فصل پنجم

عملکرد موتورهای احتراق داخلی

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

۱ــ اساس کار موتورهای چهار زمانه اتو را توضیح دهد.

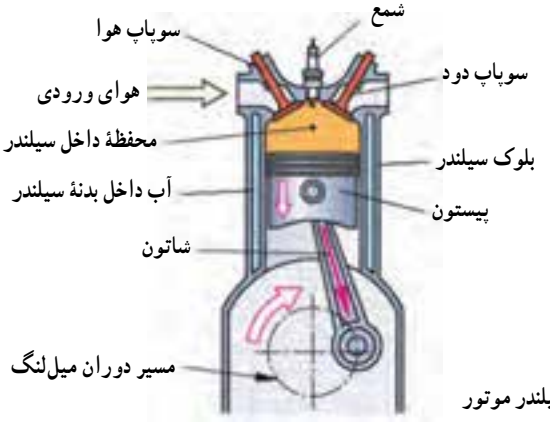
۲ــ سیستم خنک‌کاری موتور را توضیح دهد.

۳ــ موازنه انرژی در موتور را توضیح دهد.

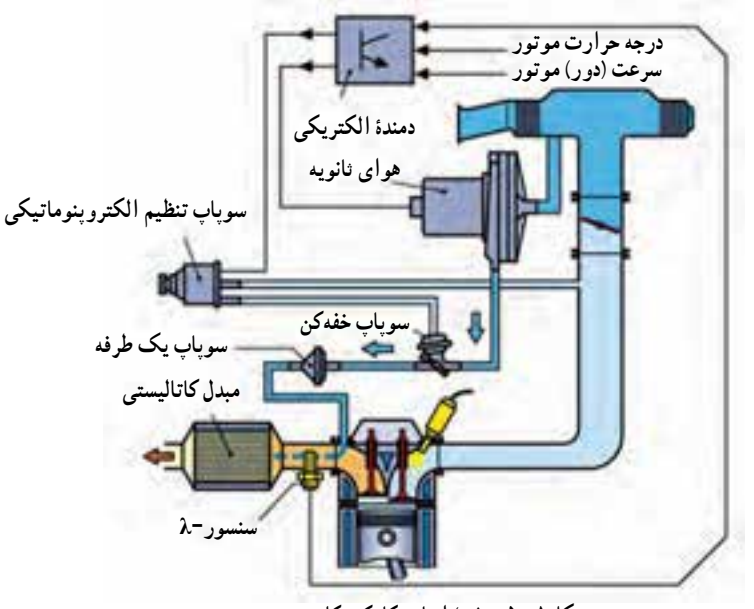
۴ــ سایر سیستم‌های خنک کاری را توضیح دهد.

۱ــ۵ــ 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 ۱ــ۵ 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 ۱ــ۵ــ (الف) اجزای سیلندر موتور



شکل ۱ــ۵ــ (ب) اساس کارکرد کلی موتور

۱ــ۱ــ۵ــ 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 ۲ــ۵).

شکل ۲ــ۵ــ 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 خلائی 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.

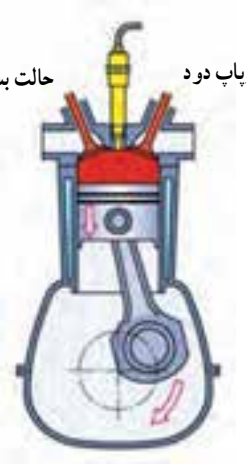
۲ــ۱ــ۵ــ مرحله (کورس) تراکم : در این مرحله، پیستون از پایین به بالا حرکت می‌کند و هر دو سوپاپ بسته می‌ماند. در نتیجه مخلوط هوا و سوخت در محفظه احتراق فشرده می‌شود و فشار درون سیلندر در پایان زمان تراکم به ۸ تا ۱۶ آتمسفر می‌رسد. اندازه فشار نهایی گاز در پایان کورس تراکم به عوامل گوناگونی بستگی دارد، از جمله : فضای اطاق احتراق، حجم کل سیلندر، درجه حرارت موتور، فشار هوا، راندمان حجمی موتور و غیره (شکل ۳ــ۵).

شکل ۳ــ۵ــ کورس تراکم، هر دو سوپاپ بسته هستند.

در نزدیکی رسیدن پیستون به بالاترین نقطه حرارت خود، شمع جرقه می‌زندو 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.

۳ــ۱ــ۵ــ 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 هر گاه قطر پیستون را ۱۰ cm فرض کنیم نیروی فشاری معادل است با : $F = P.A = 40 \times 0/785 \times 10 \times 10 = 314\ kg$ یعنی بیش از سه تن نیرو وارد می‌کند (شکل ۴ــ۵).



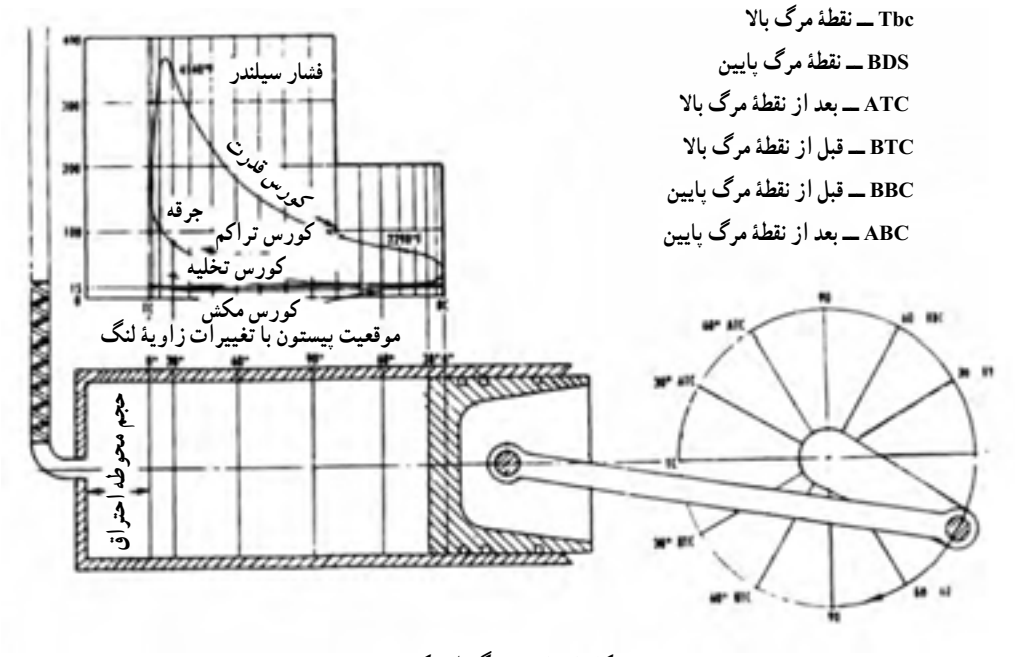
شکل ۴ــ۵ــ کورس قدرت، هر دو سوپاپ بسته هستند.

