



بخش اول : تاریخچه



– تاریخچه موتورهای جت

باربر در سال 1691 برای اولین بار اختراعش را در انگلستان ثبت می نماید. طرح پیشنهادی وی شامل سوزاندن گازهای حاصل از چوب یا ذغال سنگ در محفظه ای با نسبت صحیح هوا و هدایت این گاز از طریق مجرای هم گرایی به درون پرهای توربین بوده است.

ترنر فرانسوی در سال 1853 رساله ای ارائه می دهد که شامل ساخت بادبزنهایی است که به صورت چند مرحله پشت سر هم بر روی یک محور سوار شده و ثابت می کند هوای فشرده شده در این بادبزن ها می تواند در محفظه احتراق گرم شود و سیال گرم و فشرده در صورت عبور از مجرای همگرا به سرعتش افزوده می شود و با استفاده از آن می توان توربین را به حرکت درآورد.

استولز آلمانی در سال 1872 کلیه تئوریهها و طرح های ارائه شده را به بوته آزمایش و عمل می گذارد و نام ماشینش را (**توربین آتش FIRE-TUREBINE**) می گذارد. ماشین وی شبیه ترین ماشین ساخته شده به توربین های گازی امروزی می باشد و شامل کمپرسور، محفظه احتراق و توربین بوده است. با وجود اینکه این ماشین راندمان بالایی نداشت ولی اولین گام صحیح در طراحی توربین های گازی جریان دائمی محسوب می شود.

پارسون دانشمند ترمودینامیک در سال 1884 اختراعی ثبت می نماید که به گفته خودش اولین قدمها را در طراحی کمپرسورهای با راندمان بالا برداشته است. او کار خود را بر روی کمپرسورهای محوری متمرکز کرده بود

کاراودین در فرانسه در سال 1906 با استفاده از توربین انفجاری ماشینی اختراع می کند که توانی برابر 2 اسب بخار تولید می کرد. مخلوط هوا و سوخت پس از ورود به محفظه احتراق توسط جرعه شمع منفجر شده و در خروج از نازل با توربین برخورد کرده آن را می چرخاند. فشار منفی به وجود آمده در محفظه احتراق پس از انفجار باعث باز شدن مجدد شیرهای هوا و سوخت شده، هوا و سوخت مجدداً به محفظه احتراق وارد شده و این فرآیند تکرار می شد.

آرمیناد و لی مال در سال 1905 موتور توربینی کوچکی را در پاریس به کار انداختند. ماشین آنها توانی برابر 25 اسب بخار تولید می کرد.

هولزورت آلمانی در سال 1908 توربین انفجاری کوچکی را می سازد که راندمان بسیار خوبی داشت و باعث شد تا شرکت **کورتسینگ** برای ساخت نمونه ای بزرگتر که توان تولید 1000 اسب بخار قدرت داشت سرمایه گذاری کند. اما ماشین فوق بیش از 200 اسب بخار توان تولید نکرد.

دکتر مایر در سال 1933 به کمک کمپانی **براون باوری** پر راندمان ترین توربین های گازی را طراحی و در صنایع مختلف جهت ایجاد انرژی مکانیکی نصب کردند. تا این زمان بسیاری از آلیاژهای مقاوم به حرارت کشف شده و دانش آئرودینامیک به واسطه گسترش صنعت هواپیماسازی به عنوان یک عامل مهم در طراحی کمپرسورهای محوری به کار گرفته شدند.

دکتر سان فورد موس تحقیقات زیادی بر روی توربین های گازی انجام داده لیکن موفق ترین اختراع ایشان طرح سوپرشارژرها برای موتورهای پیستونی هواپیما می باشد.

فرانک ویتل انگلیسی از اولین دانشمندانی بود که توربین گازی را برای کاربرد در هواپیما طراحی کرده و ساخته است. وی در سال 1930 با طراحی یک مرحله کمپرسور گریز از مرکز و اتصال محوری آن به یک مرحله توربین بخش دوار موتور را به وجود آورد. این موتور حدود 1000 پوند نیرو رانش (Thrust) تولید می کرد و بر روی هواپیمای **گلاستر** نصب و توسط خلبانی به نام **سایر** پرواز نمود (1941).

هانزون اوهان آلمانی همزمان با **ویتل** در سال 1936 موتوری با 1100 پوند نیروی رانش (Thrust) ساخت و در سال 1939 بر روی هواپیماهای **HE 178** و **ME 262** نصب شده و به پرواز درآمد.

بخش دوم :

انواع و اصول کارکرد موتورهای پیشرانشی

- اصول کارکرد موتورهای جت

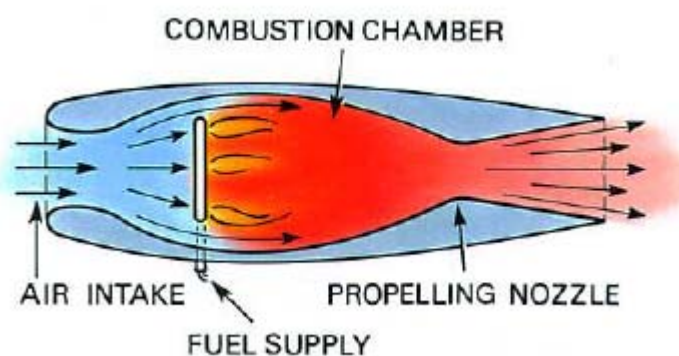
- انواع موتورهای جت

- قسمت های اصلی موتور جت

۱-۲- اصول کارکرد موتورهای جت

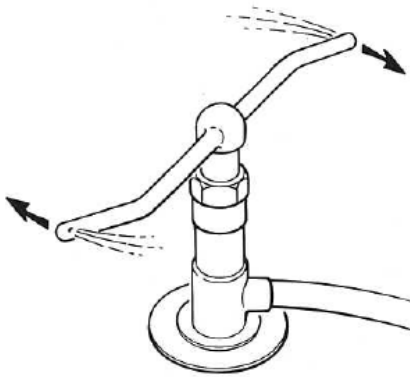
موتورهای جت یکی از موتورهای حرارتی درون سوز است که عمل تبدیل انرژیها به یکدیگر در داخل موتور صورت گرفته و قدرت تولید می کند. به طور خیلی ساده موتور جت را می توان مانند یک سیستم دانست که از یک طرف هوا وارد می شود و سپس این هوا با مقداری سوخت ترکیب شده و می سوزد و بالاخره به صورت گازهایی که دارای سرعت زیادی هستند از طرف دیگر خارج می گردد. در حقیقت با این کار به هوای عبوری از سیستم شتاب داده می شود و چون دارای جرم است یک نیرو در جهت عقب تولید می شود. طبق قانون سوم نیوتن (عمل و عکس العمل) نیرویی

