

بخش اول

بررسی انواع موتور

۱-۱- انواع موتورهای

موتورها را اصولاً می‌توان از لحاظ تبدیل انرژی شیمیایی و مکانیکی به یکدیگر به دو دسته تقسیم می‌کنند.

۱- موتورهای احتراق داخلی Internal Combustion Engines

۲- موتورهای احتراق خارجی External Combustion Engines

در موتورهای احتراق داخلی عمل سوختن در داخل اتاق احتراق و در محفظه پیستون سیلندر انجام می‌گیرد. ولی در موتورهای احتراق خارجی این عمل خارج از محفظه پیستون سیلندر صورت می‌گیرد و فشار حاصل از احتراق به سر پیستون انتقال داده می‌شود.

موتورهای احتراق داخلی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- موتورهای پیستونی Reciprocating Engines

۲- موتورهای دوار Rotary Engines

در موتورهای پیستونی حرکت رفت و آمدی پیستونی توسط میل‌لنگ به حرکت دورانی تبدیل شده ولی در موتورهای دوار احتراق مستقیماً حرکت دورانی موتور را به وجود می‌آورد.

موتورهای پیستونی خود به موتورهای دو زمانه و چهار زمانه تقسیم می‌شوند همانطور که می‌دانیم هر زمان موتور چهار زمانه، در نیم دور میل‌لنگ انجام می‌گیرد بنابراین یک سیکل کامل قدرت در دو دور کامل میل‌لنگ صورت می‌گیرد اما در موتورهای دو زمانه یک سیکل کامل تولید قدرت در یک دور گردش میل‌لنگ صورت می‌گیرد.

بدین معنی که مراحل مکش و اکسوز با هم و کمپرس و قدرت با هم ادغام می‌گردد. سیلندر در دو اندازه مشخص می‌گردد:

۱- قطر داخلی سیلندر Cylinder Bore

۲- کورس پیستون Piston Stroke

بالاترین نقطه ای که پیستون در داخل سیلندر قرار می‌گیرد. نقطه مرگ بالا Top Dead Center و پایینترین نقطه مرگ را مرگ پایین Botom Dead Center می‌نامند، فاصله بین نقطه مرگ بالا و نقطه مرگ پایین را کورس پیستون می‌نامند، علاوه بر این حجم جابجا شده توسط پیستون را هنگامیکه از نقطه مرگ پایین به نقطه مرگ بالا حرکت می‌کند حجم جابجایی یا Displacement Volume می‌نامند مقدار حجم جابجایی برای هر پیستون از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} \times L \quad (1)$$

که D قطر داخلی سیلندر و کورس پیستون می‌باشد. مدل اکثر اتوموبیلها با عدد حجم جابجایی سیلندر های آن مشخص می‌گردد.

مقدار کار انجام یافته در واحد زمان را توان گویند. در موتورها سه نوع توان داریم:

۱- توان اندیکتد Indicator Horse Power

مقدار توان مکانیکی ناخالص تولید شده بر اثر انفجار سوخت در سیلندر تا باعث حرکت رفت و آمدی پیستون می گردد.

۲- توان مکانیکی Mechanical Horse Power

فشار توانی است که صرف خنثی کردن توان اصطکاکی قطعات موتور می شود .

۳- توان مفید Brake Horse Power

مقدار توان خالص است که از میل لنگ گرفته می شود که به آن Fly Horse Power نیز گفته می شود ، معمولاً توان مفید را در کارگاه با وسیله ای الکتریکی بنام دینامومتر (Dynamometer) اندازه گیری می نمایند .

بین سه توان ذکر شده در بالا رابطه زیر برقرار است :

توان مفید + توان مکانیکی = توان اندیکتد

$$IHP = MHP + BHP$$

لازم به ذکر است که توان مکانیکی خود مجموع چند توان به شرح ذیل می باشد :

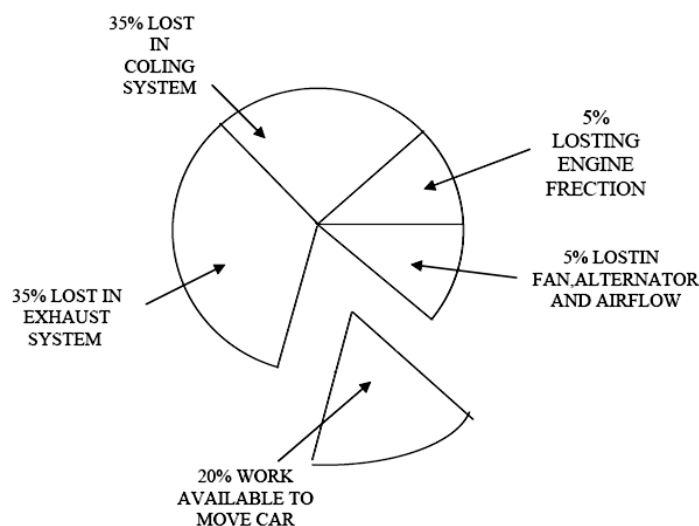
۱- توان اصطکاکی Friction Horse Power

۲- توان مقاومت هوا در مقابل قطعات متحرک موتور

۳- توان مصرف شده جهت به حرکت درآوردن پمپ روغن، پمپ آب و غیره

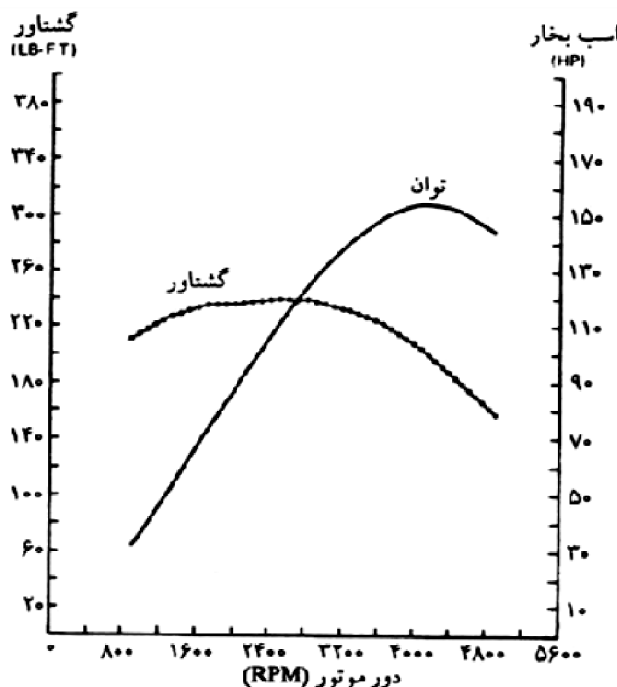
توان مفید توسط دینامومتر اندازه گیری می شود با بدست آوردن مقدار توان اندیکتد قادر خواهیم بود توان مکانیکی و راندمان مکانیکی را نیز محاسبه کنیم .

با توجه به شکل (۱-۱) ، در می یابیم که تنها ۲۰٪ از توان اندیکتد (یعنی انرژی حاصل از سوختن گازها) صرف حرکت خودرو می شود . ۳۵٪ توان در سیستم خنک کاری هدر می رود ، ۵٪ در اثر اصطکاک قطعات به همدیگر ، ۵٪ در اثر مقاومت هوا و فن ، ۳۵٪ نیز در اثر خروج گازهای سوخته شده و گرمای ناشی از آنها از آگزوز هدر می رود .



شکل (۱-۱) درصد انرژی مصرف شده در قسمت های مختلف موتور

قدرت اصطکاکی در سرعت های کم نسبتاً کم و با زیاد شدن سرعت مقدار آن ، زیاد می گردد در شکل (۱-۲) منحنی تغییرات قدرت اصطکاکی یک نوع موتور بر حسب دور موتور نشان داده شده است . تقریباً ۷۵٪ قدرت اصطکاکی موتور را اصطکاک بین رینگ و دیواره سیلندر تشکیل می دهد .



شکل (۱-۲) ب منحنی تغییرات گشتاور و توان موتور بر حسب دور

۱-۲- گشتاور Torque

گشتاور یک عامل پیچشی است که نباید با کار یا توان اشتباه نمود.

توان، سرعت انجام کار می باشد در صورتیکه گشتاور یک نیروی پیچشی است که موتور از طریق محورها و چرخ دنده ها به چرخها وارد می سازد . مقدار گشتاور برابر حاصلضرب نیروی وارد شده در بازو می باشد . هر قدر تعداد فشار وارد بر پیستون بیشتر باشد مقدار گشتاور تولید شده در میل لنگ بیشتر خواهد بود . گشتاور موتور با دور موتور تغییر می کند . موتور در دور متوسط دارای حداکثر گشتاور می باشد . هر قدر دور موتور بالا برود مقدار گشتاور کمتر خواهد شد. بدین دلیل که هر قدر دور موتور زیادتر شود مقدار راندمان حجمی کمتر خواهد بود، این خود بدین سبب می باشد که در دورهای بالا، هوا وقت کمتری برای وارد شدن در مرحله تنفس دارد و وقتی مقدار کمتری هوا برای سوختن ماده سوختنی وارد سیلندر شد نتیجتاً عمل احتراق کامل انجام نخواهد شد و حاصل آن فشار احتراق کمتر و گشتاور کمتر خواهد بود. بین قدرت و گشتاور رابطه مستقیم
$$\text{قدرت} = \frac{\text{Torque} \times \text{r.p.m}}{5225}$$
 برقرار است که در این رابطه گشتاور بر حسب پوند- فوت (Lb-ft) می باشد بنابراین بین قدرت و گشتاور رابطه خطی است ، منحنی تغییرات قدرت مفید (b.h.p) بر حسب دور موتور نیز مانند منحنی گشتاور دارای ماکزیمم می باشد. کم شدن مقدار توان مفید در دوره های بالا نه فقط به خاطر کم شدن گشتاور، بلکه به دلیل زیاد شدن مقدار توان اصطکاکی در دورهای بالا نیز می باشد . شکل (۱-۲) منحنی تغییرات قدرت اصطکاکی را بر حسب دور موتور نشان می دهد . چنانچه مشاهده می گردد بعد از نقطه ماکزیمم بدلیل کم شدن مقدار گشتاور به خاطر پایین رفتن دور، مقدار توان مفید به سرعت نزول می کند . در شکل (۱-۲) منحنی تغییرات تلفات اصطکاکی موتور و قدرت مفید موتور بر حسب دور موتور نشان داده شده است .

۱-۳- عوامل مؤثر بر توان

۱-۳-۱- نسبت تراکم Compression Ratio

نسبت حجم بالای پیستون زمانی که پیستون در نقطه مرگ پایین قرار دارد به حجم سیلندر هنگامی پیستون در نقطه مرگ بالا قرار گرفته را نسبت تراکم گویند. در واقع نسبت تراکم نشان می‌دهد که به چه نسبتی هوای وارد شده به سیلندر متراکم شده است. نسبت تراکم تعیین کننده درجه حرارت هوای متراکم شده در انتهای مرحله تراکم می‌باشد. هر چه نسبت تراکم بیشتر باشد درجه حرارت هوا بالاتر رفته و در نتیجه بعد از پاشیدن سوخت احتراق کاملتر انجام می‌گیرد که این خود باعث افزایش توان اندیکتد می‌شود و برای بالا بردن توان مفید می‌توانیم، یا توان اندیکتد را بالا ببریم و یا از مقدار اتلاف توان جلوگیری کنیم. پس افزایش نسبت تراکم یکی از راههای بالا بردن توان مفید می‌باشد در انتخاب مقدار نسبت تراکم در طراحی موتورهای فاکتورهای دیگری نیز وجود دارند که انتخاب این نسبت را تحت الشعاع قرار می‌دهند، بنابراین طراح موتور در انتخاب این نسبت محدودیت دارد. در موتورهای بنزینی نسبت تراکم به مراتب از موتورهای دیزل پایین تر می‌باشد.

مهمترین فاکتور تعیین کننده مقدار نسبت تراکم در موتورهای بنزینی بالا بودن عدد اکتان بنزین می‌باشد که اگر نسبت تراکم در این موتورها از یک حدی بالاتر باشد باعث خودسوزی بنزین قبل از رسیدن به نقطه زدن جرقه می‌شود. پس یکی از راههای افزایش نسبت تراکم افزایش عدد اکتان بنزین در موتورهای بنزینی می‌باشد که این امر وظیفه مهندسين شیمی می‌باشد در کشورهای اروپایی توانسته اند عدد اکتان بنزین را بالا بیاورند و در نتیجه نسبت تراکم و توان موتور را بالا برده اند یکی از مشکلاتی که می‌تواند بعد از ورود خودروی خارجی به داخل کشور به وجود بیاید همین عدد اکتان می‌باشد که در کشور ما عدد اکتان بنزین پایین است و خودروهای قدیم خارجی و خودروهای داخلی با این عدد اکتان سازگار می‌باشند. پس قبل از ورود خودروی خارجی باید عدد اکتان بنزین را بالا بیاوریم.

نسبت تراکم در موتورهای دیزل ۲۲:۱ و در موتورهای بنزین در حدود ۸:۱ می‌باشد.

۱-۳-۲- راندمان حجمی

نسبت حجم هوای وارد شده به سیلندر در مرحله تنفس به حجم ایده آل هوای ورودی به سیلندر در زمانی که پیستون در نقطه مرگ پایینی قرار دارد را راندمان حجمی گویند.

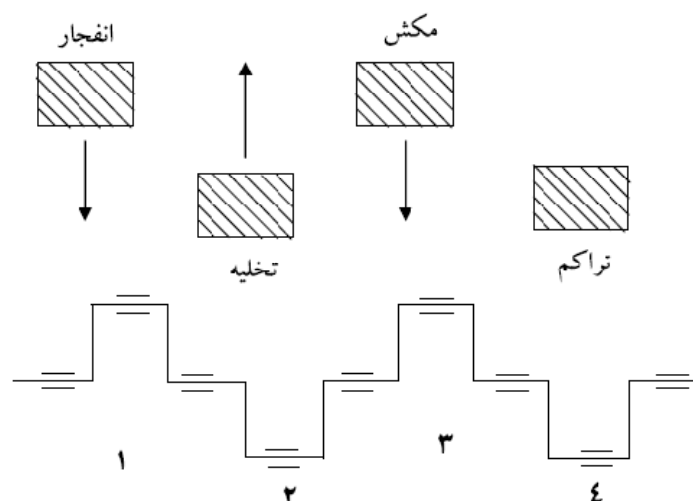
هر چه راندمان حجمی ما بالاتر باشد یعنی در هر مرحله تنفس هوای بیشتری وارد سیلندر میشود و در نتیجه انفجار بیشتر و قدرت بیشتری خواهیم داشت. در سرعتهای کم به علت اینکه سرعت رفت و آمد پیستون کمتر از وقتی است که دور موتور بالاست، در موقع مکش هوا برای ورود به سیلندر وقت بیشتری دارد ولی در دورهای بالا هوای ورودی برای پر کردن سیلندر وقت کمتری دارد بنابراین نتیجه می‌گیریم که با بالا رفتن دور موتور راندمان حجمی کم می‌شود و چون کم شدن راندمان حجمی در موتورهای بنزینی سبب کم شدن مخلوط هوا و سوخت ورودی و در موتورهای دیزلی باعث کم شدن هوای ورودی به سیلندر می‌گردد، در نتیجه قدرت موتور نیز پایین می‌آید.

۳-۱- ترتیب احتراق Firing order

می‌دانیم لحظه احتراق چه در موتورهای بنزینی و چه در موتورهای دیزلی شرایط خاصی را داراست که در صورت عدم تحقق هر یک از آنها کورس قدرت در موتور راندمانی نخواهد داشت. برای اینکه حداکثر از قدرت موتور گرفته شود باید ترتیب احتراق در سیلندرها به بهترین نحو انجام گیرد. بطور کلی با افزایش تعداد سیلندر در موتورهای جهت بالا بردن راندمان و قدرت خروجی نه تنها ایجاد این شرایط خاص همچنان به قوت خود باقی است که رعایت ترتیب ویژه در انجام منظور فوق اجتناب ناپذیر است لذا جهت محاسبه ترتیب احتراق جدول ویژه‌ای در نظر گرفته شده که در این مبحث به ذکر دو مورد (موتور چهار سیلندر و شش سیلندر) در موتورهای چهارزمانه می‌پردازیم. با در نظر گرفتن حالات اصلی در عملکرد موتور چهارزمانه انفجار، تخلیه، مکش، تراکم هرگاه در جدول زیر ستون قائم از سمت راست را چهار حالت اصلی موتور منظور داریم بین صفر تا ۱۸۰ درجه گردش محور میل‌لنگ پیستون از نقطه مرگ بالا تا نقطه مرگ پایین در کورس انفجار حرکت خواهد داشت بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه حرکت میل‌لنگ پیستون از نقطه مرگ پایین تا بالاترین نقطه در کورس تخلیه دوده‌های حاصل از انفجار را تخلیه خواهد کرد و پیستون از ۳۶۰ تا ۵۴۰ درجه در برگشت مکش و از ۵۴۰ تا ۷۲۰ درجه معادل دور کامل گردش میل‌لنگ کورس تراکم خواهد بود که در تداوم حالت انفجار را به دنبال خواهد داشت. با مراجعه به شکل میل‌لنگ و زاویه ما بین لنگها می‌توان لنگهای هم فاز را مشخص کرده، با توجه به حالت و وضعیت آنها نسبت به لنگ شماره یک می‌توان جدول مزبور را بسهولت کامل کرد. حال با توجه به جدول ۱-۱ هرگاه خانه‌های مربوط به حالت انفجار را در ستونهای افقی جدول منظور نظر داریم ترتیب احتراق در موتور چهارزمانه‌ای که دارای چهار سیلندر می‌باشند بصورت زیر خواهد بود.

