دانشگاه فنی و حرفه ای آذربایجان شرقی

(آموزشکده فنی شماره دو تبریز)

دوره کارشناسی ناپیوسته مهندسی تکنولوژی خودرو

جزوه درس کاربرد تکنولوژی پیشرفته در صنعت خودرو و کارگاه

مهندس محمدعلی مصری

پاییز ۹۷

مطالب این جزوه طبق سرفصل آموزشی در پنج فصل زیر دسته بندی شده است

الف) مکانیکال موتور پیشرفته (VGT - VIS - VVT – VCR)

دستگاه های پرخوران (سوپرشارژ، توربوشارژ و اینترکولر) 4

سیستم هوارسانی پیشرفته (مانیفولدهای متغیر) 17

سیستم محرک سوپاپ پیشرفته (زمانبندی و خیز متغیر سوپاپها) 32

نسبت تراکم متغیر (انواع طرح های سیستم) 53

ب) مدیریت موتور پیشرفته (Knock - GDI - EGR - DPF)

شناخت ناک و ضربه (معایب و کنترل آن) 63

سوخت رسانی تزریق مستقیم (حالات کاری و انژکتور) 66

کنترل آلایندگی (بازخورانی گازهای سوخته، پاشش آمونیاک، فیلتر دوده و تزریق هوا) 84

ج) انتقال قدرت پیشرفته (DCT - CVT - LSD - 4WD)

گیربکس دوکلاچه (نحوه عملکرد) 100

گیربکس متغیر پیوسته (انواع طرح های سیستم) 103

دیفرانسیل های ضد لغزش (ویسکوکلاچ، گشتاورشناس، قفل شونده و کنترل الکترونیکی) 107

سیستم های دو دیفرانسیل (چهارچرخ محرک، همه چرخ محرک و دیفرانسیل میانی) 111

د) هدایت و تعلیق پیشرفته (ECS - MDPS - Aerodynamic)

تعلیق فعال (الکترونیکی، پنوماتیکی، هیدرواکتیو و کنترل فعال) 118

فرمان برقی (نحوه عملکرد و اجزای سیستم) 127

ایرودینامیک (نیروهای وارده و طرح های بهبود یافته) 136

ه) ایمنی و کنترل پیشرفته (ABS - TCS - EBD - ESP - Airbag - SRS)

ترمزهای پیشرفته (ضد قفل، کنترل کشش و توزیع نیروی الکترونیکی) 138

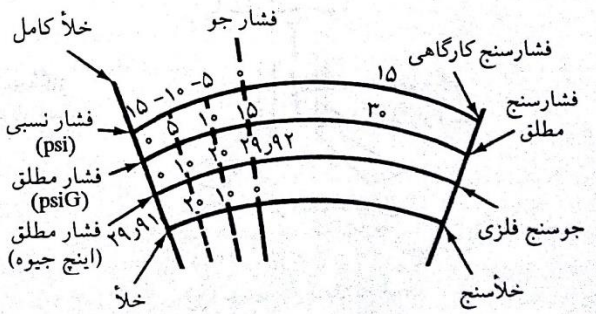
برنامه کنترل پایداری (نحوه عملکرد و اجزای سیستم) 155

کیسه هوا (نحوه عملکرد و اجزای سیستم) 161

سیستم ایمنی تکمیلی (انواع طرح های سیستم) 172

➢ ۱۴-۲ هواکشیِ واداشته

توان موتور در سرعت مفروض وقتی بیشتر است که مخلوط هوا ـ سوخت بیشتری به درون سیلندرها رانده شود. ورود مخلوط هوا ـ سوخت بیشتر به سیلندرها به معنای فشار بیشتر در حرکت انبساط و در نتیجه توان خروجی بیشتر است. استفاده از پمپ برای راندن مقدار بیشتری مخلوط هوا ـ سوخت در سیلندرها را ***هواکشیِ واداشته*** می‌نامند. هواکشی واداشته یکی از



شکل ۱۴-۲ مقیاسهای نشان‌دهندهٔ رابطه بین خلأ و فشار.

روشهای افزایش بازده حجمی است (➢ ۱۱-۱۲). موتوری که براساس هواکشی واداشته کار می‌کند می‌تواند از موتور مشابه که هواکشی طبیعی داشته باشد، در حدود ۳۵ تا ۶۰ درصد بیشتر توان تولید کند.

هواکشی واداشته را می‌توان به کمک ***سوپرشارژکن*** (➢ ۱۴-۳) یا ***توربوشارژکن*** (➢ ۱۴-۷) انجام داد. سوپرشارژکن و توربوشارژکن پمپ هوا یا ***دمنده‌اند*** و می‌توانند مقدار بیشتری مخلوط هوا ـ سوخت را به داخل موتور برانند. در این حالت در منیفولد بنزین به جای مکش، فشار وجود دارد. این فشار را ***فشار تقویتی*** می‌نامند. وقتی موتور به فشار تقویتی نیازمند نباشد، به حالتی تقریباً مانند موتورهای با هواکشی طبیعی کار می‌کند. درنتیجه با استفاده از موتوری کوچک می‌توان در حالت عادی در مصرف سوخت صرفه‌جویی کرد و در هنگام نیاز به اندازهٔ موتوری بزرگ از آن کار کشید.

ساختمان و طرز کار سوپرشارژکن با توربوشارژکن تفاوت دارد. یکی از تفاوتهای اساسی آنها در نحوهٔ به حرکت درآمدن است. سوپرشارژکن به صورت مکانیکی و به وسیلهٔ تسمه یا زنجیر از میل‌لنگ نیرو می‌گیرد. توربوشارژکن را دود خروجی از موتور به کار می‌اندازد.

سوپرشارژکنها

➢ ۱۴-۳ انواع سوپرشارژکنها

در چند نوع خودرو قدیمی از سوپرشارژکن استفاده می‌شد، اما راننده‌ها از سروصدای آن و مصرف سوخت زیاد شکایت داشتند. به تدریج توربوشارژکن جای آن را گرفت. اما به تازگی و به سبب وجود ***پس‌افت توربو*** (➢ ۱۴-۱۰)، بعضی از خودروسازان دوباره به سوپرشارژکن رو آورده‌اند و در موتورهای پرقدرت به جای توربوشارژکن از آن استفاده می‌کنند. جوابدهی سوپرشارژکن فوری است و بلافاصله پس از فشردن پدال گاز واکنش نشان می‌دهد. در سوپرشارژکنهای جدید سروصدا و مصرف سوخت هم کاهش یافته است.

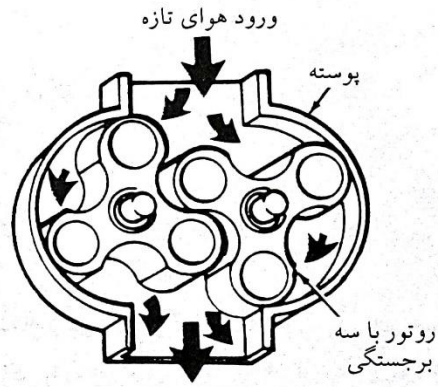
سازندگان خودرو از دو نوع سوپرشارژکن استفاده می‌کنند: ***سوپرشارژکن روتس*** (➢ ۱۴-۴) و ***سوپرشارژکن مارپیچی*** (➢ ۱۴-۶).

➢ ۱۴-۴ سوپرشارژکن روتس

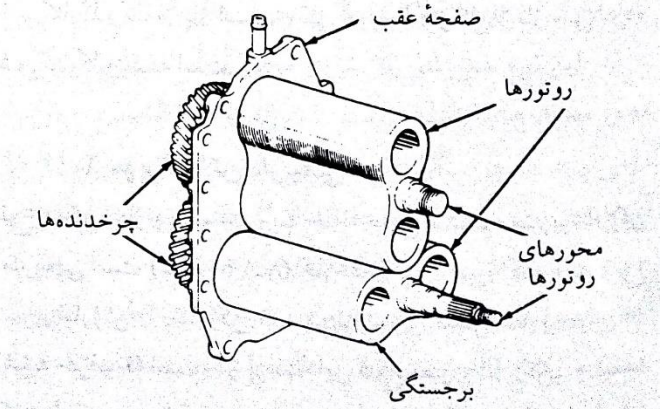
سوپرشارژکن روتس از انواع دیگر رایجتر است (شکل ۱۴-۳). این سوپرشارژکن دو روتور طویل دارد که داخل پوسته‌ای می‌چرخند. هر روتور دو یا سه برجستگی دارد (شکل ۱۴-۴) که مستقیم یا حلزونی‌اند. روتورها به وسیلهٔ چرخدنده باهم درگیر می‌شوند و به وسیلهٔ تسمه یا زنجیر از میل‌لنگ نیرو می‌گیرند. دور سوپرشارژکن دو تا سه برابر دور موتور است.

کاربراتور یا واحد سوخت‌پاشی در بدنهٔ دریچهٔ گاز معمولاً در سمت ورودی هوای سوپرشارژکن نصب می‌شود (شکل ۱۴-۵). مخلوط هوا ـ سوخت از سوپرشارژکن می‌گذرد. اما در صورتی که از سیستم سوخت‌پاشی در دریچهٔ بنزین استفاده شود، فقط هوا از سوپر شارژکن عبور می‌کند.

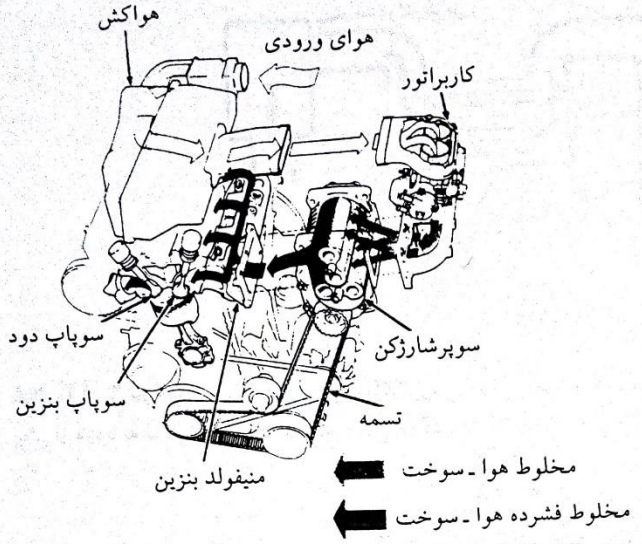
در شکل ۱۴-۶ نحوهٔ عبور هوای ورودی از سوپرشارژکن روتس، برای سیستم سوخت‌پاشی در دریچهٔ بنزین نشان داده شده است. هوا از هواکش و ***جریان‌سنج*** یا ***حسگر جریان هوا*** (فصل ۱۵)



شکل ۱۴-۳ جریان هوای عبوری از سوپرشارژکن روتس با روتورهای دارای سه برجستگی.



شکل ۱۴-۴ روتورهای درگیر سوپرشارژکن روتس که روتورهای مستقیم با دو برجستگی دارد.



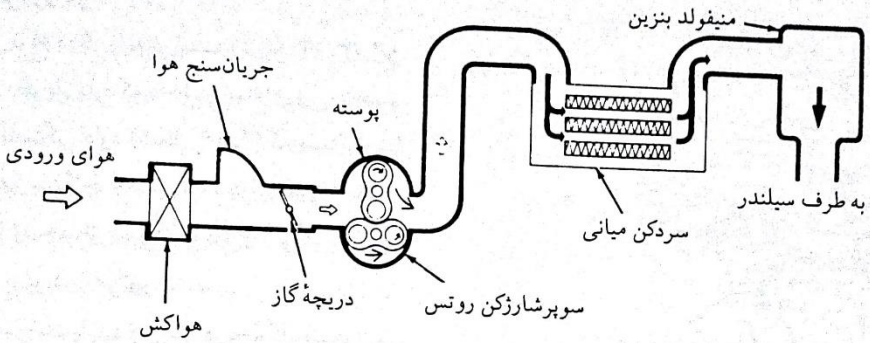
شکل ۱۴-۵ جریان هوای عبوری از موتوری که کاربراتور آن در طرف ورودی هوای یک سوپرشارژکن روتس که با تسمه به‌کار می‌افتد، نصب شده است.

عبور می‌کند. این حسگر مقدار هوای ورودی به موتور را به‌کامپیوتر موتور اطلاع می‌دهد. سپس هوا از دریچهٔ گاز عبور می‌کند و وارد سوپرشارژکن می‌شود.

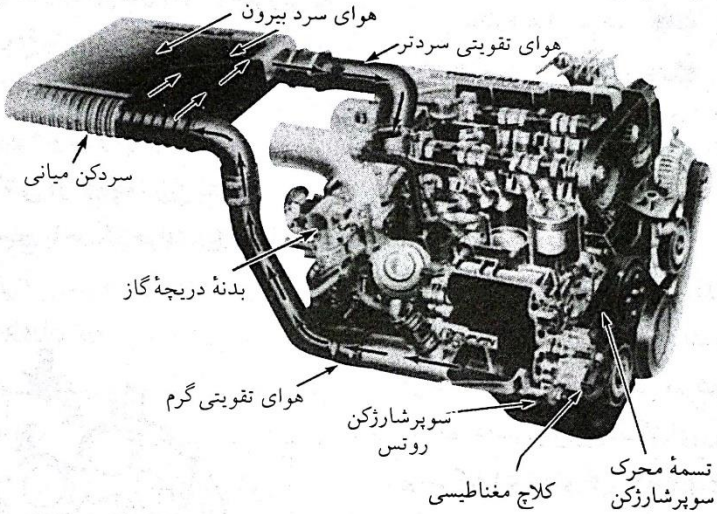
هوا فضای بین برجستگیهای روتورها وپوستهٔ سوپرشارژکن را پر می‌کند (شکلهای ۱۴-۳ و ۱۴-۶). روتورها هوای به دام افتاده را دورپوسته‌می‌چرخانند و به دریچه‌های خروجی‌می‌رسانند. سپس روتورهای درگیر هوا را با فشار بیرون می‌رانند و آن را به داخل منیفولد بنزین(شکل ۱۴-۳)یا ***سردکن میانی***می‌فرستند (➢۱۴-۹). ***هوای تخلیه‌شده*** از سوپرشارژکن یا ***هوای تقویت‌شده*** (شکل ۱۴-۷) به هوای جلوتر از خود فشار وارد می‌کند. در نتیجه در سیستم هواکشی واداشته ***فشار منیفولد*** یا ***فشار تقویتی*** ایجاد می‌شود.

توجه گاهی فشار را بر حسب ***بار*** یا ***اتمسفر*** بیان می‌کنند. منظور از این اشاره ***فشار بارومتری*** (بار) و ***فشارجو*** (اتمسفر) است. یک بار یا یک اتمسفر تقریباً برابر ۱۴٫۷ پوند بر اینچ مربع است. مثلاً فشار تقویتی ۱۲ پوند بر اینچ مربع که در بالا ذکر شد معادل ۰٫۸ بار یا ۰٫۸ اتمسفر است.

سوپرشارژکن روتس نوعی پمپ هوا با جابه‌جایی مثبت است (➢۱۳-۷). وقتی دریچهٔ گاز باز است، در هر دور چرخش روتورها مقدار مساوی هوا وارد منیفولد بنزین می‌شود. مقدار هوای ورودی به منیفولد به دور موتور بستگی ندارد. در یک نوع موتور، حداکثر فشار تقویتی به میزان تقریباً ۸۲٫۸ کیلو پاسکال



شکل ۱۴ـ۶ جریان هوای گذرا از سوپرشارژکن روتس که روی موتور با سیستم سوخت‌پاشی دردریچهٔ بنزین نصب می‌شود. هوا پس از خروج از سوپرشارژکن و پیش از ورود به منیفولد بنزین از سردکن میانی می‌گذرد.



شکل ۱۴ـ۷ سوپرشارژکن روتس با کلاچ مغناطیسی و سردکن میانی که روی موتور دو میل‌سوپاپ‌رو نصب شده است.

(۱۲ پوند بر اینچ مربع) در حدود دور موتوری معادل ۴۰۰۰ دور در دقیقه حاصل می‌شود. سرعت چرخش نظیر سوپرشارژکن ۱۰۴۰۰ دور در دقیقه است.

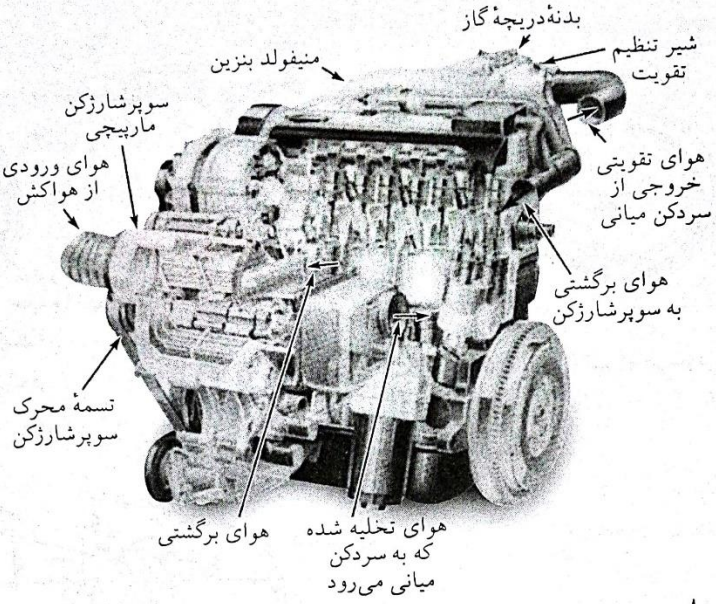
➢ ۱۴ـ۵ کاهش نیروی مقاوم سوپرشارژکن

به‌کار انداختن سوپرشارژکن، به ویژه زیربار کامل، سبب مصرف توان موتور می‌شود. این اتلاف توان را ***اتلاف سرباری*** می‌نامند. بعضی از سوپرشارژکنها برای کاهش میزان اتلاف سرباری ***کلاچ مغناطیسی*** دارند (شکل ۱۴ـ۷). این کلاچ راکامپیوتر موتور کنترل می‌کند و کار آن درگیر کردن و خلاص کردن سوپرشارژکن در هنگام لزوم است. وقتی بار موتور کم باشد سوپرشارژکن خلاص می‌شود.

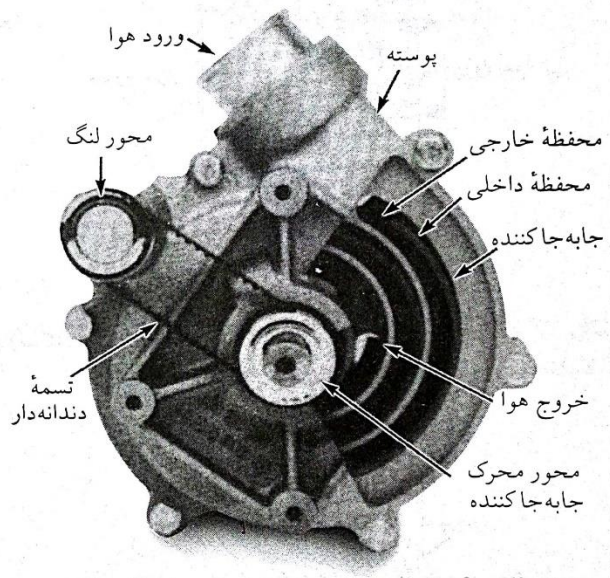
روش دیگرِ کاستن از نیروی مقاوم سوپرشارژکن استفاده از ***شیر تنظیم تقویت*** (شکل ۱۴ـ۸) یا ***شیر کنارگذر*** است. وقتی دریچهٔ گاز نیمه‌باز باشد در منیفولد بنزین خلأ ایجاد می‌شود. در این هنگام شیر کنارگذر مقداری از هوای خارج شده از سوپرشارژکن را به ورودی آن باز می‌گرداند. در نتیجه قدرت موتور بیشتر و مصرف سوخت کمتر می‌شود. شیر کنارگذر یا براساس خلأ ایجادشده درمنیفولد بنزین و یا به وسیلهٔ میله‌بندی گاز کنترل می‌شود. وقتی موتور درجا کار می‌کند (دریچهٔ گاز بسته است) شیر کنارگذر کاملاً باز است. وقتی دریچهٔ گاز کاملاً باز می‌شود، شیر کنارگذر بسته است.

➢ ۱۴ـ۶ سوپرشارژکن مارپیچی

نوع دیگری از پمپ هوا با جابه‌جایی مثبت، ***سوپرشارژکن مارپیچی*** است (شکل ۱۴ـ۸). کارخانهٔ فولکس‌واگن این نوع سوپرشارژکن را «شارژکن G» می‌نامد زیرا شکل مارپیچهای آن شبیه حرف G است. در پوستهٔ این نوع سوپرشارژکن، ***جابه‌جا کننده‌ای*** وجود دارد که در داخل مارپیچها حرکت می‌کند و هوا را فشرده می‌سازد (شکل ۱۴ـ۹). این جابه‌جا کننده نمی‌چرخد،



شکل ۱۴-۸ موتور با سوپرشارژکن مارپیچی که به وسیلهٔ تسمه به‌کار می‌افتد و آنرا «شارژکن G» می‌نامند.



شکل ۱۴-۹ ساختمان و سیستم محرک سوپرشارژکن مارپیچی.

بلکه حرکت خارج از مرکز (لنگ) دارد.

در این نوع سوپرشارژکن از دو محور لنگ استفاده می‌شود. **محور محرک جابه‌جاکننده** (شکل ۱۴-۹) جابه‌جاکننده را به حرکت درمی‌آورد. محور دیگر مانع چرخش جابه‌جاکننده می‌شود. با استفاده از یک تسمهٔ تنظیم دندانه‌دار کوچک، رابطهٔ چرخشی دو محور حفظ می‌شود تا محورها **همفاز** بچرخند.

جابه‌جاکننده هوای ورودی را بین دو **محفظهٔ** داخلی و **خارجی** تقسیم می‌کند. با چرخش محور جابه‌جاکننده (شکل ۱۴-۱۰) بادامکهای روی محور، جابه‌جاکننده را به حرکت دایره‌ای وامی‌دارند. در نتیجه محفظه‌های داخلی و خارجی که به وسیلهٔ مارپیچها تشکیل می‌شوند باز و بسته می‌شوند. در نتیجهٔ این عمل هوا به دام می‌افتد، فشرده می‌شود و از مجراهای تخلیهٔ واقع در حوالیِ مرکز پمپ بیرون رانده می‌شود.

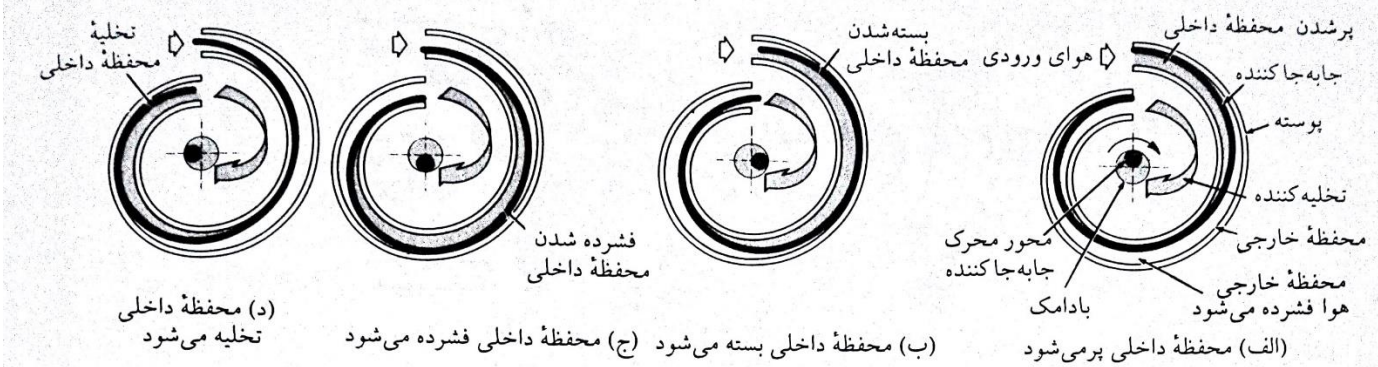
توربوشارژکنها

➢ ۱۴-۷ ساختمان و طرزکار توربوشارژکن

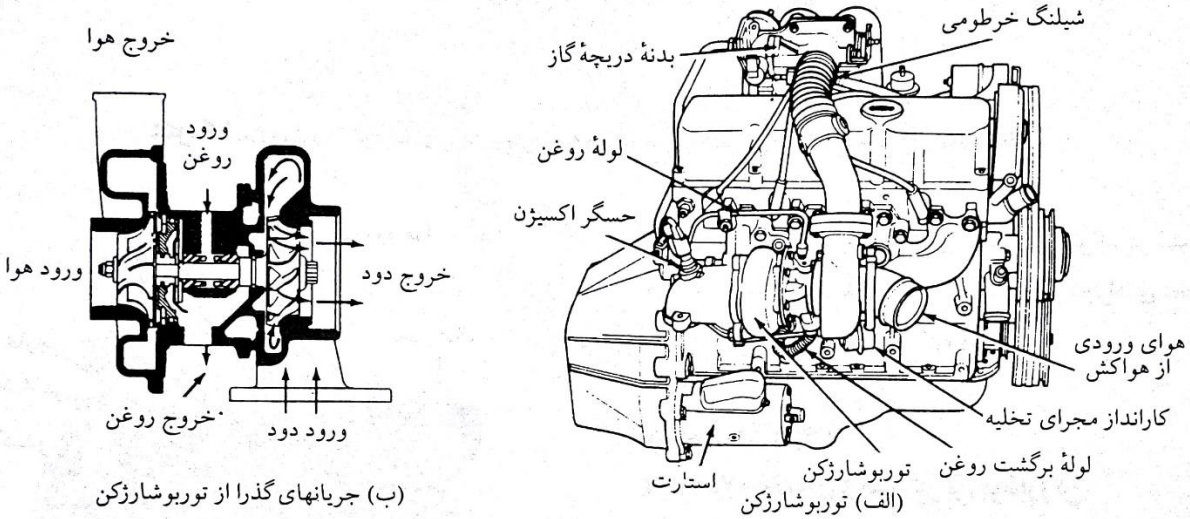
توربوشارژکن (شکل ۱۴-۱۱) یک پمپ هوای گریز از مرکز (سانتریفوژ) است که به وسیلهٔ دود موتور به‌کار می‌افتد. این پمپ مقداربیشتری هوا یا مخلوط هوا ـ سوخت را به داخل موتور می‌راند. در نتیجه فشار احتراق و توان موتور افزایش می‌یابد.

در شکلهای ۱۴-۱۱ (ب) و ۱۴-۱۲ جریان هوا و دود عبوری از توربوشارژکن نشان داده شده است. دو موتور یا چرخ ــ یک **کمپرسور** و یک **توربین** ــ روی دو سر یک محور نصب شده‌اند. این محور و چرخها **مجموعهٔ چرخ و محور** را تشکیل می‌دهند. وقتی موتور روشن است دود وارد توربین می‌شود. دود ورودی به توربین به تیغه‌ها برخورد می‌کند و توربین را می‌چرخاند به طوری که سرعت چرخش آن به ۱۲۰۰۰۰ دور در دقیقه یا بیشتر می‌رسد. کمپرسور هم روی همین محور نصب شده است، بنابراین با همین سرعت می‌چرخد. وقتی کمپرسور می‌چرخد ـ هوای تازه را به درون می‌کشد، آن را فشرده می‌کند و سپس هوای فشرده را بیرون می‌راند تا وارد منیفولد بنزین شود.

به دلیل بالابودن سرعت چرخش محور توربوشارژکن باید از یاتاقانهای آن مراقبت ویژه‌ای به عمل آید. معمولاً جریان



شکل ۱۴-۱۰ طرز کار سوپرشارژکن مارپیچی.



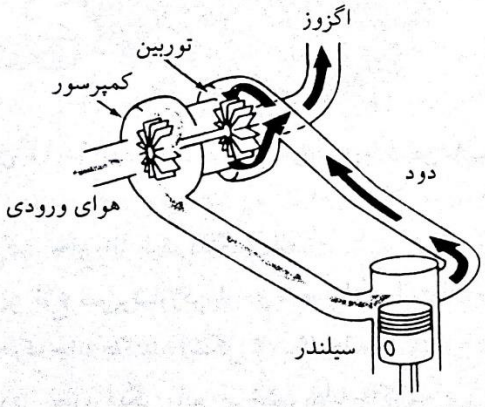
شکل ۱۴-۱۱ (الف) توربوشارژکن نصب شده روی یک موتور چهارسیلندر. (ب) جریان هوا و روغنکاری توربوشارژکن.

یکنواختی از روغن موتور در این یاتاقانها جریان دارد (شکل ۱۴-۱۱). در نتیجه یاتاقانها خنک و چرب می‌مانند. دربعضی از موتورها، مایع خنک‌کنندهٔ موتور (آب) از پوستهٔ یاتاقانها می‌گذرد تا به سرد کردن یاتاقانها و روغن موتور کمک کند.

➢ ۱۴-۸ مجرای تخلیهٔ توربوشارژکن

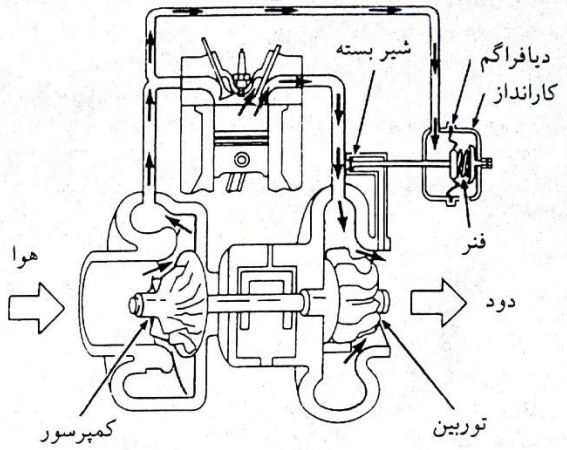
توربوشارژکن می‌تواند فشار تقویتی را تا جایی افزایش دهد که سبب وقوع انفجار (➢۱۲-۴) و آسیب دیدن موتور شود. برای محدودکردن فشار تقویت و جلوگیری از ***تقویت اضافی***، بیشتر توربوشارژکنها یک ***مجرای تخلیه*** دارند (شکل ۱۴-۱۳). مجرای تخلیه شیری است که وقتی فشار تقویت به میزان معین می‌رسد باز می‌شود. در این هنگام بخشی از دود وارد توربین نمی‌شود و از مجرای تخلیه عبور می‌کند. این دود «تلف» می‌شود زیرا به چرخش توربین کمک نمی‌کند.

مجرای تخلیه با هوای فشرده یا به وسیلهٔ کامپیوتر کنترل

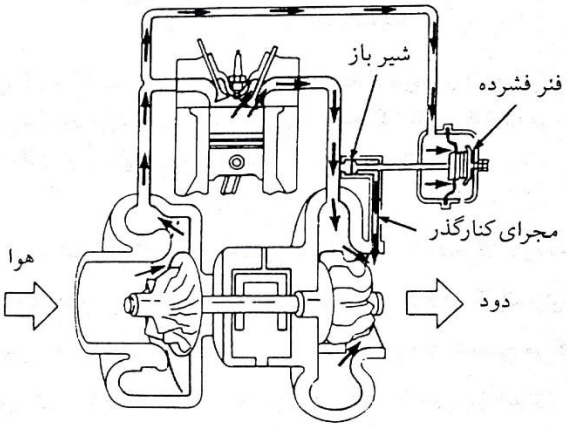


شکل ۱۴-۱۲ طرز کار توربوشارژکن. دود توربین را می‌چرخاند و سبب چرخاندن کمپرسور می‌شود.

می‌شود. در شکل ۱۴-۱۳ طرز کار ***مجرای تخلیه پنوماتیکی*** نشان داده شده است (***پنوماتیکی*** یعنی آنچه با هوای فشرده کار می‌کند). وقتی فشار تقویتی از نیروی فنر دیافراگم کارانداز بیشتر شود فنر فشرده می‌شود (شکل ۱۴-۱۳ ب). در نتیجه ***مجرای کنارگذر***

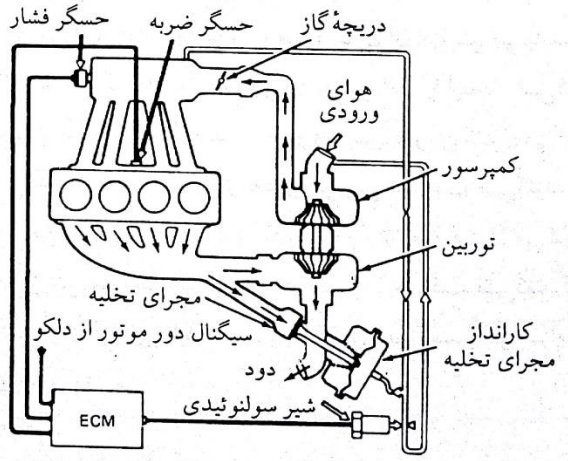


(الف) مجرای تخلیه بسته است



(ب) مجرای تخلیه باز است

شکل ۱۴-۱۳ طرز کار مجرای تخلیهٔ توربوشارژکن که فشار تقویتی را به‌کمک هوای فشرده محدود می‌کند.



شکل ۱۴-۱۴ موتور توربوشارژکن‌دار با مجرای تخلیهٔ کامپیوتری.

مجرای تخلیه باز می‌شود. افزایش سرعت توربین دیگر امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین فشار تقویتی محدود می‌شود.

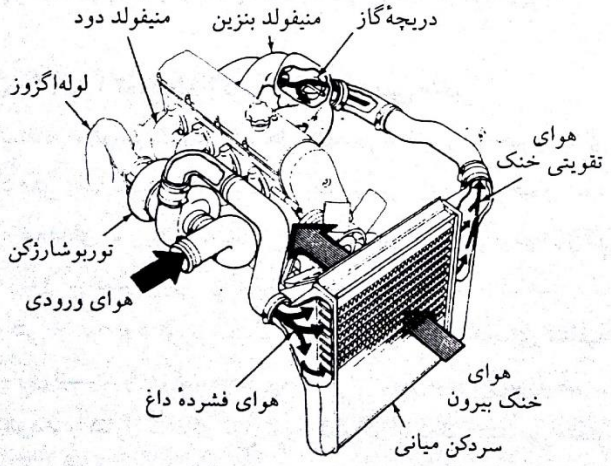
در منیفولد بنزین موتورهایی که مجرای تخلیهٔ آنها با کامپیوتر کنترل می‌شود یک *حسگر فشار* وجود دارد (شکل ۱۴-۱۴). وقتی فشار تقویتی بیش از اندازه بالا می‌رود، این حسگر به‌کامپیوتر موتور سیگنال می‌فرستد. کامپیوتر موتور *شیر سولنوئیدی* را کاراندازی می‌کند که کار آن کنترل *کارانداز مجرای تخلیه* است. این کارانداز مجرای تخلیه را باز می‌کند.

➢ ۱۴-۹ سردکن میانی

وقتی هوا فشرده می‌شود دمای آن افزایش می‌یابد. در نتیجهٔ افزایش دما هوا منبسط و رقیق می‌شود. هوای گرم اکسیژن کمتری برای احتراق دارد. برای خنک کردن هوا و افزایش چگالی آن، بیشتر موتورهای دارای توربوشارژکن یا سوپرشارژکن یک ***سردکن میانی*** دارند (شکلهای ۱۴-۷ و ۱۴-۱۵). این سردکن میانی یک ***مبادله‌کن گرما***، شبیه رادیاتور، است که هوای فشرده را خنک می‌کند. در نتیجه هوای ورودی به موتور خنک است و می‌توان بدون نگرانی از بابت خطر انفجار، نسبت تراکم را بالا گرفت.

سردکن میانی نشان داده شده در شکلهای ۱۴-۷ و ۱۴-۱۵ ***سردکن میانی هوا ـ خنک*** است. این نوع سردکن گرمای هوای داغ را به هوای سرد می‌دهد. هوای فشردهٔ داغ از مجراهای داخلی سردکن میانی می‌گذرد. هوای سرد بیرون از میان پره‌هایی که این مجراها را احاطه کرده‌اند عبور می‌کند. مقداری از گرمای فشرده از طریق پره‌ها به هوای سرد بیرون منتقل می‌شود.

بسیاری از موتورهای توربوشارژکن‌دار و سوپرشارژکن‌دار **یک *سیستم کنترل انفجار*** الکترونیکی دارند. این سیستم شامل یک ***حسگر انفجار*** یا ***حسگر ضربه*** است (شکل ۱۴-۱۴). در صورت آغاز انفجار این حسگر به مدول کنترل الکترونیکی سیگنال می‌دهد که جرقه را به تأخیر بیندازد (➢ ۱۲-۴).



شکل ۱۴-۱۵ موتور توربوشارژکن‌دار. پس از آنکه توربوشارژکن هوا را فشرده ساخت، سردکن میانی آن را خنک می‌کند.

➢ ۱۴-۱۰ پس‌افت توربوشارژکن

وقتی بار موتور کم است و خودرو با سرعت بهینه حرکت می‌کند، توربوشارژکن «درجا» کار می‌کند. منیفولد بنزین تحت خلأ است و مقدار کمی دود وارد توربین می‌شود. در نتیجه کمپرسور آهسته‌تر از آن می‌چرخد که هوای ورودی را فشرده کند.

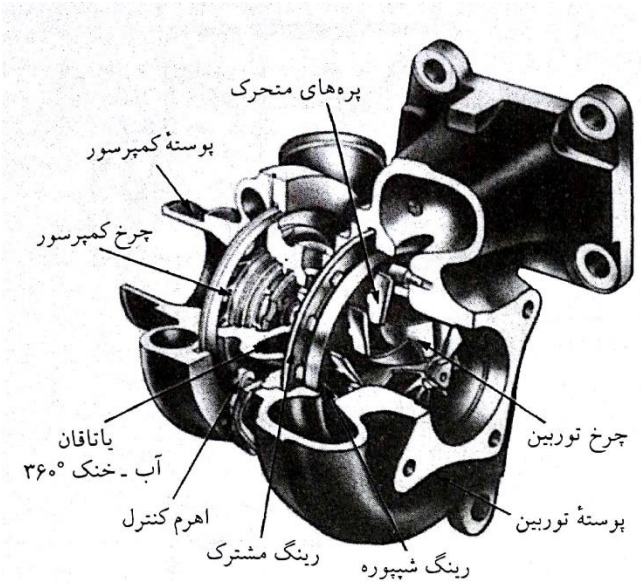
وقتی راننده پدال گاز را فشار می‌دهد تا موتور توان بیشتری پیدا کند دریچهٔ گاز باز می‌شود. در این هنگام هوا (و سوخت) بیشتری وارد موتور می‌شود به طوری که خلأ در منیفولد بنزین کاهش می‌یابد. با سوخت این مخلوط اضافی هوا ـ سوخت، جریان گازهای حاصل از احتراق افزایش می‌یابد. در نتیجه دور توربین و کمپرسور بالا می‌رود تا جایی که کمپرسور هوای تقویتی تولید کند.

بسیاری از رانندگان خودروهای مجهز به توربوشارژکن از «پس‌افت توربو» شکوه می‌کنند. پس‌افت توربو تأخیری است که بین بازشدن دریچهٔ گاز و افزایش توان حاصل از به‌کار افتادن توربوشارکن وجود دارد. پس‌افت، زمانی است که توربینی که درجا کار می‌کند نیاز دارد تا به سرعت مناسب برای تقویت برسد. پس‌افت شامل زمان لازم برای پرشدن سردکن میانی و لوله‌ها را نیز شامل می‌شود. پس‌افت کل ممکن است در حدود نیم ثانیه یا بیشتر باشد. این زمان چشمگیر است و بسیاری‌از رانندگان به آن معترض‌اند.

یکی از راه‌حلها آن است که قطعات چرخان ــ چرخهای کمپرسور و توربین ــ را تا حد امکان سبک بسازند. قطعات سبک زودتر سرعت می‌گیرند. راه‌حل دیگر استفاده از دو توربوشارژکن کوچک به جای یک توربوشارژکن بزرگ است. وقتی قطعات چرخنده کوچک و سبک باشند زمان پس‌افت کاهش می‌یابد.

➢ ۱۴-۱۱ توربوشارژکن با شکل هندسی متغیر

استفاده از ***توربوشارژکن با شکل هندسی متغیر*** راه دیگری برای کاهش زمان پس‌افت است. در این روش زاویهٔ برخورد دود به تیغه‌های توربین را تغییر می‌دهند. در نتیجه می‌توان در دور کم موتور سرعت توربین را افزایش و پس‌افت توربو را کاهش داد. وقتی از این نوع توربوشارژکن استفاده می‌شود به مجرای تخلیه نیازی نیست. با حرکت دادن پره‌ها می‌توان سرعت توربین و میزان تقویت را کنترل کرد. دو نوع توربوشارژکن با شکل هندسی متغیر عبارت‌اند از ***توربوشارژکن با شیپورهٔ متغیر*** و ***توربوشارژکن با سطح متغیر***.



شکل ۱۴-۱۶ توربوشارژکن با شیپورهٔ متغیر. پره‌های متحرکی که با کامپیوتر کنترل می‌شوند، در هنگام بازشدن دریچهٔ گاز تغییر وضعیت می‌دهند و عملکرد توربوشارژکن تغییر می‌کند.

توربوشارژکن با شیپورهٔ متغیر ۱۰ تا ۱۵ پرهٔ متحرک داردکه در پیرامون چرخ توربین نصب شده‌اند (شکل ۱۴-۱۶). کاراندازی که کامپیوتر موتور آن راکنترل می‌کند، وضعیت‌پره‌ها را معین می‌کند. وقتی دور موتور پایین است، این پره‌ها فقط اندکی باز هستند. در نتیجه در مقابل عبور دود مانع جدی نیست و فشار هوا به طور غیرضروری افزایش‌نمی‌یابد. وقتی دریچهٔ گاز باز می‌شود، پره‌ها کاملاً باز می‌شوند. دود خروجی از موتور آزادانه به میان پره‌های توربین می‌رود. در نتیجه دور موتور و توان آن افزایش می‌یابد.

