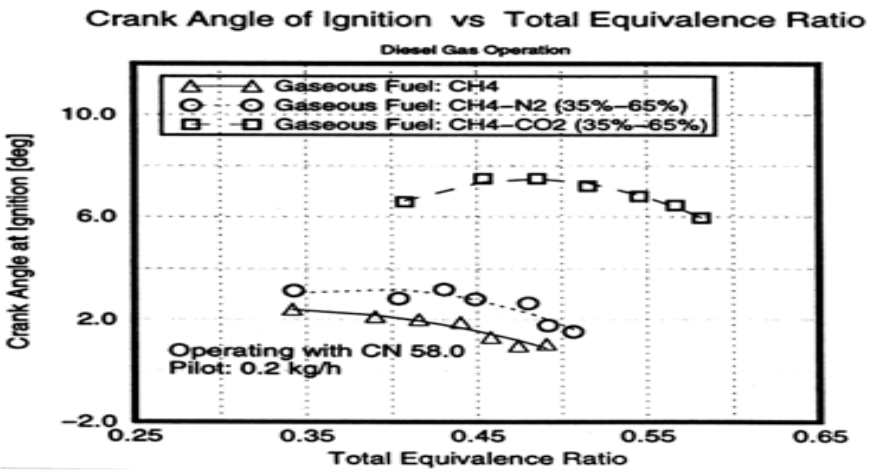
۶-۲ زمان بندی پاشش

اهمیت این زمان بندی در کنترل پریود تاخیر اشتعال (Time Delay) و زمان احتراق می‌باشد. 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 وصدای 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 می‌گردد. نتایج تجربی دیگری نشان می‌دهد 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 اسکیومتریک سوخت گاز که عدد ۱۷ می باشد و نمودار زیر نتیجه می گیریم که تغییرات زاویه‌ای 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 تاثیری 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 می‌باشند.



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

۳-

۴- بررسی استهلاک موتور گازوئیلی با موتور (DUAL FUEL)

وقتی موتوری از حالت گازوئیلی به (DUAL FUEL) تبدیل می شود **دوعامل 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:**

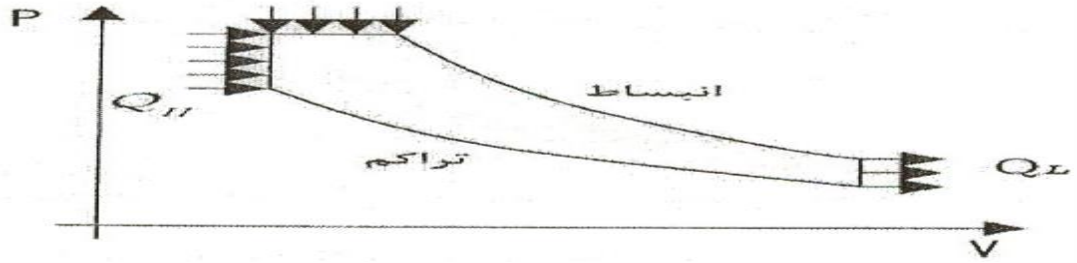
الف : تغییرات فشار متوسط محفظه احتراق در حالت تبدیل به سیستم(DUAL FUEL)

ب: تغییرات دمای محفظه احتراق در حالت تبدیل به سیستم (DUAL FUEL)

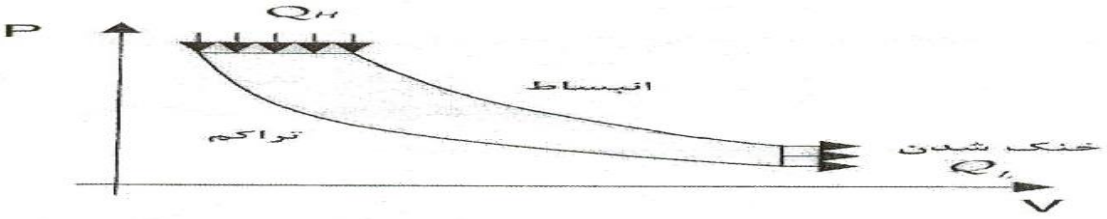
۳-۱ چرخه موتور

عملیات مشخصی در داخل یک موتور اتفاق می‌افتد تا موجب کارکرد موتور شود. این عملیات به صورت یک چرخه تکرار می‌شود. 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 می‌شود و در نقطه BDC محفظه احتراق از هوای تازه پر شده است (BDC نقطع 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 می‌سازد. در این حالت سوپاپ‌های هوا و دود بسته می‌شود. با بالا رفتن پیستون وقتی پیستون به نقطه TDC می‌رسد هوا به حداکثر تراکم می رسد. هوا در موتور ٦LE به نسبت یک به شانزده به یک و در موتورهای ٦LET و ٦LETCA به نسبت چهارده و نیم به یک حجم اولیه فشرده می شود.



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



شکل(۱۱): نمودار تغییرات فشار- حجم در سیکل قدرت و در داخل محفظهٔ 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 می‌باشد 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 می‌کند که باعث رانش پیستون به سمت پایین می‌شود. پس از پایان تراکم و مهلت اشتعال، احتراق آغاز می‌شود. 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 می‌شود. در این حالت سوپاپ هوا بسته بوده و وقتی پیستون به نقطه TDC می‌رسد سوپاپ دود نیز بسته می‌شود. در این مرحله سوپاپ هوا درست قبل از بسته شدن کامل سوپاپ دود باز می گردد که این حالت را قیچی کردن سوپاپ ها می‌نامند.

۲-۳ مهلت اشتعال

منظور از مهلت اشتعال همان مدت زمان بین ابتدای تزریق و ابتدای اشتعال می‌باشد. این مدت هر قدر به درازا بیانجامد باعث احتراق تخریبی یکپارچه و بنابراین بروز صدمه و نیز فشار زیاد بر قطعات مختلف موتور می‌گردد. ضمناً، با طولانی شدن این مهلت، ذرات سوخت فرصت می‌یابد 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 می‌شود.
- اگر جداره ها گرم باشند، روی آنها احتراق ناقص انجام می گیرد و تولید رسوب می‌کند.

