مقدمه

فصل اول :آشنایی با موتورهای پرخوران شده و اینترکولرهای مورد استفاده در آنها

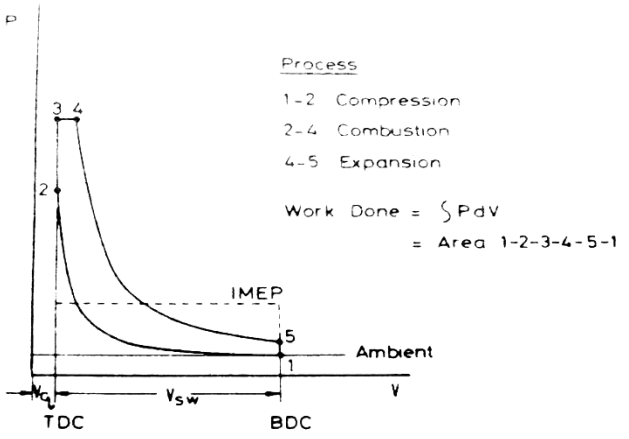
مقدمه

در این فصل به آشنایی با موتورهای سوپرشارژ و توربوشارژ و موتور توربوشارژ اینترکولر و انواع توربین ها و کمپرسورها و اینترکولرهای قابل استفاده در این موتورها پرداخته شده است.

۱-۱- آشنایی با موتورهای پرخوران و تشریح کارکرد آنها

تعریف پر خوران کردن یا سوپرشارژینگ، ورود هوای فشرده به سیلندر موتور می باشد. این افزایش چگالی هوای ورودی، باعث احتراق بهتر سوخت و به تبع آن قدرت موتور افزایش خواهد یافت. هدف اصلی سوپرشارژ کردن افزایش قدرت موتور می باشد و نه افزایش راندمان، ولی افزایش راندمان هم یکی از نتایج سوپرشارژ کردن می باشد. تاثیر سوپرشارژینگ را در تغییر قدرت خروجی می توان در نمودار P-V مشاهده کرد.

در شکل ۱-۱ یک موتور تغذیه طبیعی دیزل نشان داده شده است. نقطه ۱ که همان نقطه BDC می باشد، نشانگر شروع کورس تراکم گاز است. مرحله ۱-۲ کورس تراکم می باشد. مرحله ۲-۳ قسمتی از احتراق است که در حجم ثابت اتفاق می افتد (در TDC). در مرحله ۳-۴ ادامه احتراق در فشار ثابت و در حال پایین رفتن پیستون انجام می شود. مرحله ۴-۵ ادامه انبساط گاز در خاتمه احتراق می باشد و تا پایین رفتن پیستون و رسیدن به نقطه BDC ادامه می یابد. در نقطه ۵ سوپاپ دود باز می شود و گاز سیلندر را ترک می کند، سپس فشار سیلندر به فشار محیط می رسد. در شکل ۱-۱ سیکل بسته است و مراحل تنفس و تخلیه نشان داده نشده است.



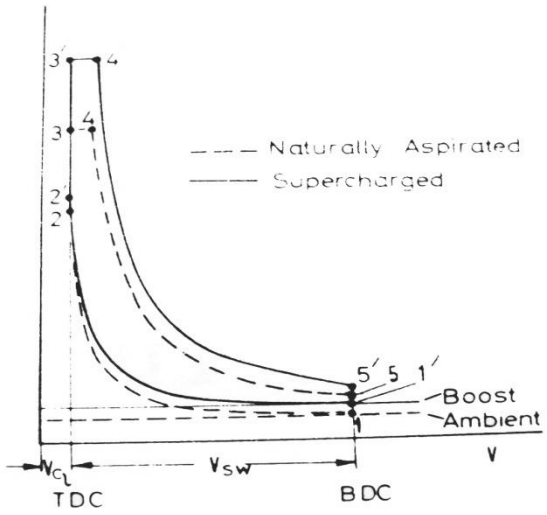
شکل ۱-۱- سیکل ایده آل احتراق در موتور دیزل تنفس طبیعی

کار مفید خروجی در مرحله ۳-۴-۵ بدست می اید، که این کار بر اثر تولید فشار بالا به علت احتراق سوخت ایجاد می شود. این مرحله از سیکل را کورس قدرت می نامند. در مقابل قسمت قبل، در مرحله ۱-۲ مقداری از نیروی تولید شده توسط موتور صرف تراکم گاز می شود. کار انجام شده در سیکل توسط فرمول زیر محاسبه می شود :

$$W = \int PdV \qquad (۱-۱)$$

کار خالص خروجی از تفاضل کار انبساط از کار تراکم بدست می آید، که در نمودار سطح ۱-۵-۴-۳-۲-۱ می باشد. کار بدست آمده، کار خروجی از هر سیکل کامل می باشد. این مراحل در یک دور کامل میل لنگ انجام می شود. در موتور های چهار زمانه مراحل تنفس و تخلیه گاز یک دور از دور میل لنگ را به خود اختصاص می دهد، همچنین مرحله تولید قدرت نیز یک دور میل لنگ را شامل می شود (در موتورهای چهار زمانه هر سیکل کامل دو دور میل لنگ می باشد). بنابراین برای بدست آوردن قدرت خروجی باید مساحت بدست آمده(سطح ۱-۵-۴-۳-۲-۱) از طریق دیاگرام را بر دو تقسیم کرده و سپس آن را در سرعت موتور ضرب نمود.