توربوشارژکن با سطح متغیر نیز همین اثر را ایجاد می‌کند. کامپیوتر موتور یک یا چند پره را در ورودی توربین کنترل می‌کند. این پره‌ها دود را به سمت تیغه‌های توربین هدایت می‌کنند. در نتیجهٔ این عمل سرعت دود و بنابراین دور توربین کنترل می‌شود. برای افزایش سرعت خودرو، پره‌ها طوری حرکت می‌کنند که سرعت دود افزایش یابد. در نتیجه فشار هوا سریعتر افزایش می‌یابد.

توربو شارژینگ توسط گازهای خروجی

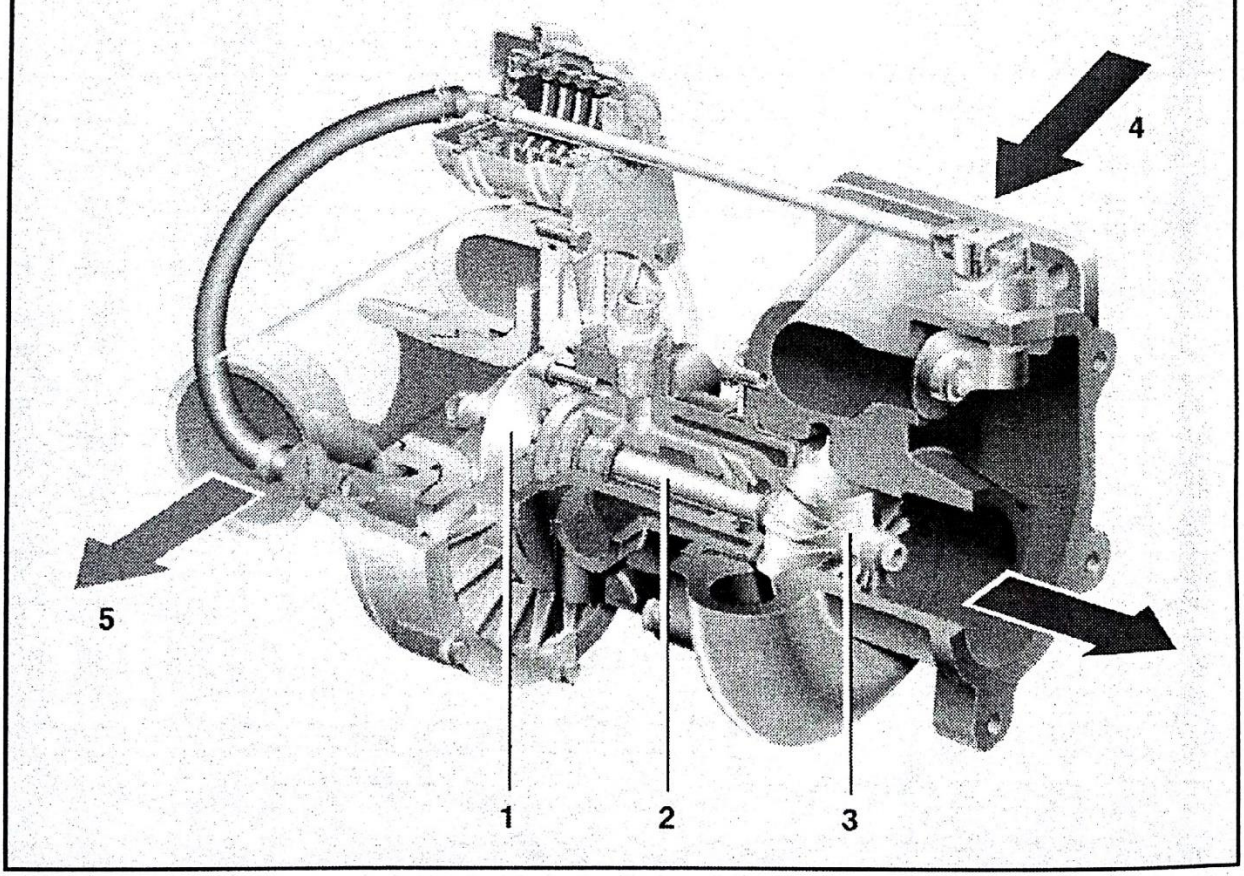
از تمامی روشهای ممکن برای سوپرشارژینگ موتور احتراق داخلی؛ توربوشارژینگ توسط گازهای خروجی متداولترین آنها می‌باشد. حتی در موتورهائی با حجم جابجائی کم، توربوشارژینگ توسط گازهای خروجی منجر به توان و گشتاور بالا همراه افزایش راندمان موتور می‌شود.

توربو شارژینگ توسط گازهای خروجی در گذشته به صورت آزمایشی برای افزایش توان خروجی به کار برده می‌شد ولیکن امروزه از آن به‌منظور افزایش حداکثر گشتاور در سرعتهای بسیار کم موتور استفاده می‌شود. از طرفی هم امکان کوچک سازی موتور فراهم می‌گردد. همچنین با حفظ توان خروجی امکان کاهش دادن حجم موتور و مصرف سوخت وجود خواهد داشت. از این موارد الخصوص در موتورهای توربوشارژ مجهز به سیستم تزریق مستقیم بنزین استفاده می‌شود.

طراحی و نحوه عملکرد

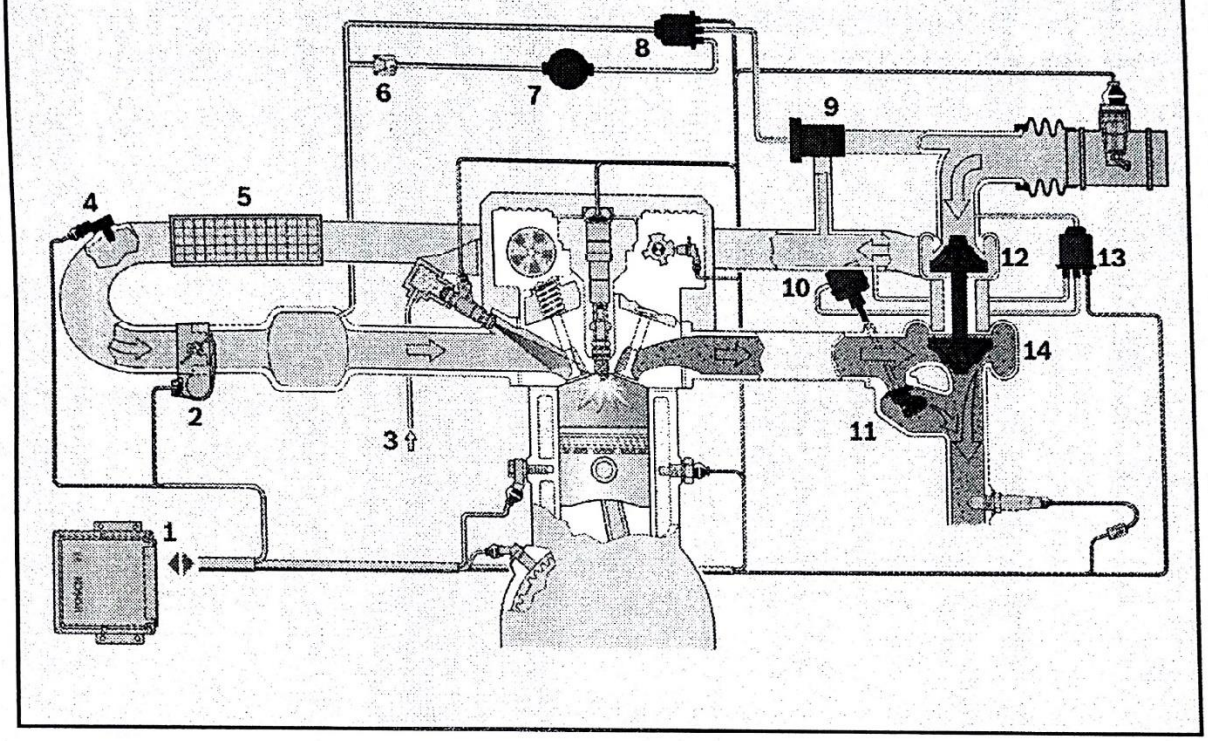
اصلی ترین اجزاء توربوشارژر **(شکل ۱)** عبارتند از: توربین گاز خروجی (۳) و کمپرسور (۱). پروانه کمپرسور و روتور توربین بر روی یک شفت معمولی نصب شده و در سیستم گاز خروجی قرار

۱ توربوشارژر یک اتومبیل شخصی



۱- پروانهٔ کمپرسور ۲- شفت ۳- توربین ۴- دهانه ورودی جریان گاز خروجی ۵- دهانهٔ خروجی جریان گاز خروجی

۲ توربوشارژینگ توسط گازهای خروجی



۱- ECU موتور
۲- مجموعهٔ دریچهٔ گاز
۳- تأمین سوخت
۴- فشار شارژ و سنسور دمای شارژ
۵- هوا سردکن
۶- شیر یک طرفه
۷- مخزن خلاء
۸- شیر سلونوئیدی (شیر پالسی)
۹- شیر منحرف کنندهٔ هوا
۱۰- شیر کنترل فشار تقویتی
۱۱- مجرای تخلیه (شیر کمکی)
۱۲- کمپرسورتور بوشارژ
۱۳- شیر سلونوئیدی (شیر پالسی)
۱۴- توربین

می‌گیرند. بنابراین جریان گاز خروجی می‌تواند توربین را به حرکت در بیاورد (**شکل ۲**، موقعیت ١٤). کمپرسور (۱۲) هوای ورودی را فشرده کرده و به موجب آن شارژ سیلندر را افزایش می‌دهد. طی فرآیند فشرده سازی هوای ورودی گرم می‌شود از اینرو هوای ورودی از یک هواسردکن[1] (۵) به‌منظور کاهش یافتن دمای آن عبور داده می‌شود.

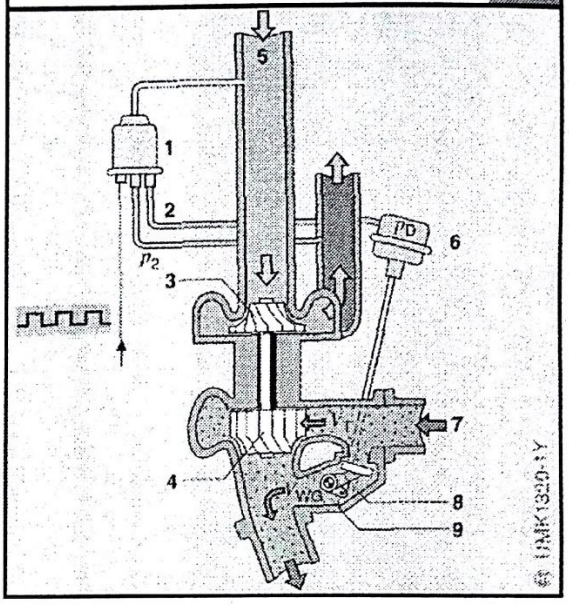
گاز خروجی داغ (**شکل ۳**، موقعیت ۷) به داخل توربین گاز خروجی (٤) به صورت شعاعی جریان یافته و آن را با سرعتی بالا (حداکثر تا rpm ۲۵۰۰۰۰۰) می‌چرخاند. تیغه های روتور توربین گاز خروجی را به سمت مرکز جاییکه از آن به صورت محوری خارج می‌گردند هدایت می‌کنند.

کمپرسور (۳) نیز همراه با توربین می‌چرخد ولیکن در آن شرایط جریان معکوس گردیده است. هوای تازه در حال ورود (۵) به صورت محوری از مرکز کمپرسور وارد شده و به صورت شعاعی به سمت خارج توسط تیغه ها رانده می‌شود همچنین طی این فرآیند هوا فشرده می‌گردد.

به منظور جلوگیری از پمپاژ و تولید صدای اضافی ناخواسته بواسطه کمپرسور یا حتی جلوگیری

1- Intercooler

۳ سوپرشارژ مجهز به مجرای تخلیه



۱- شیر پالسی
۲- خط کنترل پنوماتیکی
۳- کمپرسور
۴- توربین گاز خروجی
۵- هوای وارد شدهٔ تازه
۶- شیر کنترل فشار تقویت
۷- گاز خروجی
۸- مجرای تخلیه
۹- کانال فرعی
⎍⎍⎍ : سیگنال راه‌انداز برای شیر پالسی
V_T: جریان حجمی گذرا از توربین
V_{WG} : جریان حجمی گذرا از مجرای تخلیه
P_2 : فشار شارژ یا تقویت
P_D: فشار موجود بر روی دیافراگم

از صدمه خوردن؛ شیر منحرف کننده هوا[1] (**شکل۲**، موقعیت ۹) در مسیر فرعی کمپرسور زمانیکه دریچه گاز (۲) بسته است باز می‌شود.

توربین توربوشارژر در سیستم گاز خروجی داغ قرار گرفته است. بنابراین باید از موادیکه در برابر گرما مقاومت بالائی دارند ساخته شود.

انواع توربوشارژرها

توربو شارژرهای مجهز به مجرای تخلیه[2]

در این قسمت موتورهائی مد نظرمی باشند که قصد استفاده از گشتاورهای بالا در سرعتهای کم موتور ($n\leq$ ۲۰۰۰ rpm) دارند. به همین دلیل پوسته توربین برای دبی های جرمی گاز خروجی کم طراحی شده است. به‌منظور جلوگیری از باردهی بیش از حد موتور به توربوشاژر در دبی های جرمی گاز خروجی بیشتر الزاماً باید مقداری از جریان خروجی بواسطه یک شیر کمکی تخلیه گردد. مجرای تخلیه (**شکل ۳**، موقعیت ۸) توربین را به سیستم خروجی متصل می‌نماید. همچنین معمولاً در داخل پوسته توربین از نوع بالچه ای شیر کمکی استفاده می‌شود.

مجرای تخلیه بواسطه شیر کنترل فشار تقویتی (٦) فعال می‌گردد. این شیر به صورت پنوماتیکی بوسیله یک خط کنترل به یک شیر پالسی[3] (۱) متصل است. به محض به کار افتادن شیر پالسی بواسطه یک سیگنال الکتریکی ارسال شده از ECU فشار تقویتی تغییر می‌کند. این سیگنال الکتریکی تابع از اطلاعاتی است که بواسطه سنسور فشار تقویتی (BPS) تهیه شده است.

1- Divert-Air Valve
2- Wastegate Supercharger
3- Pulse Valve

در صورتیکه فشار تقویتی بیش از اندازه کم باشد شیر پالسی برای جبران این فشار پائین در خط کنترل به کار خواهد افتاد، سپس شیر کنترل فشار تقویتی مجرای تخلیه را می‌بندد و سهم جریان گاز خروجی مورد استفاده برای به حرکت در آوردن توربین افزایش خواهد یافت.

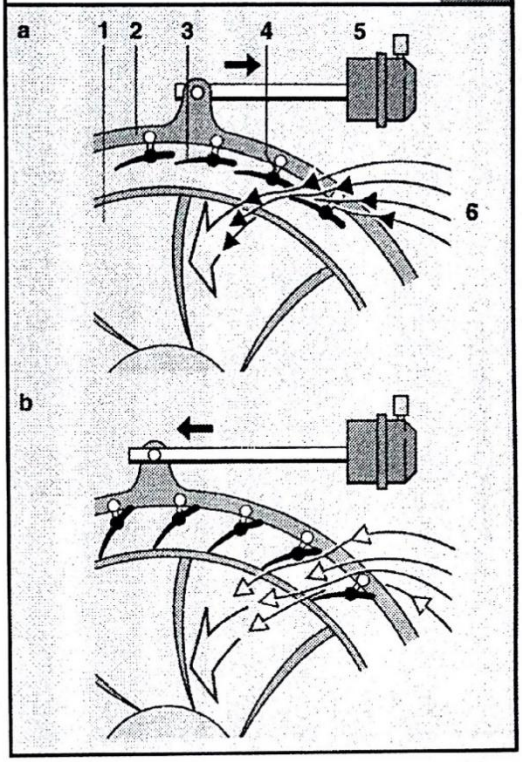
از طرفی هم در صورتیکه فشار تقویتی بیش از اندازه بالا باشد شیر پالسی برای جبران این فشار بالا در خط کنترل به کار خواهد افتاد، سپس شیر کنترل فشار تقویتی مجرای تخلیه را باز می‌کند و سهم جریان گاز خروجی مورد استفاده برای به حرکت در آوردن توربین کاهش خواهد یافت.

توربوشارژر VTG

توربینهای متغیر (VTG: هندسه قابل تغییر توربین[1]) راهی دیگر برای محدود نمودن جریان گاز خروجی در سرعتهای بالای موتور ارائه نموده است **(شکل ٤)**. توربو شارژرهای VTG در موتورهای دیزل استفاده می‌شوند و به علت تنشهای حرارتی بالای ناشی از دمای بالای گاز خروجی ترجیحا در موتورهای بنزینی استفاده نمی شوند.

بواسطه تغییر یافتن هندسه؛ پره های راهنمای قابل تنظیم (۳) سطح مقطع جریان را تنظیم می‌نمایند و فشار گاز موجود در توربین را به مقدار مورد نیاز برای فشار تقویتی می‌رسانند. در سرعتهای کم، آنها سطح مقطع جریان کوچکی را ایجاد می‌نمایند از اینرو جریان گاز خروجی موجود در توربین سرعت زیادی پیدا می‌کند و بواسطه آن توربین نیز سرعت زیادی به خود می‌گیرد **(شکل a٤)**.

٤ هندسه قابل تغییر توربین در توربوشارژر VTG



a: تنظیم پرهٔ راهنما برای فشار بالای شارژ
b : تنظیم پرهٔ راهنما برای فشار پایین
۱- توربین
۲- رینگ تنظیم کننده
۳- پره‌های راهنما
۴- اهرم تنظیم گر
۵- واحد بارومتری
۶- جریان گاز خروجی
⟵ سرعت بالای جریان
⟵ سرعت پایین جریان

1- Variable Turbine Geometry

در سرعتهای بالا، پره های راهنمای قابل تنظیم، سطح مقطع جریان بزرگتری را ایجاد می‌نمایند بنابراین گاز خروجی بیشتری می‌تواند وارد شود ولی شتابی به توربین برای دستیابی به سرعتهای بسیار بالا اعمال نمی شود لذا توربین سرعت زیادی پیدا نمی کند **(شکل b٤)**. این امر باعث محدود شدن فشار تقویتی می‌گردد.

زاویه پره راهنما به سادگی و با چرخش یک رینگ تنظیم کننده (۲) برای قرار گرفتن پره های راهنما در زاویه مطلوب، تنظیم می‌شود. این عمل به‌طور مستقیم بواسطه استفاده از اهرمهای تنظیم کننده (٤) متصل به پره‌ها انجام می‌شود، یا به‌طور غیر مستقیم توسط بادامکهای تنظیمگر انجام می‌شود. رینگ تنظیم کننده به صورت الکتریکی یا پنوماتیکی (توسط یک واحد بارومتری (٥) استفاده کننده از فشار خلاء) چرخانده می‌شود. مکانیزم تنظیم بواسطه سیستم مدیریت موتور فعال می‌گردد از اینرو فشار توربوشارژر می‌تواند برای وضعیت بهینه در پاسخ به حالت عملکردی موتور تنظیم گردد.

مزایا و معایب توربوشارژینگ توسط گاز خروجی

در مقایسه با موتورهای تنفس طبیعی دارای توان خروجی یکسان؛ اصلی ترین مزایا عبارتند از: اندازه کوچکتر و وزن کمتر موتورهای توربوشارژ. مشخصه گشتاور موتورهای توربوشارژ در سرتاسر محدوده سرعتی بهتر است (**شکل ٥**، منحنی ٤ در مقایسه با منحنی ۳). به عبارت دیگر در سرعتی مشخص دارای خروجی بیشتری می‌باشند(A→B).

به علت مطلوب تر بودن مشخصه گشتاور در بار کامل، موتورهای توربوشارژ نسبت به موتور های تنفس طبیعی همانگونه که در **شکل ٥** نشان داده شده است توان خروجی موردنیاز را در سرعت کمتری تولید می‌کنند (B یا C). در بار ناکامل، دریچه گاز باید (برای خروجی یکسان) بیشتر باز شود. در اینصورت نقطه کاری به سمت محدوده ایکه دارای تلفات دریچه گاز و اصطکاکی کمتری است حرکت می‌کند (C→B) لذا شاهد مصرف سوخت کمتری حتی با در نظر گرفتن این موضوع که موتورهای توربوشارژ دارای راندمان ترمودینامیکی پائینتری به علت نسبت تراکم کمتر هستند خواهیم بود.

گشتاور کمی که در سرعتهای بسیار کم موتور در دسترس می‌باشد یکی از معایب توربوشارژر است. در این محدوده سرعتی، انرژی کافی در گاز خروجی برای به حرکت در آوردن توربین وجود ندارد. در حالات ناپایدار، حتی در سرعتهای متوسط، منحنی گشتاور نامطلوب تر از موتورهای تنفس طبیعی می‌باشد (منحنی ٥). این امر به علت تأخیری است که در تولید جریان گاز خروجی ایجاد می‌شود. بنابراین هنگام شتابگیری در سرعتهای پائین، کندی توربو[1] اتفاق می‌افتد.کندی توربو را می‌توان بواسطه استفاده کامل از شارژ دینامکی[2] به حداقل رساند و از مشخصه به حرکت در آمدن توربوشارژر پشتیبانی نمود.

1- Turbo Lag

2- Dynamic Charge

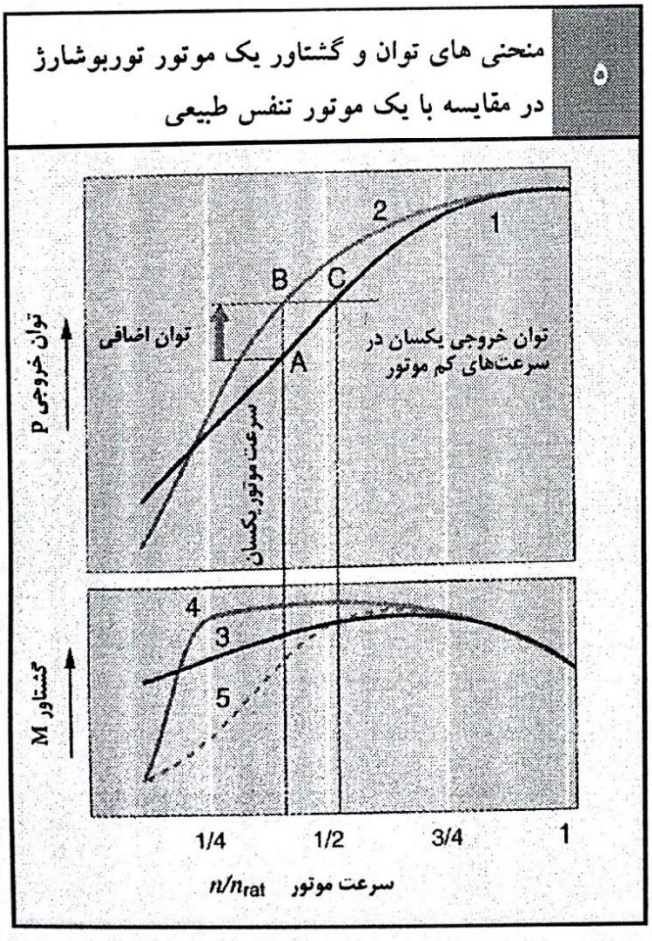
سرد کردن هوا

هوا هنگام فشرده سازی در توربوشارژر گرم می‌شود. از آنجا که هوای داغ نسبت به هوای سرد دانسیته کمتری دارد بالا رفتن دمای هوا اثر منفی بر روی شارژ سیلندر دارد. بنابراین هوای گرم و فشرده شده باید توسط هواسردکن خنک شود.

سرد نمودن شارژ سیلندر را در مقایسه با موتورهای توربوشارژیکه مجهز به هوا سردکن نیستند افزایش می‌دهد. بنابراین افزایش بیشتر گشتاور و توان خروجی ممکن می‌شود.

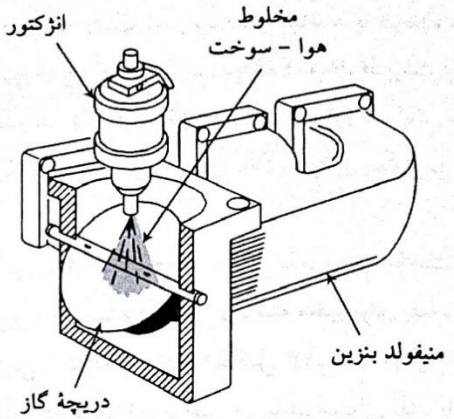
همچنین افت دمای هوا منجر به کاهش دمای شارژ سیلندر فشرده شده طی سیکل فشرده سازی می‌شود. این امر مزایای متعددی دارد:

- کاهش تمایل به کوبش
- بهبود راندمان حرارتی که خود منجر به کاهش سوخت می‌گردد.
- کاهش بار حرارتی پیستونها
- کاهش انتشار NO_X
- توان بالاتر

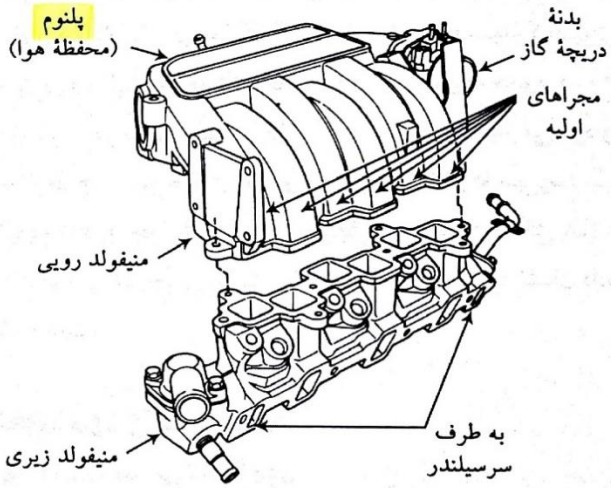


۵ منحنی های توان و گشتاور یک موتور توربوشارژ در مقایسه با یک موتور تنفس طبیعی

۳ و ۱: موتور تنفس طبیعی در وضعیت عملکردی پایدار
۴ و ۲: موتور سوپرشارژ در وضعیت عملکردی پایدار
۵: منحنی گشتاور موتور سوپرشارژ در وضعیت عملکردی ناپایدار



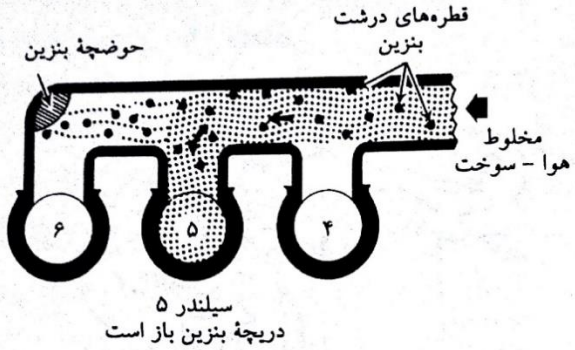
شکل ۱۳ـ۲۴ سیستم ساده‌شدهٔ سوخت‌پاشی در دریچهٔ گاز.



شکل ۱۳ـ۲۵ منیفولد بنزین دوتکه از آلومینیم ریختگی. هوا از طریق محفظهٔ هوا، مجراهای اولیه و منیفولد زیری وارد سرسیلندر می‌شود.

➢ ۱۳ـ۱۳ توزیع مخلوط هوا ـ سوخت

منیفولد بنزین‌که‌مخلوط هوا ـ سوخت از آن‌عبور می‌کند (شکلهای ۱۳ـ۲۲ و ۱۳ـ۲۶) ممکن است در توزیع این مخلوط مشکل



شکل ۱۳ـ۲۶ الگوی توزیع مخلوط هوا ـ سوخت در منیفولد بنزین. قطره‌های بنزین تا انتهای منیفولد پیش می‌روند و در نتیجه مخلوط ورودی به سیلندرهای کناری غنیتر می‌شود.

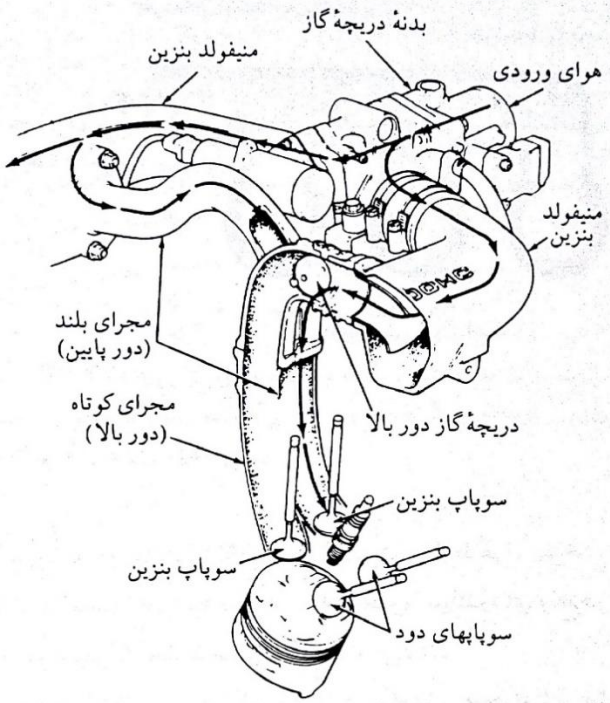
داشته‌باشد. در حالت ایدئال، مقدار و غلظت مخلوط هوا ـ سوختی که به هر سیلندر می‌رسد برابر است.اما معمولاً سیلندرهای واقع در دو سر منیفولد مخلوط غنیتری دریافت می‌کنند.

در منیفولد بنزین هوا به راحتی از پیچها و مجراهایی با شکلهای مختلف می‌گذرد. اما هوای ورودی، حاوی قطره‌های نسبتاً سنگین سوخت مایع است (شکل ۱۳ـ۲۶)، مگر آنکه سوخت کاملاً تبخیر شود. لختی (➢ ۱۱ـ۵) مانع پیچیدن این قطره‌ها در پیچ‌وخمهای منیفولد، همراه جریان مخلوط هوا ـ سوخت، می‌شود. قطره‌های سوخت مسیر کم‌وبیش مستقیمی را می‌پیمایند تا به انتهای منیفولد برسند. سپس گرد هم جمع می‌شوند و حوضچه‌ای تشکیل می‌دهند.

مخلوط هوا ـ سوختی که ازکنار این حوضچه می‌گذرد مقداری از بخار سوخت را جذب می‌کند. در نتیجه مخلوطی که به سیلندرهای کناری می‌رسد غنیتر است و سیلندرهای میانی مخلوط فقیرتری دریافت می‌کنند. پس ازگرم‌شدن منیفولد بنزین توزیع سوخت یکنواخت‌تر می‌شود. در این حالت مخلوط هوا ـ سوخت حاوی قطره‌های کمتری است زیرا بخش عمدهٔ سوخت تبخیر می‌شود. مشکل توزیع نایکنواخت هوا ـ سوخت یکی از دلایل افزایش استفاده از سیستم سوخت‌پاشی در دریچهٔ بنزین (فصل ۱۵) در موتورهای شمع‌دار است.

➢ ۱۳ـ۱۴ منیفولد بنزین تنظیم‌شده و سیستم هواکشی واداشتهٔ متغیر

منظور از تنظیم منیفولد، طراحی مجراهای منیفولد با اندازه و طول مناسب برای ایجاد بالاترین فشار ممکن در سیلندر، هنگام بسته بودن سوپاپ بنزین است. مثلاً هرگاه مجراها نسبتاً طویل



شکل ۱۳-۲۷ سیستم هواکشی واداشتهٔ متغیر با کنترل الکترونیکی که دو مجرای هوا دارد ؛ یکی برای دور پایین و دیگری برای دور بالا.

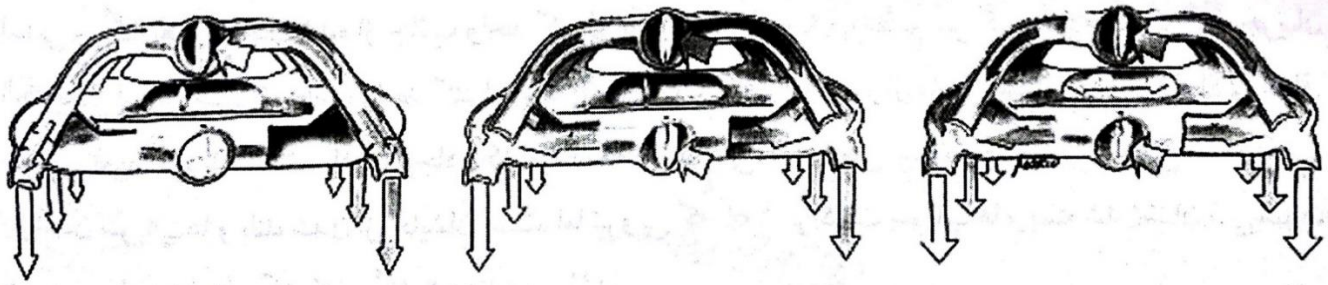
باشند ممکن است سیلندر را بهتر پرکنند و بازده حجمی افزایش یابد (◄ ۱۱-۱۲).

منیفولد تنظیم‌شده (شکل ۱۳-۲۵) با استفاده از بازوبسته شدن سوپاپهای بنزین اثر «کوبه» ایجاد می‌کند. وقتی سوپاپ بنزین باز می‌شود، هوا یا مخلوط هوا ـ سوخت به درون سیلندر جریان می‌یابد. وقتی سوپاپ بسته می‌شود جریان قطع می‌شود. اما لختی هوا یا مخلوط هوا ـ سوخت سبب تداوم حرکت آنان می‌شود. درنتیجه پشت سوپاپ بسته انباشته یا کوبیده می‌شود. اگر در همین حین سوپاپ بنزین باز شود، مخلوط بیشتری با فشار وارد سیلندر می‌شود و در نتیجه توان موتور افزایش می‌یابد. تنظیم منیفولد بنزین در دورهای بالای موتور بیشترین تأثیر را دارد.

دربعضی موتورهای چهارسوپاپی با سیستم سوخت‌پاشی در دریچهٔ بنزین، از سیستم ***هواکشی واداشته متغیر*** برای بهبود عملکرد در دور پایین استفاده می‌شود (شکل ۱۳-۲۷). در این سیستم به هر سیلندر دو مجرا اختصاص می‌یابد. مجرای بلند یا ***مجرای اولیه*** برای دورهای پایین تنظیم می‌شود. ***مجرای کوتاه*** یا ***مجرای ثانویه*** برای دورهای بالا تنظیم می‌شود. در هر مجرای تنظیم شده برای دور بالا یک دریچهٔ گاز کنترل شونده به وسیلهٔ کامپیوتر وجود دارد. این دریچه تا هنگامی که دور موتور به حدود ۴۰۰۰ دور در دقیقه برسد بسته می‌ماند. پس از آن دریچه باز می‌شود و مخلوط هوا ـ سوخت از هر دو مجرا به سیلندرها می‌رسد. در نتیجه توان و جوابگویی موتور افزایش می‌یابد. در شکل ۸-۱۴ یک موتور خورجینی هشت‌سیلندر با سیستم مشابه نشان داده شده است.

۹-۱۷- مانیفولد ورودی متغیر (Variable Intake Manifold) (VIM)

این طرح در اواسط دهه ۱۹۹۰ میلادی به‌منظور تقویت گشتاور و قدرت تولید شده در دورهای بالا طراحی شده است. این سیستم در برخی از مدل‌های جدید خودروی تویوتا مورد استفاده قرار گرفته است. این سیستم می‌تواند متناسب با شرایط عملکردی موتور و دور آن، دهانه مانیفولد ورودی را به‌گونه‌ای تنظیم نماید که بیشترین گشتاور ممکن تولید شود. به‌طوری که هم در دورهای پایین، گشتاور مناسبی را تولید نماید و هم در دورهای بالا، قدرت بیشتری تولید شود. البته لازم به ذکر است که سودمندی این سیستم در دورهای بالا بیشتر است.

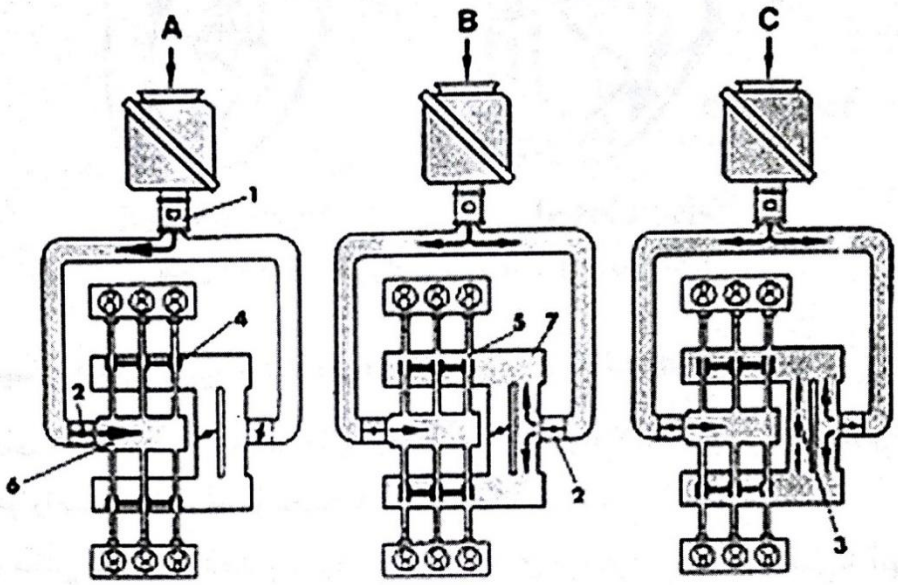


شکل ۹-۶۹- مانیفولد ورودی متغیر (VIM)

به یاد داشته باشید که دور و گشتاور، دو پارامتر متضاد یکدیگر هستند که افزایش یکی، باعث کاهش دیگری می‌شود. یعنی در دورهای بالا، گشتاور تولید شده کاهش می‌یابد. اما با به کارگیری این سیستم می‌توان در هر دور موتوری، قدرت قابل توجهی را تولید نمود.

از آنجایی که در این سیستم، دو یا سه سری مانیفولد هوای مختلف تعبیه گردیده است، فضای نسبتاً زیادی را در محفظه موتور اشغال می‌نماید؛ اما در عوض از لحاظ قیمت تمام شده نسبت به سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر

(VVT) از هزینه کمتری برخوردار است. چون صرفاً نیازمند چند قالب برای تولید مانیفولدهای مختلف و تعدادی عملگر هیدرولیکی است. در صورتی که در سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT)، عملگرها و مکانیزم مورد استفاده خیلی پیچیده‌تر هستند و تلرانس‌های ساخت آن از دقت بیشتری برخوردار است.



شکل ۹- ۷۰- مکانیزم مانیفولد ورودی متغیر (VIM)

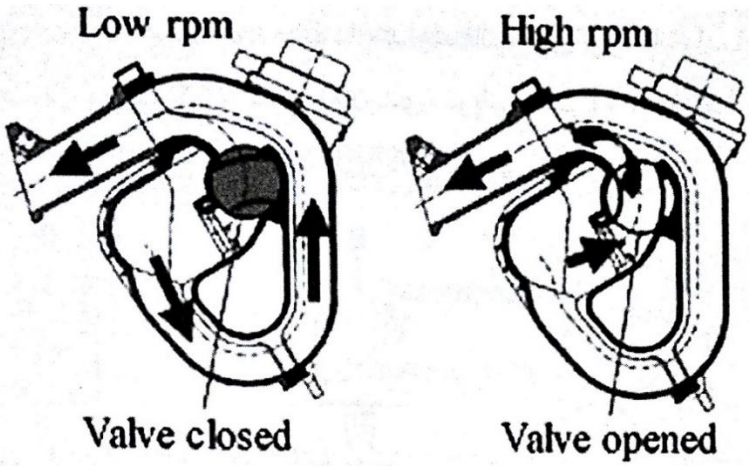
۹-۱۸- مانیفولدهای ورودی با طول متغیر (VLIM)

(Variable Length Intake Manifold)

در این مدل مانیفولد ورودی متغیر که بیشتر در خودروهای سواری مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای هر سیلندر دو مانیفولد ورودی مجزا با طول‌های متفاوت طراحی گردیده است که متناسب با شرایط کاری موتور، یکی از آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. مانیفولد با طول بیشتر برای دور آرام و مانیفولد با طول کوتاه‌تر برای دور بالا طراحی شده است. زیرا در دور آرام لازم است که جریان هوای ورودی، فرصت کافی برای شتاب‌گیری و رسیدن به سرعت مطلوب را داشته باشد. اما در دورهای بالا، موتور نیاز دارد که بتواند تنفس‌های سریع‌تری را انجام دهد.

شرکت‌های تویوتا و فورد در خودروهایشان از این مدل مانیفولد استفاده نموده‌اند. شرکت آئودی نیز در خودروی مدل V8 از یک سیستم مانیفولدهوای ورودی با سه طول متفاوت (به‌صورت سه مرحله‌ای) استفاده نموده است. شرکت هوندا هم طرحی را ارائه نموده است که با باز و بسته شدن یک مسیر، امکان تغییر طول مانیفولد را فراهم می‌نماید. این طرح در شکل (۹-۷۱) نشان داده شده است.

در تمامی این سیستم‌ها، چند سوپاپ ورودی با عمل کننده هیدرولیکی وجود دارند که تعیین کننده مسیر ورود هوا می‌باشند. به‌طوری که متناسب با دور موتور، فرمانی از جانب واحد کنترل کننده الکترونیکی (ECU) صادر می‌گردد که می‌تواند سوپاپ‌های برقی (سولونوئیدی) را باز و بسته نماید. این سوپاپ‌ها نیز می‌توانند با استفاده کنترل جریان روغن، عملگرهای هیدرولیکی را فعال نمایند. عملگرهای هیدرولیکی نیز وظیفه باز و بسته نمودن دریچه‌های مربوط به ورودی مانیفولدها را برعهده دارند.