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 $\frac{3}{1000}$ ثانیه طول می‌کشد که در این مدت حجم سیلندر تغییر می‌کند.

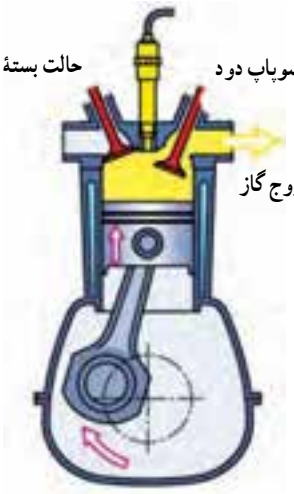
۲ــ با حرکت پیستون و ازدیاد حجم سیلندر، منحنی فشار احتراق عملاً به شکل منحنی خواهد بود که دستگاه ثبت کننده فشار (اندیکاتور) چگونگی تغییرات فشار را نشان می‌دهد (شکل ۵ــ۵).

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.

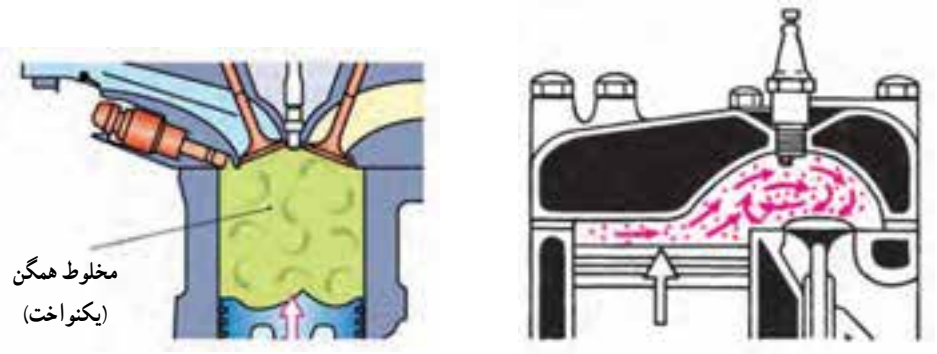


شکل ۵ــ۵ــ دستگاه اندیکاتور

۴ــ۱ــ۵ــ 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 ۶ــ۵).

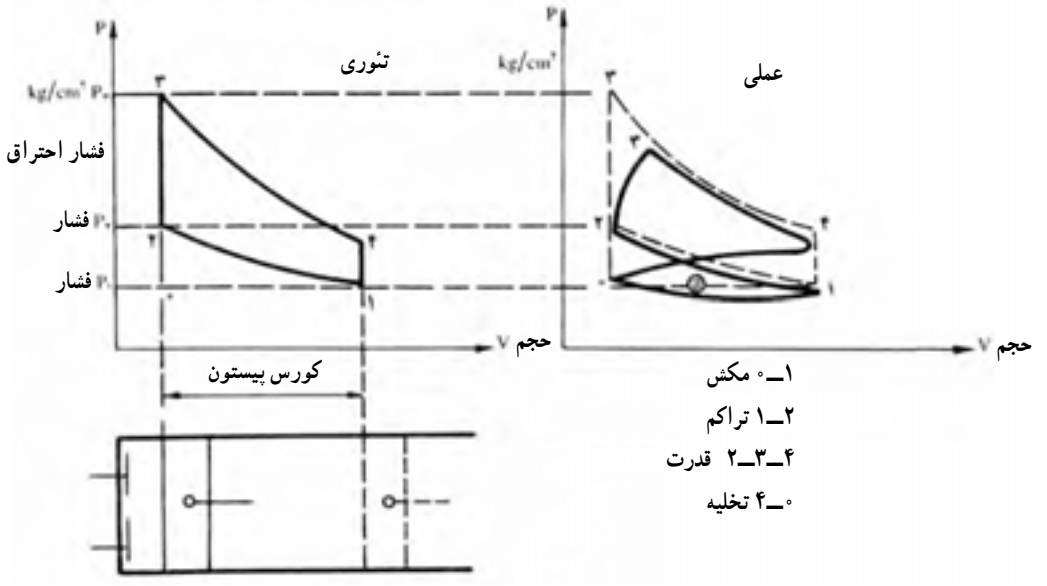


شکل ۶ــ۵ــ کورس تخلیه، سوپاپ دود باز و سوپاپ گاز بسته است.

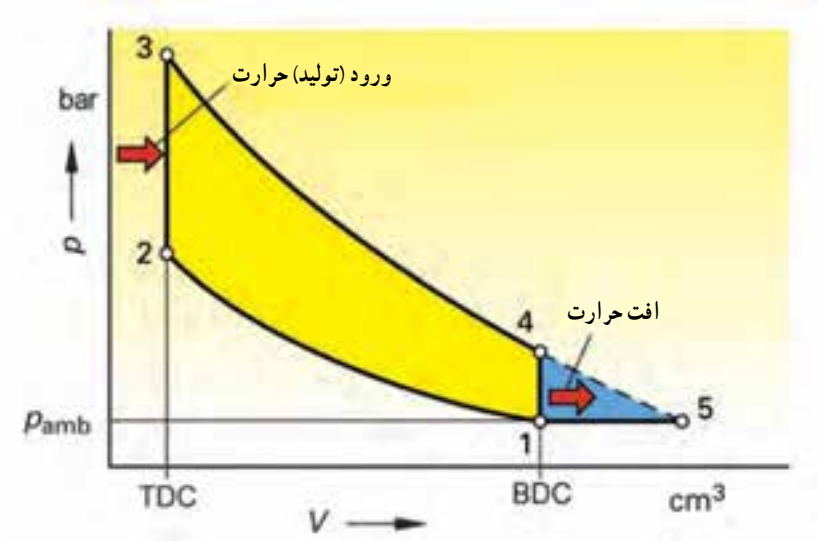


شکل ۷ــ۵ــ اشکال مختلف محفظه احتراق به‌منظور اختلاط بهتر سوخت و هوا

۵ــ۱ــ۵ــ 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 (شکل۸ــ۵ــالف).