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.

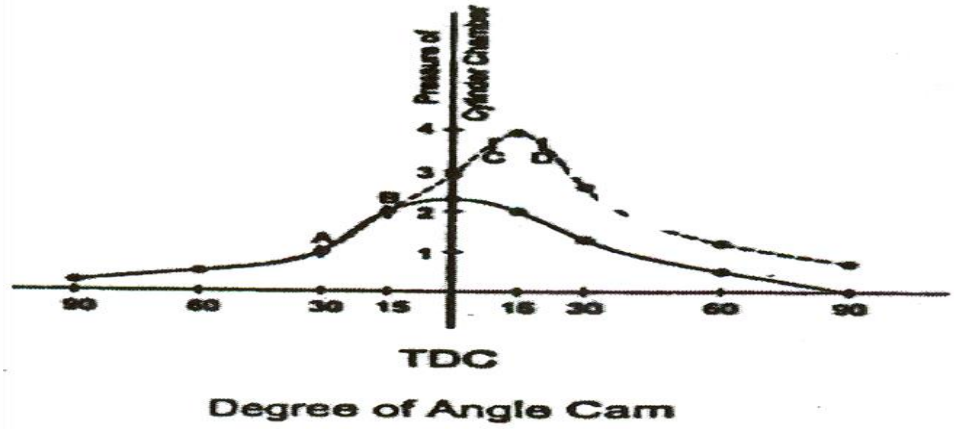
۳-۳ احتراق

برای هر موتور احتراق داخلی، احتراق کامل فقط زمانی رخ می‌دهد 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 ($\lambda \rangle 1$) بدست آورده می‌شود. 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 می‌رود، به دلیل احتراق کامل، آلاینده های حاصل از آن نیز پایین‌تر خواهد بود. به خصوص آلاینده هایی مثل اکسیدهای کربن و هیدروکربنها نسوخته که عمدتاً در اثر احتراق ناقص به وجود می‌آیند.

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 می‌کند ولی میزان هوای ورودی به سیلندر به ازای بارهای مختلف تقریباً ثابت می ماند. این امر باعث می‌شود که در بارهای جزئی نسبت هوا به سوخت بسیار بالا رفته و علاوه بر اینکه عملکرد موتور به شدت افت می‌کند، میزان آلاینده های حاصل از احتراق نیز افزایش می‌یابد.

۳-۴ فرایند احتراق در موتورها

با توجه به اینکه نهایتاً با رسیدن درجه حرارت به دمای مطلوب، احتراق به یکباره آغاز می‌گردد. پس از احتراق، فشار و دما به صورت ناگهانی افزایش یافته و این عمل باعث می‌شود 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 می‌دهد. نمودار مربوطه شامل دو منحنی یکی به فرم خط چین و دیگری به فرم خط پر می‌باشد.



شکل (۱۲): 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 اندزه 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 وقتیکه تمام سوخت گاز طبیعی و گازوئیلهر 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 می شود که با برخورد امواج فشار آن به دیواره فلزی سیلندر و سر سیلندر، موجب ایجاد ضربه می گردد. این پدیده موجب بد کار کردن موتور نیز می‌گردد.

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 می شود.

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.

$$r_{compression} = \frac{V_{Induction} + V_{Combustionchamber}}{V_{Combustionchamber}}$$

R= نسبت تراکم

V_I= حجم مکش

V_c= حجم محفظه احتراق

دبی جرمی سوخت:

$$\dot{m} = \frac{\rho.v}{t}$$

ρ = جرم مخصوص سوخت بر حسب کلیوگرم 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

۶-۳ گشتاور موتور:

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

$$T = f.F.\frac{۹۸۷.۲}{۱۰^{۳}}$$

۷-۳ 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 می‌دهد. 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 می‌یابد. در موتورهائی که گازهای سوخته شده به طور طبیعی در اثر پمپ کردن پیستون تخلیه می‌شوند بازده حجمی خیلی کمتر از موتورهائی است که سیلندر آنها توسط یک دمنده و یا توربو شارژر پر می‌شود. در این موتورها هوا با فشار، داخل سیلندرها شده و بدین ترتیب بازده حجمی موتور افزایش می‌یابد. 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 می‌کند که یک موتور چقدر می‌تواند قدرت تولید نماید. چرا که رابطه مستقیمی بین آهنگ جرمی جریان هوا به داخل یک موتور و قدرت تولید شده در سیلندرهای موتور وجود دارد. با توجه به تعریف فوق، برای بازده حجمی رابطه زیر را می توان نوشت:

$$e_v = \frac{۲ \times \dot{M}_i}{N.V_d.\rho_i}$$

N= تعداد دورها در زمان واحد (rev/sec)

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

V_d= کل حجم جابجائی موتور بر حسب متر مکعب

ρ_i = چگالی هوای ورودی بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب

ضریب ۲ در این معادله بدین علت ظاهر می‌شود 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:

$$\dot{M}_a = \rho_{air} \times \frac{N}{۲} \times V_d \times e_v$$

$$V_d = n \times V_s$$

$$V_s = A_p \times S = \frac{\pi}{۴} \times b^۲ \times S$$

$$\dot{M}_a = \rho_a \times \frac{\pi}{۴} \times b^۲ \times S \times n \times e_v$$

N= تعداد سیلندرهای موتور

V_s= حجم جاروب یک سیلندر بر حسب

B=قطر داخل سیلندر بر حسب متر

A_p= مساحت سطح پیستون برحسب متر مربع

S= کورس پیستون بر حسب متر

چنانچه مشاهده می‌شود 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 می‌شود. بنابر این توان اسمی همواره بزرگتر از توان خروجی موتور می‌باشد.

$$bsfc = \frac{۳.۶ \times ۱۰^۶ \times \dot{m}_{Fuel}}{Power} (gr / KW.hr)$$

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 می‌باشد.