در شکل ۱-۲ نمودار P-V دو موتور تنفس طبیعی و سوپرشارژ شده به طور همزمان نشان داده شده است. سیکل سوپرشارژ شده از نقطه '۱ در فشار و چگالی بالاتری شروع شده است و قابلیت سوزاندن سوخت بیشتری در مرحله '۲-'۴ وجود دارد، زیرا در همان حجم قبلی هوا با چگالی بیشتری وجود دارد. با توجه به دو نمودار فوق روشن است که، با افزایش مساحت در سیکل جدید نسبت به سیکل تنفس طبیعی قدرت خروجی و فشار ماکزیمم سیلندر افزایش یافته است. تا هنگامی که موتور برای سوپرشارژینگ طراحی نشده باشد، فشار ماکزیمم را نمی توان خیلی افزایش داد، زیرا موتور تحمل تنش های مکانیکی و حرارتی ایجاد شده را ندارد. با کاهش ضریب تراکم مقدار حجم مرده افزایش می یابد، در نتیجه فشار ماکزیمم کاهش می یابد. اگر این کاهش ضریب تراکم با دقت انجام شود فشار ماکزیمم در موتور سوپرشارژ شده با موتور تنفس طبیعی برابر می شود. در این حالت نیز قدرت خروجی موتور سوپرشارژ از موتور تنفس طبیعی بیشتر است.

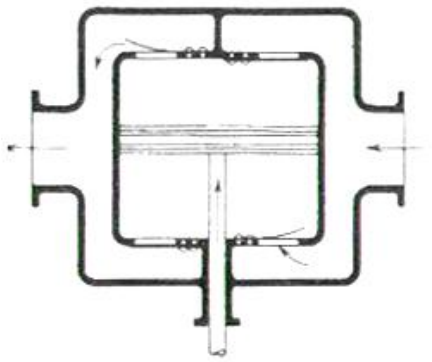


شکل۱-۲- مقاسه نمودار احتراق دو موتور تنفس طبیعی و سوپرشارژ شده

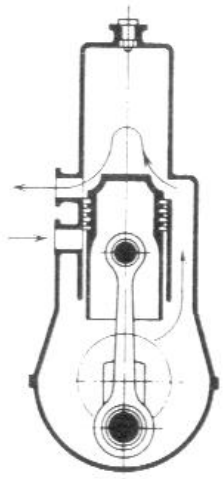
تمام قدرت به دست آمده از نمودار P-V به شفت خروجی انتقال نمی یابد و قسمتی از آن صرف غلبه بر اصطکاک یاتاقان ها و پیستون ها و قسمتی از آن صرف گردش سوپاپ ها و پمپ روغن و پمپ آب می شود، این اتلاف ها باید از قدرت اندیکاتوری کسر شوند. علاوه بر همه این موارد برای ایجاد فشار سوپرشارژینگ نیز قدرتی مصرف می شود ،این عمل بوسیله یک کمپرسور انجام می شود که می تواند نیروی خود را از میل لنگ موتور بگیرد و این قدرت نیز باید از قدرت اندیکاتوری کسر شود. خوشبختانه به علت افزایش بسیار زیاد قدرت در هنگام سوپرشارژینگ تمام اتلافات از جمله نیروی لازم برای کمپرسور پوشش داده می شود و همچنان قدرت موتور از حالت اولیه بیشتر است.

۱-۲- انواع کمپرسورهای قابل استفاده در موتورهای پرخوران شده و کمپرسور گریز از مرکز

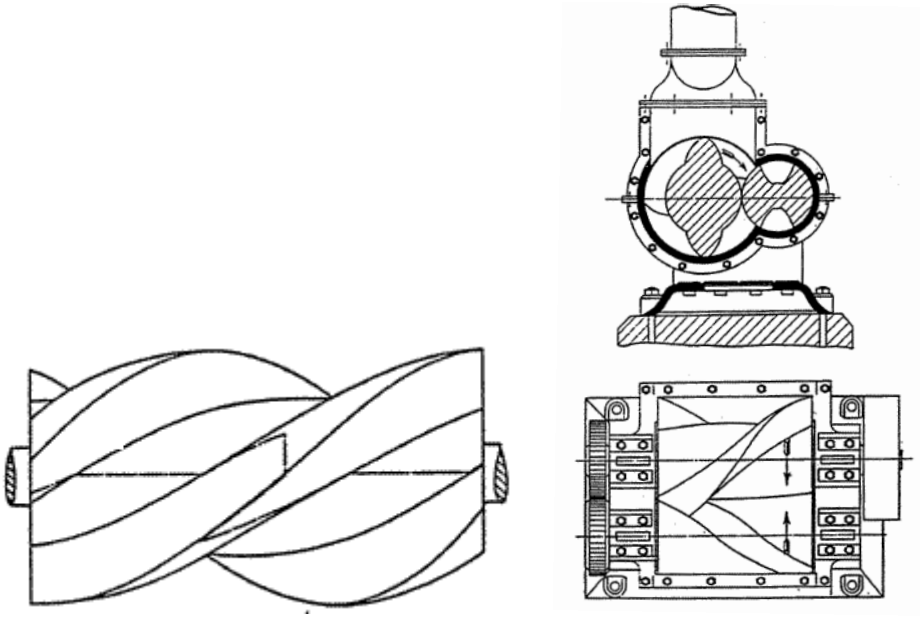
در موتورهای پرخوران شده از انواع مختلفی از کمپرسورها استفاده می شود که بعضی از آنها از جمله کمپرسور رفت و برگشتی ،کمپرسورکارتلی، کمپرسور لایزلم،کمپرسور تیغه ای نوسانی، کمپرسور روتس، کمپرسور اسکرو، کمپرسور تیغه ای دورانی، کمپرسور محوری و در آخر کمپرسور گریز از مرکز را می توان نام برد. ولی کمپرسور گریز از مرکز مهمترین و رایجترین کمپرسور قابل استفاده در موتورهای دیزل پرخوران شده می باشد.