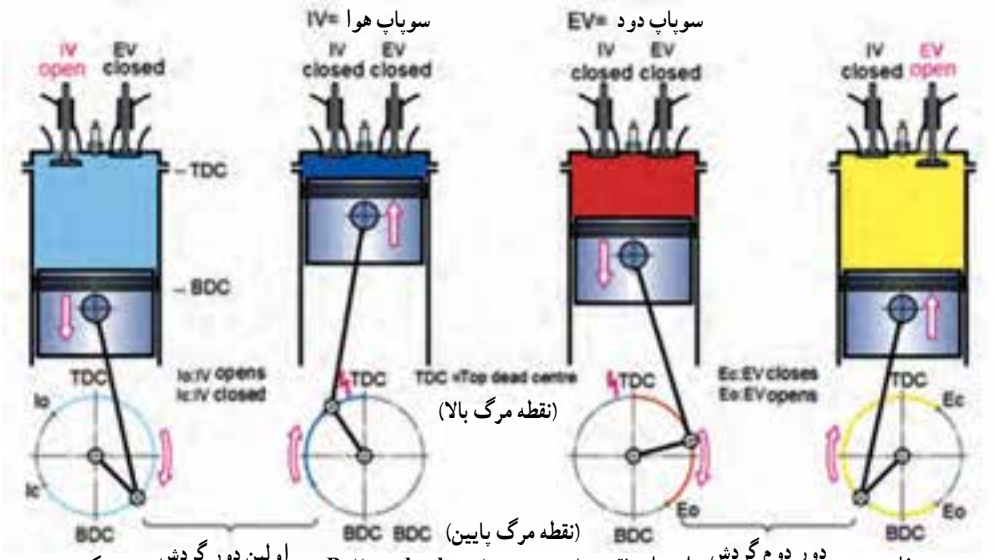


شکل ۸ــ۵ــ (الف)



شکل ۸ــ۵ــ (ب)

۶ــ۱ــ۵ــ جدول وضعیت کار موتور در زمان‌های مختلف : در جدول ۱ــ۵ 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.

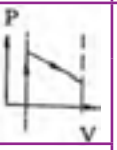
۳ــ کورس قدرت
هر دو سوپاپ بسته می‌مانند و گاز فشرده شده با جرقهٔ شمع منفجر می‌شود. در نتیجه پیستون با نیروی زیاد به طرف پایین حرکت می‌کند.

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 ۹ــ۵ــ مراحل احتراق یک موتور چهار زمانه

جدول ۱ــ۵ــ 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 دود بسته	برابر فشار جو	زیاد می‌شود	کم می‌شود	 طول مکش ۱۸۰°
	عملی	عملی	گاز باز دود فقط ۱۰° باز است	کمتر از فشار جو	زیاد می‌شود	کم می‌شود	 طول مکش ۱۸۰° ۱۰° ۴۵°=۲۳۵°
تراکم		تئوری	گاز بسته دود بسته	۸ تا ۱۶ آتمسفر	کم می‌شود	زیاد می‌شود	 طول تراکم ۱۸۰°
		عملی	گاز فقط ۴۵° باز دود بسته	کمتر از مقدار تئوری	کم می‌شود	زیاد می‌شود	 طول تراکم ۱۸۰° ۴۵°=۱۳۵°
قدرت		تئوری	گاز بسته دود بسته	۳۵ آتمسفر	زیاد می‌شود	کم می‌شود	 طول قدرت ۱۸۰°
		عملی	گاز بسته دود ۴۵° باز	کمتر از مقدار تئوری	زیاد می‌شود	کم می‌شود	 طول قدرت ۱۸۰° ۴۵°=۱۳۵°
تخلیه		تئوری	گاز بسته دود باز	برابر فشار جو	کم می‌شود	کم می‌شود	 طول تخلیه ۱۸۰°
		عملی	گاز ۱۰° باز دود باز	بیشتر از فشار جو	کم می‌شود	کم می‌شود	 طول تخلیه ۱۸۰° ۱۰° ۴۵°=۲۳۵°

۲ــ۵ــ سیستم خنک کاری موتور

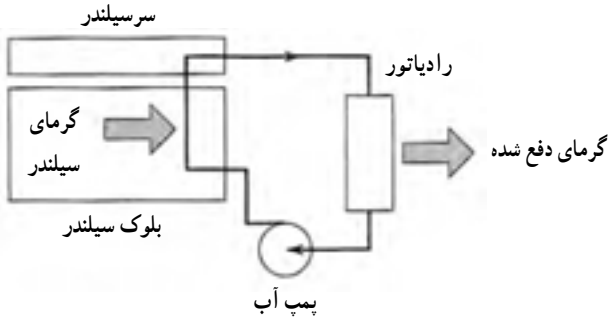
۱ــ۲ــ۵ــ مقدمه: انتقال حرارت رضایت بخش در موتور به دلایل زیادی از قبیل محدودیت‌های دمای مواد، محدودیت عملکرد روغن روانکاری، آلاینده‌ها و کوبش اهمیت زیادی دارد. از آن جایی که فرایند احتراق در یک موتور احتراق داخلی بر خلاف یک موتور احتراق خارجی به شکل ممتد و ادامه‌دار نیست، دمای قطعات از دمای بیشینهٔ احتراق بسیار کمتر خواهد بود. البته دمای برخی نواحی حساس می‌بایست پایین‌تر از محدودیت‌های طراحی ماده تشکیل‌دهنده نگه داشته شود. آلیاژهای آلومینیوم در دماهای بیشتر از ۷۷۵K شروع به ذوب شدن می‌کنند و دمای جوش آهن حدود ۱۸۰۰K است. دماهای در حال تغییر حول بدنه داخلی سیلندر موجب اعوجاج بدنه داخلی سیلندر شده و منجر به نشتی، مصرف روغن و سایش پیستون خواهد شد. همچنین خنک‌کاری موتور به منظور جلوگیری از کوبش در موتورهای احتراق جرقه‌ای لازم است.

