پودمان ۳

نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز

واحد یادگیری ۳

نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز

آیا تاکنون پی برده‌اید:

- مراحل کار توربین بخار چیست؟
- چگونه سوخت و روغن مورد استفاده در صنایع دریایی از مواد نامطلوب پاک‌سازی می‌شوند؟
- در کشتی‌ها می‌توان از توربین گاز به‌عنوان نیروی محرکه استفاده کرد؟
- مراحل کار توربین گاز پیوسته می‌باشد؟

استاندارد عملکرد

هنرجو باید بتواند عملکرد دیگ بخار، عملکرد توربین بخار دریایی و توربین گاز را بررسی نماید.

نگه‌داری و تعمیر دیگ‌های بخار

در عصر جدید کاهش هزینه سیستم‌هایی که راندمان بالایی دارند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد سیستم‌های مولد بخار از جمله دستگاه‌هایی هستند که دارای راندمان بالایی بوده و به‌همین جهت بسیار مورد استفاده واقع شده‌اند. سیستم‌های محرک شناورها، نیروگاه‌های برق و پالایشگاه‌ها از عمده مصرف‌کنندگان این حوزه می‌باشند.

مولد بخار یا دیگ بخار به دستگاه یا محفظهٔ بسته‌ای اطلاق می‌شود که در آن بخار آب با فشار بیشتر از فشار هوای خارج تولید می‌گردد. این بخار می‌تواند برای چرخاندن توربین یا گرم کردن برخی کوره‌ها استفاده شود.

سیکل بخار

استفاده از بخار برای نیروی محرکه کشتی بسیار مناسب و قابل اطمینان است؛ به طوری که هنوز بهترین روش برای حرکت کشتی‌های جنگیِ بزرگ و زیردریایی‌های سنگین است. برخی از کشتی‌های بازرگانی نیز از نیروی محرکه بخار استفاده می‌کنند. شبکه‌ای که از بخار برای تأمین تحرک کشتی استفاده می‌کند، به مدار بخار اصلی معروف است. این مدار دارای چهار مرحله است :

۱ مرحله تولید؛

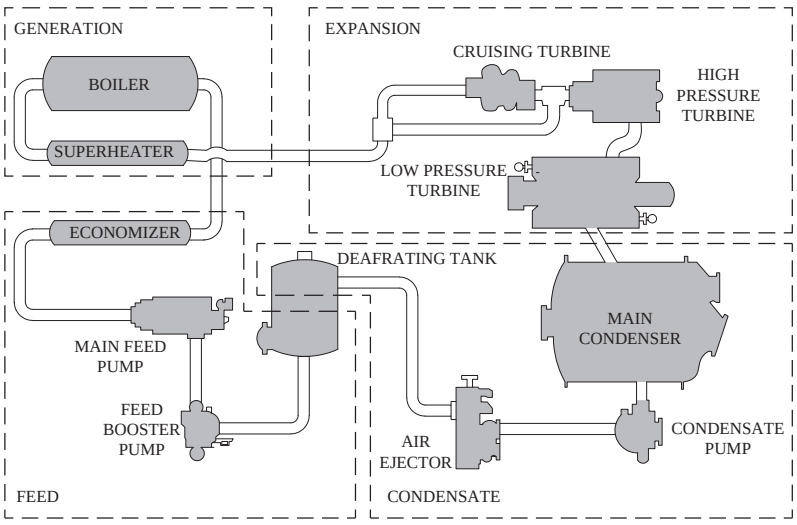
۲ مرحله انبساط؛

۳ مرحله تقطیر(انقباض)؛

۴ مرحله تغذیه.

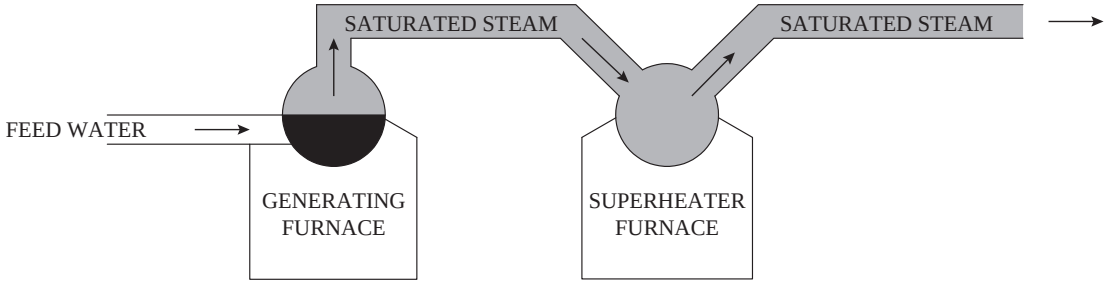
مرحله تولید بخار (steam generation)

جهت تولید بخار در مرحله اول نیاز به گرم کردن آب تا نقطه جوش آن می‌باشد و سپس با اضافه نمودن گرمای کافی تغییر فاز صورت می‌گیرد (آب جوش به بخار تبدیل می‌گردد). مقدار گرمای مورد نیاز جهت تبدیل آب جوش به بخار (در دمای معین و فشار ثابت) را اصطلاحاً گرمای نهان تبخیر می‌نامند. در مواقعی که بخار در اثر فرایند تقطیر از فاز بخار به فاز مایع تبدیل می‌گردد مقداری گرما از دست می‌دهد که این میزان گرما با مقدار گرمای نهان تبخیر برابر می‌باشد و به این مقدار گرما، اصطلاحاً گرمای نهان تقطیر گفته می‌شود. (در شکل ۱، نواحی مختلف به وسیله نقطه چین مشخص گردیده است).



شکل۱ـ سیکل بخار اصلی

در دیگ‌های بخار ظرف بسته‌ای به شکل استوانه (steam drum) می‌باشد که به آن استوانه بخار می‌گویند. در این ظرف بسته که در قسمت فوقانی دیگ بخار استقرار دارد آب و بخار اشباع در آن موجود می‌باشد. بخار موجود در استوانه بخار به بخار تر یا اشباع (saturated- steam) معروف است.
بخارِ تر در مصارف عمومی‌کشتی جهت استفاده دستگاه‌های فرعی مورد استعمال قرار می‌گیرد و همچنین در انواعَ آبگرمکن‌های بخاری از قبیل گرم‌کننده سوخت، روغن استفاده می‌گردد.
مادامی‌که بخار در مجاورت آب جوش در استوانه باشد امکان افزایش دمای بخار میسر نمی‌باشد. ولی در شرایطی می‌توان دمای بخار تر را افزایش داد. روش انجام آن در صورتی امکان پذیر است که بخار منشعب از استوانه بخار را به‌ظرف دیگری منتقل کرد و به‌وسیله گرما، دمای آن را افزایش داد (شکل۲). به بخار تولید شده از این روش، بخار خشک (superheated steam) می‌گویند. (در فشار ثابت، بخاری که دمای بخار اشباع مربوط به همان فشار باشد به آن، بخار خشک می‌گویند.)



شکل ۲ـ دیگ بخار اشباع و کوره خشک (روش تولید بخار خشک)

برخی از کشتی‌های جنگی که دارای تحرک از نوع بخاری هستند، از بخار خشک بهره می‌برند. استفاده از بخار خشک در سیستم‌های متحرک دارای مزایای متعددی در مقایسه با استعمال بخارتر می‌باشند. استفاده از بخار خشک (superheated steam) سبب کاهش خوردگی و پوسیدگی سیستم لوله‌کشی و ماشین‌آلات موجود در کشتی گردیده و همچنین با توجه به اینکه انتقال حرارت از طریق بخار خشک به جداره لوله‌ها کاهش می‌پذیرد، در نتیجه اتلاف گرمایی کمتری حادث می‌گردد. به طور کلی استفاده از بخار خشک (superheated) در افزایش راندمان کلی سیکل نقش بسزایی دارا می‌باشد و با توجه به افزایش راندمان، کاهش مصرف سوخت، فضا و همچنین وزن تجهیزات را درپی خواهد داشت. از آنجا که اغلب دستگاه‌های فرعی در کشتی از بخار اشباع استفاده می‌نمایند، لزوم وجود بخار اشباع و همچنین بخار خشک امری اجتناب ناپذیر است و لازم است که دیگ‌های بخار موجود در کشتی همزمان بخار خشک و بخار تر را تولید نمایند.
مرحله انبساط (Expansion): بخش انبساط در سیکل اصلی بخار قسمتی از سیکل می‌باشد که بخار خشک منشعب از دیگ بخار توسط سیستم لوله‌کشی به توربین‌های اصلی منتقل و پس از گذر از توربین‌های محرکه اصلی به کندانسر اصلی تخلیه می‌گردد و در طول این فرایند بخشی از انرژی حرارتی ذخیره شده در بخار خشک پس از عبور از توربین‌های محرکه اصلی به انرژی مکانیکی جهت چرخش روتور توربین تبدیل می‌گردد.

