فصل سوم

سوخت و احتراق

هدف‌های رفتاری : پس از آموزش این فصل از هنرجو انتظار می‌رود :

۱ــ سوخت‌ها را توضیح دهد.

۲ــ احتراق را توضیح دهد.

۳ــ آلاینده‌های موتور و نحوهٔ کنترل آن را توضیح دهد.

۱ــ۳ــ سوخت

۱ــ۱ــ۳ــ مقدمه : مدت‌ها تصور می‌شد که سوخت‌ها فقط از یک جزء شیمیایی تشکیل شده‌اند. با این حال، ممکن است یک سوخت بنزینی یا دیزل خاص، شامل ۱۰۰ هیدروکربن و صدها جزء دیگر با مقادیری ناچیز باشد. در این بخش علت پیچیده بودن ترکیبات سوخت‌ها، چگونگی تولید آنها و چگونگی عملکرد آنها در موتورهای احتراق داخلی توضیح داده می‌شود.

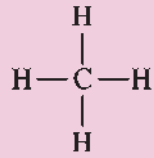
منبع اصلی سوخت‌های نفتی، نفت خام می‌باشد. مؤسسه نفت خام ایالات متحده، میزان نفت خام شناخته شده موجود در کره زمین را حدود یک تریلیون بشکه تخمین زده است، حدود ۰/۶ تریلیون بشکه از مخازن نفتی موجود در کره زمین کماکان ناشناخته باقی مانده است. در صورت ادامه مصرف با نرخ کنونی، پیش بینی می‌شود که حدود ۶۰ تا ۹۵ سال آینده، نفت خام در مخازن نفتی زمین به پایان برسد. پیشرفت‌های تکنولوژیکی در روش‌های بهره‌برداری مخازن نفتی باعث شده تا قابلیت استحصال نفت از میادین نفتی افزایش یابد. در سال ۱۹۵۰، میزان ذخایر شناسایی شده نفت خام جهان، تقریباً ۰/۰۹ تریلیون بشکه تخمین زده می‌شد که در ۵۰ سال گذشته این مقدار ۱۰ برابر شده است. میزان مصرف نفت خام در سال‌های اخیر به گونه ای بوده است که تقریباً ۰/۷ تریلیون بشکه از ابتدای انقلاب صنعتی تاکنون مصرف شده است. استحصال نفت خام از کک، زغال سنگ و شن‌های قیر اندود از لحاظ تکنیکی و تئوری ممکن است، لیکن از لحاظ اقتصادی به صرفه نمی‌باشد.

با توجه به اینکه در نفت خام کربن وجود دارد، مصرف آن باعث به‌وجود آمدن CO_2 می‌شود، این گاز گلخانه‌ای باعث گرم شدن زمین می‌شود. به منظور کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای راه‌های پیشگیرانه‌ای اندیشیده شده است. این پیشگیری‌ها شامل افزایش بازده احتراق و افزایش میزان استفاده از سوخت‌های جایگزین می‌باشد.

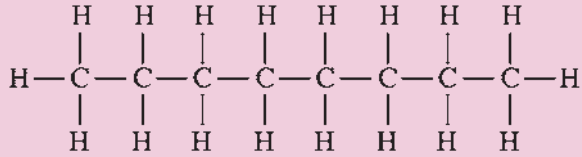
مطالعه آزاد

۲ــ۱ــ۳ــ شیمی هیدروکربن‌ها : بنزین و سوخت‌های دیزل از ترکیبات هیدروکربنی به‌وجود آمده‌اند، هیدروکربن‌ها به گروه‌های پارافین‌ها، اولفین‌ها، نفتالین‌ها و آروماتیک‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. خانواده‌های هیدروکربن‌ها دارای پیوند کربن ــ هیدروژن بوده و دارای فرمول شیمیایی مختص به خود می‌باشند. پارافین‌ها (آلکان‌ها)، مولکول‌هایی هستند که در آنها اتم‌های کربن با یک پیوند یگانه به‌صورت زنجیروار در کنار هم قرار گرفته‌اند. پیوندهای دیگر کربن‌ها با هیدروژن صورت می‌پذیرد. از آنجا که آلکان‌ها فاقد پیوندهای دوگانه و سه‌گانه می‌باشند، به این مواد، هیدروکربن‌های اشباع شده[۱] نیز اطلاق می‌شود.

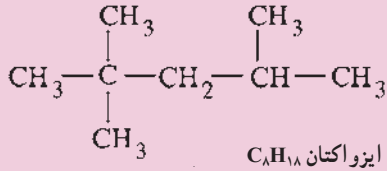
پارافین‌ها را با نام آلکان‌ها می‌شناسند. مثال‌هایی از این خانواده عبارتند از متان CH_4 و اکتان C_8H_{18} (شکل ۱ــ۳). ایزواکتان، از نظر تعداد کربن‌های آن همانند اکتان می‌باشد ولی چیدمان زنجیره آن با اکتان متفاوت است.



متان CH_4



اکتان C_8H_{18}

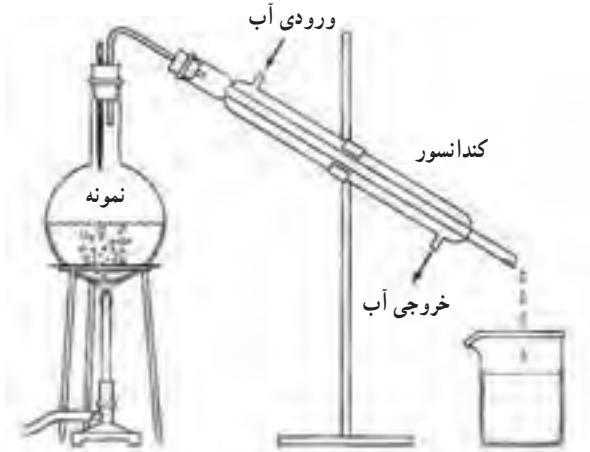


ایزواکتان C_8H_{18}

۱ــ Saturated hydrocarbons

۳ــ۱ــ۳ــ عملیات تصفیه : در ترکیب نفت خام هیدروکربن‌های گوناگونی وجود دارد. به‌عنوان مثال در بنزین، ۲۵۰۰۰ ماده مختلف که از مشتقات نفت خام است، یافت می‌شود. این مواد در گستره‌ای از حالت بین گازها تا مایعات لزج و حتی مایعات گریس مانند موجود هستند. هدف از تصفیه، جدا کردن فیزیکی نفت خام به اجزاء مختلف آن در فازهای مختلف و سپس اجرای فرایند[۱] شیمیایی به منظور تبدیل مواد حاصله به سوخت‌ها و دیگر فرآورده‌های نفتی می‌باشد. فرایند جداسازی اجزا را تقطیر[۲] می‌گویند که با دستگاه تقطیر انجام می‌شود.

شماتیک کلی یک دستگاه تقطیر در شکل ۱ــ۳ نشان داده شده است. وقتی که یک نمونه ماده گرم می‌شود، هر یک از اجزای آن به نقطه جوش خود می‌رسند. دسته‌بندی مواد مختلف کاملاً اختیاری است. دسته‌بندی مواد بر پایه زمان خروج آنها از دستگاه تقطیر عموماً به ترتیب زیر است : نفتا[۳]، مواد مقطر، نفت گاز و نفت باقی مانده. در یک دسته‌بندی دیگر از عناوین سبک، متوسط و سنگین برای دسته‌بندی مواد حاصل از برج تقطیر استفاده می‌شود. صفت دست نخورده[۴] یا عملیات‌مستقیم[۵] به اجزایی اطلاق می‌شود که هیچ واکنش شیمیایی روی آنها انجام نشده است. برای مثال نفتای سبک دست نخورده به عنوان بنزین استفاده می‌شود که گاهی به آن بنزین واکنش مستقیم نیز گفته می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی هر جزء به دمای تقطیر آن بستگی دارد.



شکل ۱ــ۳ــ فرایند تقطیر، نفت خام را به اجزای مختلف تقسیم‌بندی می‌نماید.

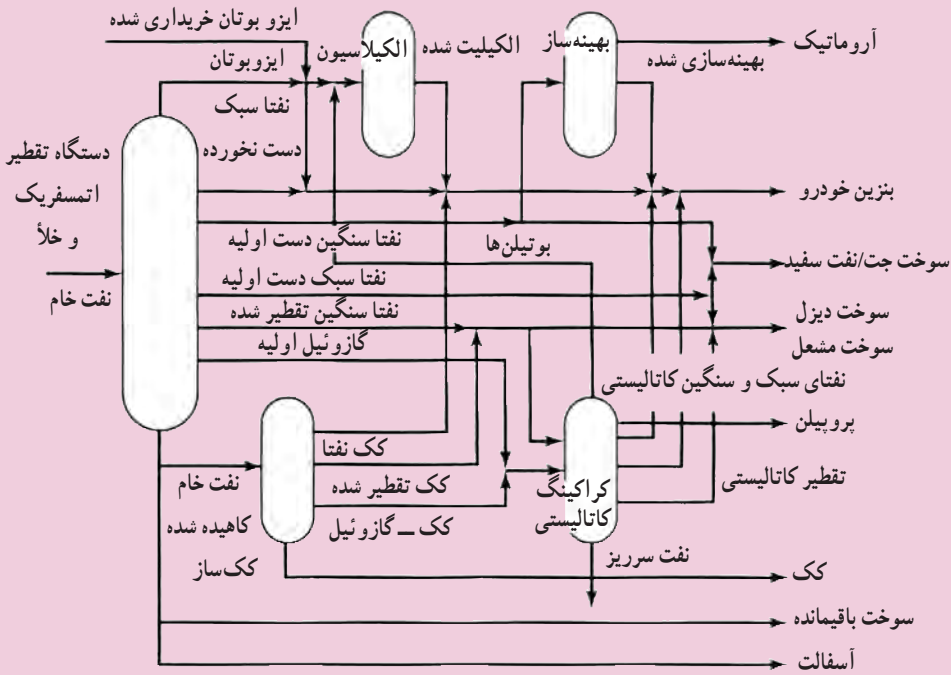
۱ــ Process

۲ــ Distillation

۳ــ Naphta

۴ــ Virgin

۵ــ Straight Run



نمایش کلی یک پالایشگاه

در عملیات تصفیه، فرآورده‌های دیگری مازاد بر آنچه که در دیاگرام آورده شده نیز تولید می‌شود. عملیات تصفیه فرآورده‌هایی نظیر سوخت موتورها (بنزین، گازوئیل دیزل و سوخت جت)، سوخت‌هایی برای مقاصد گرمایشی (کک، مواد آتش‌زا و نفت سفید[1] و ...)، فرآورده‌های شیمیایی (آروماتیک‌ها، پروپیلن) و آسفالت را تولید می‌کند. به‌طور متوسط در یک عملیات تصفیه ٪۴۰ از نفت خام ورودی به بنزین، ٪۲۰ آن را به دیزل و سوخت حرارتی، ٪۱۵ به روغن سوختی باقیمانده، ٪۵۰ آن به سوخت جت و بقیه آن به هیدروکربن‌های دیگر تبدیل می‌شود.