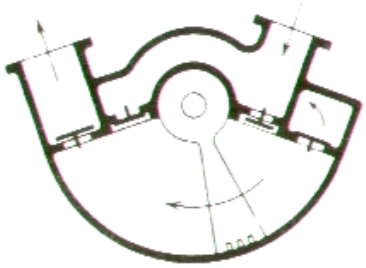
شکل ۱-۳- کمپرسور رفت و برگشتی



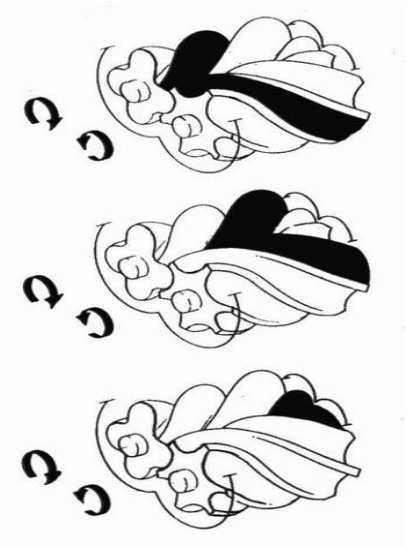
شکل ۱-۴- کمپرسور کارتلی



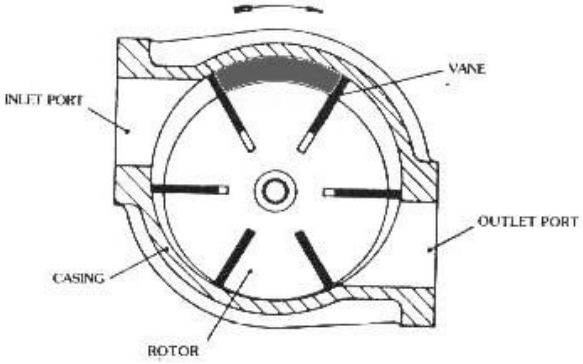
شکل ۱-۵- کمپرسور لایزلم



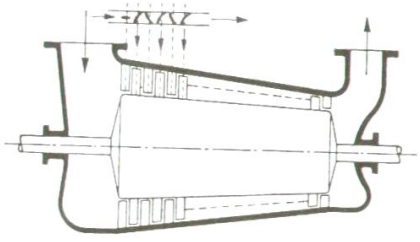
شکل ۱-۶- کمپرسور تیغه ای نوسانی



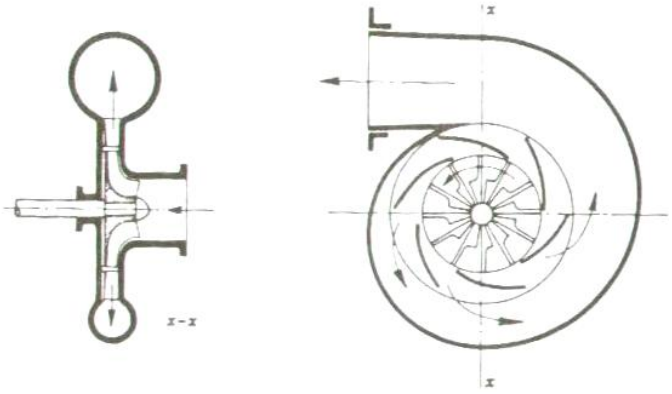
شکل ۱-۷- یک کمپرسور پیچشی



شکل ۱-۸- کمپرسور تیغه ای دورانی



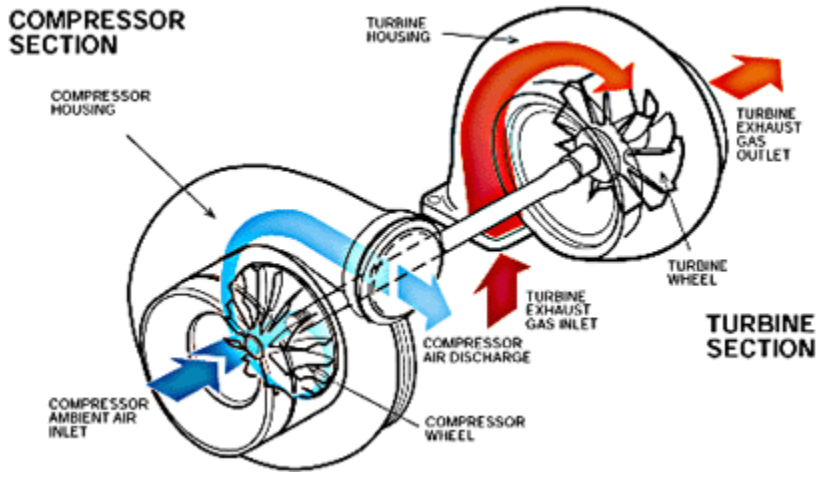
شکل ۱-۹- تصویر یک کمپرسور محوری



شکل ۱-۱۰- کمپرسور گریز از مرکز

۱-۲-۱- کمپرسور گریز از مرکز (سانتریفوژ)

کمپرسورهای گریز از مرکز، برای نسبت فشارهای زیاد و دبی های کم، مناسب اند. بازده کمپرسورهای گریز از مرکز کمتر از بازده کمپرسورهای محوری است ولی در هر طبقه، نسبت فشار بیشتری (حدودا ۴برابر) را می توانند، ایجاد کنند و جریان در آنها در محدود وسیعی پایدار است.
این نوع کمپرسور برای بازدهی بالا، باید در دور بالا کار کنند. بـه همـین دلیـل، مناسـب اسـت کـه از کمپرسورهای گریز از مرکز به جای کوپل کردن مستقیم به موتور(سوپرشارژر)، به تـوربین متصـل بـه گازهای اگزوز کوپل شوند(توربوشارژر).