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

$$\eta_m = \frac{Power}{i.p.} \times ۱۰۰\%$$

۳-۱۰ راندمان حرارتی ترمزی سوخت دیزل:

$$\eta_{thb} = \frac{Power}{Chemicalenergyofinlet Fuel}$$

$$Chemicalenergyofinlet Fuel = \dot{m}_{d.f}(LHV)_{diesel}$$

$$(LHV)_{diesel} = ۴۲۴۵۰\left(\frac{Kj}{Kg}\right)$$

$$(LHV)_{diesel} = Lowthermalvalue$$

$$\dot{m}_{d.f} = Flowrateofdiselfuel$$

۳-۱۱ راندمان حرارتی ترمزی سوخت گاز طبیعی :

$$\eta_{thb} = \frac{Power}{Chemicalenergyofinlet Fuel}$$

$$Chemicalenergyofinlet Fuel = \dot{m}_{d.f}(LHV)_{NG}$$

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

$$(LHV)_{NG} = Lowthermalvalue$$

$$\dot{m}_{d.f} = Flowrateofgasfuel$$

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)

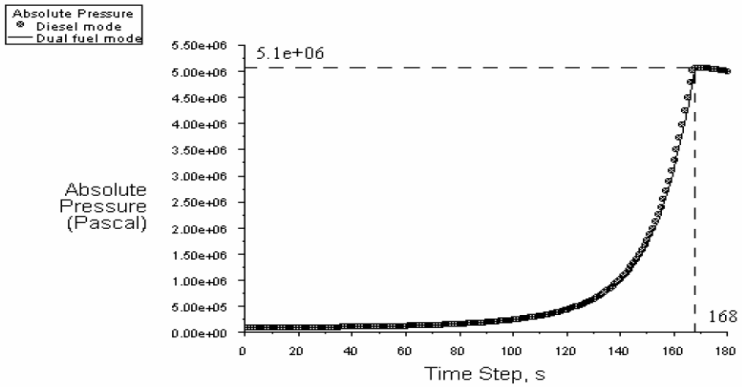


Figure 6.1 – Pressure Distribution for Diesel Mode and Dual Fuel Mode

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 وهیچ استهلاکی در اثر افزایش دما نخواهیم داشت.

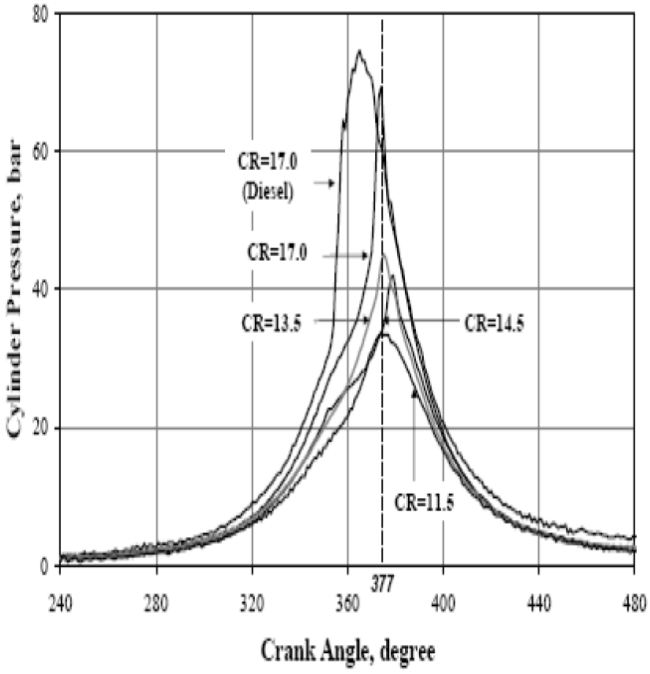


Fig. 4 Comparison of p-θ Curves at Different CR; Ignition Timing is at MBT or Close to MBT (Within MBT + 2° CA). The p–θ curves correspond to ignition setting of 10°, 10°, 14° and 15° BTC for CR of 17, 14.5, 13.5 and 11.5

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 ۶□□ با نسبت تراکم ۱۶:۱ حدود ۶۰ بار خواهد شد ولی در مقابل این فشار ماکزیمم در موتورهای ٦LET,٦LETCA با نسبت تراکم ۱۴/۵:۱ حدود ۴۱ بار خواهد شد که بسیار پایین تر از موتورهای ٦LE می باشد. در اثر کم بودن این فشار، مسلما استهلاک این موتورها نیز کمتر می شود.

نکته دیگری که از نمودار فوق بر می آید آن است که برای نسبت تراکم ۱۷به 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.

