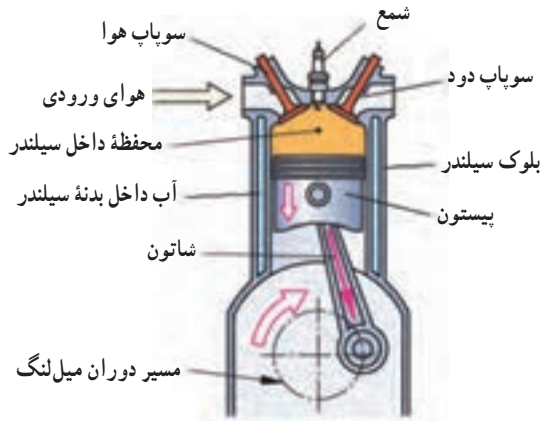
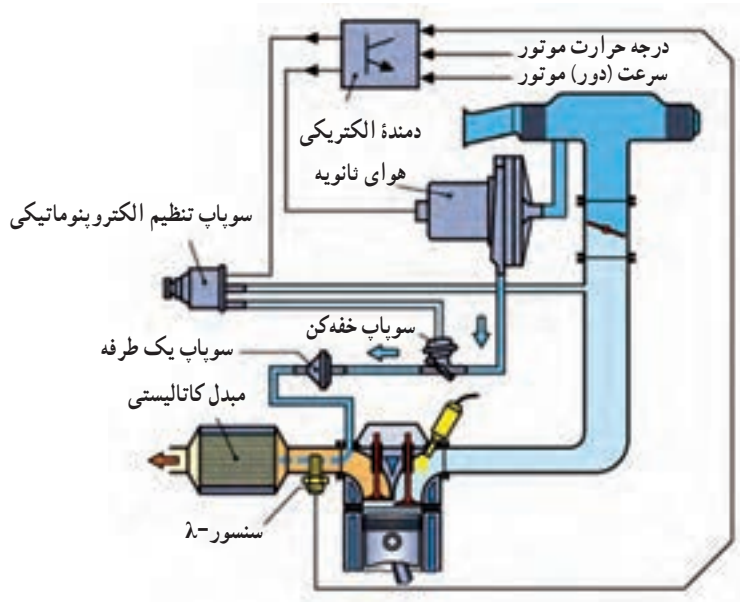
## ۴ــ۱ــ اساس کار موتورهای چهار زمانه اتو

در موتور چهارزمانه، یک دوره (سیکل) کار در چهار زمان (کورس) انجام می‌شود. یعنی برای انجام کار مکانیکی در هر سیکل، چهار مرتبه پیستون به طرف بالا و پایین حرکت می‌کند (دو حرکت به بالا و دو حرکت به پایین). برای پی بردن به نحوه کار موتور احتراق به یک واحد (سیلندر) از آن در شکل ۱۴ــ۱ نشان داده شده است، توجه می‌کنیم. در این شکل، سیلندر به صورت شفاف نشان داده شده تا قطعات داخلی آن قابل رؤیت باشد. قسمت‌های مختلف آن عبارت است از : سیلندر، پیستون، شاتون، دریچه‌ها، سوپاپ‌ها، شمع و ... .




شکل۱۴ــ۱ــ (الف) اجزای سیلندر موتور




شکل ۱۴ــ۱ــ (ب) اساس کارکرد کلی موتور

**۱ــ۴ــ۱ــ مرحله (کورس) مکش** : در کورس تنفس، پیستون از بالا به طرف پایین حرکت می‌کند. به علت آب بندی بودن پیستون در سیلندر و سریع پایین رفتن آن و بزرگ شدن ناگهانی حجم بالای پیستون، فشار این منطقه کمتر از فشار هوای محیط می‌شود (خلأ نسبی به‌وجود می‌آید) و با باز شدن سوپاپ گاز (دریچه ورودی)، مخلوطی از سوخت و هوا وارد سیلندر می‌شود و فضای خالی پیستون را پر می‌کند. مقدار بنزین به اندازهٔ لازم به‌وسیله کاربراتور در هوای مصرفی موتور به‌صورت ذرّه پخش گردیده، از طریق لوله‌های انتقال (مانیفولد گاز) به سیلندر ارسال می‌شود. در بیشتر مدّت تنفس سیلندر، سوپاپ دود بسته می‌ماند (شکل ۱۵ــ۱).