شکل ۱-۱۱- نمایشی ساده از یک توربوشارژر

از طریق پره های کمپرسور، کار به سیال انتقال داده میشود. مقدار این کار را میتوان، به وسیله تغیرات سرعت و ممنتوم گازهای ورودی و خروجی به دست آورد. ممانی که پره به گاز وارد میکند، برابر تغیرات ممان زاویه ای است :

$$T = \dot{m}(r_2 C_{\theta_2} - r_1 C_{\theta_1}) \qquad (۲-۱)$$

نرخ انتقال کار برابر است با :

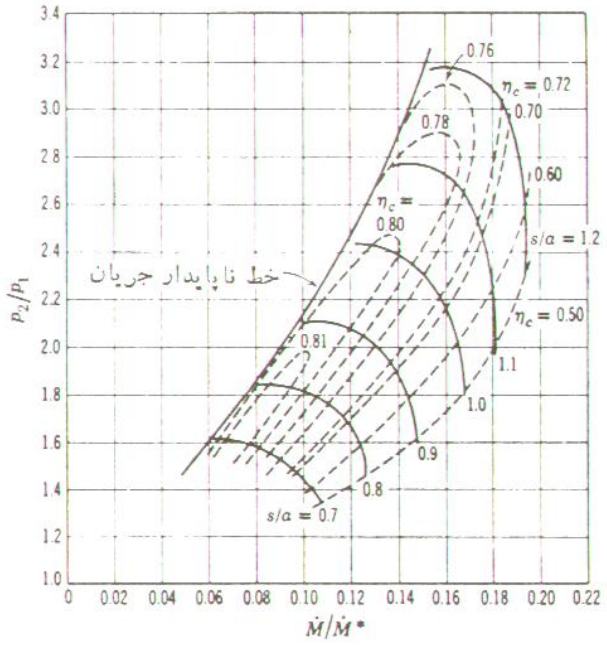
$$-\dot{W}_c = T_\omega = \dot{m}\omega(r_2 C_{\theta_2} - r_1 C_{\theta_1}) = \dot{m}(U_2 C_{\theta_2} - U_1 C_{\theta_1}) \qquad (۳-۱)$$

این رابطه،اویلر نام دارد. در کمپرسور، سرعت ورودی معمولا محوری است ($C_{\theta_1} = 0$). پس معادله اویلر را می توان به صورت زیر نوشت :

$$W / M = U_2 C_{\theta 2} = U_2(1-(C_{r2}/U_2)\cot\beta_2) \qquad (۴-۱)$$

که، C_1و C_2 به ترتیب سرعت مطلق گاز ورودی و خروجی، U_1و U_2 سرعت خطی پره و W_1 و W_2 سرعت گاز نسبت به پره است.

کمپرسورهای گریز از مرکز در سیستم های بزرگ تبرید، صنایع پتروشیمی و صنایع دیگر به کار گرفته می شوند.



شکل ۱-۱۲- مشخصه های کمپرسور گریز از مرکز

ساختمان کمپرسورهای گریز از مرکز : پره های این کمپرسورها عموما سه بعدی است. به عبارت دیگر در ابتدای پروانه، شکل پره ها پیچش زیادی دارد. سیال پس از عبور از نازل و پره های

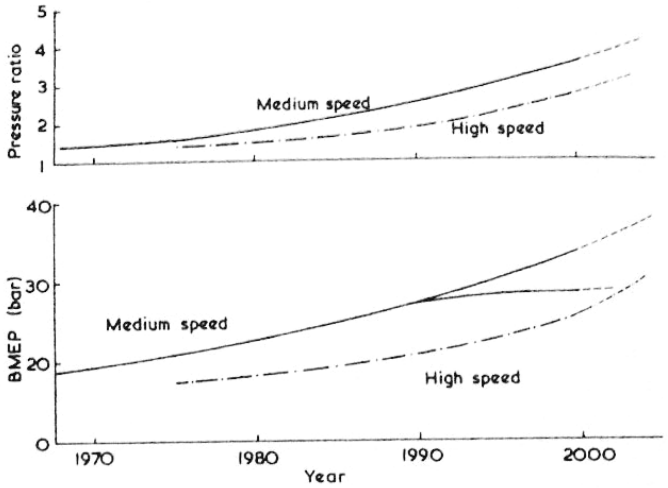
راهنما، به ناحیه سه بعدی پره ها وارد میشود و پس از عبور از پره هـای متحـرک، انـرژی آن افـزایش می یابد.

سیالی که در مقطع ورودی به پروانه نزدیک میشود، مـی توانـد دارای مولفـه چرخشـی سـرعت باشـد. سیال در ابتدای پروانه یک چرخش ۹۰ درجه ای خواهد داشت. در اکثر کمپرسورهای گریـز از مرکـز، بخش انتهایی پره ها متحرک مستقیم و در امتداد شعاع است. در پروانه های با سرعت زیـاد، بـه علـت وجود تنشهای زیاد، شکل پره ها در این قسمت مستقیم اند ولی در فـن هـا و پروانـه هـا کـه سـرعت خطی پره ها کم است، پره ها مستقیم نبوده، میتوانند به صورت محدب یا مقعر باشد.

در برخی از کمپرسورها، برای جلوگیری از نشـتی سـیال، لبـه پـره هـا توسـط یـک صـفحه پوشـانده می شود. ولی در بیشتر کمپرسورها برای راحتی ساخت و سایر مسایل، پروانه از نوع نیمه باز اسـت. بـا توجه به این که بر خلاف پره های گریز از مرکز، زاویه خروجی پره های متحـرک زیـاد اسـت. سـرعت مطلق سیال پس از خروج از پروانه زیاد بوده و این موضوع در ناحیه دیفیـوزر اهمیـت پیـدا مـی کنـد. سیال پس از خروج از ناحیه دیفیوزر، به قسمت جمع کننده حلزونـی شـکل وارد شـده و در نهایـت از کمپرسور خارج می شود.

۱-۳- توربوشارژینگ

از سال ۱۹۴۵ به علت پیشرفت متناوب در ساخت توربوشارژرها قدرت خروجی موتورهای دیزل در حال افزایش است، که این امر در موتورهای دریایی، ریلی و صنعتی مصداق بیشتری پیدا می کند. این افزایش قدرت در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۳- افزایش قدرت در موتورهای دیزل طی سالیان گذشته

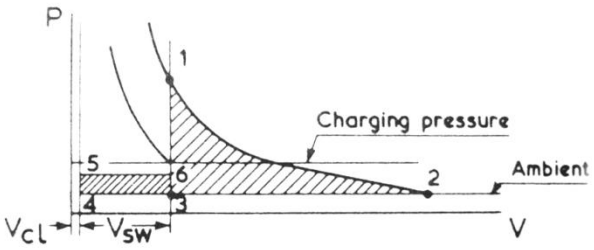
BMEP (فشار متوسط موثر ترمزی) به صورت کار خروجی به ازای حجم جابجایی یا حجم سیلندر تعریف می شود. IMEP (فشار متوسط موثر اندیکاتوری) ،فشار متوسطی است که از تقسیم مساحت نمودار اندیکاتوری بر حجم جابجایی سیلندر بدست می آید. در شفت خروجی موتور BMEP برابر است با IMEP منهای اتلافات اصطکاکی موجود در موتور.