مساوی ولی در جهت مخالف (به سمت جلو) تولید می گردد که این نیرو را نیروی جلو برنده (Thrust) می گویند، (شکل ۱-۲). اختلاف موتورهای جت و پیستونی ملخ دار در این است که در ملخ به مقدار زیادی هوا شتاب کمی داده می شود. ولی در موتورهای جت به مقدار کمی هوا شتاب زیادی داده می شود و نیروی جلو برنده ناشی از هر کدام از آنها سبب حرکت هواپیما می شود.



شکل ۱-۲: موتور جت

شاید ساده ترین مثال در این مورد بادکنک پر از بادی باشد که دهانه آن باز شده و در هوا رها می گردد و خروج هوای فشرده از آن و عکس العمل ناشی از این کار بادکنک را در جهت دیگر هدایت می کند و یا مثلاً چرخیدن فواره آب پاش در اثر عکس العمل ناشی از خروج آب از آن (شکل ۲-۲) .



شکل ۲-۲: چرخش فواره در اثر عکس العمل خروج آب

کلمه جت (Jet) به معنی بیرون فرستادن سیالات (مایعات یا گازها) از یک مجرای معین با سرعت خیلی زیاد بوده و عکس العمل این کار یا (Jet Reaction) در حقیقت یک پدیده داخلی است. بدین معنی که علت تولید نیروی عکس العمل، برخورد سیالات با اتمسفر نیست بلکه به سبب شتاب دادن به جریان سیالی است که به مجرا داخل شده و از خروجی با سرعت خیلی زیاد خارج می گردد. این نیروی جلو برنده متناسب با جرم گازهای خروجی از موتور و سرعتی است که به این گازها داده می شود.

۲-۲- انواع موتورهای جت

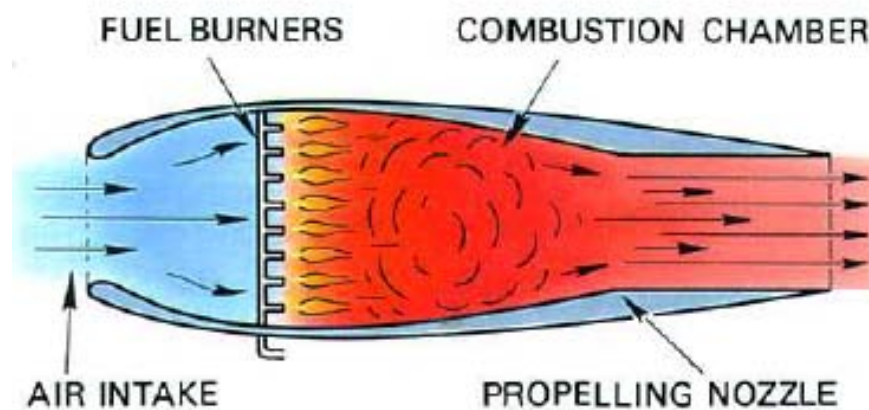
۲-۲-۱- موتورهای بدون قطعات گردان

(Jet Engines without Rotating Parts)

در این موتورها هیچ قطعه گردانی وجود نداشته و به صورت لوله آیرودینامیکی مخصوص ساخته می شود.

موتورهای رم جت:

در دهانه این موتورها یک مجرای واگرا قرار دارد. هنگامی که به این موتور سرعت اولیه داده شود هوا از مجرای واگرا عبور کرده ، سرعتش کم و فشارش زیاد می شود. در این هنگام توسط سیستم سوخت پاش مقدار متناسبی سوخت با هوای ورودی مخلوط گشته و سپس در محفظه احتراق (Combustion Chamber) توسط جرقه شمع (igneter) عمل احتراق صورت می گیرد و مخلوط می سوزد. در اثر سوختن انرژی حرارتی زیادی تولید می شود و با عبور این گازها از مجرای خروجی که به شکل همگرا یا همگرا- واگرا (Convergent-Divergent Duct) می باشد، از موتور خارج شده و سرعتش به مقدار خیلی زیاد افزایش می یابد. چون این موتورها برای روشن شدن نیاز به سرعت اولیه دارند و در حالت سکون روشن نمی شوند به عنوان موتور اصلی هواپیما استفاده نمی شوند بلکه از آن به عنوان موتور کمکی برای هواپیماهای با سرعت زیاد استفاده می شود. به واسطه رفتار این موتور کمترین مصرف سوخت در سرعتهای مافوق صوت بدست می آید. (شکل ۲-۳).