**شکل ۱۵ــ۱ــ کورس مکش موتور، در این مرحله سوپاپ گاز باز و دود بسته است.**

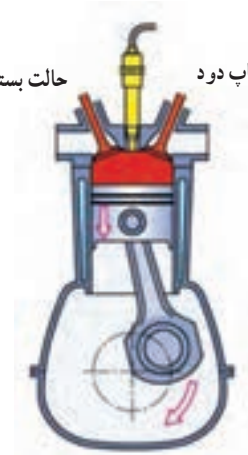
از نظر تئوری چون سوپاپ گاز باز می‌شود و قسمت داخلی سیلندر با هوای محیط مرتبط می‌گردد، بنابرین عمل تنفس در فشار ثابت به وقوع می‌پیوندد. اما از نظر عملی، سرعت پیستون بیشتر از سرعت هوای ورودی است زیرا ذرات سوخت و هوا دارای اینرسی بوده و تمایل به حرکت کردن ندارند. لذا خلأیی در داخل سیلندر ایجاد می‌شود و فشار داخل سیلندر کمتر از فشار جو می‌گردد و در نتیجه سوخت و هوا از موضع پرفشارتر به سیلندر جریان می‌یابد.

**۲ــ۴ــ۱ــ مرحله (کورس) تراکم** : در این مرحله، پیستون از پایین به بالا حرکت می‌کند و هر دو سوپاپ بسته می‌ماند. در نتیجه مخلوط هوا و سوخت در محفظه احتراق فشرده می‌شود و فشار درون سیلندر در پایان زمان تراکم به ۸ تا ۱۶ آتمسفر می‌رسد. اندازه فشار نهایی گاز در پایان کورس تراکم به عوامل گوناگونی بستگی دارد، از جمله : فضای اطاق احتراق، حجم کل سیلندر، درجه حرارت موتور، فشار هوا، راندمان حجمی موتور و غیره (شکل ۱۶ــ۱).

**شکل ۱۶ــ۱ــ کورس تراکم، هر دو سوپاپ بسته هستند.**

در نزدیکی رسیدن پیستون به بالاترین نقطه حرارت خود، شمع جرقه می‌زند و مخلوط سوخت و هوای تراکم شده را که به علت کوچک شدن فضای سیلندر مولکول‌هایش بیشتر با هم تصادف کرده و گرم شده اند، می‌سوزاند. از نظر عملی درصد پر شدن سیلندر کمتر می‌باشد زیرا به علّت اینرسی گاز، نمی‌توان در زمان مکش، تمام فضای سیلندر را از سوخت و هوا اشباع کرد. به علاوه حرارت ایجاد شده در اثر تراکم گاز از دیواره به هوا و آب و روغن، انتقال پیدا می‌کند.

**۳ــ۴ــ۱ــ مرحله (کورس) قدرت** : پس از انفجار گاز فشار در فضای کوچک شده بالای پیستون، به‌شدت افزایش می‌یابد و گاهی تا ۴۰ آتمسفر می‌رسد که وقتی بر سطح پیستون تأثیر کند نیروی قابل توجّهی را به پیستون وارد می‌سازد. مثلاً هرگاه قطر پیستون را ۱۰ cm فرض کنیم نیروی فشاری معادل است با : $F=P.A= ۴۰\times۰/۷۸۵\times۱۰ = ۳۱۴\ kg$ یعنی بیش از سه تن نیرو وارد می‌کند (شکل ۱۷ــ ۱).