اجزاء سبک در دماهای کم و اجزاء سنگین در دماهای بالاتر تقطیر می‌شوند. سوخت بنزینی از ترکیب هیدروکربن‌هایی که در بازه دمایی $25^{\circ}C$ تا $225^{\circ}C$ تقطیر می‌شوند (به جوش می‌آیند) تشکیل می‌شود و سوخت دیزل ترکیبی از هیدروکربن‌هایی است که نقطه جوش آنها بین $180^{\circ}C$ تا $360^{\circ}C$ می‌باشد.

فرایندهای شیمیایی به منظور تبدیل یک جزء شیمیایی به جزئی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال بنزین تولید شده از نفت خام باید ٪۵۰ انرژی موجود در نفت خام را داشته باشد، ولی بنزین

۱ــ Kerosene

تولید شده در برج تقطیر حاوی ٪۲۵ انرژی نفت می‌باشد. در این شرایط ٪۲۵ دیگر انرژی به‌وسیله فرایند شیمیایی بنزین با برخی اجزاء دیگر تولید می‌شود. فرایندهای شیمیایی همچنین جهت ارتقای یک جزء به ماده‌ای پرمصرف‌تر و مفیدتر به‌کار می‌روند. برای مثال بنزین فرایند مستقیم دارای عدد اکتان ۷۰ می‌باشد در حالی که فرآورده آن دارای عدد اکتان ۹۰ می‌باشد. بنابراین در این مورد فرایند شیمیایی برای بالا بردن عدد اکتان از ۷۰ به ۹۰ به کار برده می‌شود.

۴ــ۱ــ۳ــ سوخت‌های بنزینی[1] : از اوایل دهه ۱۹۰۰ ، بنزین سوخت غالب خودروها بوده است. این سوخت اولین بار در موتور چهار زمانه نیکلاس اتو در سال ۱۸۷۶ استفاده شد. این سوخت دارای چگالی انرژی بالا بوده و در عین حال ارزان قیمت است. بنزین از ترکیب هیدروکربن‌های سبک شامل پارافین‌ها، اولفین‌ها، نفتالین‌ها و آروماتیک‌ها تشکیل شده است. نسبت هیدروژن به کربن آن بین ۱/۶ تا ۲/۴ متغیر است. فرمول عمده بنزین C_8H_{15} با وزن مولکولی ۱۱۱ می‌باشد. فرمول بنزین با هیدروژن فراوان C_7H_{17} می‌باشد.

۵ــ۱ــ۳ــ افزودنی‌های بنزین : افزودنی‌های بنزین شامل بهبود دهنده‌های عدد اکتان، ضدیخ برای جلوگیری از یخ‌زدگی سوخت، شوینده‌ها[2] جهت کنترل رسوب روی انژکتورها و سوپاپ‌ها، زنگ بر و آنتی اکسیدان جهت کاهش تشکیل چسبندگی در بنزین ذخیره شده در باک می‌باشند. مواد بسیاری برای بالا بردن عدد اکتان بنزین مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در سال‌های ۱۹۲۳ تا ۱۹۷۵ تترا اتیل سرب اولین ماده‌ای بود که به‌طور عمومی به‌عنوان بهبوددهنده عدد اکتان به‌کار برده می‌شد. استفاده از این ماده از سال ۱۹۹۵ به‌دلیل سمی بودن آن و اثر نامطلوبش بر مبدل‌های کاتالیستی و حسگرهای اکسیژن، ممنوع شد. در حال حاضر، سرب فقط برای بنزین هواپیما استفاده می‌شود و در بنزین خودروهای سواری مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. الکل‌ها، اترها و متیل سیکلو پنتا دی نیل منگنز تری‌کربونیل[3] هم اکنون به عنوان بهبوددهنده‌های عدد اکتان استفاده می‌شوند.

۶ــ۱ــ۳ــ سوخت‌های دیزل : سوخت دیزل مشتمل بر مخلوط هیدروکربن‌های سبکی است که نقطه جوش آنها بین $180^{\circ}C$ تا $360^{\circ}C$ بوده، چنانکه دیده می‌شود این دما بیشتر از دمای متناظر برای مواد تشکیل دهنده بنزین است. تخمین زده شده است که بیشتر از ۱۰۰۰۰ ایزومر در سوخت

۱ــ Gasoline

۲ــ Detergent

۳ــ Methyl–cyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT)

دیزل یافت می‌شود. همانند بنزین، سوخت‌های دیزل، مخلوطی از هیدروکربن‌های پارافین، اولفین، نفتالین و آروماتیک است، اما ارتباط خواص آنها با هم متفاوت است. وزن مولکولی سوخت دیزل بین ۱۷۰ تا ۲۰۰ متغیر است. چگالی انرژی سوخت‌های دیزل ۸٪ بیشتر از سوخت‌های بنزینی می‌باشد و قابلیت اشتعال‌پذیری کمتری دارند و به عنوان اولین سوخت جهت خودروهای سنگین به‌کار برده‌شده‌اند.

کیفیت اشتعال سوخت دیزل با عدد ستان[۱] سنجیده می‌شود. هر چه این عدد بالاتر باشد، سوخت راحت‌تر مشتعل می‌شود. عدد ستان متداول برای مصارف وسائط نقلیه بین ۴۰ تا ۵۵ می‌باشد.

۷ــ۱ــ۳ــ سوخت‌های جایگزین : مهم‌ترین سوخت در سوخت‌های جایگزین، متان یا گاز طبیعی فشرده[۲]، پروپان یا همان گاز نفتی مایع[۳]، الکل‌ها و هیدروژن می‌باشد. آلودگی مواد منتشر شده از احتراق این سوخت‌ها به مراتب کمتر از مقادیر مشابه برای بنزین و سوخت‌های دیزلی می‌باشد. با توجه به مشکلات موجودی که در رابطه با نفت خام وجود دارد و با توجه به مسائل سیاسی، این سوخت‌ها می‌توانند به‌عنوان سوخت‌های جایگزین استفاده شوند. از سال ۲۰۰۰ میلادی متداول‌ترین سوخت برای مصرف وسائط نقلیه پس از گاز طبیعی و متانول، پروپان می‌باشد.

این نوع سوخت‌ها چه از لحاظ ملاحظات مهندسی و چه از لحاظ مسائل اقتصادی به‌طور وسیع در خودرو مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. هزینه این نوع سوخت‌ها به ازاء واحد انرژی تولیدی از سوخت دیزل و بنزین گران‌تر است. با توجه به چگالی انرژی پایین آنها برای پیمایش برابر با خودروهای بنزینی به ذخیره حجم سوخت ذخیره بالاتری نیاز است. این مسأله می‌تواند مخصوصاً برای ماشین‌های دوگانه‌سوز که قسمت قابل‌توجهی از فضای اتومبیل برای مخزن ذخیره‌سازی سوخت جایگزین استفاده می‌شود مضر و نامطلوب باشد. در سیستم گازسوز، فقدان سیستم توزیع و سوخت‌رسانی نسبت به سیستم‌های متداول وجود دارد. در سال‌های اخیر، سیستم جایگزین روی وسائط نقلیه ناوگانی مانند اتوبوس‌ها، کامیون‌ها و ون‌ها قرار گرفته است، استفاده از این نوع قوای محرکه در خودروهای مذکور موفقیت آمیز بوده است. ضریب نفوذ سوخت‌های جایگزین در بازار، در حال حاضر فقط بین ۰/۵ تا ۱٪ است. بنا به گزارش وب[۴] و دلماس[۵] در سال ۱۹۹۰، تنها در ایالات متحده

۱ــ Cetane Number (CN)

۲ــ Compressed Natural Gas (CNG)

۳ــ Liquid Petroleum Gas (LPG)

۴ــ Webb

۵ــ Delmas

آمریکا، چهار میلیون خودرو با سوخت پروپان، سه میلیون خودرو با سوخت اتانول و حدود یک میلیون خودرو با سوخت گاز طبیعی وجود داشته است، این درحالی است که تعداد خودروهای بنزینی در آن زمان ۱۵۰ میلیون بوده است.

موتورهای دیزلی یا بنزینی موجود را می‌توان به سادگی به حالت سیستم سوخت جایگزین تبدیل کرد. با این‌حال برای انجام چنین تغییراتی باید شرایط مختلفی مدنظر قرار گیرد. ماهیت متفاوت احتراق این نوع سوخت‌ها، مستلزم تغییر در سیستم انژکتور (پاشش سوخت) و زمان‌بندی احتراق است. همچنین بسیاری از این سوخت‌ها و مخصوصاً انواع گازی آنها، خاصیت روان‌کاری کمی دارند و باعث افزایش سایش در اجزاء سیستم سوخت‌رسانی مانند انژکتورها و سوپاپ‌ها می‌شوند.

پروپان: پروپان با فرمول (C_3H_8) یک هیدروکربن پارافینی اشباع شده است. وقتی که با بوتان (C_4H_{10}) یا اتان (C_2H_6) ترکیب می‌شود، گاز نفتی مایع را تشکیل می‌دهد. متداول‌ترین گاز مایع مخلوط P۹۲می‌باشد. این سوخت حاوی ٪۹۲ پروپان و ٪۸ بوتان است. در ایالات متحده، تقریباً نیمی از LPG از اجزاء سبک‌تر هیدروکربن‌ها که در طول پالایش نفت خام به دست می‌آیند و نیمی دیگر از اجزاء سنگین گاز طبیعی سر چاه نفت تولید می‌شود.

