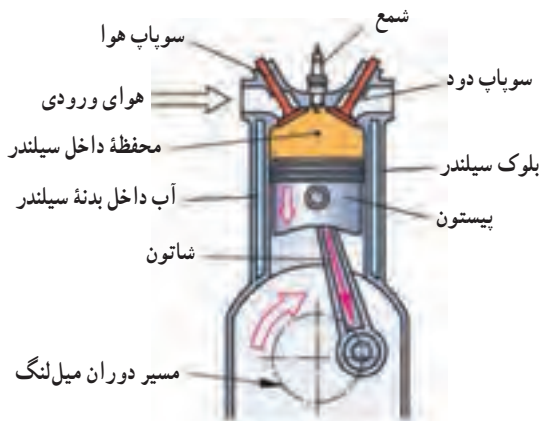
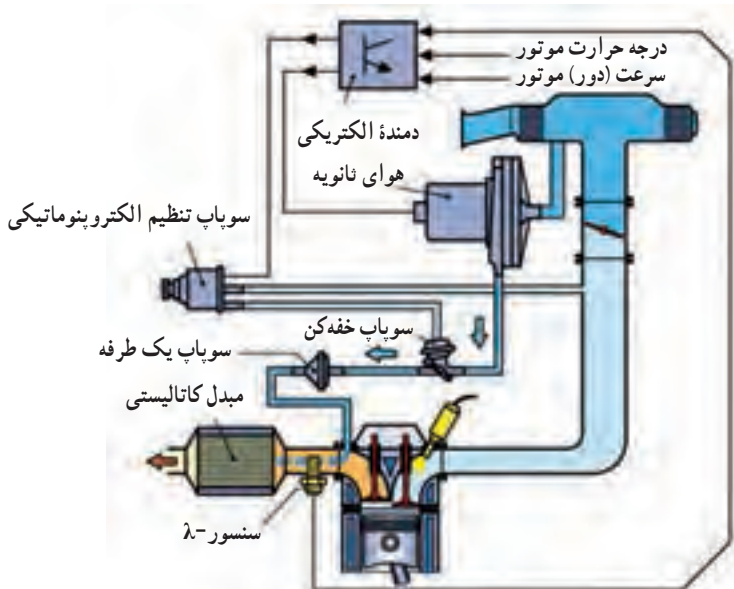


## ۱-۴- اساس کار موتورهای چهار زمانه اتو

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 بی بردن به نحوه کار موتور احتراق به یک واحد (سیلندر) از آن در شکل ۱-۱۴ 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 ... .



شکل ۱-۱۴- الف) اجزای سیلندر موتور



شکل ۱-۱۴- ب) اساس کارکرد کلی موتور

۱-۴-۱- 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 به وجود 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 اندازه لازم به وسیله کاربراتور در هوای مصرفی موتور به صورت ذره پخش گردیده، از طریق لوله‌های انتقال (مانیفولد گاز) به سیلندر ارسال می‌شود. در بیشتر مدت تنفس سیلندر، سوپاپ دود بسته می‌ماند (شکل ۱-۱۵).



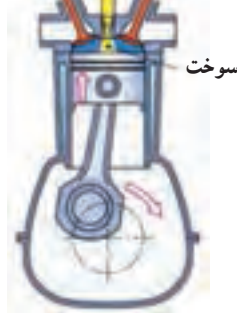
شکل ۱-۱۵- کورس مکش موتور، در این مرحله سوپاپ گاز باز و دود بسته است.

از نظر تئوری چون سوپاپ گاز باز می‌شود و قسمت داخلی سیلندر با هوای محیط مرتبط می‌گردد، بنابراین 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.

۱-۴-۲- 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 اتمسفر 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 ۱-۱۶).

حالت بسته سوپاپ هوا

حالت بسته سوپاپ دود



سوخت

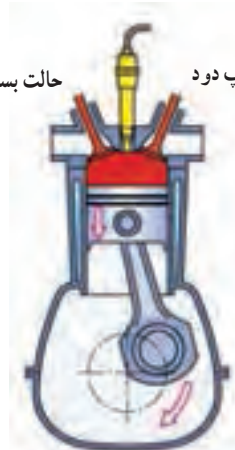
شکل ۱۶-۱- کورس تراکم، هر دو سوپاپ بسته هستند.