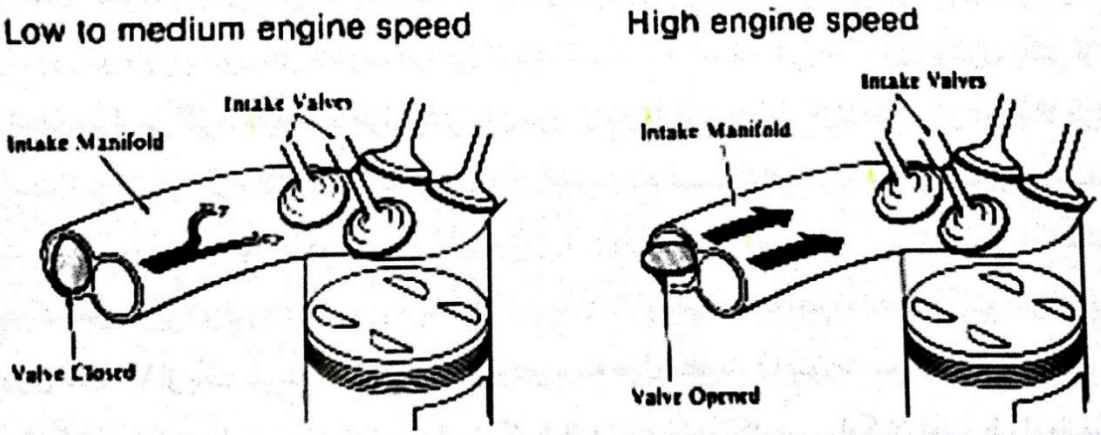


شکل ۹- ۷۱- مانیفولد ورودی با طول متغیر (VLIM)

۹-۱۹- سیستم مکش متغیر (Variable Intake System) (VIS)

این سیستم دارای عملکردی مشابه سیستم مانیفولد ورودی با طول متغیر (VLIM) می‌باشد. به‌طوری که می‌تواند میزان مکش هوا را متناسب با دور موتور تنظیم نماید.

در سیستم مکش متغیر (VIS)، مانیفولد هوای هر سیلندر دارای دو مجرا می‌باشد که یکی از آنها همواره باز است و دیگری توسط یک دریچه می‌تواند باز و بسته شود. در دور آرام که نیاز به هوای کمتری می‌باشد، فقط یک مجرا باز می‌باشد. اما در دورهای بالا که هوای بیشتری مورد نیاز است، با باز شدن دریچه، هر دو مجرا باز می‌گردد.

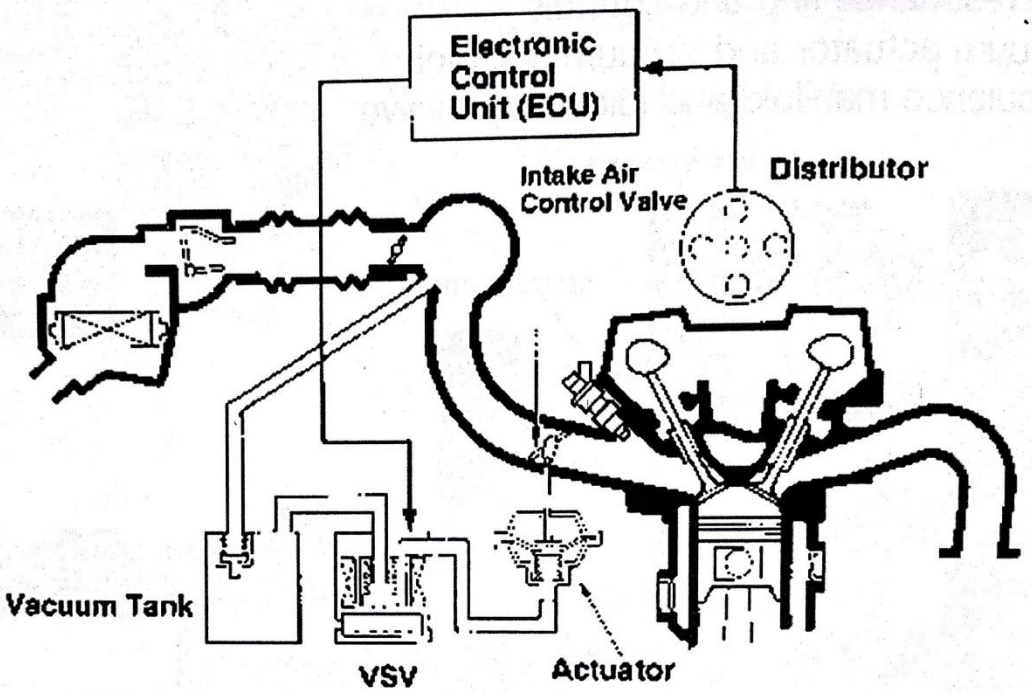


شکل ۹- ۷۲- مجرای ورود هوا در سیستم مکش متغیر (VIS) در دورهای بالا و پایین موتور

این سیستم با قربانی کردن مقدار کمی از قدرت در دورهای بالا، می‌تواند عملکرد دور آرام را بهبود بخشد. این سیستم برای اولین بار توسط شرکت تویوتا مورد استفاده قرار گرفت.

در خودروی پورشه مدل۹۹۳، این سیستم را با سیستم مانیفولد با طول متغیر (VLIM) ترکیب نموده‌اند و توانسته‌اند عملکرد خوبی را با تنظیم میزان مکش هوا متناسب با دور موتور ایجاد نمایند. به‌طوری که در دورهای کمتر از ۵۰۰۰RPM فقط از مانیفولد با طول بلندتر استفاده می‌شود. در دورهای بین ۵۰۰۰ الی ۵۸۰۰ دور بر دقیقه

(RPM) از هر دو مانیفولد بلند و کوتاه استفاده می‌شود و در دورهای بیش از ۵۰۰۰ RPM، علاوه بر هر دو مانیفولد بلند و کوتاه از دو لوله ارتعاشی نیز استفاده می‌شود. به این سیستم ترکیبی، سیستم Vario Ram نیز گفته می‌شود.



شکل ۹- ۷۳- عملکرد سیستم مکش متغیر (VIS)

۹-۲۰- سیستم مکش ارتعاشی (Resonance Intake System) (RIS)

این سیستم که بیشتر در موتورهای خوابیده و V شکل کاربرد دارد، به‌منظور بهبود راندمان موتور در دورهای بالا و متوسط مورد استفاده قرار می گیرد. از این سیستم در خودروهای پورشه مدل ۹۹۶ و هوندا NSX استفاده شده است.

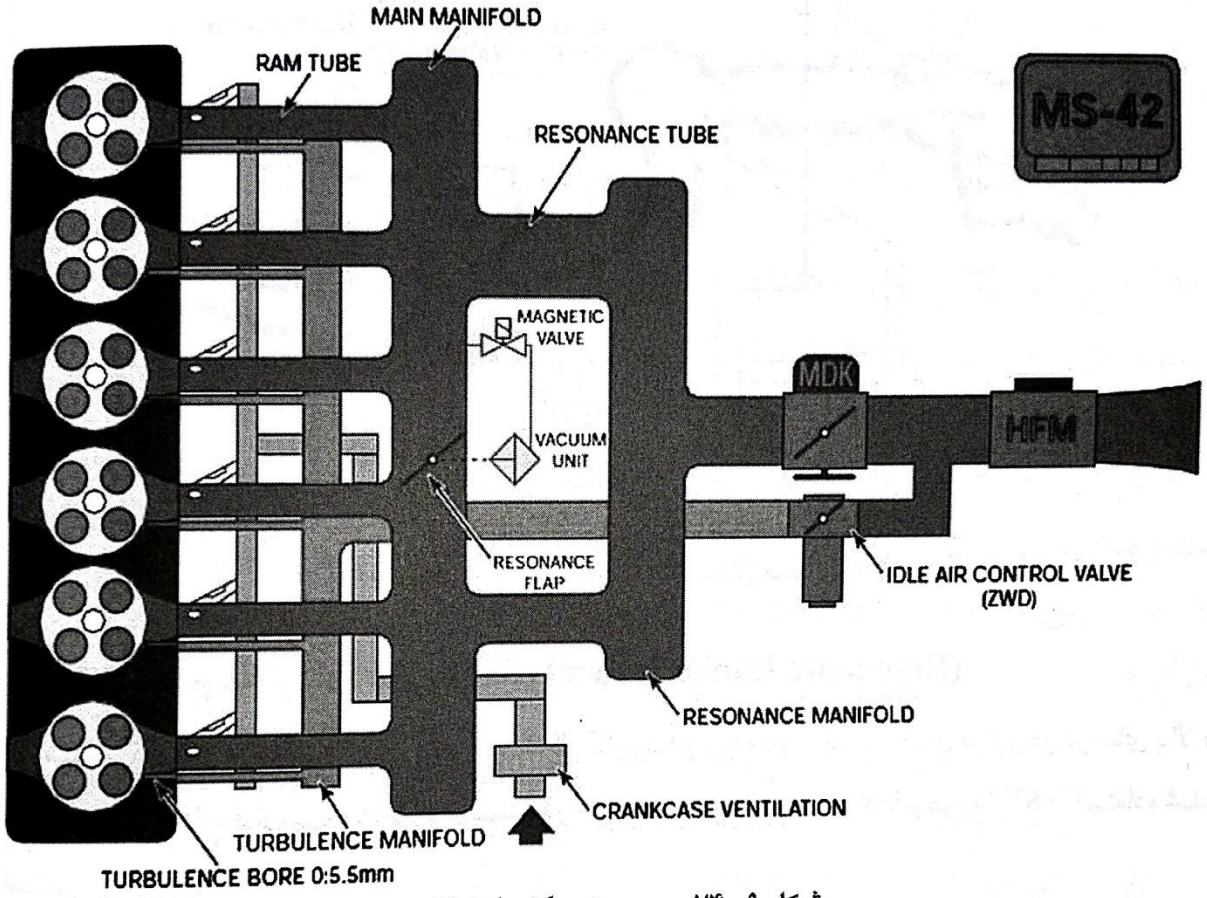
دراین سیستم، یک محفظه مشترک برای تأمین هوای ورودی سیلندرها وجود دارد. ارتباط هر یک از سیلندرها با این محفظه از طریق دو لوله مجزا می‌باشد. یکی از لوله‌ها به‌طور دائم باز است و لوله دیگر دارای دریچه‌ای می‌باشد که توسط سیستم کنترل الکترونیکی موتور (ECM) باز و بسته می‌شود. عملکرد این سیستم به گونه‌ای است که در دورهای پایین، این دریچه بسته باقی می‌ماند و در دورهای بالاتر با باز شدن دریچه مجرای دوم، امکان هواکشی بیشتر فراهم می گردد.

باز و بسته شدن‌های هوشمندانه این دریچه متناسب با دور موتور می‌تواند فشار هوای ورودی را به‌صورت متناوب تغییر دهد. در صورتی که فرکانس تغییرات فشار هوای ورودی با تغییرات دور موتور هماهنگ گردد، امکان بهتر پر شدن سیلندرها فراهم می گردد.

۹-۲۱- سیستم کنترل مکش صوتی (Acoustic Control Intake System) (ACIS)

عملکرد این سیستم مشابه سیستم مکش متغیر (VIS) است که می‌تواند میزان مکش هوا را متناسب با دور موتور

- The intake manifold
- Resonance manifold and tubes
- Main manifold with six ram tubes
- The resonance flap and controls
- Vacuum actuator and vacuum reservoir
- Turbulence manifold and idle control valve

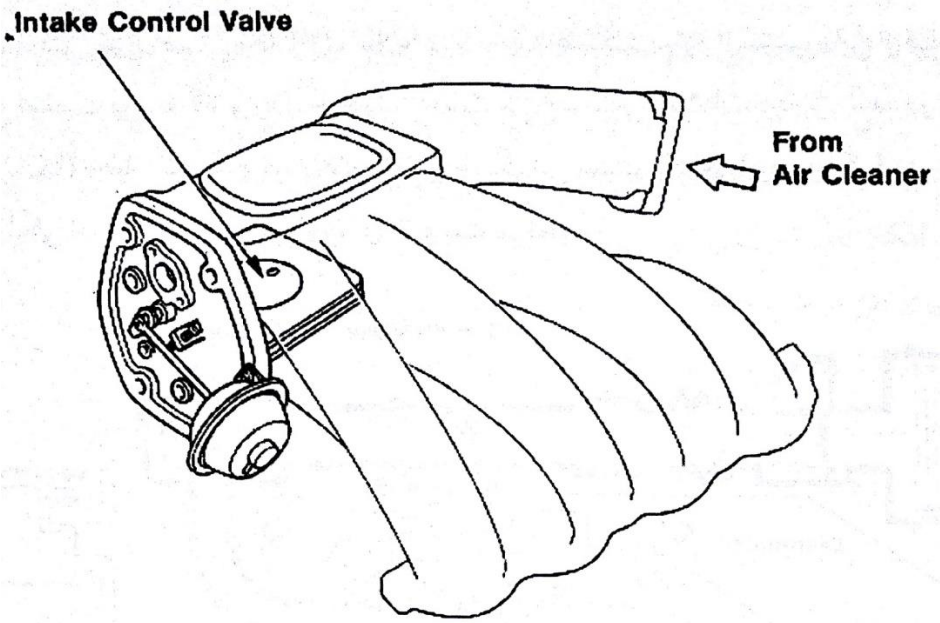


شکل ۹- ۷۴- سیستم مکش ارتعاشی

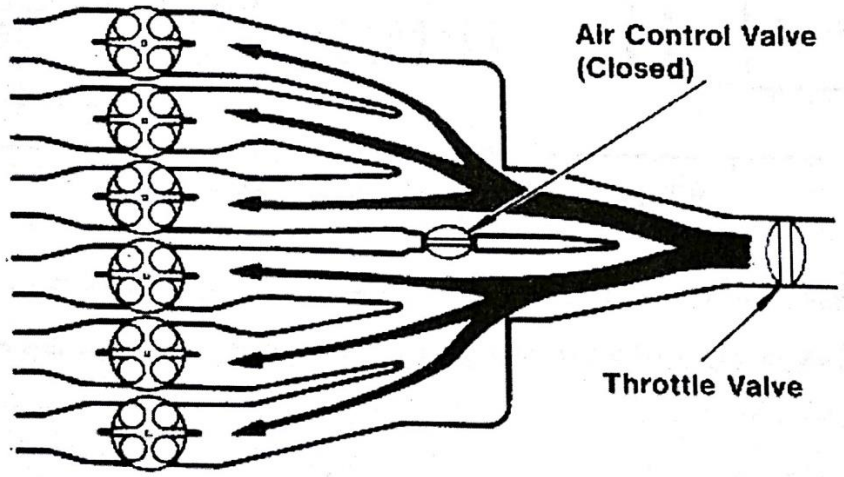
تنظیم نماید. به کارگیری این سیستم در افزایش قدرت مکش هوا در سرعت‌های زیاد بسیار موثر است.

مهمترین سنسورهای مورد استفاده در این سیستم، سنسور دور موتور و سنسور موقعیت دریچه گاز می‌باشند که اطلاعات مربوط به دور موتور و میزان هوای ورودی را به واحد کنترل الکترونیکی موتور (ECM) گزارش می‌دهند. عملگر مورد استفاده در این سیستم نیز یک عملگر هیدرولیکی است که می‌تواند سوپاپ کنترل هوا (Air Control Valve) را باز و بسته نماید. این عملگر بر اساس فرمان صادره از جانب واحد کنترل الکترونیکی موتور فعال می گردد. البته میزان باز بودن دریچه گاز (Throttle Valve) نیز باید کنترل گردد.

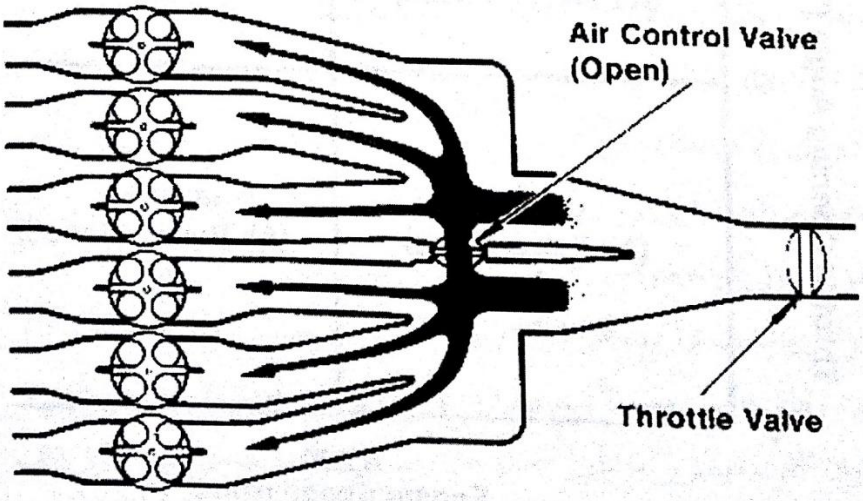
در این سیستم، مجرای ورود هوا در ابتدای مانیفولد هوا به دو قسمت تقسیم می گردد. یک سوپاپ کنترل هوا (Air Control Valve) نیز تعبیه گردیده است که درصورت بسته بودن، این دو مسیر ورود هوا را از یکدیگر مجزا نگه‌می‌دارد و درصورت باز بودن، این دو مجرای ورودی را به‌یکدیگر مرتبط می‌نماید.



شکل ۹- ۷۵- سوپاپ کنترل هوا (Intake Control Valve) (Air Control Valve)

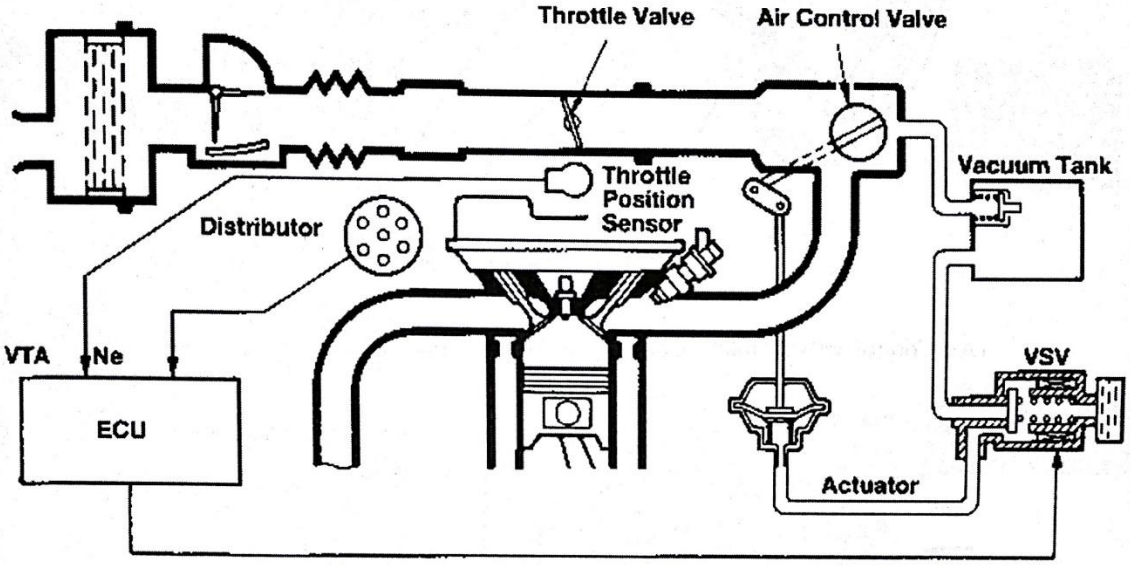


شکل ۹- ۷۶- بسته بودن سوپاپ کنترل هوا



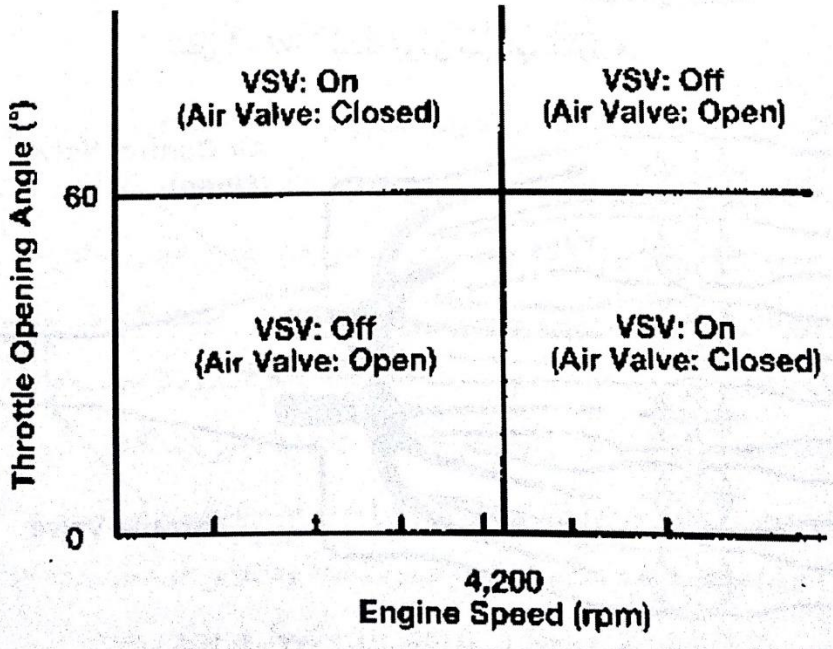
شکل ۹- ۷۷- باز بودن سوپاپ کنترل هوا

در سیستم مکش کنترل صوتی (ACIS)، اطلاعات مربوط به عملکرد موتور از سنسورهایی از قبیل سنسور دور موتور، سنسور موقعیت دریچه گاز و زمان جرقه‌زنی به‌دست می‌آید. سپس اطلاعات به‌دست آمده در واحد کنترل الکترونیکی (ECU) تحلیل گردیده و فرمان‌های لازم به عملگر این سیستم داده می‌شود. عملگر این سیستم، یک عملگر هیدرولیکی است که سوپاپ کنترل هوا را باز و بسته می‌نماید.



شکل ۹- ۷۸- سنسورها و عملگرهای سیستم ACIS

وضعیت باز و یا بسته بودن سوپاپ کنترل هوا بستگی به دور موتور و زاویه قرارگیری دریچه گاز دارد. در شکل (۹-۷۹)، وضعیت باز و یا بسته بودن این سوپاپ بر اساس مقدار دور موتور و زاویه دریچه گاز تعیین گردیده است.



شکل ۹- ۷۹- وضعیت باز و بسته بودن سوپاپ کنترل هوا

سوپرشارژینگ دینامیکی

همانطور که قبلاً گفته شد تقریباً گشتاور قابل دریافت موتور متناسب با گاز تازه موجود در شارژ سیلندر است. این امر بدان معناست که حداکثر گشتاور را می‌توان بواسطه فشرده سازی هوا به مقداری معین قبل از ورود آن به سیلندر افزایش داد.

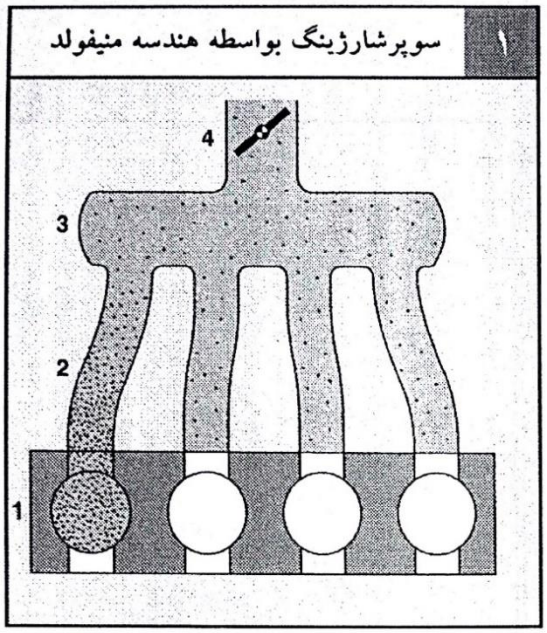
فرآیند مبادله گاز تنها تحت تاثیر تایمینگ سوپاپ نیست بلکه از مجاری ورودی و خروجی نیز تاثیر می‌پذیرد. کاریکه پیستون برای مکش انجام می‌دهد باعث به راه افتادن یک موج فشار برگشتی به داخل سوپاپ ورودی باز می‌شود. در انتهای منیفولد ورودی این موج فشار با هوای ساکن محیط مواجه شده و مجدداً به سمت سوپاپ ورودی برگردانده می‌شود. نوسانات فشاری حاصله در سوپاپ ورودی می‌تواند برای افزایش شارژ گاز تازه و متعاقب آن دستیابی به بیشترین گشتاور ممکن به‌کار برده شود. بنابراین این نوع سوپرشارژینگ بستگی به استفاده از پاسخ دینامیکی هوای وارد شده دارد. همچنین در منیفولد ورودی اثرات دینامیکی بستگی به هندسه منیفولد ورودی و سرعت موتور دارد.

برای توزیع یکنواخت مخلوط سوخت و هوا، منیفولدهای ورودی استفاده شده در موتورهای کاربراتوری و موتورهائی با سیستم تزریق سوخت تک نقطه ای[1]، باید دارای لوله های کوتاهی باشند که تا جای ممکن طولی یکسان برای تمامی سیلندرها داشته باشند. ولیکن در حالت استفاده از موتورهائی با سیستم تزریق سوخت چند نقطه ای؛ سوخت در داخل منیفولد ورودی بر روی سوپاپ ورودی تزریق می‌گردد (تزریق سوخت در منیفولد) یا آنکه به‌طور مستقیم به داخل محفظه احتراق تزریق می‌شود (تزریق مستقیم). اساساً در این حالت منیفولدهای ورودی تنها هوا را جابجا می‌کنند و از آنجا که سوخت به‌طور ناگهانی و به سرعت وارد منیفولد ورودی می‌شود دست را برای تغییر دادن بیشتر چیدمان منیفولد ورودی باز است. این امر دلیل عدم وجود مشکل با سیستمهای تزریق سوخت چند نقطه‌ای از لحاظ توزیع یکنواخت سوخت می‌باشد.

سوپرشارژینگ بواسطه هندسه منیفولد[2]

منیفولدهای ورودی سیستمهای تزریق چند نقطه‌ای از لوله های تشدید[3] یا راهگاههای[4] مجزا و محفظه منیفولد تشکیل شده اند.

1- Single-Point Injection
2- Ram-Tube Supercharging
3- Resonanance Tubes
4- Runners



۱- سیلندر
۲- راهگاه‌های مجزا
۳- محفظه منیفولد
۴- دریچهٔ گاز

در حالت استفاده از سوپرشارژینگ بواسطه هندسه منیفولد **(شکل ۱)**، هر سیلندر به راهگاه(۲) مخصوص به خود دارای طولی مشخص که معمولاً به محفظه منیفولد (۳) وصل می‌شود اختصاص داده شده است. موجهای فشار به‌طور مستقل قادر به انتشار در راهگاه های مجزا هستند.

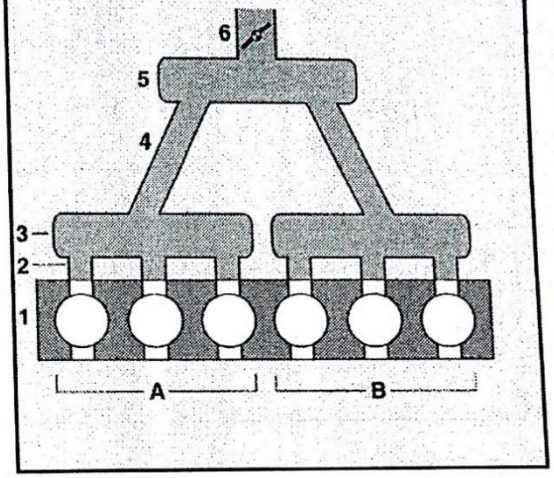
اثر سوپرشارژینگ بستگی به هندسه منیفولد ورودی و سرعت موتور دارد. به همین دلیل، طول و قطر هر راهگاه با تایمینگ سوپاپ تطبیق داده شده است. بنابراین در محدوده سرعتی مورد نیاز یک موج فشار برگشت داده شده از انتهای راهگاه بواسطه سوپاپ ورودی باز قادر به ورود به داخل سیلندر (۱) و بهبود شارژ سیلندر می‌باشد. راهگاه های باریک و طولانی منجر به اثر سوپرشارژینگ قابل توجهی در سرعتهای کم موتور می‌شوند. از طرفی هم راهگاه های کوتاه و با قطر زیاد اثر مثبتی بر روی منحنی گشتاور در سرعتهای بالای موتور دارد.

سوپرشارژینگ بواسطه مرتعش نمودن شارژ ورودی[1]

در یک سرعت مشخص؛ حرکت تناوبی پیستون باعث ارتعاش گاز داخل منیفولد ورودی در فرکانس تشدید می‌شود. این امر باعث افزایش فشار و در نهایت منجر به سوپرشارژینگ می‌گردد. در سیستمی که شار ورودی آن مرتعش می‌گردد **(شکل ۲)**، گروهی از سیلندرها (۱) با فاصله (از لحاظ زاویه) جرقه زنی یکسان بواسطه راهگاه های کوتاه (۲) با کمک یک محفظه تشدید (۳) به یکدیگر متصل شده اند. از طرفی هم این محفظه ها توسط لوله های ورودی تنظیم شده به اتمسفر یا به محفظه منیفولد (۵) وصل می‌شوند و به‌عنوان تشدیدگر هلمولتز[2] عمل می‌کنند.

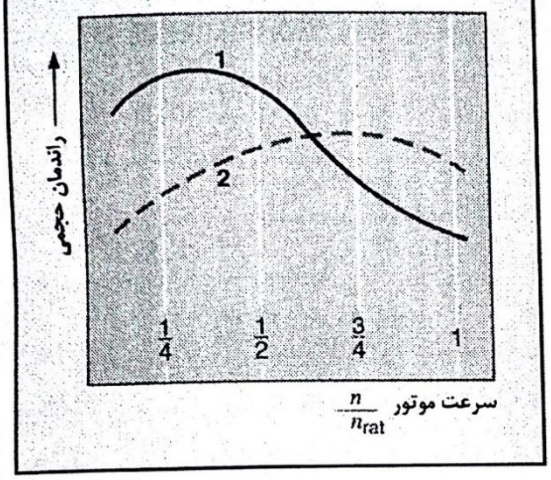
1 - Tuned-Intake Pressure Charging
2- Helmhotz Resonators

۲ سوپرشـــارژینگ بواسطه مرتعش نمودن شارژ ورودی



۱- سیلندر
۲- راهگاه کوتاه
۳- محفظهٔ تشدید
۴- لولهٔ ورودی تنظیم شده
۵- محفظهٔ مینفولد
۶- دریچهٔ گاز
A- گروه A سیلندرها
B - گروه B سیلندرها

۳ افزایش دادن حداکثر شارژ هوا (راندمان حجمی) توسط سوپرشارژینگ دینامیکی



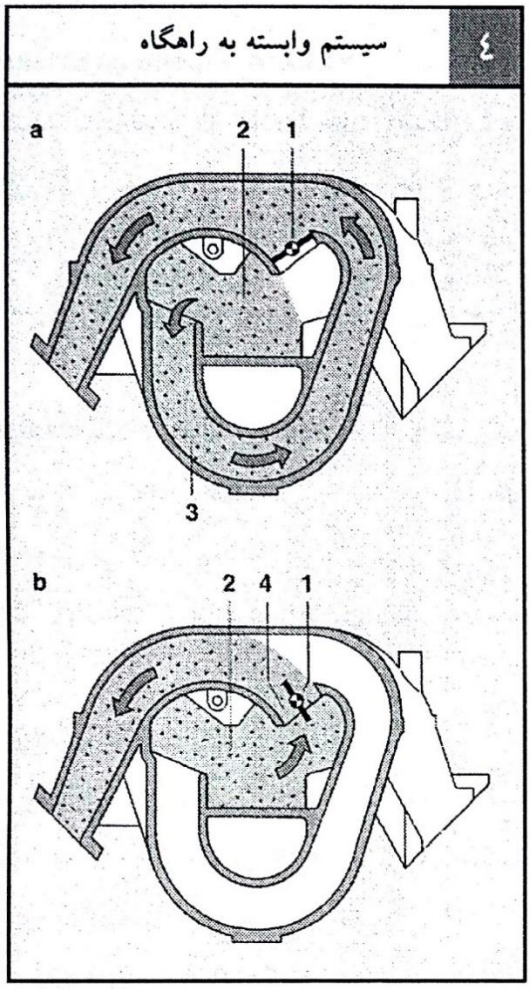
۱- مرتعش نمودن شارژ ورودی در منیفولد
۲- سیستم دارای منیفولد ورودی متداول

تقسیم شدن سیلندرها به دو گروه با لوله ورودی تنظیم شده مخصوص به خود، مانع همپوشانی اشتعالها در سیلندرهائیکه در مجاورت یکدیگر هستند می‌شود.

طول لوله های ورودی تنظیم شده و اندازه محفظه تشدید، تابعی از محدوده سرعتی است که در آن حداکثر سوپرشارژینگ ناشی از تشدید مورد نیاز می‌باشد. به علت اثر انباشتگری محفظه های حجیم که برخی اوقات نیز مورد نیاز می‌باشد خطاهائی ممکن است در برخی حالات، الخصوص زمانیکه بار ناگهان تغییر کند اتفاق بیفتد.

منیفولدهای ورودی با هندسه متغیر

شارژیکه نتیجه سوپرشارژینگ دینامیکی است (شارژ اضافه شده به سیلندر) بستگی به نقطه کاری موتور دارد. تنها دو سیستم با افزایش حداکثر شارژ دست یافتنی (راندمان حجمی) سر و کار دارند که هر دو آنها در محدوده سرعتی کم موتور هستند **(شکل۳)**.



a – هندسه منیفولد با بالچهٔ بسته
b – هندسه منیفولد با بالچهٔ باز
۱- بالچه
۲- محفظهٔ منیفولد
۳- بالچهٔ بسته؛ راهگاهی با قطر کم و طولانی
۴- بالچهٔ باز؛ راهگاهی با قطر زیاد و کوتاه

مشخصه های ایده آل گشتاوری می‌توانند بواسطه منیفولدهائی با هندسه متغیر که در آنها بسته به نقطه کاری موتور، بالچه هائی[1] برای تغییر دادن تنظیمات مختلف، نظیر موارد زیر استفاده می‌شوند حاصل گردند.

- تنظیمات طولی راهگاه
- سوئیچ نمودن بین طولها یا قطرهای مختلف راهگاه
- سوئیچ نمودن بین حجمهای مختلف محفظه
- از مدار خارج نمودن یکی از لوله های ورودی (راهگاه) به سیلندر در سیستمهای چند لوله‌ای

همچنین بالچه هائیکه به‌طور الکتریکی یا الکتروپنوماتیکی عمل می‌کنند برای اجرای تغییرات مورد نظر در سیستمهای هندسه متغیر استفاده می‌شوند.

1- Flaps

سیستمهای وابسته به راهگاه[1]

سیستم منیفولد نشان داده شده در **شکل ٤** می‌تواند بین دو راهگاه مختلف سوئیچ کند. در سرعت های کم، بالچه (۱) بسته می‌شود و هوای ورودی از مسیر راهگاه طولانی (۳) به داخل سیلندر جریان می‌یابد. در سرعتهای بالا و با باز شدن بالچه، هوای ورودی از مسیر راهگاه کوتاهیکه دارای قطر بیشتری است (٤) جریان یافته و باعث بهبود شارژ سیلندر در سرعتهای بالا می‌شود.

سیستمهای وابسته به لوله ورودی تنظیم شده[2]

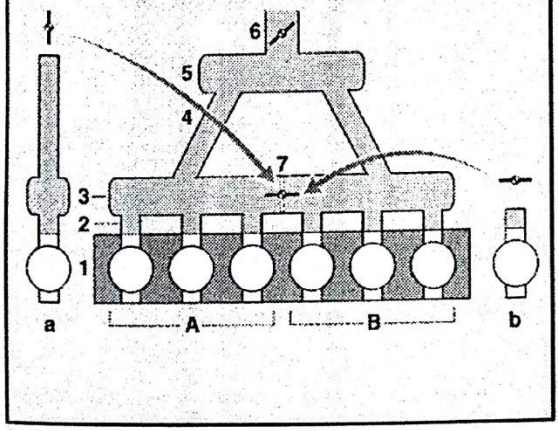
باز نمودن بالچه باعث سوئیچ شدن به یک لوله ورودی تنظیم شده دوم می‌گردد. این تغییر هندسه، بر روی فرکانس تشدید سیستم ورودی اثر می‌گذارد. شارژ سیلندر در سرعتهای کم بواسطه حجم مؤثر بالاتر ناشی از لوله ورودی تنظیم شده دوم بهبود می‌یابد.

سیستم ترکیبی[3]

در یک سیستم ترکیبی زمانیکه بالچه برای ترکیب نمودن محفظه های تشدید (۳) به‌منظور شکل دادن یک حجم واحد باز می‌شود (**شکل ۵**، وضعیت ۷) یک محفظه هوای ورودی با فرکانس تشدید بالا برای راهگاههای کوتاه (۲) بوجود می‌آید.

بالچه در سرعتهای کم و متوسط بسته نگاه داشته می‌شود و سیستم به صورت یک سیستم وابسته به لوله ورودی تنظیم شده عمل می‌کند. همچنین لوله ورودی تنظیم شده طولانی (٤) باعث تعیین شدن فرکانس تشدید پائین برای سیستم می‌شود.

۵ سیستم ترکیبی



۱- سیلندر
۲- راهگاه
۳- محفظهٔ تشدید
۴- لوله ورودی تنظیم شده
۵- محفظه منیفولد
۶- دریچهٔ گاز
۷- بالچه
A – گروه A سیلندرها
B – گروه B سیلندرها
a شرایط راهگاه‌ها با بالچهٔ بسته
b شرایط راهگاه‌ها با بالچهٔ باز

1- Ram-Tube Systems
2- Tuned-Intake-Tube Systems
3-Combined Tuned-Intake-Tube And Ram-Tube System

شارژ کنترل شده

رفتار جریان هوا در منیفولد ورودی و سیلندر از اصل ترین فاکتورهای موجود در شکل‌گیری مخلوط سوخت و هوای ایده آل می‌باشد. جریان قوی هوا، اختلاط مورد نیاز مخلوط سوخت و هوا و به دنبال آن احتراقی با سطح آلایندگی کم را تضمین می‌نماید.

دریچه کنترل جریان شارژ

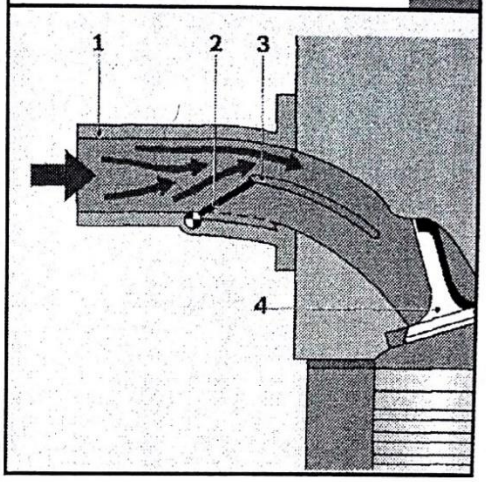
در سیستمهای تزریق مستقیم بنزین، از یک دریچه کنترل جریان شارژ برای ایجاد جریان قوی هوا استفاده می‌شود. در ناحیه‌ای نزدیک به سوپاپ ورودی، منیفولد هوا به دو کانال تقسیم می‌شود، که یکی از آنها را می‌توان توسط یک بالچه (دریچه کنترل شارژ ورودی) مسدود نمود **(شکل ۱)**. ترکیب این دریچه با هندسه قسمت ورودی، باعث ایجاد حرکت چرخشی[1] یا پیچشی[2] مخلوط در محفظه احتراق می‌شود **(شکل ۲)**.

دریچه کنترل جریان شارژ، شدت جریان شارژ را تحت کنترل قرار می‌دهد. در حالت شارژ لایه ای، در صورتیکه جریان بدین صورت حرکت کرده باشد رسیدن مخلوط به شمع تضمین شده است همچنین باعث شکل گیری مخلوط به‌طور همزمان می‌شود.

در حالت شارژ همگن، دریچه کنترل جریان شارژ به‌طور نرمال در گشتاورها و سرعتهای پائین بسته است. به عبارت دیگرورود هوای موردنیاز برای توان بالا به محفظه احتراق به علت آنکه دریچه کنترل جریان شارژ بخشی از سطح مقطع را مسدود نموده است امکانپذیر نمی باشد. در ضمن شکل گیری مخلوط ایده آل حتی بدون افزایش جریان شارژ به سادگی بواسطه آوانس نمودن تزریق سوخت به داخل محفظه احتراق (به مجرد کورس مکش) در دمائی بالا حاصل می‌شود.

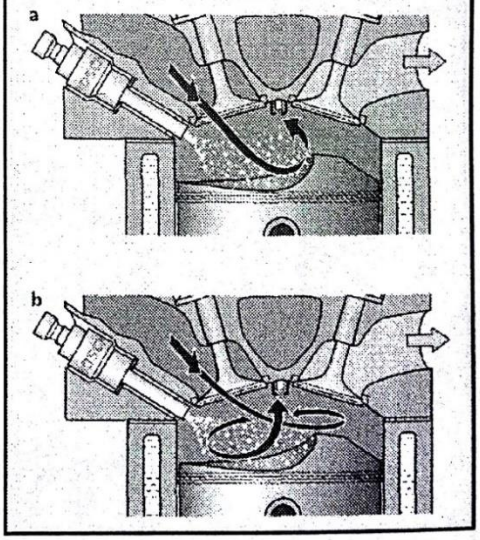
از لحاظ فنی استفاده از دریچه کنترل جریان شارژ در سیستمهائیکه در آنها سوخت به داخل منیفولد تزریق می‌شود مشکل است. زیرا ممانعت از انباشته شدن سوخت در جلوی دریچه هنگامیکه آن بسته است الزامی می‌شود.