پروپان از دهه ۱۹۳۰ به عنوان سوخت خودروها مورد استفاده قرار گرفت. در سال ۱۹۹۳ در جهان ۴میلیون خودرو با این نوع سوخت وجود داشت که عمده آنها در هلند، ایتالیا، آمریکا و کانادا قرار داشتند. در حال حاضر جایگاه‌های متعدد مخصوص سوخت پروپان وجود دارد. برخی شرکت‌های خودروسازی، خودروهایی با این نوع سیستم سوخت‌رسانی از قبیل پیک آپ‌ها، کامیون و کامیونت‌ها تولید می‌کنند. همچنین کیت‌هایی برای تبدیل سیستم بنزینی به این نوع سوخت یا دوگانه‌سوز کردن خودروها وجود دارد.

در خودروها، پروپان به صورت مایع فشرده، تحت فشار بین ۰/۹ تا ۱/۴MPa ذخیره می‌شود. وقتی که سیستم به طور صحیح عایق‌بندی شده باشد، انتشارات بخار آن تقریباً صفر است. تنظیم کننده فشار[۱]، میزان ورود پروپان به درون موتور را کنترل می‌کند. پروپان مایع در هنگام عبور از دریچه گاز به گاز تبدیل می‌شود. پروپان گازی شکل از درون محفظه ورودی به راهگاه ورودی یا مستقیماً به درون سیلندر پاشیده می‌شود. پروپان دارای عدد اکتان ۱۱۲ می‌باشد، لذا در هنگام استفاده‌های خودرویی معمولاً نسبت تراکم آن را افزایش می‌دهند.

۱ــ Pressure regulator

جدول ۱ــ۳ــ آلاینده‌های مجاز خودروی LPG موتور ۳/۱ لیتری

آلاینده	پروپان	بنزین
HC	۰/۲۱	۰/۳۷
CO	۲/۵۵	۵/۴
NO_x	۰/۶۷	۰/۴۲

جدول ۲ــ۳ــ آلاینده‌های سمی خودروهای LPG با واحد (mg/mile)

مواد سمی	پروپان	بنزین
بنزن	<۰/۱	۱۶/۷
۳،۱ بوتادین	<۰/۱	۲/۵
فرمالدهید	۱/۲	۳/۱
استالدهید	۰/۳	۱/۵
مجموع	۱/۵	۲۳/۸

۸ــ۱ــ۳ــ گاز طبیعی : گاز طبیعی سوختی است که به صورت طبیعی در زمین‌های نفت‌خیز یافت می‌شود. ماده اصلی این گاز که حدود ۹۰ تا ٪۹۵ آن را تشکیل می‌دهد گاز متان (CH_4) می‌باشد، این گاز به همراه مواد دیگری از قبیل ٪۴ نیتروژن، ٪۴ اتان و ۱ تا ٪۲ پروپان می‌باشد. متان گازی گلخانه‌ای با پتانسیل گرم کردن زمین به میزان ده برابر CO_2 است.

گاز طبیعی سالیان متمادی است که به‌عنوان سوخت موتورهای ثابت کمپرسورهای گازی و ژنراتورهای مولد برق مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه گسترده توزیع و خطوط انتقال گاز طبیعی بزرگی جهت مصارف صنعتی و سیستم‌های گرمایشی وجود دارد. خودروهایی با سوخت گاز طبیعی از سال ۱۹۵۰ ظهور کردند و کیت‌های تبدیل آنها برای هر دو نوع موتورهای اشتعال تراکمی و اشتعال جرقه‌ای موجود است. تحقیقات زیادی برای توسعه خودروهای دوگانه‌سوز که هم می‌توانند با گاز طبیعی و هم با بنزین یـا سوخت دیـزل کار کنند، در حال انـجام است. یک مـزیت خودروهای دوگـانه‌سوز آن است که گستره عملکرد آن از خودروهایی که تنها با گاز طبیعی کار می‌کنند بیشتر

است. در حال حاضر تولیدکنندگان تجهیزات اصلی این سیستم‌ها در حال فروختن محصولات خود به شرکت‌های خودروسازی، به‌ویژه وسائط نقلیه ناوگانی هستند.

مطالعه آزاد

گاز طبیعی در دمای اتاق به صورت فشرده و در دمای $-160^{\circ}C$ به‌صورت مایع نگهداری می‌شود. این سوخت دارای عدد اکتان ۱۲۷ می‌باشد و بنابراین موتورهایی که با گاز طبیعی کار می‌کنند می‌توانند با نسبت تراکم ۱۱:۱ کار کنند، که این مقدار بیشتر از موتورهای بنزینی است. گاز طبیعی در مخزن ذخیره خودرو تا $20MPa$ تحت فشار قرار می‌گیرد و بنابراین دارای ۱/۳ دانسیته انرژی حجمی بنزین است. فشار ذخیره‌سازی آن ۲۰ برابر فشار ذخیره‌سازی پروپان است. همانند پروپان، گاز طبیعی نیز پس از گذر از تنظیم کننده فشار، به‌وسیله سوپاپ مخلوط‌کننده و دریچه پاشش با فشاری در حدود $750KPa$ به داخل مانی فولد ورودی تزریق می‌شود و یا به صورت پاشش مستقیم وارد محفظه سیلندر می‌شود. با استفاده از سیستم تزریق در چندراهه ورودی یا دریچه پاشش سوخت، بازده تنفسی و توان به دلیل جایگزینی ۱۰٪ از هوای ورودی با گاز طبیعی کاهش پیدا می‌کند. گاز طبیعی برای شروع سرد موتور نیاز به مخلوط غنی ندارد و بنابراین در مرحله شروع میزان آلاینده‌های CO و HC کاهش می‌یابد.

برای دستیابی به استاندارد آلاینده‌های خودرو در موتورهایی با سوخت گاز طبیعی، از مبدل‌های کاتالیستی استفاده می‌شود. به‌دلیل استفاده از مبدل‌های کاتالیستی، موتور باید در شرایط استوکیومتریک عمل نماید، نگه‌داشتن احتراق گاز طبیعی در شرایط استوکیومتریک و بازخورانی گازهای سوخته جهت کاهش دمای بیشینه احتراق و بنابراین کاهش سطح تولید اکسید نیتروژن، دلایل کارآمد بودن این نوع سوخت است.

۹ــ۱ــ۳ــ هیدروژن : هیدروژن (H_2) از برخی مواد خام نظیر گاز طبیعی، زغال سنگ و آب به دست می‌آیند. فرایندهای مختلفی برای تولید هیدروژن انجام می‌شود، یکی از این روش‌ها بازساخت بخار گاز طبیعی است که در حال حاضر اقتصادی‌ترین راه تولید هیدروژن می‌باشد، الکترولیز آب و تبدیل زغال سنگ به گاز که در نتیجه آن CO_2 نیز تولید می‌شود از راه‌های دیگر تولید هیدروژن می‌باشد. هیدروژن گازی بی‌رنگ، بی‌بو و غیرسمی است، شعله‌های هیدروژن نامرئی و بدون دود هستند. از آنجا که در محصولات احتراق هیدروژن همانند هیدروکربن‌ها مواد کربن‌دار از قبیل HC، CO و CO_2 یافت نمی‌شود، پتانسیل گرمایش جهانی هیدروژن در مقایسه با سوخت‌های پایه هیدروکربنی قابل اغماض است.

مطالعه آزاد

در حال حاضر بیشترین مصرف سوخت هیدروژنی در صنایع فضایی برای سوخت راکت می‌باشد. هیدروژن همچنین می‌تواند به عنوان سوخت در سلول‌های سوختی استفاده شود. جهت استفاده از سوخت هیدروژنی در خودروها تمهیداتی در نظر گرفته شده است، با این وجود بالا بودن هزینه مصرفی آن مانع از آن شده است که هیدروژن به عنوان یک سوخت جایگزین به‌کار گرفته شود. موتورهای دوگانه‌سوزی وجود دارند که در آنها جهت کاهش آلاینده‌های استارت سرد، از هیدروژن برای استارت موتور و کارکرد موتور در دورهای پایین و از بنزین در شرایط تمام بار استفاده می‌شود.

یکی از موانع بزرگ در حوزه استفاده از سوخت هیدروژنی، فقدان تولید، توزیع و منبع ذخیره آن می‌باشد. اقتصادی‌ترین روش توزیع این ماده همانند گاز طبیعی، استفاده از خطوط انتقال لوله‌ای می‌باشد.

سه روش ذخیره‌سازی هیدروژن عبارتند از : ۱) نگهداری به صورت مایع در دمای $-۲۵۳^{\circ}C$ در مخازن برودتی؛ ۲) به صورت هیدرید فلزات، مانند هیدرید آهن ــ تیتانیوم $FeTiH_۲$؛ و ۳) به‌حالت گاز تحت فشار ۲۰ تا ۷۰MPa. هیدرید به محض گرم شدن توسط یک منبع حرارتی، از خود هیدروژن آزاد می‌کند، مانند سیستم اگزوز خودروها. متداول‌ترین روش‌های ذخیره‌سازی، ذخیره به صورت سوخت مایع و نیز استفاده از هیدرید فلزات می‌باشد، قابلیت ذخیره‌سازی حجمی این دو روش همانند یکدیگر است. حجم مورد نیاز برای ذخیره انرژی یکسان در این دو روش حدود ۱۰ برابر فضایی است که ۵ گالن بنزین اشتعال می‌کند. بنابراین برای استحصال انرژی معادل ۵ گالن بنزین، ۵۵ گالن هیدروژن فشرده مورد نیاز است.

هیدروژن فشرده تحت فشار ۷۰MPa دارای یک سوم چگالی انرژی گاز طبیعی فشرده است، همچنین چگالی انرژی حجمی هیدروژن مایع، یک چهارم بنزین است. استفاده از هیدروژن مایع بسیارگران است، چرا که مایع کردن هیدروژن تا دمای $-۲۰^{\circ}k$ نیازمند صرف انرژی‌ای تقریباً برابر با انرژی هیدروژن مایع است. اگر در چندراهه ورودی هیدروژن با هوا ترکیب شود، حجم هیدروژن ۳۰٪ حجم مخلوط ورودی در شرایط استوکیومتری خواهد بود که باعث کاهش بازده تنفسی می‌شود. عدد اکتان هیدروژن ۱۰۶ است، این عدد اکتان اجازه می‌دهد از نسبت‌های تراکم بالاتر نیز استفاده کنیم.