انتقال حرارت سیستم اگزوز نیز یک عامل مهم در عملکرد توربین اگزوز و آلاینده‌هاست. عملکرد راضی‌کنندهٔ یک مبدل کاتالیزوری پس از یک دمای آستانه رخ می‌دهد. دمای آستانه (بهره‌وری اکسیداسیون بیش از ٪۵۰) برای اکسیداسیون کاتالیز شده هیدروکربن و مونواکسیدکربن حدود ۵۰۰K است. پس در نتیجه در دماهای کمتر از ۵۰۰K عملکرد مبدل کاتالیزوری به شکل نامطلوبی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به علاوه اکسیداسیون مداوم و مستمر آلاینده‌های هیدروکربنی و دیگر آلاینده‌ها در سیستم اگزوز تابعی از دمای سیستم اگزوز است. انتقال حرارت به جریان هوا در چند راههٔ ورودی، بازده تنفسی را کاهش می‌دهد، زیرا چگالی دمای ورودی کاهش می‌یابد.

مطالعه آزاد

نرخ انتقال حرارت در یک موتور بیش از هر متغیر دیگری به دمای واسط خنک‌کاری و ابعاد موتور وابسته است تعاملات پیچیده‌ای میان پارامترهای عملکردی گوناگون وجود دارد به عنوان مثال با کاهش دمای واسط خنک‌کاری انتقال حرارت به آن افزایش می‌یابد و دمای احتراق کاهش می‌یابد، این باعث کاهش راندمان احتراق و افزایش بازده تنفسی می‌شود، همچنین موجب افزایش تنش‌های حرارتی در پوسته سیلندر و افزایش ابعاد رادیاتور مورد نیاز می‌گردد زیرا اختلاف دمای محیط و واسط خنک‌کاری افزایش می‌یابد تشکیل اکسیدهای نیتروژن کاهش یافته و اکسیداسیون هیدروکربن‌ها افزایش می‌یابد دمای اگزوز نیز افزایش می‌یابد، برای اطلاعات بیشتر در مورد انتقال حرارت موتور به کتاب بورمن ونیشیواکی (۱۹۸۷) مراجعه شود

۲ــ۲ــ۵ــ انواع سیستم‌های خنک‌کاری موتور : دو نوع سیستم خنک‌کاری برای انتقال حرارت بلوک سیلندر و سرسیلندر وجود دارد. سیستم‌های هوا خنک و آب خنک، در سیستم‌های آب خنک، گرما با استفاده از یک واسط خنک‌کاری مایع، توسط کانال‌های خنک‌کاری داخلی تعبیه شده در بلوک سیلندر به بیرون هدایت می‌شود. این عمل به طور شماتیک در شکل ۱۰ــ۵ نشان داده شده است. با واسط خنک‌کاری هوا، گرما با استفاده از پره‌های متصل به دیوار سیلندر به بیرون هدایت می‌شود، مکانیزم این نوع سیستم‌ها به شکل شماتیک در شکل ۱۱ــ۵ نشان داده شده است. هر دو نوع سیستم خنک‌کاری مزایا و معایبی دارند. سیستم‌های آب خنک بسیار کم سر و صداتر از سیستم‌های هوا خنک می‌باشند، زیرا کانال‌های خنک‌کاری صدای فرآیندهای احتراق را جذب می‌کند، سیستم‌های مایع نیز در معرض مشکلاتی چون یخ زدن، خوردگی و نشتی هستند، در حالی که این مشکلات در سیستم‌های هوا خنک وجود ندارد.



شکل ۱۰ــ۵ ــ سیستم خنک کاری با سیال خنک کنندهٔ مایع

شکل ۱۱ــ۵ ــ سیستم خنک کاری با سیال خنک کننده هوا

سیستم آب خنک یک حلقهٔ منفرد بوده و یک پمپ آب، سیال خنک‌کاری را به بلوک سیلندر و از آنجا به سر سیلندر می‌فرستد، سپس سیال واسط خنک‌کاری به یک رادیاتور یا مبدل حرارتی جریان یافته و از آنجا به پمپ باز می‌گردد. نقطه جوش واسط خنک‌کاری را می‌توان با افزایش فشار یا با اضافه کردن مواد افزودنی با دمای جوش بالاتر (مثل اتیل گلیکول) افزایش داد. طی گرم شدن موتور یک شیر که به شکل ترمواستاتیکی کنترل می‌شود واسط خنک‌کاری را مجدداً وارد سیکل خنک‌کاری بلوک سیلندر می‌کند و از جریان یافتن آن به مبدل حرارتی جلوگیری می‌کند. زمانی که موتور گرم می‌شود شیر باز شده و اجازهٔ ورود سیال خنک‌کاری به رادیاتور را می‌دهد. زمان لازم برای گرم شدن موتور و رسیدن به یک حالت ثابت به ابعاد موتور، سرعت و بار وارده بستگی داشته و معمولاً از مرتبهٔ ۱۰ دقیقه برای یک موتور خودرو است. مدارهای خنک‌کاری دوگانه با مدارهای جداگانه برای سرسیلندر و بلوک سیلندر مورد استفاده قرار گرفته است.

مطالعه آزاد

طراحی مسیرهای خنک‌کاری مایع در بلوک و سرسیلندر به شکل آزمایشگاهی صورت می‌گیرد یکی از مهمترین ملاحظات در طراحی سیستم‌های خنک کاری، فراهم کردن جریان خنک‌کنندهٔ کافی برای نواحی با شار گرمایی بالا نظیر راهگاه‌های خروجی می‌باشد از آنجا که خنک سازی فاصله بین سوپاپ‌های خروجی مشکل است، در برخی طرح‌های موتور خودرو تنها از یک سوپاپ دود استفاده می‌کنند تا گرمادهی مخلوط سوخت و هوای ورودی کاهش یافته و بازده تنفسی افزایش یابد مطالعهٔ دقیق پارامترهای خنک‌کاری در مرجع رابینسون ۱۹۹۹ داده شده است

شارهای حرارتی و دماهای سطحی نزدیک به چند راهه و درگاه خروجی به قدری بالاست که می‌تواند باعث جوشش هسته‌ای سیال خنک‌کاری در نقاط مذکور گردد ضرایب انتقال حرارت جوششی بسیار بزرگتر از فاز منفرد انتقال حرارت جابجایی اجباری است دماهای سطحی به همان نسبت کمتر خواهند بود برای شارهای حرارتی از مرتبهٔ $۱/۵MW/m^۲$ دمای سطوح خنک‌کاری حدود ۲ تا ۳ درجه بیشتر از دمای اشباع (که معمولاً $۱۳\ ^\circ C$ است) خواهد بود از آنجایی که حباب‌های شکل یافته روی سطح کانال خنک‌کاری به سمت پایین دست جریان جاروب شده و در سیال خنک‌تر چگالش می‌یابند، تحلیل فرآیند جوشش هسته‌ای، بسیار پیچیده است