۱ جریان شارژ کنترل شده



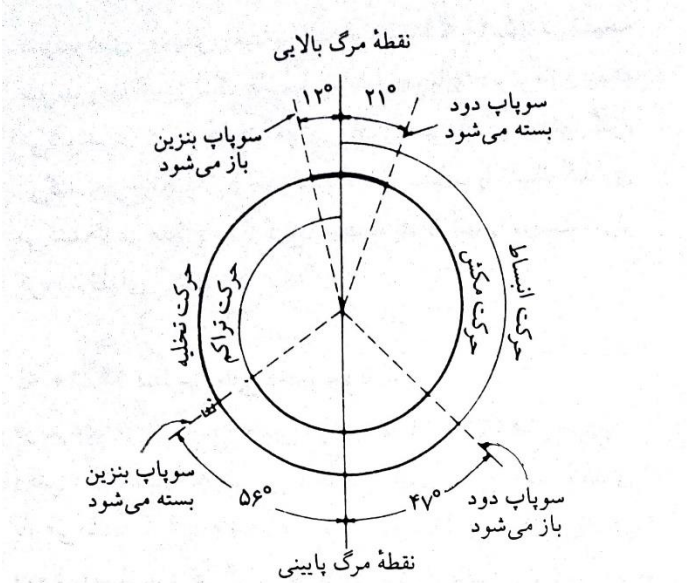
۱- منیفولد ورودی
۲- دریچهٔ کنترل جریان شارژ
۳- مرز جدایش
۴- سوپاپ ورودی

۲ حرکت جریان در محفظه احتراق



a حرکت پیچشی رو به جلو
b حرکت چرخشی

1- Swirling Motion
2- Tumbling Motion



شکل ۱۰ـ۳۰ تنظیم زمانی سوپاپهای بنزین و دود. چرخهٔ کامل به صورت یک مارپیچ ۷۲۰ درجه‌ای نشان داده شده که معرف دو دور کامل چرخش میل‌لنگ است. تنظیم زمانی سوپاپها در موتورهای مختلف متفاوت است.

تنظیم زمانی سوپاپهای موتور

۱۰ـ۱۸ تنظیم زمانی سوپاپ

منظور از تنظیم زمانی سوپاپ، تعیین زمان باز شدن سوپاپ و طول مدت بازماندن آن است. در شکل ۱۰ـ۳۰ یک نمودار رایج زمانی سوپاپ نشان‌داده‌شده‌است. مشخصات فنی برحسب درجه ذکر شده‌اند و نقاط تنظیم قبل یا بعداز نقطهٔ مرگ بالایی یا پایینی را نشان می‌دهند. روشی که انجمن مهندسان خودرو (SAE) توصیه می‌کند اندازه‌گیری نقاط تنظیم در فواصل ۰٫۱۵ میلیمتر (۰٫۰۰۶ اینچ) تورَوِیِ سوپاپ است. در تایپیتهای مکانیکی، ابتدا باید سوپاپها را با خلاصی مشخص شده فیلر زد (فصل ۳۰).

در شکل ۱۰ـ۳۰ باز شدن سوپاپ دود، در فاصلهٔ ۴۷ درجه پیش از نقطهٔ مرگ پایینی در حرکت انبساط آغاز می‌شود. این سوپاپ تا ۲۱ درجه پس از نقطهٔ مرگ بالایی در حرکت مکش باز می‌ماند. در نتیجه دود فرصت بیشتری برای خروج از سیلندر دارد. وقتی پیستون، در حرکت انبساط، به ۴۷ درجه پیش از نقطهٔ مرگ پایینی می‌رسد، فشار احتراق به شدت کاهش یافته است. در نتیجهٔ بازماندن اضافی دریچهٔ دود در این حالت، توان اندکی تلف می‌شود.

سوپاپ بنزین (در شکل ۱۰ـ۳۰) در ۱۲ درجه پیش از نقطهٔ مرگ بالایی شروع به بازشدن می‌کند. این سوپاپ تا ۵۶ درجه پس از نقطهٔ مرگ پایینی، پس از پایان حرکت مکش، باز می‌ماند. در نتیجه فرصت بیشتری برای ورود مخلوط هوا ـ سوخت به درون سیلندر وجود دارد.

سوپاپ دود در ۲۱ درجه پس از بازشدن سوپاپ بنزین، بسته می‌شود (شکل ۱۰ـ۳۰). یعنی این دو سوپاپ به اندازهٔ ۳۳ درجه همپوشانی دارند یا یکدیگر را قیچی می‌کنند. همپوشانی سوپاپ، میزان چرخش میل‌لنگ برحسب درجه است که در طی آن هر دو سوپاپ بنزین و دود باز می‌مانند. سوپاپها به صورت آنی باز و بسته نمی‌شوند. باز شدن یا بسته شدن کامل هر سوپاپ، مستلزم چند درجه چرخش میل‌لنگ پس از عبور از نقطهٔ تنظیم است. همپوشانی یا قیچی کردن سوپاپ به تخلیه و دفع کامل گازهای خروجی از سیلندر کمک می‌کند.

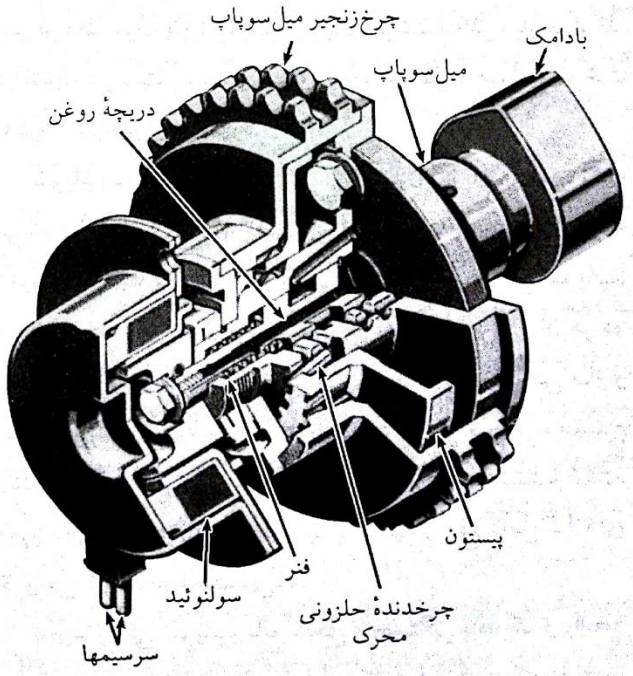
تنظیم زمانی سوپاپ تابع شکل برجستگی بادامک و رابطهٔ بین باز و بسته شدن سوپاپ و وضعیت میل‌لنگ است. با تغییر رابطهٔ بین چرخ‌زنجیرها یا چرخدنده‌های محرک و متحرک، تنظیم زمانی سوپاپ تغییر می‌کند. مثلاً فرض کنید تسمه یا زنجیر تنظیم

فرسوده‌ای جهش زمانی انجام دهد (➢ ۱۰-۵). در نتیجه میل‌سوپاپ از میل‌لنگ عقب می‌ماند و سوپاپها دیرتر باز و بسته می‌شوند. در نتیجه قدرت موتور کاهش می‌یابد و موتور گرم می‌کند. چرخ‌زنجیرها و چرخدنده‌های تنظیم را نشانه‌گذاری می‌کنند تا در هنگام سوار کردن مجدد، بتوان آنها را درست سوار کرد (شکلهای ۱۰-۵ و ۱۰-۶).

➢ ۱۰-۱۹ تنظیم زمانی متغیر سوپاپ

در سرعتهای بالا بازده حجمی موتور (➢ ۱۱-۱۲) کاهش می‌یابد. وقتی دور موتور افزایش می‌یابد، سوپاپهای بنزین مدت کمتری باز می‌مانند. در نتیجه مخلوط هوا ـ سوخت فرصت کمتری برای ورود به سیلندر دارد. اگر در سرعتهای بالا سوپاپهای بنزین زودتر باز شوند، ورود مخلوط هوا ـ سوخت به سیلندر زودتر آغاز می‌شود و در نتیجه سوخت بیشتری به سیلندرها می‌رسد.

یکی از راههای زودتر باز کردن سوپاپهای بنزین در سرعتهای بالا، استفاده از میل‌سوپاپی با تنظیم زمانی متغیر است (شکل ۱۰-۳۱). در این نوع میل‌سوپاپ بین چرخ‌زنجیر میل‌سوپاپ و میل‌سوپاپ یک اتصال انعطاف‌پذیر قرار دارد. این اتصال یک پیستون هیدرولیکی دارد که با فشار روغن موتور کار می‌کند و یک شیر تنظیم دارد که با سولنوئید کنترل می‌شود. وقتی مدول کنترل الکترونیکی موتور به سولنوئید سیگنال می‌دهد که سوپاپ را ببندد، فشار روغن پیستون را به سمت جلو (به طرف میل‌سوپاپ در شکل ۱۰-۳۱) می‌راند. وقتی پیستون حرکت می‌کند، دندانه‌های داخلی پیستون روی دندانه‌های شیب‌دار چرخدندهٔ حلزونی محرک به طرف بالا می‌لغزد. در نتیجه میل‌سوپاپ به اندازهٔ ۱۰ درجه از تنظیم زمانی جلو می‌افتد و سوپاپ بنزین زودتر باز می‌شود.



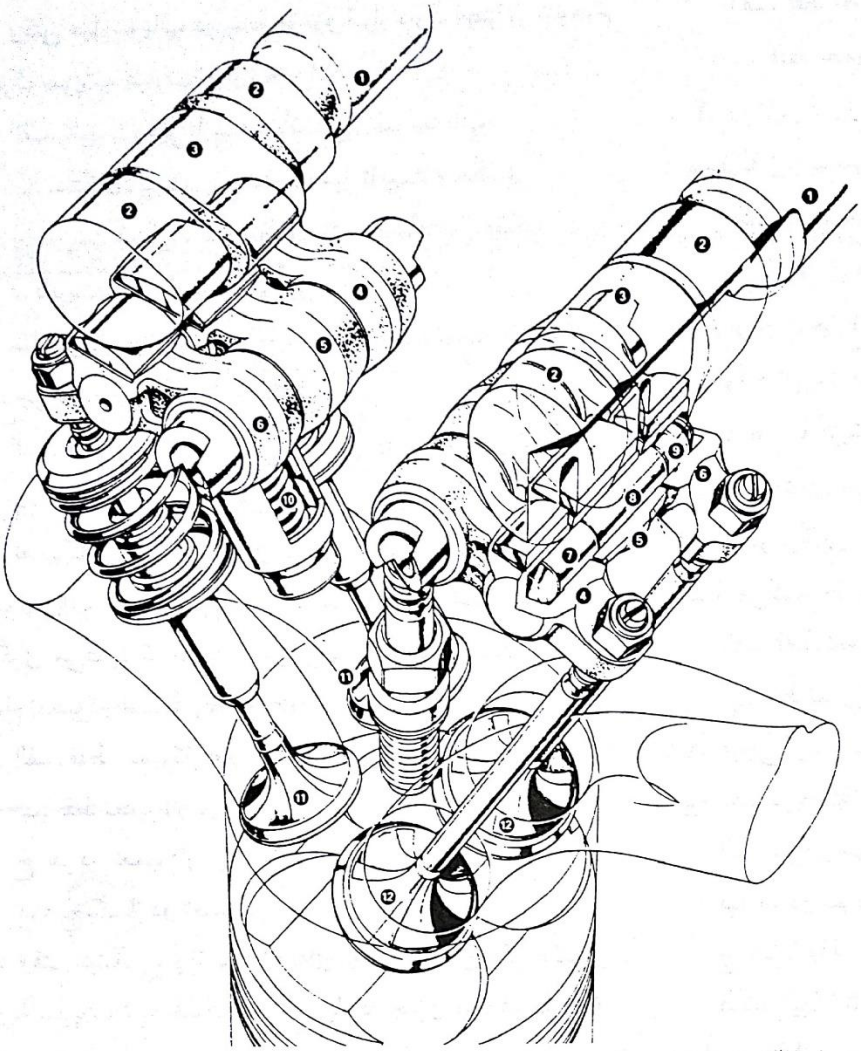
شکل ۱۰-۳۱ میل‌سوپاپ با تنظیم زمانی متغیر که در آن برای بازکردن زودتر سوپاپ بنزین در سرعتهای بالا از سولنوئیدی استفاده می‌شود که مدول کنترل الکترونیکی موتور آن را کنترل می‌کند.

راه دیگری برای تغییر تنظیم زمانی سوپاپ در دست بررسی است. در این روش به عوض میل‌سوپاپ، سولنوئیدهای برقی (➢ ۶-۱۱) سوپاپها را باز می‌کنند. هر سولنوئید طوری نصب می‌شود که هستهٔ آن به ته سوپاپ فشار بیاورد. حسگرها اطلاعاتی دربارهٔ دور موتور، بار و سایر متغیرها به مدول کنترل الکترونیکی موتور می‌فرستند. این مدول براساس اطلاعات دریافتی تصمیم می‌گیرد که چه وقت و چه مدت سوپاپ را باز کند. در زمان مناسب مدول کنترل الکترونیکی سیگنال ولتاژی به سولنوئید می‌فرستد. در نتیجه سولنوئید فعال می‌شود و هستهٔ آن بیرون می‌آید و سوپاپ را باز می‌کند. وقتی دور موتور افزایش می‌یابد، مدول کنترل الکترونیکی سوپاپها را زودتر باز می‌کند و ممکن است مدت بیشتری آنها را باز نگه دارد.

➢ ۱۰-۲۰ تنظیم زمانی و توروِی متغیر سوپاپ

در شکل ۱۰-۳۲ سیستم تنظیم زمانی و توروی متغیر سوپاپ که به صورت الکترونیکی کنترل می‌شود نشان داده شده است. این سیستم می‌تواند هم تنظیم زمانی سوپاپ و هم توروی آن را تغییر دهد. در نتیجه موتور می‌تواند هم مانند موتور اتومبیلهای معمولی نرم و آرام کار کند و هم در سرعتهای بالا قدرت موتور اتومبیلهای مسابقه را داشته باشد.

در موتور چهارسوپاپیِ دومیل‌سوپاپ‌رو، برای انتقال حرکت بادامک به ساق سوپاپ از انگشتیهای میل‌سوار استفاده می‌شود. میل‌سوپاپ این نوع موتور برای هر جفت سوپاپ بنزین و دود سه برجستگی دارد. سومین انگشتی، انگشتی وسط است (۵ در شکل ۱۰-۳۲). این انگشتی بین یک جفت سوپاپ قرار دارد. در هر انگشتی یک پیستون هیدرولیکی تعبیه شده است. در نتیجهٔ حرکت این پیستون، انگشتی درگیر یا خلاص می‌شود. اختلاف عملکرد این انگشتیها از تفاوت برجستگی بادامکها ناشی می‌شود. برجستگی بادامک وسطی مربوط به دور بالاست.



① میل‌سوپاپ
② برجستگی بادامک برای دور پایین
③ برجستگی بادامک برای دور بالا
④ انگشتی اولیه
⑤ انگشتی وسطی
⑥ انگشتی ثانویه
⑦ پیستون هیدرولیکی A
⑧ پیستون هیدرولیکی B
⑨ پین ایستان
⑩ فنر ضربه‌گیر تایپیت
⑪ سوپاپ دود
⑫ سوپاپ بنزین

شکل ۱۰-۳۲ سیستم تنظیم زمانی و توزوی متغیر سوپاپ.

برجستگیهای دیگر به دور پایین مربوط می‌شوند.

حسگرهایی که روی موتور نصب شده‌اند اطلاعاتی دربارهٔ دور موتور، بار موتور، سرعت خودرو و دمای آب موتور به مدول کنترل الکترونیکی می‌فرستند. مدول کنترل الکترونیکی در نقطهٔ تغییر از پیش تعیین شده، سیگنال ولتاژی به سولنوئید می‌فرستد. وقتی سولنوئید باز و بسته می‌شود، فشار روغن موتور به پیستونهای انگشتیهای مورد نظر فشار وارد می‌کند. سپس انگشتیها درگیر یا خلاص می‌شوند. براین اساس بادامکی که باید سوپاپها را به‌کار بیندازد مشخص می‌شود. تغییر وضعیت از بادامکهای کوتاه کناری به بادامک بلند وسطی در حدود ۰٫۱ ثانیه طول می‌کشد. وقتی دور موتور پایین است یا موتور درجا کار می‌کند و زیر بار نیست، این سیستم وارد عمل نمی‌شود.

تایمینگ متغیر سوپاپ

علاوه بر کنترل جریان گاز تازه ورودی به سیلندر توسط دریچه گاز؛ امکان تنظیم شارژ سیلندر بواسطه تایمینگ متغیر سوپاپ نیز وجود دارد. همچنین استفاده از قابلیت تغییر بالاروی سوپاپ علاوه بر تغییر پذیری تایمینگ سوپاپ هم برای تحت تاثیر قرار دادن نسبت گاز تازه به گازهای باقیمانده و شکل‌گیری مخلوط وجود دارد.

باز و بسته شدن تناوبی[1] سوپاپها از آنجا که این امر جریان گاز ورودی و خروجی را برای ارتعاش نمودن تحریک می‌نماید باعث ورود پر قدرت (تشنجی) گاز تازه به داخل محفظه احتراق و اجبار گازهای سوخته به ترک محفظه می‌شود. فرکانس و دامنه ارتعاشات بستگی به هندسه مجرای هوا و انشعاب سیستم خروجی، سرعت موتور و وضعیت دریچه گاز دارد.

از طرفی هم تایمینگ و بالاروی سوپاپ را می‌توان تنها برای بهترین عملکرد ممکن در فرآیند مبادله گاز در یک محدوده کاری مشخص تنظیم نمود. بنابراین طراحی تغییر ناپذیر ادوات سوپاپ همیشه شامل در نظر گرفتن تعادلی بین بار و سرعت موتور خواهد بود. تایمینگ متغیر سوپاپ امکان سازگار نمودن شرایط کاری مختلف را همراه با مزایای زیر فراهم نموده است:

- توان اسمی بالاتر
- منحنی گشتاور مطلوب در کل محدوده سرعتی موتور
- کاهش آلاینده های سمی
- کاهش مصرف سوخت
- کار نمودن روان تر در سرعت های موتور پایین تر

تنظیم میل سوپاپ

در موتورهای امروزی میل سوپاپها بواسطه تسمه های دندانه دار، زنجیرهای تایمینگ یا چرخ دنده ها توسط میل لنگ به حرکت در آورده می‌شوند. تنظیم میل سوپاپ نسبت به موقعیت میل لنگ بسیار مهم است. در بسیاری از موتورها، تنها میل سوپاپ ورودی طوری طراحی می‌شود که نسبت به موقعیت میل لنگ بچرخد. ولیکن امروزه تمایل به استفاده از میل سوپاپهای خروجی قابل تنظیم در حال افزایش است. در این کتاب اغلب از فعال کننده های هیدرولیکی[2] که قابلیت تنظیم نمودن مستمر را دارا می‌باشند استفاده شده است.

چرخیدن میل سوپاپ ورودی برای مثال زمان باز شدن سوپاپ ورودی را تعیین می‌نماید و در صورتیکه مقدار پروفیل برجستگی بادامک ثابت باقی بماند، منحنی بالاروی سابق حاصل شده و سوپاپ ورودی بعد از سپری شدن مدت زمانی مشابه بسته خواهد شد. **شکل ۱**، جابجائی منحنی بالاروی سوپاپ ورودی را نسبت به نقطه مرگ بالای پیستون هنگامیکه میل سوپاپ ورودی به‌منظور ریتارد کردن (به عقب انداختن زمان باز شدن سوپاپ ورودی) یا آوانس کردن (به جلو انداختن زمان باز شدن سوپاپ ورودی) می‌چرخد را نشان می‌دهد.

1- Periodic

2- Hydraulically Driven Actuators

ریتارد نمودن تایمینگ میل سوپاپ ورودی

ریتارد نمودن تایمینگ در سرعتهای کم موتور

ریتارد نمودن تایمینگ میل سوپاپ ورودی منجر به دیرتر باز شدن سوپاپ ورودی می‌شود بنابراین همپوشانی سوپاپ کاهش پیدا می‌کند. این امر مقدارگازهای سوخته برگشتی از مسیر سوپاپ ورودی به منیفولد ورودی را کم می‌کند. مخلوط ورودی ایکه محتوی گاز باقیمانده کمتری است در سرعتهای کم موتور (rpm۲۰۰۰>) باعث احتراق پایدارتر و عملکرد روانتر موتور خواهد شد. همچنین سرعت دور آرام موتور می‌تواند کمتر شود و مصرف سوخت مختص آن کاهش یابد.

ریتارد نمودن تایمینگ در سرعتهای بالای موتور

میل سوپاپ در سرعتهای بالای موتور نیز ریتارد می‌شود (rpm۵۰۰۰<). به علت بسته شدن دیرتر سوپاپ ورودی بعد از BDC، گاز تازه زمان زیادی برای جریان یافتن به داخل سیلندر تا زمانیکه اختلاف فشار شکل گرفته توسط سوپاپ ورودی بواسطه حرکت پیستون به سمت بالا جبران گردد دارد. این اثر تقویتی به مقدار قابل توجهی به افزایش شارژ سیلندر کمک می‌کند.

آوانس نمودن تایمینگ میل سوپاپ

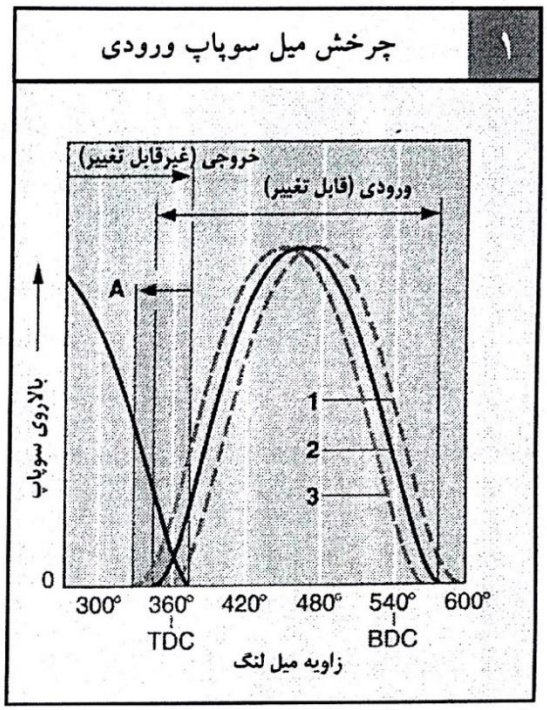
آوانس نمودن تایمینگ در سرعتهای متوسط موتور

در محدوده سرعتی متوسط، هیچگونه اثر تقویتی به علت تغییر دینامیک گاز بوجود نمی آید. زودتر بسته شدن سوپاپ ورودی بعد از BDC مانع رانده شدن گاز تازه وارد شده بواسطه حرکت رو به بالا پیستون به داخل منیفولد ورودی می‌گردد. این امر منجر به ایجاد بهترین شارژ ممکن می‌شود.

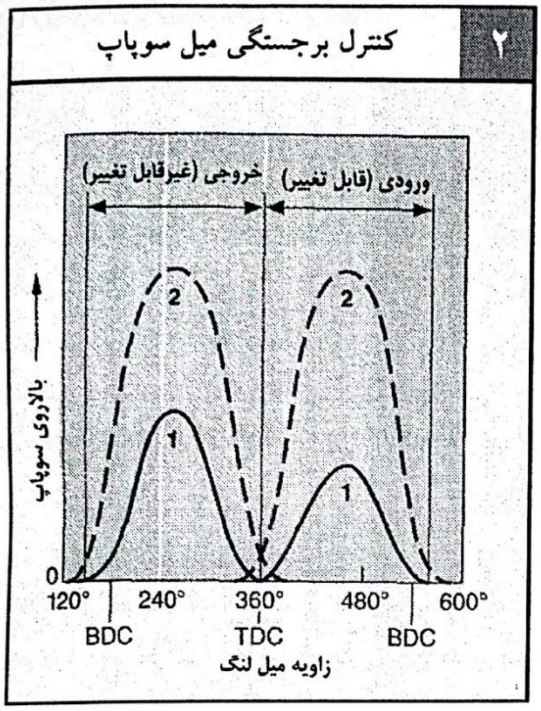
آوانس نمودن میل سوپاپ ورودی به معنای همپوشانی سوپاپ بزرگتر نیز می‌باشد. زودتر باز شدن سوپاپ ورودی قبل از TDC باعث رانده شدن گازهای سوخته باقیمانده به داخل منیفولد ورودی بواسطه کورس رو به بالای پیستون و برگشت مجدد آنها به داخل سیلندر می‌شود. نتیجه این عمل افزایش سهم گازهای باقیمانده در شارز سیلندر است (برگشت داخلی گاز خروجی). این امر باعث کمتر شدن حداکثر دمای احتراق و کاهش شکل گیری NO_X می‌گردد. همچنین سهم بیشتر گاز خنثی، باز شدن بیشتر دریچه گاز را به دنبال خواهد داشت در نتیجه از مصرف سوخت مختص تلفات دریچه گاز کاسته خواهد شد.

تنظیم میل سوپاپ خروجی

علاوه بر موارد ذکر شده، طراحی سیستمهائیکه در آنها میل سوپاپ خروجی نیز برای کنترل نمودن سهم گازهای باقیمانده بواسطه انتخاب نقطه ایکه در آن سوپاپ خروجی بسته می‌شود قابل تنظیم باشد امکان پذیر است. این امر تنظیم بهینه شارژ را با گاز تازه و مقدار گاز باقیمانده آن را به مقدار قابل توجهی آسان می‌کند.



۱- وضعیت ریتارد
۲- وضعیت نرمال
۳- وضعیت آوانس
A: همپوشانی سوپاپ



۱- بادامک استاندارد
۲- بادامک اضافی

کنترل برجستگی بادامک

کنترل برجستگی میل سوپاپ (**شکل۲**) مستلزم تعویض نمودن پروفیل های مختلف برجستگی بادامک می‌باشد. در این روش هم منحنی بالاروی سوپاپ و هم تایمینگ سوپاپ را می‌توان تغییر داد. به‌طور کلی اولین بادامک؛ تایمینگ و بالاروی بهینه را در سرعتهای کم و متوسط موتور تعیین می‌نماید در حالیکه در بارها و سرعتهای بالای موتور؛ تنظیمات صورت گرفته به بادامک دوم با بالاروی بیشتر و زمان بازماندن طولانی تر سوئیچ می‌شود.

تعویض نمودن در سرعتهای کم و متوسط موتور

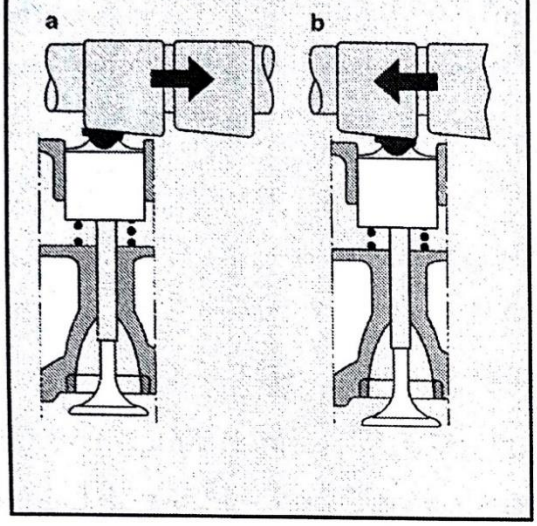
در سرعتهای کم و متوسط موتور، لقی کمتر سوپاپ[1] همراه با بالاروی کم سوپاپ منجر به سرعت بالاتر مکش و چرخش بهتر گاز شارژ (در موتورهای تزریق مستقیم بنزین) یا مخلوط سوخت و هوا (در موتورهائیکه سوخت در منیفولد تزریق می‌شود) می گردد. این امر شکل گیری مخلوط مناسب را حتی در حالت بار ناکامل تضمین می‌نماید.

تعویض نمودن در سرعتهای بالای موتور

مطالبه گشتاور زیاد (بار کامل)، نیازمند حداکثر شارژ است. مقطع بازشونده بواسطه بالا روی بیشتر سوپاپ بیشتر می‌شود به طوریکه تقریباً مانعی در مسیر جریان گاز وجود نخواهد داشت و از تلفات پمپینگ نیز کاسته می‌شود.

1 - Narrower Valve Gap

۳ نمونه‌ای از یک سیستم مجهز به تایمینگ و بالاروی سوپاپ متغیر



a- حداقل بالاروی
b – حداکثر بالاروی

تایمینگ سوپاپ کاملاً متغیر با میل سوپاپ

سوپاپی که در آن هم بالاروی آن و هم تایمینگ آن را بتوان به‌طور مستمر تغییر داد به نام سوپاپ کاملاً متغیر معروف گردیده است. پروفیلهای مختلف برجستگی بادامکی که متصل به میل سوپاپ قابل تنظیم (**شکل ۳**) یا بازوهای از لحاظ هندسی متغیر[1] هستند می‌توانند بالاروی سوپاپ و مدت زمان باز شدن آن را تنظیم نمایند.

تایمینگ سوپاپ کاملاً متغیر عدم تنظیم جریان هوا بواسطه دریچه گاز را آسان خواهد نمود. این امر باعث کاهش مصرف سوخت در مقایسه با تغییرات ساده تایمینگ می‌شود.

تایمینگ سوپاپ کاملاً متغیر بدون میل سوپاپ

آزادترین نوع تنظیم تایمینگ سوپاپ و بیشترین پتانسیل برای کاهش مصرف سوخت بواسطه سیستمهای بدون میل سوپاپ حاصل می‌شوند. در این حالت سوپاپها بواسطه فعال کننده های الکتروهیدرولیکی یا الکترومغناطیسی کار می‌کنند. یک ECU مکمل مسئول راه اندازی سیستم می‌باشد. هدف این سوپاپهای کاملاً متغیر بدون میل سوپاپ دستیابی به بهترین عملکرد ممکن در زمینه تنظیم جریان هوا بواسطه دریچه گاز که منجر به تلفات پمپینگ ناچیز خواهد شد می‌باشد.

قابلیت تغییر سوپاپ برای حصول بهترین شارژ ممکن، حداکثر گشتاور و آماده سازی بهتر مخلوط فراهم شده است. همچنین کاهش مصرف سوخت را می‌توان بواسطه ترکیب این سوپاپها با سیستم مسدود نمودن سیلندر[2]، بیشتر نمود. در ضمن ریسکهای فنی و هزینه های بالای این چنین سیستمهائی باید در نظر گرفته شود.

---

1 - Variable Lever-Arm Geometries
2 - Cylinder Shutoff

۹-۱۲- سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (Variable Valve Timing) (VVT)

این سیستم می‌تواند زمان‌بندی سوپاپ‌ها و مدت زمان باز بودن آنها را متناسب با شرایط کاری موتور به‌صورت خودکار تنظیم نماید. به کارگیری این سیستم باعث افزایش راندمان موتور و بهبود عملکرد آن می‌شود. زیرا هر چقدر دور موتور افزایش یابد، به همان نسبت لازم است که سوپاپ‌ها برای مدت بیشتری باز باشند. این سیستم برای اولین بار در دهه ۱۹۸۰ میلادی معرفی گردید و پس از آن شرکت‌های BMW، تویوتا، هوندا، نیسان و .... در به‌کارگیری این سیستم پیشتاز بوده‌اند.

در موتورهای معمولی که فاقد این سیستم هستند، تنظیم زمان باز بودن سوپاپ‌ها صرفاً از طریق فیلرگیری (تنظیم لقی بین ساق سوپاپ و اسبک) امکان‌پذیر است. اما در موتورهایی که دارای سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) هستند، تنظیم زمان‌بندی سوپاپ‌ها به‌صورت هوشمند و متناسب با شرایط عملکرد موتور انجام می‌پذیرد.

در سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) تعدادی سنسور وجود دارد که موقعیت میل بادامک، موقعیت میل‌لنگ و دور موتور را تشخیص می‌دهند. سپس واحد کنترل الکترونیکی موتور (ECM) بر اساس اطلاعات به‌دست آمده از این سنسورها، پردازش‌های لازم را انجام می‌دهد. در نهایت با فرمان‌هایی که توسط ECM صادر می‌گردد، موقعیت قرارگیری میل بادامک متناسب با شرایط تنظیم گردیده و زمان باز بودن سوپاپ‌ها به‌طور خودکار تنظیم می‌شود. عملگری که این کار را انجام می‌دهد، یک عملگر سولونوئیدی می‌باشد که با دریافت سیگنال الکتریکی از ECM، فعال گردیده و یک سوپاپ کنترل روغن (OCV) (Oil Control Valve) را باز می‌نماید.

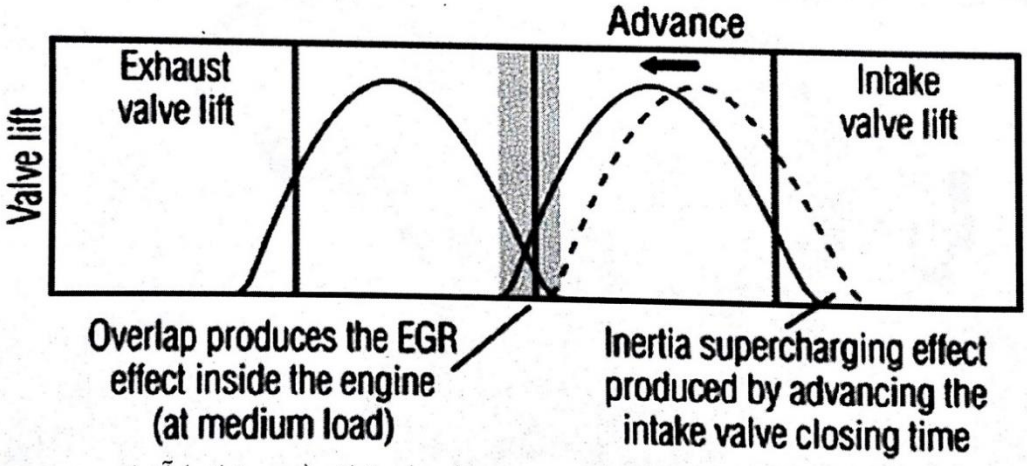
۹-۱۲-۱- عوامل مؤثر در زمان‌بندی سوپاپ‌ها (Effect Parameters In Valve Timing)

به‌طور معمول با افزایش دور موتور لازم است که سوپاپ‌ها برای مدت زمان بیشتری باز باشند. زیرا با افزایش سرعت گردش موتور، سوپاپ‌ها نیز سریع‌تر باز و بسته می‌شوند. به‌همین دلیل زمان کافی برای مکش و تخلیه

وجود نخواهد داشت. اما با افزایش زمان آوانس (زود باز شدن سوپاپ) و ریتارد (دیر بسته شدن سوپاپ) می‌توان این مشکل را برطرف نمود.

عامل مؤثر دیگر در زمان باز بودن سوپاپ‌ها، دمای هوا می‌باشد. به‌طوری که در زمستان که هوا سرد است، انرژی جنبشی هوا کم بوده و سخت‌تر جابه‌جا می‌شود. به‌همین دلیل در فصل زمستان، لقی فیلر کم گرفته می‌شود تا سوپاپ زودتر باز شود و دیرتر بسته شود؛ یعنی مدت زمان بیشتری باز باشد. برعکس در فصل تابستان که انرژی جنبشی هوای گرم زیاد است، لقی فیلر زیاد در نظر گرفته می‌شود تا سوپاپ با تأخیر باز شود و به سرعت بسته شود؛ یعنی زمان باز بودن سوپاپ کاهش یابد.

یک عامل مهم دیگر که می‌تواند در کاهش گازهای آلاینده تولید شده نقش مهمی داشته باشد، مدت زمان قپانی سوپاپ‌ها (زمان قیچی) می‌باشد. این زمان مربوط به اواخر مرحله تخلیه و ابتدای مرحله مکش است که هر دو سوپاپ هوا و دود به‌طور هم‌زمان بازهستند. در مقدار زمان قپانی، هم لحظه باز شدن سوپاپ دود(EVO) (Exhaust Valve Open) و هم بسته شدن سوپاپ ورودی (IVC) (Inlet Valve Close) مهم است. زیاد بودن بیش از اندازه زمان قپانی (قیچی) باعث افزایش میزان آلایندگی گازهای خروجی موتور می‌شود. زیرا در این زمان، احتمال مخلوط شدن هوا با دود وجود دارد. اما از سوی دیگر، اختلاط مقدار مشخصی از دود با جریان هوای ورودی می‌تواند در کاهش تولید گاز NO_x تاثیر به‌سزایی داشته باشد. در نتیجه سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) با کنترل بهینه مدت زمان قیچی سوپاپ‌ها می‌تواند میزان آلایندگی گازهای خروجی را تا حد قابل توجهی کاهش دهد.



شکل ۹- ۵۲- مدت زمان باز بودن سوپاپ‌ها و قپانی (همپوشانی) آنها

۹-۱۲-۲- فواید استفاده از سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT Benefits)

در صورت به کارگیری سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) شاهد نتایج زیر خواهیم بود:

۱- بهبود عملکرد موتور

۲- کاهش مصرف سوخت

۳- افزایش گشتاور موتور تولیدشده

۴-افزایش راندمان حرارتی و راندمان حجمی موتور

۵- کاهش ناقص سوزی سوخت

۶- کاهش آلایندگی در گازهای خروجی

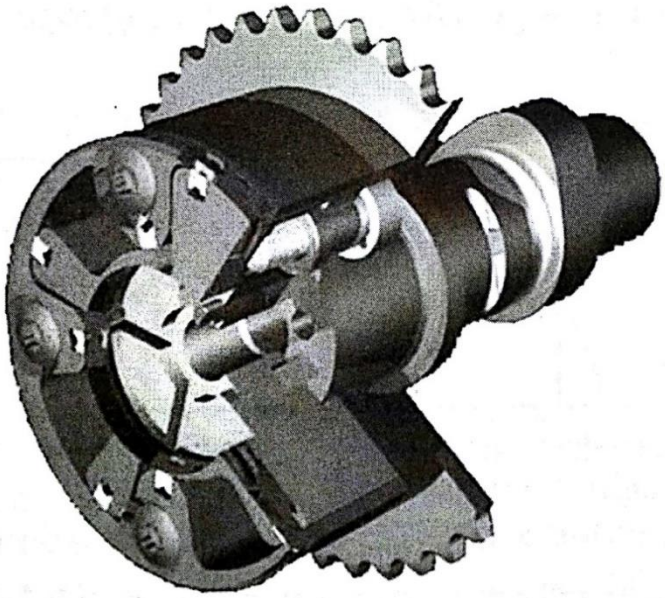
۹-۱۲-۳- اجزای تشکیل‌دهنده سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT Parts)

مجموعه قطعات تشکیل‌دهنده سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) که در تنظیم زمان‌بندی سوپاپ‌ها مؤثر هستند، عبارتند از:

۱- روتور (Rotor)

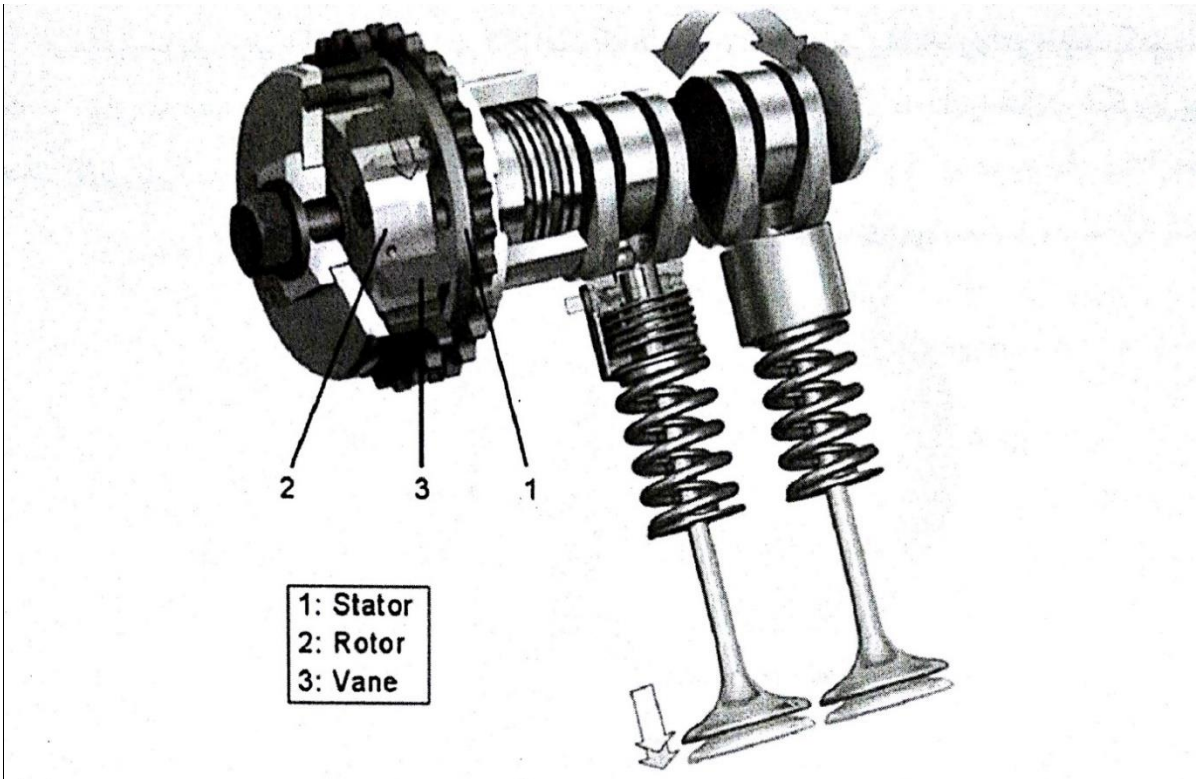
یکی از اصلی‌ترین اجزای سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT)، روتور می‌باشد. روتور قطعه‌ای است که به سر میل بادامک متصل بوده و می‌تواند باعث گردش نسبی میل بادامک شود.

این روتور، قطعه‌ای دوار است که بر روی محیط آن، تعدادی برجستگی قابل انعطاف وجود دارد. محل قرارگیری روتور در داخل یک پوسته بیرونی می‌باشد. البته فضای بین روتور و این پوسته بیرونی توسط روغن پر می‌شود.