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 شده‌اند، می‌سوزاند. از نظر عملی درصد پر شدن سیلندر کمتر می‌باشد زیرا به علت 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.

۳-۴-۱- مرحله (کورس) قدرت: پس از انفجار گاز فشار در فضای کوچک شده بالای پیستون، به شدت افزایش می‌یابد و گاهی تا  $4^{\circ}$  اتمسفر می‌رسد که وقتی بر سطح پیستون تأثیر کند نیروی قابل توجهی را به پیستون وارد می‌سازد. مثلاً هرگاه قطر پیستون را  $1^{\circ} \text{ cm}$  فرض کنیم نیروی فشاری معادل است با:  $F = P \cdot A = 4^{\circ} \times 10^6 / 785 \times 10^6 = 314 \text{ kg}$  یعنی بیش از سه تن نیرو وارد می‌کند (شکل ۱۷-۱).

حالت بسته سوپاپ دود

حالت بسته سوپاپ هوا

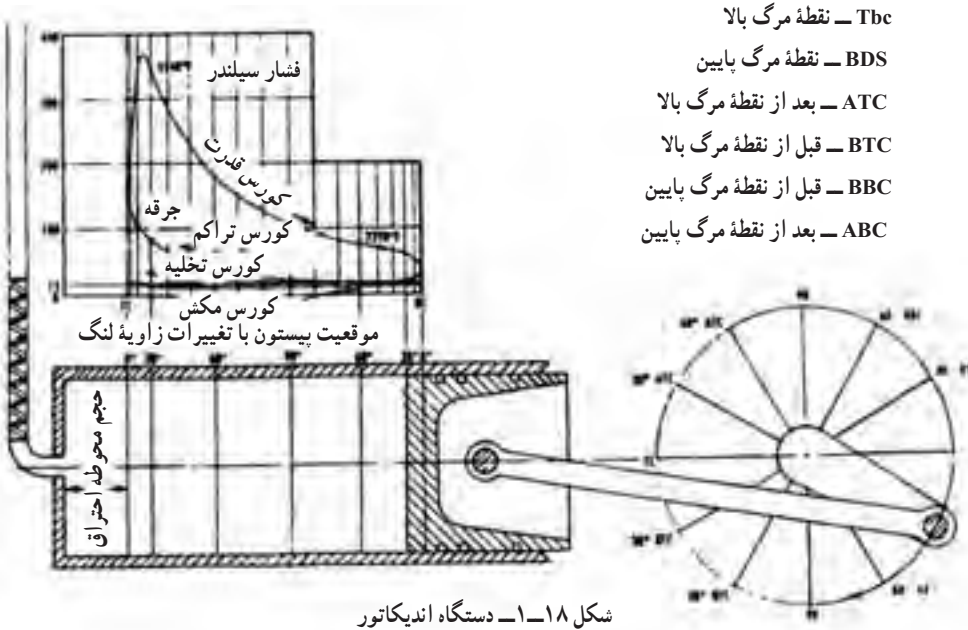


شکل ۱۷-۱- کورس قدرت، هر دو سوپاپ بسته هستند.

علت بالا رفتن فشار، به طور 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:

۱- اشتعال گاز دفعتاً نیست و عمل سوخت  $\frac{1}{1000}$  ثانیه طول می‌کشد که در این مدت حجم سیلندر تغییر می‌کند.