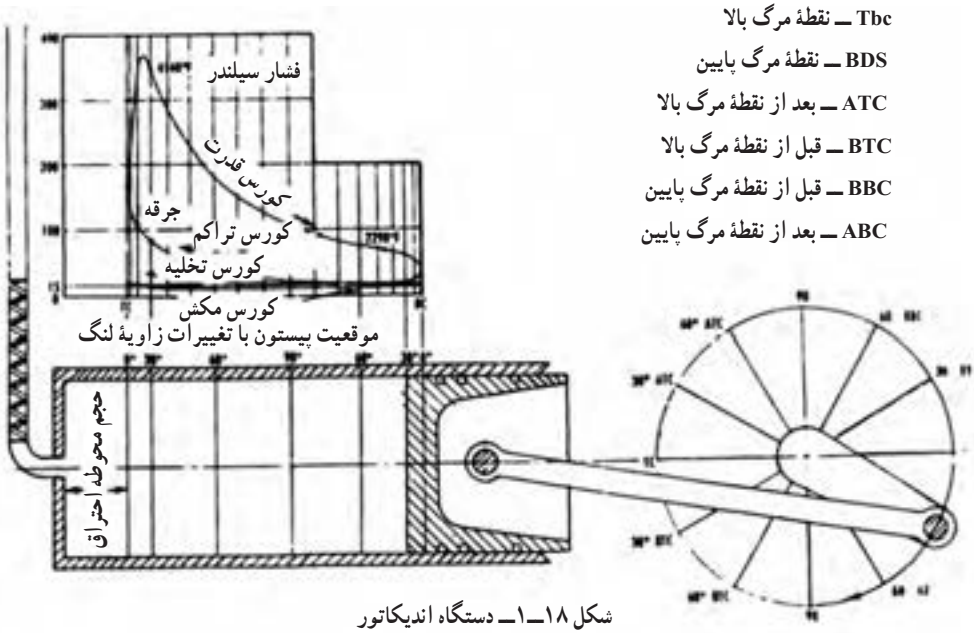

**شکل ۱۷ــ۱ــ کورس قدرت، هر دو سوپاپ بسته هستند.**

علت بالا رفتن فشار، به‌طور ناگهانی، احتراق گاز در حجم ثابت است که از نظر تئوری این عمل کاملاً در حجم ثابت فرض شده است و در یک لحظه، تمام هیدروکربورهای متراکم شده منجر می‌گردد؛ ولی از نظر عملی به دلایل زیر چنین نمی‌باشد :

۱ــ اشتعال گاز دفعتاً نیست و عمل سوخت $\frac{۳}{۱۰۰۰}$ ثانیه طول می‌کشد که در این مدت حجم سیلندر تغییر می‌کند.

۲ــ با حرکت پیستون و ازدیاد حجم سیلندر، منحنی فشار احتراق عملاً به شکل منحنی خواهد بود که دستگاه ثبت کننده فشار (اندیکاتور) چگونگی تغییرات فشار را نشان می‌دهد (شکل ۱۸ــ۱).

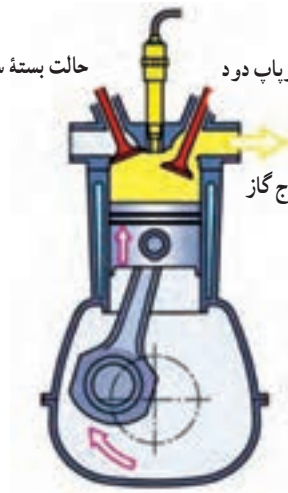
در این زمان، پیستون از بالاترین نقطه به طرف پایین حرکت کرده، به واسطهٔ شاتون، میل‌لنگ را به حرکت در می‌آورد. تنها کورس مفید موتور همین زمان است. در این زمان هر دو سوپاپ بسته می‌مانند.



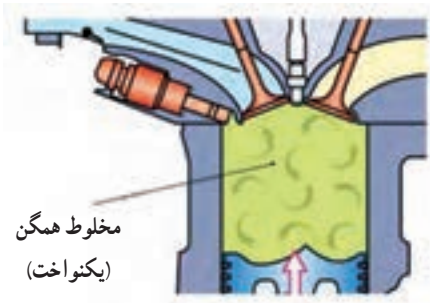

شکل ۱۸ــ۱ــ دستگاه اندیکاتور

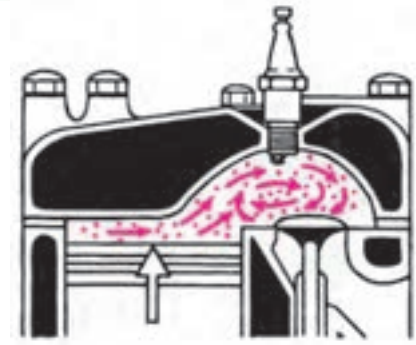
**۴ــ۴ــ۱ــ مرحله (کورس) تخلیه** : پیستون از پایین‌ترین نقطه به طرف بالا حرکت می‌کند و با باز شدن سوپاپ دود پس مانده‌های حاصل از احتراق، موتور را ترک می‌کنند. از نظر عملی سوپاپ دود کمی قبل از رسیدن به نقطه مرگ پایین، شروع به باز شدن می‌کند (در زمان قدرت) تا عمل تخلیه در فرصت بیشتری انجام شود. به طوری که وقتی پیستون تغییر جهت داده و به طرف بالا حرکت می‌کند مقدار دود خروجی به حدّاکثر می‌رسد. همچنین زمان بسته شدن سوپاپ دود را طوری طراحی می‌کنند