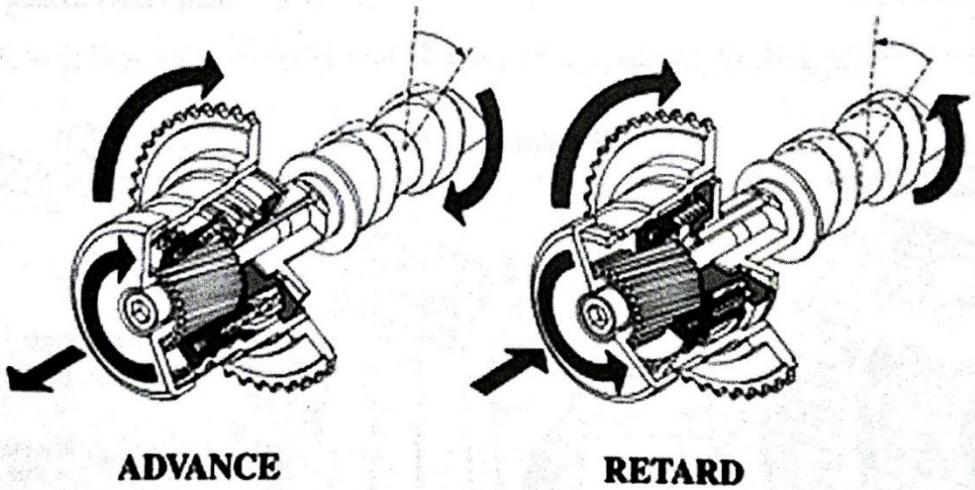
شکل ۹- ۵۳- روتور سیستم VVT

در حالت عادی در اثر تماسی که از طریق برجستگی‌های قابل انعطاف روتور با پوسته بیرونی برقرار می‌شود، روتور به‌طور هم زمان با پوسته بیرونی می‌چرخد. اما در صورتی که روغن پرفشار از یک سمت به برجستگی‌های روتور برخورد کند، روتور نسبت به پوسته، مقداری گردش می‌نماید. به‌طوری که می‌توان با استفاده از فشار روغن، روتور را نسبت به پوسته چرخاند.



شکل ۹- ۵۴- نصب روتور بر روی میل بادامک

چرخدنده تایمینگ نیز بر روی پوسته بیرونی نصب می گردد. بنابراین اگر روتور که متصل به میل بادامک است، نسبت به پوسته بیرونی بطور نسبی گردش نماید، چرخدنده تایمینگ نیز نسبت به میل بادامک حرکت می‌نماید. این حرکت نسبی می‌تواند زمان باز و بسته شدن سوپاپ‌ها را تغییر دهد.

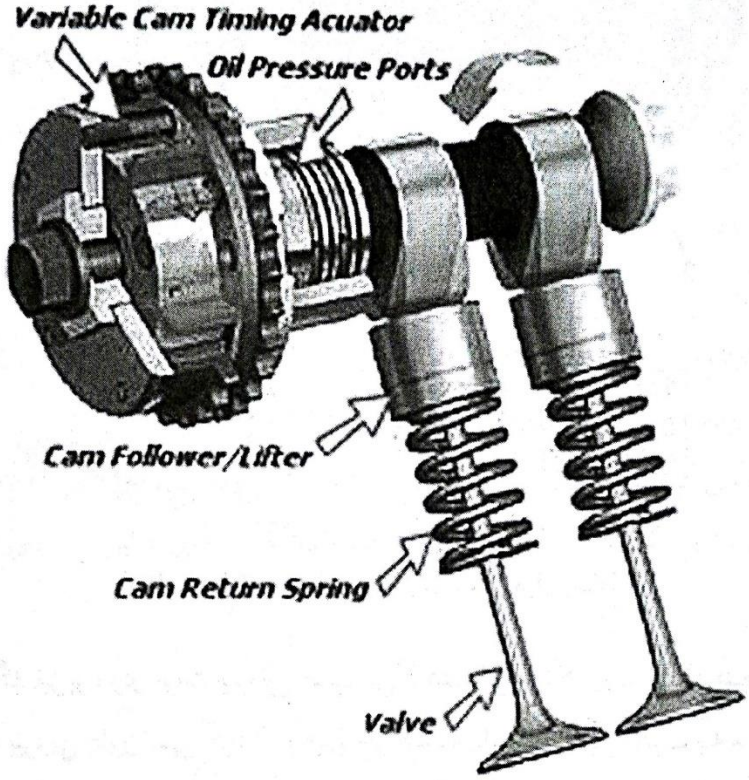


شکل ۹- ۵۵- ایجاد آوانس و ریتارد بوسیله روتور

۲- دنده تایمینگ (Timing Gear)

دنده تایمینگ که بر روی پوسته بیرونی نصب می گردد، وظیفه برقراری اتصال بین میل بادامک و میل لنگ ر برعهده دارد. گاهی اوقات نیز به‌جای دنده تایمینگ از تسمه و یا زنجیر استفاده می‌شود.

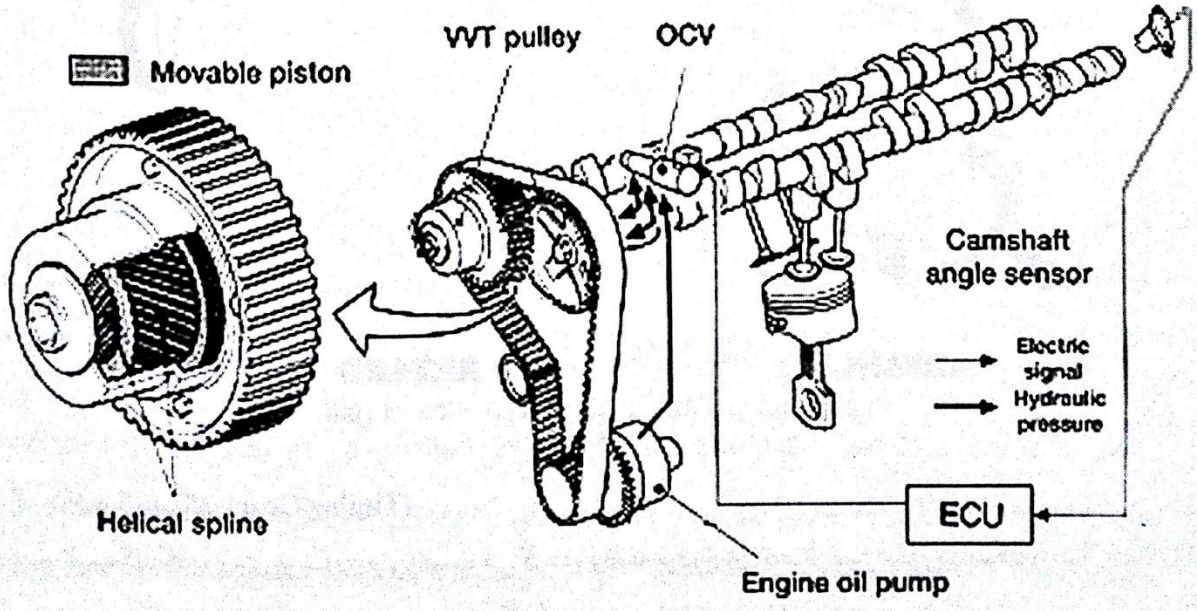
در سیستم سوپاپ متغیر (VVT) مکانیزمی لازم است که همواره بتواند تسمه و یا زنجیر را در حالت کشیده نگه‌دارد. برای این منظور، معمولاً دو عدد بالشتک در دو طرف زنجیر قرار دارد که دائماً در حال روغنکاری و خنک کاری می‌باشند.



شکل ۹-۵۶- دنده تایمینگ بر روی پوسته بیرونی روتور نصب می‌گردد

۳- پولی بادامک (Cam Shaft Pully)

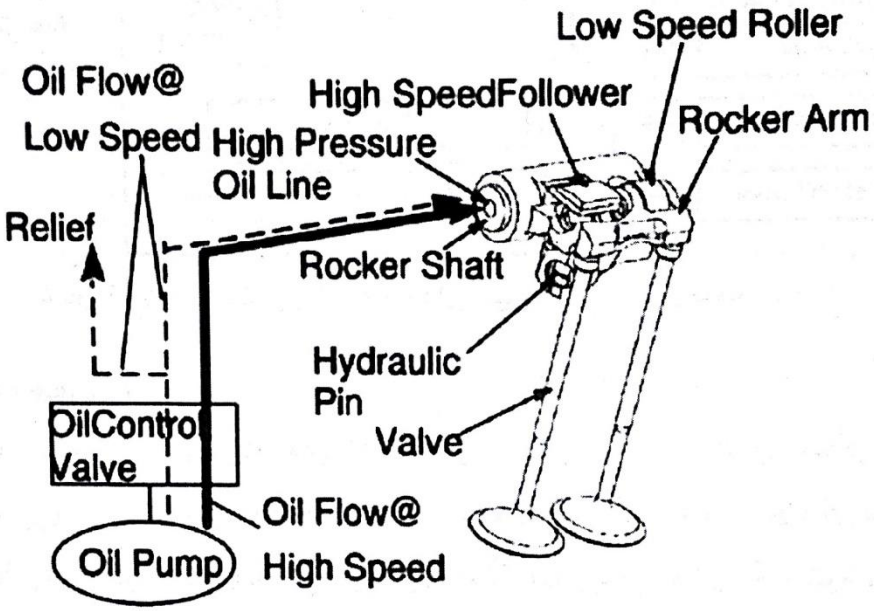
این پولی از طریق زنجیر و یا تسمه به روتور متصل گردیده و باعث چرخش میل‌بادامک می‌شود.



شکل ۹- ۵۷- پولی بادامک و تسمه تایمینگ

۴- پمپ روغن (Oil Pump)

این پمپ که قدرت خود را از میل‌لنگ می گیرد، معمولاً از نوع روتوری می‌باشد. در این نوع پمپ یک چرخدنده محرک و یک چرخدنده متحرک وجود دارد که روغن میان آنها محبوس گردیده و با فشار زیاد خارج می گردد. فشار این پمپ باید به قدری زیاد باشد که بتواند فضای بین پره‌های روتور را پر کرده و ارتباط را برقرار نماید.



شکل ۹- ۵۸- پمپ روغن

۵- سنسورها (Sensors)

سنسورهای مورد استفاده در این سیستم عبارتند از:

۱- سنسور موقعیت میل بادامک

۲- سنسور موقعیت میل‌لنگ

۳- سنسور موقعیت دریچه گاز

۴- سنسور دبی هوای ورودی

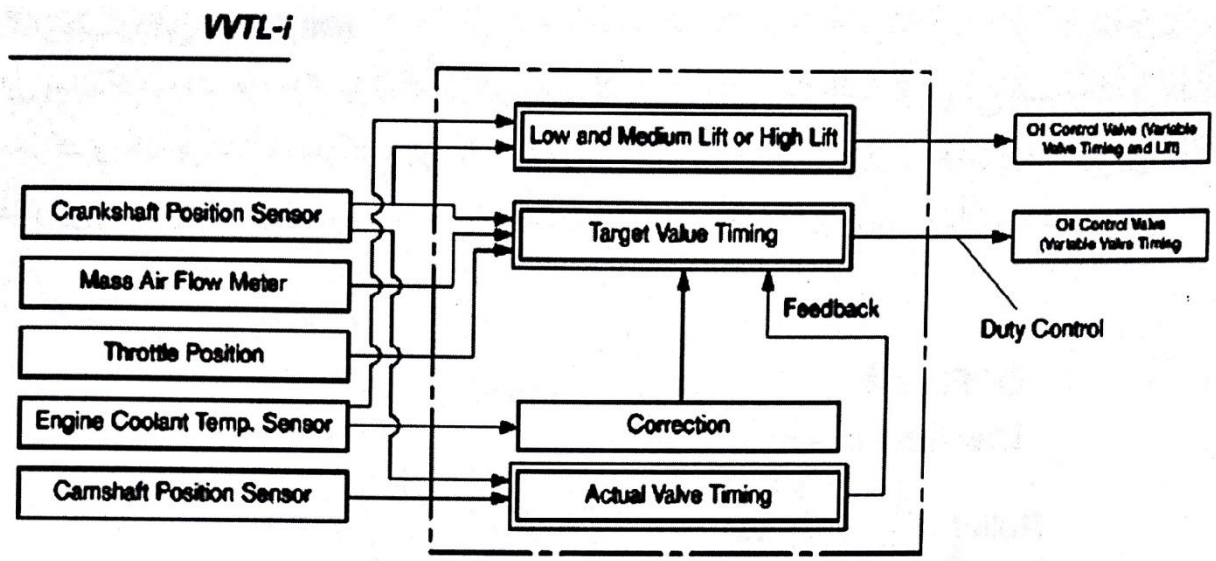
۵- سنسور سرعت خودرو

۶- سنسور دمای آب خنک کاری موتور

۷- سنسورفشار روغن

۶- واحد کنترل الکترونیکی (ECM)

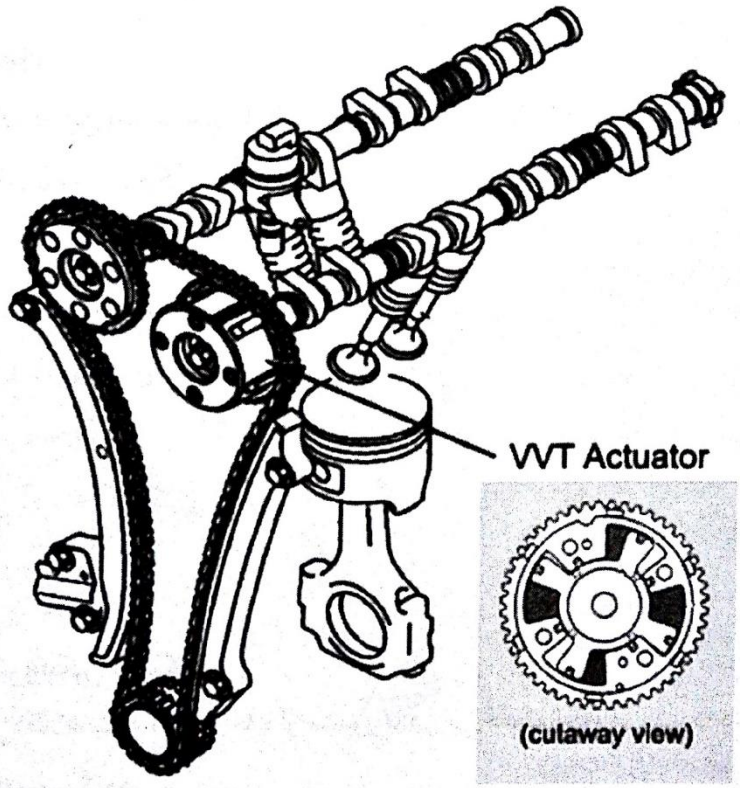
فرآیند پردازش و تحلیل اطلاعات به دست آمده از سنسورها در این قست انجام می‌پذیرد. دستورات مورد نیاز نیز توسط همین قسمت صادر می گردد.



شکل ۹- ۵۹- سنسورها و عملگرهای سیستم زمان بندی متغیر (VVT)

۷- عملگرها (Actuators)

عملگرهای مورد استفاده در سیستم سوپاپ متغیر (VVT) از نوع هیدرولیکی می‌باشند. این عملگرها به میل‌بادامک متصل گردیده و می‌توانند میل‌بادامک را به حرکت درآورند. فعال سازی آنها توسط فرمان‌های صادره از جانب ECM و با ارسال روغن پر فشار انجام می‌پذیرد. این عملگرهیدرولیکی دارای یک سوپاپ کنترل روغن (Oil Control Valve) (OCV) می‌باشد که با فرمان ECM می‌تواند مسیر روغن را باز و بسته نماید.



شکل ۹- ۶۰- عملگر سیستم زمان بندی متغیر (VVT)

۹-۱۲-۴- انواع مکانیزم‌های زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT Mechanism Kinds)

پس از پردازش اطلاعات به‌دست آمده از سنسورها، لازم است که بر اساس شرایط کاری موتور، دستوراتی به‌منظور تنظیم زمان‌بندی سوپاپ‌ها صادر گردد. برای اجرای این دستورات از مکانیزم‌های مختلفی استفاده می‌شود. در این قسمت به معرفی چند مدل از متداول‌ترین مکانیزم‌های مورد استفاده پرداخته شده است:

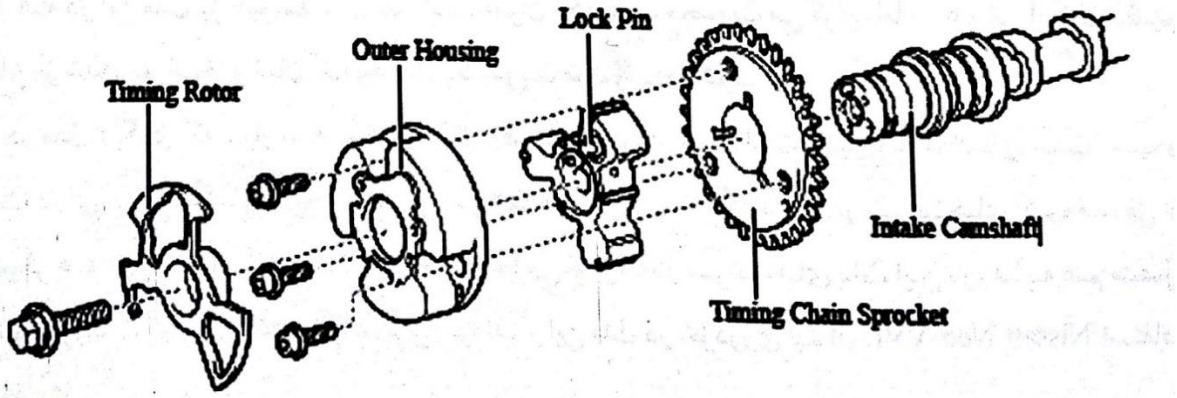
۱- مکانیزم تغییر زاویه بادامک (Change Cam Angle Mechanism)

این نوع مکانیزم تنظیم زمان‌بندی سوپاپ متغیر جزء ارزان‌ترین و متداولترین مکانیزم‌هایی است که برای این منظور استفاده می‌شود. در این مدل مکانیزم، تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها با استفاده از چرخش میل بادامک انجام می‌پذیرد. به‌طوری که با چرخش در یک جهت می‌توان سوپاپ را زودتر باز نمود و برعکس با چرخش میل بادامک در جهت مخالف، باعث دیرتر باز شدن سوپاپ گردید.

البته باید توجه داشت که این سوپاپ نمی‌تواند زمان باز بودن سوپاپ را تغییر دهد؛ زیرا اگر سوپاپ در اثر چرخش میل بادامک، زودتر باز شود به همان اندازه نیز زودتر بسته می‌شود.

اما بزرگترین مزیت این نوع مکانیزم، سادگی و قیمت ارزان آن است. به‌طوری که فقط نیاز به یک عملگر هیدرولیکی دارد تا بتواند این جابه‌جایی را ایجاد نماید. این عملگر هیدرولیکی در کنار میل بادامک نصب گردیده است و می‌تواند آن را در محل خود به گردش درآورد. این عملگر بر اساس دستورات وارده از جانب واحد کنترل الکترونیکی (ECU) کنترل می‌شود.

مکانیزم تغییر زاویه بادامک می‌تواند به دو گونه باشد. در مدل اول، بادامک می‌تواند فقط در دو یا سه وضعیت مشخص قرار بگیرد؛ یعنی تغییرات زاویه میل بادامک به‌صورت گسسته انجام می‌پذیرد. اما در مدل دوم، تغییرات در یک محدوده مشخص (به‌طور مثال بین صفر تا ۳۰ درجه) به‌صورت پیوسته است؛ به‌طوری که در این محدوده می‌تواند دارای موقعیت‌های متعددی باشد.



شکل ۹- ۶۱- مکانیزم تغییر زاویه بادامک سیستم زمان بندی متغیر (VVT)

سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) مورد استفاده در خودروی BMW از نوع پیوسته است. زیرا هر دو میل‌بادامک مربوط به سوپاپ‌های هوا و سوپاپ‌های دود می‌توانند دارای زوایای مختلفی باشند و این تغییر زاویه در

شرایط مختلف عملکرد موتور به‌طور پیوسته انجام می‌پذیرد. در این سیستم برای به گردش درآوردن هر یک از میل بادامک‌ها (به‌منظور تغییر زمان‌بندی سوپاپ‌ها)، یک روتور در انتهای میل بادامک تعبیه گردیده است که توسط فشار هیدرولیکی عمل می‌نماید.

در یک مدل پیشرفته‌تر که در خودروی تویوتا (Toyota) مورد استفاده قرار گرفته است از همین مکانیزم تغییر زاویه بادامک با تغییرات پیوسته استفاده شده است. با این تفاوت که واحد کنترل الکترونیکی(ECU) آن، علاوه بر سنسور دور موتور از سنسورهای شتاب، اندازه‌گیری شیب و .... نیز اطلاعاتی را دریافت می‌کند. به‌طوری که می‌تواند شرایط عملکرد موتور را به صورت دقیق‌تری تشخیص دهد و زمان‌بندی سوپاپ‌ها را با دقت بیشتری تنظیم نماید.

۲- مکانیزم تعویض بادامک (Change Cam shaft Mechanism)

این نوع مکانیزم که برای اولین بار توسط شرکت هوندا در دهه ۱۹۸۰ میلادی بر روی خودروی Civic CRX مورد استفاده قرار گرفت، علاوه بر تعیین لحظه باز شدن سوپاپ‌ها می‌تواند طول مدت زمان باز بودن سوپاپ‌ها را نیز تغییر دهد. این سیستم با نام کنترل الکترونیکی زمان‌بندی سوپاپ‌ها (Valve Timing Electronic Control) (VTEC) نیز شناخته می‌شود.

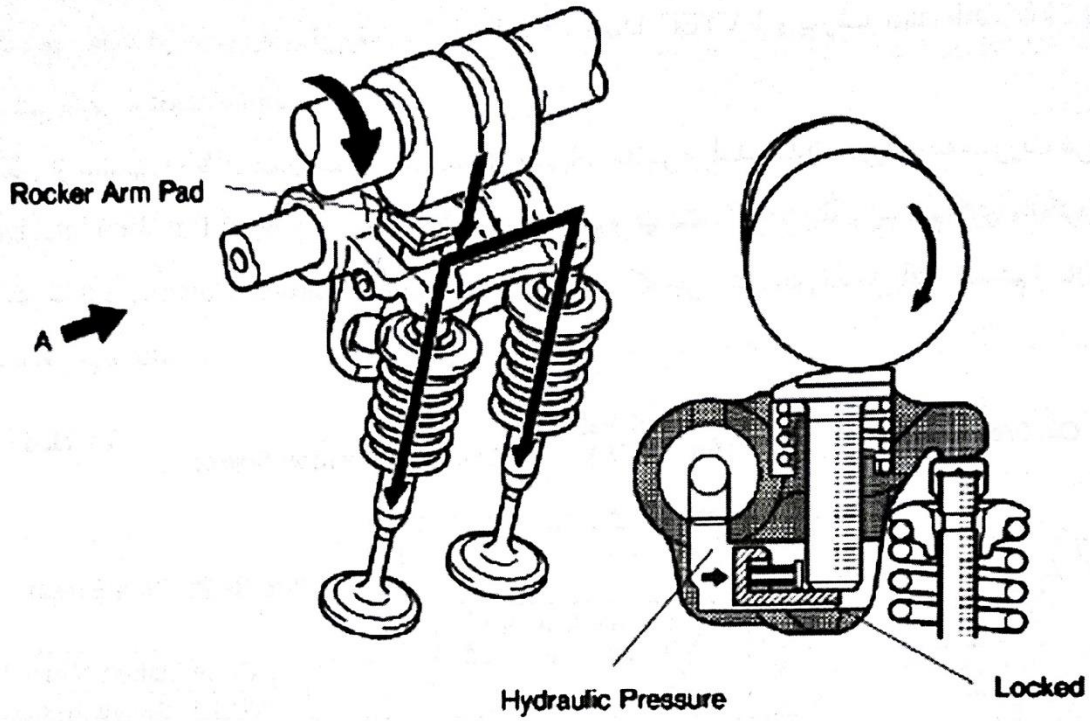
در این مکانیزم از دوسری بادامک با شکل نیم رخ استفاده شده است. یک سری از بادامک‌ها برای شرایط عادی و سرعت کمتر از ۴۵۰۰ دور در دقیقه (RPM) در نظر گرفته شده است و بادامک‌های سری دوم برای سرعت‌های بیش از ۴۵۰۰ دور در دقیقه می‌باشد. یعنی در این مدل مکانیزم، دو نوع زمان‌بندی مختلف وجود دارد که متناسب با دور موتور، یکی از آنها انتخاب می‌گردد.

در مدل‌های جدیدتری که شرکت هوندا ارائه نموده است، این نوع مکانیزم از حالت دو وضعیت به سه وضعیت تکامل یافته است. این ارتقاء باعث گردیده است که تغییرات به‌صورت پیوسته‌تر وبا شوک کمتری انجام شود. البته در این مدل نیز ناپیوسته بودن تغییرات به‌عنوان یک عیب محسوب می‌گردد. اما در عوض امکان تنظیم ارتفاع باز شدن سوپاپ‌ها و زمان آنها به‌عنوان یک مزیت محسوب می‌شود.

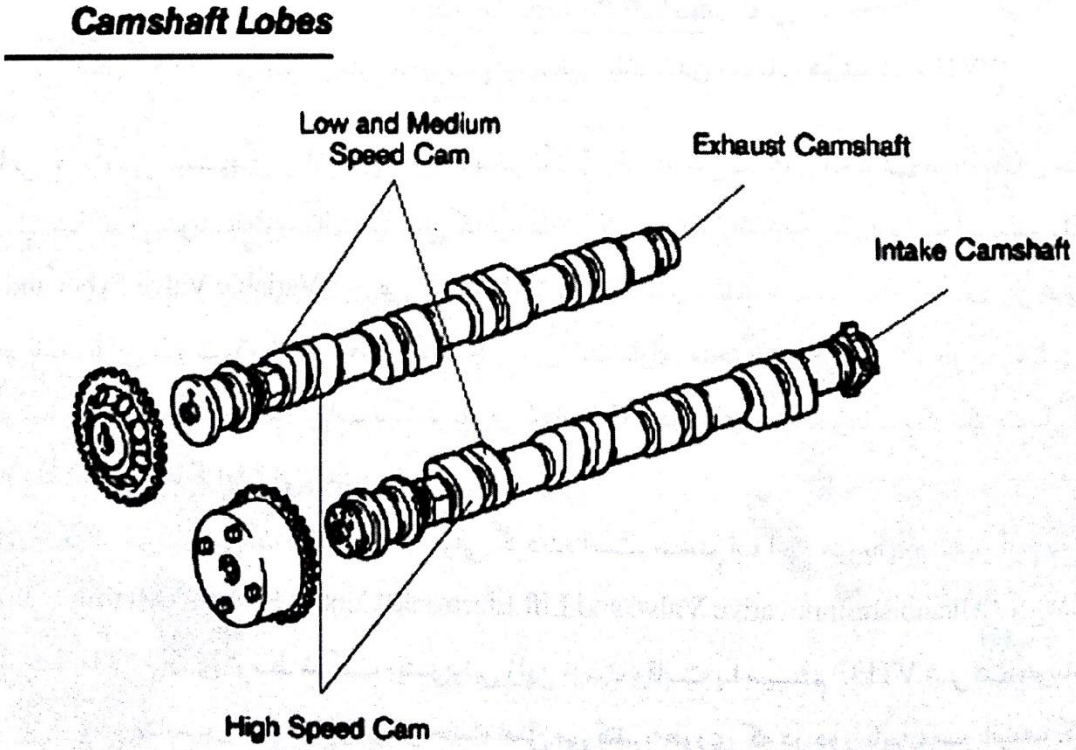
در مدل دیگری که بسیار شبیه مکانیزم به کار رفته در خودروی هوندا است، نیم‌رخ بادامک‌های سمت چپ و راست دارای منحنی یکسانی می‌باشند. در این سیستم، بازوهایی وجود دارد که در سرعت‌های کم، مستقل از یکدیگر عمل نموده و باعث بازشدن کمتر سوپاپ‌ها می‌شود. اما در سرعت‌های بالا، این بازوها به هم متصل می‌شوند و باعث باز شدن بیشتر سوپاپ‌ها می‌گردند. از این مدل در خودروی نیسان Nissan Neo VVL استفاده شده است.

این مکانیزم می‌تواند به‌صورت سه مرحله‌ای نیز عمل کند. به‌طوری که در اولین مرحله، هر دو میل بادامک مربوط به سوپاپ‌های هوا و دود در شرایطی قرار می‌گیرند که همه سوپاپ‌ها به مقدار کم باز شوند. اما در مرحله بعد که سرعت گردش موتور در حد متوسط است، میل بادامک سوپاپ‌های هوا، سوپاپ‌ها را بیشتر باز می‌کند و

میل بادامک دیگر، سوپاپ‌های دود را کمتر باز می کند. در مرحله سوم که مربوط به دورهای تند است، عملکرد میل بادامک‌ها به گونه‌ای است که همه سوپاپ‌ها به مقدار طولانی‌تر باز می‌مانند.



شکل ۹- ۶۲- مکانیزم تعویض بادامک سیستم زمان بندی متغیر (VVT)

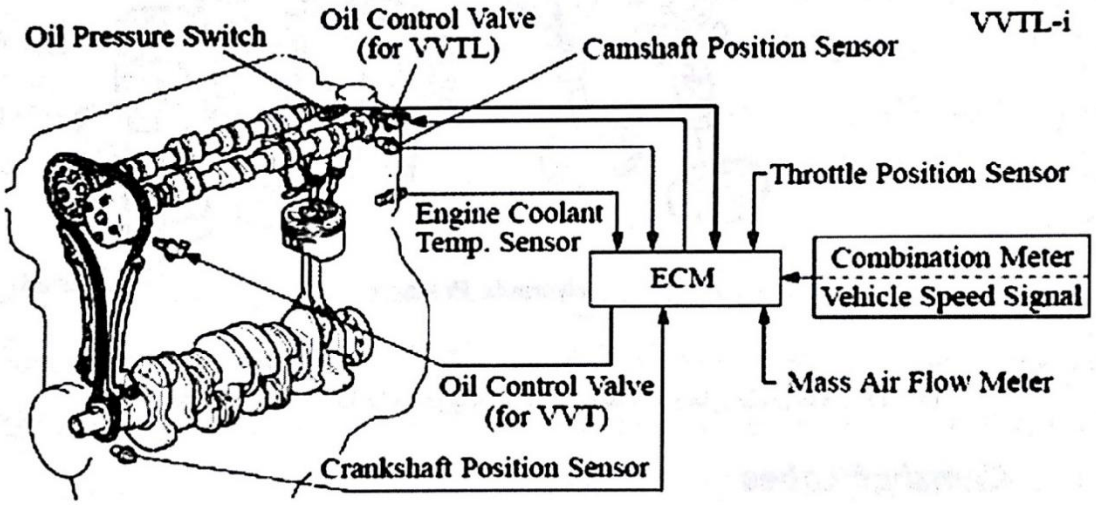


شکل ۹- ۶۳- بادامک‌های مربوط به سرعت‌های مختلف

۳- ترکیب مکانیزم تعویض بادامک با مکانیزم تغییر زاویه بادامک (Combination Mechanism)

در برخی از مدل‌های پیشرفته سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر، هر دو نوع مکانیزم قبلی که توضیح داده شد را باهم تلفیق می‌نمایند تا عملکرد بهتری ایجاد شود. یعنی هم دارای قابلیت تعویض بادامک هستند و هم امکان تغییر زاویه بادامک وجود دارد. در خودروهای تویوتا مدل VVTL-i، هوندا I-VTEC و پورشه Plus Variocam از این نوع سیستم تلفیقی استفاده شده است.

منظور از سیستم VVTL، همان سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر و بلند شدن سوپاپ به‌صورت هوشمند (Variable Valve Timing & Lift With Intelligence) است و عبارت VTEC بیانگر سیستم کنترل الکترونیکی زمان‌بندی سوپاپ (Valve Timing Electronic Control) است که جزء مدل‌های تکامل‌یافته سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر می‌باشند.



شکل ۹- ۶۴- سیستم زمان بندی سوپاپ متغیر بلند شدن سوپاپ هوشمند (VVTL)

گاهی اوقات این سیستم‌های زمان‌بندی سوپاپ متغیر تکامل‌یافته در شرکت‌های مختلف با نام‌های متفاوت دیگری نیز شناخته می‌شوند. به‌طور مثال، سیستمی که توسط شرکت نیسان ارائه شده است با نام سیستم VVEL (Variable Valve Event and Lift) معرفی گردیده است. این سیستم، مشابه سیستم به‌کار رفته در خودروی هوندا می‌باشد. با این تفاوت که بادامک‌های سمت چپ و راست دارای منحنی یکسانی هستند. در دورهای پایین، بازوها مستقل از هم عمل نموده و سوپاپ‌ها کمتر باز می‌شوند. اما در دورهای بالا، بازوها به یکدیگر متصل شده و میزان باز شدن سوپاپ‌ها افزایش می‌یابد.

یکی دیگر از سیستم‌هایی که در این زمینه معرفی گردیده است، سیستم ابداعی سوپاپ میتسوبیشی با کنترل الکترونیکی (Mitsubishi Innovative Valve and Lift Electronic Control System) (MIVEC) می‌باشد که در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط شرکت میتسوبیشی ژاپن جهت رقابت با سیستم VTEC شرکت هوندا ارائه گردید. این سیستم متناسب با دور موتور در دو حالت عمل می‌کند. به‌طوری که در دور پایین، سوپاپ‌ها کمتر از جای خود بلند می‌شوند و زمان کمتری باز هستند و در دور بالا، بادامک ثانویه وارد عمل شده و سوپاپ‌ها را هم به

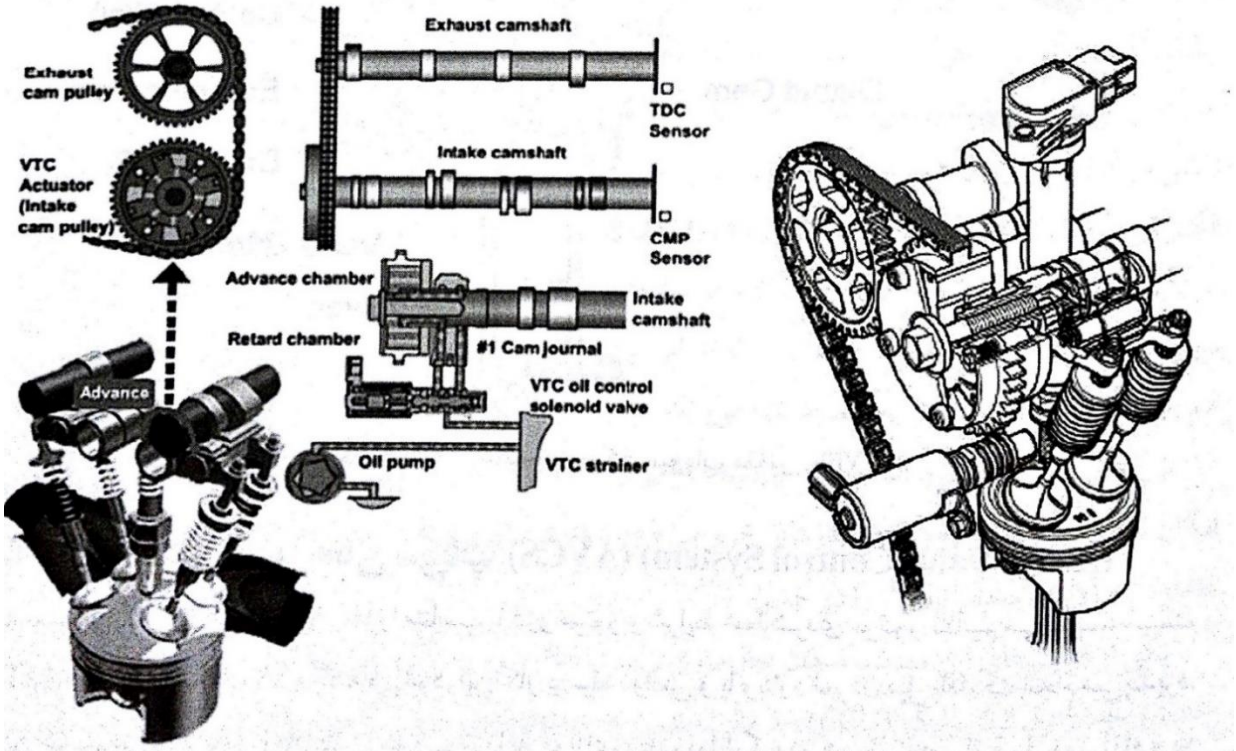
مقدار بیشتر و هم برای مدت طولانی‌تر باز نگه می‌دارد.

سیستم دیگری که در سال ۱۹۹۵ میلادی توسط شرکت روور ارائه گردیده است، سیستم کنترل سوپاپ متغیر VVC (Variable Valve Control) است. این سیستم می‌تواند زمان باز بودن سوپاپ‌ها را به‌طور پیوسته و متناسب با تغییرات دور موتور افزایش داد. در این سیستم برای ایجاد تغییرات از یک دیسک دوار خارج از مرکز استفاده شده است.

۹-۱۳- سیستم الکترونیکی زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VTEC)
(Variable Valve Timing Electronic Control)

این سیستم که یکی از مدل‌های پیشرفته سیستم زمان‌بندی سوپاپ متغیر (VVT) محسوب می‌گردد، برای اولین بار در خودروی هوندا Civic مورد استفاده قرار گرفت.

دراین سیستم، دو سری بادامک با شکل نیم رخ متفاوت وجود دارد که می‌توانند زمان‌بندی متفاوتی را ایجاد نمایند. یک سری از بادامک‌ها در شرایط عادی و سرعت‌های کمتر از ۴۵۰۰ دور بر دقیقه مورد استفاده قرار می‌گیرد و مجموعه دیگر بادامک‌ها مربوط به سرعت‌های بالاتر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که دو نوع زمان‌بندی متفاوت برای سوپاپ‌ها وجود دارد که یکی در دورهای کم و دیگری در دورهای زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ضمن لازم به‌ذکر است که در هنگام تغییر بادامک، زمان‌بندی سوپاپ‌ها به‌طور ناگهانی تغییر می‌نماید. درمدل‌های تکامل‌یافته‌تر این سیستم، تغییر بادامک مورد استفاده برای زمان‌بندی سوپاپ‌ها از دو مرحله به سه مرحله ارتقاء یافته است.

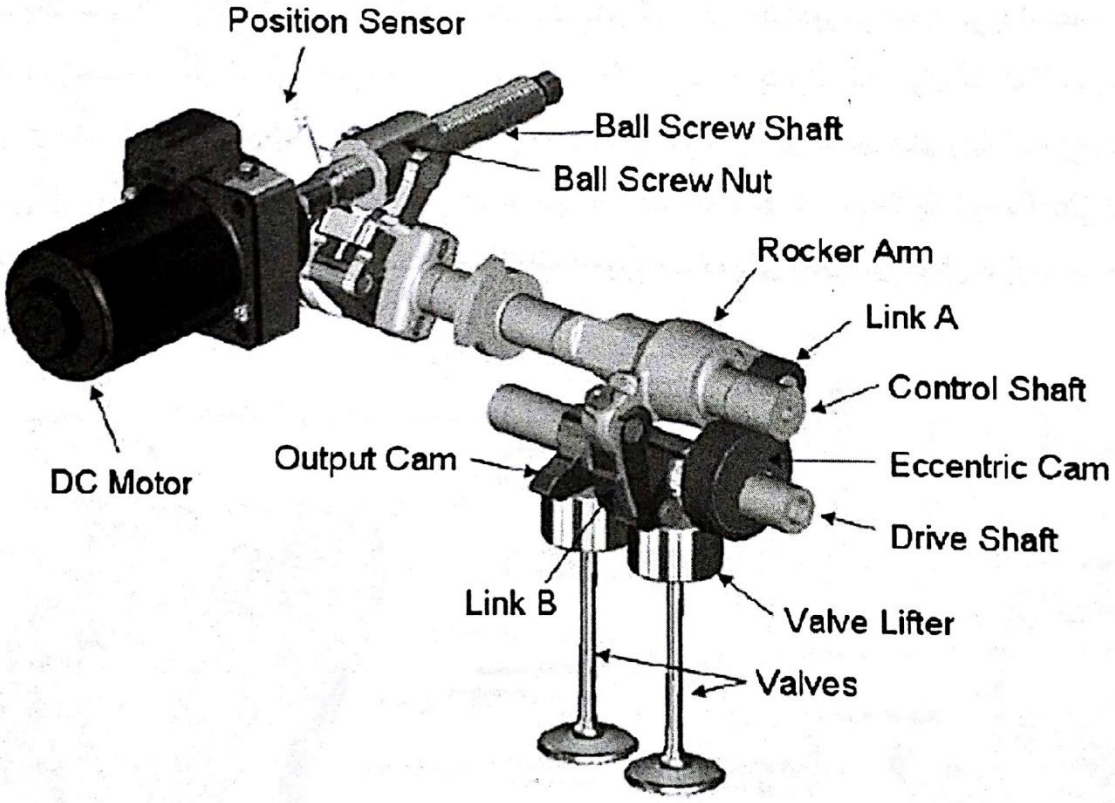


شکل ۹- ۶۵- سیستم کنترل الکترونیکی زمان بندی سوپاپ متغیر(VTEC)

۹-۱۴- سیستم کنترل حرکت سوپاپ متغیر (VVEL)
(Variable Valve Event and Lift)

این سیستم که توسط شرکت نیسان ارائه گردیده است، مشابه سیستمVTEC است که در خودروی هوندا مورد استفاده قرار می گیرد. با این تفاوت که بادامک‌های سمت چپ و راست دارای منحنی‌های نیم‌رخ یکسان می‌باشند.

دراین سیستم، بازوهایی وجود دارد که در سرعت‌های کم، مستقل از یکدیگر عمل نموده و باعث کم بودن میزان باز بودن سوپاپ‌ها می‌شوند. اما در سرعت‌های بیشتر و دور بالای موتور، این بازوها به یکدیگر متصل گردیده و باعث افزایش مدت زمان باز بودن سوپاپ‌ها می‌شوند. چنین مکانیزمی هم برای سوپاپ‌های هوا وهم برای سوپاپ‌های دود تعبیه گردیده است. به‌همین دلیل، امکان ایجاد سه حالت وجود دارد. در حالت اول، هر دو مکانیزم سوپاپ‌ها در وضعیت دور آرام قرار دارد. در حالت دوم، سوپاپ‌های هوا در وضعیت تند و سوپاپ‌های دود در وضعیت آرام قرار دارند. در حالت سوم نیز هر دو مکانیزم سوپاپ‌های هوا و دود در وضعیت دور بالا (تند) قرار دارند.