توجه

باید در نظر داشت که بخار خشک با فشار و دمای بالا پس از گذر از توربین‌های اصلی با از دست دادن انرژی حرارتی در توربین‌ها تبدیل به بخار خروجی می‌گردد، که دارای فشار و حرارت پایین می‌باشد.

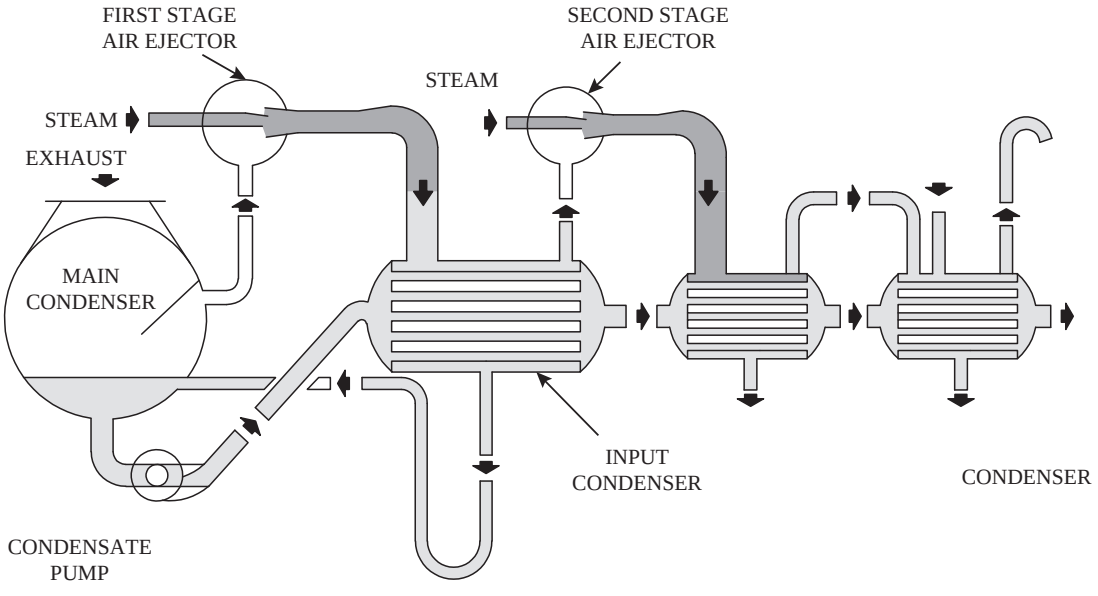
توربین‌های اصلی شامل توربین بخار فشار بالا (High Pressure)، توربین بخار فشار کم (Low Pressure) و توربین بخار از نوع گشت زنی (Crussing) می‌باشند. جریان بخار خشک ممکن است پس از گذر از توربین گشت زنی وارد توربین فشار قوی و بعد از آن وارد توربین فشار کم صورت پذیرد و یا بدون عبور از توربین گشت زنی مستقیماً وارد توربین اصلی (فشار زیاد) گردد و از آنجا به توربین فشار کم جریان یابد. بعضی از سیستم‌های متحرک بخاری ممکن است فاقد توربین گشت‌زنی باشند.

مرحله تقطیر (Condensation) : نظر به اینکه هر کشتی که دارای تحرک از نوع سیستم رانش بخاری می‌باشد بایستی به میزان کافی آب تغذیه برای مصارف دیگ‌های بخار تولید نماید و با عنایت به اینکه سیستم رانش بایستی تا حدامکان دارای راندمان مطلوبی باشد، استفاده مجدد آب تغذیه بگونهٔ متوالی و مداوم بایستی در طراحی سیکل تحرک دیده شود. زمانی که بخار از خروجی توربین بخار فشار کم خارج می‌گردد وارد ظرفی به نام کندانسر (چگالنده) می‌گردد.

سیستم تغذیه بخشی از سیکل بخار اصلی می‌باشد، بخار خروجی توربین فشار کم پس از ورود به دستگاه کندانسرتغییر فاز داده و به آب تغذیه تبدیل می‌گردد و از آنجا پس از طی مراحل آماده‌سازی به آب تغذیه تبدیل می‌گردد و راهی دیگ بخار می‌گردد.

تجهیزات متعدد سیستم کندانسیت به ترتیب متوالی پس از توربین بخار فشارکم عبارت‌اند از :

۱ کندانسر اصلی ۲ پمپ کندانسیت ۳ دستگاه اجکتور هوا



شکل ۳ـ جریان بخار هوای کندانسیت در مجموعه دستگاه اجکتور هوا.

مرحله تغذیه (Feed) : مخزن هوا زدا در بعضی از مواقع بین سیستم کندانسیت و آب تغذیه درنظر گرفته می‌شود. وظایف اصلی این مخزن عبارت‌اند از :

۱ آزادسازی اکسیژن محلول و هوا از آب کندانسیت

۲ گرم کردن آب به اندازه مورد نیاز

۳ عمل نمودن به‌عنوان منبع ذخیره‌سازی آب برای مواقعی که نیاز شدید و فوری به آب تغذیه می‌باشد. (در مواقعی که سرعت کشتی ناگهانی افزایش می‌یابد) و یا نقش جذب‌کننده در شرایط افزایش ناگهانی سطح و یا کاهش آب کندانسیت را به‌عهده دارد.

پس از ورود آب کندانسیت به مخزن هوا زدا، آب به وسیله افشانک‌های نصب شده به‌صورت مه پاش درآمده و به داخل بخش مخروطی (Dome) مخزن تحت تأثیر نیروی ثقل فرو می‌ریزد. از طرفی از طریق مسیر لوله کشی دیگر بخار خروجی وارد مخزن می‌گردد و پس از برخورد با مولکول‌های ریز آب کار جداسازی اکسیژن و هوا صورت می‌پذیرد و آب کندانسیت که درحال حاضر فاقد هرگونه اکسیژن و هوا می‌باشد تحت تأثیر نیروی ثقل به قسمت تحتانی مخزن ریزش می‌نماید و هم زمان اکسیژن و هوا از طریق لوله متصل در قسمت فوقانی مخزن تخلیه می‌گردد.

پمپ بوستر از طریق لوله مکش از تانک مزبور، آب تغذیه را با فشار ثابت به قسمت ورودی پمپ تغذیه ارسال می‌کند و سپس پمپ تغذیه آب تغذیه را با فشار بالا به سیستم لوله کشی آب تغذیه ارسال می‌نماید. ناحیه (D) در شکل (۱) مسیر آب از مخزن هوازدا تا اکونومایزر را نمایش می‌دهد.

معمولاً فشار خروجی آب تغذیه ۱۵۰ psi بیشتر از فشار کاری دیگ بخار می‌باشد. به‌طور مثال فشار خروجی پمپ تغذیه به‌دیگ بخاری که دارای ۶۰۰ psi فشار کارکرد می‌باشد، معمولاً حدود ۷۵۰ psi می‌باشد. جهت کنترل آب ورودی به‌استوانهٔ بخار می‌توان از شیرهای قطع آب و شیر یک طرفه و یا توسط شیر تنظیم‌کننده سطح آب تغذیه دیگ بخار که به‌صورت اتوماتیک کار می‌کند استفاده نمود.

