بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه جامع علمی کاربردی
واحد دشتی

توربین ها

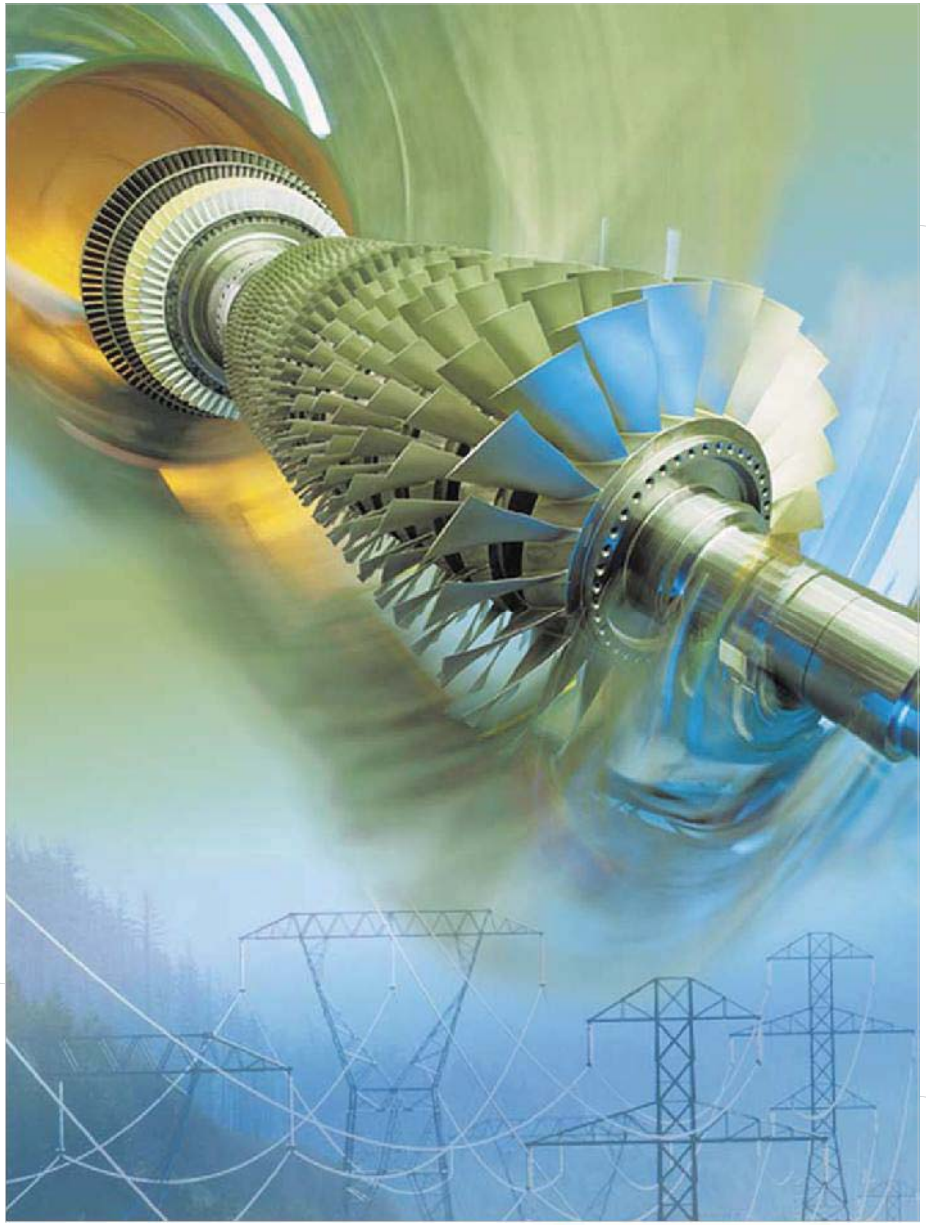
اویل ایندااستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

مهندس حسین محمدی

زمستان ۸۹

فصل ۱
آشنایی با توربین های گازی

- تعریف توربین
- سیالات مورد استفاده در توربین ها
- توربین های مورد استفاده در صنایع نفت و گاز
- تاریخچه توربین های گازی
- توربین گازی
- چینش اجزای توربین های گازی
- توربین گازی تک محوری
- توربین گازی دو محوری به همراه یک توربین قدرت
- توربین گازی سه محوری به همراه یک توربین قدرت
- توربین گازی دو محوری
- توربین های گازی با چرخه بسته
- تاثیرات زیست محیطی استفاده از توربین ها
- کنترل موتور در توربین ها



تعریف توربین

دستگاهی است که در آن انرژی جنبشی سیال متحرک بعد از برخورد سیال با پره به انرژی مکانیکی تبدیل می شود.