ترتیب احتراق	۱۸۰ درجه	۳۶۰ درجه	۵۴۰ درجه	۷۲۰ درجه
۱	مکش	تراکم	کار	تخلیه
۳	تخلیه	مکش	تراکم	کار
۴	کار	تخلیه	مکش	تراکم
۲	تراکم	کار	تخلیه	مکش

جدول (۱-۱) ترتیب احتراق موتورهای چهار زمانه

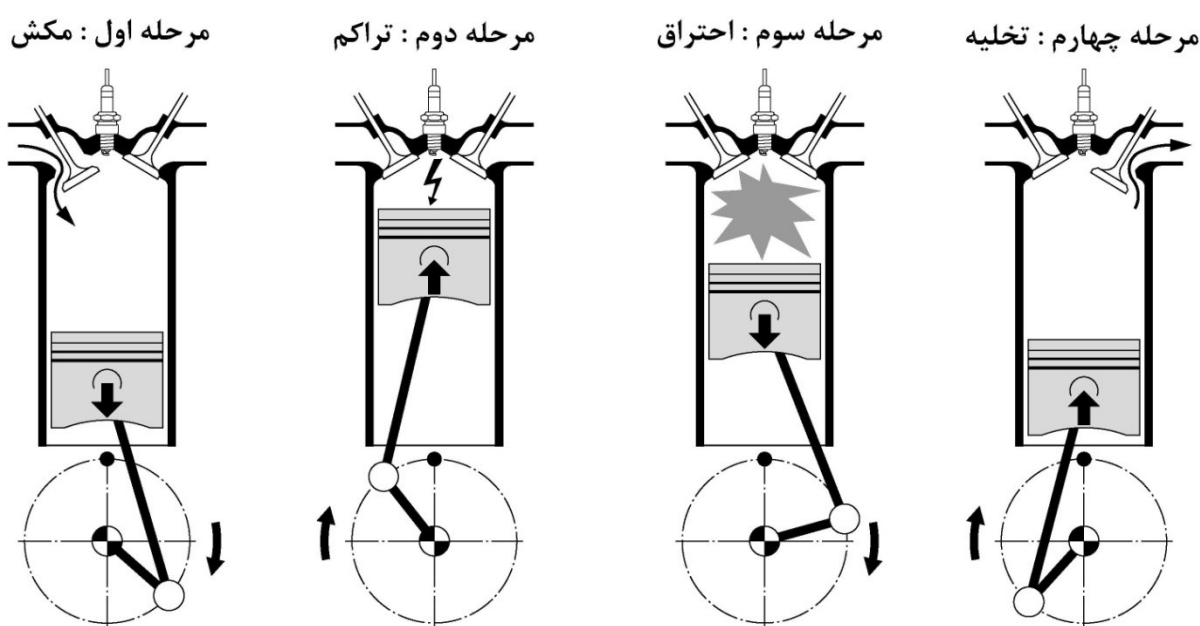


۴-۳-۱- زمان جرقه زدن شمع

می دانیم که در حالت انفجار قبل از اینکه پیستون به نقطه مرگ بالا برسد شمع در یک مدت زمان خاص (قبل از رسیدن به نقطه مرگ بالا) جرقه می زند تا مخلوط هوا و بنزین تا رسیدن پیستون به نقطه مرگ بالا به دمای احتراق برسد و آماده انفجار باشد وقتی سرعت دورانی میل لنگ بالا برود زمان لازم برای رسیدن به نقطه اشتعال کمتر خواهد بود و در نتیجه احتراق ناقص انجام خواهد گرفت. پس لازم می نماید که کنترلی طراحی نماییم که با حفظ زمان لازم برای اشتعال بتواند در هر لحظه و در هر زمان انفجار نسبت به موقعیت پیستون از مرگ بالا دستور جرقه زدن را به شمع بدهد. بدین معنی که قبل از اینکه پیستون به مرگ بالا برسد اگر مدت زمان اشتعال را t در نظر بگیریم و فرض کنیم که سرعت دورانی n می باشد و R شعاع لنگ می باشد، می توانیم با استفاده از این معلومات فاصله پیستون از مرگ بالا را در هر لحظه حساب کنیم و برای زمان t فاصله L به دست می آید، که با رسیدن پیستون به این فاصله شمع جرقه بزند، یعنی با طراحی این کنترلر می توانیم در کامل سوختن مخلوط هوا و بنزین کمک مؤثر نموده و بتوانیم توان مورد نیاز را بالا ببریم.

سیکل احتراق در موتورهای چهار زمانه ی بنزینی

در موتورهای احتراق داخلی بنزینی انرژی شیمیایی نهفته در سوخت به انرژی مکانیکی (دورانی) تبدیل می گردد. امروزه در موتورهای بنزینی از تزریق به داخل منیفولد ورودی (پشت سوپاپ هوا) برای تشکیل مخلوط سوخت و هوا استفاده می شود. این مخلوط با حرکت روبه پایین پیستون و انجام عمل مکش به داخل سیلندر کشیده می شود. هنگامیکه پیستون بالا می آید مخلوط را فشرده می سازد تا برای انجام عمل احتراق زمانبندی شده آماده شود و این مخلوط فشرده، توسط یک انرژی خارجی (جرقه) که بوسیله شمع اعمال می شود، محترق می گردد. گرمای آزاد شده در فرآیند احتراق، باعث منبسط شدن گازهای سوخته شده گردیده و سیلندر را تحت فشار قرار می دهد. این فشار پیستون را با سرعت به سمت پایین می راند. این حرکت توسط شاتون به میل لنگ منتقل شده و توسط آن به حرکت دورانی تبدیل می گردد. بعد از هر مرحله احتراق گازهای سوخته شده، با حرکت روبه بالای پیستون از طریق سوپاپ خروجی (دود) به بیرون رانده می شود.



سیکل کاری موتور احتراق جرقه ای چهار زمانه

بخش دوم

نسبت تراکم و تأثیر آن بر افزایش توان موتور

۲-۱- نسبت تراکم و تأثیر آن بر افزایش توان موتور

همانطور که گفتیم یکی از راههای افزایش توان اضافی نسبت تراکم می باشد که افزایش نسبت تراکم بستگی به عدد اکتان سوخت مصرفی دارد و چون در موتورهای دیزلی سوخت مصرفی دارای عدد اکتان پایینی و عدد ستان بالا می باشد، نسبت تراکم در این موتورها بالاست و سبب افزایش قدرت موتور می گردد. اما در موتورهای بنزینی عدد اکتان بالاست و سبب کاهش نسبت تراکم می گردد. برای افزایش نسبت تراکم در موتورهای بنزینی باید عدد اکتان بنزین را پایین ببریم اما با فرض عدد اکتان ثابت می توان از دو راه نسبت تراکم را تا مقدار معینی بالا برد:

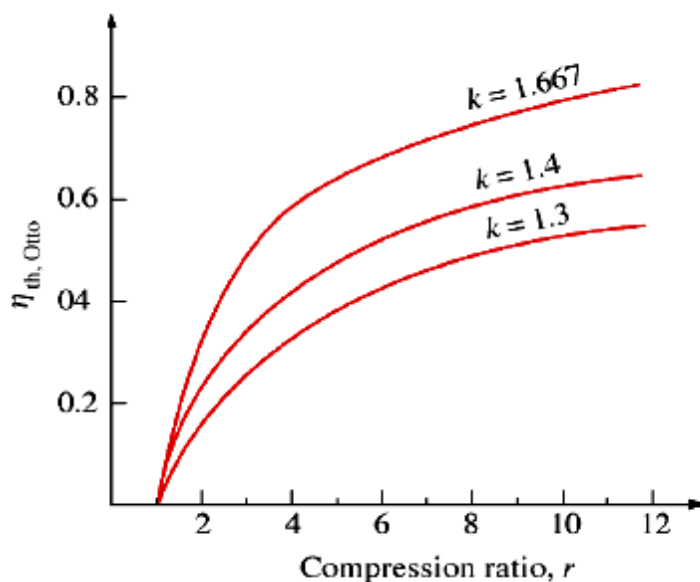
۱- ازدیاد شعاع لنگ

۲- کاهش حجم محفظه احتراق

به منظور کاهش حجم محفظه احتراق، تغییرات زیر در موتور انجام شد. این تغییرات شامل کاهش فاصله چالانش، افزایش سطح چالانش کاهش فاصله شمع با دورترین نقطه در محفظه احتراق بودند. بنابراین اصلاحاتی در گودی سر سیلندر و کف پیستون انجام گرفت بعد از اصلاحات فوق قطعات مذکور در موتور نصب و مورد آزمون قرار گرفت. یکی از راههای ازدیاد گشتاور و توان ازدیاد حجم جابجایی می باشد. حجم جابجایی رابطه مستقیم با کورس پیستون و مجذور قطر آن دارد. یعنی با ازدیاد ایندو حجم جابجایی موتور زیاد می گردد. قطر پیستون را موقعی می توان زیاد کرد که ازدیاد قطر سیلندر امکان پذیر باشد کورس پیستون را می توان بوسیله ازدیاد شعاع لنگ زیاد کرد نظر به اینکه این تغییرات مخارج زیادی را هنگام ساخت در بر نخواهد داشت لذا ساده ترین راه برای ازدیاد گشتاور و توان موتور می باشد.

بر همین اساس سازندگان موتور تنوع زیادی در موتور می دهند که با در نظر گرفتن طرح پایه یکسان، به جهت ازدیاد حجم جابجایی، قدرتهای متفاوتی را تولید می کند. یکی از راههای ازدیاد گشتاور و قدرت، ازدیاد نسبت تراکم می باشد یعنی از این طریق قدرت موتور نسبت به مصرف سوخت بیشتر شده و راندمان حرارتی موتور افزایش می یابد. چون با ازدیاد نسبت تراکم حجمی محفظه احتراق و در نتیجه سطوح جانبی آن کوچکتر شده و در این حالت میزان گرمای جلوگیری شده به خارج باعث فشار بیشتری به سطوح پیستون می گردد.

از طرفی با ازدیاد نسبت تراکم نیروهای موثر به مکانیزم لنگ بیشتر شده و دما هم بالاتر می رود و این خطر وجود دارد که دمای احتراق مخلوط سوخت و هوا به دمای احتراق خودسوزی (۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد) برسد. از آنجائیکه در اثر تراکم، مخلوط سوخت و هوا گرم می گردد امکان خودسوزی در موتور وجود دارد که برای جلوگیری از آن، دمای مجاز در حداکثر تراکم ۴۰۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می شود. شکل (۲-۱) منحنی تغییرات راندمان حرارتی سیکل نظری و سیکل حقیقی موتور اتو را در ارتباط با نسبت تراکم نشان می دهد.



$$\eta_{th, Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

شکل (۲-۱) منحنی تغییرات راندمان حرارتی با نسبت تراکم

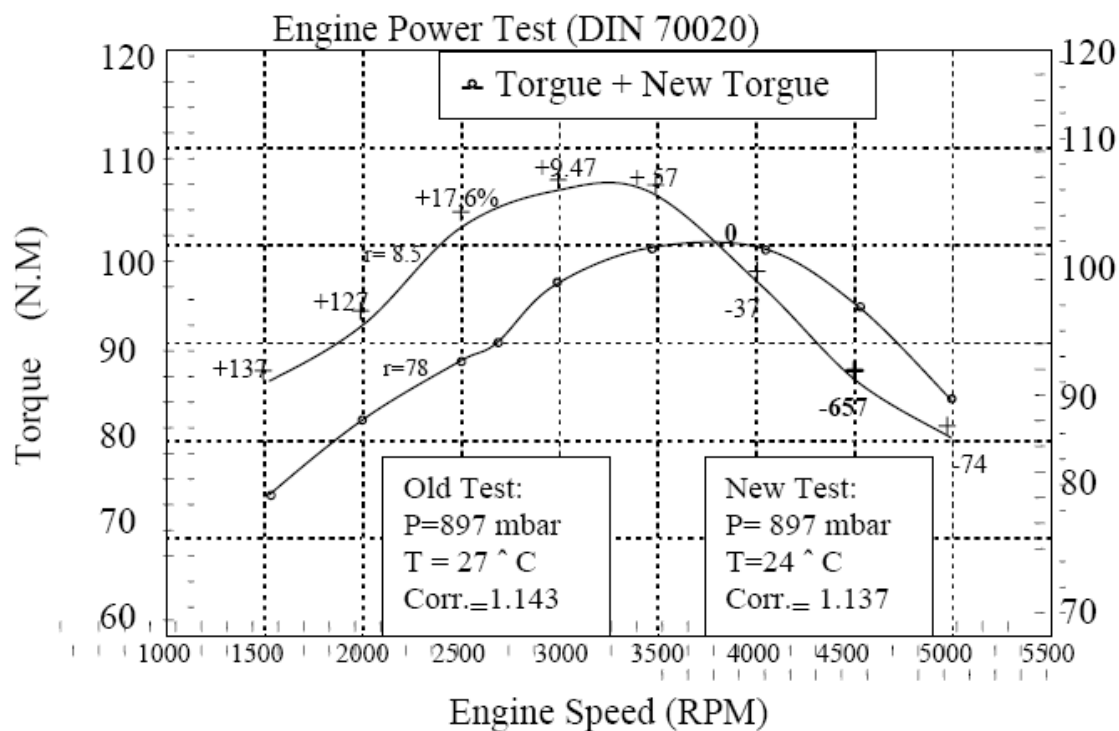
بر این اساس به لحاظ بالا بردن راندمان حرارتی در اثر از دیاد نسبت تراکم، بعد از بررسی قطعات موتور و نقشه های مربوط و رعایت خط تولید به این نتیجه حاصل می شود که به دو طریق می توان نسبت تراکم موتور (پیکان LC ۱۶۰۰) را افزایش داد.

۲-۲- ازدیاد نسبت تراکم از طریق افزایش شعاع لنگ

برای این منظور میل لنگ خام موتور موجود را مورد بررسی قرار داده و مشاهده گردید که افزایش شعاع لنگ تا بیش از یک میلیمتر از طریق ماشینکاری امکان پذیر می باشد. لذا از مقایسه ثبت تراکم موتور موجود (۷/۸) با مولد های مشابه، نسبت تراکم ۸/۵ در نظر گرفته شد. بر این اساس ازدیاد شعاع لنگ برابر $r = 0.723^{mm}$ محاسبه گردید و در نتیجه شعاع لنگ موتور جدید (HC) برابر $r = 34.073^{mm}$ خواهد بود. لازم به ذکر است که فاصله چالانش در موتور موجود برابر ۳/۶ میلی متر می باشد که در این طرح به ۲/۸۷۷ میلی متر کاهش یافته است بنابر این با نسبت ۸/۵ از میل لنگ خام یک عدد میل لنگ با شعاع لنگ ۳۴/۰۷۳ میلی متر ماشین کاری شد.

این موتور HC با یک موتور LC با نسبت تراکم ۷/۸ به عنوان موتور پایه طبق استاندارد DIN ۷۰۰۲۰ مورد آزمون تحت شرایط زیر قرار گرفت و مقادیر گشتاور، توان، مصرف سوخت و هوا اندازه گیری شد.

سپس با تعویض میل لنگ، موتور HC با نسبت تراکم ۸/۵ با دور آرام ۹۰۰ rpm و زاویه آوانس ۱۱ B.TDC درجه آزمایش قرار گرفت و گشتاور و توان خروجی آن در حالت تمام بار اندازه گیری گردید که نتایج آزمون و مقایسه آن با موتور پایه LC در شکل (۲-۲) مشخص شده است بطوریکه از نمودار مشاهده می شود تا دور ۳۷۵۰ rmp افزایش گشتاور و توان نسبت به موتور پایه و سپس کاهش آن را خواهیم داشت که درصد تغییرات ایندو در نمودار مذکور مشخص گردیده است. در این آزمون فشار تراکم سیلندرها در حالت گرم اندازه گیری و به صورت مقایسه ای ذکر گردیده است.



شکل (۲-۲) منحنی تغییرات گشتاور به سرعت موتور و برای دور موتور HC, LC

شماره ی سیلندر	۱	۲	۳	۴
موتور پایه (LC)	118 PSI	115 PSI	118 PSI	110 PSI
موتور با افزایش شعاع لنگ	130 PSI	135 PSI	140 PSI	130 PSI

جدول (۲-۱) فشار تراکم سیلندرها در حالت گرم

۲-۳- ازدیاد نسبت تراکم از طریق کاهش حجم محفظه احتراق

در این طرح ابتدا جهت کاهش حجم محفظه احتراق موتور پایه، تغییراتی در گودی محفظه احتراق موتور موجود (شامل تغییرات در گودی سر سیلندر، کف پیستون و ارتفاع تاج آن) داده شده بطوری تغییرات ایجاد شده به منظور افزایش نسبت تراکم (۸/۵) بوسیله کاهش حجم محفظه احتراق به طریق زیر انجام گرفته است.

۱- افزایش حجم گودی پیستون از ۱۶/۶۸ cc به ۲۴/۳ cc به همراه تغییر شکل گودی از حالت متقارن به حالت غیر متقارن بطوریکه فاصله شمع تا نقطه مقابل کمتر از طرح پایه شده است.