۱۰ــ۱ــ۳ــ متانول : متانول ($CH_۳OH$) سوخت الکلی است که از واکنش‌های گاز طبیعی، زغال سنگ یا فرایندهای بیوماس[۱] به‌دست می‌آید. متانول را همچنین الکل چوب می‌نامند. الکل در شرایط محیطی ماده‌ای مایع می‌باشد و ساختار شیمیایی آن به صورت مولکول هیدروکربنی با یک

۱ــ Biomass

رادیال هیدروکسل (OH) می‌باشد. رادیکال هیدروکسل باعث افزایش قطبیت هیدروکربن می‌شود و بنابراین متانول می‌تواند در آب حل شود، این ماده همچنین فشار بخار نسبتاً کمی دارد. با توجه به وجود اکسیژن در این مولکول، هوای کمتری جهت احتراق کامل آن مورد نیاز است. متانول سمی بوده و خوردن آن باعث کوری و مرگ می‌شود. متانول از دهه ۱۹۰۰ به‌عنوان سوخت خودروها و موتورهای دیزل و همچنین سلول‌های سوختی مورد استفاده قرار گرفته است.

۱۱ــ۱ــ۳ــ اتانول : اتانول با فرمول (C_2H_5OH)، یک سوخت الکلی است که از تخمیر ذرات شکر، نیشکر و کله قند که منابع تهی‌ناپذیر انرژی هستند، تولید می‌شود. مشخصات و ویژگی‌های احتراق آن بسیار شبیه متانول است. متانول را الکل دانه‌ای نیز می‌نامند. اتانول در شرایط محیط مایع بوده و در غلظت‌های پایین غیر سمی است.

گازوهل (E۱۰)[۱] ترکیبی از اتانول و بنزین با تقریباً ٪۱۰ حجمی اتانول است. E۸۵ ترکیبی از ٪۸۵ اتانول و ٪۱۵ بنزین است. در برزیل تقریباً نیمی از خودروها از سوخت پایه اتانول با نام «آلکول»[۲] استفاده می‌کنند. E۹۳ از نیشکر تولید می‌شود. در ایالات متحده مهم‌ترین منبع اتانول از واکنش‌های حالات نشاسته همچون ذرت است. در حال حاضر در ایالات متحده تلاش‌هایی برای تولید این ماده از مواد سلولزی مانند فیبرهای ذرت، پسماندهای جنگلی، علف‌ها و درخت‌های صنوبر در حال انجام است. چگالی انرژی حجمی اتانول به عنوان یک سوخت جایگزین، نسبتاً بالا است (تقریباً ۲/۳ بنزین). عدد اکتان این ماده ۱۱۱ بوده که باعث می‌شود بتواند در نسبت تراکم بالا عمل کند. عدد ستان آن کوچک و در حدود ۸ می‌باشد، اما همانند متانول می‌تواند در موتورهای اشتعال تراکمی با سوخت دیزل احتراق کمکی عمل نماید.

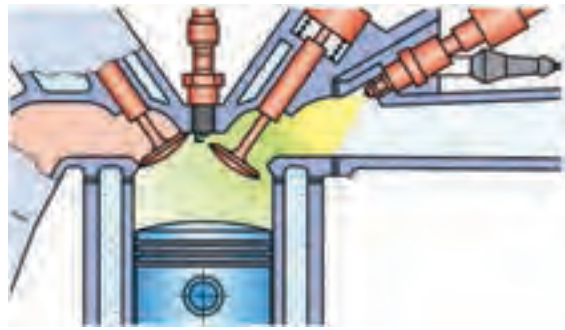
۲ــ۳ــ احتراق

۱ــ۲ــ۳ــ مقدمه : قدرت در موتورهای احتراق داخلی بنزین، براثر اشتعال مخلوط بنزین و هوا به‌وجود می‌آید. عمل احتراق پس از متراکم شدن بنزین و هوا به‌وسیله جرقه الکتریکی آغاز می‌گردد (شکل ۲ــ۳).

پس از شروع احتراق، جبهه شعله به سرعت در تمام فضای اتاق احتراق گسترش می‌یابد تا تمام مخلوط بنزین و هوا محترق شود (شکل۳ــ۳).

۱ــ Gasohol

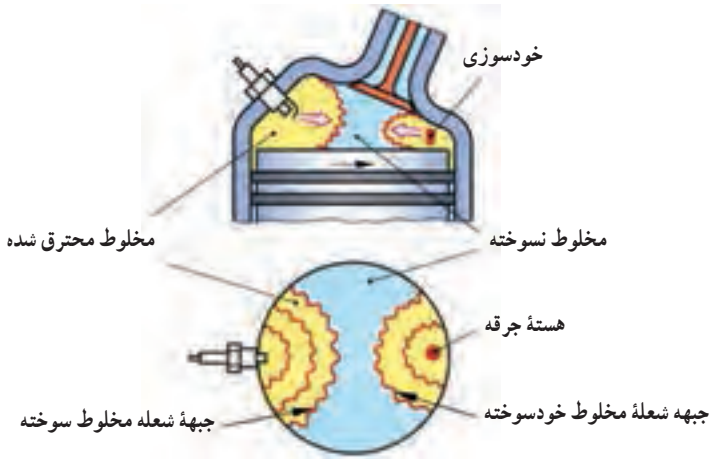
۲ــ Alcool



شکل ۲ــ۳ــ مخلوط بنزین و هوا به‌وسیله شمع محترق می‌گردد.

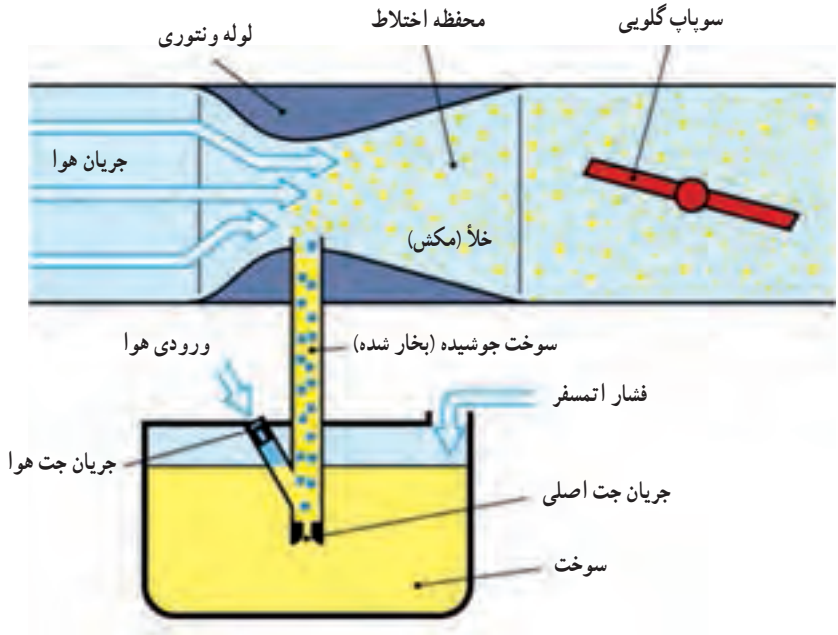
عمل احتراق سوخت در زمان حدود $\frac{۳}{۱۰۰۰}$ ثانیه تکمیل می‌شود و علت کوتاهی مدت، به آن انفجار نیز می‌گویند. هر چند که این عمل در مقابل انفجار باروت تفنگ یا دینامیت آهسته‌تر است (سرعت انفجار باروت تفنگ یا دینامیت $\frac{۱}{۵۰۰۰}$ ثانیه است) با این حال، انرژی موجود در بنزین به مراتب بیشتر می‌باشد.

در احتراق بنزین که یک فعل و انفعال شیمیایی است، هیدروژن سوخت (H) در اثر ترکیب با اکسیژن، تولید بخار آب ($OH_۲$) و کربن سوخت در اثر ترکیب با اکسیژن، تولید گاز دی اکسید کربن($CO_۲$) می‌کند. به علّت نقص سیستم احتراقی، همیشه مقداری از کربن‌های سوخت نمی‌توانند اکسیژن لازم را به دست آورند، لذا تولید گاز سمی و خطرناک منو اکسید کربن می‌کنند (CO). مقدار مونواکسید کربن را باید با وسیله‌ای به حداقل رسانید تا در بحرانی‌ترین موقع خام سوزی، که دور آرام می‌باشد، مقدار بیشتر از ۴٪ نباشد.



شکل ۳ــ۳ــ گسترش شعله در فضای احتراق

۲ــ۲ــ۳ــ چگونگی تغذیه سیلندر : در موقع پایین رفتن پیستون در کورس مکش، مخلوط سوخت و هوا به علت ایجاد خلأ در سیلندر از دریچه گاز وارد سیلندر می‌شود. (فشار جو در کنار دریا برابر یک آتمسفر یا ۱۴/۷psi است) جریان سوخت از کاربراتور به سیلندر در اثر اختلاف ایجاد شده بین سوخت پاش و پیاله بنزین، به عمل می‌آید. فشار هوا نه تنها سوخت را از پیاله کاربراتور به داخل سیلندر می‌راند بلکه باعث پودر شدن ذرّات بنزین نیز می‌شود. شکل ۴ــ۳ نحوه اعمال فشار در باک بنزین و جریان هوا در لوله کاربراتور و سرلوله سوخت پاش و چگونگی جریان یافتن و توزیع سوخت در مانیفولد گاز را نشان می‌دهد.



شکل ۴ــ۳ــ فشار هوا سوخت را به‌صورت ذره در لوله کاربراتور درمی‌آورد.