از انرژی مکانیکی تولید شده در کارهای زیر استفاده می شود:

- بحرکت درآوردن ژنراتورها جهت تولید جریان الکتریسیته
- چرخاندن پمپ ها
- به کار انداختن کمپرسورها
- استفاده در کارهای صنعتی ، عمرانی ، نظامی و ...

نمونه ای از توربین بادی

سیالات مورد استفاده در توربین ها

هوا ← در توربین بادی در نیروگاه های بادی

آب ← در توربین آبی در نیروگاه های آبی

بخارات قابل میعان← در توربین بخار در نیروگاه های سوخت فسیلی مانند نیروگاه گازی، و نیروگاه های انرژی های نو مانند نیروگاه اتمی و ...

گاز (هوا،گاز طبیعی، هلیوم و ← در توربین های گازی

نمونه ای از پره مورد استفاده در توربین های آبی

توربین های مورد استفاده در صنایع نفت و گاز

- **توربین های بخار(steam turbines)**
  - **این نوع توربین ها از قدیمی ترین توربین های مورد استفاده در صنعت می باشند.**
  - **در این نوع توربین ها، از نیروی بخار (که در دیگ بخار تولید می شود) جهت بحرکت در آوردن توربین ها استفاده می شود.**
  - **این توربین ها به دلایل زیر کمتر مورد استفاده اند:**

۱-به دیگ بخار و وسایل دیگر نیاز دارند.

۲-هزینه نگهداری بالایی دارند.

- **توربین های گازی(gas turbines)**
  - **در این نوع توربین ها مقداری سوخت(عمدتا گاز طبیعی) و هوای فشرده در محفظه احتراق می سوزد.**
  - **در اثر سوختن و ایجاد حرارت حجم گاز افزایش می یابد.گاز با حجم زیاد و فشار و دمای معین به تیغه های توربین برخورد می کند و سبب چرخش توربین می شود.**

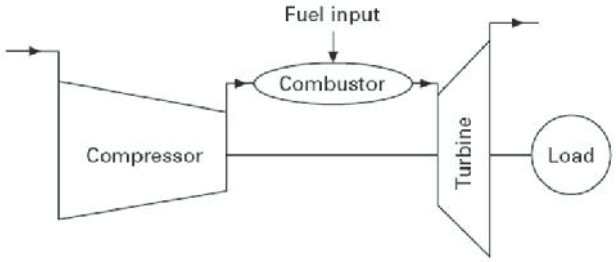
به دلیل اهمیت بالای توربین های گازی در صنعت نفت و گاز ، در ادامه به طور عمده این نوع توربین ها بررسی می شوند.

تاریخچه توربین های گازی

- نخستین بار در سال ۱۷۹۱ میلادی جان باربر(John Barber) شیوه ای به کار برد که با آن روش می شد از هوا جهت ایجاد حرکت استفاده کرد.
- در سال ۱۹۰۳ یک محقق نروژی (Aegidius Elling) نخستین توربین گازی را به صورت موفقیت آمیز ساخت.در این توربین ، یک کمپرسور دوار/دینامیک و تعدادی توربین به کار رفته بود.این توربین قادر به تولید 8kW (11hp) انرژی بود.
- در سال ۱۹۰۴ الینگ طراحی خود را بهتر کرد و با کاهش دمای گاز خروجی از ۵۰۰ °C به ۴۰۰ °C توانست به تولید 33kW (44hp) انرژی دست یابد.این موتور با دور موتور 20,000 RPM کار می کرد.
- توربین گازی الینگ بسیار مشابه موتور جت ویتل(Frank Whittle) بود که در سال ۱۹۳۰ در انگلستان ساخته شد.این موتور جت دارای یک کمپرسور گریز از مرکز و یک توربین محوری بود.
- در سال ۱۹۳۶ در آلمان ، اوهاین(Hans von Ohain) و هاهن(Max Hahn) اقدام به طراحی توربینی کردند که در آن نیز یک کمپرسور گریز از مرکز و یک توربین با فاصله نزدیک به هم به کار رفته بود.
- در نهایت کار ویتل و اوهاین منجر به ایجاد صنعت توربین سازی شد.