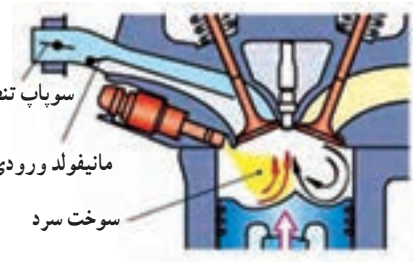
که پس از کورس تخلیه کمی باز بماند تا عمل تخلیه کامل تر صورت پذیرد. ممکن است تصوّر شود که با باز بودن سوپاپ دود و پایین رفتن پیستون در زمان مکش، دود به داخل سیلندر کشیده می‌شود. ولی چنین نیست؛ زیرا دود از مدّتی قبل حرکت کرده، در اثر ازدیاد فشار داخل سیلندر نسبت به خارج، سرعت و اینرسی لازم را باز یافته است. به علاوه گاز ورودی سنگین تر از دود می‌باشد (شکل ۱۹ــ۱).




شکل ۱۹ــ۱ــ کورس تخلیه، سوپاپ دود باز و سوپاپ گاز بسته است.

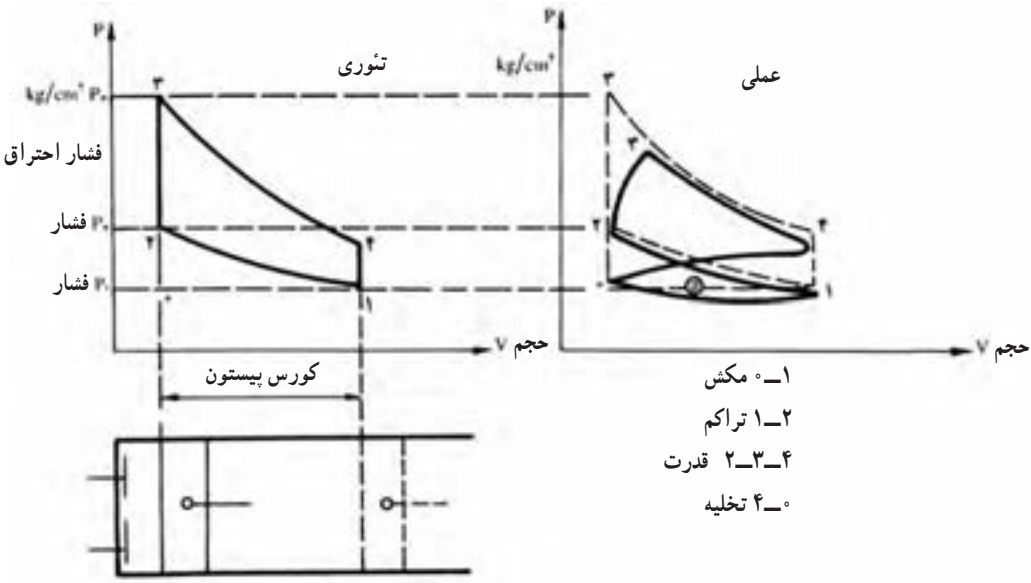


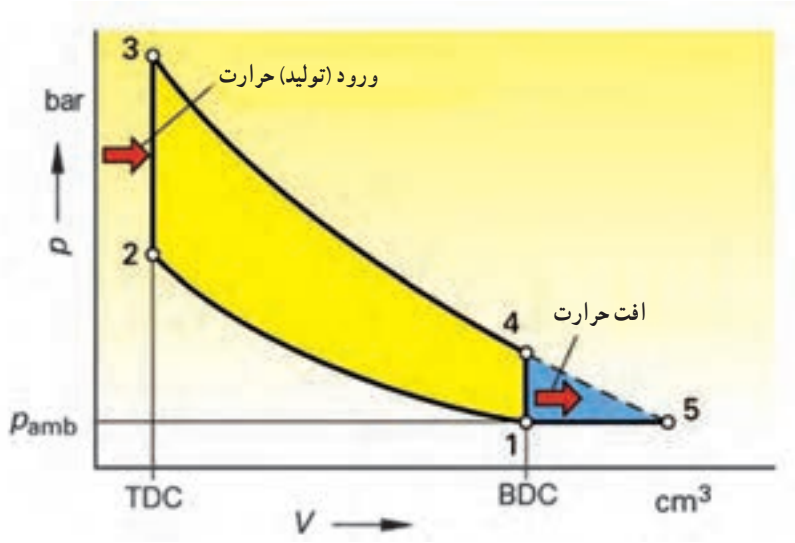



شکل ۲۰ــ۱ــ اشکال مختلف محفظه احتراق به‌منظور اختلاط بهتر سوخت و هوا

**۵ــ۴ــ۱ــ منحنی احتراق سیکل چهار زمانه اتو :** با نصب دستگاه ثبت کننده فشار به سیلندر، می‌توان تغییرات فشار داخل سیلندر را هر لحظه از سیکل موتور به‌دست آورد (شکل ۲۱ــ۱ــالف و ب).

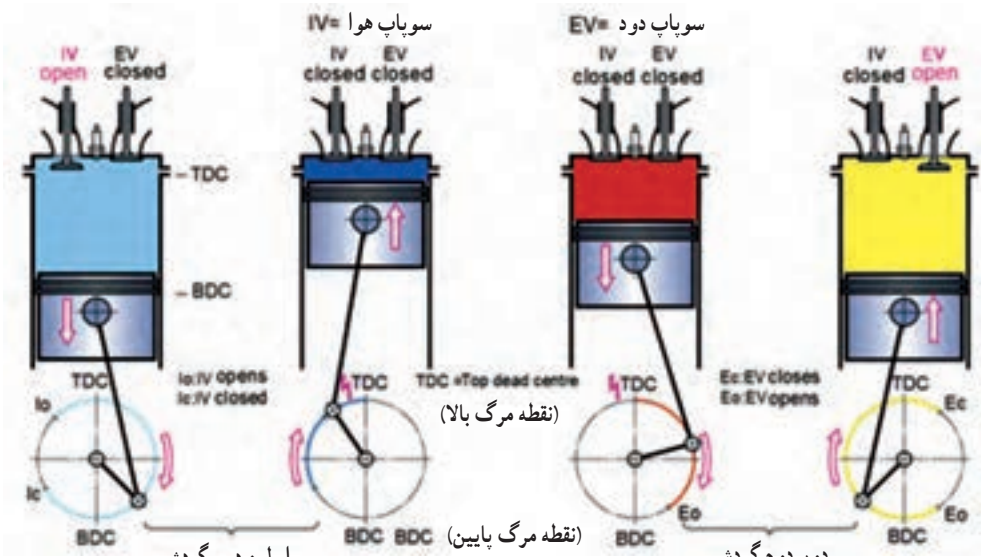



شکل ۲۱ــ۱ــ (الف)




شکل ۲۱ــ۱ــ (ب)

**۶ــ۴ــ۱ــ جدول وضعیت کار موتور در زمان‌های مختلف :** در جدول ۱ــ۱ مقادیر به‌عنوان مثال داده شده است.




**۴ــ کورس تخلیه**
سوپاپ گاز بسته مانده و سوپاپ دود کمی قبل از این زمان باز شده است. دود از سیلندر خارج می‌شود.

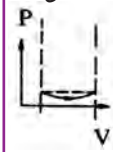
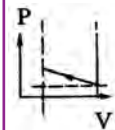
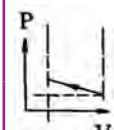
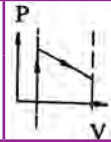
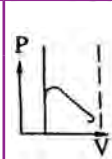
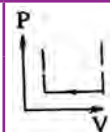
**۳ــ کورس قدرت**
هر دو سوپاپ بسته می‌مانند و گاز فشرده شده با جرقهٔ شمع منفجر می‌شود. در نتیجه پیستون با نیروی زیاد به طرف پایین حرکت می‌کند.