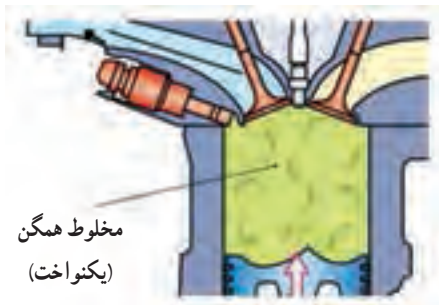
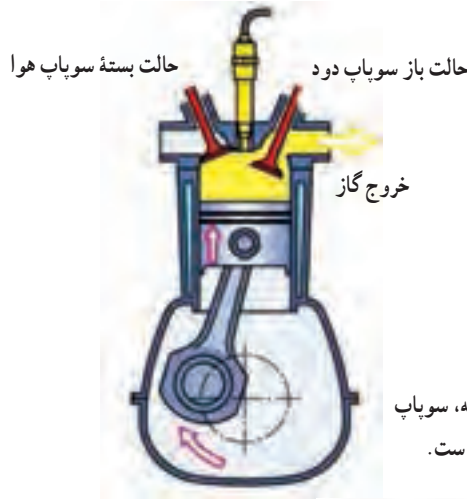
۲- با حرکت پیستون و ازدیاد حجم سیلندر، منحنی فشار احتراق عملاً به شکل منحنی خواهد بود که دستگاه ثبت کننده فشار (اندیکاتور) چگونگی تغییرات فشار را نشان می‌دهد (شکل ۱۸-۱). در این زمان، پیستون از بالاترین نقطه به طرف پایین حرکت کرده، به واسطه شاتون، میل لنگ را به حرکت در می‌آورد. تنها کورس مفید موتور همین زمان است. در این زمان هر دو سوپاپ بسته می‌مانند.



شکل ۱۸-۱- دستگاه اندیکاتور

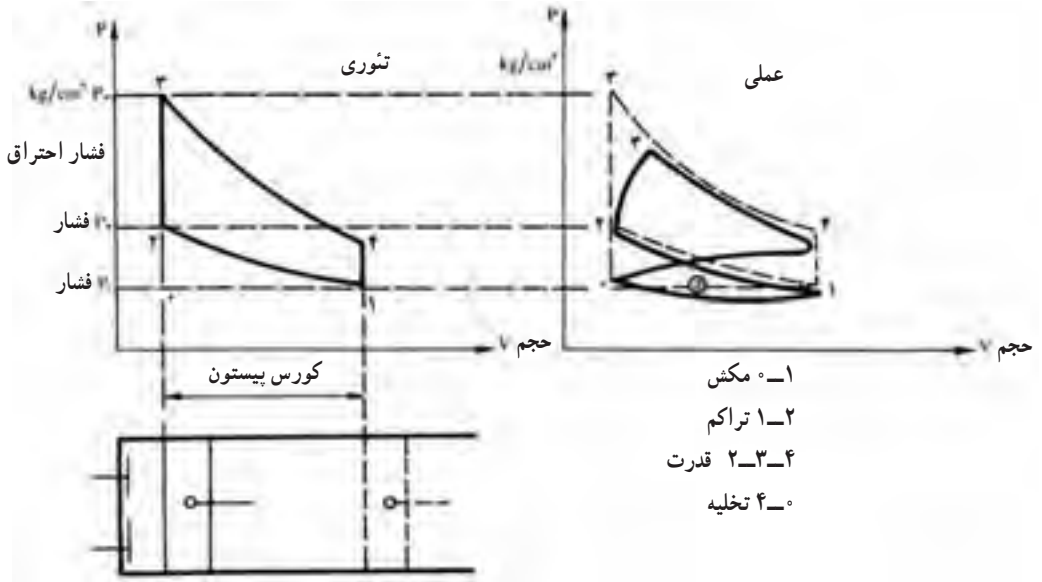
۴-۴-۱- مرحله (کورس) تخلیه: پیستون از پایین‌ترین نقطه به طرف بالا حرکت می‌کند و با باز شدن سوپاپ دود پس مانده‌های حاصل از احتراق، موتور را ترک می‌کنند. از نظر عملی سوپاپ دود کمی قبل از رسیدن به نقطه مرگ پایین، شروع به باز شدن می‌کند (در زمان قدرت) تا عمل تخلیه در فرصت بیشتری انجام شود. به طوری که وقتی پیستون تغییر جهت داده و به طرف بالا حرکت می‌کند مقدار دود خروجی به حداکثر 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 تصور 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 مدتی 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 ۱۹-۱).