بعضی از موتور هایی که در شکل ۱-۱۳ نشان داده شده است، BMEP آن ها سه برابر موتورهای موجود در سال ۱۹۶۰ می باشد. در شکل ۱-۱۳ افزایش سریع BMEP در طول سالیان گذشته نشان داده شده است، که مقدار آن تا ۳۰ بار رسیده است. با توجه به وضع قوانین جدید در مورد آلودگی های محیط زیستی و میزان مصرف سوخت و همچنین نسبت وزن به قدرت و اقتصادی بودن موتورها، استفاده از توربوشارژر در موتورهای دیزل رواج بیشتری یافته است. با توجه به این نمودارها می توان پیش بینی کرد تا سال ۲۰۲۰ مقدار BMEP تا ۳۵ بار افزایش پیدا کند. در حال حاضر موتورهای آزمایشگاهی به راحتی در فشار ۳۵ بار و فشارهای بالاتر از آن کار می کنند. البته در مورد این نوع از موتورها هیچ گونه محدودیت مکانیکی و حرارتی اعمال نمی شود. با توجه با این امر که کمپرسور توربوشارژرهای موجود با حداکثر نسبت فشار ۴ کار می کنند (که علت آن محدودیت های آیرودینامیکی و مکانیکی می باشد) افزایش بیشتر BMEP کار بیهوده ای به نظر می رسد. بعضی از تولید کنندگان بدون تغییر در سیستم توربوشارژر سعی در افزایش قابلیت اطمینان موتور خود در مقابل تنش های اعمال شده دارند، در عین حال بعضی دیگر به دنبال افزایش قدرت بوسیله استفاده از کمپرسورهای چند مرحله ای یا بهبود عملکرد تنها کمپرسور استفاده شده در موتور تولیدیشان می باشند. سرعت توسعه و گسترش افزایش BMEP در موتورهای کم سرعت و سرعت متوسط دیزل دو زمانه در ۵۰ سال گذشته با سرعت توسعه و گسترش قدرت در موتورهای چهار زمانه برابر بوده است. همچنین قابل ذکر است نسبت فشار تولیدی در توربوشارژرهای امروزی به میزانی می باشد که می توان آن ها را در موتور های دیزل دریایی یا صنعتی به کار برد.

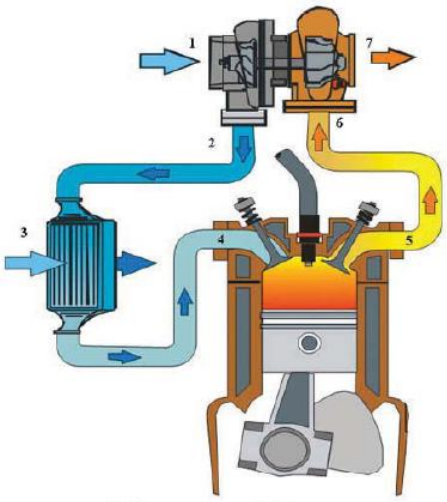
توربوشارژینگ یک نوع خاص از سوپرشارژینگ است، که در آن برای راندن کمپرسور از انرژی موجود در گازهای اگزوز استفاده می شود. بدست آوردن این انرژی بدون هزینه نیست، بلکه با استفاده از انرژی موجود در گازهای خروجی که در حالت معمول به هدر می روند، نیرویی برای رانش کمپرسور ایجاد می شود. در این حالت دیگر لازم نیست قدرت مورد نیاز کمپرسور از قدرت اندیکاتوری کسر شود.

انرژی ایده ال موجود در گازهای اگزوز در شکل ۱-۱۴ نشان داده شده است. این انرژی در موتورهای چهارزمانه شامل انرژی گاز در هنگام باز شدن سوپاپ دود به علت اختلاف فشار با محیط

(۳-۲-۱) و دیگری انرژی تولید شده بوسیله گاز به علت حرکت پیستون به سمت بالا و تخلیه گازهای احتراق(۶-۵-۴-۳) می باشد.



شکل ۱-۱۴- انرژی قابل دستیابی در سیکل تخلیه گازها



شکل ۱-۱۵- نمایش شماتیک کارکرد موتور تک سیلندر توربوشارژ

اولین تلاش ها برای استفاده از انرژی گازهای خروجی اگزوز در موتور به صورت توربوشارژر به وسیله بوشی در سال ۱۹۰۵ انجام شد. ولی این تلاش ها در سال ۱۹۲۵به نتیجه رسید و اولین توربوشارژرها ساخته شدند. در آن زمان سیستم توربوشارژر یک دستگاه کاملا جدا و بدون هیچگونه ارتباط مکانیکی با موتور همراه بود و فقط با استفاده از منیفولدهای هوا در ورودی و منیفولدهای دود در خروجی موتور با آن در ارتباط بودند، که این رابطه تا به امروز نیز حفظ شده است.

شاید به نظر برسد که توربین موجود در سیستم توربوشارژر باعث کاهش راندمان کلی موتور شود (به علت ایجاد فشار مزاحم در هنگام تخلیه گاز)، ولی فشار تولیدی توسط کمپرسور توربوشارژر به آن

میزان می باشد که فشار موجود در سیلندر پس از احتراق بیشتر از فشار اگزوز باشد، تا تخلیه به بهترین صورت ممکن انجام شود و در این حالت سیکل های تنفس و تخلیه بهبود می یابند.