**۲ــ کورس متراکم**
هر دو سوپاپ بسته بوده، با بالا رفتن پیستون، مخلوط هوا و سوخت، تحت فشار قرار می‌گیرد و در نتیجه فشار و درجه حرارت آن بالا می‌رود.

**۱ــ کورس مکش**
سوپاپ گاز باز شده و سوپاپ دود بسته است. با پایین رفتن پیستون، مخلوط هوا و سوخت وارد سیلندر می‌شود.

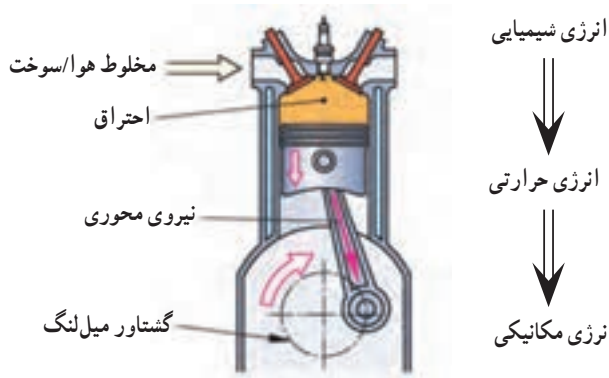
**شکل ۲۲ــ۱ــ مراحل احتراق یک موتور چهار زمانه**

## جدول ۱ــ۱ــ کار موتور چهار زمانه

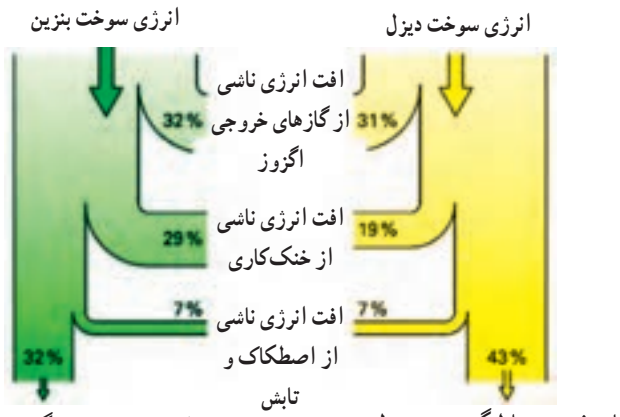
| زمان | منحنی‌های زمان‌ها | وضع سوپاپ‌ها | | اندازه فشارسنج | حجم سیلندر | درجه حرارت سیلندر | دیاگرام زمانی کار موتور برحسب زاویه گردش میل‌لنگ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مکش | تئوری | تئوری | گاز باز<br>دود بسته | برابر فشار جو | زیاد می‌شود | کم می‌شود | <br>طول مکش ۱۸۰° |
| | عملی  | عملی | گاز باز دود فقط ۱۰° باز است | کمتر از فشار جو | زیاد می‌شود | کم می‌شود | <br>طول مکش<br>۱۸۰°+۱۰°+۴۵°=۲۳۵° |
| تراکم |  | تئوری | گاز بسته<br>دود بسته | ۸ تا ۱۶ آتمسفر | کم می‌شود | زیاد می‌شود | <br>طول تراکم ۱۸۰° |
| |  | عملی | گاز فقط ۴۵° باز<br>دود بسته | کمتر از مقدار تئوری | کم می‌شود | زیاد می‌شود | <br>طول تراکم<br>۱۸۰°-۴۵°=۱۳۵° |
| قدرت |  | تئوری | گاز بسته<br>دود بسته | ۳۵ آتمسفر | زیاد می‌شود | کم می‌شود | <br>طول قدرت ۱۸۰° |
| |  | عملی | گاز بسته<br>دود ۴۵° باز | کمتر از مقدار تئوری | زیاد می‌شود | کم می‌شود | <br>طول قدرت<br>۱۸۰°-۴۵°=۱۳۵° |
| تخلیه |  | تئوری | گاز بسته<br>دود باز | برابر فشار جو | کم می‌شود | کم می‌شود | <br>طول تخلیه ۱۸۰° |
| | | عملی | گاز ۱۰° باز<br>دود باز | بیشتر از فشار جو | کم می‌شود | کم می‌شود | <br>طول تخلیه<br>۱۸۰°+۱۰°+۴۵°=۲۳۵° |