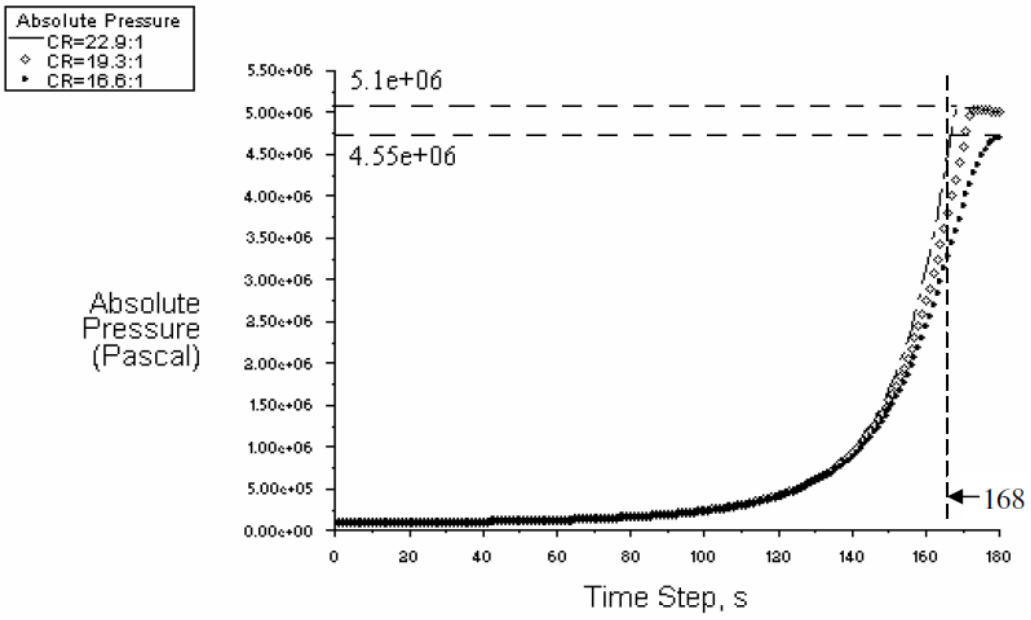


Figure 6.4 - Pressure Distribution for Different Compression Ratios (CR)

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

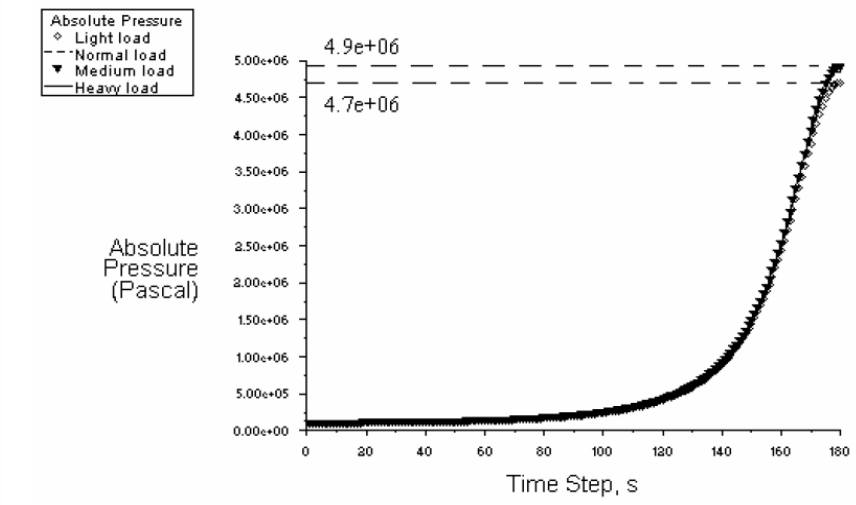


Figure 6.10 - Pressure Distribution for Different Load Conditions for CR = 16.6:1

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)

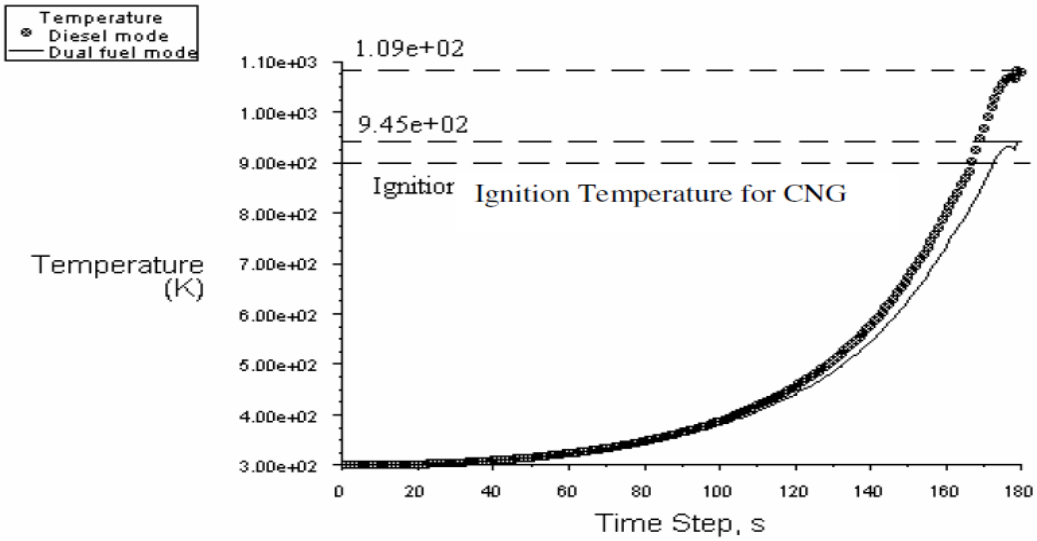


Figure 6.2 – Temperature Distribution for Diesel Mode and Dual Fuel Mode

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.

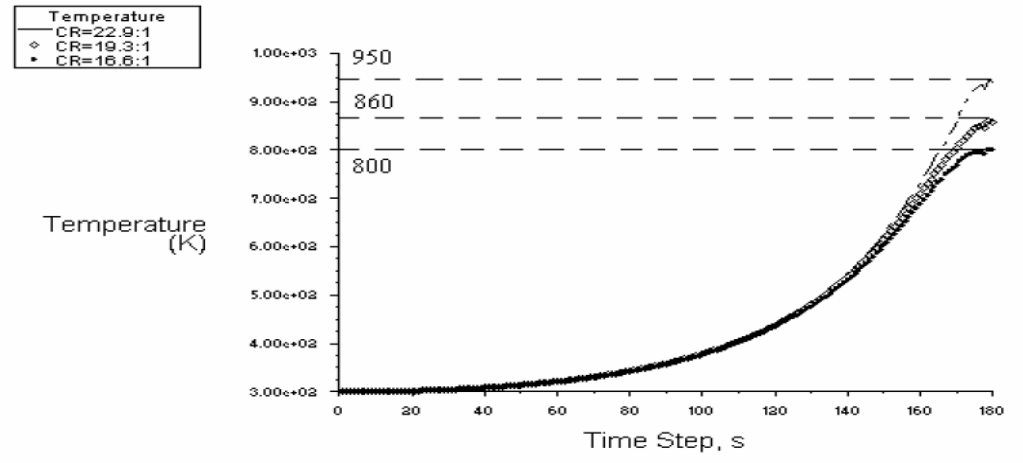


Figure 6.5 - Temperature Distribution for Different Compression Ratios (CR)