دستگاه اکونومایز برروی دیگ بخار سوار شده است، وظیفهٔ آن گرم کردن آب تغذیه قبل از ورود به استوانه بخار دیگ بخار می‌باشد (شکل۱). گازهای منشعب از محصول احتراق پس از طی مسیر از کوره در تماس با بخش خارجی لوله‌های اکونومایز قرار گرفته و بخشی از گرمای خود را جهت افزایش دمای آب تغذیه قبل از ورود به دیگ بخار، از دست می‌دهد. معمولاً دمای آب خروجی از اکونومایز در حدود ۱۰۰F فارنهایت بیشتر از آب ورودی بر این دستگاه می‌باشد.

سیکل فرعی بخار (Aux. steam. cycle)

همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شد به غیر از بخار خشک (بخار سوپرهیت) بعضی از دستگاه‌های فرعی موجود در شناور نیاز به بخار تر (اشباع) دارند. بخش تولید سیکل بخار فرعی همانند سیکل بخار اصلی می‌باشد. تنها فرق موجود پس از تولید بخار تر توسط دیگ بخار، بخشی از بخار تر بدون گذر از دستگاه سوپرهیتر مستقیماً وارد سیکل بخار فرعی می‌گردد. پس می‌توان گفت که بخار فرعی همان بخار اشباع یا تر می‌باشدکه در آن خطوط لوله اصلی بخار فرعی را حمل می‌نماید و به دستگاه‌های فرعی انتقال می‌دهد.این خط اصلی دارای انشعاباتی است از قبیل خط انتقال بخار تر به دستگاه‌هایی از جمله پمپ‌های تغذیه، پمپ‌های بوستر، پمپهای کندانسیت، پمپهای روغن کاری و شیرهای کاهنده فشار بخار در شبکه بخار فرعی.

دیگ‌های بخار دریایی

کاربرد دیگ‌های بخار دریایی: دیگ بخار منبع گرما در مدار بخار نیروی محرکه بخار معمولی است. دیگ بخار باید از آب تغذیه که دارای انرژی کمی‌است، بخار یا فشار و حرارت زیاد تأمین کند. از اوایل قرن نوزدهم تاکنون دیگ‌های بخار برای تحرک کشتی‌ها به کار برده شده اند. دیگ‌های بخار طوری طراحی می‌شوند که از عهده انجام سه کار اساسی زیر برآیند :

۱ **احتراق:** سوزاندن سوخت حاوی ترکیبات هیدروژن و کربن با هوا، طوری که انرژی شیمیایی به انرژی گرمایی تبدیل شود.

۲ **انتقال گرما:** انتقال انرژی گرمایی از گازهای احتراق به آب تغذیه و بخار.

۳ **چرخش:** چرخش آب تغذیه و بخار در داخل لوله‌ها و ظروف دیگ بخار، طوری که انتقال گرما به‌نحوی مؤثر انجام شده و همزمان ایمنی دیگ نیز حفظ شود.

هرسه عمل یاد شده در مرحله تولید در دیگ بخار اصلی نیروی محرکه بخار انجام می‌شود. دیگ‌های بخار برای تولید نیروی بخار دو نوع بخار تأمین می‌کنند:

۱ بخار داغ یا بخار خشک.

۲ بخاری دی سوپرهیت

بخار دی سوپرهیت برای رانش برخی از پمپ‌ها و مصارف دیگر کشتی لازم است. بخار دی سوپرهیت دمایی کمتر از بخار خشک دارد و درجه آن تقریباً برابر با درجه حرارت بخار آب اشباع در همان فشار می‌باشد.

دیگ بخار دارای شبکه‌های متعددی از لوله‌های مختلف است.در لوله‌های تولید که باریک تر از سایر لوله‌ها است، آنقدر گرما به آب تغذیه منتقل می‌شود تا آب تبدیل به بخار شود. این بخار و آب مجاور آن دارای شرایط اشباع هستند. بخار تولید شده از آب در داخل استوانهٔ بخار جدا شده و سپس به سوپرهیتر می‌رسد.

توجه

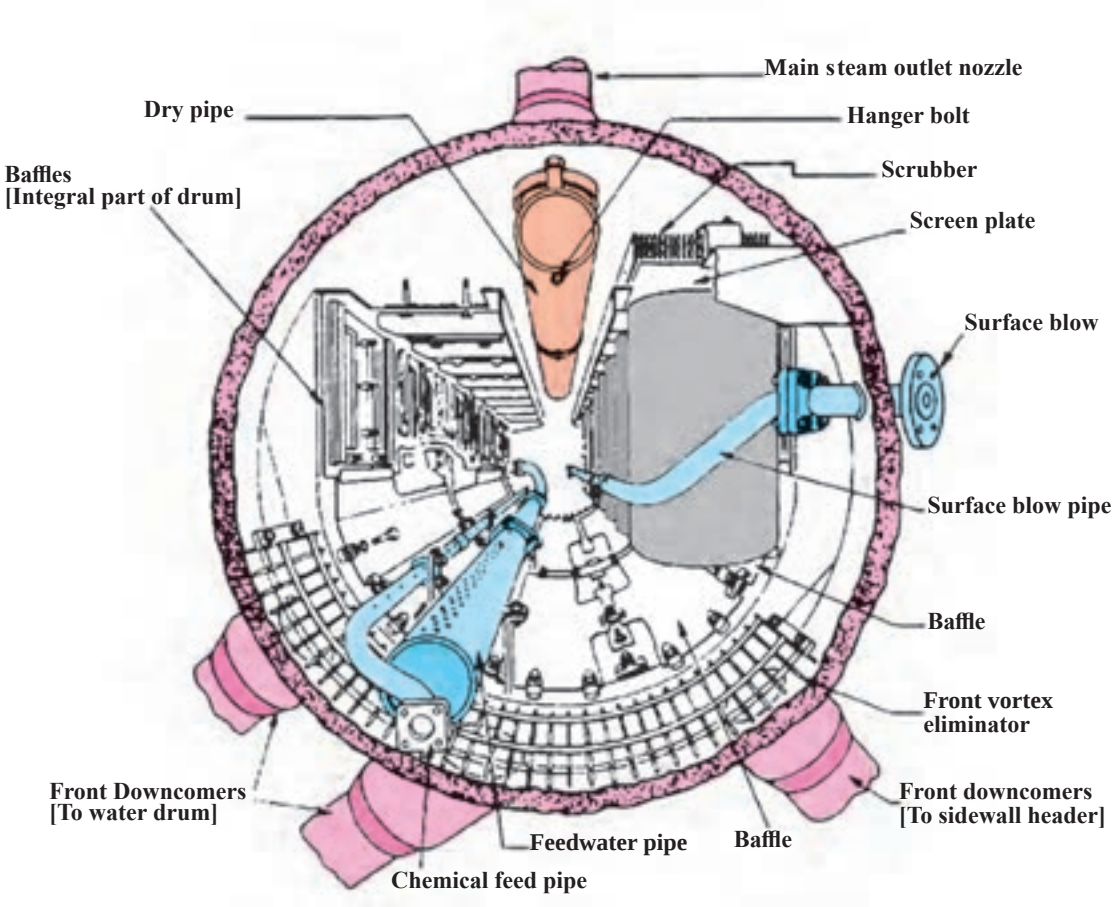
آب در حالت گاز به بخار یا بخار آب معروف است. مقادیر فشار و درجه حرارت در هنگام تبدیل آب به بخار، شرایط اشباع نام دارد.