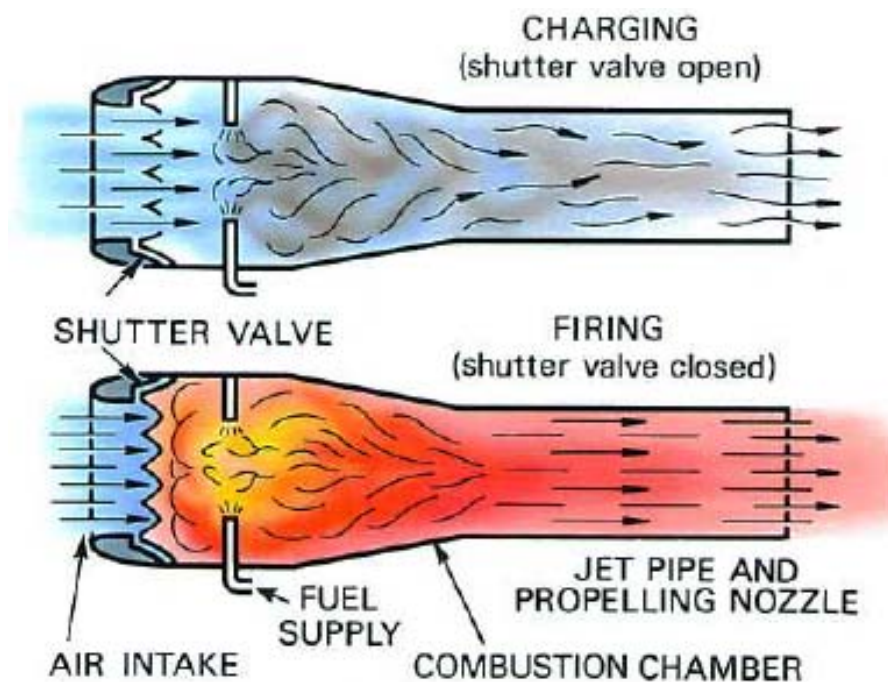


شکل ۲-۳: موتور رم جت

موتور پالس جت (pulse Jet engine):

این موتور از خاصیت احتراق نوبتی استفاده کرده و بر خلاف موتور رم جت در حالت سکون هم می توان آن را روشن کرد. این موتور به شکل یک لوله آیرودینامیکی ساخته شده و در دهانه ورودی آن دریچه هایی یک طرفه (Shutter Valves) وجود دارد. وقتی مقداری هوا به داخل موتور کشیده می شود با اضافه کردن سوخت به آن و سوزاندن مخلوط، فشار گازهای تولید شده در محفظه احتراق بالا رفته و این کار سبب بسته شدن دریچه ها می گردد و گازها به ناچار از طریق مجرای عقب موتور به خارج فرستاده شده و عکس العمل این کار نیروی پیشران تولید می کند و

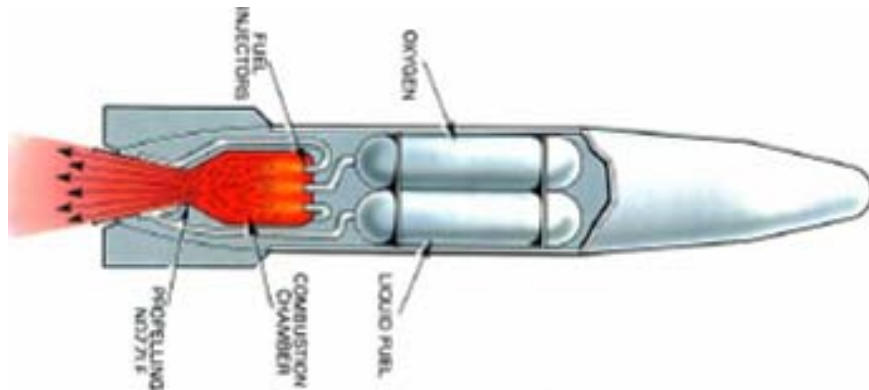
به علت خروج گازها، افت فشاری در پشت دریچه ها بوجود می آید و باعث باز شدن مجدد آنها و آغاز سیکل دیگری می گردد. (شکل ۲-۴)



شکل ۲-۴: موتور پالس جت

موتورهای راکت سوخت مایع:

این موتور جهت احتراق از هوای اتمسفر استفاده نمی کند، بلکه همراه خودش مقداری اکسیدکننده، ذخیره دارد. ماده اکسید کننده با سوخت ترکیب شده و ماده قابل اشتعالی را به وجود می آورد. بدین دلیل این موتور قادر است در خارج از اتمسفر زمین نیز مورد استفاده قرار گیرد. (شکل ۲-۵)



شکل ۲-۵: موتور راکت

۲-۲-۲- موتورهای جت با قطعات گردان

(Jet engines with Rottating Parts) :

این موتورها دارای دو قطعه اصلی گردان هستند که یکی از آنها **کمپرسور (Compressor)** و دیگری **توربین (Turbine)** می باشد. این گونه موتورها دارای توربین بوده و برای چرخاندن توربین از انرژی حرارتی گازها استفاده می شود. این موتورها به موتورهای (GasTurbine engines) معروفند.

کمپرسور مقداری هوا را از طریق مجرای ورودی موتور به داخل آن کشیده و فشار آن را افزایش می دهد. هوای فشرده وارد محفظه احتراق شده و سپس با سوخت مناسب ترکیب می شود. پس از احتراق گازها دارای انرژی حرارتی زیادی می گردند. گازها پس از خروج از محفظه احتراق به توربین برخورد کرده و آن را می چرخاند توربین توسط یک محور (shaft) به کمپرسور متصل است و باعث چرخش کمپرسور می گردد، در این قسمت مقداری از انرژی گازها گرفته شده و صرف گرداندن کمپرسور می شود. گازهای خارج شده از توربین وارد قسمت بعدی موتور یعنی **لوله اگزوز (Exhaust Pipe)** می گردد و با سرعت زیاد از موتور خارج می شود و به این وسیله نیروی پیشران تولید می کند.

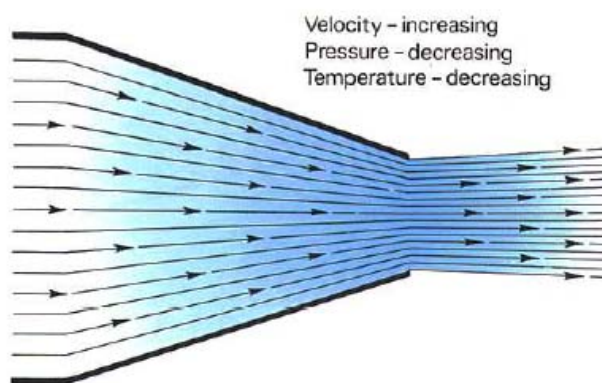
۲-۳- قسمت‌های اصلی موتور جت

۲-۳-۱- مجرای ورود هوا (Air Inlet Duct) :

طرح مجرای ورودی هوا در موتورهای جت توربین دار نقش بسزایی داشته و تاثیر مهمی بر کارایی موتور دارد. وظیفه آن کنترل مقدار هوای ورودی به موتور در شرایط مختلف هواپیما (ارتفاعات سرعت و شرایط جوی گوناگون) می باشد. در صورتی که سرعت هواپیما کمتر از سرعت صوت باشد مجرای ورودی هوا واگرا (Divergent) و در صورتی که سرعت هواپیما از سرعت صوت بیشتر باشد مجرا به شکل همگرا – واگرا (Convergent - Divergent (Duct ساخته می شود تا بتواند سرعت هوا را کاهش داده فشار آن را افزایش دهد.