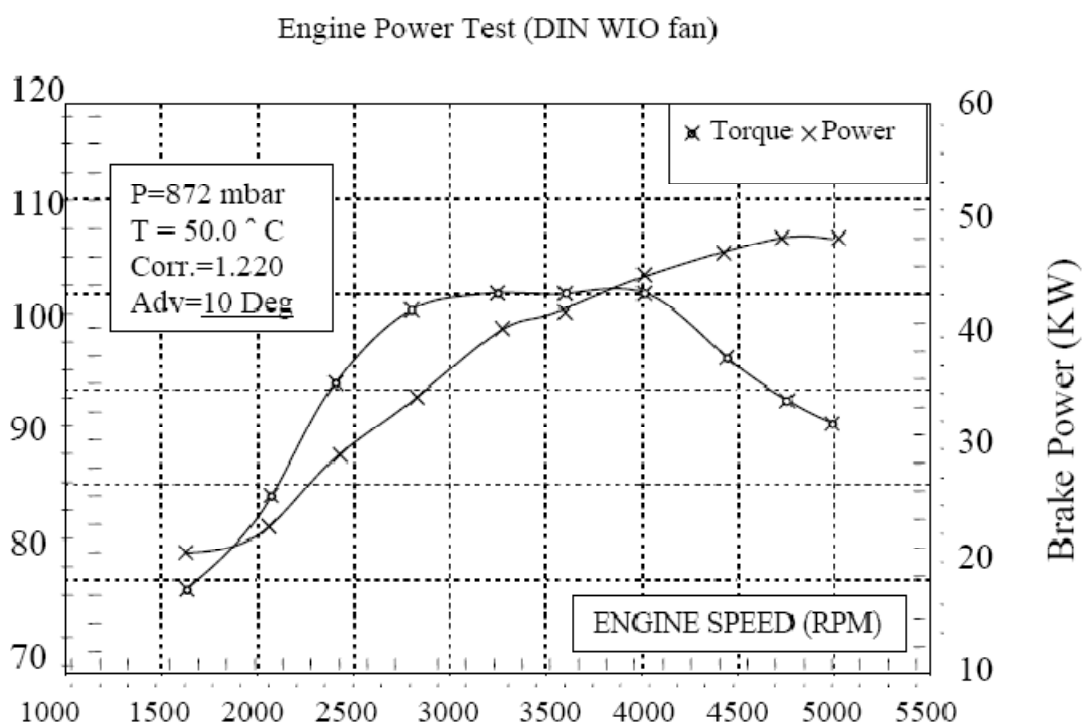
۲- کاهش حجم گودی سر سیلندر از مقدار ۱۹/۰۵ cc به ۱۷/۶۶ cc بوسیله تغییر شکل آن بطوریکه مقدار سطح چالانش (squish Area) از ۱۰۲۹/۲۴ mm به ۱۶۷۵/۹۲ mm افزایش یافته است.

۳- کاهش فاصله چالانش (Squish clearance) از مقدار ۳/۶ mm به ۱/۶ mm بوسیله افزایش تاج پیستون از ۱۰ mm به ۱۲ mm که در نتیجه آن حجم فاصله چالانش از ۲۳/۰۳ cc به ۱۱/۳۱ cc کاهش یافته است.

تغییرات فوق طوری در نظر گرفته شده است که مخلوط سوخت و هوا با سرعت زیادی از فضای ما بین کف پیستون و سر سیلندر بطرف محفظه احتراق و شمع پرتاب و باعث چرخش (توربولانس) بیشتر مخلوط سوخت و هوا و در نتیجه باعث ازدیاد سرعت شعله و احتراق بهتر می گردد.

این موتور ابتدا با زاویه آوانس ۱۰ درجه، گشتاور و توان موتور اندازه گیری و نمودار آن ترسیم گردید (شکل ۳-۲ نمودار). در این آزمون حداکثر توان در دور ۵۰۰۰ r pm برابر ۴۵/۵ کیلو وات و حداکثر گشتاور در دور ۳۶۰۰ r pm برابر ۹۹/۵۸ نیوتن متر اندازه گیری شد.

نظربه اینکه موتور مذکور در اثر ازدیاد نسبت تراکم، توان و گشتاور قابل توجهی از خود نشان نداده است، لذا آزمون دیگری با آوانس ۱۷ درجه با همین موتور انجام گردیده که نتایج آن در (شکل ۳-۶ نمودار پایینی) ترسیم شده است بطوریکه از این نمودار مشاهده می شود حداکثر توان در دور ۵۰۰۰ rpm برابر ۴۸/۸ کیلو وات و حداکثر گشتاور در دور ۳۶۰۰ r pm برابر ۱۰۵/۳ نیوتن متر بدست آمده است.



RPM	1.500	2.000	2.400	2.800	3.200	3.500	4.000	4.400	4.800	5.000
Torque	68	77.5	90.5	98.08	99.04	99.58	98.57	95.05	89.5	86
Power	11.5	16.5	23	28.5	33	37.5	41	43.5	45	45.5

شکل (۳-۲) منحنی تغییرات توان و گشتاور در موتور بر حسب دور موتور با زاویه آوانس ۱۰ درجه و ۱۷ درجه

۴-۲- تأثیر ازدیاد نسبت تراکم بر خود سوزی موتور

۴-۲-۱- خودسوزی : Selfignition

در اثر افزایش نسبت تراکم موتور بازده تئوری به طور نامحدودی بهبود می یابد. از نقطه نظر عملی دو محدودیت اصلی در هنگام تحول وجود دارد:

۱ - فشار حداکثر سیکل با افزایش نسبت تراکم به شدت افزایش می یابد ولی افزایش وزن بدنه موتوری که بتواند چنین فشاری را تحمل کند مزایای افزایش بازده را از بین می برد .

۲ - در نسبتهای تراکم بالا ؛ فرایند احتراق به طور غیر طبیعی انجام می گیرد که این امر منجر به صدای اضافی و آسیب دیدگی سریع برخی از قسمتهای موتور می شود . این احتراق غیر عادی «خودسوزی» نام دارد .

بنابراین حداکثر نسبت تراکمی که می تواند در عمل مورد استفاده قرار گیرد از روی خاصیت خود سوزی یا انفجار تعیین می گردد. از نظر تئوری ، با افزایش فشار ورودی (پرخورانی) ، توان یک موتور مشخص به صورت نامحدودی افزایش می یابد . لیکن از نظر عملی ، محدودیتهایی برای این تحول وجود دارد:

۱ - فشار ورودی بالا، جرم حجمی مخلوط سوخت و هوای سیلندر را افزایش می دهد و مقدار حرارت منتقل شده به دیوارهای سیلندر نیز آنقدر بالا می رود که سیستم خنک کن موتور قادر به تحمل حرارت اضافی نخواهد بود و لذا موتور داغ و خراب می شود .

۲ - فشار ورودی بالا ، منجر به فشار حداکثر بالایی در سیلندر می شود ، که وزن ساختار موتور را افزایش می دهد .

۳ - فشار ورودی بالا ، منجر به خود سوزی مخرب می شود.

خودسوزی می تواند موجب محدود شدن نسبت تراکم مجاز و در نتیجه ؛ بازده قابل دستیابی یک موتور عملی شود . همچنین خود سوزی می تواند موجب محدود شدن مقدار پرخورانی یک موتور معین و در نتیجه ؛ مقدار توان خروجی قابل دستیابی یک موتور بشود.

بجز کاهش نسبت تراکم یا مقدار پرخورانی ؛ روشهای دیگری نیز می تواند مقدار خودسوزی را تا حد از بین بردن اثرات مخرب آن کاهش دهد . متأسفانه اغلب این روشها منجر به افت بازده ، افت توان یا هر دو می شود . به علت افتهای ناشی از روشهای کنترل خودسوزی ، موتورها خیلی نزدیک به نقطه خودسوزی کار می کنند. اشتعال مخلوط سوخت و هوا از دهانه شمع آغاز می گردد و از آنجا شعله با سرعتی که مقدار آن بستگی به طبیعت سوخت ،نسبت اختلاط، درجه حرارت و فشار در آغاز احتراق و عوامل دیگر دارد، در تمام مخلوط منتشر می شود. با ادامه احتراق حرارت ،تولید می شود. و فشار در داخل اتاق احتراق افزایش می یابد. آن قسمت از مخلوط که هنوز نسوخته است بیش از پیش فشرده می شود و در نتیجه درجه حرارت آن زیاد می شود و ضمناً از طریق تشعشع حرارت قسمتی از گاز که نسوخته ،گرم می شود . با این عمل درجه حرارت آن ممکن است به نقطه خودسوزی برسد که در این صورت تمام مخلوط نسوخته فوراً مشتعل می گردد . فشار داخل اتاق احتراق با سرعت فوق العاده زیادی افزایش می یابد . بنابر تئوری فوق خودسوزی به عنوان اشتعال تراکمی و تقریباً سوختن همزمان آخرین قسمت مخلوط سوخت و هوا در سیلندر تعریف شده است . که به دلیل افزایش کلی فشار سیلندر،ناشی از سوختن اولین قسمت مخلوط سوخت و هوا می باشد.

۲-۴-۲- جلوگیری از خودسوزی (انفجار)

خودسوزی شدید، برای موتور بسیار مضر است، زیرا این عمل موجب تلف شدن قدرت، افزایش مصرف سوخت، بالاتر رفتن درجه حرارت کار کردن موتور و افزایش تنشهای مکانیکی روی قطعات موتور می شود. خود سوزی (انفجار) غالباً در شرایط تحت بار در سرعتهای نسبتاً کم شدت می یابد. مانند مواقعی که دریچه گاز برای افزایش سریع سرعت بطور ناگهانی باز شود. خود سوزی با افزایش آوانس جرقه و با بالا رفتن درجه حرارت موتور و مخلوط سوخت و هوا در موقع ورود به موتور زیاد می شود. خصوصیات سوخت، رل مهمی در خود سوزی بازی می کند. سوخت موتورها با عدد اکتان آنها ارزشیابی می شود؛ که نشانه مصمونیتهای نسبی آنها در برابر تمایل به خود سوزی می باشد، سوختی که عدد اکتان آن بالاتر باشد اساساً سوختی است که نقطه احتراق آن بالاتر می باشد. واضح است که تنها راه بر طرف کردن انفجار یا خود سوزی این است که از رسیدن قسمت نسوخته مخلوط سوخت و هوا به درجه حرارت اشتعال قبل از رسیدن دیواره شعله به آن جلوگیری شود. پایین نگه داشتن درجه حرارت مخلوط ورودی به این امر کمک می کند.

زیرا درجه حرارت مطلق گاز در انتهای زمان تراکم چند برابر درجه حرارت اولیه گاز می باشد. ولی یکی از راه حل های مؤثر این است که وسائلی فراهم شود تا قسمت انتهایی گاز را قادر سازد محترق شود تا به سرعت از تولید حرارت در آن توسط تراکم و حرارت منتقل شده به آن از طریق هدایت و تشعشع از قسمت سوخته شده، رهایی یابد. برای رسیدن به این هدف احتراق در اتاق احتراق، باید در جایی به پایان برسد که ارتفاع اتاق احتراق بین پیستون و سر سیلندر کم باشد و یا اینکه با کار گذاشتن دو شمع راهی را که پیشانی شعله باید طی کند کوتاه نمود که البته روش اخیر میزان هزینه را افزایش می دهد. بنابراین با افزایش زمان تأخیر یا با کاهش زمان لازم برای عبور جبهه شعله عادی از عرض فضای احتراق و رسیدن به آخرین قسمت مخلوط سوخت و هوا، می توان احتمال وقوع خودسوزی را کاهش داد.

۲-۴-۳- نتایج خودسوزی

صدای کوبش: در شروع نقطه کوبش، یک موج فشار ایجاد می شود، که به سمت جلو عقب عرض سیلندر حرکت می کند. گام صوت، به اندازه و شکل محفظه احتراق و سرعت موج بستگی دارد. انتقال حرارت موضعی با شدت زیاد معمولاً پس از اینکه موتور تحت خودسوزی شدیدی قرار می گیرد این اجزا بصورت موضعی ذوب می شوند. موج خودسوزی، که به طور مداوم در داخل سیلندر رفت و برگشت میکند. موجب ایجاد جریان در داخل و خارج حفره شمع می شود. این حرکت نسبی بین گازهای داغ و اجزاء شمع، میزان حرارت شمع را بشدت بالا می برد. ما فوق گرم شدن شمع می تواند دو نتیجه در بر داشته باشد: اولاً مشخصه های برقی و حرارتی شمع می تواند به گونه ای تغییر یابد که آن را بدون استفاده سازد. به علاوه، الکتروود شمع می تواند گداخته شود و خیلی قبل از اینکه اشتعال باید صورت گیرد مخلوط تازه را بسوزاند.

افزایش شدید فشار: در اثر سوختن همزمان آخرین قسمت بار، در این قسمت سیلندر افزایش ناگهانی رخ می دهد. در نتیجه این بار اعمالی، تنشها و صدمات مکانیکی موضعی شدید رخ می دهد.

توان خروجی و بازده: اگر یک موتور، با بهترین زمان جرقه، در اثر تغییرات کیفیت ضد خودسوزی سوخت، تحت خودسوزی قرار گیرد در توان و بازده افت مشاهده می شود. از آنجایی که خود سوزی ناشی از شدت بالای سوختن بار می باشد برای این حالت یک جرقه ریتاد مناسب می باشد.

بخش سوم

راندمان حرارتی و تأثیر آن بر توان موتور

۳-۱- راندمان حرارتی و عوامل مؤثر بر آن

۳-۲- تعاریف

بازده حرارتی: نسبت قدرت خروجی یک موتور به قدرت سوخت می باشد یا نسبت بین انرژی تولیدی به انرژی مصرفی موتور گفته می شود. بازده حرارتی طبق فرمول زیر بدست می آید.

$$\eta_{th(otto)} = 1 - \left(\frac{1}{\gamma}\right)^{k-1}$$

که در آن r نسبت تراکم و k ثابت برای هر گاز می باشد. بازده حرارتی از دو قسمت تشکیل شده است:

$$\eta_{th.b} = \left(\frac{W_b}{Q_{mf}}\right) \quad \text{بازده حرارتی واقعی ترمزی}$$

$$\eta_{th.i} = \left(\frac{W_i}{Q_{mf}}\right) \quad \text{بازده حرارتی اندیکاتوری (داخلی)}$$

در فرمول فوق، m شدت جریان جرمی سوخت مصرفی (kg/s)، Q قدرت حرارتی سوخت مصرفی (J/kg).

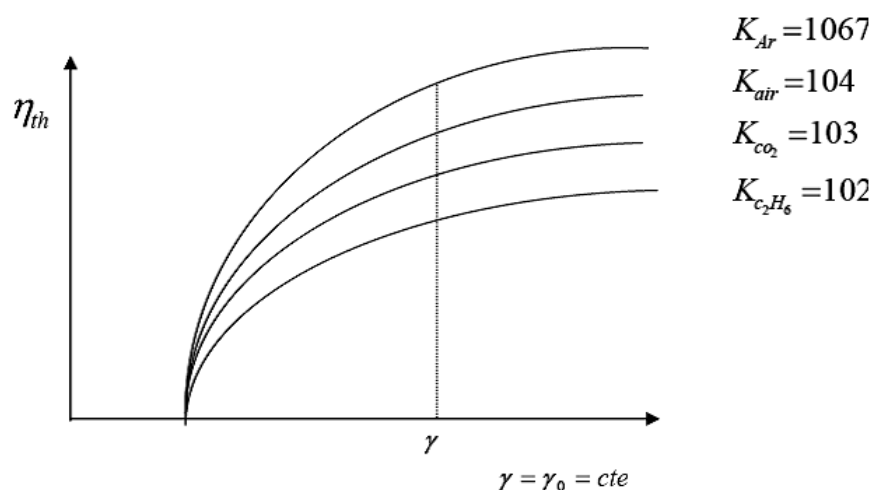
- مصرف ویژه سوخت (SFC): برابر نرخ جریان سوخت به قدرت (واحد) موتور می باشد که شامل دو قسمت اندیکاتوری (isfc) و خروجی مفید (bsfc) است.

isfc: مقدار سوختی است که موتور در مدت یک ساعت برای تولید هر KW توان داخلی مصرف می کند. $isfc = \left(\frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_i}\right)$

bsfc: مقدار سوختی که موتور در هر ساعت برای تولید هر KW توان مفید (خروجی) مصرف می کند. $bsfc = \left(\frac{\dot{m}_f}{\dot{W}_b}\right)$

۳-۳- بررسی تغییرات راندمان حرارتی

شکل (۳-۱) روند تغییرات راندمان حرارتی بر حسب نسبت تراکم و همچنین اثر K (ثابت گاز) را روی این راندمان نشان می دهد.



شکل (۳-۱) تغییرات راندمان حرارتی بر حسب نسبت تراکم و اثر ثابت گاز

۳-۴- اثر عوامل مختلف بر راندمان حرارتی

۳-۴-۱- اثر رطوبت بر موتورهای اشتعال - جرقه ای:

آثار رطوبت بر موتورهای اشتعال جرقه ای به این علت پیچیده و بغرنج است که تغییر رطوبت بر همه عوامل زیر تأثیر می گذارد:

۱- چگالی هوای ورودی

۲- نسبت سوخت و هوای احتراق

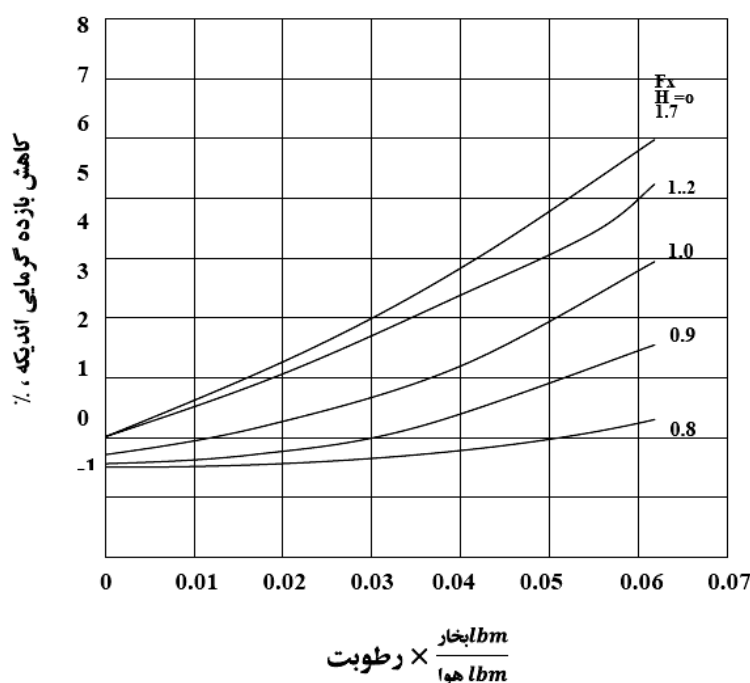
۳- بازده گرمایی اندیکه

۴- بازده حجمی

۵- حدود انفجار ضربه ای

بازده گرمایی با نسبت سوخت و هوا تغییر می یابد. ولی این بازده تحت تأثیر بخار آب در ویژگیهای ترمودینامیکی در قبل و بعد از احتراق نیز قرار می گیرد. داده های ترمودینامیکی نشان می دهد که بخار آب گرمای ویژه را افزایش و در نتیجه بازده چرخه سوخت و هوا را کاهش می دهد. همچنین معلوم شده که بخار آب فرایند احتراق را کند می کند و تلفات زمانی را افزایش می دهد. مگر اینکه با افزایش رطوبت، جرقه بطور صحیحی آوانس یا پیشرس می شود.