استفاده از بخار خشک در چرخاندن توربین‌های اصلی این مزیت را دارد که رطوبت در قسمت‌های فشار کم توربین‌ها کاهش می‌یابد. این مزیت موجب افزایش عمر تجهیزات توربین می‌شود، زیرا رطوبت موجود در بخار باعث بروز خوردگی شیمیایی و خوردگی مکانیکی توربین می‌شود. در هر کشتی بخاری بخشی از بخار برای مصارف فرعی به‌کار می‌رود. درجه حرارت بخار فرعی کمتر از درجه حرارت بخار خشک است. نحوه تأمین بخار فرعی بدین صورت می‌باشد که بخشی از بخار خشک از یک مبدل حرارتی که دی سوپرهیتر نام دارد، عبور داده می‌شود. در دی سوپرهیتر مقداری از گرمای بخار جذب آب درون درام می‌شود. طوری که شرایط آن را شبیه بخار اشباع می‌کند. بخار فرعی نام دیگر بخار دی سوپرهیتر است. در کشتی بخاری، بخار فرعی (یا بخار دی سوپرهیتر) دارای شبکه لوله کشی مستقل از شبکه بخار اصلی است.

برخی از دیگ‌های بخار، یک یا چند درام‌آب دارند. البته همین دیگ‌ها ممکن است دارای یک یا چند هِدر هم باشند. به این نوع دیگ، دیگ بخار از نوع درام گفته می‌شود. بدین ترتیب نتیجه می‌گیریم که:

۱ دیگ بخار از نوع درام بایستی دارای یک یا چند هِدر باشد.

۲ دیگ بخار از نوع هِدر دارای درام آب نیست، اما بجای درام چند هدر دارد. در شکل(۴) تصاویری از دیگ‌های بخار از نوع درام و دیگ‌های بخار از نوع هِدر نشان داده شده است.



شکل ۴ـ اجزای داخل استوانه بخار

مراقبت از دیگ‌های بخار

۱ دیگ‌های بخار اعم از اینکه تغذیه سوخت آن‌ها به طور دستی یا خودکار باشد مادامی‌که در جریان بهره‌برداری هستند باید همواره تحت نظارت صحیح و مناسب قرار داشته باشند.

۲ کارکنان و متصدیان بهره‌برداری و مراقبت دیگ‌های بخار بایستی داری صلاحیت کافی و صاحب تجارب و معلومات فنی باشند.

۳ فقط کارکنان مأمور رسیدگی و تعمیر دیگ و کسانی که مستقیماً با قسمت تولید نیرو ارتباط دارند و اشخاصی که افراد مجاز و صلاحیت‌دار هستند حق ورود به دیگ خانه را دارند.

عوامل خطر آفرین در دیگ‌های بخار: بروز انفجار در دیگ‌های بخار به دلایل زیر است:

۱ عدم رسیدگی منظم به عملکرد صحیح سیستم‌های خودکار و کنترل دیگ‌های بخار، هر چند مطابق آیین نامه‌ها و استانداردهای بهره برداری از دیگ باشند. لازم است که سیستم‌های خودکار و کنترل، روی دیگ نصب گردند، گرچه این عمل نیاز به نظارت را به حداقل می‌رساند، مع الوصف امکان دارد به دلایل مختلف سیستم‌های کنترل فشار، سطح آب و... صحیح عمل نکنند.

۲ دستکاری کردن سیستم‌های فرمان مشعل، پمپ و... و تنظیم آن‌ها از طرف افرادی که تخصص لازم برای این کار را ندارند و آموزش‌های ویژه در این زمینه را ندیده اند.

۳ ریزش سوخت مایع و یا جمع شدن گاز در ناحیه کوره و محفظه برگشت و احتراق ناگهانی.
۴ کوتاهی و عدم دقت در آزمایش شیرهای اطمینان و کنترل کننده سطح آب.
۵ تشکیل رسوب روی کوره و سطوح حرارتی.
۶ خوردگی در ناحیه پوسته و سطوح حرارتی و عدم بازرسی دوره ای و ضخامت سنجی قسمت‌های تحت فشار.
۷ عدم استفاده از وسایل تصفیه و کنترل خوردگی آب.

فعالیت کارگاهی

یک دیگ بخار طراحی کنید که بخار آب را به‌ظرف سربستهٔ فلزی دیگر انتقال دهدو در آن ظرف تبدیل به مایع شود.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگه‌داری و تعمیر توربین بخار و گاز	بررسی ونگه‌داری و تعمیر دیگ‌های بخار	نگه‌داری و تعمیر دیگ‌های بخار	بالاتر از حد انتظار	۱ـ عملکرد دیگ‌های بخار را بررسی کند. ۲ـ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ عملکرد دیگ‌های بخار را بررسی کند. ۲ـ یک دیگ بخار ساده را بسازد و راه اندازی کند. ۳ـ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ عملکرد دیگ‌های بخار را بررسی کند. ۲ـیک دیگ بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر دیگ بخار را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

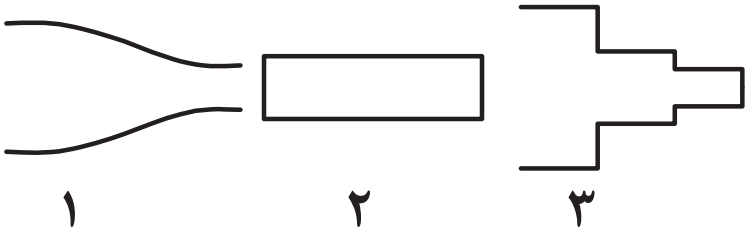
نگهداری و تعمیر توربین‌های بخاردریایی

توربین‌های بخار برای راندن کشتی‌ها و به‌حرکت درانداختن ماشین‌آلات کمکی مربوط به‌سیستم محرکه نظیر پمپ‌های روغن، پمپ‌های تقطیر، پمپ‌های سوخت، دمنده‌های فشار قوی و توربو ژنراتورهای کشتی‌ها به‌کار می‌روند. در این فصل درباره توربین‌های اصلی و کمکی از نظر اصول کار و جزییات اصلی طرح آنها به تفصیل بحث خواهیم کرد. به‌علاوه به واحدهای مختلف یا قطعات تشکیل دهنده، سیستم‌های کنترل و لوازم فرعی توربین‌ها مختصر اشاره‌ای خواهیم کرد.

ساختمان اصلی توربین‌های بخار

روتور(Rotor): محور اصلی توربین می‌باشد که چرخ‌ها و پره‌ها بر روی آن نصب می‌شوند. روتورهای توربین بخار تحت شرایط دما بالا ـ تنش بالا کار می‌کنند. این شرایط باعث می‌گردد کـه مکانیزم‌هـای تخریب مختلفی درحین بهره‌برداری فعال شده و روتور به‌مرور دچار زوال و افت خواص شود. به همین دلیل حساسیت بالای روتورها اطلاع از وضعیت متالورژیکی و عمر باقیمانده آنها ـ به ویژه برای روتورهایی که ۱۰۰/۰۰۰ ساعت از عمر کاری آن‌ها سپری شده است ـ اهمیت بسزایی دارد. در این راستا برای جلوگیری از توقف‌های غیر مترقبه و کاهش هزینه تعمیرات از تکنولوژی برآورد عمر باقیمانده استفاده می‌گردد. روتورها انواع مختلفی دارند که برخی از این روتورها به شرح ذیل می‌باشد:

۱. Conical
۲. Drum Type
۳. Steped Type



شکل۵ـ انواع مختلف روتورها

استاتور(Stator): استاتور یا پوسته روتور را برروی خود نگه می‌دارد در ضمن پره‌های ثابت نیز بر روی استاتور قرار می‌گیرند. در شکل زیر نحوه نصب پره‌های ثابت را ملاحظه می‌نمایید. پوسته‌ها به دو شکل وجود دارند یا تک جداره هستد که در این نوع توربین‌ها نیاز است پوسته عایق کاری شود.

نوع دیگر پوسته‌ها دو جداره می‌باشند که دراین نوع بخشی از بخار همیشه دربین دو جداره جریان دارد و به‌عنوان یک عایق مناسب از اتلاف حرارتی جلوگیری می‌نماید.