موتورهایی با توان خروجی نسبتاً پایین (کمتر از ۲ kW) از سیستم‌های هوا خنک استفاده می‌کنند از آنجایی که ضریب هدایت حرارتی هوا بسیار کمتر از آب است، سیستم‌های هوا خنک از پره‌هایی برای کاهش دمای سطحی سمت هوا استفاده می‌کنند برای افزایش تولید توان خروجی از یک فن خارجی برای افزایش ضریب انتقال حرارت سمت هوا استفاده می‌شود بیشتر اوقات موتور هواپیماها به صورت هوا خنک طراحی

می‌شود از آنجایی که موتور هواپیماها معمولاً محصور نیستند و اصولاً بعد از ملخ جاسازی می‌شوند، فراهم نمودن هوای مورد نیاز، به‌سادگی انجام می‌شود موتورهایی که برای مدت زمان‌های کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرند، از سیستم‌های خنک‌کاری استفاده نمی‌کنند در این موتورها از ظرفیت گرمایی بلوک سیلندر برای نگه داشتن دماهای محیطی سمت گاز در محدوده‌های تعیین شده استفاده می‌کنند

به دلیل اینکه حدود یک سوم انرژی سوخت به صورت انتقال حرارت به واسط خنک‌کاری از بین می‌رود، به نظر می‌رسد که کاهش مقدار این اتلاف حرارت منطقی است کاهش انتقال حرارت مذکور می‌تواند باعث افزایش بازده موتور گردد یکی از راه‌های کاهش انتقال حرارت به سیال خنک‌کاری، افزایش مقاومت حرارتی بلوک سیلندر با استفاده از موادی با هدایت حرارتی پایین از قبیل سرامیک‌ها و یا اضافه کردن عایق حرارتی به موتور است برخی از مواد مورد استفاده در دیواره‌های سرامیکی که می‌توانند در دماهای بالاتر عمل کنند و هدایت حرارتی کمتری نسبت به چدن دارند ، نیترید سیلیکون و زیرکونیوم می‌باشند

نتایج تجربی حاصل از این موتورها نشان می‌دهد کاهش اتلاف حرارت به سیال خنک‌کاری موجب افزایش بازده موتور نمی‌گردد اولاً از آنجایی که موتور احتراق داخلی مبتنی بر یک سیکل ترمودینامیکی است، بازده تبدیل حرارت به کار توسط قانون دوم ترمودینامیک محدود خواهد شد در حین انبساط، موتور حدود ۳٪ گرمای ورودی را به کار تبدیل می‌کند، بنابراین حداکثر همان نسبت از انتقال حرارت به واسط خنک‌کاری می‌تواند به کار تبدیل شود ثانیاً، با عایق‌بندی موتور، دمای متوسط سیلندر افزایش می‌یابد و دمای گازهای خروجی و آنتالپی آن افزایش می‌یابد ثالثاً به‌دلیل آن که عمق نفوذ شار حرارتی احتراق تنها حدود ۱mm است، انتقال حرارت به سیال خنک‌کاری در سیکل ترمودینامیکی، یک فرایند پایا می‌باشد، لیکن کار مثبت تنها طی عمل انبساط تولید می‌شود انتقال حرارت انجام شده در کورس‌های دیگر، قابلیت تبدیل به کار را ندارد در نهایت دمای بیشتر دیواره، گاز وارد شده طی فرایند مکش را گرم کرده و باعث کاهش بازده تنفسی موتور می‌گردد در موتورهای اشتعال جرقه‌ای، افزایش دمای دیواره طی عمل تراکم می‌تواند مشکلات مربوط به کوبش را افزایش دهد بنابراین اکثر موتورهایی که سیلندر آنها مقاومت حرارتی بالایی دارد موتورهای احتراق تراکمی هستند

۳ــ۵ــ موازنه انرژی در موتور

بالانس انرژی در موتور به وسیلهٔ آزمایش‌های انجام شده روی موتورهای آزمایشگاهی صورت می‌گیرد شکل۱۲ــ۵ یک موتور تنظیم شده برای تعیین مقدار حرارت دفع شده به روغن، آب و هوای محیط را نشان می‌دهد جریان سنج‌ها داخل آب نصب شده‌اند و مدارهای روغن و ترموکوپل‌ها دماهای ورودی و خروجی را اندازه‌گیری می‌کنند بالانس انرژی اعمال شده بر آب خنک‌کننده و روغن جاری شده در موتور روابط زیر را نتیجه می‌دهد :

$$\dot{Q}_{water} = (\dot{m} c_p)_{water} (T_3 - T_4)$$

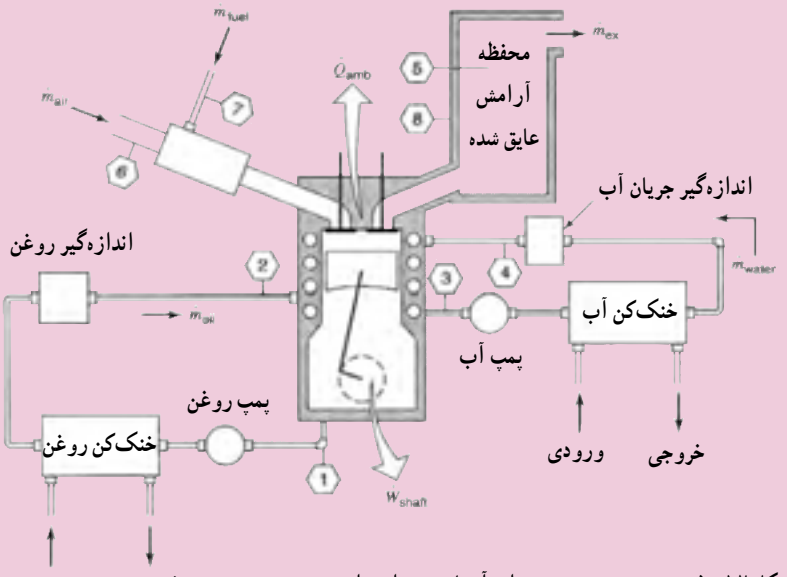
$$\dot{Q}_{oil} = (\dot{m} c_p)_{oil} (T_1 - T_2)$$