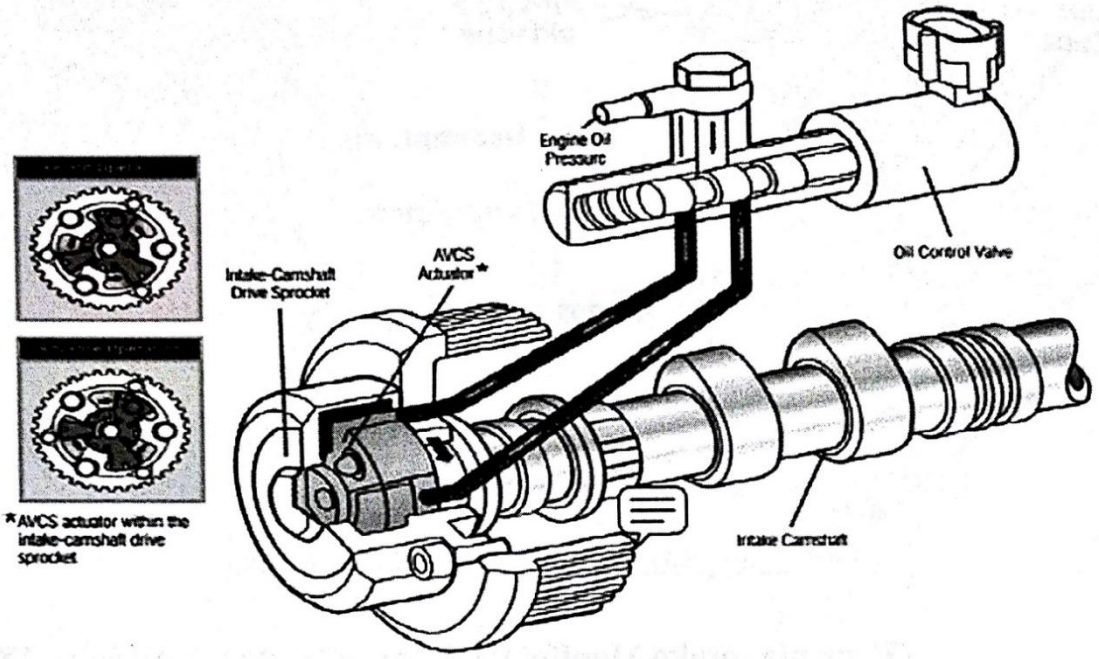


شکل ۹- ۶۶- سیستم حرکت سوپاپ متغیر (VVEL)

۹-۱۵- سیستم کنترل فعال سوپاپ (AVCS) (Active Valve Control System)

به سیستمی که زمان بندی سوپاپ‌ها را متناسب با دور موتور و شرایط عملکردی موتور تنظیم می‌نماید، سیستم کنترل فعال سوپاپ(AVCS) گفته می‌شود. این کار بوسیله آوانس و یا ریتارد نمودن میل بادامک انجام می‌پذیرد. این سیستم می‌تواند عمل زمان بندی سوپاپ‌ها را به گونه‌ای تنظیم نماید که در هر شرایطی از قبیل دور آرام و یا

شتاب گیری، بیشترین راندمان را داشته باشد؛ یعنی با کمترین مصرف سوخت، بیشترین قدرت تولید گردد. عملکرد بهینه این سیستم می‌تواند در کاهش آلایندگی گازهای خروجی نیز موثر باشد.



شکل ۹- ۶۷- سیستم کنترل فعال سوپاپ (AVCS)

۹-۱۶- سیستم زمان‌بندی سوپاپ کاملاً متغیر (بدون بادامک) (Camless)
(Fully Variable Valve Timing)

در این سیستم، مجموعه میل بادامک و مکانیزم به حرکت در آورنده سوپاپ‌ها (تایپیت، اسبک و . . .) به‌طور کامل حذف گردیده است و حرکت سوپاپ‌ها با استفاده از نیروهای مغناطیسی و فنرهای مکانیکی کنترل می گردد.

دراین سیستم زمان‌بندی سوپاپ‌ها، هیچ گونه محدودیت مکانیکی وجود ندارد و حرکت سوپاپ‌ها صرفاً بر اساس سیگنال‌های ارسال شده از جانب واحد کنترل الکترونیکی (ECU) تنظیم می گردد. به‌طوری که جریان الکتریکی ارسال شده از جانب واحد کنترل الکترونیکی(ECU) پس از عبور از داخل سیم پیچی که در بالای ساق سوپاپ تعبیه گردیده است، باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی می‌شود. همین میدان مغناطیسی، عامل به حرکت درآمدن سوپاپ‌ها و بلند شدن از جایشان است. اما نیرویی که باعث برگشت سوپاپ‌ها و بسته شدن‌شان می‌شود، هم‌چون سایر مدل‌ها، یک فنر برگشت‌دهنده می‌باشد.

از آنجایی که زمان باز و بسته شدن سوپاپ‌ها را می‌توان صرفاً با کنترل جریان الکتریکی تنظیم نمود. به‌راحتی امکان کنترل جرم هوای ورودی و گازهای خروجی وجود دارد. به‌طوری که می‌توان میزان مصرف سوخت و مقدار مواد آلاینده محیط زیست را در حد بهینه کنترل نمود.

یکی از قابلیت‌های این سیستم، امکان فعال‌سازی و یا غیرفعال نمودن تک‌تک سیلندرها است. یعنی اگر از جانب واحد کنترل الکترونیکی(ECU)، فرمانی مبنی بر باز و بسته شدن سوپاپ‌ها صادر نگردد، هیچ کار مفیدی در داخل سیلندر انجام نمی‌شود و عملاً آن سیلندر از گردونه خارج می گردد.

۹-۲۲- موتور با نسبت تراکم متغیر (Variable Compression Ratio) (VCR)

در موتورهای معمولی، عدد نسبت تراکم همواره یک عدد مشخص است. یعنی نسبت حجم سیلندر قبل از عمل تراکم به حجم سیلندر بعد از تراکم، همواره یک مقدار ثابت می‌باشد. در صورتی که در موتورهای با نسبت تراکم متغیر (VCR)، امکان تغییر نسبت تراکم، متناسب با شرایط کاری موتور وجود دارد.

با به کارگیری این سیستم، هم قدرت بیشتری تولید می‌شود و هم مصرف سوخت کاهش می‌یابد. به‌طوری که می‌توان گفت سیستم نسبت تراکم متغیر (VCR) باعث افزایش راندمان موتور می گردد.

در خصوص نسبت تراکم موتور لازم به ذکر است که هر چقدر مقدار نسبت تراکم بیشتر باشد، مقدار قدرت تولید شده در موتور نیز افزایش می‌یابد. اما در موتورهای اشتعال جرقه‌ای محدودیتی وجود دارد و آن پدیده خودسوزی است. در این گونه موتورها، اگر نسبت تراکم از حد مشخصی بیشتر شود، در اثر افزایش بیش از حد دمای مخلوط هوا– سوخت و رسیدن به دمای اشتعال، این احتمال وجود دارد که قبل از عمل جرقه‌زنی شمع، احتراق به‌صورت خودبه‌خود (پدیده خودسوزی) آغاز گردد. احتراق نابه‌هنگام باعث اعمال ضربه به پیستون، قبل از رسیدن به نقطه مرگ بالا می‌شود. این اتفاق نه تنها باعث افزایش سرعت و شتاب حرکت پیستون نمی‌شود، بلکه می‌تواند شتاب حرکت آن را نیز کاهش دهد. به‌طوری که هم باعث کاهش قدرت تولید شده در موتور گردد و هم با مختل نمودن عملکرد موتور باعث کارکرد نامنظم آن گردد.

لازم به ذکر است که پدیده خودسوزی همواره در نسبت تراکم مشخصی رخ نمی‌دهد، بلکه علاوه بر نسبت تراکم به عوامل دیگری همچون پایین بودن عدد اکتان سوخت، نامناسب بودن شکل محفظه احتراق، عدم خنک‌کاری صحیح جداره سیلندرها، تجمع رسوبات در کف پیستون و جداره‌های محفظه احتراق، آوانس زیاد زمان جرقه و داغ کردن موتور در اثر اعمال فشار بیش از حد نیز بستگی دارد. هر یک از این عوامل می‌تواند باعث شود که پدیده خودسوزی، زودتر و یا دیرتر رخ دهد.

در موتورهای قدیمی به‌منظور جلوگیری از بروز پدیده خودسوزی، نسبت تراکم موتور را درحد کمتری انتخاب می کردند. اما در تکنولوژی‌های پیشرفته امروزی با کنترل عوامل ایجاد پدیده خودسوزی، امکان بهره‌برداری از نسبت تراکم‌های بالاتر نیز وجود دارد. به‌طوری که در شرایطی که خطر پدیده خودسوزی وجود ندارد، از نسبت تراکم‌های بالاتر استفاده می گردد و در مواقعی که احتمال پدیده خودسوزی وجود دارد، از نسبت تراکم‌های کمتر استفاده می‌شود. بدین‌ترتیب هم با بهره‌گیری از نسبت تراکم‌های بالاتر، قدرت بیشتری در موتور تولید شده است و هم از بروز پدیده خودسوزی جلوگیری گردیده است.

با استفاده از تکنولوژی نسبت تراکم متغیر (VCR)، امکان افزایش نسبت تراکم تا حدود ۱۴:۱ نیز وجود دارد. در صورتی که در موتورهای قدیمی معمولاً نسبت تراکم موتور کمتر از ۱۰:۱ انتخاب می گردید.

در مجموع می‌توان گفت مهمترین مزایایی که در هنگام استفاده از سیستم نسبت تراکم متغیر (VCR) ایجاد می‌شود، عبارتند از:

۱-افزایش قدرت

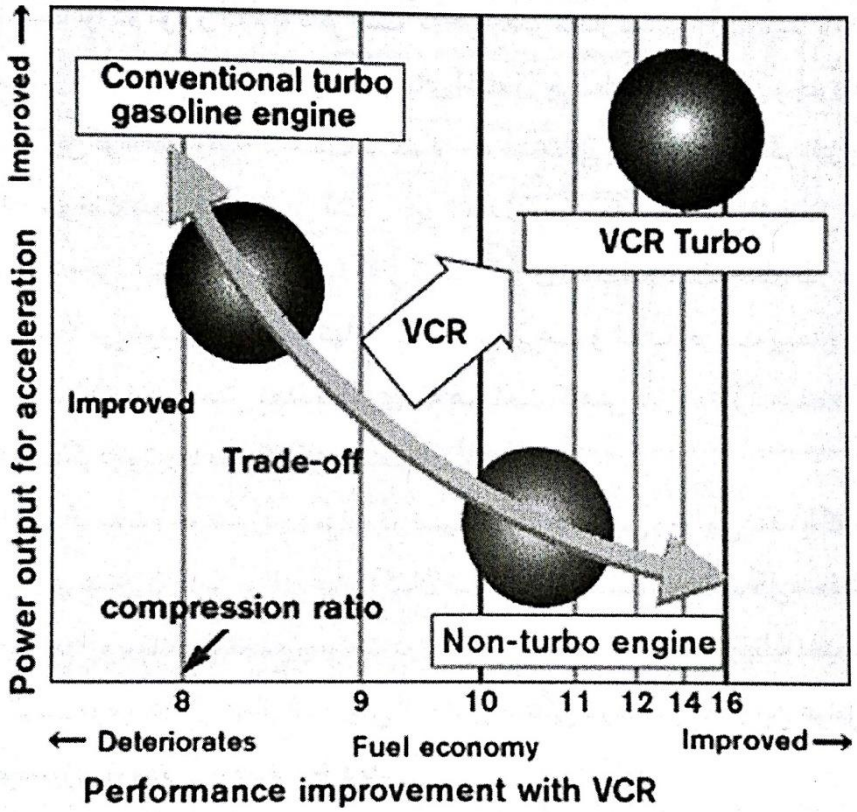
۲- کاهش مصرف سوخت

۳- کاهش تلفات در مرحله تراکم

۴-افزایش راندمان موتور

۵- جلوگیری از ایجاد پدیده خودسوزی

۶-کاهش گازهای آلاینده



شکل ۹- ۸۰- تاثیر سیستم VCR بر روی افزایش راندمان موتور

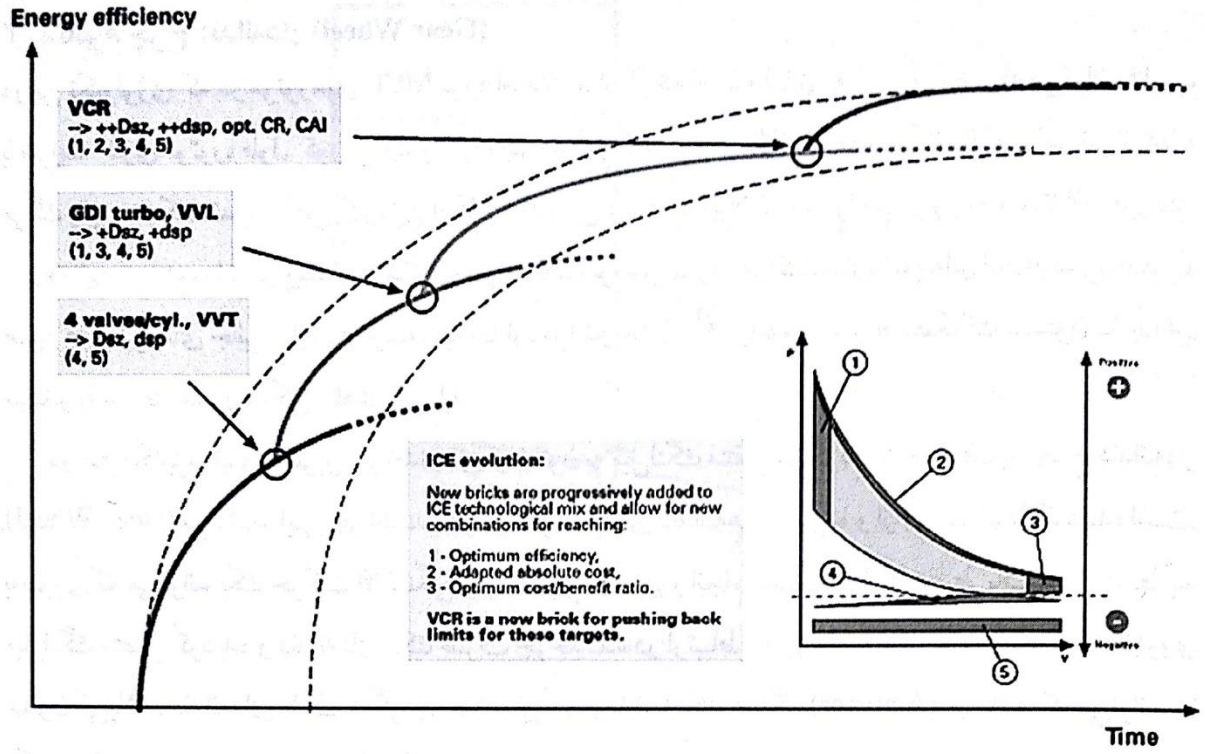
به کارگیری سیستم‌های مختلف باعث بهبود راندمان موتور می‌شود. اما میزان تاثیرگذاری آن‌ها با هم تفاوت دارد. سیستم نسبت تراکم متغیر (VCR) نسبت به سیستم‌های سوپاپ متغیر VVT و VVL بیشتر می‌تواند راندمان موتور را افزایش دهد؛ اما این کار را در زمان طولانی تری انجام می‌پذیرد.

۹-۲۲-۱- انواع مکانیزم‌های نسبت تراکم متغیر (VCR Mechanism Types)

به‌منظور ایجاد نسبت تراکم متغیر، راهکارهای مختلفی وجود دارد که متداولترین آنها عبارتند از:

۱- مکانیزم چند اهرمه (Multi Link)

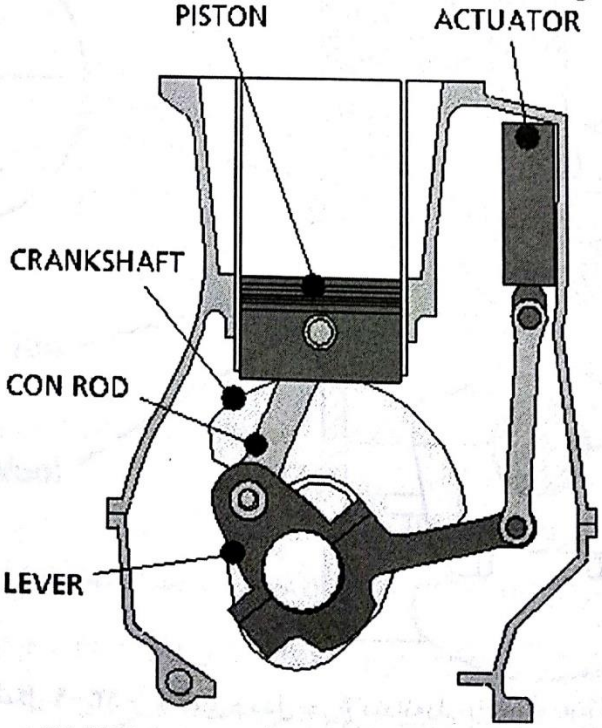
دراین تکنولوژی که توسط شرکت نیسان ارائه گردیده است، یک مکانیزم چند اهرمه بین دسته پیستون و میل‌لنگ وجود دارد که می‌تواند با تغییر طول شاتون (فاصله بین پیستون و میل‌لنگ)، طول کورس پیستون و نسبت تراکم را



شکل ۹- ۸۱- بهبود راندمان برحسب زمان با بکارگیری سیستم‌های مختلف

تغییر دهد. برای به حرکت درآوردن این مکانیزم نیز یک عملگر(Actuator) در نظر گرفته شده است. این عملگر، یک جک هیدرولیکی است که می‌تواند طول کورس پیستون را تغییر دهد.

لازم به ذکر است که اهرم واسط از محل لولا به میل لنگ متصل گردیده است و یک طرف آن به شاتون و طرف دیگرش به عملگر متصل است.



شکل ۹- ۸۲- مکانیزم چند اهرمه (Multi Link)

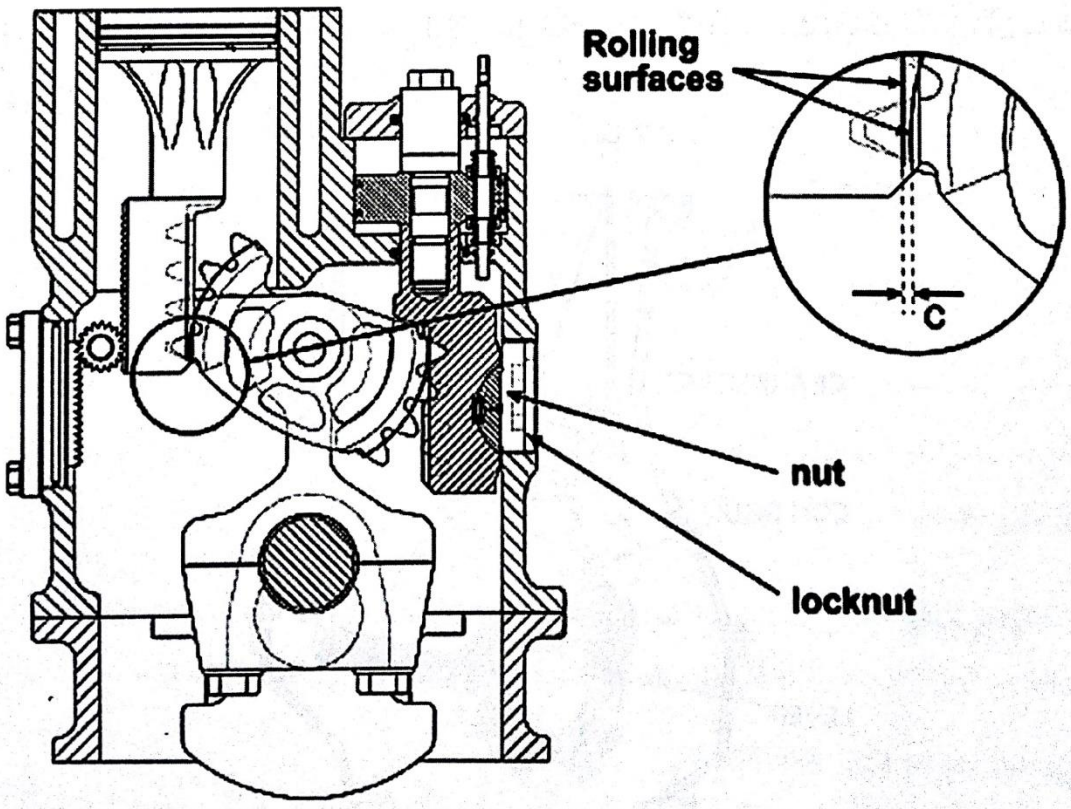
۲- مکانیزم چرخ دندانه‌دار (Gear Wheel)

دراین تکنولوژی که در موتورهای MCE مورد استفاده قرار گرفته است، قابلیتی فراهم گردیده که می‌توان متناسب با شرایط کاری موتور، طول کورس پیستون را تغییر داد. یعنی پیستون تا بالاتر از نقطه مرگ بالا و پایین‌تر از نقطه مرگ پایین حرکت نماید. با این کار، این امکان فراهم می‌گردد که بتوان نسبت تراکم موتور را از ۸ تا ۱۴ تغییر داد.

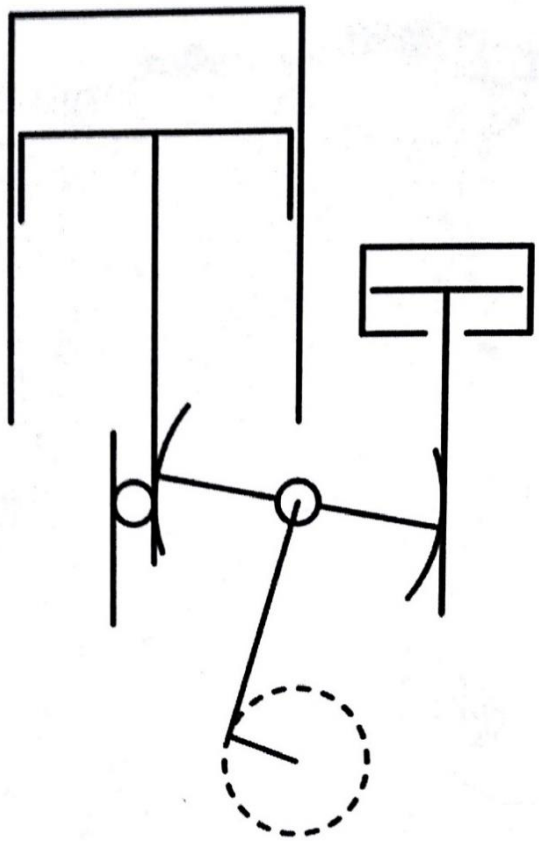
در این سیستم، راستای پیستون و شاتون همواره ثابت بوده و شاتون حرکت‌های زاویه‌ای انجام نمی‌دهد. به همین دلیل نیروهای جانبی وارده از پیستون به جداره سیلندر حذف گردیده و نیروی اصطکاک پیستون با جداره سیلندر به حداقل مقدار ممکن کاهش می‌یابد.

در این مکانیزم، نیرو از طریق چرخدنده‌ای از شاتون به میل‌لنگ منتقل می‌گردد که معروف به چرخ دندانه‌دار (Gear Wheel) می‌باشد. این چرخدنده در دو طرف دارای دندانه‌هایی بوده و از وسط لولا گردیده است. به‌طوری‌که می‌تواند یک حرکت الاکلنگی را به منظور انتقال نیرو انجام دهد. نقطه لولا توسط یک اهرم واسط به میل‌لنگ متصل گردیده و دندانه‌های یک طرف چرخدنده در ارتباط با چرخدنده شانه‌ای (Rack Gear) روی شاتون می‌باشد. دندانه‌های طرف دیگر چرخدنده نیز در ارتباط با یک عملگر (Actuator) می‌باشد که می‌تواند با یک حرکت زاویه‌ای چرخدنده، طول کورس پیستون و نسبت تراکم را تغییر دهد.

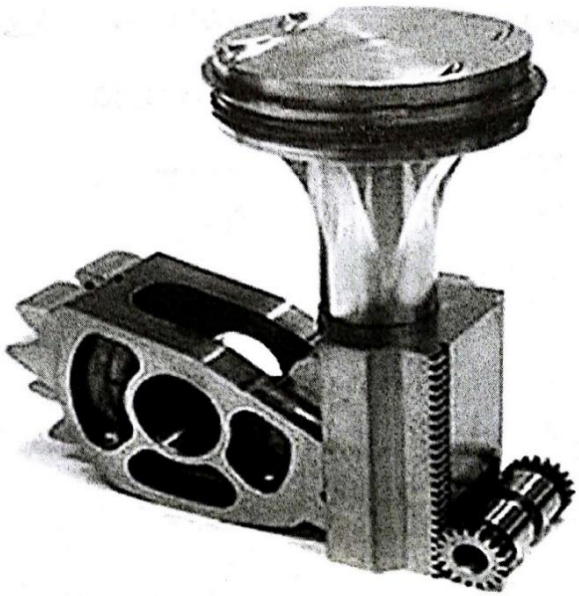
در پشت شاتون نیز یک چرخدنده‌ی استوانه‌ای راهنما وجود دارد که به عنوان یک تکیه‌گاه و هدایت کننده شاتون عمل می‌نماید. این چرخدنده به صورت یک غلتک هم‌گام‌کننده (Synchronized Roller) می‌باشد.



شکل ۹- ۸۳- مکانیزم مدل چرخ دندانه‌دار (Gear Wheel)



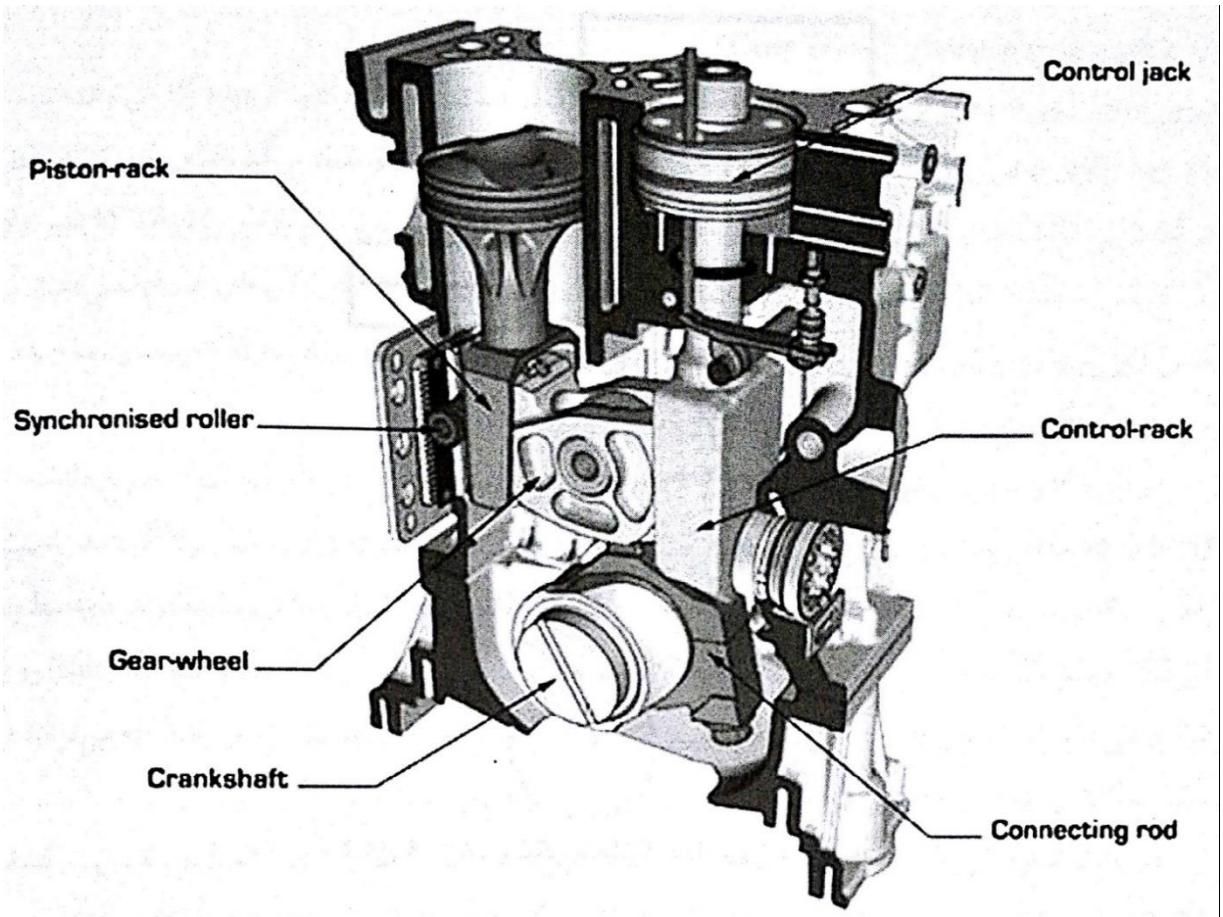
شکل ۹- ۸۴- شکل شماتیک مدل چرخ دندانه‌دار



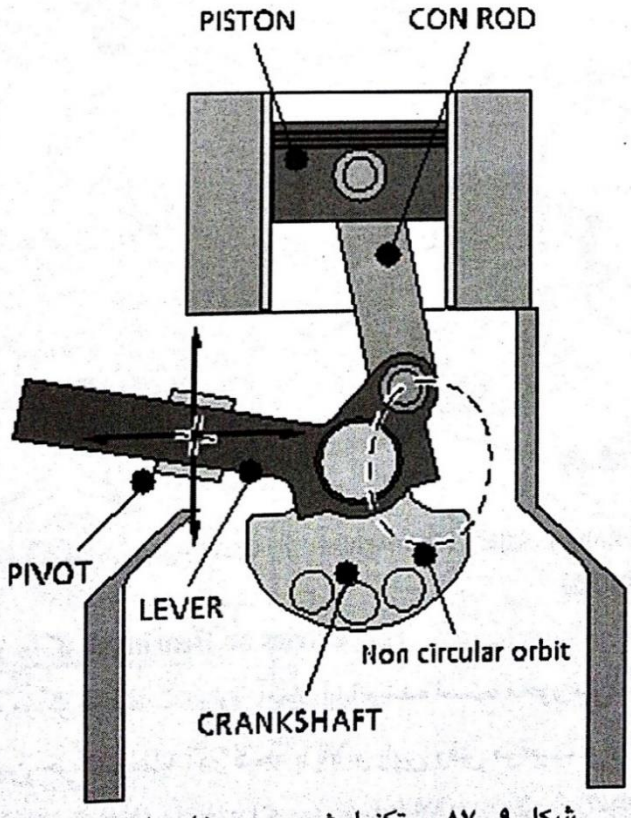
شکل ۹- ۸۵- شاتون ، چرخ دندانه‌دار (Gear Wheel) و غلتک (Synchronized Roller)

۳-مکانیزم محور خارج از مرکز (Eccentrics on Bearings)

دراین تکنولوژی که توسط مرکز تحقیقات موتور آلمان ابداع شده است، محور میل‌لنگ می‌تواند به‌صورت خارج از مرکز در جهات بالا و پایین حرکت نماید. در نتیجه با بالا و پایین رفتن موقعیت قرارگیری پیستون، حجم محفظه احتراق تغییر می‌یابد. به این روش می‌توان نسبت تراکم را بین ۸ تا ۱۴ تغییر داد.



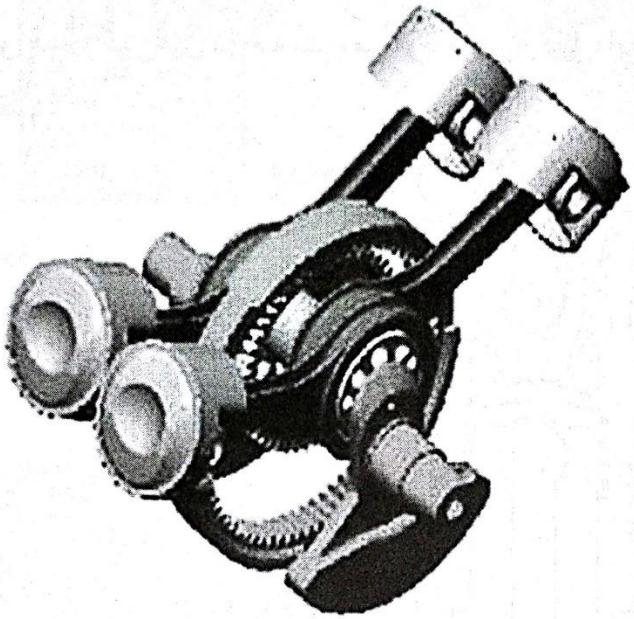
شکل ۹- ۸۶- قطعات مدل چرخ دنده‌دار (Gear Wheel)



شکل ۹- ۸۷- تکنولوژی محور خارج از مرکز

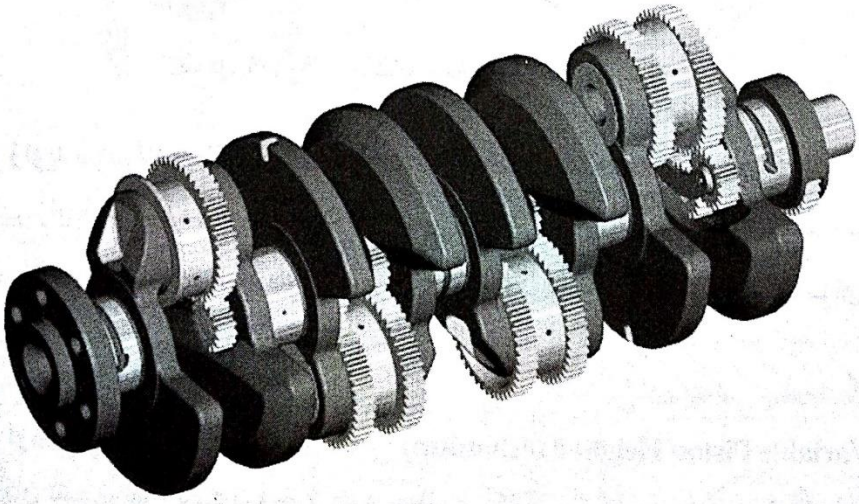
۴- مکانیزم چرخدنده‌ای (Gear Mechanism)

دراین تکنولوژی، ارتباط پیستون با میل‌لنگ از طریق یک مکانیزم چرخدنده خورشیدی برقرار می گردد. این مکانیزم به‌گونه‌ای طراحی گردیده است که امکان تغییر فاصله بین پیستون با میل‌لنگ (طول شاتون) را فراهم می‌نماید.



شکل ۹- ۸۸- مکانیزم چرخدنده خورشیدی

در یک مدل دیگر، شاتون از طریق یک قطعه واسطه بر روی لنگ متحرک میل‌لنگ مونتاژ می گردد. این قطعه واسطه که دارای ضخامت محیطی مختلف می‌باشد، می‌تواند توسط یک سیستم چرخدنده‌ای به گردش در آمده و با تغییر فاصله بین پیستون تا میل‌لنگ، نسبت تراکم را تغییر دهد.



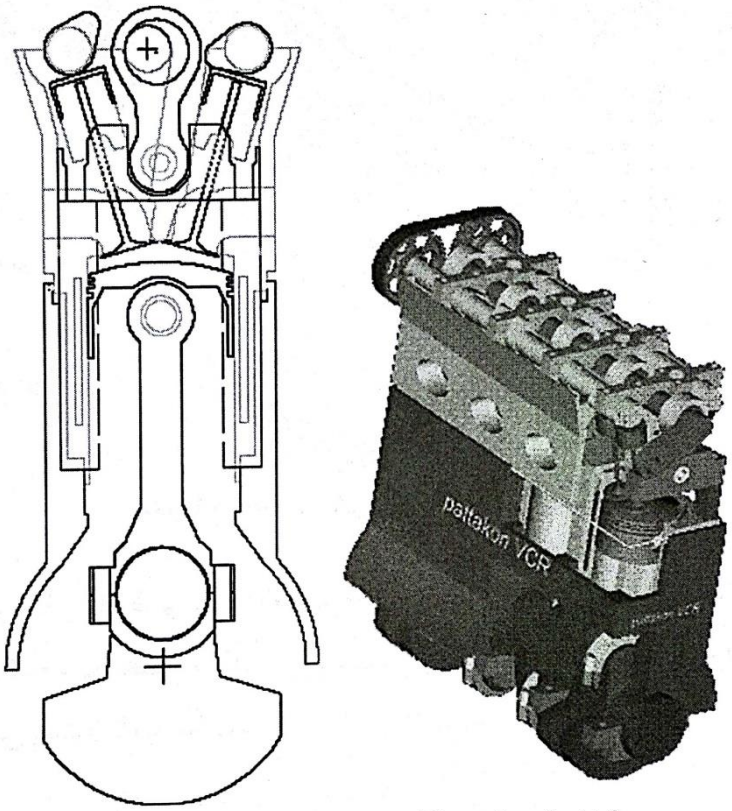
شکل ۹- ۸۹- مکانیزم چرخدنده‌ای

۵- مکانیزم تغییر ارتفاع سر سیلندر (Variable Cylinder Height Mechanism)

یکی از راهکارهای مورد استفاده برای تغییر نسبت تراکم، کاهش حجم محفظه احتراق است. در این حالت، سقف

محفظه احتراق متحرک بوده و قابلیت حرکت دارد. برای این منظور در قسمت بالای محفظه احتراق، یک جک هیدرولیکی و یا برقی تعبیه گردیده است که قابلیت جابه‌جایی قسمت بالای محفظه احتراق را فراهم می‌نماید. به‌طوری که توسط این مکانیزم می‌توان نسبت تراکم را از ۸:۱ تا ۱۴:۱ تغییر داد.

این طرح به‌دلیل پیچیدگی‌های شکل هندسی، فضای زیادی نیاز دارد و به دلیل داشتن نقاط گوشه در داخل محفظه احتراق، باعث افزایش هیدروکربن‌های سوخته نشده می‌شود. به همین دلیل، این طرح خیلی موفق نبوده و در حد انبوه تولید نگردیده است.



شکل ۹- ۹۰- مکانیزم تغییر ارتفاع سرسیلندر

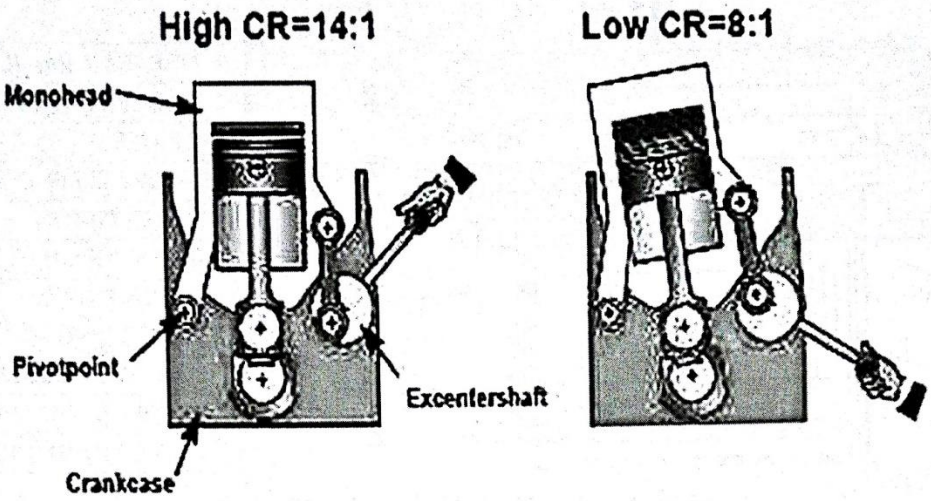
۶-مکانیزم تغییر زاویه سرسیلندر (SVC) (Saab Variable Compression)

دراین روش با تغییر زاویه سر سیلندر توسط یک اهرم، می‌توان میزان کورس پیستون و نسبت تراکم را تغییر داد. دراین سیستم معمولاً به‌جای شمع از الکترودی که بر روی پیستون نصب گردیده است، برای عمل جرقه‌زنی استفاده می‌شود.

۷-مکانیزم تغییر ارتفاع پیستون (تاج پیستون متغیر) (Variable Piston Height Mechanism)

دراین سیستم، امکان تغییر ارتفاع پیستون وجود دارد. به‌طوری که قسمت تاج پیستون می‌تواند با بالا و پایین رفتن، حجم محفظه احتراق را تغییر دهد. حرکت تاج پیستون توسط یک عملگر هیدرولیکی انجام می‌شود.