پره(Blade): پره‌ها انواع مختلفی دارند و بر روی مقر خود یا همان چرخ نصب می‌شوند. برخی از انواع پره‌ها به شرح ذیل است:

- ریشه دم چلچله ای
- ریشه درخت صنوبری
- ریشه ته گرد
- ریشه سه راهی یا T
- ریشه سه راهی معکوس
- ریشه درخت صنوبری معکوس

شکل۶ـ نمونه ای از یک ریشه از نوع درخت صنوبری معکوس

shrouding rings : این رینگ در انتهای پره قرارگرفته و میزان فاصله بین نوک پره و پوسته را تنظیم می‌کند.

شکل ۷ـ محل اتصال پره‌ها با چرخ

Caulking piece : زائده هایی هستند که در قسمت پایینی blade قرار گرفته و باعث اتصال پره‌ها با چرخ می‌شوند.

Wire lacing : یک سری میله‌هایی هستند که از داخل bladeها رد می‌شوند و در توربین‌های خیلی بزرگ استفاده می شوند که از تمامی پره ها عبور می کنند و باعث انسجام پره ها و نیز محکم شدن اتصال یکپارچه آنها می‌شود.

شکل ۸ـ میله‌های عبور کننده از داخل پره‌ها

چرخ(Wheel): این چرخ‌ها بر روی روتور نصب شده و حامل پره‌ها می‌باشند. به‌عبارتی دیگر مقر پره‌ها روی چرخ‌ها قرار گرفته است. در میان این چرخ‌ها سوراخ‌هایی بنام Equalizing hole تعبیه شده که تعدل فشار را در قسمت‌های مختلف ایجاد می‌نمایند.

شکل ۹ـ چرخ‌های حامل پره‌ها

نازل‌ها: نازل‌ها به دو صورت وجود دارند:
الف) همگرا
ب) همگرا- واگرا

طبقه بندی توربین‌های بخار :

انواع توربین‌ها اعم از توربین‌هایی که به‌عنوان محرک اصلی کشتی‌ها به‌کار می‌روند و یا توربین‌هایی که ماشین‌های کمکی را به‌حرکت درمی‌آورند به پنج روش زیر طبقه‌بندی می‌شوند :

۱ طبقه‌بندی از لحاظ روشی که بخار روتور توربین را می‌گرداند. (ضربه‌ای یا عکس‌العملی)
۲ طبقه‌بندی از روی نوع طبقه و ترکیب سرعت و فشار بخار
۳ طبقه‌بندی از روی تقسیم جریان بخار
۴ طبقه‌بندی از روی جهت جریان بخار
۵ تکرار جریان بخار

تحقیق کنید

انواع توربین‌ها و طبقه‌بندی آنها را بررسی نمایید.

اجزا و وسایل توربین بخار :

اجزا و وسایل توربین محرک عبارت‌اند از : پایه‌ها، محفظه نازل‌ها (یا تیغه‌های ثابت معادل آن‌ها) دیافراگم‌های نازل، روتور، تیغه‌ها، یاتاقان‌ها، گلندهای شافت، سیل‌های گلند، رینگ‌های آب بندی با پیستون‌های دامی (DUMMY) و سیلندرها (در برخی از توربین‌های عکس‌العملی)، کوپلینگ‌های قابل انحنا، چرخ دنده‌های کاهنده سیستم‌های روان‌ساز و چرخ دنده‌های گرداننده.

تحقیق کنید

بررسی کنید هریک از اجزای توربین بخار چه ویژگی و کاربردی دارند.

فعالیت کارگاهی

مانند فیلمی‌که در کارگاه نمایش داده می‌شود یک توربین ساده بخار را بسازید و آن را راه اندازی کنید.

نمایش فیلم

نمایش فیلم نحوه عملکرد توربین‌های بخار

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگه‌داری و تعمیر توربین بخار و گاز	نگه‌داری و تعمیر توربین‌های بخاردریایی	نگه‌داری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی	بالاتر از حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین‌ها را بررسی کند. ۲ـ یک توربین بخار ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین‌ها را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

نگهداری و تعمیر توربین گاز

شکل ۱۰ـ ماشین هیرو

کشف نیروی عکس‌العمل جت را به شخصی به نام هیرو از اهالی اسکندریه مصر نسبت می‌دهند. او که یک ریاضیدان و مخترع بود، یک فرفره اسباب بازی اختراع نمود که با بخار کار می‌کرد. مطابق شکل (۱۰) این اولین ماشینی بود که از اصل عکس‌العمل استفاده می‌کرد.

از حدود ۷۰ سال قبل توربین‌های گازی جهت تولید برق مورد استفاده قرار گرفته اند، اما در بیست سال اخیر تولید این نوع توربین‌ها بیست برابر افزایش یافته است. اولین طرح توربین گازی مشابه توربین‌های گازی امروزی در سال ۱۷۹۱ به‌وسیله جان پایر پایه‌گذاری شد که پس از مطالعات زیادی بالاخره در اوایل قرن بیستم اولین توربین گازی که از یک توربین چند مرحله عکس‌العملی و یک کمپرسور محوری چندمرحله تشکیل شده بود، تولید گردید.

اساس کارکرد توربین گازی

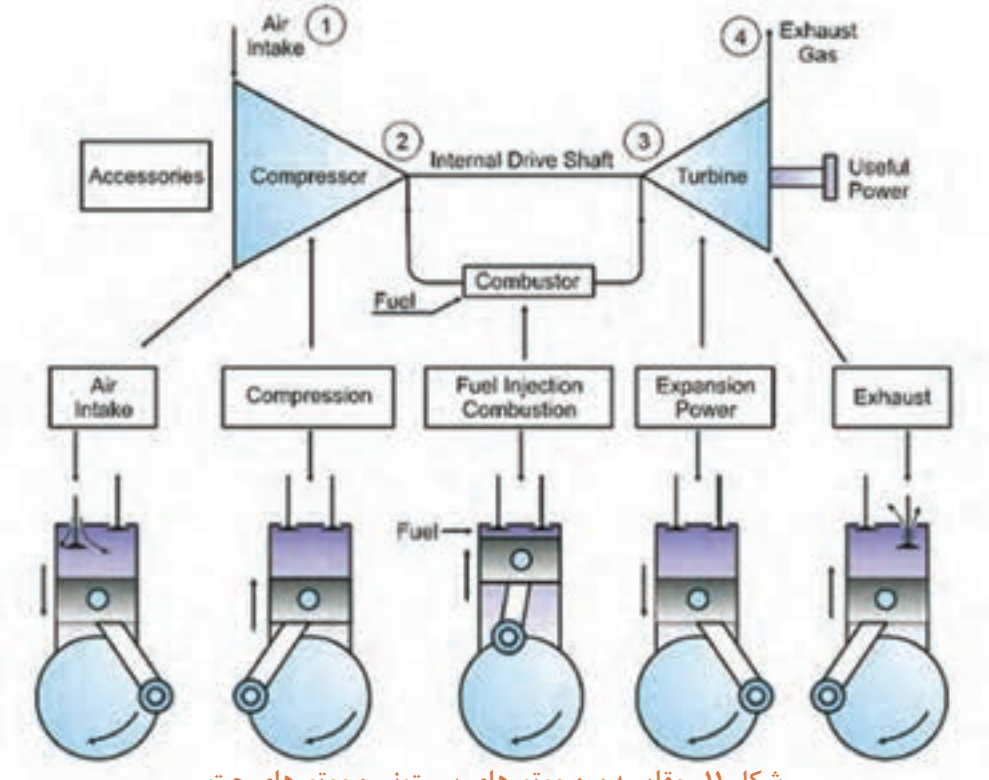
طبق تعریف، کار مکانیکی عبارت است از حاصل‌ضرب نیروی مقاوم در جابه‌جایی. برای استخراج کار مکانیکی از انرژی ذخیره شده در گاز، باید به نحوی آن را منبسط کرد، اما این انبساط تنها در شرایط خاصی می‌تواند تولیدکار نماید. فرض کنید به گاز داخل یک سیلندر، که در فشار اتمسفر قرار دارد، گرما دهیم؛ در اثر گرم شدن، گاز منبسط می‌شود و بخشی از آن سیلندر را ترک می‌نماید، بدین ترتیب چون هیچ نیروی مقاومی در برابر این انبساط وجود ندارد تا جابه‌جا گردد، کاری هم تولید نمی‌شود. به عبارت دیگر، برای اینکه بتوان از این انبساط حجم، کاری به‌دست آورد، باید یک نیروی مقاوم در برابر انبساط گاز وجود داشته باشد. برای ایجاد این نیروی مقاوم می توانیم با یک پیستون، گاز را محبوس کرده و وزنه‌ای روی پیستون قرار دهیم. با این کار، گاز در داخل سیلندر فشرده می‌شود. چنانچه در زیر این سیلندر شعله‌ای قرار گیرد، در اثر بالا رفتن دمای سیلندر، گاز شروع به انبساط می‌کند، ولی سنگینی وزنه برخلاف نیروی انبساط گاز، فشار وارد می‌کند. با حرارت‌دهی بیشتر، نیروی حاصل از انبساط گاز، بر سنگینی وزنه غلبه کرده و وزنه را بالا می‌برد. در نهایت بر اثر انبساط گاز، جابه‌جایی به‌وجود می‌آید که به مفهوم انجام کار می‌باشد. مقدار این کار، برابر است با میزان نیروی مقاوم وزنه در مقدار جابه‌جایی آن. این مقدار کار را می‌توان از طریق پارامترهای مربوط به‌سیلندر تعریف کرد. به‌عبارت دیگر کار انجام شده برابر است با حاصل ضرب فشار در تغییر حجم سیلندر. اگر از اتلاف انرژی در این سیستم صرف‌نظر نماییم، با خاموش شدن شعله زیر سیلندر، دیگر وزنه بالاتر نرفته و در ارتفاعی ساکن می‌ماند. در این حالت فشار درون سیلندر برابر با P می‌ماند.