۳ــ۲ــ۳ــ اصلاح زمان کار سوپاپ‌ها (تایمینگ سوپاپ‌ها) : اگر سوپاپ‌های گاز و دود، درست در نقاط مرگ بالا و پایین باز شوند، قدرت بازده موتور به حداکثر ممکن نمی‌رسد. بنابراین، زمان‌بندی (تایمینگ) سوپاپ‌ها درطرّاحی موتور دارای اهمیت زیادی است. اندازه زودتر یا دیرتر باز و بسته شدن سوپاپ‌ها در همه موتورها یکسان نمی‌باشد و دقیقاً به شرایط هر موتور بستگی دارد. ولی میانگین آن چنین است :

سوپاپ گاز ۷ درجه زودتر از رسیدن پیستون به نقطه مرگ بالا باز می‌شود. (آوانس سوپاپ گاز)

سوپاپ گاز ۴۵ درجه بعد از گذشتن از نقطه مرگ پایین بسته می‌شود. (ریتارد سوپاپ گاز)

تایمینگ سوپاپ گاز ۴۵+۷ درجه افزایش می‌یابد و مجموع زمان مکش ۲۳۲° می‌شود که در شکل ۵ــ۳ با رنگ سبز نشان داده شده است.

سوپاپ دود ۵۰ درجه زودتر از رسیدن پیستون به نقطه مرگ پایین باز می‌شود. (آوانس سوپاپ دود)

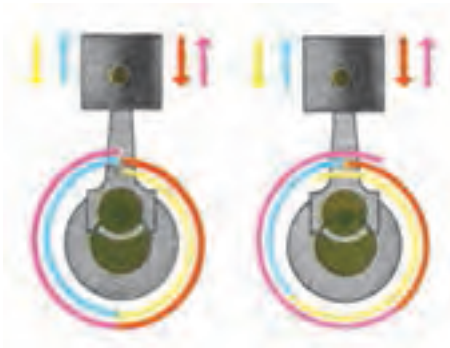
سوپاپ دود ۹ درجه بعد از گذشتن پیستون به نقطه مرگ بالا بسته می‌شود. (ریتارد سوپاپ دود)

تایمینگ سوپاپ دود ۹+۵۰ درجه افزایش می‌یابد و مجموع زمان تخلیه ۲۳۹° می‌شود که در شکل ۶ــ۳ با رنگ بنفش نشان داده شده است.

بدیهی است زمان تراکم که با رنگ آبی و زمان قدرت که با رنگ قرمز نشان داده شده است به اندازه زمان تئوری نمی‌باشد و کمتر از ۱۸۰° هستند.

ترکیب احتراق موتور برای متعادل نمودن میل‌لنگ و کاهش تنش‌های ارتعاشی می‌باشد.

شکل ۵ــ۳ــ تایمینگ سوپاپ‌ها و زمان کار موتور



شکل ۶ــ۳ــ تایمینگ موتور برحسب درجه گردش میل‌لنگ

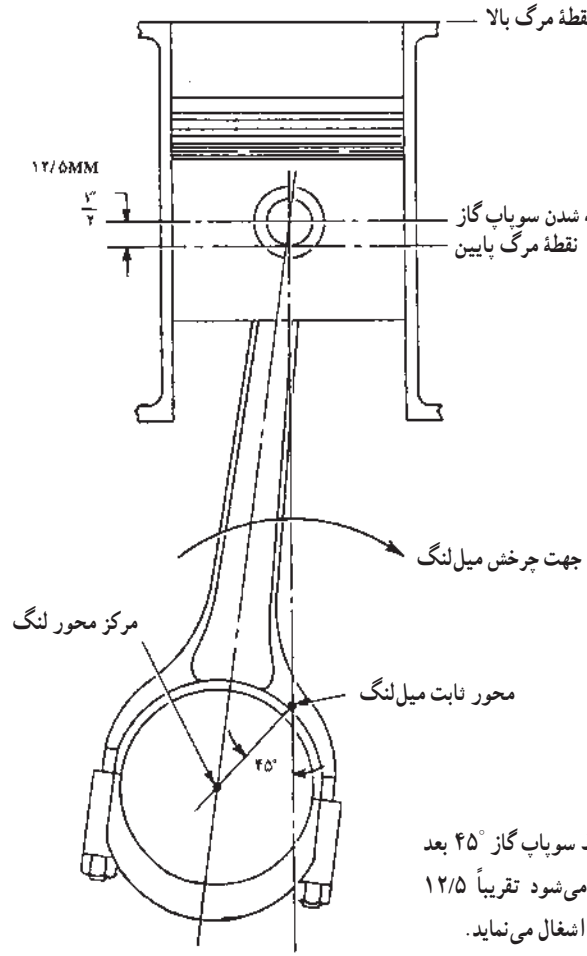
زمان قیچی کردن سوپاپ‌ها : با توجه به تایمینگ سوپاپ‌های موتور، می‌توان گفت در طی ۱۶°، هر دو سوپاپ گاز و دود باز می‌مانند. یعنی در حالی که دودها با شتاب زیاد در حال ترک کردن سیلندر می‌باشند گاز هم به طرف سیلندر شروع به حرکت می‌کند و شتاب می‌گیرد. به این حالت که هر دو سوپاپ باز هستند، قیچی کردن سوپاپ‌ها می‌گویند.

دلایل اصلاح زمان کار سوپاپ‌ها (تایمینگ) :

۱ــ دلایل مهم تایمینگ سوپاپ‌ها آن است که در زمان حقیقی(°۱۸۰) هر مرحله عملیّات به‌طور کامل انجام نمی‌گیرد.

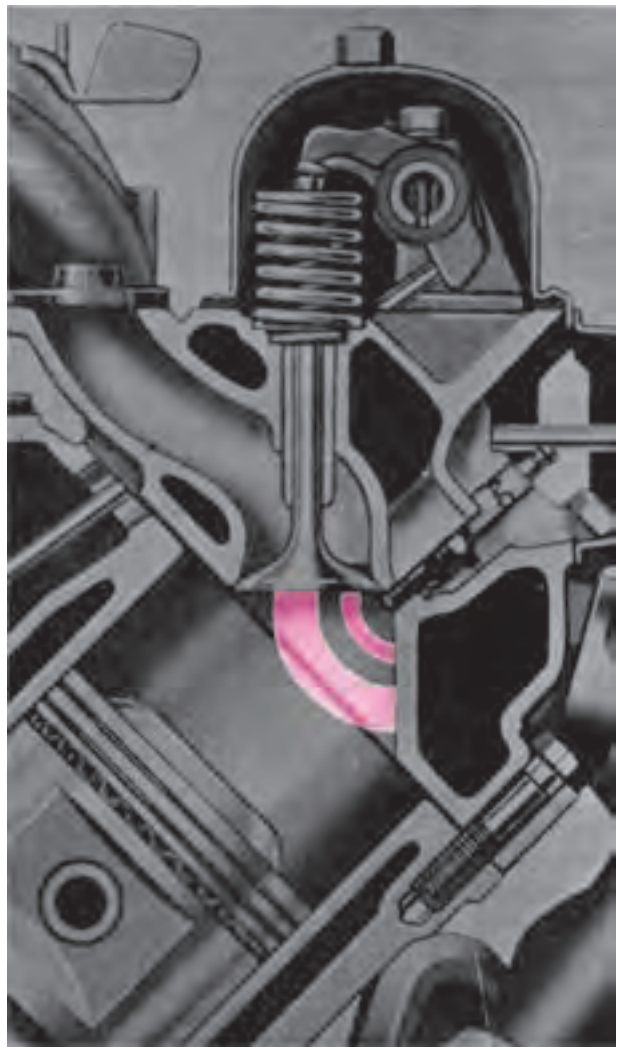
۲ــ دلیل مهم‌تر، اینرسی گاز است. در بیشتر موتورها، سوخت با سرعت تقریبی ۵۰ متر بر ثانیه وارد سیلندر می‌شود. بنابراین با شتاب لازمی که گفته است با °۴۵ تأخیر در بسته شدن سوپاپ گاز، سیلندرها بهتر پر می‌شوند. این تأخیر در پر شدن سوپاپ گاز (ریتارد سوپاپ گاز) حدود ۱۲/۵ میلی‌متر از کورس تراکم را می‌پوشانند.

۳ــ سوپاپ دود را هم ۵۰ درجه زودتر از موقع لازم باز می‌کنند (آوانس سوپاپ دود) تا تخلیه سیلندر انجام شود(شکل ۷ــ۳).

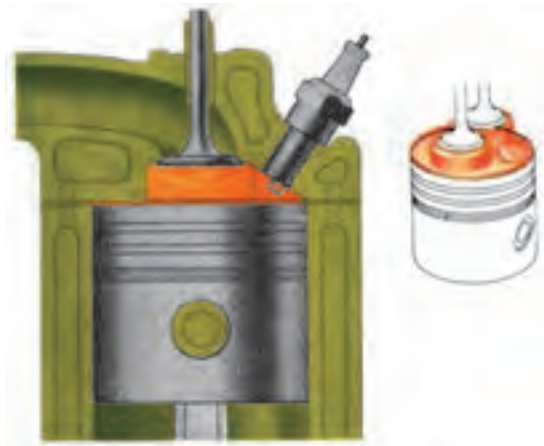


شکل ۷ــ۳ــ به‌طور متوسط سوپاپ گاز °۴۵ بعد از نقطه مرگ پایین بسته می‌شود تقریباً ۱۲/۵ میلی‌متر از کورس تراکم را اشغال می‌نماید.

۴ــ۲ــ۳ــ انفجار ضربه‌ای: پس از ایجاد جرقه، ممکن است سوخت به‌طور ناگهانی منفجر شود. موتوری که سوخت آن به‌طور نامناسب محترق شود، صدایی ناهنجار ایجاد می‌کند. انفجار ضربه‌ای، به دلیل کمبود اکتان در بنزین و یا نامناسب بودن شکل هندسی محفظه احتراق و یا زیاد بودن نسبت تراکم موتور است (شکل‌های ۸ ــ۳ تا ۱۸ــ۳).

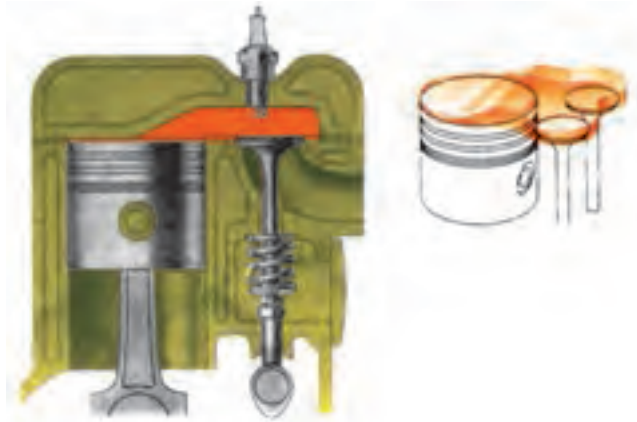


شکل ۸ ــ۳ــ نمایش احتراق عادی که از طرف شمع شروع می‌شود.