توربین گازی

- شرط اساسی جهت تولید انرژی در یک توربین این است که فشار ورودی آن(inlet pressure) از فشار خروجی آن(outlet pressure) بالاتر باشد. جهت افزایش چنین فشاری در توربین به طور عمده از کمپرسور استفاده می شود.بنابراین در توربین ، کمپرسور قبل از توربین قرار داده می شود.
- شکل روبرو ، نمونه ای از توربین تک محوری را نشان می دهد که در آن محور کمپرسور و توربین به هم متصل است.



Schematic layout of a single-shaft gas turbine.

- اگر سیال مورد استفاده در توربین تنها هوا باشد در اینصورت سیال خروجی از کمپرسور در توربین منبسط شده و بدلیل اتلاف انرژی در کمپرسور وتوربین، انرژی خروجی از توربین کمتر از انرژی مصرفی در کمپرسور خواهد بود و در اینصورت سیستم متوقف خواهد شد.
- اگر مقداری گاز به عنوان سوخت جهت جبران اتلاف انرژی به هوای مورد استفاده در توربین اضافه کنیم در این صورت پس از سوختن گاز، سیستم به کار خود ادامه می دهد ولی هیچ انرژی اضافی تولید نخواهد کرد.
- جهت تولید انرژی در توربین گازی می بایست مقدار بیشتری گاز به آن اضافه کرد.این انرژی در محفظه احتراق(combustion chamber or combustor) که بین کمپرسور و توربین قرار دارد سوزانده می شود.

- انرژی خروجی از توربین گازی به بازده اجزای زیر بستگی دارد:
  - کمپرسور
  - محفظه احتراق
  - توربین

هرچه این اجزا بازده بالاتری داشته باشند، توربین بازده گرمایی بالاتری داشته و انرژی بالاتری تولید خواهد کرد.

- توربین های گازی در طول ۵۰ سال گذشته کاملا توسعه یافته اند و امروزه توربین های پیشرفته ای که طی فرآیندهای پلی تروپیک عمل می کنند بازده ای بالاتر از ٪۹۰ دارند!
- در یک دسته بندی خاص می توان توربین های گازی را در دو دسته زیر طبقه بندی کرد:
  - توربین گازی با چرخه ساده(simple cycle gas turbine) که دارای اجزای زیر است:
    - کمپرسور
    - محفظه احتراق
    - توربین
  - توربین گازی با چرخه پیچیده(complex cycle gas turbine) که علاوه بر اجزای فوق دارای اجزای زیر نیز است:
    - سرد کننده میانی(intercoolers) جهت کاهش انرژی مصرفی در هنگام فشرده سازی در کمپرسور
    - دوباره گرم کن(re-heaters) جهت افزایش توان خروجی توربین
    - مبدل گرمایی(heat exchangers) جهت تبادل گرمای توربین با محیط و ثابت نگه داشتن دمای سیستم

چینش اجزای توربین های گازی(gas turbine layouts)

- در طی سال های اخیر چینش های مختلفی برای اجزای توربین های گازی بدست آمده است.برخی از این چینش ها برای مقاصدی مانند تولید نیرو مناسب اند که در آن سرعت قسمت بار(load) (که دراینجا ژنراتوراست) ثابت است ، مناسب اند. برخی دیگر نیز در مواردی که در آن سرعت قسمت بار(پمپ و یا کمپرسور) متغیر است کاربرد دارند.
- در حالت کلی چینش اجزای توربین به صورت های زیر است:

۱-توربین گازی تک محوری

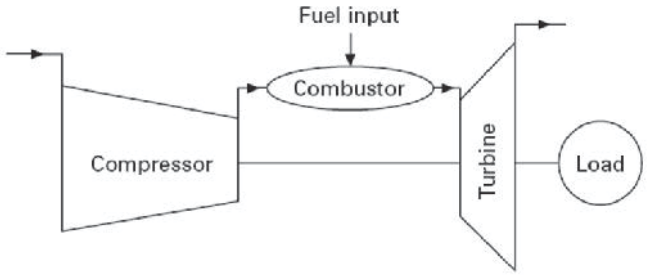
۲-توربین گازی دو محوری به همراه یک توربین قدرت

۳-توربین گازی سه محوری به همراه یک توربین قدرت

۴-توربین گازی دو محوری

در ادامه هریک از چینش های فوق بررسی می شوند و مزایا و معایب آن ها بیان می شود.

توربین گازی تک محوری(single-shaft gas turbine)

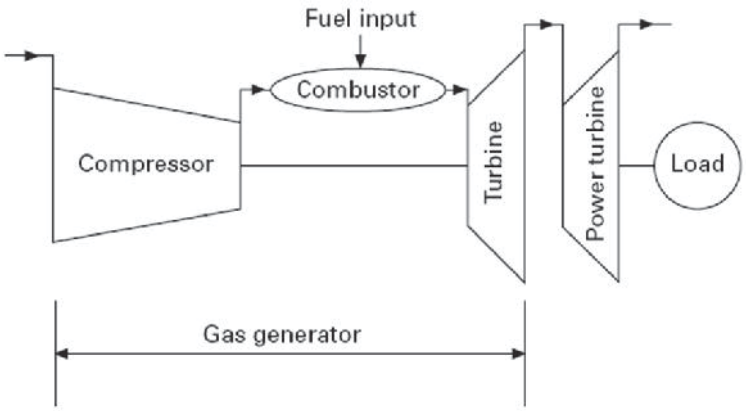


Schematic layout of a single-shaft gas turbine.

- یک توربین گازی تک محوری همانطور که در شکل روبرو نیز دیده می شود دارای یک کمپرسور، یک محفظه احتراق و یک توربین است.
- کمپرسور هوا را فشرده کرده و فشار آن را افزایش می دهد. در ادامه این هوای فشرده وارد یک محفظه احتراق می شود و در آنجا توسط سوختی که در حال سوختن است گرم می شود.در ادامه گاز پرفشار و داغ در توربین منبسط می شود و مقداری انرژی را به توربین منتقل می کند.
- قسمتی از انرژی خروجی توربین توسط محوری که توربین را به کمپرسور متصل می کند ، به کمپرسور منتقل می شود و مجددا در فرآیند فشرده سازی هوا مورد استفاده قرار می گیرد.قسمتی از انرژی خروجی توربین نیز که باقی می ماند جهت چرخاندن بار(مانند ژنراتور) مورد استفاده قرار می گیرد.
- توربین های گازی تک محوری بیشتر برای فرآیند هایی مناسب اند که در آن سرعت ثابت است(مانند تولید الکتریسیته توسط ژنراتور).
- توربین های گازی تک محوری دارای این مزیت اند که به دلیل استفاده زیاد از انرژی در کمپرسور از افزایش بیش از حد سرعت و در نتیجه جدا شدن ژنراتور از محور جلوگیری می کنند.

توربین گازی دو محوری به همراه یک توربین قدرت(two-shaft gas turbine with a power turbine)

- فرایند انبساط در توربین تک محوری(شکل قبل) را می توان به صورت مجزا به دو توربین تخصیص داد.به گونه ای که یک توربین را جهت چرخاندن کمپرسور و دیگری جهت به حرکت درآوردن بار به کاربرد.
- در اینحالت توربین مستقلی را که جهت به حرکت درآوردن ژنراتور استفاده می شود را توربین قدرت(power turbine) می گویند.اجزای دیگر توربین یعنی کمپرسور ،محفظه احتراق و توربین با فشار بالا نیز ژنراتور گاز(gas generator) نامیده می شوند.
- شکل روبرو نمونه ای از توربین گازی دو محوری به همراه یک توربین قدرت را نشان می دهد.
- وظیفه ژنراتور گاز تولید گاز با فشار و دمای بالا جهت استفاده در توربین قدرت است.
- در شرایطی که تغییر قابل توجهی در سرعت با توان مورد نیاز وجود دارد (زمانی که بار پمپ یا کمپرسور است) می توان از توربین گازی دو محوری استفاده کرد.