- مجرای همگرا (convergent Duct)

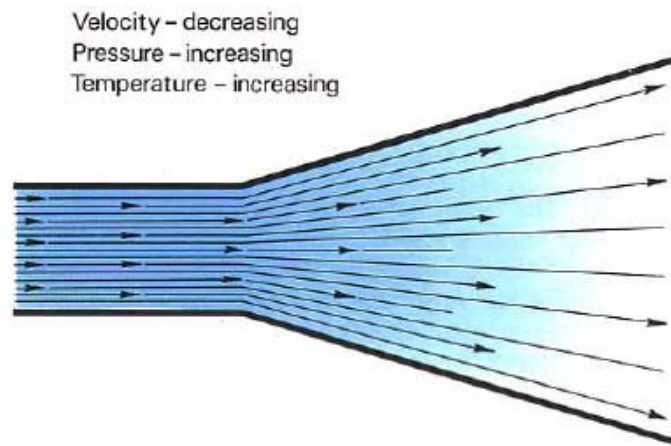
دهانه ورودی این مجرا از دهانه خروجی آن بزرگتر می باشد. هر گاه هوایی با فشار و سرعت معین (سرعت کمتر از صوت) از آن عبور کند به مرور سرعتش زیاد شده و طبق قانون برنولی فشارش کم می گردد. این مجرا انرژی فشاری (پتانسیل) را به انرژی جنبشی (سرعت) تبدیل می کند. در این نوع مجرا درجه حرارت سیال کاهش می یابد.



شکل ۲-۶: مجرای همگرا

مجرای واگرا (Divergent Duct):

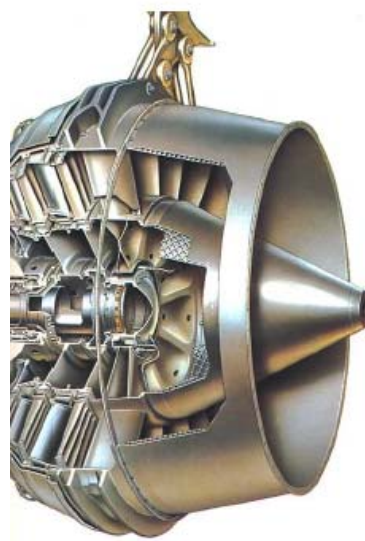
دهانه ورودی این مجرا از دهانه خروج آن کوچکتر است. هر گاه هوایی با فشار و سرعت معین (سرعت کمتر از صوت) از آن عبور کند به مرور سرعتش کم شده و فشارش افزایش می یابد. این گونه مجراها در جاهایی استفاده می گردد که هدف زیاد کردن فشار هوا و کاهش سرعت آن باشد و دمای هوای عبوری از این مجرا به مرور زیاد می شود.



شکل ۲-۷: مجرای واگرا

۲-۳-۲ - کمپرسور (Compressor):

وظیفه کمپرسور فشرده کردن هوا و افزایش فشار هوا برای ورود به محفظه احتراق می باشد و بر حسب ساختمان و نحوه تراکم هوای عبوری از آن به دو دسته تقسیم می شوند.



شکل ۲-۸: کمپرسور

کمپرسورهای دیسکی (centrifugal flow compressors):

این نوع کمپرسور دارای دیسکی است که بر روی آن تیغه‌هایی تراشیده شده، به صورتی که مجرای بین آنها واگراست. اصطلاح (centrifugal flow) به این دلیل است که جریان هوا در امتداد شعاع دیسک و در جهت نیروی گریز از مرکز (که در اثر چرخیدن دیسک تولید می‌شود) می‌باشد. این دیسک که (Impeller) نامیده می‌شود توسط یک توربین به محور متصل است و با آن می‌چرخد. در اثر چرخش دیسک، هوا از طریق مرکز آن به داخل تیغه‌ها مکیده می‌شود و چون مجرای موجود بین دو تیغه به صورت واگراست هوا در حین عبور از بین آنها فشارش زیاد و سرعتش کم می‌شود. ولی با توجه به اینکه خود دیسک در حال چرخش است به هوا انرژی جنبشی داده و سرعت آن را نیز افزایش می‌دهد. هوا پس از عبور از این قسمت وارد قسمت دیگری به نام **پخش‌کننده (Diffuser)** می‌شود. این قسمت از تیغه‌های ثابتی تشکیل شده است که مجرای بین آنها واگرا بوده و دور تا دور Impeller قرار گرفته‌اند. در این قسمت مجدداً فشار هوا زیاد شده و سرعت آن کم می‌گردد، به طوری که تقریباً 50 درصد افزایش فشار در Impeller و بقیه در Diffuser صورت می‌گیرد. کمپرسورهایی که دارای یک دیسک و یک Diffuser هستند، در یک مرحله افزایش فشار انجام داده و به **Single Stage** معروفند. در بعضی از موتورها عمل فشردگی در دو مرحله انجام می‌گیرد و هوا پس از عبور از یک دیسک به دیسک دیگر وارد می‌شود و سپس وارد محفظه احتراق می‌گردد. این نوع کمپرسورها به **Double Stage** معروفند.