## ۵ــ۱ــ تبدیل انرژی

موتور احتراق داخلی، ماشینی است که در آن انرژی شیمیایی سوخت به انرژی حرارتی و انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود (شکل ۲۳ــ۱). به عبارت دیگر دو مرحله تبدیل انرژی در آن صورت می‌گیرد. در این فرایند تنها بخشی از انرژی شیمیایی سوخت (انرژی اولیه) که به حرارت تبدیل می‌شود منجر به کار مفید و تولید قدرت می‌گردد. بخش عمده این انرژی سبب غلبه بر افت اصطکاکی قطعات و بخش‌های مختلف موتور می‌گردد. به‌طور مثال غلبه بر افت اصطکاک بین یاتاقان‌های ثابت و متحرک میل‌لنگ و یا غلبه بر اصطکاک بین رینگ‌های پیستون و دیواره سیلندر. بخش دیگری از این انرژی صرف کار پمپ آب جهت به گردش درآوردن آب رادیاتور و در تابستان کار کمپرسور جهت تولید هوای خنک برای آسایش سرنشینان می‌شود. بخش زیادی از انرژی حرارتی نیز از اگزوز موتور به محیط بیرون خارج می‌گردد. در شکل ۲۴ــ۱ میزان تقریبی سهم بخش‌های مختلف موتور از انرژی حرارتی نشان داده شده است.




شکل ۲۳ــ۱ــ فرایند تبدیل انرژی در یک موتور احتراق داخلی




شکل ۲۴ــ۱ــ سهم بخش‌های مختلف موتور از انرژی سوخت ورودی به موتور

## ۶ــ۱ــ ترمودینامیک موتور

**۱ــ۶ــ۱ــ آزاد شدن گرما در حجم ثابت :** سیکلی که در آن گرما در حجم ثابت آزاد می‌شود سیکل اتو نامیده می‌شود. در این تحلیل فرض می‌شود احتراق به قدری سریع رخ داده که پیستون در حین احتراق حرکتی نکرده است. به زبان دیگر در این سیکل فرض می‌شود احتراق در حجم ثابت رخ داده است. در این حالت احتراق با یک جرقه شروع می‌شود، به همین دلیل موتوری که برمبنای سیکل اتو کار می‌کند، موتور اشتغال جرقه‌ای نام گرفته است. سیکل اتو یک فرایند چهارزمانه است و از مراحل تنفس، تراکم، انبساط و تخلیه تشکیل شده است. بنابراین در این‌گونه موتورها یک سیکل کامل در دو دور موتور انجام می‌شود.

سیکل اتو پس از اختراع موتور چهارزمانه توسط نیکلاس اتو در سال ۱۸۷۶ به اسم او نام گرفت. اتو به عنوان مخترع موتورهای احتراق داخلی مدرن و نیز پایه‌گذار صنایع موتورسازی معروف است. موتور چهارزمانه‌ای که اتو برای اولین بار تولید نمود دارای توان (۲hp) ۱/۵ kW در سرعت موتور ۱۶۰rpm بود.

**۲ــ۶ــ۱ــ آزاد شدن گرما در فشار ثابت :** این نوع سیکل به سیکل دیزل معروف است و به‌منظور شبیه‌سازی موتورهایی استفاده می‌شود که با کنترل احتراق در آن، ابتدای مرحله انبساط به شکل فشار ثابت صورت گیرد. موتورهای مبتنی بر سیکل دیزل، موتورهای اشتعال تراکمی نیز نامیده می‌شوند.

سیکل مذکور پس از اختراع موتوری با قابلیت پاشش مستقیم سوخت مایع به محفظه احتراق توسط رادلف دیزل در سال ۱۸۹۷ به نام سیکل دیزل نام گرفت.

نسبت تراکم در موتورهای دیزل نسبت به موتورهای اشتعال جرقه‌ای بیشتر است. این نسبت در موتورهای دیزل در حدود ۱۵ الی ۲۰ می‌باشد. این نسبت تراکم باعث می‌شود دمای دیواره‌های سیلندر به اندازه‌ای باشد که موجبات خود اشتعالی مخلوط سوخت و هوا را فراهم آورد. مدت مرحله احتراق به وسیله زمان پاشش و نیز نحوه اختلاط افشانه سوخت کنترل می‌شود.