Schematic layout of a two-shaft gas turbine with a power turbine.

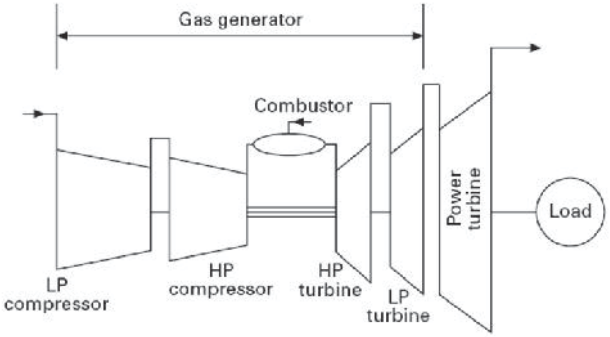
در اینحالت یک محور کمپرسور و توربین پرفشار را به هم وصل می کند و دیگری جهت اتصال توربین کم فشار به بار به کار می رود.

- ممکن است شرایط عملیاتی به گونه ای باشد که بار در سرعت پایینی بچرخد اما کمپرسور نیاز به جذب توان بالایی داشته باشد.در چنین حالتی توربین قدرت می تواند با سرعتی مساوی با سرعت بار بچرخد و ژنراتورگاز نیز با حداکثر سرعت به حرکت درآید.
- مزیت اصلی این نوع توربین ها، نیاز داشتن به توان آغازین کم است، به گونه ای که تنها ژنراتور گاز در هنگام شروع(start) نیاز به چرخاندن دارد و توربین قدرت نیاز به چرخاندن ندارد.همچنین این نوع توربین ها از نظر عملکرد طراحی بهتراند.
- عیب اصلی این توربین ها نیز، افزایش بیش از حد سرعت توربین قدرت است، در صورتی قسمت ژنراتور به خوبی به محور متصل نباشد.

توربین گازی سه محوری به همراه یک توربین قدرت(three-shaft gas turbine with a power turbine)

- همانطور که در بخش قبل بررسی شد، ژنراتور گاز((gas generator (GG) را می توان جداگانه به کار برد.زمانی که این کار صورت گرفت، توربین پرفشار در بخش GG ، کمپرسور پرفشار در آن بخش را می چرخاند و می توان کمپرسور کم فشاری قرار داد که توربین کم فشار در بخش GG آن را بچرخاند.
با اینحال هیچ ارتباط مکانیکی بین محور های مربوط به قسمت کم فشار و پرفشار وجود ندارد.
این روش اصول طراحی توربین های گازی دو محوری به همراه یک توربین قدرت را تشکیل می دهد.

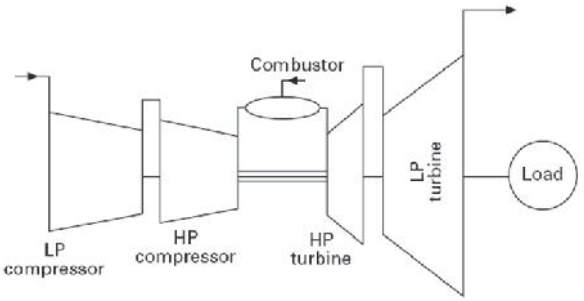
- شکل زیر نمونه ای از توربین گازی سه محوری به همراه یک توربین قدرت را نشان می دهد.
- همانطور که در این شکل دیده می شود، توربین قدرت همچنان از نظر مکانیکی از GG مستقل است.
- با چنین چینشی می توان به نسبت های فشاری و بازده گرمایی بالاتری دست یافت.
- از آنجایی که در توربین های گازی سه محوری در هنگام شروع ،در قسمت GG تنها نیاز به چرخاندن کمپرسور پرفشار و توربین ها است ، لذا نیاز به توان آغازین کمتری دارند.
- سوخت موتورهایی که دارای چنین چینشی هستند به طورعمده توسط گازهای مورد استفاده در صنایع هوایی تامین می شود.