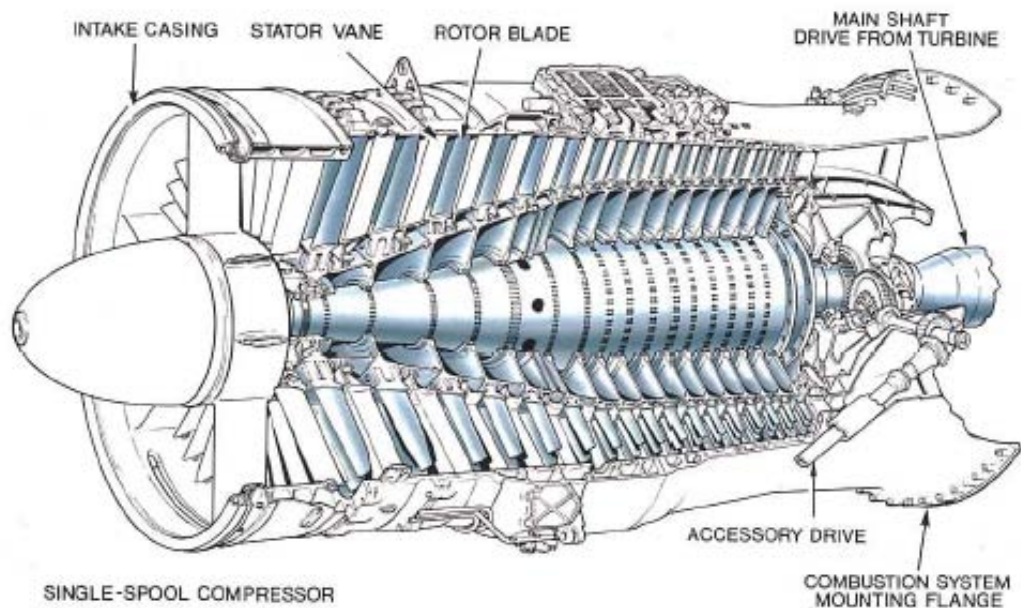


شکل ۲-۹: کمپرسورهای دیسکی

کمپرسور محوری (Axial flow compressor):

هر گاه جهت جریان هوای عبوری از کمپرسور موازی شفت موتور باشد آن کمپرسور جریان محوری (Axial flow) به هوا داده و به کمپرسور تیغه ای معروف است. این کمپرسور از چند ردیف تیغه های ثابت و گردنده تشکیل شده است. اولین ردیف آن مربوط به تیغه های گردنده (Rotor Blades) است که معمولاً بر روی محیط خارجی یک دیسک سوار شده اند و ردیف بعدی تیغه های ثابت (Stator Blades) است که از داخل بر روی پوسته موتور نصب شده اند و به همین صورت ردیف های بعدی. اصطلاحاً یک ردیف تیغه های روتور (Rotor) و استاتور (Stator) را با هم (Stage) کمپرسور گویند.

نحوه کار کمپرسورهای تیغه ای به این صورت است که هوا در هنگام ورود به کمپرسور به تیغه های ثابتی می رسد که آنها را (Inlet Guide Vanes) یا (IGV) گویند. این تیغه ها تحت زاویه ای معین، هوا را به اولین (Stage) کمپرسور که با تیغه های گردنده شروع می شود هدایت می کنند. هر تیغه (IGV) با چرخش جزئی حول محوری در محل خود می تواند تغییر زاویه داده و می تواند در شرایط مختلف کار موتور، مقدار هوای ورودی به کمپرسور را کنترل کند. چون مجرای بین دو تیغه مجاور روتور واگراست، بنابراین هوای عبور از بین این تیغه ها فشارش زیاد می شود و چون دیسکی که این تیغه ها بر روی آن سوار است با سرعت زیاد در حال چرخش است، این کار انرژی جنبشی به هوا داده و سرعتش نیز زیاد می گردد. پس از عبور از تیغه های گردنده هوا وارد تیغه های ثابت می شود مجرای بین تیغه های Stator نیز واگرا بوده ولی چون ثابت است فشار هوا را زیاد و سرعت آن را کم می کند و به این ترتیب در هر Stage فشار افزایش می یابد. در هر Stage افزایش فشار معمولاً $0/1$ تا $0/2$ فشار هوا در Stage قبلی است. در کمپرسور دمای هوا افزایش یافته و حجم آن کاهش می یابد، به این دلیل مجرای کلی کمپرسورها به صورت همگراست.



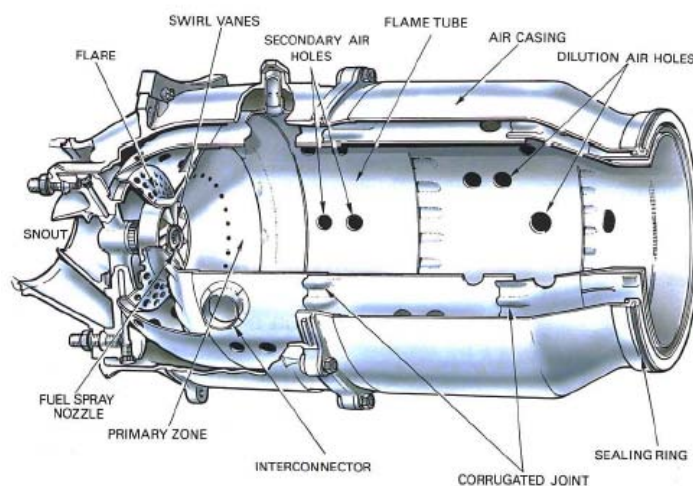
شکل ۲-۱۰: کمپرسور محوری

۲-۳-۳- محفظه احتراق (Combustion Chamber):

هوای فشرده شده پس از خروج از کمپرسور و دیفیوزر وارد قسمت دیگری می شود که در آنجا با مقدار متناسب سوخت مخلوط شده و مشتعل می گردد و باعث افزایش انرژی جنبشی هوای عبوری از موتور می گردد. مقداری از این انرژی صرف چرخاندن توربین و کمپرسور شده و بقیه به صورت گازهای با سرعت زیاد از دهانه خروجی به بیرون فرستاده شده و ایجاد نیروی محرکه می کند. یک محفظه احتراق از دو لوله داخل یکدیگر تشکیل شده است. لوله داخلی را لوله شعله (Flame Tube) و لوله خارجی را لوله هوا (Air casing) می نامند. دهانه ورودی هر دو لوله واگرا و دهانه خروجی شان همگراست. در جلوی لوله داخلی سوخت پاش قرار دارد و قسمت بعد از آن منطقه احتراق (Combustion Zone) نامیده می شود. در این منطقه هوا و سوخت ترکیب شده عمل سوختن انجام می گیرد. بین دو لوله نامبرده فاصله ای وجود دارد که هوا از بین این دو حرکت کرده و به داخل محفظه احتراق راه می یابد و وظیفه خنک کاری محفظه احتراق را دارد. هوا با سرعت حدود 80 فوت بر ثانیه وارد محفظه احتراق می گردد.