شکل (۳-۲) بر مقادیر اندازه گیری شده بازده گرمایی اندیکه بر حسب رطوبت مبتنی است که در آن کاربراتور یا زمان بندی جرقه تنظیم مجدد نشده است و شرایط طوری است که انفجار ضربه ای وجود ندارد. با افزایش رطوبت، افت بازده را می توان با تنظیم مجدد کاربراتور و زمان بندی جرقه تا اندازه ای تقلیل داد. ولی اینگونه تنظیم ما هرگز در عمل بر حسب تابعی از رطوبت متغیر صورت نمی گیرد. چون با تغییر رطوبت، جریان سوخت ثابت می ماند، اثر رطوبت در $me p$ اندیکه همانند اثر در بازده خواهد بود.



شکل (۳-۲) اثر رطوبت در بازده اندیکه، موتور اشتعال - جرقه ای کاربراتوری (بدون انفجار ضربه ای)

۲-۴-۳- اثر رطوبت بر موتورهای دیزلی

چون تنظیم پمپ سوخت هرگز بصورت تابعی از رطوبت تغییر نمی یابد و انفجار ضربه ای نیز مطرح نیست، با تغییر نسبت سوخت و هوای خشک و ویژگیهای ترمودینامیکی فقط بازده تغییر می یابد. البته هیچ داده تجربی در دست نیست، ولی با اطمینان می توان نتیجه گیری کرد که در نسبت های سوخت و هوای پایینی که در موتورهای دیزلی بکار می روند. رطوبت اثر جزئی در بازده گرمایی اندیکه و در نتیجه اثر اندکی بر کارکرد خواهد داشت.

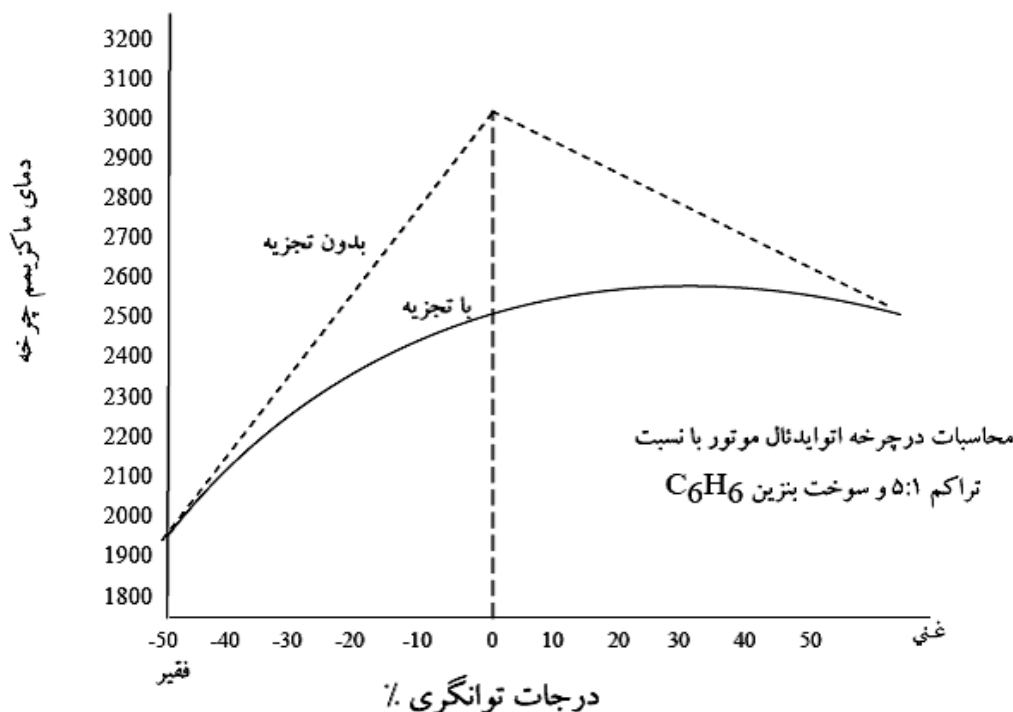
۳-۴-۳- اثر نسبت سوخت و هوا

برای بدست آوردن قدرت خروجی بالا در موتور لازم است تا جائیکه ممکن است آهنگ جرمی جریان ورودی هوا به داخل سیلندرهای موتور را افزایش دهیم، حال سؤال این است که چقدر سوخت با این هوا باید مخلوط شود؟ اگر سوخت خیلی کم اضافه شود، قدرت خروجی پایین بوده و چنانکه خواهیم دید بازده گرمایی پایین است. اگر سوخت خیلی اضافه شود، همه آن نمی تواند بسوزد. در این صورت موتور بازده گرمایی پایینی را ارائه داده و شاید افتی در قدرت به وجود آید که از جرم سوخت نسوخته زیاد در سیلندر ناشی می شود. محاسبات اولیه شیمیایی نشان می دهند که برای اکثر سوختها نسبت جرمی هوا به سوخت باید بین ۱۴ تا ۱۵ به یک قرار بگیرد. این جمله نسبت هوا به سوخت استوکیومتریکی نامیده می شود و درست مقدار اکسیژن کافی را تأمین می کنند که تمامی کربن در سوخت به CO_2 و تمامی هیدروژن به H_2O بسوزد.

محاسبات چرخه با استفاده از شیمی ساده نشان می دهد که بالاترین دمای چرخه و در نتیجه بالاترین قدرت خروجی وقتی به دست می آید که قدرت مخلوط استوکیومتریکی باشد. ولی در عمل این طور نیست. در دماهای بالای داخل سیلندر یک موتور، گازها تجزیه می شوند. یعنی مقداری از CO_2 ، به CO ، O و O_2 ، H_2O به H_2 ، H و O_2 و O و نظایر آن تجزیه می گردد. این فرایندهای تجزیه، انرژی جذب می نمایند. اگر محاسبات چرخه را با در نظر گرفتن تجزیه تکرار نمائیم، در شکل (۳-۳) به جای منحنی خط چین حاصله از محاسبات شیمیایی ساده منحنی پر حاصل می شود.

شکل (۳-۳) نشان می دهد که دمای حداکثر چرخه وقتی اتفاق خواهد افتاد که مخلوط کمی غنی است. بنابراین نتیجه می گیریم که قوت مخلوط غنی تر از استوکیومتریکی برای قدرت خروجی حداکثر لازم می باشد. بر عکس، برای اطمینان از احتراق کامل سوخت، و در نتیجه یک بازده گرمایی بالا، یک قوت مخلوط کمی فقیر تر از استوکیومتریکی برای اقتصاد حداکثر لازم است. شکل (۳-۳) یک حلقه مصرف نامیده می شود و نتایج آزمونی را ارائه می دهد که بر روی یک موتور بنزینی چهار زمانه، افقی متقابل، دو سیلندر. خنک شده با هوا، به ظرفیت ۰/۹ لیتر انجام گرفته است. به جای ژینگلور اصلی در کاربراتور موتور، یک شیر سوزنی قابل تنظیمی قرار داده شده است. در این آزمون، موتور در دریچه گاز کاملاً باز و در سرعت ثابت ۱۷۸۰ rad/s (دور بر دقیقه) کار کرده و قوت مخلوط از خیلی فقیر تا خیلی غنی تغییر داده می شود.

در هر قوت مخلوط، آهنگ جریان سوخت و گشتاور خروجی اندازه گیری شده، و از آنجا مقادیر مصرف سوخت ویژه و فشار مؤثر متوسط خروجی محاسبه می گردند. حلقه مصرف شامل یک منحنی s.f.c بر حسب bmep یا گشتاو است در نقطه A، جرم زیادی از سوخت در طول کورس مکش به هوا اضافه شده و هوای داخل سیلندر را کاهش می دهد. در نتیجه بازده حجمی پایینتری را موجب می گردد، همچنین جرم سوخت نسوخته زیاد در سیلندر موتور دمای فرایند احتراق را کاهش می دهد. نتیجه خالص عبارت است از افت در bmep و بازده گرمایی پائینی که با s.f.c بالا مشخص می شود. همچنانکه مقدار غنی بودن مخلوط کاهش پیدا می کند نقطه B بدست می آید که در آن قدرت ماکزیمم است.

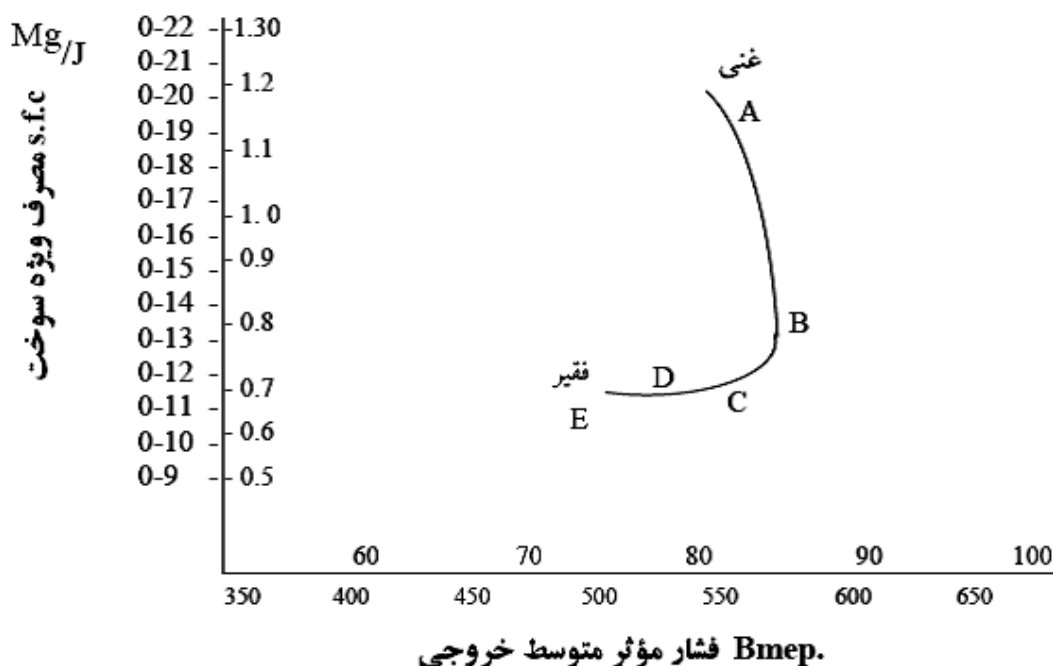


شکل (۳-۳) ماکزیمم دمای محاسبه شده بر حسب نسبت سوخت و هوا

نقطه C نشانگر شرایط استوکیومتری یک بوده و در نقطه ای کمی فقیر تر از استوکیومتری یک بازده گرمایی حداکثر در نقطه D حاصل می شود. اگر قوت مخلوط باز هم بیش از این فقیر گردد، سرعت فرایند احتراق نظیر نقطه E کاهش می یابد، و سوختنی در سراسر طول کورس انبساط و کورس تخلیه بعدی صورت می گیرد.

حال اگر قدرت مخلوط از نقطه E هم فقیر تر گردد باعث بوجود آمدن چنان احتراق فقیری می شود که وقتی سوپاپ ورودی در چرخه بعدی باز می شود شعله ای وجود دارد، و این باعث اشتعال بار جدیدی که وارد سیلندر می شود می گردد. این حالت با پس زده شعله به داخل کاربراتور، مشخص می گردد. بنابراین در مخلوط های خیلی فقیر، افت قدرت وجود دارد. بازده گرمایی پایین بوده و سوپاپ تخلیه در حالت داغ کار می کند، زیرا هنوز سوختنی در انتهای فرایند انبساط و در طول فرایند تخلیه صورت می گیرد. شکل (۳-۴) اطلاعات زیادی را به ما نشان می دهد. به ویژه شکل زیر جوابی است به سؤال «چرا قدرت خروجی یک موتور بنزینی باید با دریچه گاز کنترل شود، و نه با کنترل مخلوط که در یک موتور اشتعال تراکمی وجود دارد؟» حتی در نقطه E، وقتی احتراق به قدری فقیر است که پس زدن در شرف انجام است، قدرت حاصله هنوز ۸۵٪ قدرت حداکثر ممکنه است. بنابراین گستره تغییر قدرت در یک موتور بنزینی با استفاده از کنترل سوخت ورودی خیلی جزئی است. در نتیجه کنترل هوای ورودی نیز ضروری است. بنابراین با در نظر گرفتن مراتب فوق نتیجه میگیریم اگر لازم است که قدرت خروجی موتور با خفه کردن هوا کنترل شود، قوت مخلوط بایستی نزدیک قوت مخلوط بهینه باشد، این کار وظیفه کاربراتور است.

حال می خواهیم که عملکرد نیم بار (بار جزئی) موتور بنزینی را مطالعه کرده و آنرا با عملکرد موتور اشتعال تراکمی مقایسه کنیم.



شکل (۳-۴) حلقه مصرف - موتور بنزینی - دریچه کاملاً باز

۴-۳-۱ اثر زمانبندی جرقه در کارکرد

در صورتیکه متغیر فقط زمان بندی جرقه باشد، اثر تغییر آن در کارکرد موتور باید بر مبنای تأثیر آن در راندمان حرارتی اندیکه استوار شود. تغییرات زمان بندی جرقه نسبت به زمان بندی مربوط به قدرت ماکزیمم، در تمام بارها و سرعت ها دارای درصد تأثیر یکسانی در mep ترمزی است. با این همبستگی پیش بینی اثر انحراف معین از آوانس جرقه بهترین قدرت هم در قدرت خروجی و هم در صرفه جویی سوخت امکان پذیر می شود.

به طور کلی هدف از بکارگیری زمان بندی جرقه، غیر از آنچه برای بهترین قدرت استفاده می شود، یا کنترل انفجار ضربه ای است و یا برای اینکه به تنظیم مجدد جرقه بر حسب تابعی از شرایط کارکرد موتور، نیازی نباشد.

برای کنترل انفجار ضربه ای از جرقه تأخیری در داخل محدوده، روشی خیلی موثری است. پس اگر تحت شرایطی که امکان بروز انفجار ضربه ای نزدیک است جرقه به تأخیر، می توان از نسبت تراکمی استفاده کرد که از نسبت تراکمی که در مورد تنظیم جرقه برای بالاترین قدرت امکان پذیر است بیشتر باشد. در این حالت، تحت شرایطی که انفجار ضربه ای قریب الوقوع نیست، زمان بندی جرقه برای بهترین قدرت را می توان بکار گرفت؛ و این حالت نسبت به حالتی تراکم پائین تری بکار می رود، صرفه جویی سوخت کلی بهتری به بار می آورد. مخصوصاً موتورهای که بیشتر در شرایطی کار می کنند که قسمتی از دریچه گاز باز است، مانند وسایط نقلیه جاده ای، این سیستم کنترل انفجار مورد استفاده قرار می گیرد.

بخش چهارم

راندمان حجمی و تأثیر آن بر توان موتور

۴-۱- راندمان حجمی و تأثیر عوامل مختلف بر آن

۴-۲- تعریف راندمان حجمی و تغییرات آن

بازده حجمی یک موتور مقیاس یا اندازه ای از استعداد آن به عنوان یک ماشین پمپ هوا است و عبارت است از نسبت جرم هوای مکیده شده در طول مرحله مکش در شرایط واقعی کار به جرمی که در سیلندر در شرایط متعارفی می تواند وجود داشته باشد. در زمان بندی سوپاپ، سوپاپ های ورودی نسبتاً دیرتر، در 65° و بعد از نقطه مرگ پائین بسته شده و سوپاپ های خروجی نسبتاً زودتر در 65° قبل از نقطه مرگ پائینی (در این نوع موتور خاص) باز می شوند. بخاطر اینکه جرم هوای بیشتری در سرعت های بالای موتور در سیلندر به تله بیفتد، تا در سرعت بالای موتور قدرت خروجی بیشتری بدست آورد.

۴-۳- برخی روشهای اصلاح راندمان موتور (با تنفس طبیعی)

۱- دهانه سوپاپ ورودی را بزرگتر انتخاب کنیم.

۲- منیفولد گاز را کوتاه و مستقیم انتخاب کنیم.

۳- بجای یک سوپاپ هوا از تعداد سوپاپ های بیشتری استفاده کنیم.