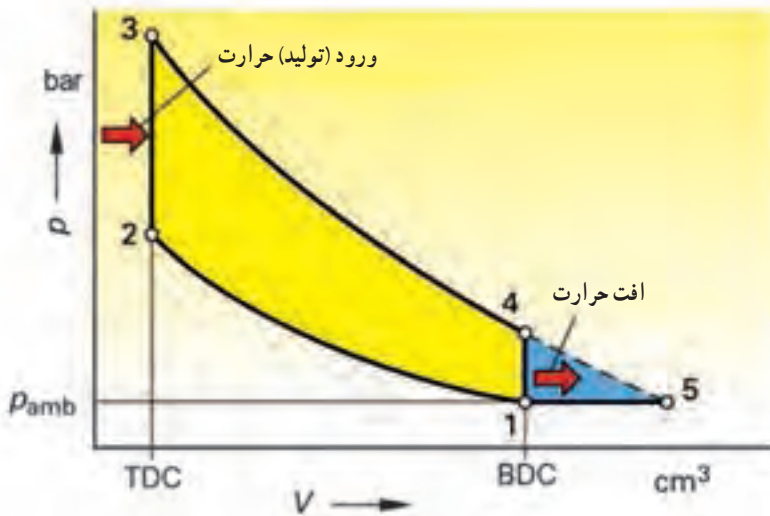


شکل ۲۰-۱- اشکال مختلف محفظه احتراق به منظور اختلاط بهتر سوخت و هوا

۵-۴-۱- منحنی احتراق سیکل چهار زمانه اتو: با نصب دستگاه ثبت کننده فشار به سیلندر، می توان تغییرات فشار داخل سیلندر را هر لحظه از سیکل موتور به دست آورد (شکل ۲۱-۱-الف و ب).



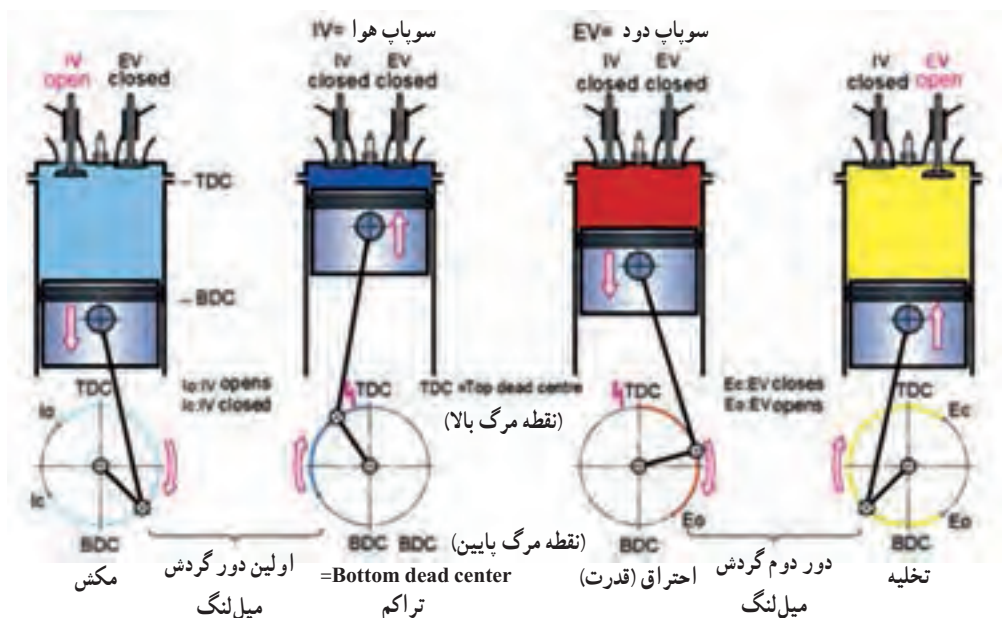
شکل ۲۱-۱-الف



شکل ۲۱-۱-ب

## ۶-۴-۱- جدول وضعیت کار موتور در زمان‌های مختلف: در جدول ۱-۱ مقادیر

به عنوان مثال داده شده است.