تقریباً 18٪ هوای ورودی از طریق صفحه مشبک و تیغه هایی که در اطراف سوخت پاش نصب شده اند و به نام تیغه های پیچاننده (Swirl Vanes) معروف است وارد لوله شعله می شود و بقیه هوا به مجرای بین دو لوله هدایت

می شود حدود 10٪ از هوا از طریق سوراخهایی که در محفظه احتراق قرار دارد وارد این منطقه می شود. هوایی که از این سوراخها وارد می شود و هوایی که از طریق تیغه های پیچاننده می آید از دو جهت مختلف با هم ترکیب شده و بدین ترتیب محیط مناسبی برای نگهداری شعله در این منطقه به وجود می آید.

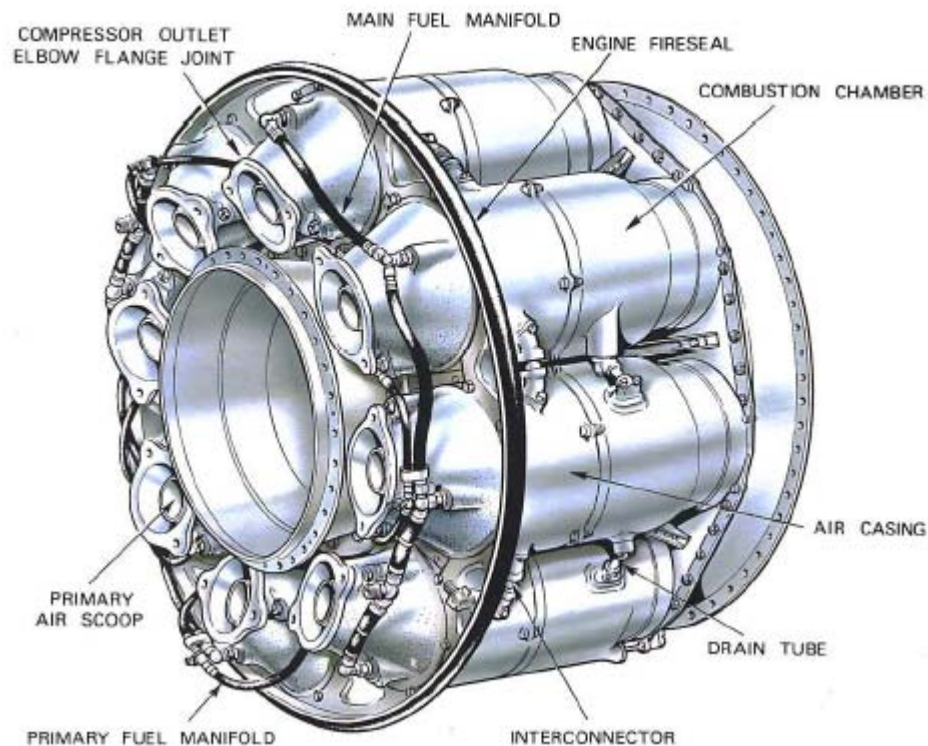


شکل ۲-۱۱: محفظه احتراق

انواع محفظه احتراق

محفظة احتراق چندتایی (Multiple combustion chamber)

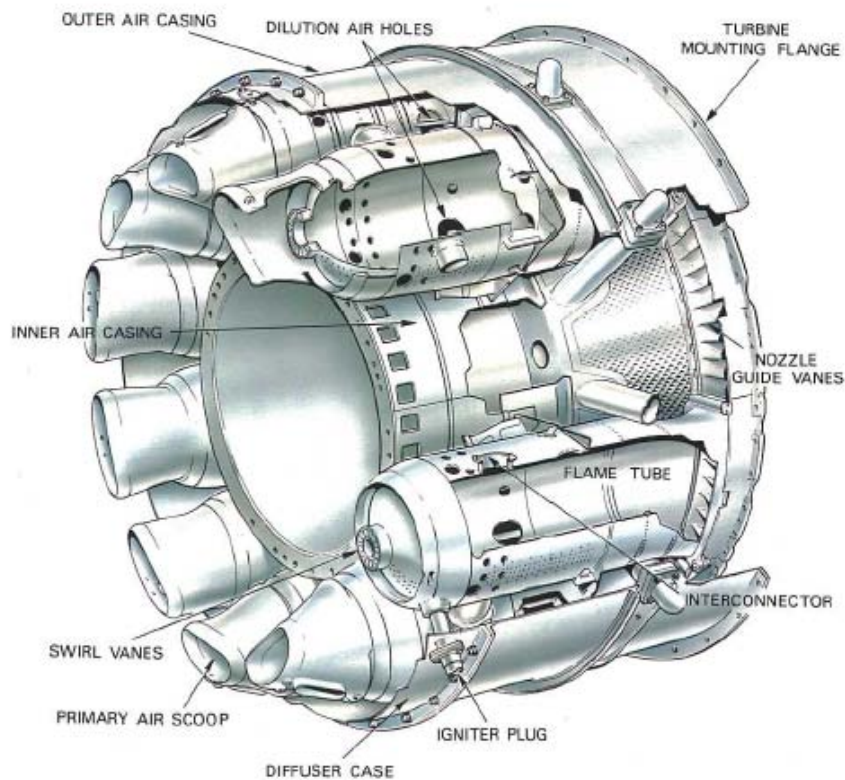
شامل چند محفظه احتراق است که به طور منظم دور تا دور موتور چیده شده اند و هوای خروجی از کمپرسور توسط مجراهایی به طور یکسان وارد تک تک آنها می شود. هر محفظه دارای یک لوله داخلی است که لوله شعله (flame tube) نامیده می شود و با لوله هوا پوشیده شده است. لوله های شعله توسط لوله های اتصال دهنده (Interconnector) با یکدیگر ارتباط داشته و این امکان را به وجود می آورد که فشار در همه آنها یکسان باشد. تنها دو عدد از محفظه ها که در مقابل هم هستند دارای شمع می باشند و این لوله ها شعله بدست آمده را به تمام محفظه ها منتقل می کنند.