۴-۴- اثرات شرایط کار در بازده حجمی (پارامترهای کنترل)

۴-۴-۱- اثر نسبت P_E / P_A بر بازده حجمی بدون روبش

اگر فرض کنیم که ظرفیت گرمایی مخلوط گازهای تازه و گازهای باقی مانده از احتراق یکسان باشد، با استفاده از فرض گاز

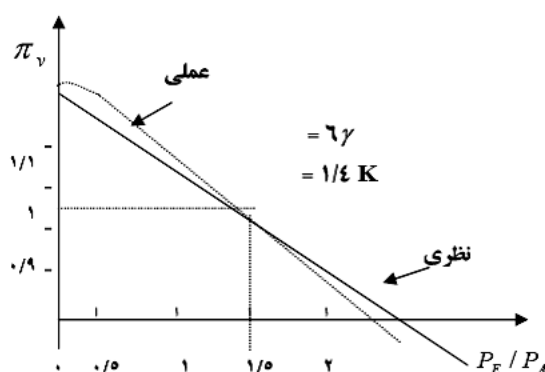
$$\eta_V = \frac{K-1}{K} + \frac{r - (P_E / P_A)}{K(r-1)} \quad \text{کامل می توان ثابت کرد که بازده حجمی یک چرخ نظری برابر است با:}$$

این رابطه به خوبی با نتایج تجربی تطبیق می کند، به این ترتیب برای چرخه نظری هنگامی که $P_E = P_A$ باشد $\eta_V = 1$ است اما برای مقادیر $P_E / P_A < 0.5$ بازده حجمی عملی شیب کمتری نسبت به بازده حجمی نظری پیدا می کند.

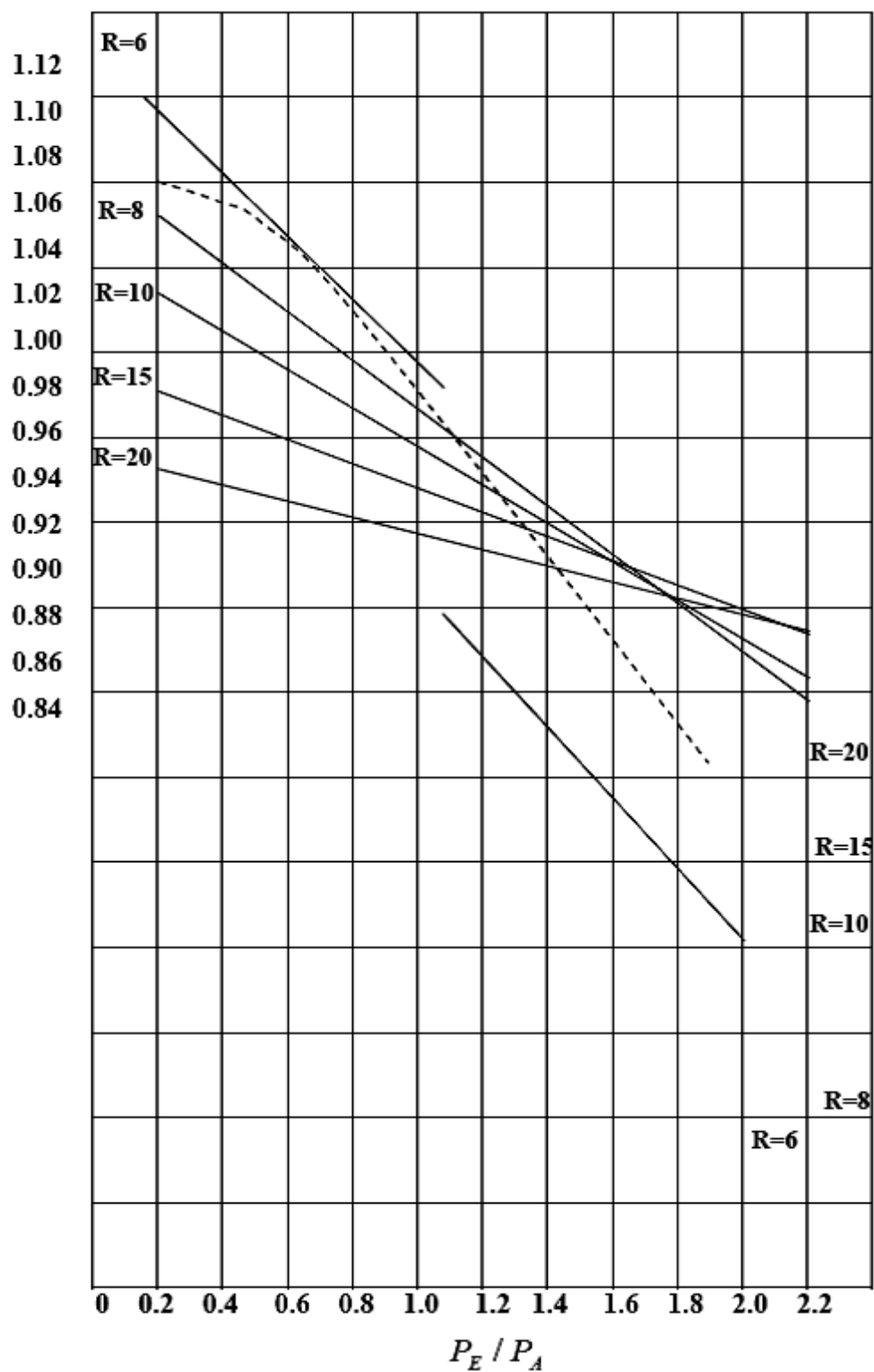
علت آن احتمالاً پیدا شدن حالت تنفسی بحرانی (حالتی که در آن سرعت هوا در گلوگاهها برابر سرعت صوت است و دبی آن محدود می شود) در زمان قابل توجهی از مدت تنفس است و این خود باعث محدود شدن دبی تنفسی می گردد.

(رویش: جریان هوا به هنگامی که دریچه های تنفس و تخلیه هر دو بازند.)

شکل های (۴-۲) و (۴-۱) این اثر را به خوبی نشان می دهند.



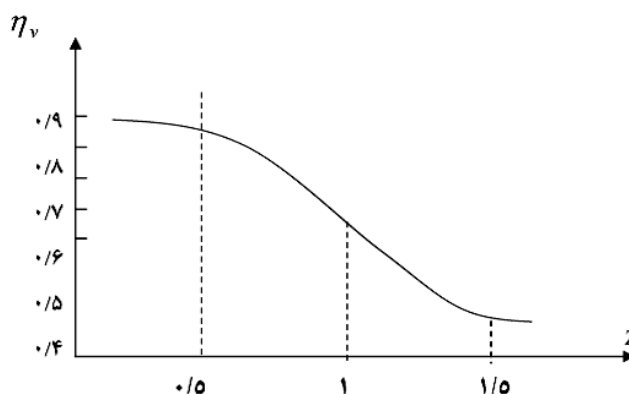
شکل (۴-۱) اثر نسبت P_E / P_A بر راندمان حجمی



شکل (۴-۲) اثر نسبت P_E / P_A بر راندمان حجمی با روی هم افتادگی جزئی سوپاپ

۲-۴-۴- اثر عدد ماخ بر بازده حجمی

عدد ماخ به نسبت بین سرعت هوا و سرعت صوت گفته می‌شود. تجربه نشان می‌دهد که راندمان حجمی تابعی از عدد ماخ است تا مقدار $Z \cong 0.5$ بازده حجمی مقدار تقریباً ثابتی دارد و برای مقادیر $Z > 0.5$ این بازده شدیداً کم می‌شود. شکل (۴-۳) این مسأله را نشان می‌دهد. برای راحتی کار، نسبت سرعت نمونه‌وار به سرعت صوت ورودی u/a ، را شاخص ماخ ورودی می‌نامند.

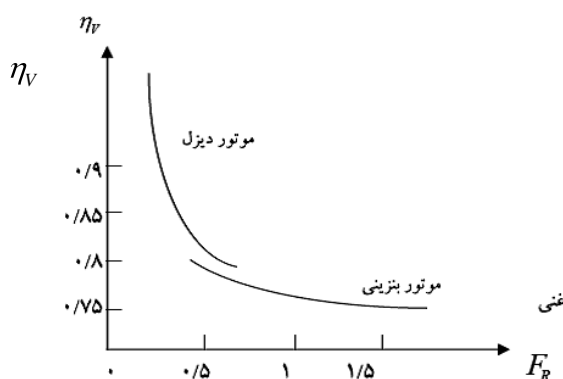


شکل (۴-۳) اثر عدد ماخ بر بازده حجمی

برای روشن شدن قضیه فوق به توضیح آن می‌پردازیم، میانگین سرعت در گذر از سوپاپ ورودی در هر لحظه برابر $A_p S / A_i$ خواهد بود که در آن A_p مساحت پیستون، S سرعت پیستون و A_i مساحت دریچه سوپاپ ورودی است. در این حالت، شاخص ماخ مربوطه $A_p S / A_i / a$ است. برای بادامکهای موجود، می‌توان انتظار داشت که میانگینی سطح جریان در گذر از سوپاپ ورودی متناسب باشد با $TD^2 / 4$ که در آن D قطر سوپاپ است. در این حالت A_p / A_i برابر $(b/D)^2$ است. که در آن قطر b قطر داخلی سیلندر است.

۳-۴-۴- اثر سوخت و هوا در بازده حجمی

مشاهده می‌شود که شکل (۴-۴) در موتورهای بنزینی (که نسبت سوخت و هوا بین ۰/۸ تا ۱/۴ تغییر می‌کند) بازده حجمی چندان اثری از تغییرات سوخت و هوا نمی‌گیرد، و در حالیکه در موتورهای دیزل که نسبت سوخت و هوا بین صفر و یک تغییر می‌کند با ازدیاد F_R (نسبت سوخت و هوا)، بازده حجمی نزول می‌یابد. علت آن کم شدن مقدار هوای اضافی است. در محدوده عمل موتور دیزل، هم دماهای احتراق و هم دمای گاز باقیمانده با ازدیاد نسبت سوخت و هوا افزایش می‌یابد.



شکل (۴-۴) اثر نسبت سوخت و هوا در بازده حجمی

۴-۴-۴- اثر تزریق سوخت در بازده حجمی

در موتورهای دیزل، تزریق بعد از بسته شدن دریچه تنفس صورت می گیرد و بنابراین هیچ گونه اثر مستقیمی بر بازده حجمی ندارد. اما در موتورهای بنزینی، تغییر روش سوخت آماده به تزریق به دو دلیل موجب بهبود بازده حجمی می شود (معمولاً سوخت قبل از دریچه تنفسی تزریق می شود). یکی اینکه افت فشار در گلوگاه سوخت آماده تزریق حذف می شود و ضمناً برای بهتر کردن توزیع و در نتیجه پایین آوردن بازده احتیاج به گرم کردن مجاری تنفسی نیست، دیگر آنکه مقدار سوختی که به صورت مایع در تماس با جداره های مجاری تنفسی است کاهش می یابد. در نتیجه مقدار گرمایی که صرف تبخیر و گرم کردن آنها می شود، تنزل پیدا می کند و مقدار سوختی که از صورت مایع به بخار در می آید کمتر می شود و بازده تنفسی افزایش می یابد. آزمایش نشان داده که با تزریق سوخت به داخل سیلندر در حین تنفس می توان بازده حجمی را نسبت به سوخت عادی تا ۱۰ درصد افزایش داد.

۴-۴-۵- اثر گرمای نهان تبخیر سوخت (L_v)

گرمای نهان تبخیر بعضی از سوختها، مانند الکلها زیاد است، در اثر تبخیر آنها دمای مخلوط سوخت و هوا کاهش می یابد. مثلاً برای مخلوط درست اکتان، $L_v = 2.5 \text{ Kcal / kg}$ ، برای مخلوط درست الکل اتیلیک، $L_v = 10$ و برای مخلوط درست الکل متیلیک، $L_v = 18 \text{ Kcal / kg}$ ، معمولاً الکلها را نمی توان مستقیماً بکار برد مگر با گرم کردن آنها، تا توزیع یا تبخیر کاملی حاصل شود. در موتورهای مسابقه، معمولاً مقدار زیادی الکل را با سوخت مخلوط می کنند تا وضع تنفس را در سرعت های دورانی زیاد موتور بهبود بخشند. با توجه به اینکه در این گونه موتورها هر استوانه یک سوخت آماده تزریق دارد، تفاوتی در توزیع مخلوط بین سیلندرها پیش نمی آید. (استوانه همان سیلندر است).

۴-۴-۶- اثر دمای ورودی (جو و محیط) T

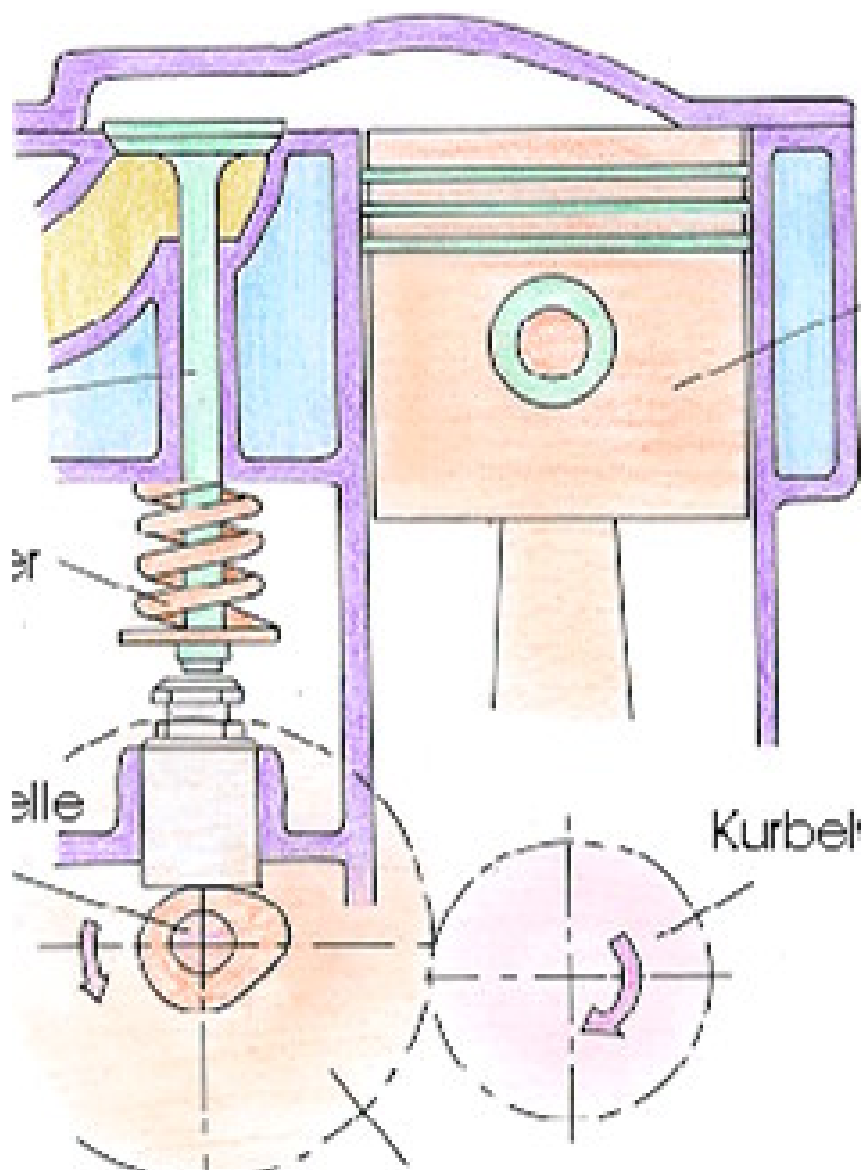
موقعی که T_i تغییر می یابد، برای جدا کردن C_p / FQ_c به عنوان یک متغیر لازم است سرعت پیستون را دوباره طوری تنظیم کرد که Z ثابت بماند (تغییر شاخص رینولدز که از تغییرات a ناشی می شود، قابل اغماض است) به عنوان راه حل دیگری، اگر بگذاریم که Z با تغییر T_i تغییر یابد، شاید به اثر تغییرات در T_i پی ببریم خوشبختانه تغییر در Z به مراتب کوچکتر از تغییر در T_i است، زیرا a با $\sqrt{T_i}$ تغییر می یابد.

۴-۴-۷- اثر جهت دهنده دریچه تنفس

این جهت دهنده بصورت زائده ای روی دریچه تنفس تعبیه می شود و به جریان هوای ورودی جهت و پیچش می دهد. مانعی که در استفاده از جهت دهنده روی دریچه تنفس وجود دارد کم شدن بازده تنفسی است. با این حال نتیجه چند آزمایش را با این نوع دریچه تنفسی شرح می دهیم تا اهمیت پدیده های آئرو دینامیکی در مسائل احتراقی موتورهای بنزینی روشن می شود. مشاهده می شود که مدت متوسط انتشار افزایش می یابد. از طرف دیگر پراکندگی نسبی احتراق خیلی کم می شود. در عمل موقعی از این جهت دهنده ها استفاده می شود که مقصود عبارت باشد از افزایش استقامت و عمر موتوری که توانی کمتر از توان ماکزیمم خود در شرایط معمولی می دهد، ولی اهمیت آن در اینجا نشان دادن اثر آئرو دینامیکی داخلی موتور روی احتراق و پراکندگی چرخه ای است.

۸-۴-۴- اثر ضریب تراکم حجمی و طراحی اتاق احتراق

شکل (۴-۵) آزمایش نشان می دهد که با ازدیاد ضریب تراکم مدت انتشار متوسط کاهش می یابد. این نتیجه چند عامل است. تنها اثر افزایش ضریب تراکم حجم یا افزایش دما و فشار گازها نیست، بلکه تغییراتی نیز در حجم اتاق احتراق و در ساختار کل شعله به ازای مقدار معینی گاز سوخته شده و درجه معینی از میل لنگ و غیره حاصل می شود که همه بر احتراق اثر می گذارند. مشاهده شده که با ازدیاد ضرایب تراکم، پراکندگی چرخه ای به شدت کاهش می یابد. سرعت انتشار ظاهری چرخه های کند به مراتب متغیر است تا سرعت انتشار ظاهری چرخه های سریع (به علت ازدیاد نشت گازها که متناسب با عکس سرعت دورانی است).