در سال ۱۹۴۰ با ساخت توربین گازی برای هواپیماهای جت گام بزرگی برای تولید توربوشارژرها برداشته شد و مواد استفاده شده در توربین ها و کمپرسورها قابلیت تحمل بیشتری در مقابل دماها و فشارهای بالا پیدا کردند. پیشرفتی که در نمودارهای شکل ۳-۱ دیده می شود به علت دلایل ذکر شده در بالا می باشد.

۱-۳-۱- راندمان موتوردر حالت توربوشارژ

هدف از توربوشارژ کردن افزایش قدرت وکاهش هزینه های موتور است. توربوشارژر به صورت مکانیکی به موتور متصل نمی شود، پس به موتور اتلافات اصطکاکی اعمال نمی کند. در واقع توربوشارژر فقط جرم هوای ورودی به موتور را افزایش می دهد و باعث احتراق بهتر سوخت می شود، ولی درمورد افزایش راندمان کاری انجام نمی دهد. در واقع امکان اینکه توربوشارژر راندمان را افزایش دهد وجود دارد، ولی مقدار آن بسیار کم است.

به طور مثال یک موتور تنفس طبیعی و همان موتور را به صورت توربوشارژر شده تقریبا با دو برابر قدرت اندیکاتوری حالت اول در نظر بگیرید. همانطور که می دانید اتلافات اصطکاکی بیشتر به سرعت موتور بستگی دارند تا به بار وارده به آن، پس قدرت تلف شده در هر دو موتور برابر می باشد. اگر قدرت اندیکاتوری و اصطکاکی را در هر دو موتور از هم کم کنیم، خواهیم دید که قدرت ترمزی موتور توربوشارژ شده تقریبا دو برابر موتور تنفس طبیعی است. پس در حال حاضر می بینیم که موتور توربوشارژ شده با دو برابر قدرت و حجم مساوی با موتور اولیه، راندمان قابل توجهی دارد.

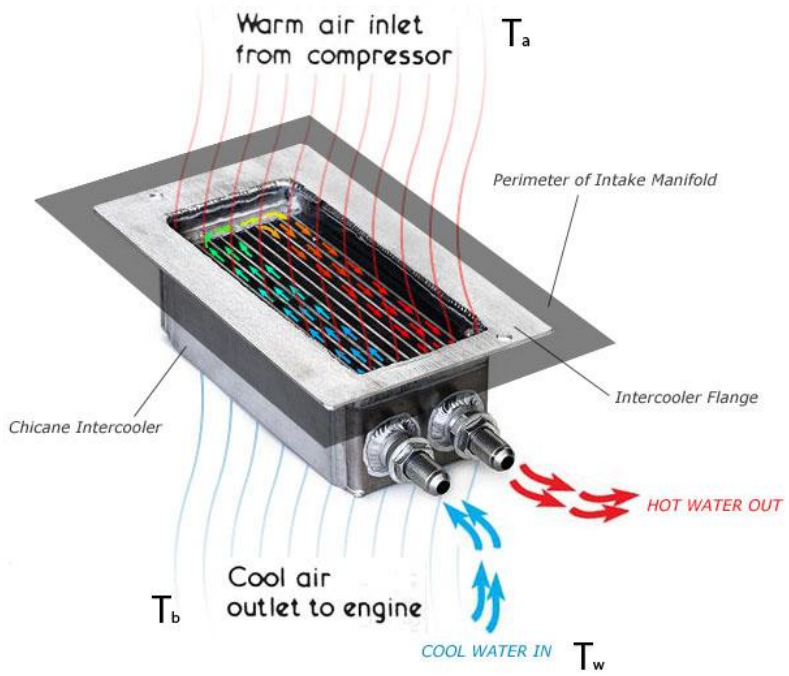
۱-۴- تاثیرخنک کاری هوای ورودی بر روی عملکرد توربوشارژر :

تراکم گاز در یک کمپرسور آدیاباتیک با افزایش دما همراه است. این افزایش دما به نسبت فشار و راندمان کمپرسور بستگی دارد. دمای بالای گاز در ورودی باعث افزایش دمای احتراق و افزایش بار حرارتی به موتور و افزایش دمای گازهای خروجی از موتور دارد. این بالا رفتن دما در تمام مراحل سیکل کارکرد موتور هزینه هایی شامل استهلاک سریعتر قطعات و استفاده از قطعات مرغوبتر را در پی دارد. هر عاملی که باعث کاهش دمای ورودی شود، باعث افزایش چگالی و افزایش جرم هوای ورودی به سیلندر نیز می شود. بنابراین کاهش دمای ورودی باعث احتراق بهتر و قدرت خروجی بیشتر و کاهش هزینه های اولیه ی ساخت موتور و هزینه های ثانویه ناشی از استهلاک موتور می شود. تا هنگامی که دمای هوای خروجی کمپرسور بیشتر از دمای محیط باشد، با استفاده از یک مبدل حرارتی ساده می توان دما را تا دمای محیط کاهش داد. این مبدل می تواند هوا خنک یا آب خنک باشد (به طور مثال می تواند از سیستم خنک کننده موتور نیز استفاده کرد). چون این خنک کن بین کمپرسور و موتور قرار دارد به آن خنک میانی نیز می گویند. بازدهی یک خنک کن میانی بوسیله رابطه ی زیر محاسبه می شود :

(۵-۱)

$$\varepsilon = (T_{2a} - T_{2b})/(T_{2a} - T_W)$$

عبور از خنک کن میانی مقداری افت فشار را برای گاز در پی دارد، ولی به علت افزایش چگالی گاز پس از خنک کاری و افزایش قدرت در پی افزایش چگالی، این افت فشار قابل اغماض است.