حال از پایین این سیلندر را و به‌وسیله یک شیر، مجرایی به بیرون باز می‌کنیم و پره‌ای را در مقابل مسیر خروج گازها قرار می‌دهیم. با بازشدن شیر، جریانی از گاز تحت فشار به بیرون از سیلندر جریان می‌یابد. درحین خروج گاز از شیر، سرعت آن افزایش یافته و پس از برخورد با پره، سبب چرخش آن می‌شود. به‌عبارت دیگر با حرکت پره، انرژی جنبشی گاز به کار مکانیکی تبدیل می‌گردد. با فرض ثابت بودن سرعت حرکت پیستون، فشار داخل سیلندر تقریباً ثابت می‌ماند. به‌مرور زمان و با خروج گاز، پیستون پایین می‌آید تا جایی که همهٔ

گاز درون سیلندر تخلیه گردد و دیگر گازی، برای خارج شدن باقی نماند. در این زمان فشار درون نیز برابر فشار محیط می‌شود. با صفر شدن اختلاف فشار محیط و درون سیلندر، دیگر جریان هوایی با انرژی جنبشی بالا برای چرخاندن پره وجود نخواهد داشت و لذا پره از حرکت باز می‌ماند.

برای آنکه بتوانیم در پره حرکت مستمر داشته باشیم، باید مقدار انرژی جنبشی مورد نیاز را در مقداری خاص حفظ نماییم. به عبارت دیگر اختلاف فشار هوای درون و بیرون سیلندر باید ثابت باشد. فشار محیط برابر اتمسفر و ثابت است، در نتیجه فشار درون سیلندر نیز باید حفظ شود تا اختلاف فشار ثابت بماند. به‌همین دلیل با خارج شدن هوا از داخل سیلندر، باید به شکلی آن را جبران نمود. برای حصول این مقصود، از نقطه‌ای دیگر در سیلندر، مقدار هوای معادل با هوای خارج شده، وارد می‌گردد. برای اینکه بتوانیم دائماً به‌سیلندر هوای جایگزین وارد نماییم، باید هوای ورودی دارای فشاری بالاتر از فشار سیلندر باشد. لذا باید انرژی صرف شود تا هوایی با فشار بالاتر تولید و درون سیلندر تزریق شود. این انرژی را می‌توان از کار تولید شده در پره‌ها تأمین نمود. همان‌گونه که گفته شد، با گرم کردن هوای فشرده شدهٔ درون سیلندر، حجم آن افزایش یافته و انرژی پتانسیل آن نیز افزایش می‌یابد. این انرژی افزوده شده، با گرداندن پره به انرژی مکانیکی قابل استحصال تبدیل می‌شود. در نتیجه برای استمرار کارکرد پایدار سیستم باید به‌طور مداوم انرژی گرمایی به هوای فشرده شده، تزریق شود.

توربین گاز اساساً یک موتور حرارتی بوده و با استفاده از هوا به‌عنوان سیال عامل کار، تولید نیرو می‌کند. مراحل کاری موتورهای توربین گاز شبیه موتورهای پیستونی چهار زمانه است. با این تفاوت که در موتورهای توربین گاز عمل احتراق در فشار ثابت بوده ولی در موتورهای رفت و برگشتی در حجم ثابت انجام می‌شود. هر دو موتور شامل مراحل مکش، تراکم، احتراق و تخلیه است که در موتورهای پیستونی این مراحل به‌طور نوبتی انجام شده اما در موتورهای توربین گاز به‌طور دائم و پیوسته اتفاق می‌افتد. (شکل ۱۱)



شکل ۱۱ـ مقایسه بین موتورهای پیستونی و موتورهای جت

توربین گاز قدرت را از طریق به‌کار بردن انرژی گازهای سوخته و هوا که دما و فشار زیادی دارند، تولید می‌کند.
سیکل ساده توربین گاز شامل موارد زیر می‌باشد:

۱ کمپرسور
۲ محفظهٔ احتراق
۳ توربین

برای تولید قدرت بیشتر، به جریان زیادی از سیال و سرعت زیاد آن احتیاج می‌باشد که با استفاده از کمپرسور گریز از مرکز یا کمپرسور جریان محوری، سیال عامل کار متراکم شده و با سرعت و فشار مناسب به محفظهٔ احتراق هدایت می‌گردد. کمپرسور توسط توربین به‌حرکت درمی‌آید و روی همین اصل، محور آنها به‌هم متصل می‌باشد. اگر پس از عمل تراکم روی سیال عامل کار، سیال فوق در توربین منبسط گردد. با فرض نبودن تلفات در کمپرسور و توربین، همان مقدار کار که صرف تراکم شده است، توسط توربین به‌دست می‌آید و درنتیجه کار خالص صفر خواهد بود. ولی کار تولیدی توربین را می‌توان با اضافه کردن حجم سیال عامل کار در فشار ثابت، یا افزایش فشار آن در حجم ثابت، افزایش داد. هریک از دو روش فوق را می‌توان با بالا بردن دمای سیال عامل کار، پس از متراکم ساختن آن، به‌کار برد. برای بالا بردن دمای سیال عامل کار، یک احتراق لازم است که در آن هوا و سوخت محترق گردند تا موجب افزایش سیال عامل کار بشود.

توربین‌های گاز براساس فرایند احتراق به انواع زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱ احتراق پیوسته یا نوع فشار ثابت: این نوع سیکل را سیکل ژول یا سیکل برایتون می‌نامند.
۲ انفجاری یا نوع حجم ثابت: این نوع سیکل را سیکل آتکیسون می‌نامند.

در روش دیگری از طبقه بندی، توربین‌ها را از روی عمل انبساط گازها تقسیم‌بندی می‌کنند که عبارت‌اند از:

۱ توربین‌های ضربه‌ای
۲ توربین‌های ضربه ای ـ عکس العملی

توربین‌های گاز را از روی مسیر سیال عامل کار نیز طبقه‌بندی می‌کنند که عبارت‌اند از :

۱ توربین گاز با سیکل باز (سیال عامل کار از هوای بیرون موتور وارد می‌شود و به داخل هوای محیط تخلیه می‌گردد).
۲ توربین گاز با سیکل بسته (سیال عامل کار در داخل دستگاه گردش می‌کند).
۳ توربین گاز با سیکل نیمه بسته (مقداری از سیال عامل کار در داخل دستگاه گردش می‌کند و مقدار دیگر به داخل هوای محیط تخلیه می‌گردد).