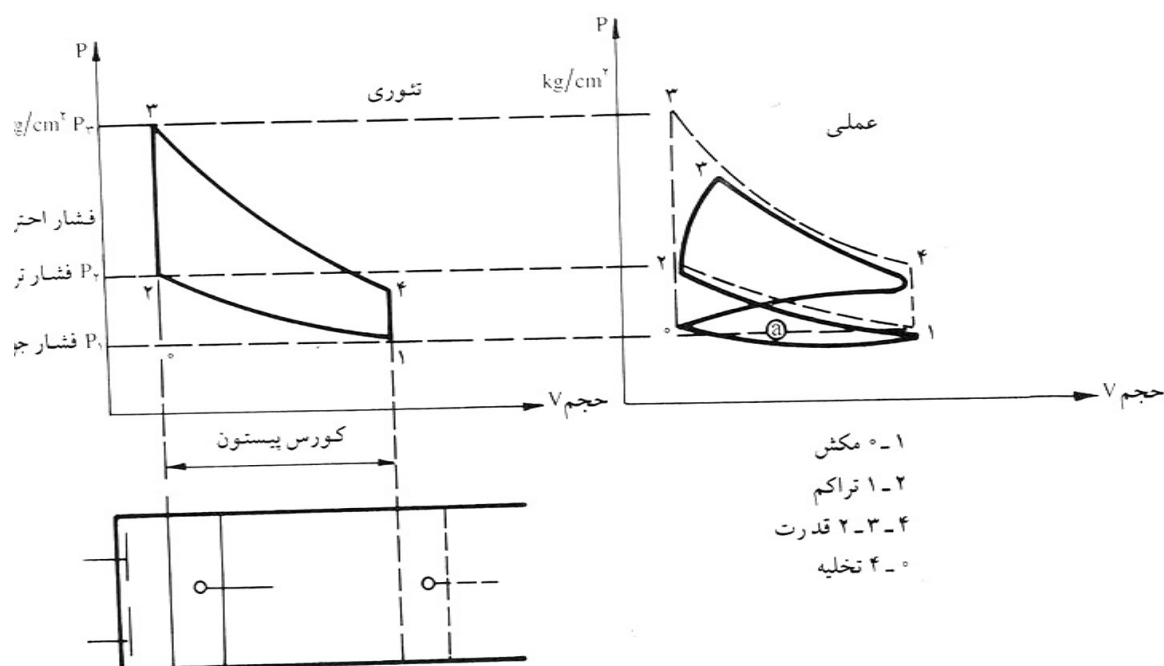
شکل (۴-۵) طراحی دریچه در کنار اتاق احتراق ریکاردو در سر سیلندر همراه با اغتشاش

۴-۵- مقایسه تنفس و تخلیه روی نمودارهای نظری و عملی

الف) باز و بسته شدن دریچه های تنفس و تخلیه درست در نقاط مرگ و بالا و پائین صورت نمی گیرد بلکه همیشه در باز شدن آوانس و در بسته شدن ریتارد وجود دارد.

ب) تخلیه تحت فشار ثابت انجام نمی گیرد بلکه همواره با نوسانهای زیاد فشار که دلیل آن نحوه تخلیه گازهاست.

ج) تنفس نیز تحت فشار ثابت انجام نمی گیرد بلکه وقتی پیستون شتاب بر میدارد و سرعت آن افزایش می یابد، فشار داخل سیلندر کم می شود (مکش هوا)، و بعد از آن، در حالی که پیستون حرکتی کند شونده پیدا می کند، فشار داخل سیلندر زیاد می شود. در هر حال فشار هوای داخل سیلندر در نقطه مرگ پایین، در اثر اینرسی سیال کمتر از فشار حاکم بر مجاری تنفسی است. (شکل ۴-۶)



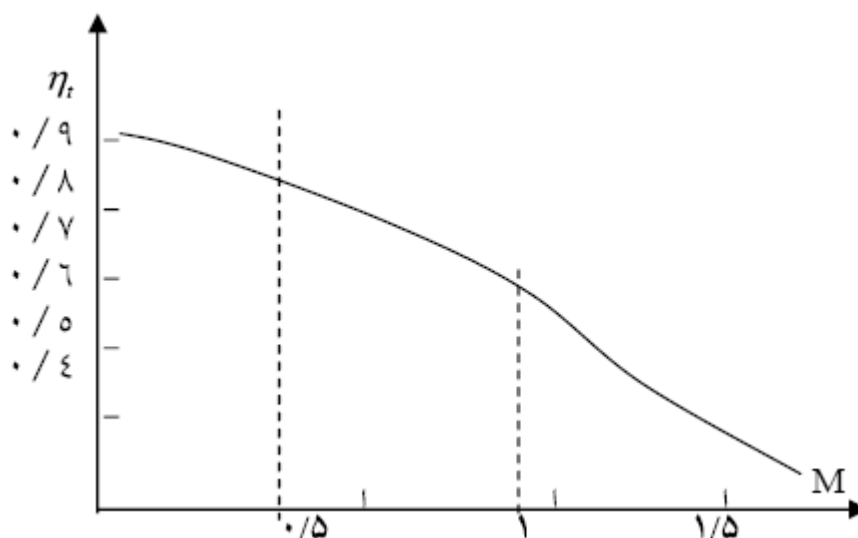
شکل (۴-۶) تنفس و تخلیه روی نمودار

۴-۶- تأثیر عوامل مختلف بر بازده تنفسی

بازده تنفسی متناسب است با دبی تنفسی. بنابراین هر عاملی که روی دبی تنفسی اثر بگذارد، بر بازده تنفسی نیز اثر می گذارد. از جمله عواملی که محدود کننده دبی اند، یکی ضریب انقباض مجرای تنفسی است. جریان هوا هنگام عبور از دریچه تنفس منقبض می شود و لذا دبی واقعی آن نسبت به دبی حالت عدم انقباض، کمتر خواهد شد.

۴-۶-۱ اثر عدد ماخ بر بازده تنفسی

عدد ماخ نسبت بین سرعت هوا و سرعت صوت در شرایط یکسان است. تجربه نشان می دهد که بازده تنفسی تابعی از عدد ماخ است شکل (۴-۷) تا مقدار $M \cong 0.5$ بازده تنفسی مقدار تقریباً ثابتی دارد و برای مقادیر $M > 0.5$ این بازده شدیداً کم می شود.



شکل (۴-۷) اثر عدد ماخ بر بازده تنفسی

۴-۶-۲- اثر تزریق سوخت بر بازده تنفسی

در موتورهای بنزینی تغییر روش کاربراتوری به تزریق به دو دلیل موجب بهبود بازده تنفسی می شود (معمولاً سوخت قبل از دریچه تنفسی تزریق می شود). یکی اینکه افت فشار در ونتوری کاربراتور حذف می شود، ضمناً برای بهتر کردن توزیع و در نتیجه پایین آوردن بازده احتیاج به گرم کردن مجاری تنفسی نیست، دیگر اینکه مقدار سوختی که به صورت مایع در تماس با جداره های مجاری تنفسی است کاهش می یابد، در نتیجه مقدار گرمایی که صرف تبخیر و گرم کردن آنها می شود تنزل پیدا می کند و مقدار سوختی که از صورت مایع به بخاردرمی آید کمتر می شود و بازده تنفسی افزایش می یابد. آزمایش نشان داده که با تزریق سوخت به داخل سیلندر در حین تنفس می توان بازده تنفسی را نسبت به کاربراتوری تا ۱۰ درصد افزایش داد.

۴-۶-۳- اثر دمای تنفس (جو و محیط) T_A بر بازده تنفسی

هر چه دمای هوای تنفسی بیشتر و به دمای جداره های تنفس نزدیکتر باشد، بازده تنفس بهتر می شود و به عبارت دیگر هر چه دمای جداره ها خنک تر و به دمای هوای تنفسی نزدیکتر باشد بازده تنفسی بیشتر می شود. اثر عواملی مانند تغییرات دمای آب یا هوای خنک کننده، عدد رینولدز، و هنجار جریان تنفسی توربولانس، نسبتاً ناچیز است.

۴-۶-۴- اثر طراحی بر بازده تنفسی

هدف از طراحی در اینجا، ابعاد نسبی و شکل هندسی سیلندر، دریچه ها، بادامک ها، مجاری تنفس و تخلیه، و جنس جداره هاست. بنابراین اگر در دو موتور متشابه، تفاوت در نسبت تشابه باشد، بازده تنفسی آنها برابر است. طراحی بر دمای جداره های مجاری تنفس و بنابراین بر تغییر دمای هوا در طول مسیر اثر مستقیم دارد. هر طرحی که باعث تنزل دمای جداره های مجاری تنفس، دریچه تنفس و غیره باشد، از لحاظ بهبود بازده تنفسی مطلوب است. با این استدلال، گرم کردن مجاری تنفس و هوای تنفسی با گرمای موجود در گازهای تخلیه، از این نظر مضر است، هر چند که برای همگن کردن تبخیر و توزیع صحیح ضروری باشد.

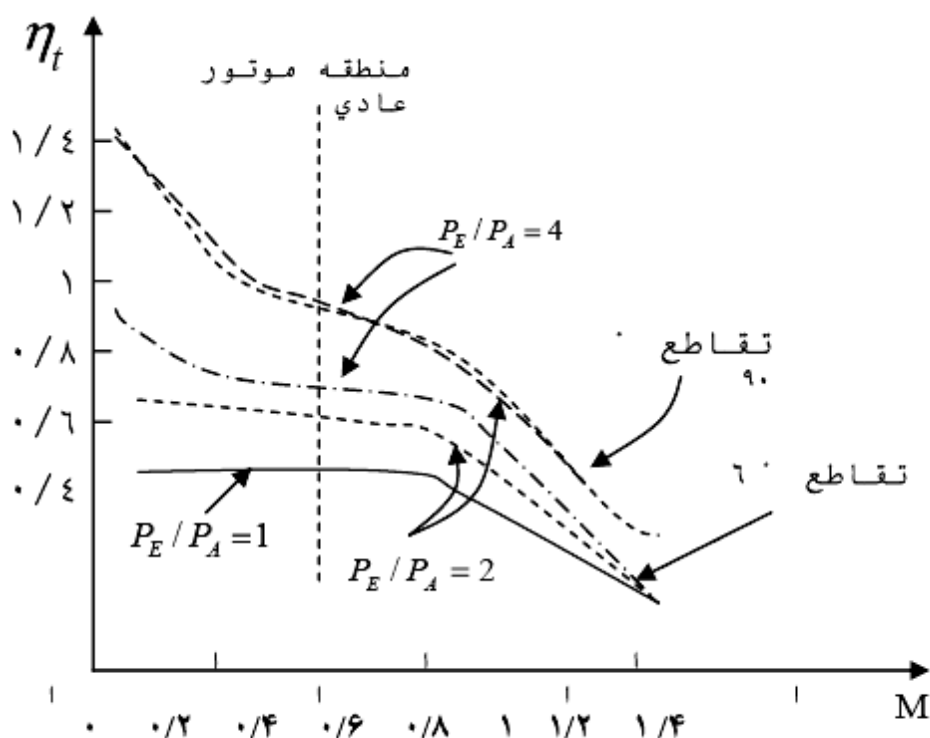
آزمایشهای مختلف نشان داده است که دمای دریچه ها و نشیمنگاه آنها خیلی بیشتر از دمای سیال خنک کننده موتور است. پس بهبود قابلیت هدایت گرمایی بر بازده تنفسی اثر مثبت می گذارد. همین امر در مورد سیلندر و جداره های اتاق احتراق نیز

صادق است. غیر از آثار گرمایی طراحی عوامل دیگری که اثر مهمی بر بازده تنفسی دارند عبارتند از طراحی و اندازه دریچه تنفس، اثر ماخ، زمان و زاویه تنفس و تخلیه و روبش، طراحی و اندازه دریچه تخلیه، نسبت بین طول مسیر پیستون و قطر سیلندر، ضریب تراکم حجمی، طراحی مجاری تنفس، طراحی مجاری تخلیه و طراحی بادامکها.

۵-۶-۴- تأثیر روبش بر بازده تنفسی

تعداد درجاتی از گردش میل لنگ را که در طول آن دریچه تنفس و تخلیه توانماً باز باشند. زاویه تقاطع یا زاویه روبش می گویند. در واقع در این حالت است که وقتی $P_A > P_C > P_E$ ، امکان روبش وجود دارد و مقداری از دبی صرف تخلیه گازهای باقیمانده از احتراق قبلی می شود. هوای تازه جایگزین آن قسمت از گازهای سوخته شده‌ای می شود که روئیده شده اند. قسمت دیگر مستقیماً از طریق دریچه تخلیه خارج می شود. پس به هنگام باز بودن دریچه‌های تنفس و تخلیه، دبی فقط صرف روبش نمی شود، بلکه مقداری از آن به مصرف هواگیری بهتر سیلندر می رسد.

شدت و ضعف روبش به نسبت بین P_A و P_E بستگی دارد. هر چه $(P_A / P_E) > 1$ باشد، مقدار بازده تنفسی کل و مقدار روبش بیشتر می شود. البته برای استفاده از تقاطع در روبش باید $(P_A / P_E) > 1$ باشد وگرنه حتی اگر $(P_A / P_E) \geq 1$ باشد، احتمال روبش عقبگرد زیاد خواهد بود. اصولاً برای مقادیر $(P_A / P_E) \cong 1$ ، از لحاظ بازده تنفسی کل، هر چه زاویه تقاطع کمتر باشد بهتر است، و بالعکس هر چه زاویه تقاطع بیشتر باشد روبش عقبگرد به صورت وخیم تری بروز می کند.

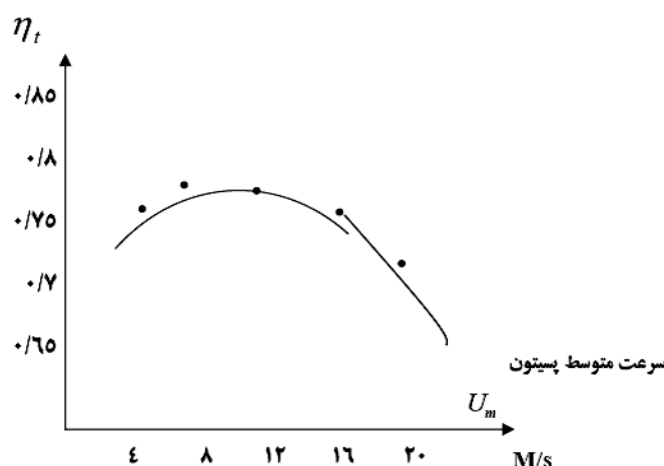


شکل (۸-۴) تأثیر نسبت زاویه $\frac{P_A}{P_E}$ و زاویه تقاطع بر بازده تنفسی

۶-۶-۴- اثر نسبت بین طول مسیر پیستون و قطر سیلندر

موتوری را در نظر بگیریم که در آن امکان افزایش ارتفاع سیلندر، بدون هیچ گونه تغییر دیگری در طراحی و ابعاد دریچه ها، وجود داشته باشد. اگر سرعت دورانی موتور را ثابت نگاه داریم و طول مسیر پیستون را افزایش دهیم، سرعت پیستون زیاد می شود و در نتیجه عدد ماخ افزایش پیدا می کند.

(صرف نظر از اثری که این ازدیاد سرعت پیستون تأثیر اینرسی گازها در طول مجاری تنفس می گذارد). آزمایش نشان می دهد که بازده تنفسی دارای حداکثری بر حسب سرعت متوسط پیستون $U_m = 11 \text{ M/s}$ (شکل ۹-۴).



شکل (۹-۴) اثر سرعت متوسط پیستون بر بازده تنفسی

۶-۶-۴- اثر عدد ماخ در بسته شدن دریچه گاز

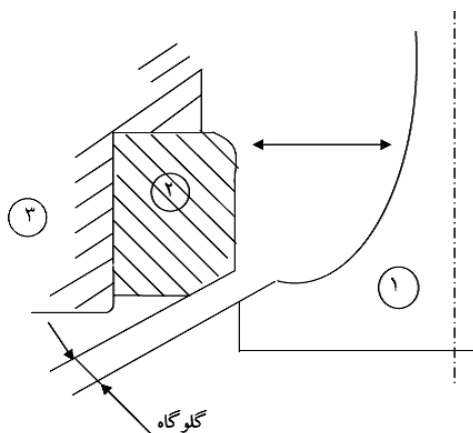
وقتی عدد ماخ کوچک باشد، فشار حاکم بر داخل سیلندر در نقطه مرگ پائین تنفس تقریباً برابر با فشار حاکم بر مجاری تنفس است، و لذا تأخیر در بسته شدن دریچه تنفس باعث عقبگرد مقداری از هوای تازه به داخل مجاری تنفس می شود. اما وقتی عدد ماخ بزرگتر می شود، به تدریج فشار داخل سیلندر در نقطه مرگ پائین، از فشار تنفس کمتر می شود و تأخیر در بسته شدن دریچه تنفس علی رغم بالا آمدن پیستون، چون $P_E > P_C$ است، باعث ادامه تنفس تا لحظه بروز $P_A = P_C$ می شود، اگر در این لحظه دریچه تنفس بسته شود، بهترین هواگیری صورت گرفته است. به این ترتیب با افزایش عدد ماخ، تأخیر لازم در بسته شدن دریچه تنفس بیشتر می شود. یادآوری می شود که در اینجا فرض شده که مجرای تنفس به اندازه کافی کوتاه است و می توان از آثار اینرسی هوا صرف نظر کرد.

۶-۶-۸- اثر طراحی مجاری مکش بر بازده حجمی

اولاً مجاری تنفس باید به گونه ای طراحی شود که گلوگاه مجرا همیشه در انتهای آن یعنی بین دریچه و نشیمنگاه دریچه، قرار گیرد (شکل ۱۰-۴) به طور کلی، مجرای تنفسی باید تا حد امکان آیرودینامیک باشد، یعنی از ایجاد زاویه و تغییرات ناگهانی در مقطع آن خودداری شود.