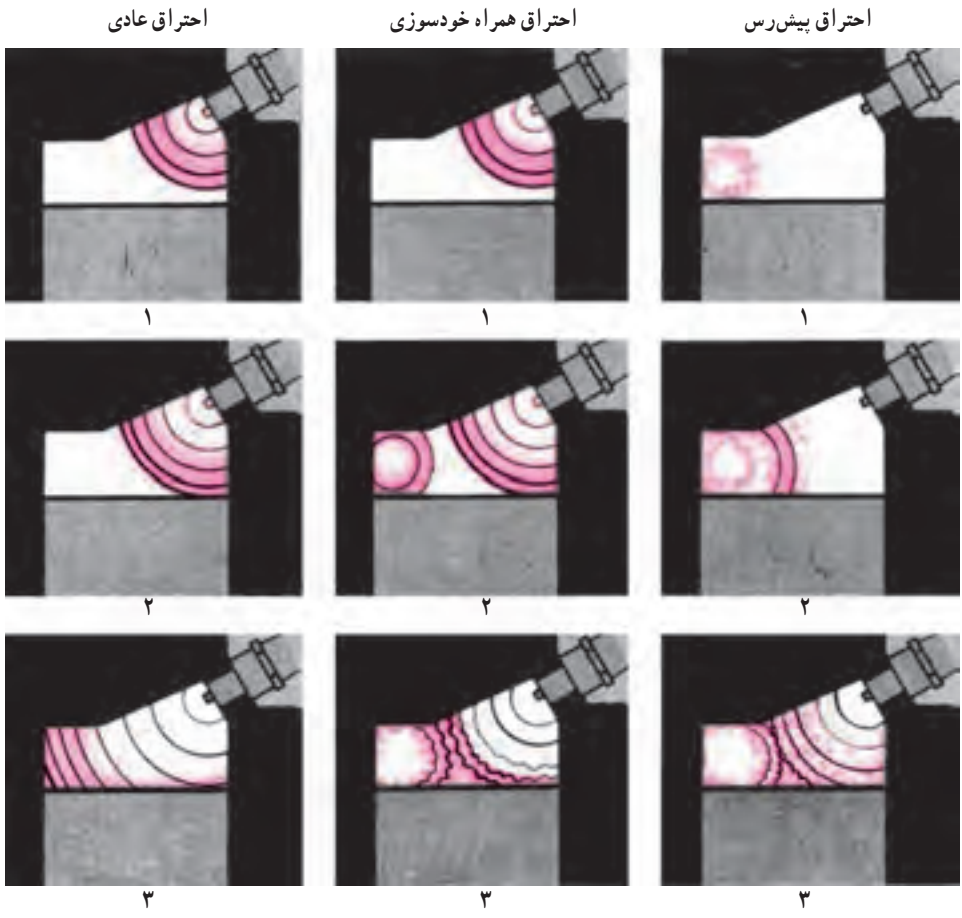
شکل ۹ــ۳ــ اتاق احتراق صاف، سرعت شعله را می‌کاهد.

شکل ۱۰ــ۳ــ در این فرم اتاق احتراق (گوه‌ای شکل)، شعله بهتر پیشروی می‌کند.

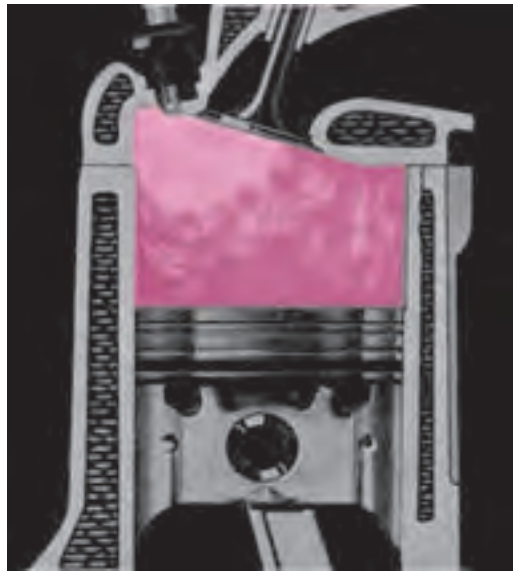


شکل ۱۱ــ۳ــ اتاق احتراق جانبی، باعث چرخش بهتر گاز و جلوگیری از خودسوزی می‌شود.

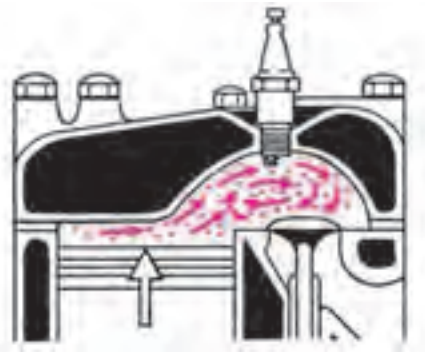
شکل ۱۲ــ۳ــ اتاق احتراق در کف پیستون، در این طرح موتور بهتر تنفس می‌کند.



شکل ۱۳ــ۳ــ انواع احتراق در موتور

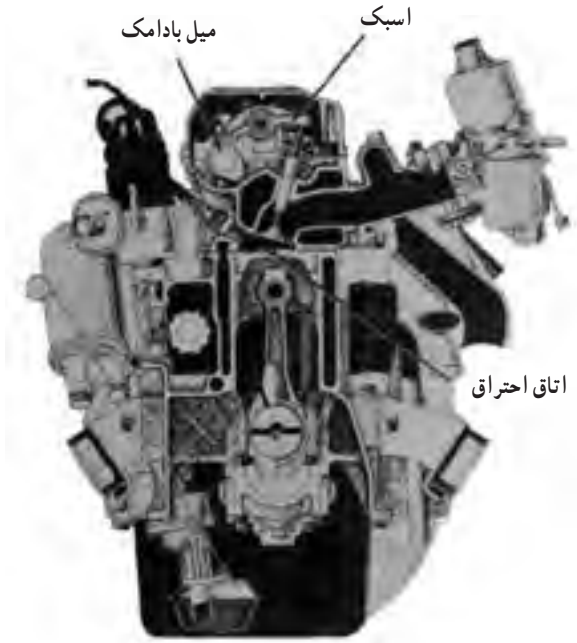


شکل ۱۴ــ۳ــ پیشروی جبهه شعله در اتاق

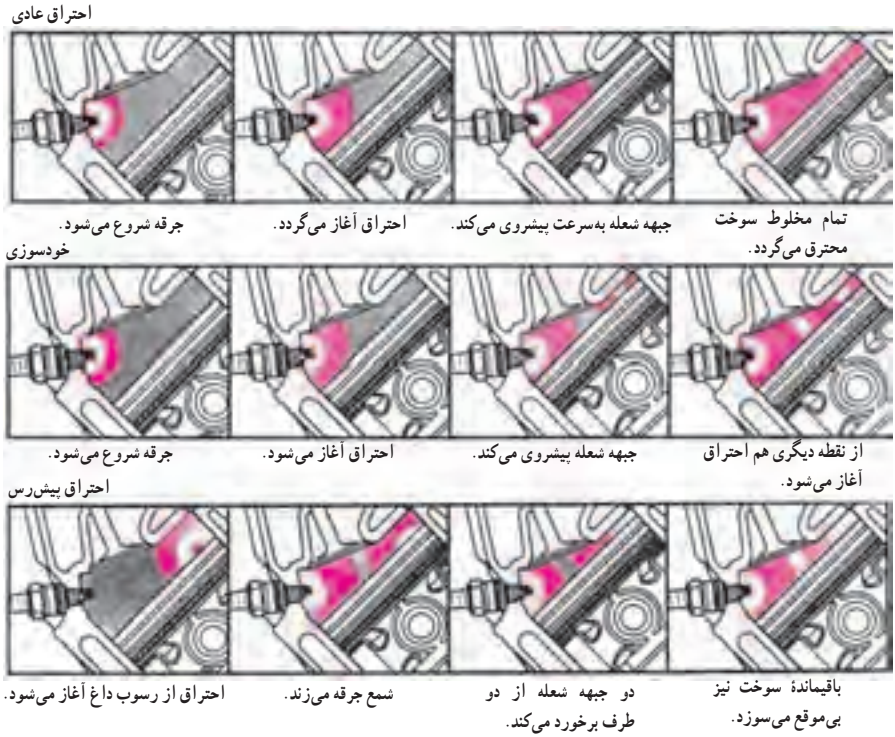


شکل ۱۵ــ۳ــ چرخش گاز در اتاق احتراق که اختلاط بهتری بین بنزین و هوا فراهم نموده، راندمان احتراق را افزایش می‌دهد.

شکل ۱۶ــ ۳ــ اتاق احتراق نیمکره‌ای و گوه‌ای



شکل ۱۷ــ۳ــ شکل اتاق احتراق در موتور تویوتا



شکل ۱۸ــ۳ــ احتراق معمولی، احتراق همراه با خودسوزی، احتراق همراه با پیش‌سوزی

۵ــ۲ــ۳ــ راندمان حرارتی : نسبت بین انرژی تولیدی موتور به انرژی مصرفی را راندمان حرارتی گویند.

$$\eta t = \frac{\text{(انرژی تولیدی موتور در داخل سیلندر)}}{\text{(انرژی حرارتی سوخت مصرفی موتور)}}$$

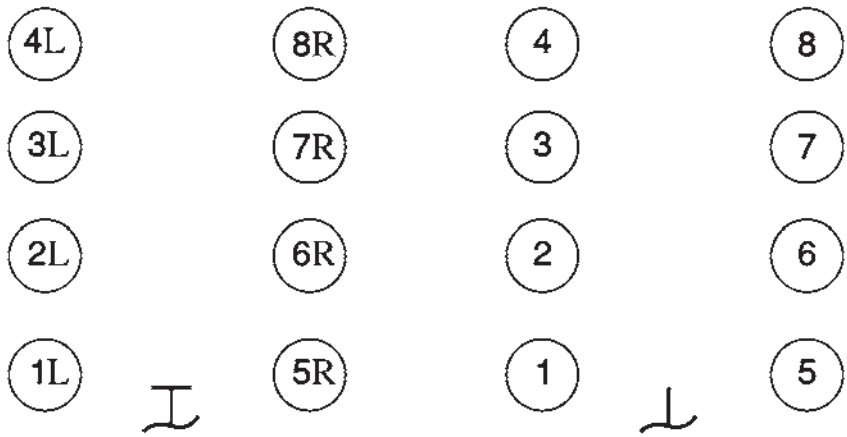
۶ــ۲ــ۳ــ شماره گذاری سیلندرها : وقتی صحبت از سیلندرهای مختلف موتوری می‌شود به‌ناچار باید روشی برای شناسایی سیلندرهای موتور با طرح‌های گوناگون وجود داشته باشد تا برای همگان آشنا و مفهوم گردد.