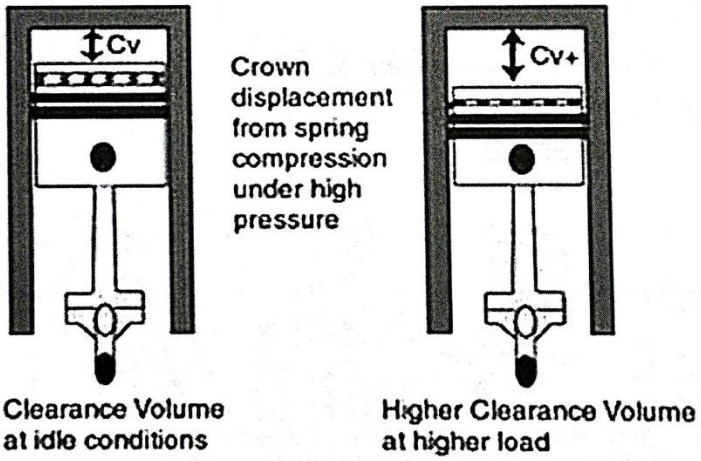
حرکت این مکانیزم به گونه‌ای است که هرگاه نیروی وارد بر پیستون در اثر افزایش فشار داخل محفظه احتراق، افزایش یابد، تاج پیستون بیشتر فشرده شده و ارتفاع پیستون کاهش می‌یابد. این اتفاق باعث افزایش حجم



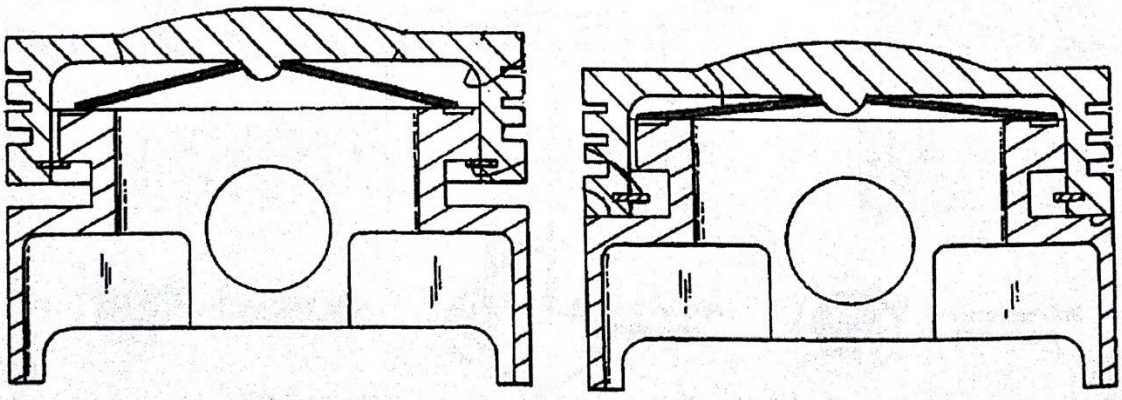
شکل ۹- ۹۱- مکانیزم تغییر زاویه سرسیلندر

محفظه احتراق گردیده و نسبت تراکم را تغییر می‌دهد.

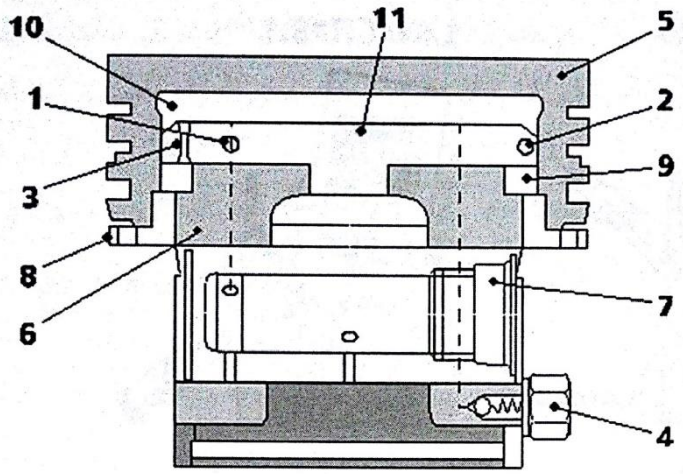
از نقاط ضعف این سیستم می‌توان به سنگین شدن پیستون و افزایش میزان آلایندگی اشاره نمود. اما در عوض به‌منظور ایجاد سیستم تراکم متغیر، نیازی به انجام تغییرات عمده در داخل موتور نمی‌باشد. از این تکنولوژی در خودروهای آمریکایی و خودروی بنز استفاده شده است.



شکل ۹- ۹۲- کاهش ارتفاع پیستون در سرعت‌های زیاد به منظور افزایش حجم محفظه احتراق



شکل ۹- ۹۳- مدل تاج پیستون متغیر

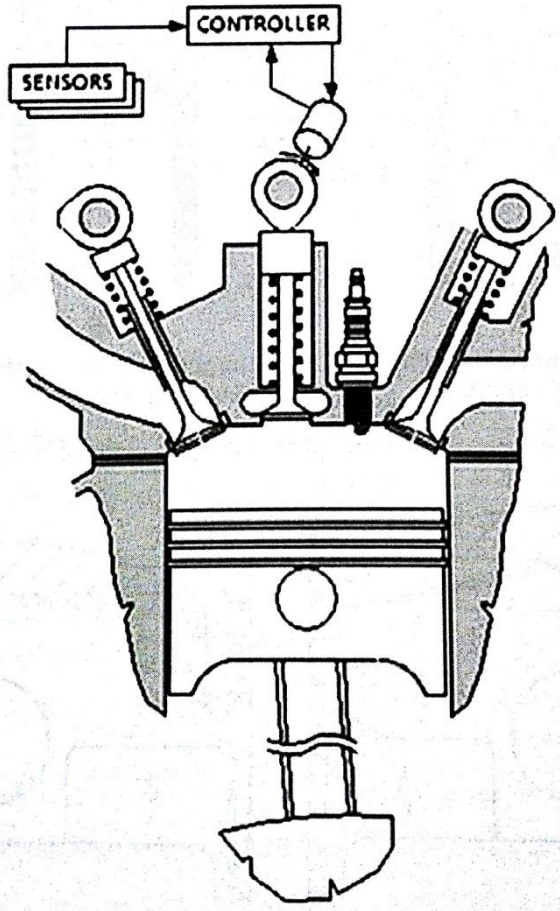


1	ONE-WAY VALVE
2	ONE-WAY VALVE
3	ORIFICE
4	PRESSURE RELIEF VALVE
5	OUTER PISTON
6	INNER PISTON
7	PISTON PIN
8	BUFFER RING
9	LOWER OIL CHAMBER
10	UPPER OIL CHAMBER
11	VALVE MOUNTING DEVICE

شکل ۹- ۹۴- اجزای مکانیزم تغییر ارتفاع پیستون

۸- مکانیزم محفظه احتراق متغیر (Variable Combustion Mechanism)

دراین تکنولوژی که توسط شرکت فورد ارائه گردیده است، تغییرات حجم محفظه احتراق توسط یک پیستون و یا سوپاپ ثانوی انجام می‌پذیرد. این پیستون و یا سوپاپ ثانوی با جابه‌جا شدن می‌تواند حجم محفظه احتراق را کم و یا زیاد نماید. کنترل حرکت این قطعه ثانوی که وارد محفظه احتراق می‌شود، توسط واحد کنترل الکترونیکی (ECU) و بر اساس اطلاعات دریافتی از سنسورها می‌باشد.



شکل ۹- ۹۵- مکانیزم محفظه احتراق متغیر

کوبش در احتراق

از فاکتورهای تحمیل شده ایکه افزایش راندمان ترمودینامیکی و توان یک موتور را محدود می‌کنند پیش اشتعال و انفجار خود بخودی می‌باشند این پدیده های نامطلوب اغلب همراه صدائی شنیدنی (ضربه صوتی) که دلیل استفاده از عبارت کوبش برای این شرایط می‌باشد هستند. کوبش زمانی اتفاق می‌افتد که بخشی از مخلوط خودبخود قبل از آنکه جبهه شعله به آن برسد مشتعل شود. حرارت و پیکهای فشاری فوق العاده زیادی بواسطه کوبش در احتراق، که پیستونها، یاتاقانها، سرسیلندر و واشر سر سیلندر را در معرض بار های حرارتی و مکانیکی عظیمی قرار می‌دهد تولید می‌گردد. افزایش مدت زمان کوبش می‌تواند باعث متورم شدن واشر سر سیلندر، سوراخ شدن تاج پیستون و گیرپاژ موتور و نتیجتا منجر به خرابی موتور گردد.

منشأ کوبش در احتراق

شمع مخلوط سوخت و هوا را نزدیک به انتهای کورس تراکم درست قبل از آنکه پیستون به نقطه مرگ بالا (TDC) برسد مشتعل می‌کند. به علت آنکه چندین میلی ثانیه برای اشتعال کامل مخلوط سوخت و هوا صرف می‌شود (تأخیر در اشتعال بر حسب سرعت موتور تغییر می‌کند) پیک واقعی احتراق بعد از TDC اتفاق می‌افتد.

جبهه شعله از شمع به سمت بیرون توسعه می‌یابد. بعد از متراکم شدن بواسطه کورس تراکم، دما و فشار مخلوط هنگام سوختن در محفظه احتراق افزایش می‌یابد. این امر باعث تراکم بیشتر مخلوط سوخت و هوای نسوخته ایکه قادر به رسیدن به دمائی به اندازه کافی بالا برای پیش اشتعال خودبخودی است می‌شود **(شکل ۱)** که نتیجه آن نیز انفجار ناگهانی و احتراق کنترل نشده است.

این نوع انفجار باعث انتشار جبهه شعله با نرخی ۱۰ تا ۱۰۰ برابری نرخهای مربوط به احتراق نرمال شروع شده توسط شمع (تقریبل ۲۰ m/s) می‌گردد. این احتراق کنترل نشده باعث تولید پالسهای فشاری شده که به مرکزیت هسته فرآیند به صورت دایره‌ای گسترش می‌یابند. زمانیکه این پالسها به دیواره سیلندر برخورد کنند باعث تولید ضربه صوتی فلزی[1] می‌شوند که عمدتاً همراه با کوبش در احتراق به گوش می‌رسند.

جبهه های شعله دیگری نیز می‌توانند در نقاط داغ در داخل محفظه احتراق شروع گردند. در بین منابع بالقوه اشتعالیکه توسط نقاط داغ شروع می‌شود، شمعها ئیکه هنگام عملکرد بیش از اندازه داغ می‌شوند یکی از مهمترین آنها هستند. این نوع پیش اشتعال بواسطه آغاز نمودن احتراق قبل از آغاز آن توسط شمع، باعث ایجاد کوبش در موتور می‌گردد.

به طور کلی کوبش در موتور در سرتاسر محدوده سرعتی موتور اتفاق می‌افتد. در ضمن در rpm های خیلی بالا به علت آنکه صدای حاصل از عملکرد موتور مانع می‌شود امکان شنیدن صدای آن وجود ندارد.

---

1 - Metallic Pinging

فاکتورهای مؤثر در کوبش

آوانس (به جلو انداختن) جرقه: آوانس نمودن تایمینگ برای اشتعال زودتر مخلوط باعث ایجاد دماهای بالاتردر محفظه احتراق و متعاقب آن صعود فشار فوق العاده زیادی می‌گردد.

دانسیته بالای شارژ سیلندر: دانسیته شارژ باید هنگام درخواست گشتاور بیشتر افزایش یابد (فاکتور بار موتور). این امر منجر به تولید دماهای بالا هنگام تراکم می‌گردد.

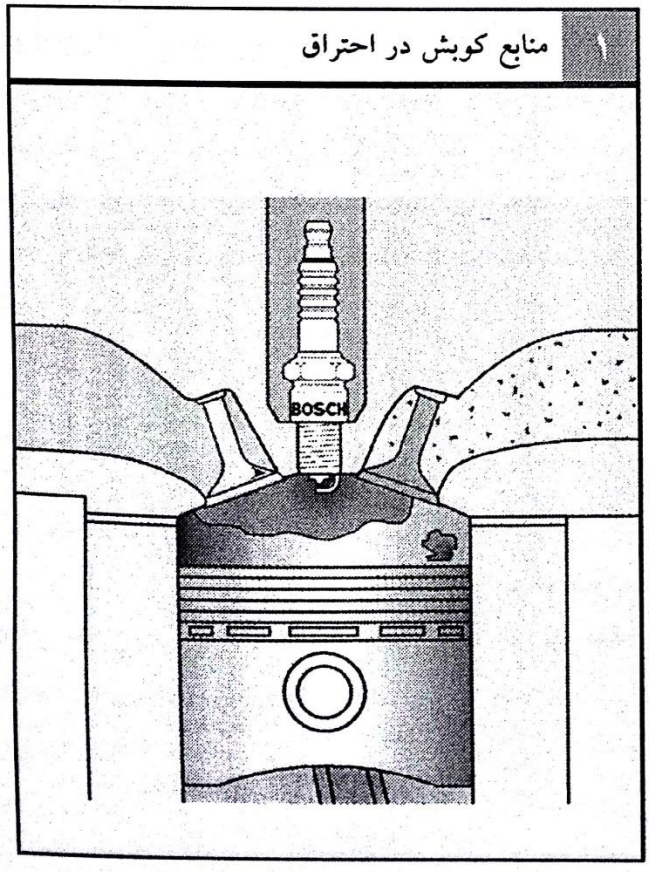
درجه مرغوبیت سوخت: سوختهائی با اکتان پائین، مقاومت در برابر کوبش را محدود می‌کنند، در صورتیکه برآورد مشخصات مورد نظر سازندگان برای درجه مرغوبیت سوخت حیاتی می‌باشد.

نسبت تراکم بالا: یکی از منابع تراکم بالا، واشر سر سیلندری می‌باشد که ضخامتی کمتر از ضخامت مشخص شده دارد. این امر هنگام تراکم منجر به تولید دماها و فشارهای بالاتری در مخلوط سوخت وهوا می‌گردد. رسوبات و ته مانده ها موجود در محفظه احتراق نیز می‌توانند باعث افزایش جزئی نسبت تراکم مؤثر گردند.

سرمایش: تلفات حرارتی بیهوده در موتور می‌تواند منجر به بالا رفتن دمای مخلوط در محفظه احتراق گردد.

هندسه: تمایل موتور به کوبش می‌تواند بواسطه هندسه محفظه احتراق نامطلوب افزایش یابد. همچنین چرخش و توربولانس ضعیفی که نتیجه ساختار نا مساعد منیفولد ورودی است نیز می‌تواند یکی دیگر از منابع مشکل ساز با القوه باشند.

کوبش در موتورهای تزریق مستقیم



۱ منابع کوبش در احتراق

موتورهای بنزینی تزریق مستقیم زمانیکه با مخلوط سوخت و هوای همگن کار می‌کنند رفتاری مشابه با موتورهائی دارند که سوخت در منیفولد تزریق می‌شود. مهمترین تفاوتی که بین این دو موتور وجود دارد اثر سرمایش اعمال شده بواسطه تبخیر سوخت در طی تزریق مستقیم می‌باشد که دمای هوای داخل سیلندر را به مقادیری کمتر از دماهای تولید شده در سیستم تزریق در منیفولد کاهش می‌دهد.

ولیکن هنگام عملکرد در حالت شارژ لایه‌ای؛ تنها در نواحی واقع شده در مجاورت نوک شمع مخلوط قابل اشتعال موجود می‌باشد و باقیمانده محفظه احتراق با هوا و گازهای خنثی پر شده است که خطری از نظر اشتعال خودبخودی و کوبش

ندارد. به‌طور کلی هیچگونه خطر انفجار، زمانیکه مخلوط سوخت و هوای خیلی رقیق در مناطق دور افتاده محفظه احتراق موجود است وجود ندارد. انرژی جرقه زنی مورد نیاز برای تولید شعله در این نوع مخلوطهای رقیق به مقدار قابل توجهی بیشتر از انرژی مورد نیاز برای جرقه یک مخلوط احتراق استوکیومتریک می‌باشد. این امر دلیل عملکرد مؤثر شارژ لایه‌ای در دوری از کوبش می‌باشد.

جلوگیری از کوبش در موتور

برای جلوگیری مؤثر از پیش اشتعال و انفجار؛ سیستمهای جرقه زنی ایکه مجهز به سیستم تشخیص کوبش نیستند بر اساس حاشیه امنیتی ۵ تا ۸ درجه‌ای (میل لنگ) در تایمینگ جرقه زنی نسبت به حد کوبش عمل می‌کنند.

سیستمهای جرقه زنی مجهز به تشخیص کوبش از یک یا تعدادی سنسور کوبش برای اندازه گیری موجهای آکوستیک در موتور استفاده می‌کنند. ECU سیستم مدیریت موتور کوبش را در تک تک سیکلهای احتراق بواسطه آنالیز نمودن سیگنالهای ارسالی از سمت سنسورها تشخیص می‌دهد و برای جلوگیری از ادامه یافتن کوبش؛ بواسطه ریتارد نمودن (به عقب انداختن) تایمینگ جرقه در سیلندر تحت تاثیر به این امر پاسخ می‌دهد. سپس سیستم به تدریج شروع به آوانس نمودن تایمینگ جرقه به سمت وضعیت اصلی خود می‌نماید. فرآیند آوانس نمودن جرقه تا زمانیکه تایمینگ جرقه به نقطه مرجع اولیه برنامه ریزی شده در گراف نرم افزار موتور برگردد یا سیستم مجدداً شروع به تشخیص کوبش نماید ادامه می‌یابد. مدیریت موتور آوانس تایمینگ را برای هرسیلندر به‌طور مجزا تنظیم می‌نماید.

تعداد محدود کوبش ملایم ایکه هنگام کنترل نمودن کوبش اتفاق می‌افتد نه تنها برای سلامت موتور مضر نیست بلکه کمک به حل نمودن رسوبات شکل گرفته بواسطه روغن و افزودنیهای سوخت در داخل محفظه احتراق (بر روی سوپاپهای ورودی و خروجی و غیره)، احتراق آنها و تخلیه آنها همراه با گازهای خروجی نیز می‌کند.

مزایای کنترل کوبش

با توجه به شناسائی قابل اطمینان کوبش؛ موتورهای مجهز به سیستم کنترل کوبش می‌تواند در نسبتهای تراکم بالاتر مورد استفاده قرار گیرند. همچنین کنترل آوانس تایمینگ جرقه امکان عملکرد، بدون در نظر گرفتن حاشیه امنیت بین نقطه تایمینگ و آستانه کوبش را فراهم می‌سازد. تایمینگ جرقه به جای آنکه برای بدترین حالت انتخاب گردد می‌تواند برای بهترین حالت انتخاب گردد. این امر باعث بهبود راندمان ترمودینامیکی می‌شود. به‌طور کلی کنترل کوبش:

- مصرف سوخت را کاهش می‌دهد
- توان و گشتاور را افزایش می‌دهد و
- موتور مجاز برای کار با انواع سوختها در محدوده‌ای بازتر از نظر عدد اکتان می‌گردد (هم بنزین بدون سرب معمولی و هم سوپر)

موتورهای تزریق مستقیم بنزین؛ مخلوط سوخت و هوا را در داخل محفظه احتراق ایجاد می‌نمایند. طی کورس مکش، تنها هوای مورد نیاز احتراق از میان سوپاپ ورودی باز عبور می‌کند و سوخت بواسطه انژکتورهای سوخت ویژه مستقیماً به داخل محفظه احتراق تزریق می‌گردد.

نمای کلی

تقاضا برای توان بالاتر از موتورهای بنزینی اشتعال جرقه ای و الزامات لحاظ شده برای کاهش مصرف سوخت از عوامل کشف مجدد سیستمهای تزریق مستقیم بودند. اصول عملکرد این سیستمها جدید نیستند. در سال ۱۹۳۷، موتوری با سیستم تزریق مستقیم بنزین مکانیکی در یک هواپیما استفاده شد. در سال ۱۹۵۱، گات برد[1] اولین خودوری سواری بود که مجهز به موتوری به تولید انبوه رسیده با سیستم تزریق مستقیم بنزین مکانیکی شده بود و در سال۱۹۵٤، مرسدس SL ۳۰۰ با موتوری چهار زمانه و سیستم تزریق مستقیم به بازار آمد.

در این دوره، طراحی و ساخت موتور تزریق مستقیم بسیار پیچیده بود علاوه بر این؛ این تکنولوژی نیاز به مواد پیشرفته ای داشت و عمر مفید موتور نیز مساله ای دیگر بود. در نهایت کلیه این مشکلات منجر به ایجاد شکافی طولانی در استفاده از سیستمهای تزریق مستقیم گردید.

نحوه عملکرد

مهمترین مشخصه سیستمهای تزریق مستقیم بنزین؛ تزریق مستقیم سوخت به داخل محفظه احتراق در فشاری بالا می‌باشد (**شکل۱**). مشابه موتورهای دیزل، در این سیستمها نیز شکل‌گیری مخلوط سوخت و هوا در داخل محفظه احتراق اتفاق می‌افتد.

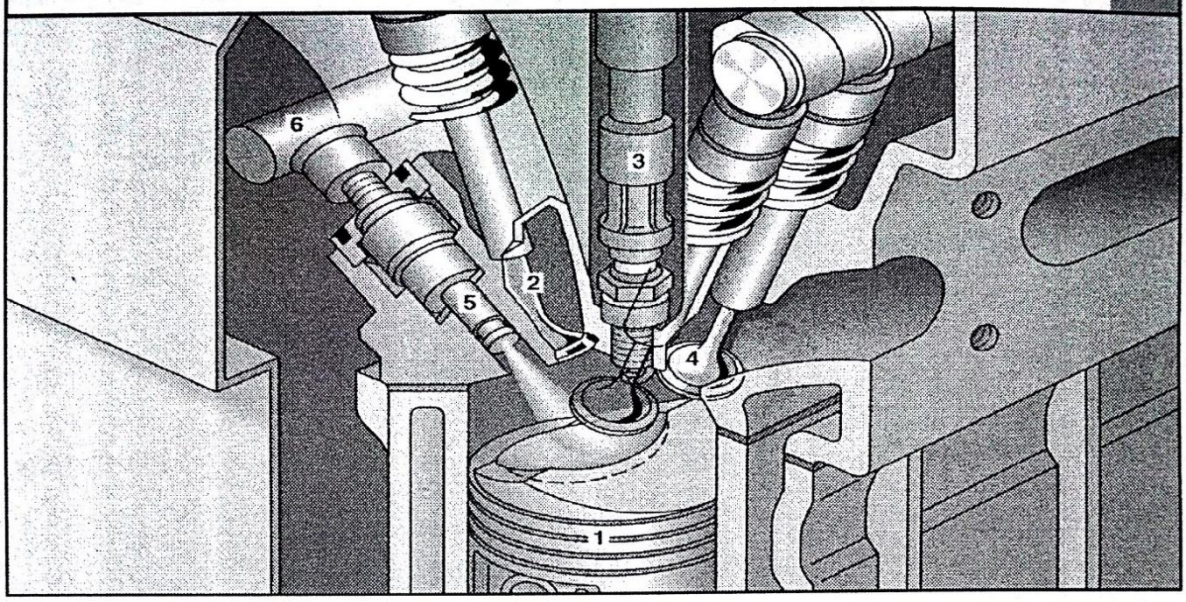
ایجاد فشار بالا

یک پمپ الکتریکی سوخت (**شکل۲**، موقعیت ۱۹) سوخت را در فشار پیش تغذیه ۳ تا bar ۵ به پمپ

---

1 - Gutbrod

۱ تزریق مستقیم بنزین



۱- پیستون ۳- کویل جرقه و شمع ۵- انژکتور سوخت فشار بالا
۲- سوپاپ ورودی ۴- سوپاپ خروجی ۶- ریل سوخت

فشار بالا (٤) تحویل می‌دهد. این پمپ، فشار سیستم را بسته به نقطه کاری موتور (گشتاور مورد نیاز و سرعت موتور) ایجاد می‌نماید. سوختیکه تحت فشار بالا می‌باشد به داخل ریل سوخت جریان یافته و آنجا ذخیره می‌گردد (**شکل ۱**، موقعیت ٦).

فشار سوخت با سنسور فشار بالا اندازه گیری می‌شود و بواسطه شیر کنترل فشار (در HDP۱) یا شیر کنترل تغذیه سوخت یکپارچه با HDP۲ یا HDP۵ در محدوده ۵۰ تا ۲۰۰ bar تنظیم می‌گردد.

انژکتورهای سوخت فشار بالا (۵) بر روی ریل سوخت که به پایه سوخت پاش[1] معروف است نصب می‌شوند. این انژکتورها توسط ECU موتور فعال می‌گردند و سوخت را به داخل محفظه احتراق سیلندر می‌پاشند.

فرآیند احتراق

در سیستمهای تزریق مستقیم، فرآیند احتراق به گونه‌ای می‌باشد که شکل‌گیری مخلوط و تبدیل انرژی در داخل محفظه احتراق صورت می‌پذیرد و مکانیزم آن بسته به هندسه محفظه احتراق و منیفولد ورودی، نقطه تزریق و لحظه جرقه تعیین می‌گردد.

در فرآیندهای احتراقیکه با شارژ لایه‌ای کار می‌کنند ارتباط بین سوخت تزریق شده و جریان هوا بسیار مهم می‌باشد. همچنین به‌منظور دستیابی به لایه بندی مورد نیاز شارژ؛ انژکتور، سوخت را باید به گونه‌ای در جریان هوا تزریق نماید که در ناحیه‌ای مشخص تبخیر گردد. سپس جریان هوا ابر مخلوط را به سمت شمع به نحویکه آن در لحظه جرقه به شمع برسد انتقال می‌دهد.

فرآیند احتراق بسته به نقطه کاری موتور با روشهای مختلفی ایجاد می‌گردد. به‌طور کلی فرآیندهای احتراق به دو دسته تقسیم می‌شوند: فرآیندهای احتراق همگن و شارژ لایه ای.

1 - Common Rail

فرآیند احتراق همگن

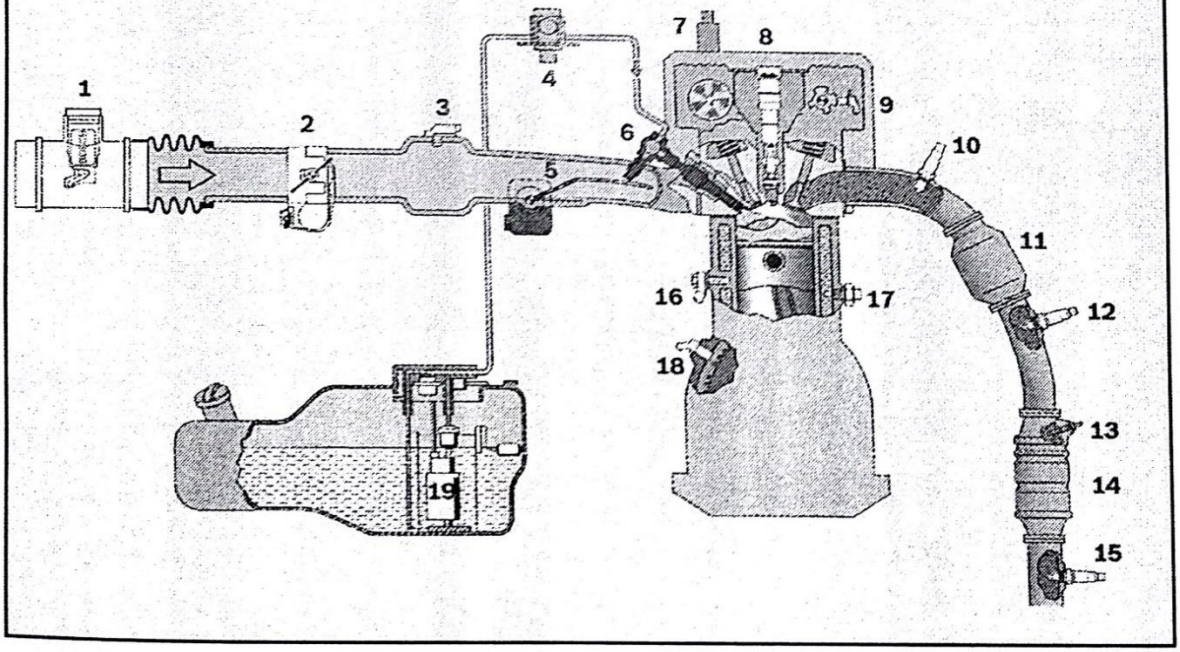
در فرآیند احتراق همگن معمولاً یک مخلوط استوکیومتریک در محفظه احتراق شکل می گیرید (**شکل a۳**)، به عبارت دیگر نسبت هوای $\lambda=1$ همیشه وجود دارد. در این روش دیگر نیاز به پالایش گاز خروجی در ارتباط با انتشار NO_x که معمولاً هزینه بر نیز می‌باشد نیست. بنابراین فرآیندهای همگن جز فرآیندهائی هستند که باعث کاهش آلایندگی می‌شوند.

فرآیند احتراق همگن همیشه هنگامیکه حالت کاری نیز همگن باشد اتفاق می‌افتد. در ضمن تعدادی حالت کاری دیگر نیز وجود دارند که بسته به موتور برای برخی اهداف عملکردی خاص مورد استفاده قرار می گیرند (به بخش حالات کاری مراجعه نمایید).

فرآیند احتراق شارژ لایه ای

در فرآیند احتراق شارژ لایه ای، سوخت در یک محدوده گراف مشخص (بار کم، سرعت پایین موتور) طی کورس تراکم به داخل محفظه احتراق تزریق شده و سپس به صورت یک ابر شارژ لایه‌ای به سمت شمع انتقال پیدا می‌کند (**شکل b۳** نشان دهنده فرآیند احتراقی است که هدایت سوخت با کمک دیواره ها صورت می‌پذیرد). در صورتیکه ایده آل به مساله نگاه کنیم ابر شارژ توسط هوای خالص تازه احاطه

۲ اجزاء سیستم تزریق مستقیم بنزین



۱- اندازه‌گیر جرم هوای فیلم داغ
۲- مجموعهٔ دریچهٔ گاز (ETC)
۳- سنسور فشار منیفوله ورودی
۴- پمپ فشار بالا
۵- شیر کنترل جریان شارژ
۶- ریل سوخت با انژکتور فشار بالا
۷- تنظیم کنندهٔ میل سوپاپ
۸- کویل جرقه با شمع
۹- سنسور فاز میل سوپاپ
۱۰- سنسور لاندا
۱۱- مبدل کاتالیزوری اولیه
۱۲- سنسور لاندا
۱۳- سنسور دمای گاز خروجی
۱۴- مبدل کاتالیزوری از نوع انباشتگر NO_x
۱۵- سنسور لاندا
۱۶- سنسور کوبش
۱۷- سنسور دمای موتور
۱۸- سنسور، سرعت
۱۹- مدول تغذیه سوخت با پمپ الکتریکی سوخت

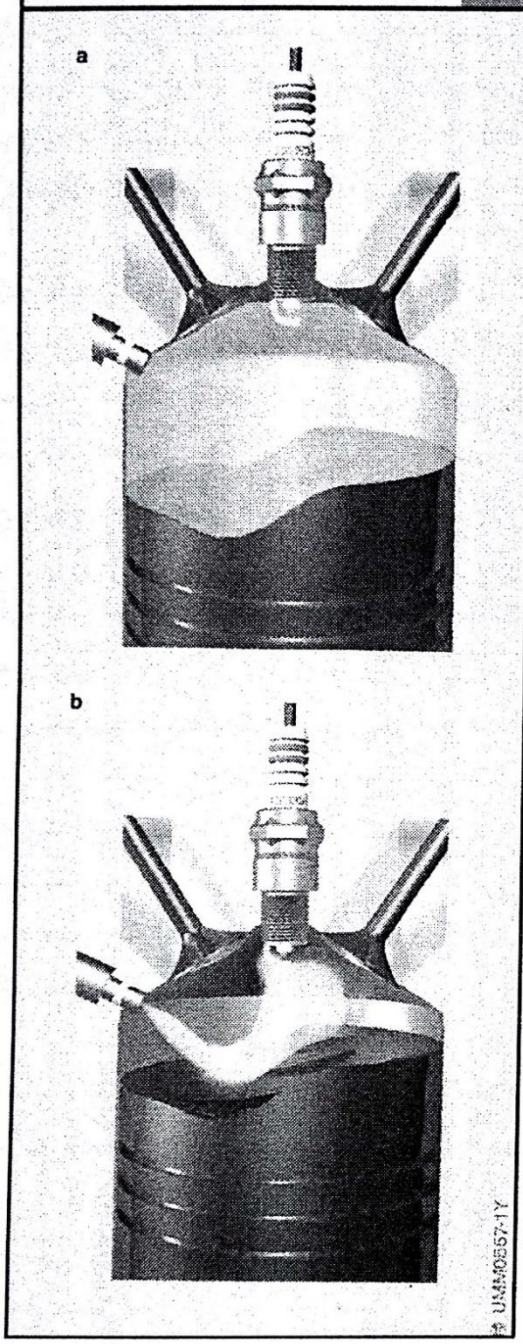
شده است و تنها مخلوط قابل اشتعال موجود، در این ابر واقع شده است. نسبت هوا در محفظه احتراق بزرگتر از ۱ است که این امر موتور را قادر به‌کار با دریچه گاز کاملاً باز در محدوده بیشتری می‌نماید که به نوبه خود منجر به کاهش تلفات پمپینگ می‌گردد. بنابراین فرآیند احتراق شارژ لایه‌ای از جمله فرآیندهائی می‌باشد که باعث کاهش مصرف سوخت می‌گردد.

دو نوع فرآیند شارژ لایه‌ای ممکن است مورد استفاده قرار گیرد: فرآیندی که در آن سوخت به کمک هوا یا دیواره ها هدایت می‌شود[1] و فرآیندی که سوخت بواسطه پاشش هدایت می‌گردد[2].

فرآیندی که در آن سوخت به کمک هوا یا دیواره‌ها هدایت می‌شود در حالتیکه شارژ لایه‌ای به کمک هوا و دیواره های هدایت می‌شود؛ انژکتور معمولاً بین سوپاپهای ورودی قرار داده می‌شود. در این نوع فرآیند احتراق، سوخت معمولاً در فشار ۵۰ تا ۱۵۰bar تزریق می‌گردد. مخلوط بواسطه تو رفتگی های پیستون که یا به‌طور مستقیم سوخت را هدایت می‌کنند (هدایت به کمک دیواره ها) و یا جریان هوا را در داخل محفظه احتراق طوری هدایت می‌کنند که سوخت را بر روی یک بالشتک هوا به سمت شمع سوق دهد (هدایت به کمک هوا). ولیکن در یک فرآیند احتراق شارژ لایه‌ای حقیقی همراه با نصب انژکتور در کناره ها بسته به زاویه نصب انژکتورها و مقدار سوخت تزریق شده معمولاً دو روش هدایت سوخت با هم ترکیب می‌گردند. در دور آرام (مقدار سوخت تزریق شده کم)؛ فرآیند احتراقیکه در آن سوخت به کمک دیواره‌ها هدایت می‌گردد استفاده می‌شود. در بارهای بالاتر (مقدار سوخت تزریق شده بیشتر)، حتی در صورت استفاده از فرآیند احتراقی که در آن سوخت توسط هوا هدایت می‌شود، مقداری از سوخت مستقیماً به تورفتگی های برخورد خواهد کرد.

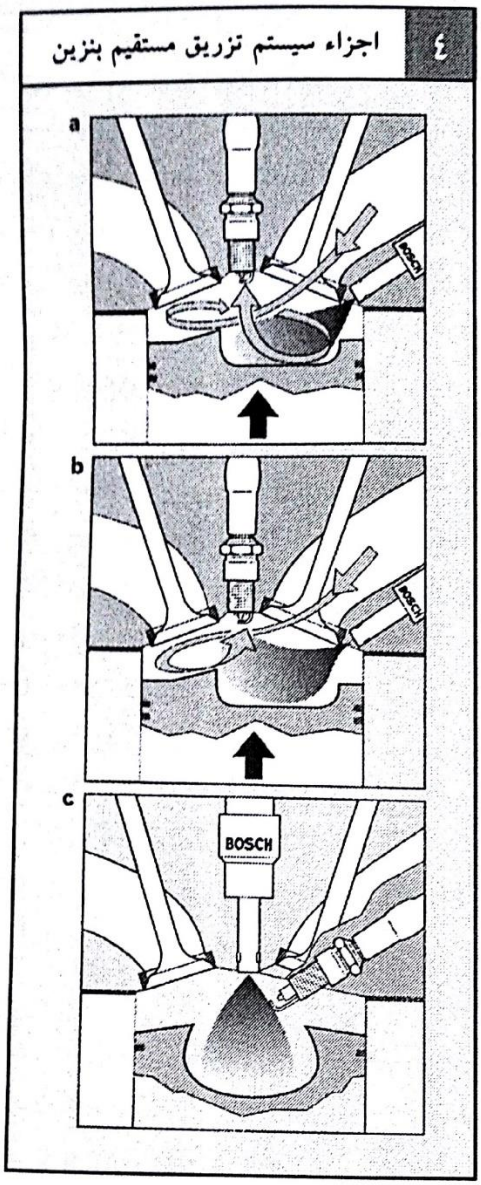
در ضمن جریان هوا یا به صورت چرخشی می‌باشد یا به صورت پیچشی.

۳ اجزاء سیستم تزریق مستقیم بنزین



a : توزیع مخلوط همگن
b : توزیع شارژ لایه‌ای

1 - Wall/Air-Guided Combustion Process
2 - Spray-Guided Process



a: جریان چرخش هوا که بواسطه دیواره ها هدایت می گردد
b: جریان پیچشی هوا که بواسطه دیواره ها هدایت می گردد
c: فرآیند احتراق که سوخت بواسطه پاشش هدایت می گردد

جریان چرخشی هوا

هوای به داخل کشیده شده از سوپاپ ورودی باز، جریانی توربولانسی (حرکت هوا به صورت چرخشی) در امتداد دیواره های سیلندر ایجاد می‌نماید **(شکل ٤a)**. این فرآیند به نام فرآیند چرخشی احتراق[1] معروف است.

جریان پیچشی رو به جلو هوا

این فرآیند یک جریان هوای پیچشی تولید می‌کند که در حین این حرکت که از بالا به پایین می‌باشد جریان توسط تورفتگی های پیستون منحرف شده و سپس به طرف بالا و به سمت شمع حرکت می‌کند **(شکل ٤b)**.

فرآیند احتراقی که سوخت بواسطه پاشش هدایت می گردد

در این نوع فرآیند احتراق، انژکتور در مرکز سقف محفظه احتراق و شمع کنار آن نصب می‌شود **(شکل ٤c)**. مزیت این نوع چیدمان؛ امکان پاشش سوخت مستقیماً به سمت شمع بدون در نظر گرفتن هرگونه نقش هدایتی برای پیستون یا جریان هوا می‌باشد. در ضمن عیب آن نیز زمان کوتاه در دسترس برای آماده سازی مخلوط است.

فرآیند احتراق شارژ لایه ایکه سوخت بواسطه پاشش هدایت می‌گردد نیازمند فشار بالائی در حدودَ ۲۰۰ bar است. همچنین به‌منظور مشتعل نمودن مخلوطِ در لحظه مورد نظر؛ فرآیند احتراقی که در آن سوخت بواسطه پاشش هدایت شده است نیازمند موقعیت دهی دقیق شمع و انژکتور می‌باشد همچنین پاشش نیز باید بسار دقیق جهت دهی شده باشد. در این نوع فرآیند، از آنجا که تحت شرایط محیطی معین، شمع داغ می‌تواند در معرض برخورد مستقیم با جت سرد سوخت تزریق شده باشد، شمع تحت تنشهای حرارتی فوق العاده زیادی قرار می‌گیرد.

زمانیکه فرآیند احتراق به‌طور مناسب شکل بگیرد فرآیند احتراقی که در آن سوخت بواسطه پاشش هدایت گردد راندمان بیشتری نسبت به سایر فرآیندهای احتراق شارژ لایه‌ای از خود نشان می‌دهد همچنین این فرآیند در مقایسه با فرآیندی که در آن سوخت به کمک هوا یا دیواره ها هدایت می‌شود مصرف سوخت کمتری دارد.

1 - Swirl Combustion Process

حالات کاری

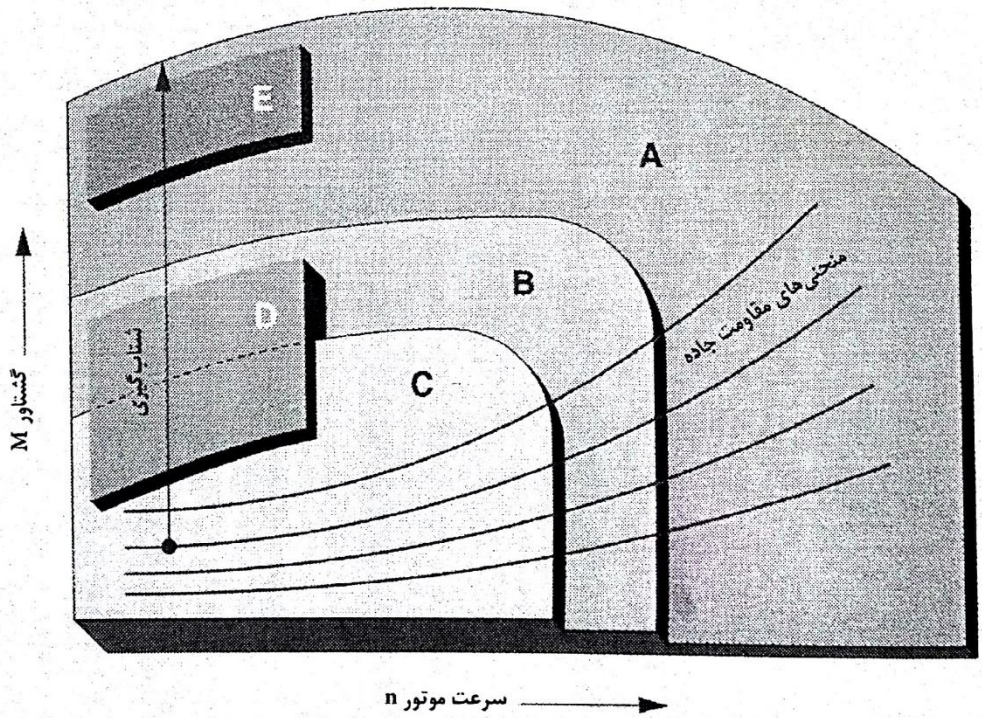
حالات کاری مختلفی که در تزریق مستقیم بنزین مورد استفاده قرار می‌گیرند در این قسمت شرح داده خواهند شد. حالت کاری مناسب توسط سیستم مدیریت موتور بسته به نقطه کاری موتور انتخاب می‌گردد.

همگن

در حالت همگن؛ مقدار سوخت تزریق شده در هوای تازه با دقت بسیار بالائی برای نسبت استوکیومتریک ۱: ۱۴/۷ کنترل می‌گردد. در این حالت، سوخت طی کورس مکش تزریق می‌گردد از اینرو زمان کافی برای همگن سازی کل مخلوط وجود دارد. به‌منظور محافظت از مبدل کاتالیزوری یا افزایش توان در بار کامل، موتور در بخشی از گراف عملکردی با مقدار کمی سوخت اضافه کار می‌کند ($\lambda<1$).