**۳ــ۶ــ۱ــ سیکل‌های دوگانه :** عملکرد موتورهای اشتعال تراکمی امروزی به هیچ یک

از سیکل‌های فشار ثابت و حجم ثابت شباهتی ندارد، بلکه در وضعیتی میان آن دو کار می‌کند که در آن بخشی از حرارت به صورت حجم ثابت و بخش دیگر آن به‌صورت فشار ثابت آزاد خواهد شد. سیکل دوگانه، سیکل گازی است که به منظور مدل‌سازی دقیق موتورهایی که در آن احتراق کندتر از حالت حجم ثابت ولی تندتر از حالت فشار ثابت رخ می‌دهد مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از سیکل‌های دوگانه همچنین می‌توان روابط جبری برای پارامترهای کارایی موتور نظیر بازده حرارتی پیشنهاد داد. پخش آزاد شدن گرما دردو گونه مختلف حجم ثابت و فشار ثابت از جمله مسائلی است که طراح موتور می‌تواند آن را با استفاده از نوع سوخت، نوع سیستم تزریق سوخت و هندسه موتور تحت کنترل قرار دهد. با استفاده از کنترل نحوه آزاد شدن گرما می‌توان فشار بیشینه سیلندر را محدود نمود. به همین دلیل سیکل دوگانه را سیکل فشار محدود نیز می‌نامند.

## ۷ــ۱ــ اصول کار موتورهای پیستونی

در موتورهای پیستونی، انرژی شیمیایی سوخت پس از احتراق که ناشی از جرقهٔ شمع (در موتورهای اشتعال جرقه‌ای) عموماً در موتورهای بنزینی و یا انفجار مخلوط (در موتورهای اشتعال تراکمی) عموماً در موتورهای دیزل صورت می‌گیرد، به واسطهٔ فشار تولیدشده، سبب حرکت پیستون می‌گردد. حرکت رفت و برگشتی پیستون سبب انتقال قدرت به میل‌لنگ و در نهایت به چرخ‌ها می‌گردد. در فصل های بعدی شرح کاملی از عملکرد موتورهای پیستونی ارائه خواهد شد.

موتورهای احتراقی به سه دسته تقسیم می‌شوند : احتراق در حجم ثابت (بنزینی)، احتراق در فشار ثابت (دیزلی) و احتراق پیوسته (توربینی). در جدول زیر مشخصات این نوع از موتورها، نحوه عملکرد، نمونه‌های موجود و موارد مصرف آنها ذکر شده است.

**جدول ۲ــ۱ــ مشخصات انواع موتورهای احتراق داخلی**

| مشخصات | موتورهای انفجاری با سیکل حجم ثابت (بنزینی) | موتورهای احتراقی با سیکل فشار ثابت (سوخت سنگین) | موتورهای احتراق پیوسته (توربینی) |
|---|---|---|---|
| زمان کار | دو و چهار زمانه | دو و چهار زمانه | پایا (دایم) |
| سوخت‌رسانی | کاربراتوری ــ انژکتوری | انژکتوری | انژکتوری |
| نوع سوخت | بنزین ــ الکل ــ گاز | گازوئیل و مازوت | نفت سفید |

| نام سیکل | اتو | دیزل | توربینی |
|---|---|---|---|
| نحوهٔ اشتعال گاز | به‌وسیله جرقه شمع (دستگاه آتش‌زنه) | خودبه‌خود (به‌وسیله گرمای تراکم) | ابتدا با جرقه شمع و سپس به‌طور خودبه‌خود |
| انواع موتورهای ساخته شده | پیستونی ــ روتوری | دیزل ــ نیم‌دیزل | عکس‌العملی و تور بوشافت |
| مورد مصرف | در اتومبیل‌های سواری در کاربری‌های سبک | خودروهای سواری و سنگین خودروهای دریایی ماشین‌های کشاورزی موتورهای ثابت و غیره | هواپیماها ترن‌ها |

## سؤالات

۱ــ گروه‌بندی اجزای موتور را نام ببرید.

۲ــ وظیفه مولد قدرت را تشریح کنید.

۳ــ وظیفه انتقال قدرت خودرو را شرح دهید.

۴ــ اساس کار موتورهای چهارزمانهٔ اتو را شرح دهید.

۵ــ فرایند تبدیل انرژی در یک موتور احتراق داخلی را شرح دهید.