Schematic layout of a three-shaft gas turbine with a power turbine.

توربین گازی دو محوری(two-shaft gas turbine)

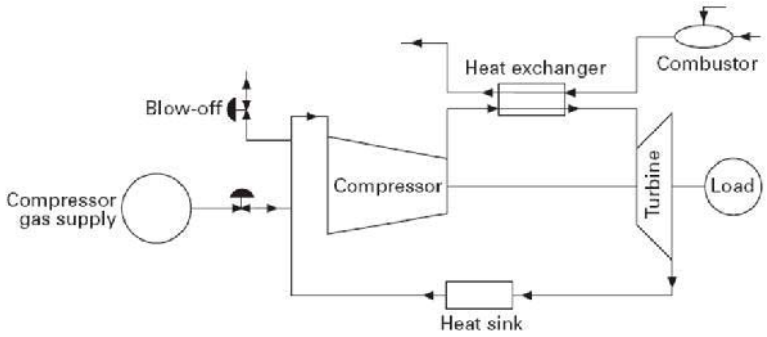
- همانطور که در دو بخش قبل بررسی شد، در صورت استفاده از چینش های توربین گازی دو محوری به همراه یک توربین قدرت و توربین گازی سه محوری به همراه یک توربین قدرت، در صورتی که ژنراتور به خوبی به محور متصل نباشد ، سرعت توربین قدرت شدیدا افزایش می یابد.
- در توربین گازی دو محوری جهت مقابله با این مشکل، همانطور که در شکل روبرو دیده می شود، توربین قدرت و توربین کم فشار یکی هستند، به گونه ای که محورتوربین کم فشار که به بارمتصل است، به توربین پر فشار نیز متصل شده است.
- این نوع توربین ها همچنان نسبت به توربین های تک محوری به انرژی آغازین کمتری نیاز دارند.



Schematic layout of a two-shaft gas turbine.

توربین های گازی با چرخه بسته (closed cycle gas turbine)

- یکی از نقاط ضعف توربین های گازی، عملکرد آن ها در هنگامی است که توان عملیاتی کم باشد. درواقع در این حالت به دلیل عملکرد توربین در توان عملیاتی پایین، دمای ورودی توربین و نسبت فشاری کاهش می یابد که این موضوع منجر به کاهش بازده حرارتی توربین می شود.
- برخلاف توربین های گازی با چرخه باز که تا اینجا بحث شد، در توربین های گازی با چرخه بسته ، فشار سیستم قابلیت تغییر دارد به گونه ای که می تواند توان خروجی از توربین گازی را تغییر دهد.به عبارت دیگر چرخه به گونه ای طراحی می شود که بتواند دمای ورودی توربین و نسبت فشاری را ثابت نگه دارد و در نتیجه مانع از کاهش بازده حرارتی توربین شود.



Schematic representation of a closed cycle gas turbine.

- شکل فوق نمونه ای از توربین های گازی با چرخه بسته را نشان می دهد.
  - در این چرخه می توان با بازکردن شیر فوران گیر(blow-off valve) و کاهش دبی جرمی ورودی به موتور ، فشار عملیاتی را کاهش داد.این کار منجر به کاهش توان خروجی توربین می شود.
  - مبدل گرمایی(heat exchanger) نیز گرمای تولید شده در محفظه احتراق را جذب کرده و آن را به توربین گازی منتقل می کند.

- از مضایای توربین های گازی با چرخه بسته می توان به موارد زیر اشاره کرد:
  - از نظر عملکرد طراحی بهترند.
  - می توان از گازهایی به جز هوا مانند هلیوم در این چرخه ها استفاده کرد.
  - استفاده از گاز هلیوم در این چرخه به دلیل دارا بودن ضریب انتقال حرارت بالاتر مناسب تر است.