تعیین حرارت دفع شده به هوای محیط پیچیده‌تر است با اعمال قانون اول ترمودینامیک به سیستم موتور، خواهیم داشت :

$$\dot{Q}_{amb} = (\dot{m}h)_{air} + (\dot{m}h)_{fuel} - (\dot{m}h)_{ex}$$
$$-\dot{Q}_{water} - \dot{Q}_{oil} - \dot{W}_{shaft}$$

نرخ جریان جرم در اگزوز با استفاده از نرخ‌های جریان اندازه‌گیری شدهٔ هوا و سوخت بدست می‌آید :

$$\dot{m}_{ex} = m_{air} + \dot{m}_{fuel}$$



شکل ۱۲ــ۵ ــ موتور تجهیز شده برای آزمایش موازنه انرژی موتور

آنتالپی‌های گازهای خروجی و مخلوط هوا و سوخت به ترتیب بر اساس دماهای اندازه‌گیری شده T_5،T_6،T_7 بدست می‌آیند ترکیب گازهای خروجی را می‌توان به صورت تئوری از نسبت سوخت به هوا بدست آورد و یا اندازه‌گیری نمود این مسئله در هر دو حالت مهم است، چرا که دمای T_5 با دمای متوسط جرم خروجی معادل است، به همین دلیل یک انباره عایق شده وجود دارد که وظیفهٔ مخلوط کردن گاز خروجی که زودتر در سیکل وارد شده و گاز خروجی سردتر که دیرتر وارد سیکل شده را بر عهده دارد یکی دیگر از پیچیدگی‌ها، تأثیرات انتقال حرارت بر دمای اندازه گیری توسط ترموکوپل است برای تعیین دمای گاز این مقادیر باید تصحیح گردند بالانس انرژی در انتهای ترموکوپل می‌دهد :

$$T_{ex} = T_4 + \frac{\varepsilon\sigma}{h}T_5^4 - T_8^4$$

ε نفوذ انتهای ترموکوپل بوده، σ ثابت استفان ــ بولتزمان، h ضریب انتقال حرارت در انتها، T_5 دمای انتها و T_8 دمای دیوارهٔ داخلی مجموعه می‌باشد

در عمل برای انجام بالانس انرژی موتور، حداکثر گرمای بازیافت شده از گاز خروجی را اندازه‌گیری می کنند این کار به وسیلهٔ یک بالانس انرژی روی اگزوز یعنی جایی که تا دمای محیط خنک می‌شود صورت می‌گیرد :

$$\dot{Q}_{ex} = \dot{m}_{ex}\left[h_{ex}(T_{ex}) - (h_{ex}(T_{amb})\right]$$

برای اندازه‌گیری آنتالپی خروجی در دمای محیط، باید از کیفیت آب تعادلی ، استفاده شود :

$$\dot{Q}_{amb} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{ex} - \dot{Q}_{water} - \dot{Q}_{oil} - \dot{W}_{shaft}$$

جدول ۲ــ۵ ــ موازنه انرژی برای یک موتور دیزل با سرعت متوسط، چهارزمانه، تزریق مستقیم و تاج پیستون گود

$\dot{Q}_{loss}$	$\dot{W}_{friction}$	$\dot{W}_{shaft}$	$\dot{Q}_{ambient}$	$\dot{Q}_{oil}$	$\dot{Q}_{water}$	$\dot{Q}_{exhaust}$	Bmep(bar)	N(rpm)
/۱۲۴	/۱	/۳۱۷	/ ۶۹	/ ۳۷	/۱۱۸	/۴۵۹	۹/۹	۵
/ ۸۷	/۱۷۸	/۲۹۸	/ ۹۲	/ ۶۵	/۱ ۸	/۴۳۷	۳/۵۲	۵
/۱۵۹	/ ۹۲	/۳۱۵	/ ۲۶	/ ۷۴	/۱۵۱	/۴۳۲	۳/۵	۴

موتور : $r = ۱۲/۸۵$ و $b = ۳۰۴/۸mm$

محیط : $P = ۱/۰۱bar$ ، $T = ۲۹۳k$

$$\dot{Q}_{loss} = \dot{Q}_{water} + \dot{Q}_{oil} + \dot{Q}_{ambient} - \dot{W}_{friction}$$

تمامی مقادیر نرخ انرژی بر حسب انرژی سوخت ورودی $\dot{Q}_{in}$ نرمال شده اند

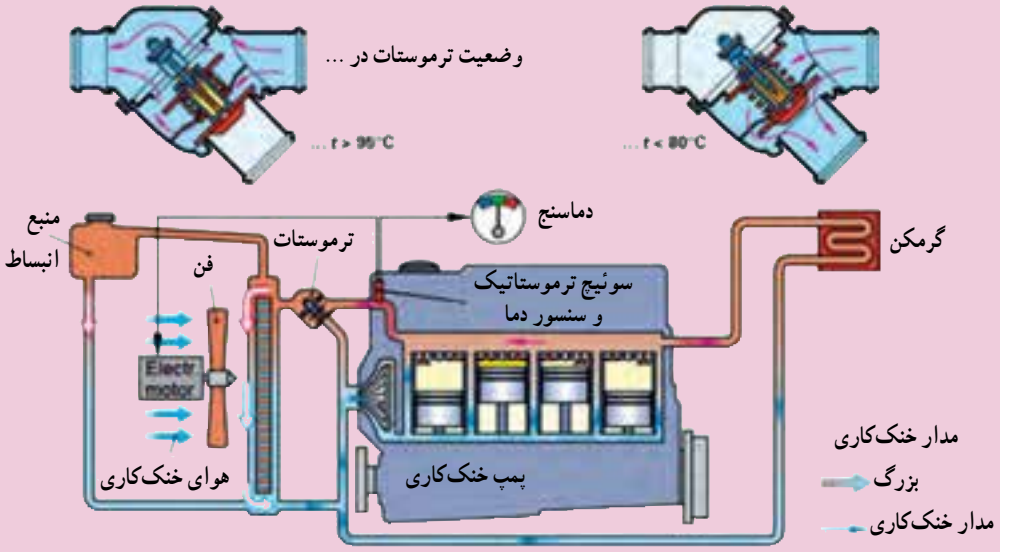
به‌طوری که بر اساس تعریف :

$$\dot{Q}_{in} = (\dot{m}h)_{air} + (\dot{m}h)_{fuel} - \dot{m}_{ex}\, h_{ex}(T_{amb})$$