در موتورهای ردیفی: دریک موتور ردیفی وقتی از جلو نگاه می‌کنیم، شماره‌های سیلندر از جلو نام‌گذاری می‌شود یعنی سیلندری که به پروانه نزدیک‌تر است شماره یک و سیلندری که به فلایویل نزدیک‌تر است، شماره آخر را به خود اختصاص می‌دهد. به‌جز در اتومبیل پژو که سیلندرها از عقب شماره گذاری می‌شوند.

در موتورهای v شکل: در این موتورها سه روش به‌کار می‌رود :

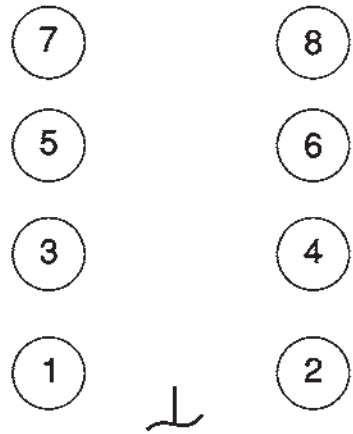
الف) بلوک طرف راست را از دید جلو با اندیس R تعیین نموده، از جلو به عقب شماره‌گذاری می‌کنند و بلوک طرف چپ را با اندیس L تعیین نموده، از جلو به عقب شماره‌گذاری می‌نمایند. مثلاً در موتور ۸ سیلندر V شکل، اغلب چنین شماره‌گذاری می‌شود.

ب) بلوک طرف چپ را شماره‌های اولین و بلوک طرف راست را شماره‌های بعدی می‌زنند.

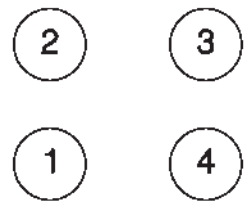


(الف) (ب)

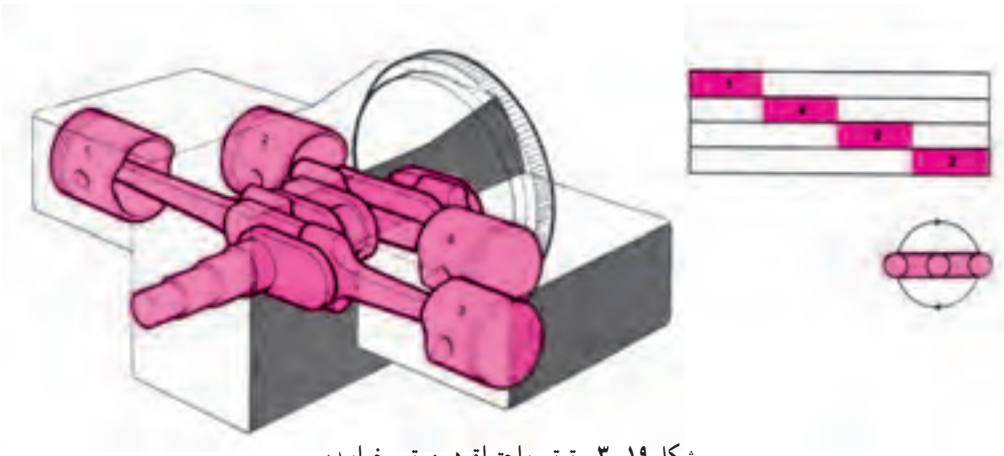
ج) طرف راست را با شماره‌های زوج و طرف چپ را با شماره‌های فرد مشخص می کنند.



در موتورهای خوابیده : سیلندرها را از سمت جلو و چپ طوری شماره‌گذاری می‌کنند که به سمت راست و جلو خاتمه یابد.



۷ــ۲ــ۳ــ ترتیب احتراق در موتورها : ترتیب احتراق یک موتور یعنی نوبت کارهای انجام شده در آن، در موتور چهار سیلندر ردیفی، یکی از دو ترتیب **۲ــ۴ــ۳ــ۱** و **۳ــ۴ــ۲ــ۱** معمول است. ولی روش اول متداول تر می‌باشد. در موتور چهار سیلندر خوابیده، ترتیب احتراق **۲ــ۳ــ۴ــ۱** معمول است.



شکل ۱۹ــ۳ــ ترتیب احتراق در موتور خوابیده

دلایل انتخاب ترتیب احتراق:

دانستن ترتیب احتراق، علاوه بر وایرچینی شمع‌ها، برای فیلرگیری سوپاپ‌های موتور نیز ضروری است. در یک موتور چهار سیلندر، انتخاب روش احتراق در طراحی موتور چندان تأثیر نمی‌گذارد ولی در سیلندرها بیشتر توجه به توزیع صحیح و کامل‌تر سوخت بین سیلندرهای مختلف، یک مسأله می‌باشد.

دلیل این موضوع آن است که سوخت داخل مانیفولد گاز، دارای اینرسی معیّنی است و در جهت مشخّصی در حال حرکت می‌باشد. حال اگر دفعتاً سوپاپ گازی در نقطه مقابل باز شود، سوخت باید جهت خویش را عوض کند و وارد سیلندر که در حال مکش است گردد.

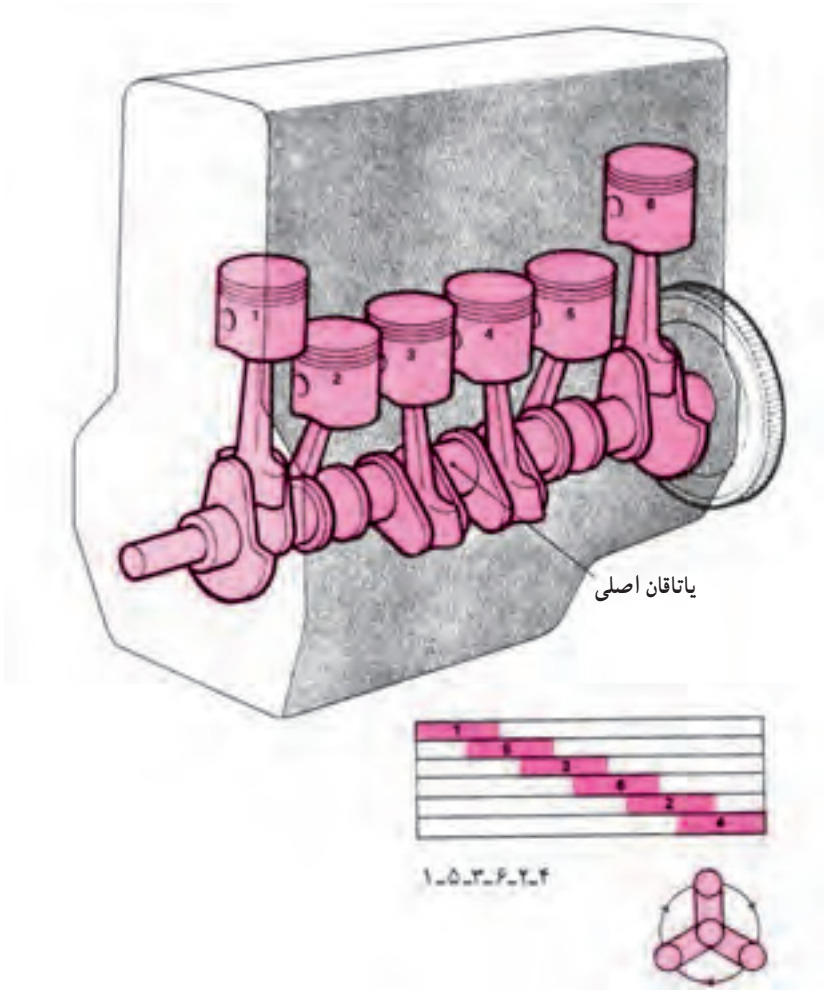
بنابراین، تمام سعی طرّاحان موتور بر آن است که نظم و سرعت مناسبی به مادّه سوخت بدهند تا از بالا رفتن اینرسی گاز جلوگیری شود.

در مورد لوله‌های دود هم، چنین وضعی صادق است. اگر لوله‌های دود درست طراحی شوند، فشار داخل سیلندر در پایان زمان تخلیه به حداقل ممکن می‌رسد. در نتیجه در زمان مکش راندمان حجمی موتور افزایش یافته، قدرت مفید موتور بالا می‌رود.

از دلایل اصلی انتخاب ترتیب احتراق، متعادل کار کردن میل‌لنگ و کاهش ارتعاشات آن است.

ترتیب احتراق در موتورهای ۶ سیلندر ردیفی: در اغلب موتورهای شش سیلندر، ترتیب احتراق ۴ــ۲ــ۶ــ۳ــ۵ــ۱ می‌باشد. در اتومبیل جاگوار ۶ سیلندر، همین ترتیب احتراق وجود دارد. فقط شماره‌گذاری آن از طرف عقب به جلو می‌باشد (شکل ۲۰ــ۳).