در صورت استفاده از این گاز، به موتور با اندازه کوچکتر نیاز است و می توان بازده گرمایی را افزایش داد.

  - به دلیل اینکه در این چرخه ها سیال در چرخه ثابت می ماند ، این توربین ها را می توان در فرایند تولید انرژی در نیروگاه های اتمی به کار برد.

- از معایب این چرخه ها نیز داشتن بازده گرمایی پایین تر نسبت به چرخه های باز است.

دلیل افت بازده در این چرخه ها نیز تاثیر مبدل گرمایی است.در واقع مبدل گرمایی نمی تواند تمامی گرمای تولید شده در محفظه احتراق را به توربین گازی منتقل کند.

- جهت بهبود فرایند انتقال حرارت توسط مبدل گرمایی در این توربین ها می توان فشار عملیاتی را افزایش داد.

تاثیرات زیست محیطی استفاده از توربین ها

- فرآیندهای احتراقی که در توربین ها صورت می گیرد منجر به تولید گازهای آلاینده زیر می شوند:
  - مونوکسید کربن(CO)
  - اکسید های نیتروژن(NO_x)
  - هیدروکربن های نسوخته(unburned hydrocarbons , UHC)
- NO_x به دلیل انجام فرایند احتراق در دماهای بالا از اکسایش ازت موجود در هوا تولید می شود.

CO و UHC نیز به دلیل بازده پایین احتراق و سوختن ناقص سوخت تولید می شود.

- NO_x منجر به آلودگی هوا، بارش باران های اسیدی و کاهش ضخامت لایه اوزون می شود.

COنیز یک گاز سمی است.

UHCنه تنها یک گاز سمی است بلکه در صورت ترکیب شدن با NO_xمی تواند منجربه آلودگی هوا شود.

- از دیگر گازهای تولیدی در فرآیند احتراق در توربین های گازی بخارآب(H_2O) و دی اکسید کربن (CO_2) است که به دلیل اکسایش هیدروژن و کربن تولید می شوند.
- گرچه گازهای H_2O و CO_2 غیرسمی هستند، اما به از گازهای گلخانه ای هستند و منجر به گرم شدن کره زمین می شوند.

- جهت کاهش آلودگی های زیست محیطی در دهه های اخیر اقدام به تولید سیستم های احتراق با انتشار خشک و پایین گازهای سمی و آلاینده (dry low emission , DLE) شده است.
- گرچه سیستم های احتراقی DLE میزان انتشار گازهای سمی و آلاینده UHC، NO_x و CO را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهند اما ایجاد گازهای غیرسمی H_2O و CO_2 را تنها با افزایش بازده گرمایی توربین می توان کاهش داد.
- در صورت استفاده از سیکل های ترکیبی و میزان انتشار گازهای H2O و CO2کاهش می یابد.
- در سیکل های ترکیبی از گازهای داغ خروجی مجددا در چرخه استفاده می شود و به این طریق بازده گرمایی کلی توربین افزایش می یابد.
- همچنین می توان CO2 خروجی را توسط حلال هایی مانند متانول آمین(MEA) جذب کرد و از ورود آن به اتمسفر جلوگیری کرد.

کنترل موتور در توربین ها

- توان خروجی از توربین های گازی عمدتا بوسیله ی تنظیم میزان سوختی که در محفظه احتراق می سوزد کنترل می شود.
- سوخت اضافی و کنترل نشده می تواند منجر به داغ شدن بیش از حد توربین(overheating) و افزایش بیش از حد سرعت آن(over-speeding) شود که در نهایت منجر به خسارت جدی به موتور می شود.

لذا می بایست یک سیستم کنترل موتور(engine control system) برای موتور در نظر گرفته شود.البته این سیستم کنترل موتور نباید روی عملکرد توربین اثر منفی داشته باشد.

- سیستم های کنترل امروزی،بخصوص در مورد توربین های گازی DLE کاملا پیچیده هستند.

این سیستم ها به گونه ای طراحی شده اند که ضمن تعیین نسبت مناسب بین سوخت و هوا، میزان انتشار گازهای سمی و آلاینده UHC، NO_x و CO را در حد مجاز قرار می دهند.