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

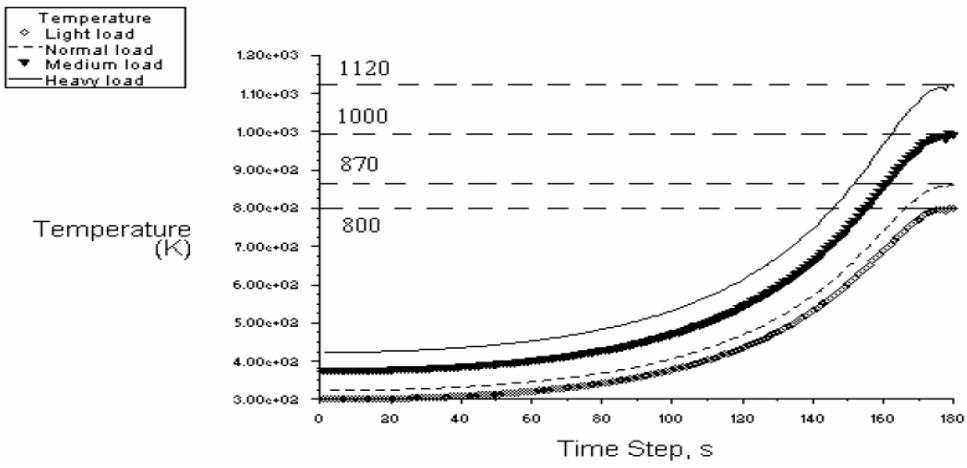


Figure 6.11 - Temperature Distribution for Different Load Conditions for CR = 16.6:1

شکل(۱۹): نمودار تغییرات مقایسه ای دمای محفظه احتراق موتور تبدیلی دربارها 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 می‌کند. 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.

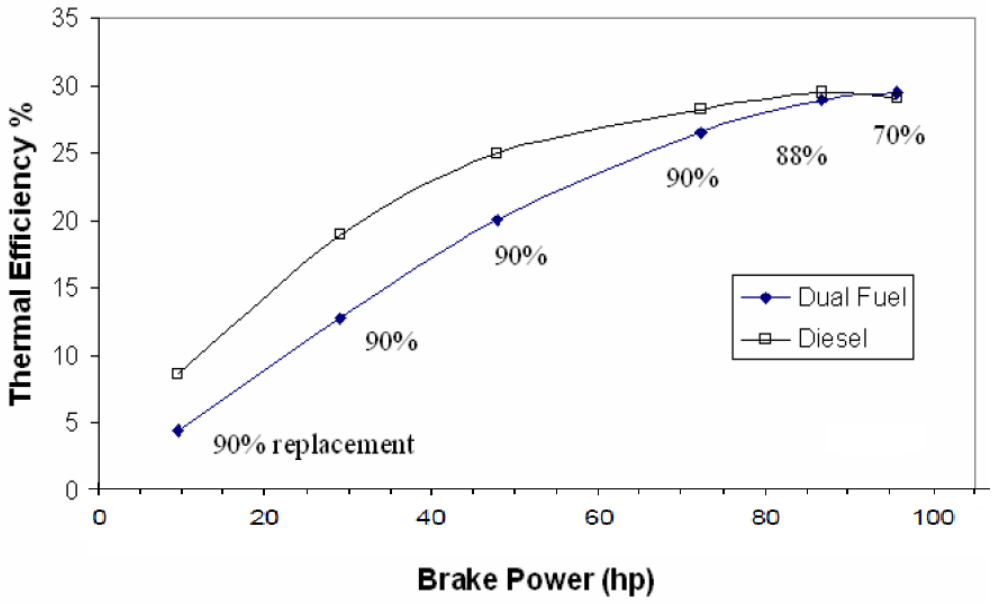


Fig. 8b. Variation of thermal efficiency for dual fuel operations using maximum possible gas replacements.

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.

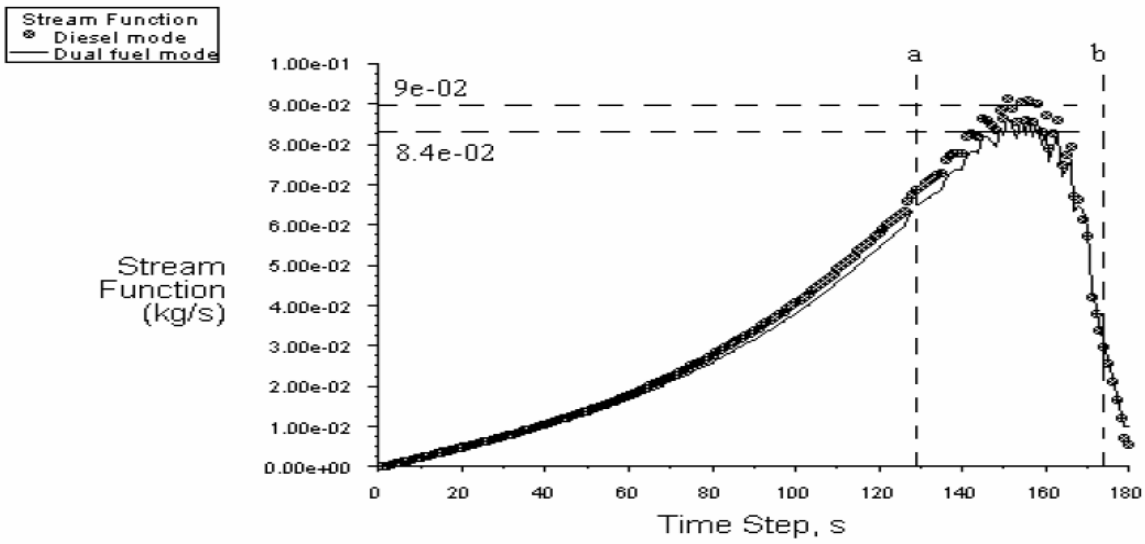


Figure 6.3 – Stream Function for Diesel Mode and Dual Fuel Mode

شکل(۲۱): تغییرات بخار آب در تبدیل از حالت گازوئیلی به حالت (DUAL FUEL)