شکل ۱-۱۶- تاثیر خنک کن میانی بر دمای ورودی

با مقایسه موتور دارای خنک کن میانی و موتور بدون خنک کن میانی (هر دو بدون تغییر در میزان سوخت پاشی می باشند)، واضح است که در موتور دارای خنک کن میانی دمای ورودی به منیفولد کاهش پیدا می کند در نتیجه بعلت افت دمای نهایی، انتقال حرارت داخل سیلندر کم می شود و جریان هوا افزایش پیدا می کند و نسبت سوخت به هوا ضعیف می شود و در پی آن دمای ورودی به توربین کم می شود. پس انرژی قابل دستیابی در توربین کم می شود و در پی آن افزایش فشار در سیلندر کاهش پیدا می کند ولی با این حال اثر افزایش چگالی از اثر کاهش فشار به علت اصطکاک با بدنه خنک کن و کاهش فشار ورودی به علت افت دمای توربین، بیشتر است.

شکل ۱-۱۷- یک نمونه خنک کن میانی ساخت شرکت Garret

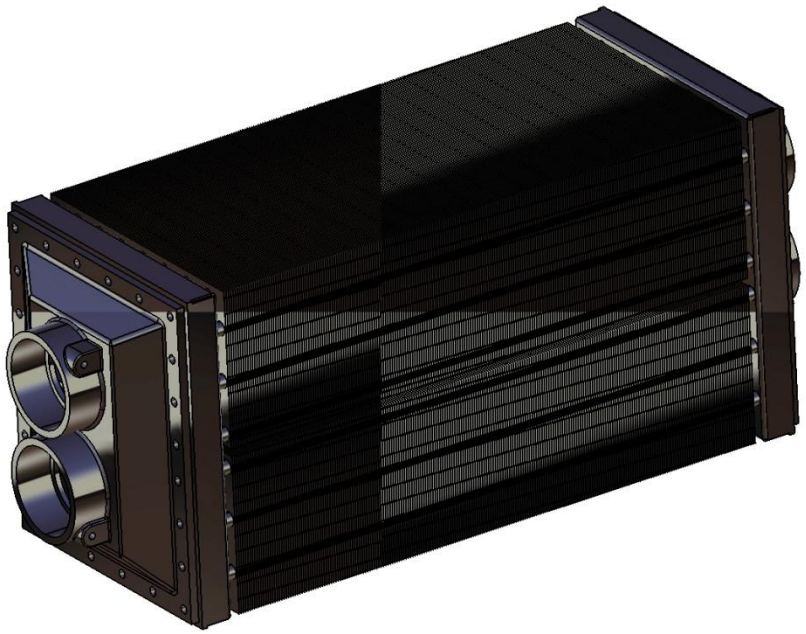
مزایای استفاده از خنک کن میانی بر همگان روشن است ولی شرایط استفاده از آن بستگی به وجود مایع خنک کننده با دمای مناسب و ملاحظات اقتصادی دارد. در موتورهای نسبتا قوی استفاده از خنک کن میانی توجیه اقتصادی دارد. به طوری که سازندگان موتور، سه خط اصلی تولید دارند که یکی از آنها تنفس طبیعی است، یکی توربوشارژر و یکی توربوشارژ شده به همراه خنک کن میانی می باشد.

فصل دوم : مدلسازی و بررسی اینترکولرها

مقدمه

در این تحقیق موتور مورد آزمایش تحت سه نوع چیدمان مورد آزمایش قرار می گیرد و رفتار و خروجی های آنها با هم مقایسه می شوند. ابتدا موتور توربوشارژ شده بدون اینتر کولر سپس به همراه اینترکولر استاندارد و سپس به همراه اینترکولر بازبینی شده مدلسازی شده و نتایج مدلسازی با هم مقایسه می شوند.

برای مدلسازی دقیق موتورها ابتدا باید اینترکولرها مدلسازی شده و میزان انتقال حرارت و افت فشار و دیگر مشخصات هوای خروجی از آنها مشخص شوند. برای اینکار از نرم افزار فلوئنت استفاده شده است. شکل اینترکولر استاندارد در شکل شماره ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل۲-۱- مدل سازی اینترکولر اصلی در نرم افزار کتیا

۲-۲- کلیات شبیه سازی

شبیه سازی با استفاده از نرم افزارهای شبیه ساز مراحل خاصی دارد که می بایست یک به یک اجرا شود تا در نهایت نتایج موردنظر حاصل شود. این مراحل به ترتیب عبارتند از:

۱- تولید هندسه مورد نظر

۲- شبکه بندی یا مش

۳- اعمال شرایط مرزی یا اولیه

۴- حل با استفاده از روش‌های عددی موجود

- شبکه بندی با استفاده از نرم افزار تولید شبکه

۲-۳- ساخت شبکه

هندسه رسم شده در نرم افزار کتیا را با فرمت STP.* وارد نرم افزار Gambit می کنیم. روش‌های بسیار متنوعی برای شبکه‌بندی وجود دارد. برخی از این روش‌ها باسازمان[۱] و برخی دیگر بی‌سازمان[۲] هستند. که در این مساله از شبکه با سازمان که دارای کیفیت بالاتری برای حل می باشد استفاده شده است.

اطلاعات شبکه تولید شده به شرح ذیل می باشد.