از آنجا که در این حالت کاری کل محفظه احتراق مورد بهره برداری قرار می‌گیرد حالت همگن زمانیکه گشتاور زیادی مطالبه شده باشد مورد نیاز است. همچنین به علت وجود مخلوط سوخت و

۱ گراف حالات کاری



A : حالت همگن در $\lambda=1$ با EGR ؛ در کلیه محدوده‌های کاری امکانپذیر است.

B : رقیق سوز یا حالت همگن $\lambda=1$ با EGR ؛ این حالت کاری در ناحیه C و D امکانپذیر است.

C : حالت شارژ لایه‌ای با EGR

حالات کاری با تزریق دوگانه:

C: گرم نمودن کاتالیزور با شارژ لایه‌ای، همان ناحیه موجود برای حالت شارژ لایه‌ای با EGR

D: حالت شارژ لایه‌ای همگن

E: حالت ضد کوبش همگن

هوای استوکیومتریک، انتشار آلاینده ها در این نوع حالت کاری پایین است، همچنین این آلاینده ها را می‌توان بواسطه مبدل کاتالیزوری سه راهه به‌طور کامل تبدیل نمود.

شارژ لایه ای

در حالت شارژ لایه ای، سوخت ابتدا طی کورس تراکم تزریق شده و تنها با بخشی از هوا مخلوط می‌گردد. سپس یک ابر شارژ لایه‌ای که با هوای تازه احاطه شده است شکل می‌گیرد. شروع تزریق در حالت شارژ لایه‌ای بسیار مهم است. ابر شارژ لایه‌ای نه تنها باید به مقدار کافی همگن باشد بلکه باید در لحظه جرقه در محل شمع نیز استقرار یابد.

به علت آنکه در حالت شارژ لایه ای، مخلوط استوکیومتریک تنها به‌طور موضعی وجود دارد؛ با در نظر گرفتن هوای تازه احاطه کننده، مخلوط به‌طور متوسط رقیق است. از آنجا که مبدل کاتالیزوری سه راهه در عملکردهای رقیق سوز قادر به کاهش انتشار NO_X نیست این نوع آماده سازی، نیازمند پالایش گاز خروجی پر هزینه تر می‌باشد.

حالت شارژ لایه‌ای تنها می‌تواند در محدوده‌ای مشخص مورد استفاده قرار گیرد زیرا در بارهای بالاتر انتشار دوده و یا NO_X به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد همچنین مزیتی که نسبت به حالت کاری همگن در زمینه مصرف سوخت دارد هم از بین می‌رود. در بارهای پایین تر نیز حالت شارژ لایه‌ای بواسطه آنتالپی پایین گازهای خروجی محدود می‌گردد به عبارت دیگر دمای گاز خروجی خیلی پایین می‌آید و مبدل کاتالیزوری قادر به نگه داشتن دمای کاری اش بواسطه گازهای خروجی نمی باشد. همچنین در حالت شارژ لایه‌ای سرعت کاری تقریباً در حدود ۳۰۰۰ rpm می‌باشد زیرا در سرعتهای بالاتر زمان کافی برای همگن سازی ابرشارژ لایه‌ای وجود ندارد.

ابر شارژ لایه‌ای در نواحی پیرامونی که در آن نواحی ابر به هوای احاطه کننده متصل می‌گردد رقیق می‌شود. به همین دلیل در این نواحی انتشار NO_X طی احتراق افزایش پیدا می‌کند و به‌منظور جبران این امر از نرخهای بالای برگشت گاز خروجی استفاده می‌شود. گازهای خروجی برگشت داده شده دمای احتراق را پایین آورده و به موجب آن انتشار NO_X وابسته به دما کاهش می‌یابد.

رقیق همگن[1]

در محدوده گذار بین حالت شارژ لایه‌ای و حالت همگن؛ موتور می‌تواند با مخلوط سوخت و هوای رقیق همگن عمل نماید ($\lambda<1$). از آنجا که تلفات پمپینگ به علت کار با دریچه گاز بازتر کمتر است، مصرف سوخت در حالت رقیق همگن نسبت به حالت همگن استاندارد پایین تر است. در ضمن از آنجا که مبدل کاتالیزوری سه راهه قادر به کاهش انتشار NO_X در این محدوده نمی باشد، این حالت کاری همراه با افزایش انتشار NO_X است و استفاده از مبدل کاتالیزوری از نوع انباشتگر NO_X نیز به معنای از دست دادن بیشتر راندمان در فاز بازیابی (احیاء) مبدل کاتالیزوری می‌باشد.

---

1 - Homogeneous Lean

شارژ لایه‌ای همگن[1]

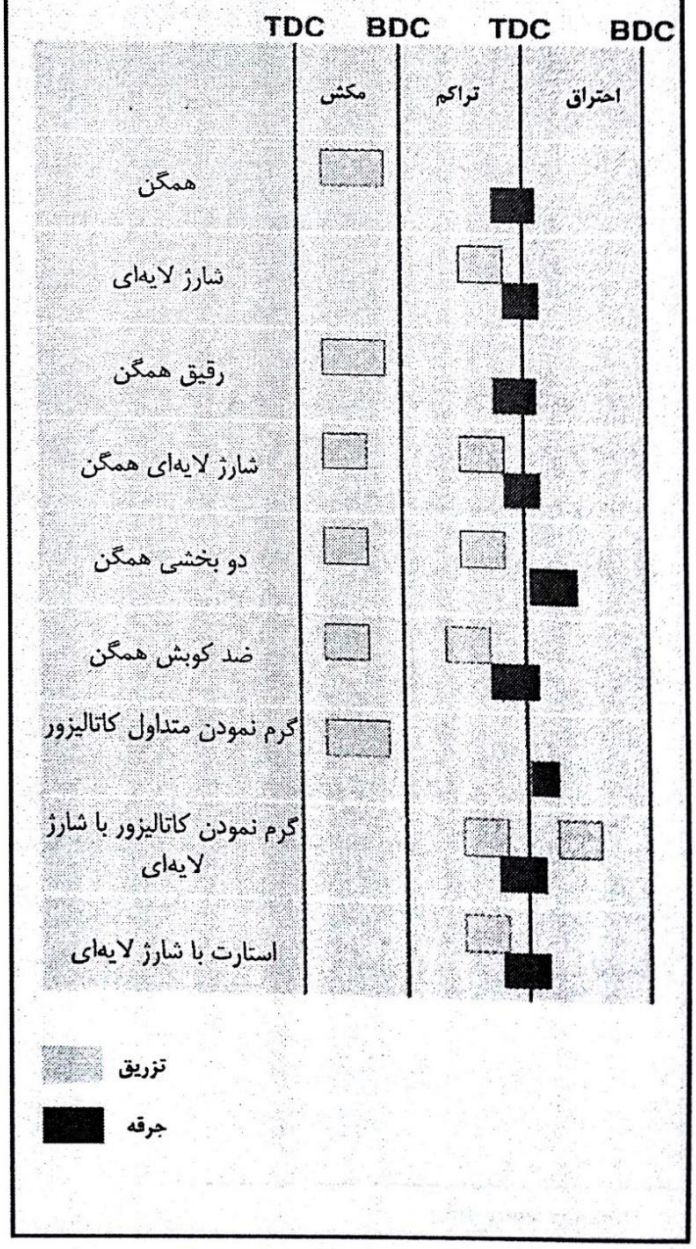
در حالت شارز لایه‌ای همگن، کل محفظه احتراق با یک مخلوط رقیق همگن پر می‌شود. این مخلوط بواسطه تزریق یک مقدار اولیه سوخت طی کورس مکش ایجاد گشته است.

سوخت ثانویه (تزریق دوگانه) طی کورس تراکم تزریق می‌شود. این امر منجر به شکل‌گیری منطقه‌ای غنی تر در ناحیه مربوط به شمع می‌گردد. این شارژ لایه‌ای به آسانی مشتعل شده و می‌تواند مخلوط رقیق همگن موجود در بخشهای دیگر محفظه احتراق را نیز مشتعل کند.

حالت شارژ لایه‌ای همگن برای سیکلهائیکه طی فاز انتقال بین حالت شارژ لایه‌ای به حالت همگن واقع شده اند اعمال می‌گردد. این امر سیستم مدیریت موتور را قادر به تنظیم نمودن بهترگشتاور طی محدوده گذار می‌نماید. همچنین به علت تبدیل به انرژی، مخلوط اولیه بسیار رقیق در $\lambda>2$؛ انتشار NO_x نیز کاهش می‌یابد.

فاکتور توزیع بین دو تزریق تقریباً ٪۷۵ است به عبارت دیگر ٪۷۵ سوخت برای ایجاد مخلوط همگن اولیه در تزریق اول تزریق می‌گردد. عملکرد پایدار با استفاده از تزریق دوگانه در سرعتهای کم موتور و در محدوده گذار بین حالت شارژ لایه‌ای و حالت همگن، انتشار دوده را نسبت به حالت شارژ لایه‌ای و مصرف سوخت را نسبت به حالت همگن کاهش می‌دهد.

٤ نقاط تزریق و زمان جرقه در حالات کاری مختلف



1 - Homogeneous Stratified Charge

دو بخشی همگن[1]

حالت کاری دو بخشی همگن، یک کاربرد ویژه از تزریق دوگانه شارژ لایه‌ای همگن می‌باشد. این حالت بعد از فاز استارت، به‌منظور بالا بردن دمای مبدل کاتالیزوری تا دمای کاری با حداکثر سرعت ممکنه استفاده می‌گردد. با ریتارد نمودن جرقه (۱۵ تا ٪۳۰ میل لنگ بعد از TDC احتراق) بعد از تثبیت تزریق دوم شکل گرفته طی کورس تراکم؛ بخش قابل توجهی از انرژی احتراق اثری بر روی افزایش گشتاور نخواهد گذاشت و بیشتر، صرف افزایش آنتالپی گازهای خروجی می‌گردد. این امر منجر به جریان یافتن گازهای خروجی خیلی داغ شده و مبدل کاتالیزوری طی چند ثانیه بعد از استارت آماده کار می‌باشد.

ضد کوبش همگن[2]

در این حال کاری ریتارد نمودن تایمینگ جرقه که برای جلوگیری از کوبش مورد نیاز می‌باشد را می‌توان بواسطه استفاده از تزریق دوگانه در بار کامل حذف نمود و با استفاده از نقطه جرقه مطلوب تر گشتاور بیشتری را حاصل نمود. ولیکن در عمل، پتانسیل استفاده از این حالت کاری بسیار محدود می‌باشد.

گرم نمودن کاتالیزور با شارژ لایه ای[3]

شکل دیگری از تزریق دوگانه امکان گرم شدن سریع سیستم خروجی را مهیا می‌سازد ولیکن سیستم خروجی باید برای سازگار شدن با این کاربرد بهینه گردد. در این حالت، در شارژ لایه‌ای موجود با مقدار زیادی هوای اضافی؛ تزریق ابتدا طی کورس مکش اعمال می‌گردد (به همان صورت حالت شارژ لایه ای) و سپس تزریق دوم طی کورس قدرت اتفاق می‌افتد. احتراق این سوخت بسیار دیر صورت می‌پذیرد و باعث گرم شدن سمت خروجی موتور و منیفولد خروجی به مقدار قابل توجه می‌گردد. در ضمن هنگامیکه موتور سرد است کاربرد این حالت کاری بسیار محدود می‌گردد و استفاده از حالت کاری دو بخشی همگن در اولویت قرار می‌گیرد.

کاربرد مهمتر این حالت کاری، گرم نمودن مبدل کاتالیزور NO_x تا دمائی بیشتر از ۶۵۰ °C به‌منظور آغاز به‌کار سولفورزدائی مبدل کاتالیزوری می‌باشد. استفاده از تزریق دو گانه در این حالت کاری بسیار مهم می‌باشد زیرا این دمای بالا همیشه در سایر روشهای گرم نمودن مرسوم مورد استفاده در سایر حالات کاری قابل حصول نمی باشد.

---

1 - Homogeneous Split

2 - Homogeneous Knock Protection

3 - Stratified-Charge/Catalyst Heating

استارت با شارژ لایه ای[1]

هنگام استارت با شارژ لایه ای، مقدار سوختی که برای استارت در نظر گرفته می‌شود به جای آنکه همانند تزریق مرسوم طی کورس مکش تزریق گردد در کورس تراکم تزریق می‌گردد. مزیت این استراتژی تزریق آن است که سوخت تزریق شده در داخل هوا از قبل متراکم شده و از اینرو گرم می‌شود در نتیجه تحت شرایط محیطی سرد که بخش عمده‌ای از سوخت تزریق شده به صورت فیلم چسبیده به دیوار مایع در محفظه احتراق باقی مانده و در احتراق شرکت نمی کند، سوخت بیشتری تبخیر می‌گردد. بنابراین به مقدار قابل توجهی می‌توان مقدار سوخت تزریق شده را بواسطه استارت با شارژ لایه‌ای کاهش داد. این امر به نوبه خود منجر به کاهش قابل توجه انتشار HC طی فاز استارت می‌گردد. به علت آنکه مبدل کاتالیزوری در لحظه استارت قادر به‌کار نیست استفاده از این حالت کاری به‌منظور کاهش آلاینده ها بسیار مهم می‌باشد.

به منظور آسان نمودن آماده سازی مخلوط در مدت زمان کوتاه در دسترس؛ استارت با شارژ لایه‌ای در فشار سوختی در حدود ۳۰ تا ٤٠ bar انجام می‌شود. این فشار بواسطه پمپ فشار بالا بواسطه دورانهای استارتر فراهم می‌گردد.

شکل‌گیری مخلوط

منظور از شکل‌گیری مخلوط، فراهم نمودن یک مخلوط سوخت و هوای قابل احتراق که تا جای ممکن همگن باشد است.

الزامات

در حالت کاری همگن (همگن $\lambda \leq 1$ و رقیق همگن) مخلوط باید در سرتاسر محفظه احتراق همگن باشد. ولیکن در حالت شارژ لایه ای، مخلوط همگن تنها در داخل یک ناحیه محدود وجود دارد و سایر قسمتهای محفظه احتراق با گاز خنثی یا هوای تازه پر شده است.

قبل از آنکه بتوان یک مخلوط گازی را همگن نامید کل سوخت باید تبخیر گردد. در ضمن فاکتورهای متعددی که برخی از آنها در زیر نام برده شده اند تبخیر سوخت را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

- دمای محفظه احتراق
- اندازه قطرات سوخت
- زمان در دسترس برای تبخیر

فاکتورهای مؤثر

بسته به دما، فشار و هندسه محفظه احتراق، مخلوطی که محتوی بنزین می‌باشد در محدوده λ = ۰/٦...۱/٦ احتراق پذیراست.

تاثیر دما

بدون شک دما بر روی تبخیر سوخت اثر خواهد گذاشت. در دماهای پایین، سوخت به‌طور کامل تبخیر نمی گردد بنابراین به‌منظور حصول مخلوط قابل احتراق تحت این شرایط باید سوخت بیشتری تزریق گردد.

تاثیر فشار (فشار سوخت)

اندازه قطرات در سوخت تزریق شده بستگی به فشار محفظه احتراق و فشار تزریق دارد. فشار تزریق بالاتر منجر به ایجاد قطرات کوچکتر گشته و این امر موجب سریع تر شدن تبخیر می‌گردد.

تاثیر هندسه

با فشار محفظه احتراق ثابت و افزایش فشار تزریق، عمق نفوذ[1] افزایش می‌یابد. عمق نفوذ عبارت است از فاصله طی شده توسط یک قطره سوخت قبل از آنکه آن به‌طور کامل تبخیر گردد. در

1 - Penetration Depth

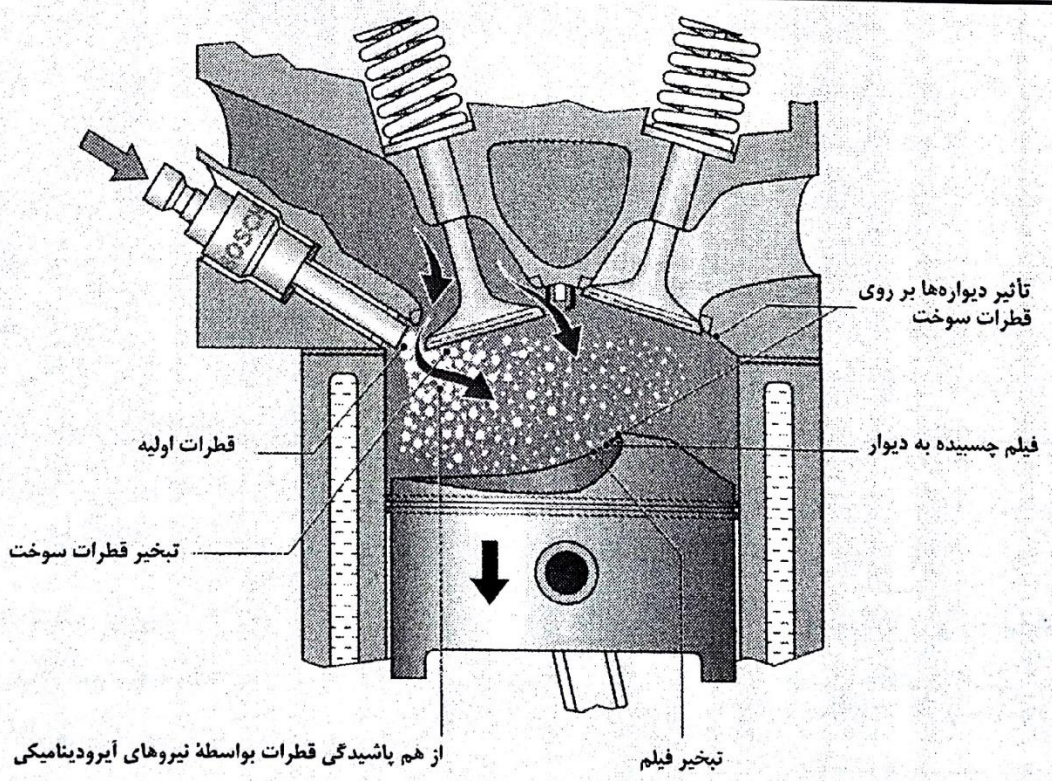
صورتیکه فاصله ایکه برای تبخیر کامل مورد نیاز است از فاصله بین انژکتور و دیواره محفظه احتراق بیشتر باشد دیواره سیلندر یا پیستون با سوخت خیس می‌گردد. اگر این فیلم چسبیده به دیوار در زمان مناسب برای لحظه جرقه تبخیر نگردد در احتراق شرکت نمی کند یا تنها به صورت ناقص در احتراق شرکت می‌کند.

هندسه موتور (منیفولد ورودی و محفظه احتراق) بر روی جریان هوا و توربولانس موجود در محفظه احتراق تاثیر می‌گذارد. هر دو این عوامل از آنجا که آماده سازی و انتقال مخلوط احتراق پذیر به سمت شمع طی شارژ لایه‌ای را برعهده دارند اثری قابل توجه بر روی شکل‌گیری مخلوط می‌گذارند.

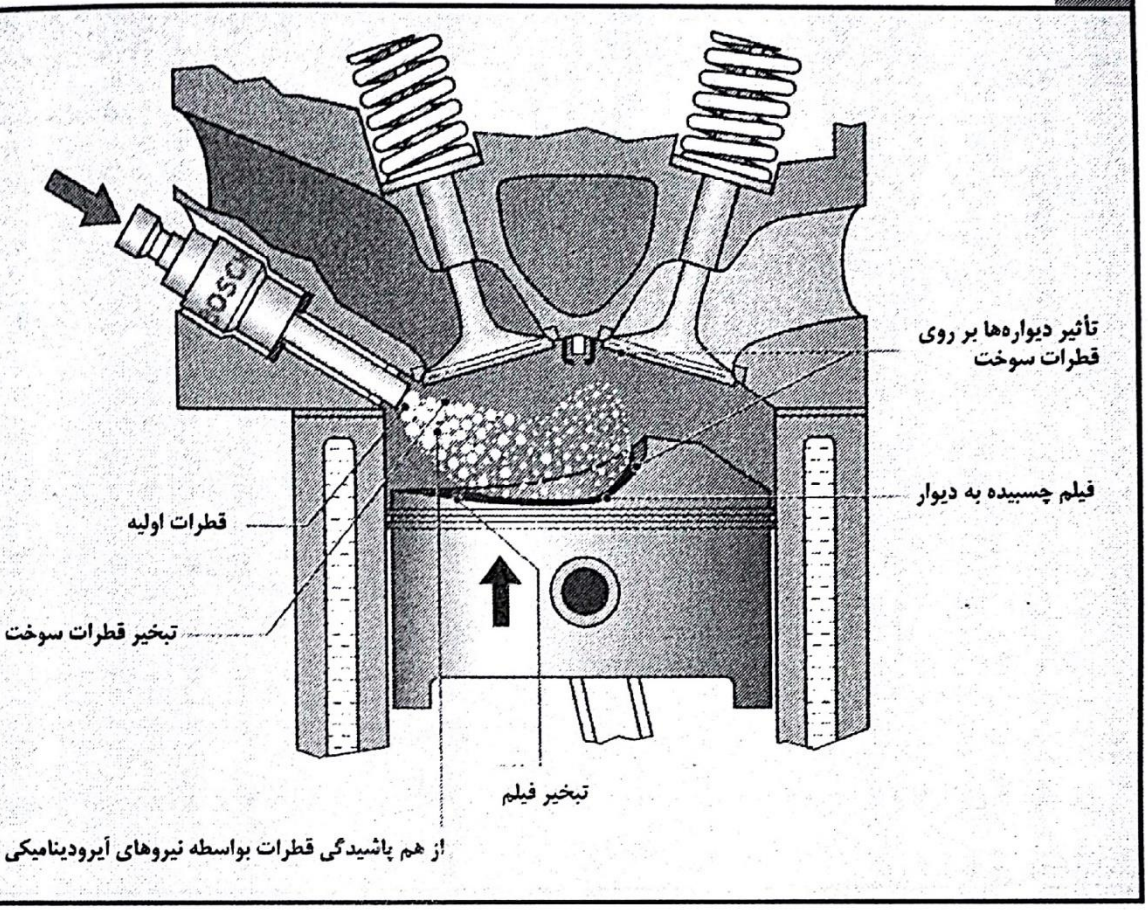
شکل‌گیری مخلوط در حالت همگن

تا جائیکه امکان دارد سوخت باید زودتر پاشش گردد تا حداکثر مدت زمان برای شکل‌گیری مخلوط در دسترس باشد. در ضمن این امر دلیل تزریق سوخت طی کورس مکش در حالت همگن نیز می‌باشد. همچنین هوای ورودی کمک به تبخیر سریعتر سوخت کرده و همگن شدن مناسب مخلوط را نیز تضمین می‌نماید. علاوه بر موارد ذکر شده بواسطه سرعت بالای جریان و نیروهای آیرودینامیکی حاصل از باز و بسته شدن سوپاپ ورودی، آماده سازی مخلوط تسریع می‌گردد.

۱ مکانیزم شکل‌گیری مخلوط در حالت همگن



۲ مکانیزم شکل‌گیری مخلوط در حالت شارژ لایه ای



در ضمن تاثیریکه دیواره ها می‌گذارند مطلوب نمی باشد و تبخیر فیلم چسبیده به دیواره در اینجا یک نقش منفی بازی می‌کند.

شکل‌گیری مخلوط در حالت شارژ لایه ای

ساختار ابر مخلوط احتراق پذیر که در مجاورت شمع در لحظه جرقه می‌باشد در حالت شارژ لایه‌ای بسیار مهم است. از اینرو تزریق سوخت در کورس تراکم رخ می‌دهد و ابر مخلوط ایجاد شده می‌تواند بواسطه جریان هوای موجود در محفظه احتراق و حرکت رو به بالای پیستون به نزدیکی شمع انتقال یابد. لحظه تزریق بستگی به سرعت موتور و گشتاور مورد نیاز دارد. تزریق شارژ لایه‌ای طی فاز تراکم، به آماده سازی مخلوط؛ به علت دمای بالاتر و افزایش فشار صورت گرفته در محفظه احتراق کمک شایانی می‌کند.

در حالتیکه فرآیند احتراق؛ فرآیندی است که در آن سوخت به کمک هوا یا دیواره ها هدایت می‌شود چگالش سوخت روی دیواره پیستون اجتناب ناپذیر است. در چنین حالتی بخشی از آماده سازی مخلوط بواسطه تبخیر فیلم چسبیده به دیوار می‌باشد **(شکل ۲)**.

اشتعال

مخلوطهای همگن

نحوه اشتعال برای مخلوطهای همگن در سیستمهای تزریق مستقیم بنزین مشابه سیستمهای تزریق سوخت در منیفولد می‌باشد.

مخلوطهای شارژ لایه ای

به طور کلی زمانیکه موتور با دریچه گاز کاملاً باز کار می‌کند مخلوطهای سوخت و هوای فوق العاده رقیقی شکل می‌گیرند این امر امکان لایه بندی شارژ در مجاورت شمع (در لحظه جرقه) را فراهم می‌سازد. در صورتیکه ایده آل به قضیه نگاه کنیم این مخلوط سوخت و هوای لایه‌ای استوکیومتریک می‌باشد لذا به آسانی مشتعل می‌گردد.

بعد از اشتعال، یک هسته شعله در حوزه شارژ لایه‌ای استوکیومتریک شکل می‌گیرد. مقدار انرژی آزاد شده بدین طریق چهار برابر یک جرقه است از اینرو مخلوط رقیق موجود در سایر مناطق محفظه احتراق نیز می‌تواند مشتعل گردد.

فرآیندی که در آن سوخت به کمک هوا یا دیواره ها هدایت می‌شود

زمانیکه فرآیند احتراق، فرآیندی است که در آن سوخت به کمک هوا یا دیواره ها هدایت می‌شود مدت زمان تزریق باید طوری انتخاب گردد که پیستون ابر مخلوط را به صورت ایمن به سمت شمع هدایت کند. این حرکت انتقالی معمولاً بواسطه جریانهای موجو در محفظه احتراق تقویت می‌شود. در ضمن مخلوط باید زمانیکه به شمع می‌رسد مشتعل شود، به عبارت دیگر از نقطه نظر زمانی؛ تعیین لحظه جرقه به‌طور دائم وابسته به موقعیت پیستون، تزریق و نحوه انتقال مخلوط است و دیگر به صورت یک متغیر کنترل شده در فرآیند احتراق نیست.

زمانیکه سطح پیستون با سوخت خیس می‌گردد این سطح بواسطه فعل و انفعالی که با سوخت مایع انجام می‌دهد به‌عنوان یکی از اجزاء شکل دهنده مخلوط عمل می‌کند. در این حالت، سوختی که به سطح چسبیده است به آرامی (نسبت به تبخیرات دیگر) تبخیر می‌گردد و هنگامیکه جبهه شعله به سطح پیستون، که نسبت به شعله سرد می‌باشد می‌رسد به علت تلفات گرمائی بالا خاموش می‌گردد. لذا سوختی که هنوز تبخیر نشده است در احتراق شرکت نکرده و منجر به افزایش انتشار HC می‌گردد.

طراحی سطح پیستون، جریان شکل گرفته در مجاورت شمع و کیفیت انژکتور اثر مستقیم بر روی اشتعال و عملکرد سوزش می‌گذارد.

فرآیند احتراقی که سوخت بواسطه پاشش هدایت می‌گردد

نزدیک بودن شمع و انژکتور باعث غلیظ شدن مخلوط اشتعال پذیر در مجاورت شمع حتی در

صورت مقدار ناچیز تزریق سوخت می‌شود. در ضمن این امر بدان معناست که مدت زمان بسیار اندکی برای تبخیر و آماده سازی مخلوط وجود دارد.

بعد از آنکه سوخت مستقیماً از انژکتور خارج گردید از آنجا که هنوز به اندازه کافی تبخیر نشده است و با هوای اطراف نیز مخلوط نگردیده است قابلیت اشتعال را دارا نمی باشد. همچنین اشتعال بعد از گذشت مدت زمان طولانی از تزریق، از آنجا که مخلوط از شمع دور شده است و رقیق گشته است به سختی امکانپذیر است.

بنابراین شرایط ایده آل اشتعال تنها در مدت زمان کوتاهی در دسترس خواهد بود. در این مدت، یک هسته شعله با سرعت رشد بالا در مخلوط سوخت و هوای احتراق پذیر که توسط شمع ایجاد گردیده است در انتهای فرآیند تزریق شکل می‌گیرد.

فاکتورهای زیر از دیگر عوامل شکل‌گیری یک اشتعال ایمن می‌باشند:

- نحوه آماده سازی مخلوط
- اختصاص دادن محلی مناسب برای شمع و پاشش سوخت
- تعیین دقیق فاصله بین پاشش و محل جرقه
- پایداری پاشش نسبت به فشار محفظه احتراق
- عدم تغییر پاشش در سرتاسر عمر مفید موتور

انژکتور فشار بالا

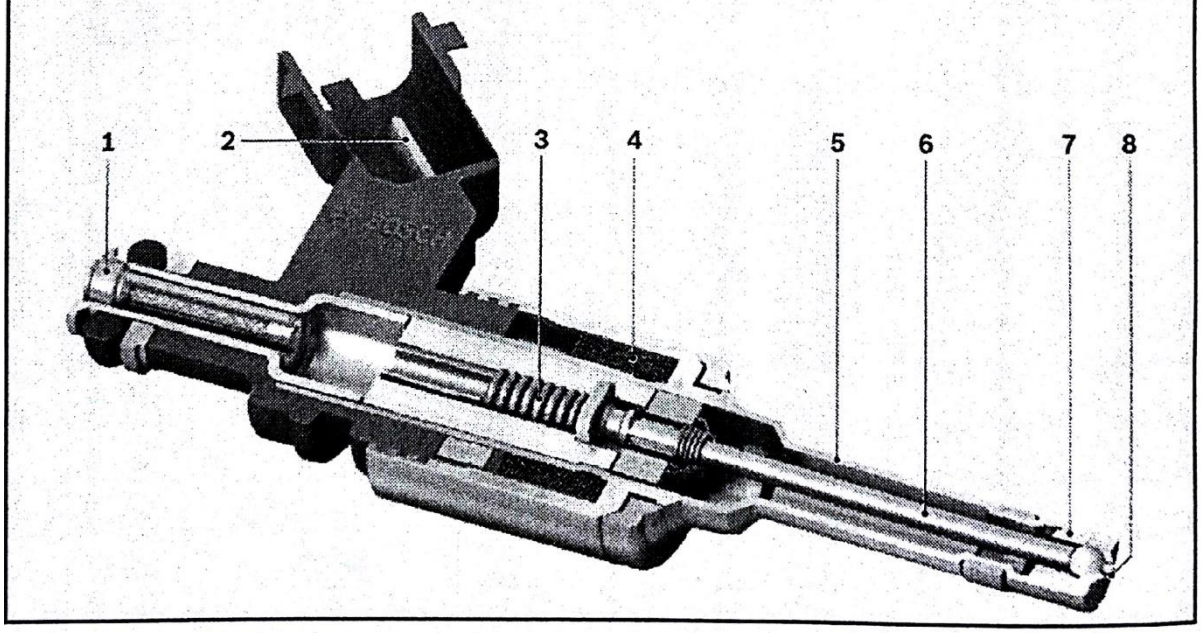
از یک طرف، وظیفه انژکتور سوخت فشار بالا (HDEV) کنترل مقدار سوخت تزریق شده می‌باشد و از طرف دیگر، وظیفه آن کنترل نمودن مخلوط شدن سوخت و هوا در یک ناحیه خاص در محفظه احتراق بواسطه اتمیزه کردن سوخت است. بسته به حالت کاری مطلوب، سوخت یا در مجاورت شمع متمرکز می‌گردد (شارژ لایه ای) و یا به صورت متعادل در سرتا سر محفظه احتراق توزیع می‌گردد (توزیع همگن).

طراحی و نحوه عملکرد

انژکتور فشار بالا **(شکل ۱)** شامل اجزاء زیر می‌باشد:

- مجرای ورودی همراه با فیلتر (۱)
- اتصالات الکتریکی (۲)
- فنر (۳)
- کویل (٤)
- غلاف انژکتور (٥)
- سوزن نازل همراه با آرماتور سلونوئیدی (٦)
- نشیمنگاه انژکتور (۷)

۱ انژکتور فشار بالای HDEV٥



۱- مجرای ورودی سوخت با فیلتر
۲- اتصالات الکتریکی
۳- فنر
۴- کویل
۵- غلاف انژکتور
۶- سوزن نازل همراه با آرماتور سلونوئیدی
۷- نشیمنگاه انژکتور
۸- گذرگاه‌های خروجی انژکتور

یک میدان مغناطیسی زمانیکه جریان از کویل عبور می‌کند ایجاد می‌گردد. این امر منجر به بلند شدن سوزن انژکتور از نشیمنگاه می‌شود. حال فشار سیستم سوخت را به داخل محفظه احتراق می‌راند. مقدار سوخت تزریق شده بستگی به مدت زمان باز ماندن انژکتور و فشار سوخت دارد.

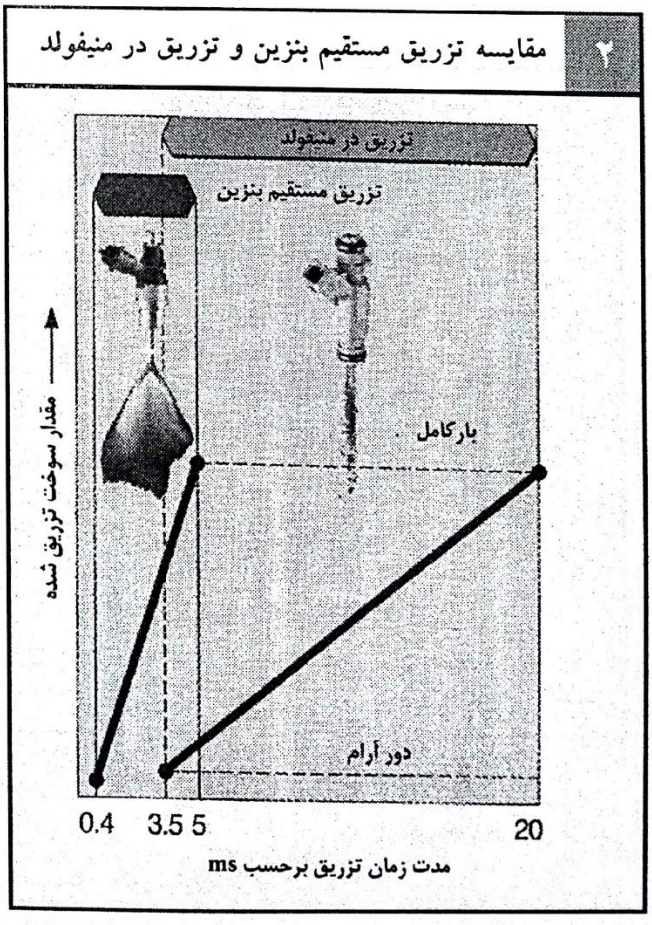
زمانیکه جریان فعال کننده قطع می‌گردد، سوزن انژکتور بواسطه نیروی فنر به نشمینگاه فشرده شده و جریان سوخت قطع می‌گردد. در ضمن اتمیزه شدن بواسطه هندسه مناسب نازل در نوک انژکتور فوق العاده عالی است.

نیازمندی ها

در مقایسه با تزریق سوخت در منیفولد؛ تزریق مستقیم بنزین در فشار بالاتر و مدت زمان کوتاهتری که برای تزریق کردن سوخت به داخل محفظه احتراق در دسترس است رخ می‌دهد.

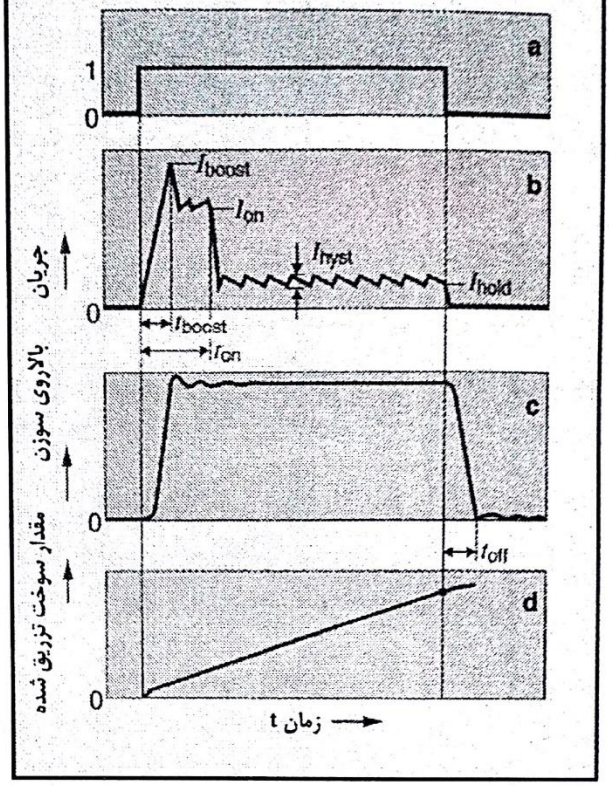
شکل ۲ انتظارات فنی ایکه از انژکتور طلب می‌شود را نشان می‌دهد. در حالت تزریق سوخت در منیفولد، برای تزریق سوخت داخل منیفولد دو دوران میل لنگ در دسترس می‌باشد و مدت زمان این امر برابر با ۲۰ ms در سرعت موتور ۶۰۰۰ rpm است.

در حالت تزریق مستقیم بنزین، زمان در دسترس به مقدار قابل توجهی کوتاهتر است. در عملکرد همگن، سوخت باید طی کورس مکش تزریق گردد به عبارت دیگر تنها نیم دور میل لنگ برای فرآیند تزریق در دسترس می‌باشد که در سرعت موتور ۶۰۰۰ rpm مدت زمان آن برابر با ۵ ms خواهد بود.



a: مقدار سوخت تزریق شده به صورت تابعی از مدت زمان تزریق

۳ شکل ۳- فعالسازی انژکتور فشار بالا HDEV



a – سیگنال فعال کننده
b – مشخصات جریان داخل انژکتور
c – بالاروی سوزن
d – مقدار سوخت تزریق شده

در دور آرام با سیستمهای تزریق مستقیم بنزین مدت زمان مورد نیاز سوخت نسبت به بار کامل(۱ به ۱۲) بسیار کمتر از سیستمهائی است که تزریق آنها در منیفولد صورت می‌گیرد. در نتیجه مدت زمان مورد نیاز تزریق در دور آرام تقریباً برابر با ۰/٤ ms خواهد بود.

فعال کردن انژکتور سوخت فشار بالا HDEV

انژکتور باید بواسطه یک جریان فوق العاده پیچیده، به‌منظور برآورد نیازهای فرآیند تزریق سوخت فعال گردد (**شکل۳**). میکروکنترلر موجود در ECU تنها یک سیگنال فعال کننده دیجیتال تحویل می‌دهد (a) و یک مدول خروجی (ASIC) از این سیگنال به‌منظور تولید سیگنال فعال کننده (b) انژکتور استفاده می‌نماید.

یک مبدل DC/DC در ECU موتور ولتاژ تقویتی ٦٥V را ایجاد می‌نماید. این ولتاژ به‌منظور بالا بردن هر چه سریع تر جریان تا مقادیر بالا در فاز تقویت مورد نیاز می‌باشد. در ضمن این ولتاژ به‌منظور شتاب دهی هرچه سریع تر به سوزن انژکتور لازم می‌باشد. در فاز بلند شدن (t_{on})، سوزن انژکتور به حداکثر بالاروی خود دست می‌یابد (c). زمانیکه انژکتور باز است یک جریان ناچیز فعال کننده (جریان نگهدارنده[1]) برای باز نگاه داشتن انژکتور کافی است.

هنگام بالا ماندن ثابت سوزن انژکتور؛ مقدار سوخت تزریق شده (d) متناسب با مدت زمان تزریق است.

1 - Holding Current

۳- پالایش گازهای خروجی (Exhaust Gases Filtering)

راهکار دیگری که برای رسیدن به سطح مجاز آلایندگی همراه با روش‌های قبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، پالایش گازهای خروجی می‌باشد. برای این منظور در مسیر گازهای خروجی (اگزوز) از مبدل کاتالیست استفاده می‌شود تا هم ذرات معلق (PM) پالایش گردد و هم با تبدیل گازهای خطرناک به گازهای بی‌خطر و سازگار با محیط زیست، میزان آلایندگی کاهش یابد.

گاهی دیگر نیز از سیستم‌های مکمل دیگری همچون سیستم بازخورانی گازهای خروجی (EGR) و یا سیستم کاهش دهنده آلایندگی (SCR) نیز استفاده می‌شود که می‌تواند میزان آلایندگی گازهای خروجی را به کمترین سطح خود برساند. در ادامه فصل به تشریح این سیستم‌ها پرداخته شده است.

۹-۳۴- مبدل کاتالیست (Catalytic Converter)

در خودروهای جدید علاوه بر انباره اگزوز، منبع دیگری نیز در مسیر گازهای خروجی قرار داده می‌شود که به آن مبدل کاتالیست گفته می‌شود. این مبدل کاتالیست به‌منظور کاهش میزان آلایندگی گازهای خروجی موتور، طراحی و تعبیه گردیده است.

محصولات یک احتراق کامل، فقط گاز دی‌اکسید کربن (CO_2) و بخار آب (H_2O) می‌باشد که کاملاً بی‌ضرر هستند. اما از آنجایی که احتراق هیچ‌وقت کامل نیست در گازهای خروجی، علاوه بر گازهای بی‌خطری همچون دی‌اکسید کربن (CO_2)، بخار آب (H_2O)، و نیتروژن (N_2)، مواد دیگری همچون منواکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژنی (NO_x)، اکسیدهای گوگردی (SO_x)، هیدریدکربن (HC)، ترکیبات هیدروکربن نسوخته (Volatile Organic Compounds) (VOC)، اولفین‌ها و ترکیبات آروماتیک نیز وجود دارند که برای سلامتی انسان، بسیار مضر و خطرناک هستند و از سوی دیگر وجود این ترکیبات در هوا، یکی از مهمترین عوامل ایجاد بیماری تنفسی، سرطان‌های مختلف، تولد نوزادان عقب افتاده و ناقص، کم‌هوش و کاهش عمر انسان می‌باشد.