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

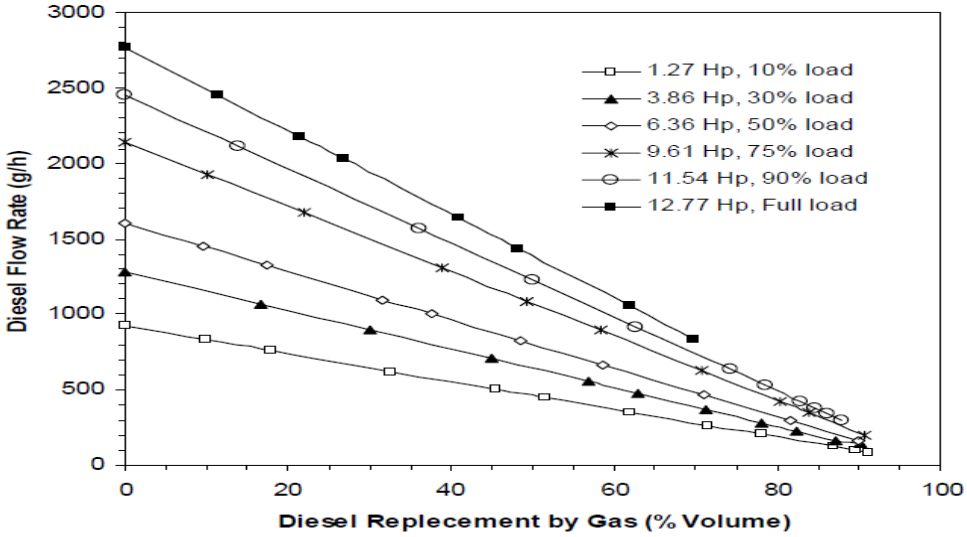
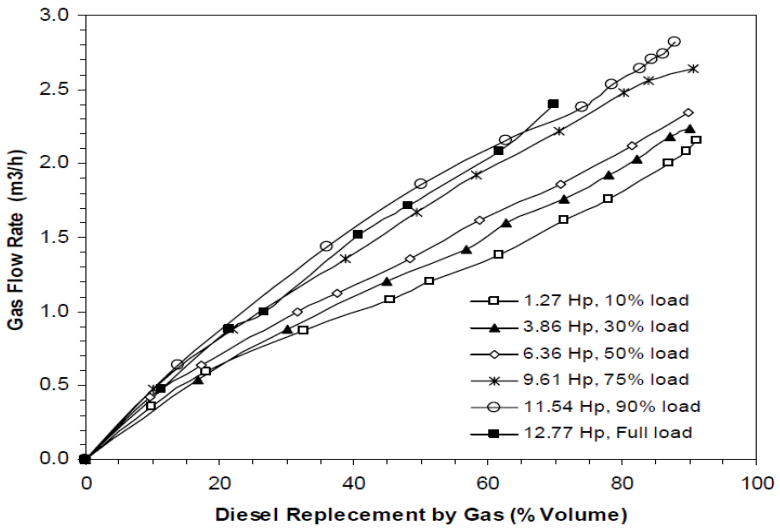


Fig. 6c. Variation of diesel flow rate with increased diese replacement.

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



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

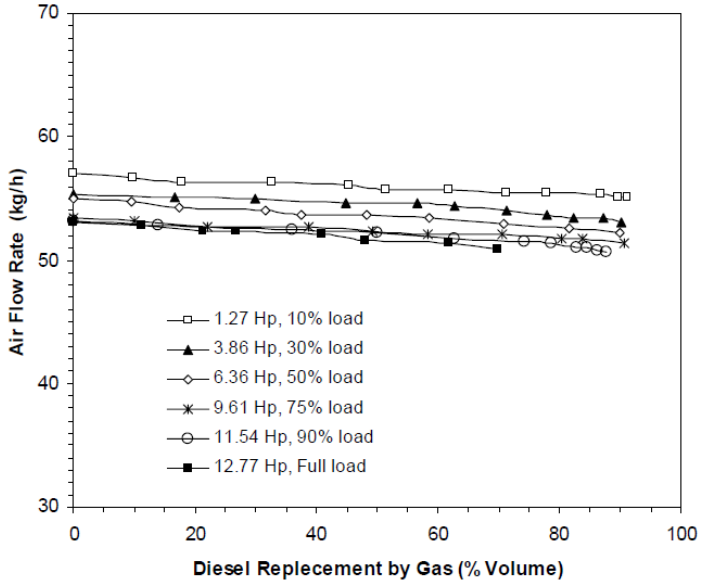


Fig. 6a. Variation of air flow rate with increased diesel replacement by natural gas at different power levels.

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 RPM ۱۵۰۰ 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 می‌چربد و بنابراین افت توانی در رابطه با پارامتر بازده حجمی در موتور DUAL FUEL نخواهیم داشت.