شکل ۲-۱۲: محفظه احتراق چندتایی

محفظه احتراق یک تکه (*Anular combustion chamber*):

این محفظه اساساً از یک لوله شعله بزرگ به صورت حلقوی تشکیل شده که دارای دو پوشش یکی داخلی (*innercasing*) و دیگری پوشش خارجی (*outer casing*) است. از طریق این فاصله و سوراخهایی که در روی بدنه لوله تعبیه کرده اند، هوا به داخل آن راه می یابد. این هوا به منظور پایین آوردن درجه حرارت شعله و در وسط نگهداشتن آن و خنک کردن بدنه لوله شعله به کار می رود. مزیتی که محفظه احتراق یک تکه نسبت به نوع اول دارد اینست که چون یک تکه ساخته می شود از نظر وزن سبک تر از نوع اول می باشد، ضمناً این محفظه احتراق ساده تر و دارای راندمان بیشتری نسبت به نوع قبلی است.



شکل ۲-۱۳ : محفظه احتراق یک تکه

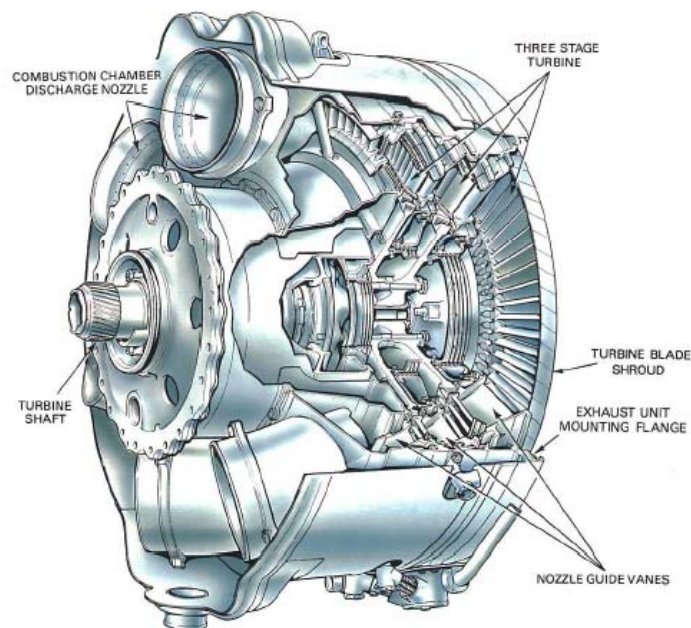
محفظه احتراق نوع *Cannular* :

این محفظه احتراق ترکیبی از دو نوع قبلی است. بدین صورت که متشکل از تعدادی لوله شعله بوده که دور تا دور تمام آنها توسط دو پوشش حلقوی یکی داخلی (*inner casing*) و دیگری خارجی (*outer casing*) احاطه شده و لوله های شعله توسط لوله های متصل کننده به یکدیگر ارتباط دارند و در دهانه ورودی هر لوله یک سوخت پاش وجود دارد. این نوع محفظه احتراق بهترین نوعی است که در موتورهای جت از آنها استفاده می کنند.

۲-۳-۴- توربین (*Turbine*) :

گازهای خروجی از محفظه احتراق که دارای انرژی زیادی است به قطعه ای به نام توربین برخورد کرده و آن را می چرخاند. توربین که انرژی جنبشی خود را از گازهای داغ خروجی از محفظه احتراق می گیرد، کمپرسور و بقیه قطعات

متحرک موتور را می چرخاند. در تمام موتورها، توربین از نوع تیغه ای است بدین صورت که متشکل از چند ردیف تیغه بوده که یک در میان ثابت و متحرک هستند. تعداد محورها در یک موتور بستگی به نوع آن دارد. مثلاً موتور با نسبت تراکم زیاد دارای دو محور می باشد. یعنی دارای دو کمپرسور (L.P Compressor) و (H.P Compressor) بوده که به هر کدام از آنها یک توربین اختصاص داده می شود بدین ترتیب که توربین جلویی (توربین فشار زیاد) به وسیله محور H. P Shaft به کمپرسور فشار زیاد (H.P Compressor) و توربین فشار کم توسط محور به کمپرسور فشار کم متصل می باشد و این دو محور مستقل از یکدیگر با دورهای متفاوت می چرخند و شفت L.P داخل و شفت H.P روی آن قرار دارد. و استارت با شفت H.P درگیر بوده و در موقع استارت زدن این شفت را می چرخاند.