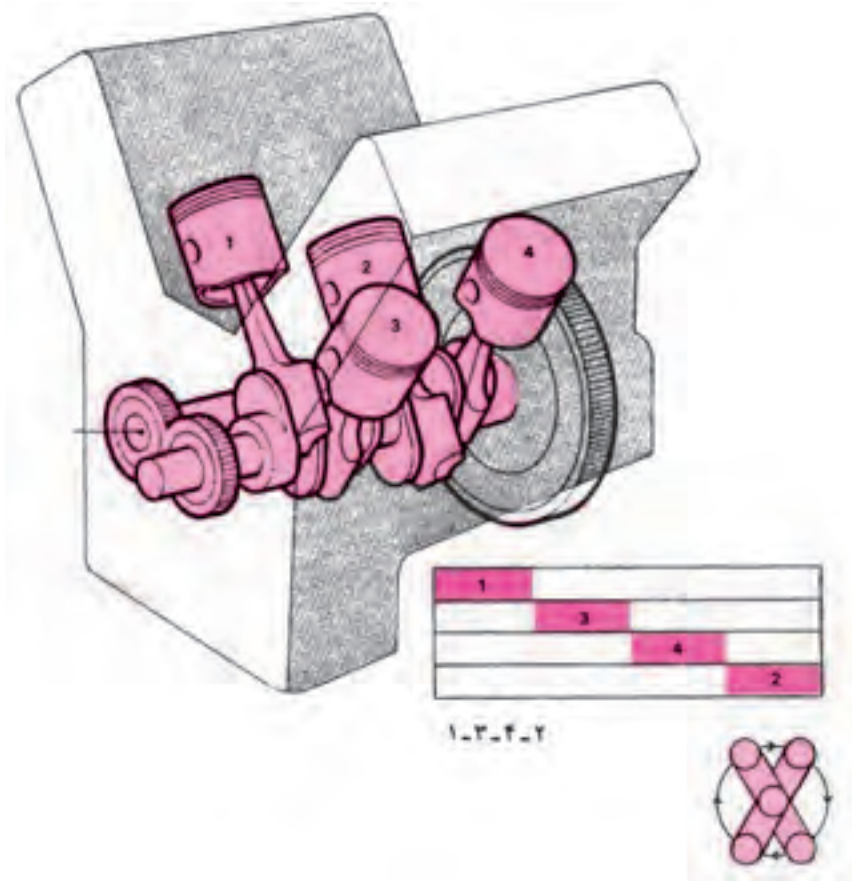
ترتیب احتراق موتور ۸ سیلندر ردیفی ۴ـ۷ـ۳ـ۸ـ۵ـ۲ـ۶ـ۱ می‌باشد.



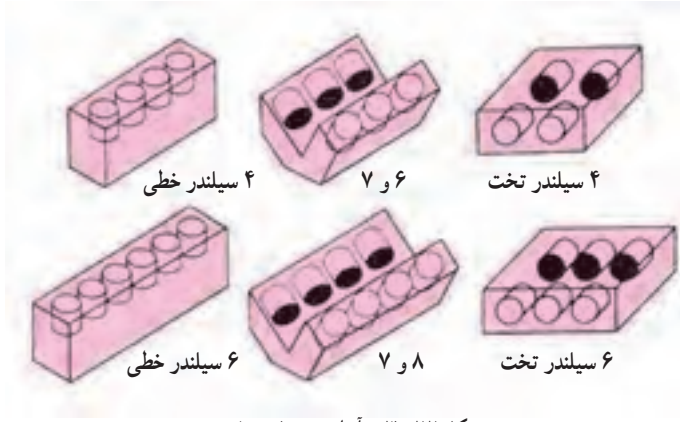
شکل ۲۰ـ۳ـ ترتیب احتراق در موتور ۶ سیلندر ردیفی

ترتیب احتراق در موتورهای V شکل

الف) موتور V شکل ۴ سیلندر: موتور V شکل چهار سیلندر به ترتیب دارای احتراق ۱ـ۳ـ۴ـ۲ می‌باشد (شکل ۲۱ـ۳).

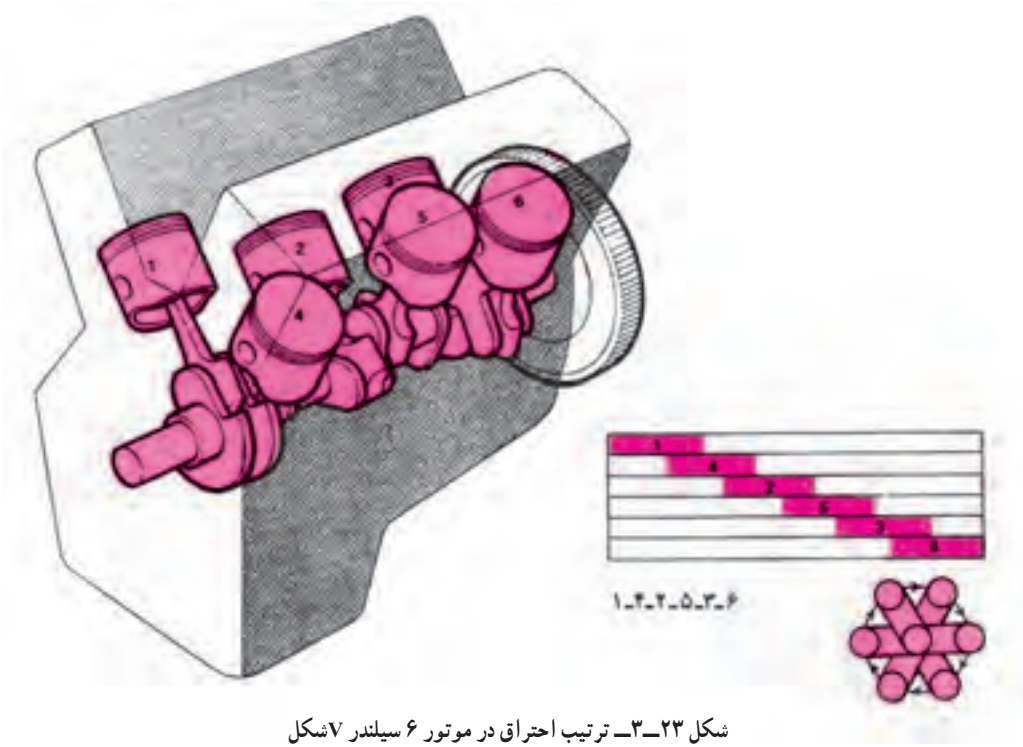


شکل ۲۱ــ۳ــ ترتیب احتراق در موتور V شکل چهار سیلندر



شکل ۲۲ــ۳ــ آرایش سیلندرها

ب) موتور V شکل ۶ سیلندر: ترتیب احتراق موتور V شکل ۶ سیلندر، ۶ـ۳ـ۵ـ۲ـ۴ـ۱ می‌باشد (شکل ۲۳ـ۳).



شکل ۲۳ـ۳ـ ترتیب احتراق در موتور ۶ سیلندر Vشکل

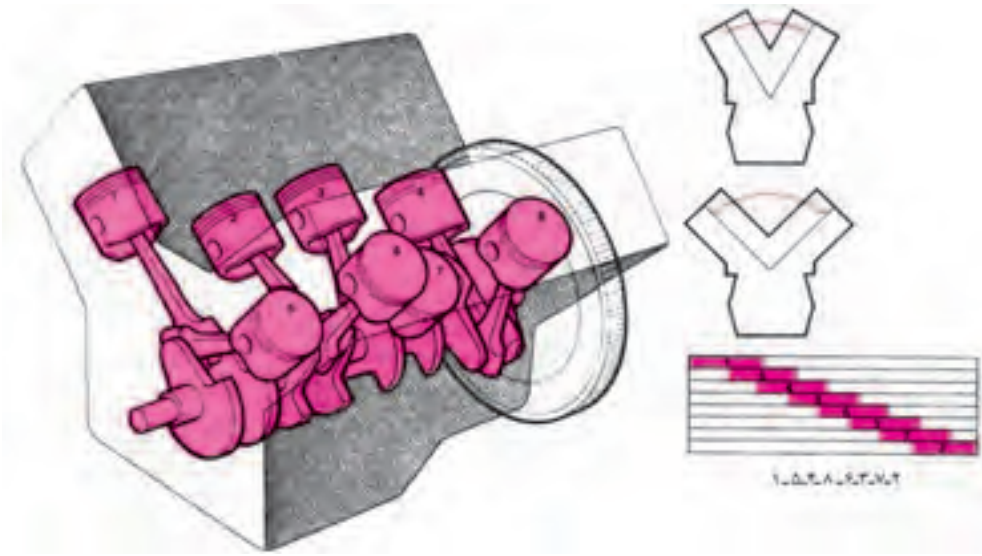
ج) موتور V شکل ۸ سیلندر: در موتورهای V شکل ۸ سیلندر شکل (۲۸ـ۳)، ترتیب احتراق به‌صورت :

$$\begin{cases} ۱-۵-۴-۲-۶-۳-۷-۸ \\ ۱-۵-۴-۸-۶-۳-۷-۲ \end{cases}$$

است، وقتی که سیلندرهای طرف چپ ۱ تا ۴ و سیلندرهای طرف راست ۵ تا ۸ می‌باشد. و یا به‌صورت :

$$\begin{cases} ۱-۲-۷-۸-۴-۵-۶-۳ \\ ۱-۸-۷-۲-۶-۵-۴-۳ \end{cases}$$

است، در حالی‌که سیلندرهای طرف چپ اعداد فرد ۷ـ۵ـ۳ـ۱ و سیلندر طرف راست اعداد زوج ۸ـ۶ـ۴ـ۲ می‌باشد.



شکل ۲۴ــ۳ــ ترتیب احتراق در موتور V شکل ۸ سیلندر

سؤالات

۱ــ افزودنی‌های بنزین را نام ببرید.

۲ــ عددستان را تعریف کنید.

۳ــ انفجار بنزین را در مقایسه با انفجار باروت تفنگ یا دینامیت، بیان کنید.

۴ــ تایمینگ سوپاپ‌ها به چه منظوری صورت می‌گیرد؟

۵ ــ چرا منواکسیدکربن (CO) تولید می‌شود و تا چه مقدار آن قابل قبول است؟

۶ــ زمان قیچی کردن سوپاپ‌ها یعنی چه ؟ مقدار تقریبی آن چقدر است؟

۷ــ خودسوزی و انفجار ضربه‌ای احتراق چگونه ایجاد می‌شود و چگونه قابل تشخیص است؟

۸ ــ روش شماره‌گذاری سیلندرهای ردیفی V شکل و خوابیده را در موتورهای ۲ تا ۸ سیلندر بنویسید.

۹ــ ترتیب احتراق موتور یعنی چه؟ و در موتورهای ۴ و ۶ سیلندر، ترتیب احتراق چگونه است؟