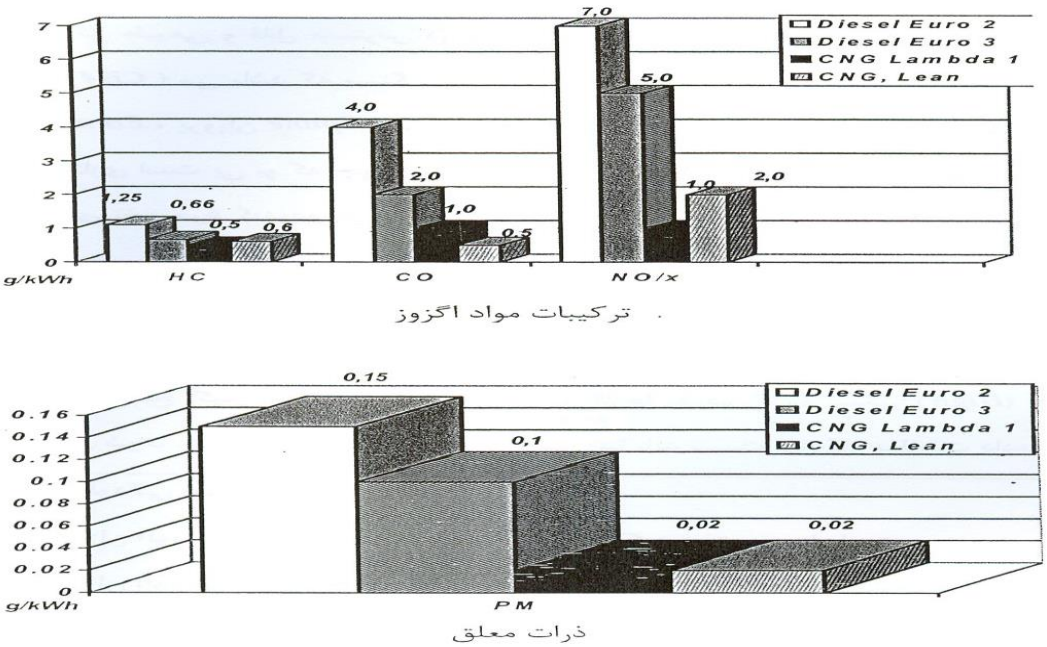
۴- گاز طبیعی

NG به معنای گاز طبیعی و قابل دسترس در بسیاری از نقاط دنیاست. اساساً قسمت عمده این گاز شامل متان (CH٤) می‌باشد که بستگی به منابع استخراج آن غلظتش از ۸۱٪ تا ۹۸٪ است. عناصر دیگر شامل اتان Ethane، پروپان Propane، بوتان Butane یا دی‌اکسیدکربن CO۲ و نیتروژن N می‌باشد. NG گازی است بی بو که جهت تشخیص، به آن ماده‌ای بودار، مانند سولفور اضافه می‌کنند که شبیه بوی تخم مرغ گندیده می‌باشد. سولفور اضافه شده حاوی مواد THT که عامل ترکیب بویایی و موجب خوردگی در مخازن می‌شود.

گاز متان به مراتب سبکتر از هوا می‌باشد، بنابراین در اثر نشتی خیلی سریع تبخیر می‌گردد.NG دارای جرم حجمی کمی می‌باشد (□□□ / □□,۱۷) یا (۰,۶۵-۰,۷۲ Kg/m۳) بستگی به سطح کیفیت گاز استخراجی، گازها به دو گروه سنگین (High) و سبک (Low) تقسیم می‌شوند. در هنگام مصرف گاز برای سیستم باید نوع گاز مطابقت داده شود.

۴-۱ مقایسه آلودگی موتور گازوئیلی بسبت به موتورDUAL 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 می‌باشد.
- میزان آلودگی No تا حدود ۷۰ ٪ در موتور DUAL FUEL کاهش یافته است.
- میزان آلودگی ذرات معلق با اندازه‌گیری‌های به عمل آمده تقریباً نزدیک صفر می‌باشد و عملاً حذف گردیده است.



شکل(۲۵): نمودار ترکیبات گازهای خروجی اگزوز

– مشخصات موتور (DUAL FUEL)

- میزان آلودگی کم آن در خروجی اگزوز با میزانی قابل قبول
- میزان ذرات آلوده No_x به مراتب بهتر از EURO صفر
- تقریباً خروجی اگزوز بدون بو می باشد
- میزان آلودگی صوتی نسبتا 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 مقاوم‌تر، 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**

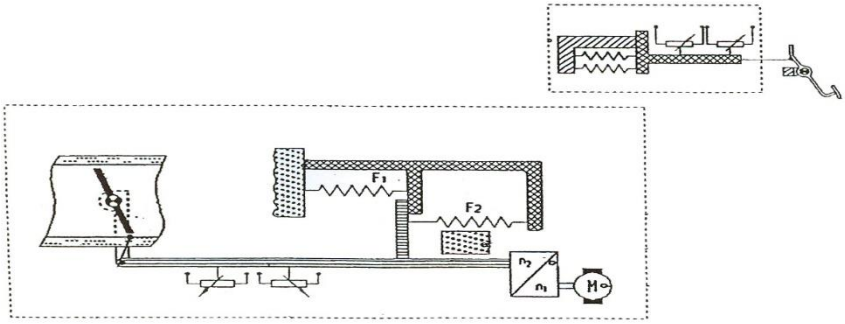
بدین منظور یک عدد میکسر گاز و هوا به همراه دریچه قابل تنظیم گاز و هوا به همراه تجهیزات جانبی و پوزیشنر آنها و یک اکچوایتور الکترونیکی تنظیم گازوئیل که وظیفه تثبیت دورموتور را برعهده دارند و همگی آنها از یک ست ECU الکترونیکی فرمان می گیرند که مقدار تنظیم را بر اساس اطلاعات دریافتی از سنسورهای دور و فیدبک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

- **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 می‌کنند. وضعیت دریچه هوا باید در درجه موردنظر 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 می‌افتد تا موتور روشن شود.. قسمت اتصال دهانه دریچه هوای محاسبه شده برای موتورهای شرکت بنیان دیزل، دارای قطر داخلی ۷۰ میلی متر می‌باشد.