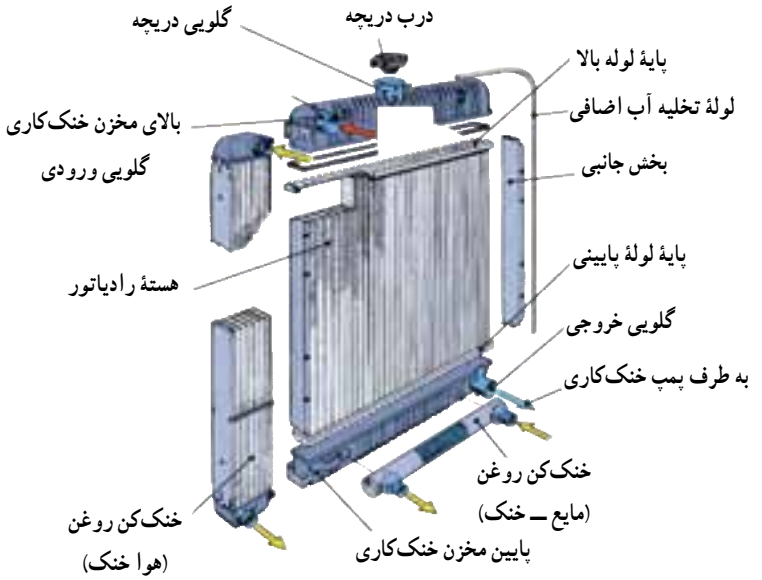
در نهایت اگر سوخت و هوا در دمای محیط باشند، موتور به صورت رقیق و یا استوکیومتریک کار می‌کند در این حالت دمای محیط و فشار برابر دما و فشار مرجع خواهند بود، بنابراین آنتالپی ورودی برابر حاصلضرب نرخ جریان سوخت و گرمای احتراق استوکیومتری سوخت است

برخی نتایج بدست آمده توسط وایت‌هاوس (۷۱ــ ۱۹۷) برای یک موتور دیزل با سرعت متوسط در جدول ۲ــ۵ آورده شده است موتور دیزل ذکر شده، یک موتور آزمایشی تک سیلندر با قطر داخلی ۴/۸mm ۳ و ارتفاع ۳۸۱mm می‌باشد همچنین این جدول معادل حرارتی اصطکاک را به نحوی نمایش می‌دهد که بتوان تشخیص داد چه مقدار از گرمای دفع شده به هوای محیط، روغن و آب ناشی از انتقال حرارت سیال کاری و چه مقدار آن از اصطکاک بوده است کل گرمای دفع شده برابر مجموع انتقال حرارت به آب، روغن و هوای

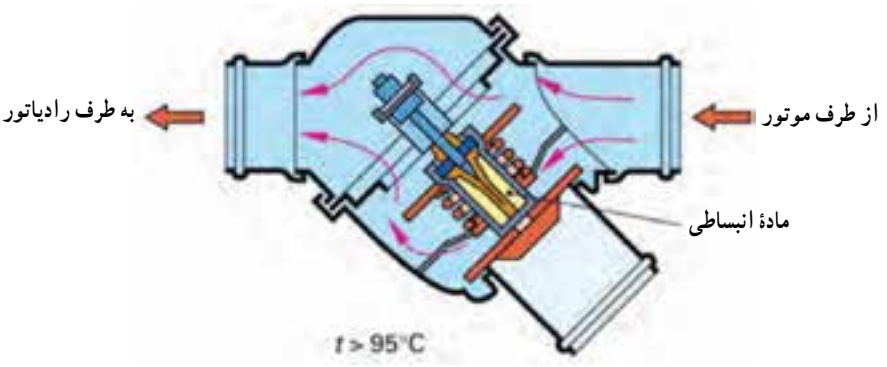
ورودی است که کار اصطکاکی از آن کاسته شده است مقادیر داخل جدول به‌وسیله انرژی ورودی سوخت به بعد شده اند با مشاهدهٔ کار مربوط به محور میل‌لنگ، می‌توان فهمید که بازده حرارتی ترمزی موتور حدود ۳٪ است حدود ۴۵٪ انرژی از سیستم اگزوز خارج می‌شود، ۱ تا ۱۵ درصد توسط اصطکاک هدر رفته و ۱ تا ۱۵ درصد دیگر نیز، به‌وسیله اتلاف حرارتی از بین خواهد رفت



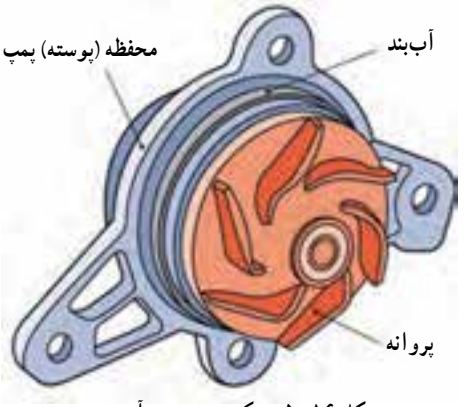
شکل ۱۳ــ۵ــ یک نمونه سیستم خنک کاری موتور در مدت استارت سرد



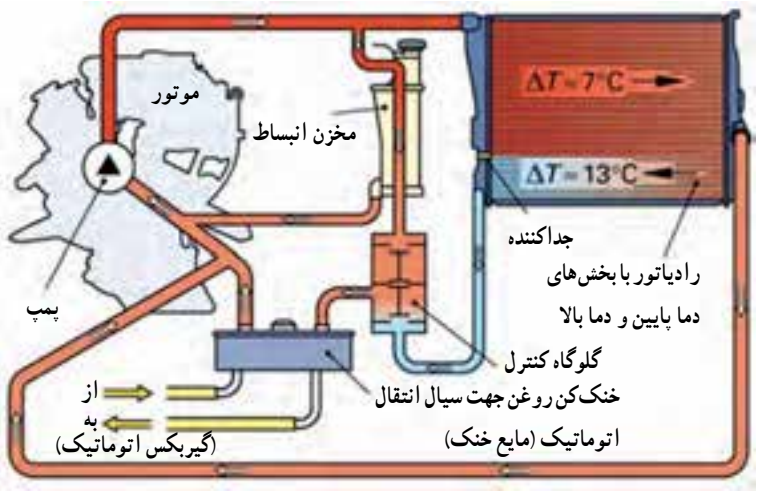
شکل ۱۴ــ۵ــ اجزای مختلف یک نمونه رادیاتور خودرو