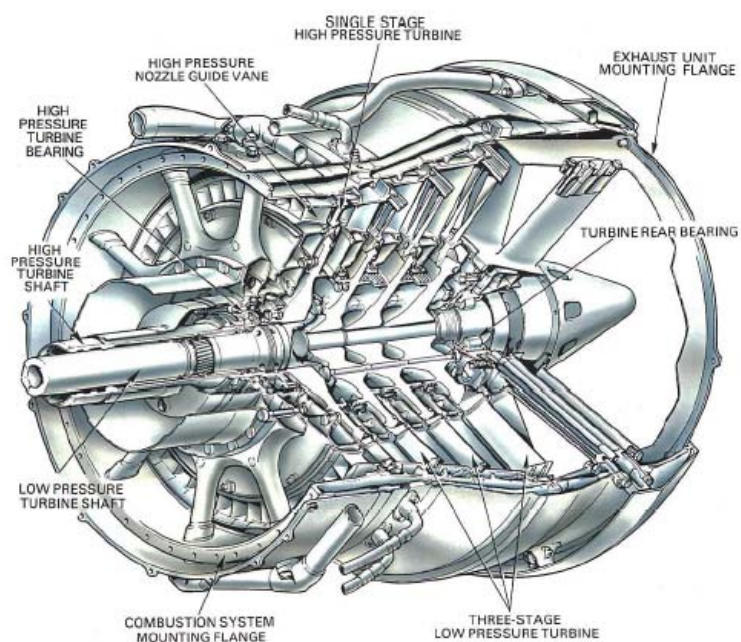
شکل ۲-۱۴: توربین

چون برای چرخاندن توربین احتیاج به انرژی جنبشی زیادی هست، تبدیل انرژی فشاری گازها به انرژی جنبشی (با افزایش سرعت) در تیغه های ثابت و منحرف کردن گازها توسط این تیغه ها روی تیغه های توربین، سرعت لازم را

جهت چرخاندن توربین تولید می کند. همان طور که بیان شد گازها پس از خروج از تیغه های ثابت تحت زاویه ای به تیغه های گردان یا تیغه های توربین برخورد می کنند. تیغه های توربین دور تا دور یک دیسک چیده شده اند که این دیسک به محور موتور متصل است. با ضربه زدن گازها به تیغه های توربین دیسک و در نتیجه محور موتور می چرخد گازها پس از خروج از تیغه های توربین دوباره وارد تیغه های ثابت از Stage دیگر میشود. در اینجا نیز سرعت گازها زیاد شده و تحت زاویه ای معین به تیغه های توربین برخورد می کنند. (جزء ثابت توربین Turbine Nozzle) شامل دو پوشش یکی خارجی و دیگری داخلی بوده که بین آنها تیغه های ثابت (N.G.V) نصب شده) چون تیغه ها در معرض درجه حرارت زیادی قرار دارند در موقع نصب آنها باید انبساط حرارتی و تغییر شکل تیغه ها در اثر آن توجه داشت، بدین منظور دو روش برای نصب این تیغه ها بین دو پوشش ذکر شده وجود دارد.

جزء متحرک توربین اساساً شامل یک چرخ و یک محور است چرخ توربین شامل تیغه هائی است

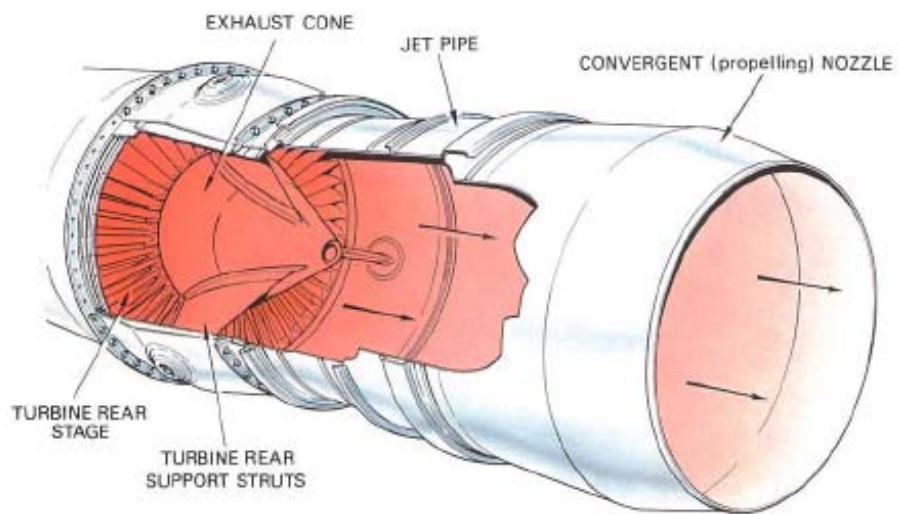
(Turbine Blades) که متصل به دیسک است. دیسک توربین و تیغه های نصب شده بر روی آن را با هم چرخ توربین (Turbine wheel) گویند. سرعت دورانی زیاد چرخ توربین نیروی گریز از مرکز زیادی تولید می کند این نیرو بر روی تیغه های چرخ توربین اثر می گذارد. علاوه بر آن تیغه ها در معرض درجه حرارت زیادی قرار دارند و باعث ایجاد فشار حرارتی (Thermal Stress) می گردد. ضمناً به خاطر انبساط حرارتی فاصله ای جزئی بین چرخ توربین و بدنه موتور در نظر می گیرند. علاوه بر آن در محل نصب نیز فاصله ای خیلی جزئی بین تیغه ها و شیارهای محل نصب پیش بینی می کنند.



شکل ۲-۱۵: توربین

۲-۳-۵- مجرای خروجی گازها(نازل) (Exhaust Duct or Jet pipe) :

موتورهای جت هواپیما دارای یک مجرای خروجی گازهاست که بعد از توربین نصب شده و کارش به بیرون فرستادن گازها با سرعت و در جهتی است که می خواهیم. شکل این مجرا و تغییراتی که در گازهای خروجی توربین ایجاد می کند به طور قابل توجهی در کارائی موتور مؤثر است، گازهایی که از توربین خارج می شود دارای حرکت دورانی بوده و احتیاج به مستقیم شدن دارد که مجرای خروجی یا (Jet pipe) کار مستقیم کردن جریان گازها را انجام می دهد. به طور کلی این مجرا دو کار مهم انجام می دهد، یکی مستقیم کردن جریان گازهای خروجی از توربین و دیگری افزایش سرعت گازها در موقع خروج. در موتورهای مدرن این مجرا را به صورت متغییر می سازند. به طوری که این دهانه در دورهای کم، قدری بسته شده و در دورهای زیاد باز می شود، یعنی گشادتر می گردد.



شکل ۱۶-۲ : نازل خروجی