نمایش فیلم

فیلم نحوه عملکرد توربین‌های گاز را نمایش دهید.

مزایای توربین گاز

۱ توربین‌های گازی به‌خاطرکوچک و ساده بودن نصب، خیلی سریع نصب می‌شود.
۲ توربین‌های گازی بعد از استارت، در عرض چند دقیقه (معمولاً کمتر از ده دقیقه) به مرحله بازدهی می‌رسند که در این زمان کوتاه، توربین‌های گازی را قادر ساخته است که در مواقعی که ماکزیمم مصرف برق

را در سیستم قدرت داریم یا در مواقع اضطراری مورد استفاده قرار گیرد. در ضمن تغییر بار (قدرت تولید) در این واحد، سریع صورت می‌گیرد.

۳ قیمت و هزینه نصب توربین‌های گازی پایین است. (حدود $\frac{۱}{۳}$ واحدهای بخار برای قدرت برابر)

۴ به علت سادگی ساختمان و کم بودن قسمت‌های کمکی و فرعی در توربین گاز بهره‌برداری از آن آسان می‌باشد.

۵ لرزش کم

۶ نیاز تعمیراتی آن کم است.

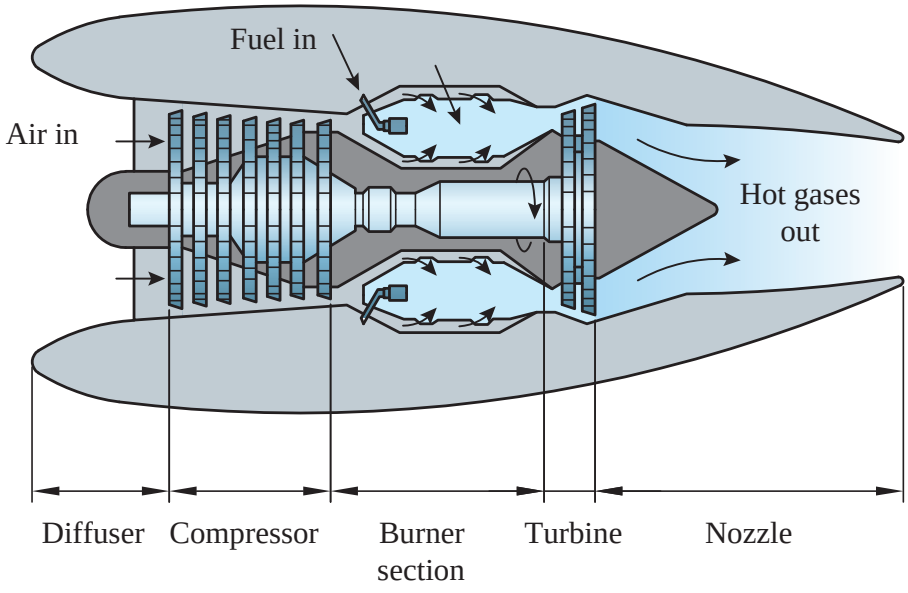
معایب توربین گازی

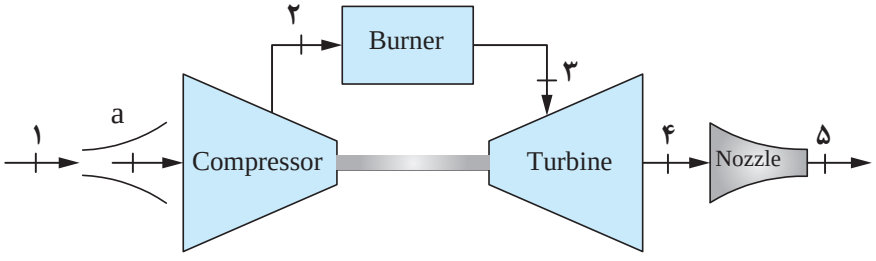
۱ مصرف سوخت زیادی دارند

۲ هزینه اولیه بالایی دارند

سیکل ساده توربین گاز

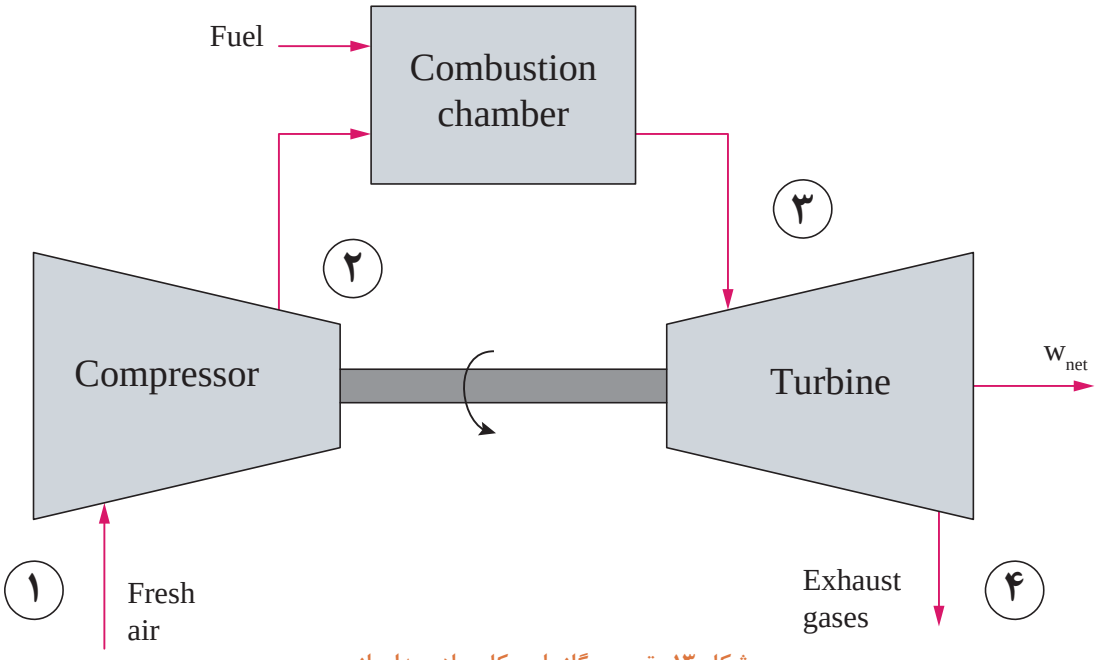
سیکل ایدئال برای یک توربین گاز ساده، سیکل ژول یا سیکل برایتون می‌باشد. در شکل ۱۲و۱۳ طرح ساده توربین گاز ساده نشان داده شده است.





شکل ۱۲ـ توربین گاز با سیکل ساده مدار باز

هوای محیط در داخل کمپرسور از فشار P_1 تا P_2 متراکم می‌گردد و سپس به محفظهٔ احتراق فرستاده می‌شود هوای متراکم در محفظهٔ احتراق با سوخت پاشیده شده ترکیب و محترق می‌گردد. فرایند احتراق به‌طور تقریبی در فشار ثابت صورت می‌گیرد (فشار P_2 تا P_3). در اثر احتراق، دمای سیال عامل کار زیاد می‌شود و از T_2 تا T_3 می‌رسد. گازها پس از خروج از محفظهٔ احتراق وارد توربین می‌شوند و در آن‌جا از فشار P_3 تا فشار جو منبسط می‌گردند و به داخل هوای محیط تخلیه می‌شوند. از آن‌جا که محور کمپرسور به توربین متصل شده است، کمپرسور مقداری از کار تولید شده توسط توربین را مصرف می‌کند و در نتیجه بازده را کاهش می‌دهد. بنابراین، کار خالص برابر است با اختلاف بین کار انجام شده توسط توربین و کار مصرف شده به‌وسیله کمپرسور.