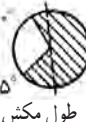
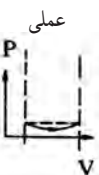

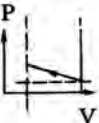












- |  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| ۱- کورس مکش  | ۲- کورس متراکم  | ۳- کورس قدرت  | ۴- کورس تخلیه  |
| سوپاپ گاز باز شده و سوپاپ دود بسته است. با پایین رفتن پیستون، مخلوط هوا و سوخت وارد سیلندر می‌شود. | هر دو سوپاپ بسته بوده، با بالا رفتن پیستون، مخلوط هوا و سوخت تحت فشار قرار می‌گیرد و در نتیجه فشار و درجه حرارت آن بالا می‌رود. | هر دو سوپاپ بسته می‌مانند و گاز فشرده شده با جرقه شمع منفجر می‌شود. در نتیجه پیستون با نیروی زیاد به طرف پایین حرکت می‌کند. | سوپاپ گاز بسته مانده و سوپاپ دود کمی قبل از این زمان باز شده است. دود از سیلندر خارج می‌شود. |

شکل ۲۲-۱- مراحل احتراق یک موتور چهار زمانه



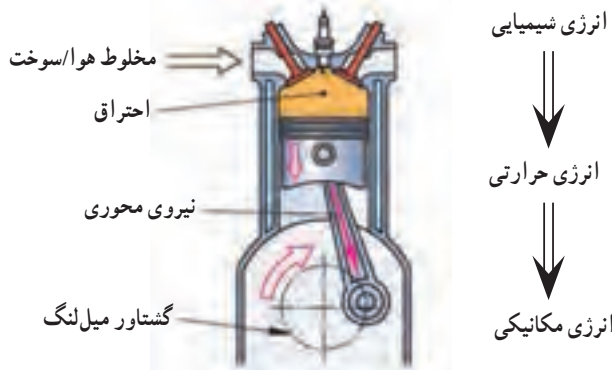
جدول ۱-۱ کار موتور چهار زمانه

دیگرام زمانی کار موتور برحسب زاویه گردش میل لنگ	درجه حرارت سیلندر	حجم سیلندر	اندازه فشارسنج	وضع سوپاپ‌ها		منحنی‌های زمان‌ها	زمان
				دود بسته	گاز باز		
 طول مکش $18^\circ$	کم می‌شود	زیاد می‌شود	برابر فشار جو	دود بسته	گاز باز	 تئوری	مکش
 طول مکش $45^\circ$ $18^\circ + 1^\circ + 45^\circ = 235^\circ$	کم می‌شود	زیاد می‌شود	کمتر از فشار جو	گاز باز دود فقط $1^\circ$ باز است	گاز باز دود	 عملی	
 طول تراکم $18^\circ$	زیاد می‌شود	کم می‌شود	۸ تا ۱۶ اتمسفر	دود بسته	گاز بسته	 تئوری	تراکم
 طول تراکم $45^\circ$ $18^\circ - 45^\circ = 135^\circ$	زیاد می‌شود	کم می‌شود	کمتر از مقدار تئوری	دود بسته	گاز فقط $45^\circ$ باز	 عملی	
 طول قدرت $18^\circ$	کم می‌شود	زیاد می‌شود	۳۵ اتمسفر	دود بسته	گاز بسته	 تئوری	قدرت
 طول قدرت $45^\circ$ $18^\circ - 45^\circ = 135^\circ$	کم می‌شود	زیاد می‌شود	کمتر از مقدار تئوری	دود $45^\circ$ باز	گاز بسته	 عملی	
 طول تخلیه $18^\circ$	کم می‌شود	کم می‌شود	برابر فشار جو	دود باز	گاز بسته	 تئوری	تخلیه
 طول تخلیه $45^\circ$ $18^\circ + 1^\circ + 45^\circ = 235^\circ$	کم می‌شود	کم می‌شود	بیشتر از فشار جو	دود باز	گاز $1^\circ$ باز	 عملی	