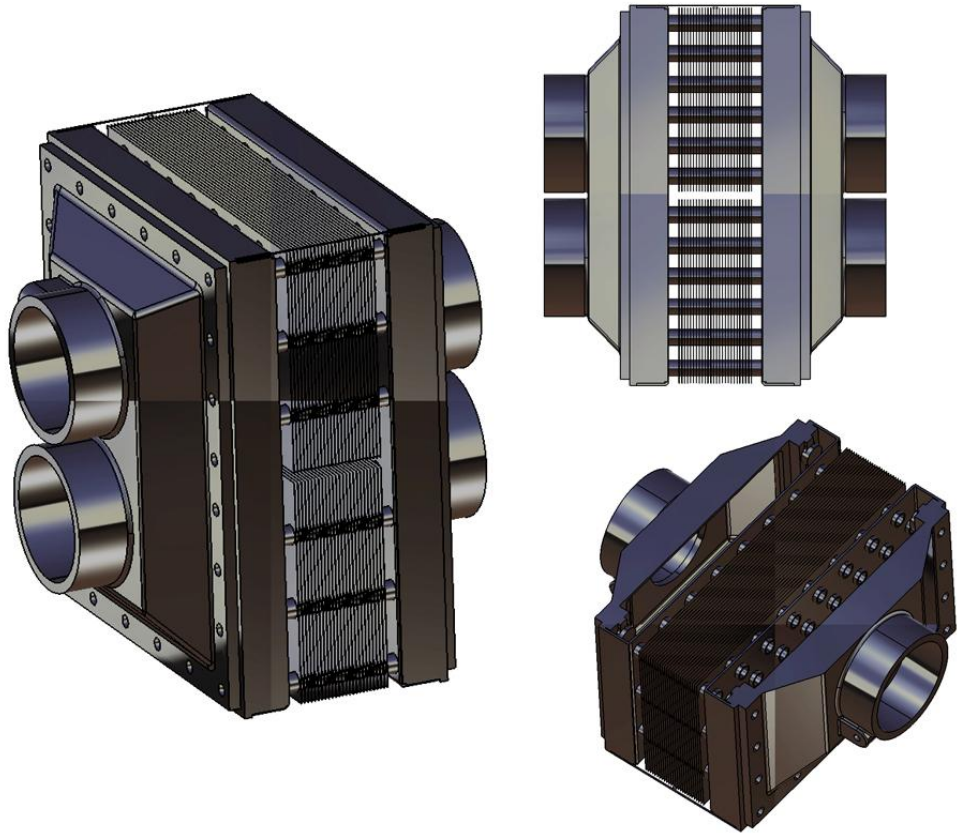
تعداد سلول ها	تعداد سطوح	تعدا گره ها
۱۰۷۱۴۸۴	۲۵۵۹۹۹۶	۷۲۰۳۰۰

جدول ۲-۲- اطلاعات کمی تولید شبکه

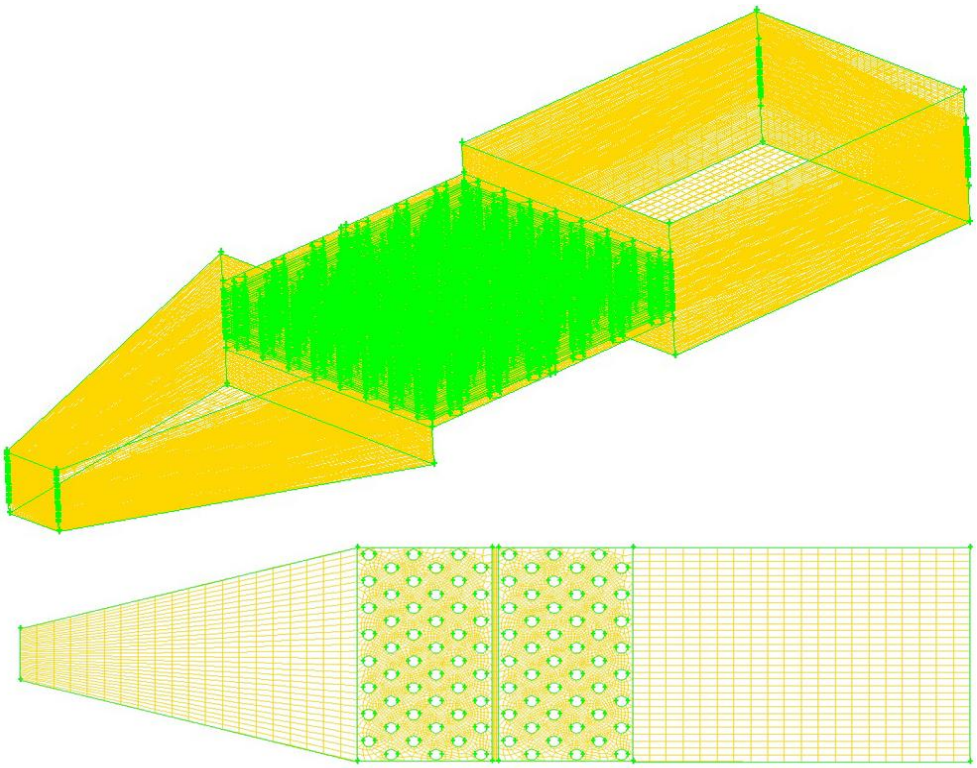
پس از آن که مدل وارد شده به GAMBIT، ویرایش و حجمی مناسب برای تولید شبکه از آن ایجاد شده، می توان شبکه‌ای با خصوصیات مورد نظر بر روی آن تولید کرد. در حالت کلی می‌توان حجم ایجاد شده را با روش‌های متفاوتی شبکه‌بندی کرد. نرم‌افزار GAMBIT گزینه‌های متفاوتی برای انواع شبکه‌بندی باسازمان و بی‌سازمان در بر دارد. به عنوان مثال، می‌توان برای تولید شبکه باسازمان روش شبکه بندی Map که از عنصرهای شش وجهی برای تولید شبکه حجمی استفاده می‌کند و برای تولید شبکه بی‌سازمان روش شبکه‌بندی TGrid که از عنصرهای چهار وجهی استفاده می‌کند را نام برد.

در ضمن به علت اینکه شبکه بندی اینترکولر اصلی با ۲۳۰ عدد پره بسیار مشکل و زمان بر می باشد، با استفاده از تشابه هندسی ،از مدلی یکسان با حجم خنک کاری یکدهم استفاده شده است، در این مدل پره ها با همان اندازه اصلی ولی با تعداد ۲۳ عدد پره مدل شده اند.

۱-Structured
۲-Unstructured



شکل ۲-۳-اینترکولر مدل شده با مقیاس یکدهم در نرم افزار کتیا



شکل ۲-۴- نمایش شبکه بندی در نرم افزار Gambit از دو نما