ثانیاً طول و قطر مجرای تنفس نسبت به طول مسیر پیستون و قطر سیلندر اهمیت فراوان دارد. به هنگام بسته شدن دریچه تنفس، موج فشار در پشت دریچه ایجاد می شود و پس از انعکاس، به طرف انتهای دیگر مجرای تنفس که جومحیط (یا دیواره فشار ثابت) است میرود. و از آنجا باز منعکس می شود و به طرف دریچه روی می آورد. اگر رسیدن این موج فشار مصادف با باز شدن دریچه تنفس در دوربعدهی شود، بهبود قابل توجهی در تنفس حاصل می شود و می گوئیم بین مجرای تنفسی و

سرعت دورانی تطابق حاصل شده است. البته این تطابق فقط برای یک سرعت دورانی معین رخ می دهد. علت اساسی این خاصیت، اینرسی هوا و قابلیت تراکم آن است. در سرعت دورانی کم، در مجراهایی که نسبت طول به قطرشان بزرگ است، به علت ازدیاد انرژی جنبشی هوا در آخر تنفس، بازده تنفس افزایش می یابد. ولی اگر سرعت دورانی زیاد باشد، در اثر انقباض چشمگیر جریان هوا در مجاری نسبتاً تنگ، نتایج خوبی بدست نمی آید. هرچه طول مجرا کوچکتر باشد، بهبود نسبت به حالتی که طول مجرا صفر است کمتر می شود ولی این بهبود در دامنه گسترده تری از تغییرات سرعت دورانی باقی می ماند. در مورد موتورهای چند سیلندر، تطابق مشکلتر بدست می آید و خصوصاً باید تقاطع امواج حاصل از سیلندرها را در نظر گرفت.



شکل (۴-۱۰) ۱- سوپاپ ۲- سیت ۳- سر سیلندر

۹-۶-۴- اثر طراحی مجاری تخلیه بر بازده حجمی

در اثر باز شدن دریچه تخلیه، موجی در مجاری تخلیه به حرکت می افتد که پس از انعکاس روی دیواره فشار - ثابت (جو محیط)، به طرف دریچه تخلیه باز می گردد. بنابراین فشار حاکم بر حوالی دریچه تخلیه در مرحله آخر تخلیه، وابسته است: به سرعت دورانی موتور، طول مجاری تخلیه و حالت گازهای سوخته شده. به این ترتیب با یک انطباق صحیح، فشار گازها در آخر مرحله تخلیه کمتر از فشار حاکم بر مجاری تنفس می شود. در واقع اثر امواج تخلیه بر فشار نهایی گازهای سیلندر، در آخر مرحله تخلیه ضعیف است و بنابراین اثر طراحی مجاری از این لحاظ بر بازده تنفسی کم است. البته بهبود طراحی مجاری تخلیه باعث کاهش اتلاف کار در طول مرحله تخلیه و در نتیجه بهبود بازده گرمایی موتور می شود.

۱۰-۶-۴- اثر طراحی بادامکها بر بازده حجمی

از لحاظ نظری، بهتر است باز و بسته شدن دریچه ها به صورت ناگهانی و نزدیک به نقاط مرگ انجام گیرد تا هم امکان بیشتری برای هواگیری فراهم آید و هم از تخلیه زودرس در مرحله انبساط جلوگیری شود. زیرا وجود آوانس در تخلیه، یعنی باز شدن دریچه قبل از مرگ پایین، موجب هدر رفتن مقداری فشار که می توانست صرف کار شود می گردد.

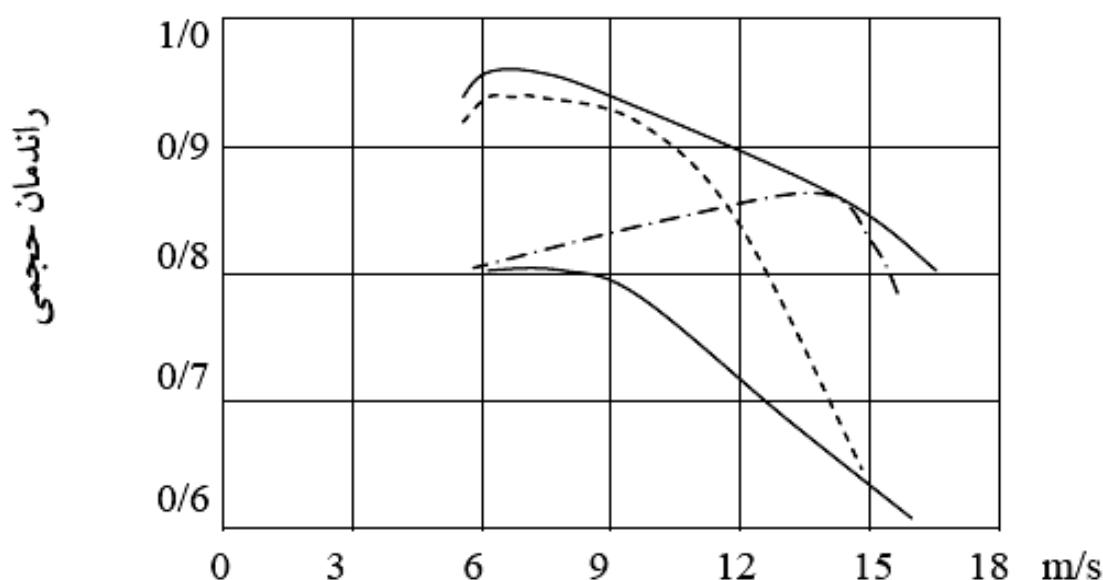
ولی عملاً طراحی بادامکها به صورت مستطیل امکانپذیر نیست. از طرف دیگر به تجربه ثابت شده است که اگر گشودگی حداکثر L_M را بیش از حد معینی (که نزدیک به یک چهارم قطر دریچه است) قرار دهیم، بهبود چندانی از لحاظ بازده تنفسی حاصل نمی شود. بلکه به محدودیتهای هندسی و مقاومتی نزدیک می شویم.

از طرف دیگر، باز شدن ناگهانی دریچه تنفس چندان لزومی هم ندارد. زیرا در حوالی نقطه مرگ بالا سرعت پیستون کم و بنابراین جریان هوا بسیار کند است و احتیاج به گشودگی حداکثر نیست.

۷-۴- راندمان حجمی و تأثیر آن بر افزایش توان

راندمان حجمی که اثرات قابل توجهی بر گشتاور، توان، مصرف سوخت و آلودگی موتور دارد مهمترین مشخصه شناسایی موتور است که تابع سرعت متوسط پیستون یا دور موتور می باشد. بطوری که ابتدا با ازدیاد دور موتور مقدار آن افزایش یافته و سپس سیر نزولی پیدا می کند. این تغییرات بر زمان بسته شدن سوپاپ گاز اثر گذاشته بطوریکه لحظه بسته شدن سوپاپ گاز در درجه اهمیت در هر موتور قرار دارد.

لذا چنانچه سوپاپ گاز لحظه‌ای بعد از نقطه مرگ پایین پیستون (A: BDC) بسته شود، راندمان حجمی در دورهای کم، زیاد و با ازدیاد دور موتور مقدارش بشدت کاهش می‌یابد. (منحنی خط چین در شکل ۴-۱۱) و چنانچه سوپاپ گاز دیر بسته شود در این صورت شرایط معکوس می گردد. زیرا در دورهای بالا سرعت هوا در منیفولد گاز زیاد خواهد بود. لذا هوا و یا مخلوط سوخت و هوا با انرژی سینتیک زیادی $\frac{1}{2} MV^2$ انرژی پتانسیل گاز که به وسیله پیستون در حال تراکم است غلبه نموده و وارد سیلندر موتور می گردد.



شکل (۴-۱۱) منحنی تغییرات راندمان حجمی بر حسب سرعت پیستون

در این صورت تا زمانیکه هوا در اثر حرکت پیستون به طرف نقطه مرگ بالا (TDC) وارد سیلندر موتور می گردد، باید سوپاپ گاز باز بماند تا حتی المقدور هوای بیشتری وارد موتور گشته و راندمان حجمی را افزایش دهد. در دورهای پایین انرژی سینتیک مخلوط سوخت و هوا کم بوده و چنانچه سوپاپ هوا دیرتر بسته شود، در این صورت هوای وارد شده به سیلندر موتور مجدداً از سوپاپ گاز از طریق مجرای مکش به بیرون رانده می شود و راندمان حجمی کاهش می یابد. غیر از دو پارامتر (سرعت متوسط پیستون و زمان بسته شدن سوپاپ گاز) در تأثیر راندمان حجمی، پارامترهای دیگری هم در راندمان حجمی مؤثر می باشند از قبیل طول منیفولد مکش، همچنین امواج فشاری که توسط عملکرد پریودیک موتور پیستونی در لوله منیفولد مکش به وجود می آید. انتخاب مناسب لوله مکش، موج فشاری قبل از بسته شدن سوپاپ گاز به آنجا رسیده و هوای بیشتری وارد موتور می کند که از این طریق در موتورهای مسابقه راندمان حجمی را به بزرگتر از یک رسانده اند. همانطور که گفته شد یکی از راههای افزایش توان و گشتاور افزایش راندمان حجمی می باشد. یعنی این که ما بتوانیم در هر مرحله از تراکم، مقدار مخلوط سوخت و هوای بیشتری را وارد سیلندر بنمائیم. با افزایش دور موتور زمان برای وارد شدن

مخلوط کمتر می شود و ما شاهد کاهش راندمان حجمی می شویم. برای اینکه بتوانیم راندمان حجمی را بالا ببریم راههای متفاوتی وجود دارد از جمله توربو شارژر و سوپر شارژر نمودن موتورهای بنزینی می باشد که از طریق آنها هوا توسط پمپ گریز از مرکز به دورن سیلندر ها می رسد که در سوپر شارژر پمپ نیروی خود را از میل لنگ می گیرد و پره ها کار می کنند و در توربو شارژر پمپ از مرکز را در مسیر گازهای سوخته شده که از اگزوز خارج می شوند قرار می دهیم و گازهای سوخته شده پره های پمپ را می چرخاند. با این طریق هوا با فشار بیشتری وارد سیلندر می شود و راندمان حجمی بالا می رود. سوپر شارژر و توربو شارژر در موتورهای دیزل به کار می روند ولی در موتور های بنزینی این کار هنوز انجام نشده است.

دوم استفاده از سوپاپهای متداخل می باشد، که در بعضی از موتور ها این کار آزمایش شده و نتیجه مثبت گرفته شده است. که به طور کامل شرح داده خواهد شد. سوم، میتوان از طراحی پرفیل جدید بادامک جهت زمانبندی دقیق سوپاپها برای افزایش راندمان حجمی استفاده نمود. می توان تایمینگ سوپاپها را کنترل نمود تا سوپاپها در بهترین شرایط و زمان باز و بسته شوند و از این طریق هوا و سوخت وارده به سیلندر در شرایط ایده آل وارد سیلندر گردند و از این طریق راندمان حجمی را بالا برد. طرح افزایش راندمان حجمی موتورهای احتراق داخلی با استفاده از سوپاپهای متداخل:

یکی از پارامتر های مهم در طراحی موتورهای احتراق داخلی، راندمان حجمی است که معرف نسبت مقدار کل جرم هوا و سوخت ورودی به جرم قابل انباشت در سیلندر می باشد و مقادیر زیاد تر این پارامتر بیانگر ورود بیشتر بار به سیلندر خواهد بود که خود باعث افزایش توان و گشتاور می گردد. هدف افزایش راندمان حجمی در موتورهای احتراق داخلی می باشد که توسط سوپاپهای متداخل طراحی، ساخته و آزمایش شده است یکی از ویژگیهای این طرح قابل اجرا بودن آن بر روی موتورهای موجود با طراحی قدیمی می باشد که با اندک تغییراتی در مکانیزم حرکت سوپاپها می توان به تنفس بهتر موتور که معمولاً در دورهای بالا مطرح است دست یافت. این طرح ابتدا بر روی یک موتور تک سیلندر انجام شد که از لحاظ طراحی مکانیزم و اجزای متشکله نتیجه مثبت گرفته ولی به دلیل حجم کوچک و قدرت کم موتور، اندازه پارامترهای مؤثر با دقت لازم امکان پذیر نمی باشد.

در فاز دوم، این طرح به روی یک موتور چهار زمانه بنزینی چهار سیلندر که دارای سر سیلندر و سوپاپ از نوع F است به اجرا در آمد انجام تغییرات پیشنهادی طرح مستلزم افزایش کورس سوپاپ است که پس از بررسی طرحهای متعدد، این نیاز با تغییرات در میل بادامک به اجرا در آمده است. در مطالعه ظرفیت هوای ورودی به موتور بهتر است از شاخص مناسبی استفاده کرد که مستقل از اندازه سیلندر باشد. چنین شاخص مناسبی در موتورهای چهار زمانه بازده یا راندمان حجمی است.

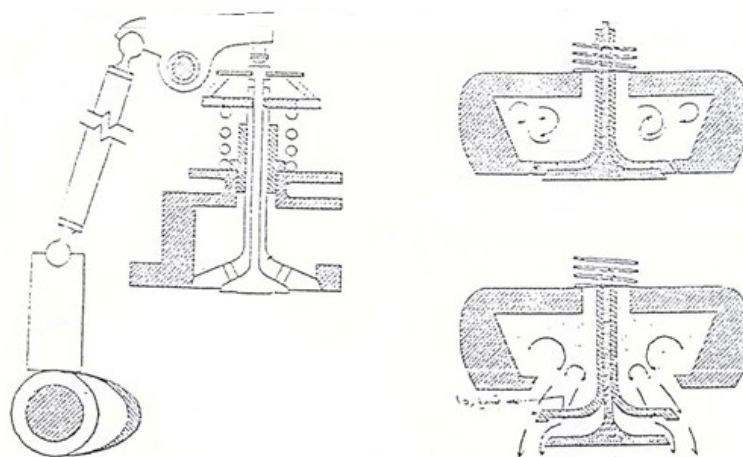
۱-۷-۴- طرح سوپاپ در سوپاپ:

ایده اصلی این طرح از روش استفاده از چند سوپاپ برای یک سیلندر اخذ شده است ولی تاکنون در دنیا اجرا نشده است و طراحی بدیع است همان طور که گفته شد برای جلوگیری از افت راندمان حجمی باید سطح ورود هوا را افزایش داد. این عمل در طرح سوپاپ در سوپاپ به وسیله ایجاد شیارهایی در بشقابک سوپاپ اصلی انجام شود. در هنگام عمل مکش توسط پیستون علاوه بر آنکه مخلوط سوخت و هوا از اطراف بشقابک سوپاپ اصلی وارد سیلندر می شود. با طی کورس سوپاپ کوچکتر از شیارهای ایجاد شده نیز هوا وارد سیلندر می شود بنابراین به حجم هوای وارده به سیلندر افزوده می شود. هنگام بسته شدن سوپاپ در لحظه تراکم و انفجار، سوپاپ اصلی مسیر اصلی هوا را مسدود نموده و سوپاپ فرعی مسیر شیارها را خواهد بست. مشکلی که این طرح دارد این است که مصرف سوخت در آن بالاست که می توان سیستمی را طراحی نمود که فقط در

سرعت‌های بالا عمل نماید و بدین ترتیب این مشکل حل شود. قبل از انجام تغییرات باید متذکر شد که نقش سیستم زمان‌بندی در موتور، تنظیم موقعیت و زمان عملکرد دریچه‌های ورودی و خروجی سیال باید به نحوی باشد که ورودی و خروجی سیال به بهترین نحو و بالاترین راندمان ممکن انجام شود.

این مکانیزم حساس زمان‌بندی و عملکرد سوپاپها را Valve Trains می‌گویند.

منظور از زنجیره سوپاپ در اتومبیل عبارت است از مجموعه اجزایی که موجب باز شدن به موقع سوپاپها می‌شود. این مجموعه عبارتند از میل بادامک، تایپت، میل تایپت، اسبک، فنر سوپاپها و سوپاپها، البته این مجموعه دارای اجزاء کوچک دیگری نیز می‌باشد، که این اجزاء از موتوری به موتور دیگر تغییر می‌کنند. طرح شماتیک زنجیره سوپاپ در شکل (۴-۱۲) ملاحظه می‌شود.



شکل (۴-۱۲) طرح شماتیک زنجیره سوپاپ

از آنجائی که در این طرح دو سوپاپ باید در داخل یکدیگر حرکت کنند بنابراین در قسمتی از حرکت، هر دو سوپاپ با یکدیگر جابجا می‌شوند و در قسمتی دیگر سوپاپ کوچکتر منحصرأ به تنهایی حرکت می‌کند. در اینجا لازم به ذکر است که در این طرح نیاز به افزایش کورس سوپاپ می‌باشد و این نیاز از راههای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بدیهی است که افزایش سوپاپ و استفاده از تنها یک سوپاپ از نقطه نظر حرکت جابجایی سوپاپ و سرعت آن باعث افزایش شدید نیروهای اینرسی و در نتیجه شکست عضو تحت تنش، یعنی سوپاپ خواهد شد. به این دلیل حرکت بین دو سوپاپ تقسیم می‌گردد و این همان ایده اصلی سوپاپهای متداخل می‌باشد. برای اینکه سوپاپهای سیستم طراحی شده دارای آبیندی مناسب باشد باید فنرها دارای قدرت و لختی مناسب باشند. به این منظور باید اطلاعاتی کافی در مورد فنرهای موتور اصلی داشته باشیم. مسأله دیگری که باید به آن توجه نمود این است که در هربار باز شدن سوپاپ ورودی، ترتیب باز شدن سوپاپ بزرگ و کوچک باید به گونه‌ای باشد که میزان هوای ورودی ماکزیمم گردد و به این دلیل سوپاپ بزرگ سهم بیشتری در وارد کردن هوا دارد بنابراین ابتدا باید سوپاپ بزرگتر باز شود که به همین دلیل در شکل فنر سوپاپ کوچک باید از فنر سوپاپ بزرگ قویتر باشد هنگامی که اسبک بر روی سوپاپ کوچک نیرو وارد می‌کند ابتدا فنر بزرگ جمع می‌شود و سپس فنر کوچک شروع به جمع شدن می‌کند بنابراین سوپاپ بزرگتر مدت زمان بیشتری باز خواهد بود.