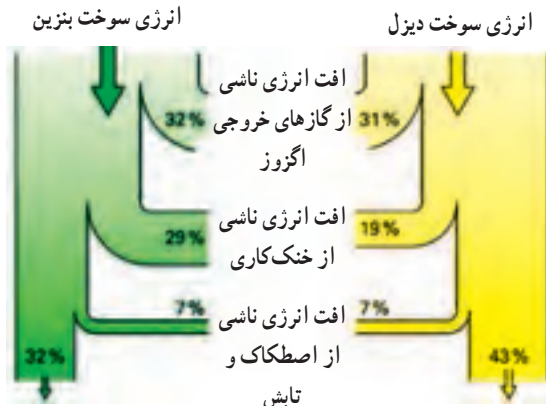


## ۵-۱- تبدیل انرژی

موتور احتراق داخلی، ماشینی است که در آن انرژی شیمیایی سوخت به انرژی حرارتی و انرژی حرارتی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود (شکل ۲۳-۱). 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. به طور 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 آگزوز موتور به محیط بیرون خارج می‌گردد. در شکل ۲۴-۱ میزان تقریبی سهم بخش‌های مختلف موتور از انرژی حرارتی نشان داده شده است.



شکل ۲۳-۱- فرایند تبدیل انرژی در یک موتور احتراق داخلی



کار مفید در میل‌لنگ موتور بنزینی

کار مفید در میل‌لنگ موتور دیزل

## ۱-۶-۱- ترمودینامیک موتور

۱-۶-۱- 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 جرعه شروع می‌شود، به همین دلیل موتوری که بر مبنای سیکل اتو کار می‌کند، موتور اشتغال جرعه‌ای نام گرفته است. سیکل اتو یک فرایند چهارزمانه است و از مراحل تنفس، تراکم، انبساط و تخلیه تشکیل شده است. بنابراین در این گونه 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 ۱۶۰ rpm بود.

۱-۶-۲- آزاد شدن گرما در فشار ثابت : این نوع سیکل به سیکل دیزل معروف است و به منظور شبیه‌سازی موتورهای 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 جرعه‌ای 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 افسانه سوخت کنترل می‌شود.

۱-۶-۳- 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 به صورت 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. بخش آزاد شدن گرما در دو 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.

## ۷-۱- اصول کار موتورهای پیستونی

در موتورهای پیستونی، انرژی شیمیایی سوخت پس از احتراق که ناشی از جرقه شمع (در موتورهای اشتعال جرقه‌ای) عموماً در موتورهای بنزینی و یا انفجار مخلوط (در موتورهای اشتعال تراکمی) عموماً در موتورهای دیزل صورت می‌گیرد، به واسطه فشار تولیدشده، سبب حرکت پیستون می‌گردد. حرکت رفت و برگشتی پیستون سبب انتقال قدرت به میل‌لنگ و در نهایت به چرخ‌ها می‌گردد. در فصل‌های 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 ۲-۱- 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 - اترکتوری	اترکتوری	اترکتوری
نوع سوخت	بنزین - الکل - گاز	گازوئیل و مازوت	نفت سفید

توربینی	دیزل	اتو	نام سیکل
ابتدا با جرقه شمع و سپس به طور خودبه خود	خودبه خود (به وسیله گرمای تراکم)	به وسیله جرقه شمع (دستگاه آتش زنه)	نحوه اشتعال گاز
عکس‌العملی و تور بوشافت	دیزل – نیم‌دیزل	پیستونی – روتوری	انواع موتورهای ساخته شده
هواپیماها ترن‌ها	خودروهای سواری و سنگین خودروهای دریایی ماشین‌های کشاورزی موتورهای ثابت و غیره	در اتومبیل‌های سواری در کاربری‌های سبک	مورد مصرف

## سوالات

- ۱- گروه‌بندی اجزای موتور را نام ببرید.
- ۲- وظیفه مولد قدرت را تشریح کنید.
- ۳- وظیفه انتقال قدرت خودرو را شرح دهید.
- ۴- اساس کار موتورهای چهارزمانه اتو را شرح دهید.
- ۵- فرایند تبدیل انرژی در یک موتور احتراق داخلی را شرح دهید.