- اکچوایتور گازوئیل

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

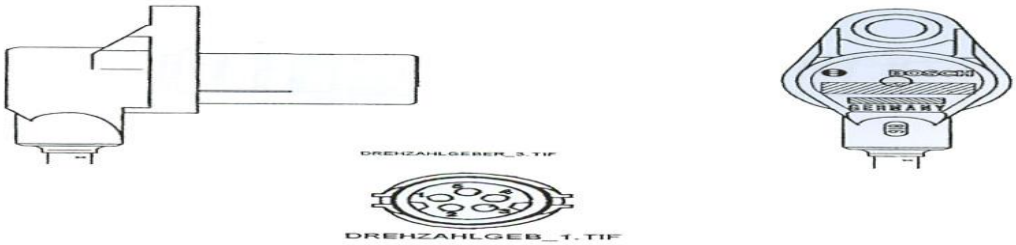
- میکسر

وظیفه ترکیب مناسب و یکنواخت گاز و هوا را برعهده دارد.

- سنسور دور موتور

به دلایل زیادی در این سیستم ما از دو سنسور دور موتور استفاده کردیم، یکی اصلی و دیگری کمکی می‌باشد. 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 می‌شود و در یک فاصله دیگر باعث تضعیف شدن شار مغناطیسی بوبین می‌شود. این دو حالت به طور متناسب و متناوب با چرخش چرخ دندانه از یک دنده به یک دنده دیگر منتقل می‌گردد. شار مغناطیسی، جریان القایی متناوب در بوبین را تغییر می‌دهد. 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

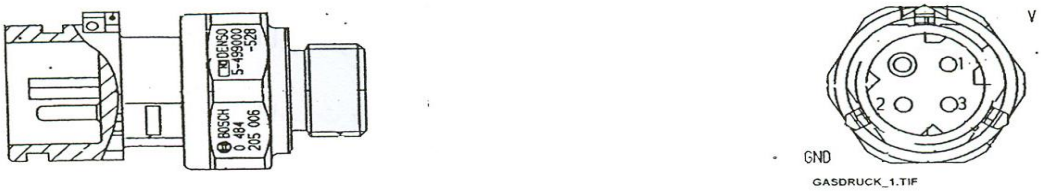
مشخصی سوراخ بر روی لبه بیرونی می باشد با شمردن این دندانه ها دور موتور را می‌توان با دقت و سرعت بالایی اندازه‌گیری کرد.



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 می‌کند. این سنسور روی پوسته نصب شده و توسط یک مدار آنالیز الکتریکی تقویت شده و به ECU وصل می‌شود. سنسور فشار گاز روی دستگاه میکسر گاز و هوا نصب می شود.



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

- سنسور دمای گاز

نسور دمای گاز همانند سنسور دمای مایع خنک کننده ساخته شده است اما با این تفاوت که دامنه اندازه‌گیری به حداقل رسیده و به دمای محیطی $۲۰^{\circ}C$ 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 گازسوزDr.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 CO_2 و نیتروژنNitrigen می باشد. به همین دلیل به منظور افزایش سطح ایمنی به آن گوگرد Sulphurous (شبیه 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 سرباتری را جدا نموده و اتصال منفی جوشکاری را درنزدیکی محل جوشکاری قرار دهید.
- در صورت انجام کارهای نقاشی توجه داشته باشید مدول کنترل های الکترونیکی در معرض دمای بالای ۸۵^{oc} قرار نگیرد، در چنین وضعیتی باید اتصالات را جدا کرد.

- **علائم هشدار دهنده و ایمنی تجهیزات NG**

پدر حین کار روی سیستم گازسوز سیستم باید توسط علائم هشداردهنده ایمن سازی شود. این علائم طبق آئین نامه UVV (VBG۱۲۵) در جلو و عقب سیستم جهت اطلاع دیگران قرار گیرد. همچنین این علائم بر روی موتور و دیگر قسمتهای سیستم مربوطه بصورت برچسب 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.

نکات ایمنی در مورد سیستمهای گازسوز

گاز طبیعی(NG)

بی‌رنگ، 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 می‌گردد.

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 $۶۰^{\circ c}$ 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 آببندی شود.در حین کاز از آتش شعله و یا جرقه درمحوطه استفاده نگردد.

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 ازمحل دور کنید. در صورت ممکن خودروها به محوطه باز منتقل شود. در صورتی که شعله به صورت یکنواخت می‌سوزد 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 وکیوم 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 DIN۲٤۰۳ با رنگ زرد علامت گذاری شود.
۴. کشیدن سیگار در محوطه موتور و سیستم گازسوز ممنوع می باشد.
۵. شیلنگ ها

نوع شیلنگ	قطر داخلی شیلنگ mm	حداکثر فشار کارکرد در ۲۰ C (bar)	فشار ترکیدن در ۲۰ C (bar)	محدوده حرارتی
PB-٤	۶/۴	۲۴	۹۶	−۴۰ تا ۹۵^{oC}
PB-٦	۹/۵	۲۰	۸۰	−۴۰ تا ۹۵^{oC}
PB-۸	۱۲/۷	۲۰	۸۰	−۴۰ تا ۹۵^{oC}

–آیین نامه ایمنی در مورد شلنگها

- 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، نشتی، 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) – **لیست کارها جهت تبدیل موتور گازوئیلی به موتور DUAL FUEL**

۱-۵-لیست کارهایی که روی موتورژنراتور گازوئیلی انجام می شود تا به موتورژنراتور(DUAL FUEL) تبدیل شود:

- انتخاب و جانمایی و نصب دو سنسور دور موتور روی پوسته فلایویل
- انتخاب جانمایی و نصب سنسور اکسیژن (لامبدا)روی اگزوز موتور
- جانمایی وساخت واسط مربوطه و نصب دریچه هوا
- جانمایی وساخت واسط مربوطه و نصب اکچوایتور 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 موتورژنراتور

۲-۵-کارهای که باید در محل نصب موتورژنراتورDUAL 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

شرکت نیـــرو گستر

مدیریت فنی و مهندسی - بدلی افشرد