۲-۷-۴- بررسی راندمان حجمی

مهمترین هدف سوپاپهای متداخل ارائه راهحلی برای افزایش راندمان حجمی موتورهای احتراق داخلی است حال می‌خواهیم بدانیم که روش مذکور مفید واقع شده است یا نه.

حال پرسشی که ممکن است به ذهن برسد این است که آیا حالت کورس ۹/۵mm بهتر از حالت سوپاپ در سوپاپ است؟ برای پاسخ به این پرسش باید به موارد زیر توجه نمود:

۱- در حالت کورس ۹/۵mm به علت اینکه حرکت انجام شده افزایش یافته است میزان شتاب سوپاپ نیز افزایش یافته است و با شتاب بسیار زیادی به سرسیلندر برخورد می‌کند. این شتاب زیاد نیروی زیادی را نیز ایجاد می‌نماید و باعث کاهش عمر سوپاپ می‌شود و همچنین احتمال برخورد سوپاپ به بدنه سیلندر نیز به وجود خواهد آمد و همین عوامل باعث شکست یکی از سوپاپها خواهد شد. بنابراین چنین سیستمی مناسب نخواهد بود.

۲- باید به این مسأله توجه نمود که میزان سطح هوای ورودی در حالت افزایش کورس ۹/۵mm، در حدود ۸۰٪ بیش از حالت استاندارد است ولی در حالت سوپاپ در سوپاپ میزان هوای ورودی در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد افزایش یافته است بنابراین طبیعی است که راندمان حجمی در حالت افزایش کورس بیشتر از حالت سوپاپ باشد.

۳- قسمتی از عملیات اختلاط سوخت و هوا در حین عبور از محفظه سوپاپ انجام می‌گردد و هرچه راه ورودی افزوده شود میزان این عمل ترکیب کمتر می‌شود و این موضوع ممکن است موجب افزایش آلودگی ناشی از احتراق شود. بنابراین میزان آلودگی در حالت کورس ۹/۵mm ممکن است از حالت سوپاپ در سوپاپ کمتر باشد.

۸-۴- فرآیند تبادل گاز

هدف از فرآیند ورود و خروج گاز در سیستم‌های چند ورودی و چندخروجی در انتهای هر سیکل قدرت، خروج گازهای سوخته شده و تأمین فضای لازم برای مخلوط هوا و سوخت تازه است و چنانچه ذکر گردید کیفیت فرآیند تبادل گاز را می‌توان توسط پارامتری چون راندمان حجمی در یک موتور چهارزمانه مشخص نمود به طور کلی پارامترهای مختلف در سوخت، طراحی موتور و شرایط کارکرد در بررسی راندمان حجمی مفید بوده و روی رفتار آن تأثیر خواهند داشت این پارامترها عبارتند از:

۱- نوع سوخت A/F (نسبت سوخت به هوا)، درصد سوخت تبخیر شده در سیستم مکش و گرمای تبخیر سوخت.

۲- درجه حرارت مخلوط سوخت و هوا

۳- نسبت فشار اگزوز به فشار منیفولد ورودی هوا.

۴- نسبت تراکم.

۵- سرعت موتور.

۶- طراحی خاص منیفولدهای ورودی و خروجی و شکل دریچه‌ها

۷- شکل و طراحی سوپاپهای دود و هوا از نظر اندازه و زمانبندی

از طرفی تعدادی از پارامترهایی که پیش از این ذکر گردید بیانگر اثر حرکت امواج و به عبارت دیگر نشانگر تأثیر زمان یا

سرعت موتور می‌باشند که عبارتند از:

۱- اثر افتهای اصطکاکی

۲- اثر رم Ram

۳- اثر Tuning

۴- اثر هندسه سیستمهای ورودی-طول شاخه منیفولد

۵- اثر سوپاپ و زمانبندی آن

طراحی خوب برای یک سیستم ورودی بایستی شامل موارد ذیل باشد:

۱- حداقل مقاومت در برابر جریان هوا

۲- توزیع مناسب و خوب مخلوط سوخت و هوا بین سیلندرها و شبکه‌های ورودی به آنان دارای اهمیت خاصی است.

۳- حداکثر بهره‌گیری از پدیده Ram و Tuning

۴- انتقال حرارت مناسب به سوخت ورودی به منظور ضمانت تبخیر کافی سوخت.

۹-۴- طراحی پروفیل و زمانبندی جدید بادامک جهت افزایش راندمان حجمی:

یکی از راههای افزایش راندمان حجمی مخصوصا در دورهای پایین طراحی پروفیل جدید بادامک می‌باشد که برای نیل به این مقصود، طراحی پروفیل با در نظر گرفتن زمانبندی مناسب از لحاظ سینماتیکی، دینامیکی، تنش، تحلیل و بررسی شده است. یک مکانیزم سوپاپ زمانی دارای عملکرد مناسب می‌باشد که از نظر میزان باز و بسته شدن سوپاپها و پرخورانی سیلندرها و عمل تخلیه دارای عملکردی بهینه باشد و همچنین جرمهای اجزاء مکانیزه و الحاقات آن حداقل باشد تا تنشهای ناشی از اینرسی کاهش یابد. برای بهبود بخشیدن به عملکرد موتوریک از قطعات که تأثیر بسزایی دارد میل بادامک می‌باشد. منحنی حرکت سوپاپها تابع پروفیل بادامک بوده و زوایای باز و بسته شدن آنها از پروفیل و موقعیت قرارگیری بادامکها نسبت به هم تأثیرپذیر می‌باشد.

۹-۴-۱- تحلیل سینماتیک

برای تحلیل سینماتیک با در دست داشتن مقادیر جابجایی تایپت برحسب زاویه دوران میل بادامک، سرعت و شتاب نیز بدست می‌آیند. فلوچارت زیر نشان دهنده مراحل محاسبات سینماتیکی می‌باشد.

۹-۴-۲- تحلیل تنش

وجود تنشهای بالا در اجزاء و قطعات یک سازه موجب شکست و یا تغییر شکل در قطعه خواهد شد میزان تنش به وجود آمده در قطعه تأثیرپذیر از نحوه ساخت، عملیات حرارتی و شرایط عملکردی قطعه می‌باشد. به منظور تحلیل تنش، قطعه میل بادامک از موتور انتخاب می‌شود. وظیفه میل بادامک باز و بسته کردن سوپاپهای دود و هوا می‌باشد. بنابراین در هر سیکل کاری تعدادی از بادامکها تحت نیروی وارده از مکانیزم می‌باشند بنابراین با تغییر مقدار و محل اعمال بارهای وارده به میل بادامک تنشهای مکانیکی در قطعه به وجود می‌آید. به عبارتی قطعه تحت بارهای خستگی و ارتعاشات قرار دارد. البته عمده علت آن خستگی بوده و در بادامکها در ناحیه سطحی آن می‌باشد.

به منظور تحلیل تنش استاتیکی دو بررسی صورت می گیرد.

بررسی اول تحلیل تنش استاتیکی خطی در قسمت میل بادامک به روش اجزاء محدود بررسی دوم تحلیل تنش در یک بادامک با توجه به پروفیل آن به روش موتور. مواردی که باید در طراحی پروفیل ملاحظه شود؛

۱- کاهش نیروی اینرسی که این کاهش می تواند هم با تغییر پروفیل صورت پذیرد و هم با کاهش جرم قطعات متحرک

۲- کاهش سختی فنر

۳- افزایش راندمان حجمی موتور با طراحی پروفیل جدید

۴- تغییر در زمان بندی

پروفیل جدید باید دارای خصوصیات زیر باشد:

۱- پایین بودن شتاب ماکزیم مثبت و شتاب ماکزیم منفی

۲- کاهش تکان در ابتدا و انتهای حرکت

۳- تغییر ارتفاع پیش بادامک

۴- پایین بودن سرعت بعد از نقطه پیش بادامک و قبل از شروع تغییر مکان

۱۰-۴- اثر زمان بندی سوپاپها در موتورهای احتراق داخلی به منظور کنترل و بهبود عملکرد آن:

در این نوشته از آخرین اطلاعات موجود در زمینه تغییر زمان بندی سوپاپهای موتورهای احتراق داخلی بنزین به منظور بهبود عملکرد این نوع موتورها استفاده شده و شبیه سازی ریاضی از تأثیر تغییر زمان بندی سوپاپها روی عملکرد موتور صورت می گیرد از این شبیه سازی می توان به منظور کنترل موتورهای بنزینی استفاده نمود. مهمترین عامل در زمان بندی سوپاپها زمان بسته شدن سوپاپ ورودی می باشد. آزمایشات انجام گرفته با استفاده از مکانیزم تغییر زمان بندی سوپاپ (V.V.T) نشان دهنده حساسیت عملکرد موتورهای بنزینی نسبت به این عامل می باشد تغییر زمان بندی سوپاپها یک روش بسیار پیشرفته برای بهبود عملکرد موتورهای احتراق داخلی به شمار می رود و در بهبود قدرت خروجی و آلودگی نقش به سزایی دارد و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد.

اهداف اصلی از بکارگیری V.V.T در موتورهای جرقه ای عبارتند از:

۱- افزایش قدرت خروجی

۲- بهبود بازده

۳- کاهش آلودگی

اثرات دینامیکی که در هنگام تعویض گاز اتفاق می افتد و تابعی از سرعت موتور می باشد، باعث می شود سوپاپهای موتوری که برای ماکزیم گشتاور در سرعت متوسطی طراحی شده است برای مدت کوتاهی باز شوند و این سوپاپها دارای همپوشانی کوچکتري نسبت به موتوری که برای ماکزیم گشتاور در سرعت بالاتر طراحی شده است باشند. در حالی که همپوشانی بزرگ باعث بهبود عملکرد موتور در سرعتهای بالا می گردد، در سرعتهای متوسط اثرات نامطلوبی را در بردارد. از طرف

دیگر همپوشانی بزرگ باعث می‌شود به سبب وجود فشار زیر اتمسفر در منیفولد ورودی، ترکیب مطلوبی از مخلوط ورودی و محصولات احتراق خروجی در محفظه احتراق به وجود آید.

گونه‌های متعددی از مکانیزم V.V.T وجود دارد که به طور کلی می‌توان آنها را به سه گروه مکانیکی، هیدرولیکی و الکتریکی تقسیم بندی نمود.

مکانیزم V.V.T اغلب برای موتورهای که میل بادامک آنها برای ماکزیمم گشتاور در سرعت زیاد طراحی شده باشد به کار می‌رود. بهبود بازده با استفاده از V.V.T ناشی از سه عامل است که عبارتند از:

۱- حذف یا کاهش تلفات حاصل از کنترل جریان

۲- کنترل همپوشانی سوپاپها برای کاهش تداخل فرآیندهای مکش و تخلیه

۳- افزایش بازده حجمی و کنترل بهتر روی فرآیند احتراق.

۱۱-۴- بازده حجمی و شبیه‌سازی موتورهای احتراق داخلی:

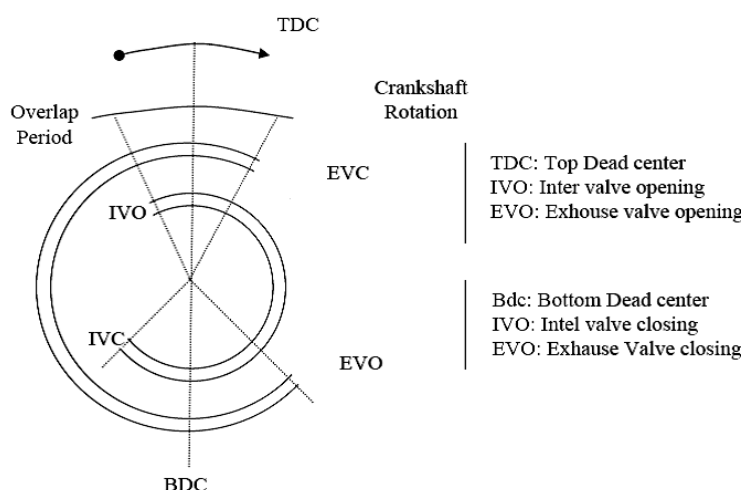
یکی از پارامترهایی که در بهبود وضعیت عملکرد موتورهای جرقه‌ای نقش مهمی را برعهده دارد، بازده حجمی می‌باشد بازده حجمی عبارت است از مقدار جرم مخلوط تازه که در فرآیند مکش وارد سیلندر می‌شود تقسیم بر جرم مخلوطی که می‌بایست حجم جابجا شده پیستون را با دانسیته ورودی پر کند. به صورت جبری بازده حجمی از رابطه:

$$\eta_v = \frac{2M}{NV_d \rho_i}$$

که در این رابطه، M جرم مخلوط تازه ورودی به سیلندر، ρ دانسیته مخلوط ورودی، V_d حجم جابجایی، N دور موتور است.

۱۲-۴- زمان بندی سوپاپها

شکل (۱۳-۴) نحوه زمان بندی سوپاپها را نشان می‌دهد. برای بهبود عملکرد موتورهای بنزینی زمان‌بندی سوپاپها به صورتی تغییر می‌یابند که بتوان برای هر ترکیبی از بار و سرعت وضعیت مناسب را اختیار نمود.



شکل (۱۳-۴) دیاگرام زمان‌بندی سوپاپها

۱-۱۲-۴- زمان باز شدن سوپاپ ورودی (IVO)

این زمان از دوجت حائز اهمیت است؛ یکی از نقطه نظر اینکه شروع فرآیند مکش می‌باشد و دیگر اینکه ابتدای همپوشانی سوپاپهای ورودی و خروجی نیز در این زمان اتفاق می‌افتد. در اثر اختلاف فشار بین محفظه احتراق و منیفولد ورودی، جریان از داخل سیلندربه منیفولد ورودی هدایت می‌شود. سپس بعد از اینکه فشار سیلندربه مقدار کمتر از فشار منیفولد ورودی تقلیل یافت مخلوط ناشی از گازهای سوخته شده و همچنین هوا و سوخت تازه وارد سیلندر می‌شود. تأخیر در IVO تا هنگامی که فشار منیفولد ورودی و سیلندر یکسان شود باعث ایزوله شدن منیفولد ورودی از فضای سیلندر می‌شود. معمولاً IVO در BTDC، ۱۰ تا ۲۵ درجه اتفاق می‌افتد با نتایج آزمایشگاهی و تحلیل نشان داده شده است که عملکرد موتور نسبت به این زمان حساس نمی‌باشد.

۲-۱۲-۴- زمان بسته شدن سوپاپ ورودی (IVC)

این زمان اغلب بعد از BDC اتفاق می‌افتد و تا وقتی ادامه می‌یابد که فشار سیلندر کمتر از فشار منیفولد ورودی باشد. به تأخیر انداختن IVC باعث می‌شود بازده حجمی در سرعتهای بالا افزایش یابد، در حالی که در سرعتهای پایین کاهش می‌یابد در سرعتهای پایین که فشار منیفولد ورودی و فشار سیلندر در BDC یکسان می‌باشد تا قبل از اینکه IVC اتفاق افتد قسمتی از مخلوط تازه به داخل منیفولد ورودی بازمی‌گردد. مقادیر متداول برای IVC، ABDC، ۴۰ تا ۶۰ درجه می‌باشد زمان بسته شدن سوپاپ ورودی باید با زمان ماکزیمم فشار منیفولد هماهنگ باشد.

۳-۱۲-۴- زمان بسته شدن سوپاپ خروجی (EVC)

این زمان نه تنها خاتمه فرآیند تخلیه را نشان می‌دهد بلکه نشان‌دهنده انتهای همپوشانی سوپاپها نیز می‌باشد (EVC). معمولاً بین ATDC، ۸ تا ۲۰ درجه اتفاق می‌افتد. در هنگام همپوشانی سوپاپهای ورودی، مقداری از گازهای سوخته از خروجی به محفظه سیلندر برگشت می‌کند. بنابراین EVC عاملی برای کنترل همپوشانی سوپاپها می‌باشد. تأخیر در EVC باعث کاهش بازده حجمی در سرعتهای پائین می‌شود.

۴-۱۲-۴- زمان باز شدن سوپاپ خروجی (EVO)

این زمان در انتهای مرحله انبساط قرار می‌گیرد. مناسب‌ترین موقع برای انتخاب زمان EVO هنگامی است که فشار سیلندر تا نزدیکی فشار منیفولد خروجی کاهش یافته است. از بررسی نتایج تجربی و آزمایشگاهی می‌توان چنین نتیجه گرفت که مؤثرترین عامل در بازده حجمی، زمان بسته شدن سوپاپ ورودی IVC و همپوشانی سوپاپها می‌باشد. روش سوپاپ در سوپاپ برای بالا بردن راندمان حجم در مرحله تنفس انجام می‌گیرد و باعث ازدیاد توان خروجی موتوری گردد. بررسی روی نتایج آزمایشگاهی و نتایج تحلیلی که در مقالات مختلف آورده شده است نشان می‌دهد که عملکرد موتور نسبت به تغییر زمان بسته شدن سوپاپ ورودی بسیار حساس می‌باشد. از این رو مهمترین عامل مؤثر برای بازده حجمی است.