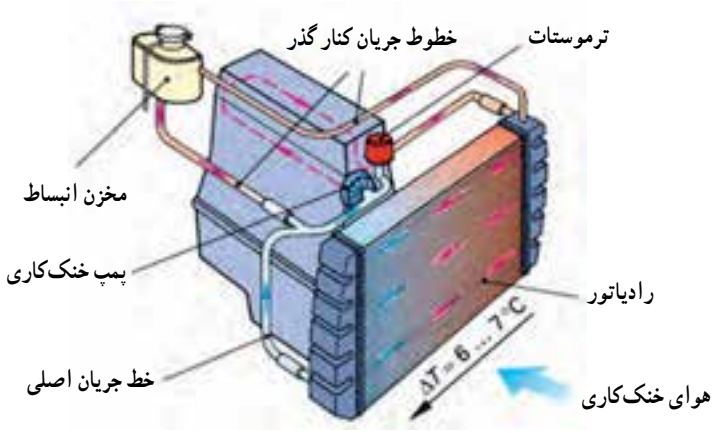
شکل ۱۵ــ۵ــ ترموستات انبساطی با شیر دوبل در حالت سرد موتور



شکل ۱۶ــ۵ــ یک نمونه پمپ آب



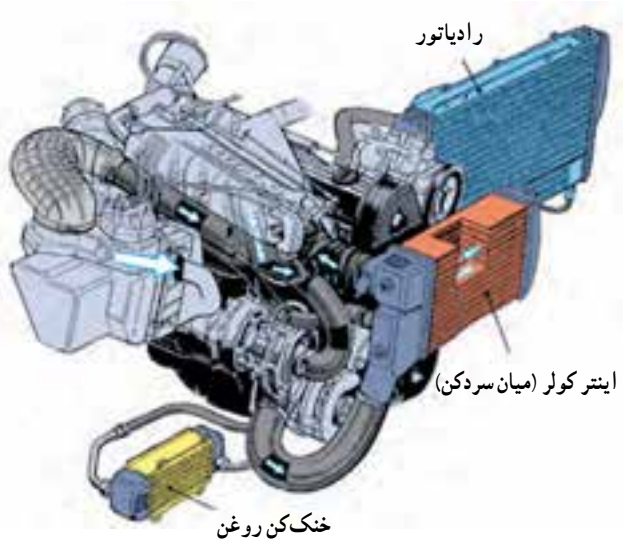
شکل ۱۷ــ۵ــ نمایش بخش دمای بالا و دمای پایین رادیاتور در یک سیستم خنک کاری



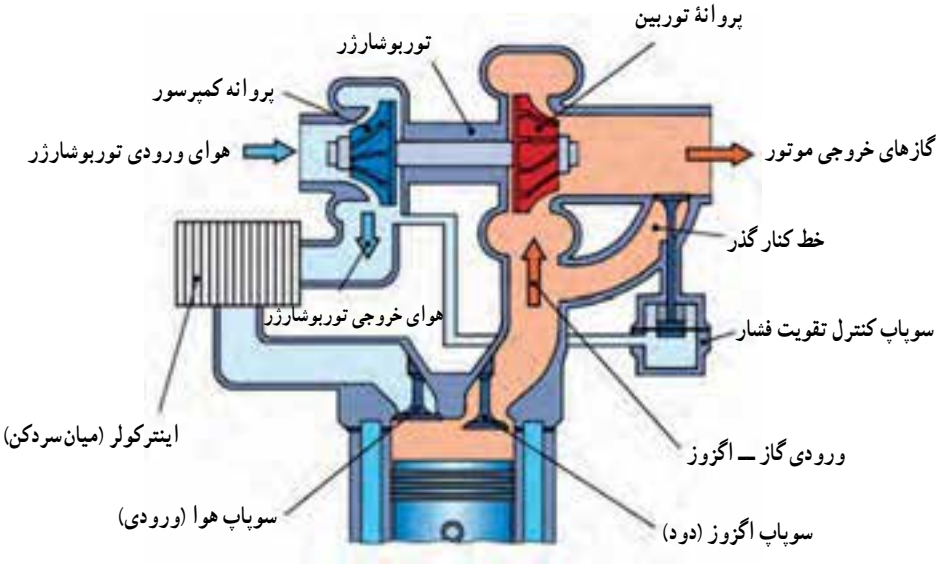
شکل ۱۸ــ۵ــ نمایش جریان عرضی متقاطع با رادیاتور در یک سیستم خنک کاری موتور

۴ــ۵ــ سایر سیستم‌های خنک‌کاری

علاوه بر سیستم خنک‌کاری موتور که در بالا اشاره شد برخی از موتورها که از سیستم‌های تکمیلی و تقویتی مانند توربوشارژر و سوپرشارژر برخوردارند نیاز به سیستم خنک کاری مجزایی دارند. مأموریت این سیستم‌ها در حقیقت تأمین هوای اضافی برای احتراق بهتر و تقویت موتور می‌باشد که اصطلاحاً عمل پرخورانی نامیده می‌شود. در عمل پرخورانی هوای بیرون توسط یک دستگاه متراکم کننده هوا به‌نام توربوشارژر به سیلندر وارد می شود. در اثر تراکم هوا فشار و درجهٔ حرارت بالا می‌رود. افزایش دما تا حدی مطلوب است ولی از یک اندازه معینی بالاتر می‌تواند اثر منفی روی عملکرد موتور داشته باشد. برای این منظور هوای فشرده شده قبل از ورود به موتور وارد اینترکولر شده و سپس به داخل سیلندر می‌رود. اینترکولر شبیه رادیاتور بوده و جلوتر از رادیاتور نصب می‌شود. معمولاً عمل خنک کاری هوای داخل لوله‌های آن با یک یا دو فن صورت می‌گیرد. شکل ۱۹ــ۵ محل نصب اینترکولر در جلوی موتور را نشان می‌دهد. شکل ۲۰ــ۵ اجزای مختلف یک توربوشارژر را نشان می‌دهد که از یک کمپرسور جهت متراکم کردن هوا و یک توربین که توسط فشار گازهای داغ خروجی موتور به گردش درمی‌آید و سبب گردش پروانه کمپرسور می‌شود.



شکل ۱۹ــ۵ــ محل نصب اینترکولر در قسمت جلوی رادیاتور



شکل ۲۰ــ۵ــ موتور مجهز به توربوشارژر گاز خروجی، جهت پرخورانی هوای ورودی به موتور