شکل ۱۳ــ توربین گاز با سیکل ساده مدار باز

راه‌های اصلاح بازده و کار خروجی ویژه سیکل ساده

برای اصلاح کار یک توربین گاز با سیکل ساده می‌توان از روش‌های زیر استفاده نمود:

۱ بازیابی حرارتی
۲ اصلاح قدرت خروجی واحد توربین
۳ کاستن از قدرت مصرفی کمپرسور
۴ تزریق آب

تحقیق‌کنید

هر یک از روش‌های اصلاح بازده و کار خروجی سیکل ساده توربین گاز را بررسی کنید

توربین گاز با سیکل باز

مولد قدرت توربین گاز با سیکل باز بدون بازیاب، خنک‌کن میانی و گرم‌کن مجدد (بدون اصلاح بازده) به‌صورت گسترده در همه زمینه‌ها کاربرد داشته است. از آن جمله در صنعت هوایی به‌عنوان اصلی‌ترین محرکه به‌کار گرفته شده است. در زمینه دریایی نیز به‌عنوان محرکه‌های اصلی دستگاه‌های فرعی استفاده شده است. همچنین در خشکی نیز توانسته است به‌عنوان یک مولد قدرت سودمند در کلیه قسمت‌ها به‌کار گرفته شود. در هر زمینه، مزایا و معایب توربین گاز بستگی به نوع به کارگیری این مولد قدرت دارد.

توربین گاز با سیکل بسته

در توربین گاز با سیکل بسته، ماده عامل کار به‌صورت پیوسته در داخل توربین گردش می‌کند. توربین گاز با مدار بسته مانند توربین بخار می‌باشد، زیرا در توربین بخار نیز ماده عامل کار در داخل توربین محبوس می‌باشد. در توربین گاز با سیکل بسته، مشخصه کارایی، تأثیر انواع متغیرهای کارکرد و اجزای آن بر کارایی و همچنین کلیه روابط تئوری همانند توربین گاز با سیکل باز می‌باشد. نظر به این که در توربین گاز با مدار بسته، سیال عامل کار پیوسته در توربین گردش می‌کند، باید در آن از سیالی که دانسیته آن بیشتر از هوا باشد استفاده نمود. حرارت داده شده به سیال باید توسط یک مبدل حرارتی از یک منبع خارجی صورت بگیرد، و پس دادن حرارت نیز باید توسط یک مبدل حرارتی دیگر با یک ماده خنک کن که غالباً خنک کن اولیه نامیده می‌شود، انجام بگیرد. این نوع توربین‌های گازی، به‌طور معمول از دو سیکل اولیه و ثانویه استفاده می‌نمایند. در سیکل اولیه استفاده از سیالی با وزن مخصوص بالاتر ترجیح داده می‌شود تا ابعاد هندسی توربین، کمپرسور و مبدل حرارتی کاهش یابد. افزایش وزن مخصوص سیال باعث می‌شود که از سیکل اولیه، در فشار بالاتری بهره‌برداری شود.

توربین گاز با سیکل نیمه بسته

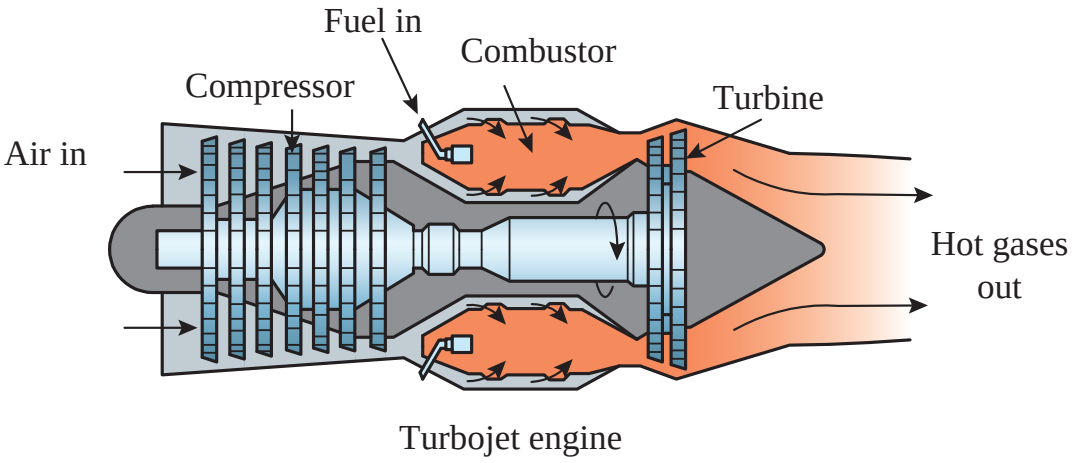
در سیکل مدار نیمه بسته، مقداری از سیال عامل کار در داخل توربین گردش کرده و مقداری از آن نیز به‌داخل هوای محیط تخلیه می‌شود. این سیکل را از نقطه نظر محاسن و معایب، می‌توان بین سیکل باز و بسته دانست. این دستگاه، به طورکلی یک دستگاه فشار قوی است و اجزای آن با قدرت خروجی مساوی، کوچکتر از اجزای دستگاه سیکل باز می‌باشد و دارای خصوصیات نیمه باز بهتری نسبت به سیکل باز است. در این سیکل گرم‌کن هوای آن نسبت به مدار بسته کوچک‌تر می‌باشد.

در این سیکل، سیال عامل کار (هوا) در کمپرسور کمکی فشرده شده و هوای خروجی توربینی که کمپرسور را به حرکت در می‌آورد و از خنک‌کن اولیه عبور می‌کند، هر دو خروجی هوا وارد کمپرسور فشار قوی می‌شود و متراکم می‌گردد. هوای متراکم شده در کمپرسور فشار قوی، قبل از ورود به گرم‌کن هوا به دو قسمت تقسیم می‌شود. یک قسمت آن که توربین قدرت را به کار می‌اندازد برای احتراق داخل گرم‌کن هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد و قسمت دیگر آن که با سوخت مخلوط نمی‌شود، به وسیله گرمای احتراق، گرم می‌شود. به طوری که همیشه این قسمت از هوا ممکن است در داخل دستگاه بسته گردش کند. گازهای خروجی از توربین قدرت به داخل هوای محیط تخلیه می‌شود.

سیکل باز توربین گازی تک محوری و دو محوری

توربین‌های گاز تک محوری (شکل ۱۴)، به منظور تولید توان ثابت بسیار مناسب می‌باشند. در این نوع واحدها، کارایی در حالت تولید توان پایین، کم بوده و لذا مورد توجه نیست. این نوع توربین گازی مزیت دیگری دارد و آن این که درصورت قطع بار یا باربرداری، نیروهای کششی موجود در کمپرسور، از بالا رفتن سرعت محور توربین جلوگیری می‌کنند.

نوع دیگر، توربین گاز دو محوری است که در آن، از محورها با سرعت متفاوتی بهره‌برداری می‌شود. هریک از این محورها، توربینی با توان متفاوت دارند و برای شرایطی که محدودهٔ وسیعی از توان مورد نیاز است، از آن استفاده می‌شود. این نوع واحدها به طور گسترده در حمل و نقل زمینی و دریایی مانند شناورهای دریایی و راه آهن به‌کار گرفته می‌شود. این نوع توربین دارای یک توربین گازی فشار بالا و یک توربین گاز فشار ضعیف است. توان حاصل از توربین گازی فشار بالا، صرف چرخاندن کمپرسور می‌شود. توربین قسمت فشار ضعیف، انرژی لازم برای مصرف را که توان آن ثابت نبوده و بستگی به‌مصرف‌کننده دارد (که درحال تغییر است)، تولید می‌کند. این نوع توربین‌ها در تولید قدرت رانش شناورهای دریایی به‌صورت گسترده استفاده می‌گردند. نقطه ضعف این واحدها در هنگام باربرداری اتفاق می‌افتد. در این‌صورت سرعت محور از حد عادی بالاتر می‌رود. برای جلوگیری از بروز چنین شرایطی، سیستم کنترل مناسبی طراحی و به‌کار برده می‌شود.



شکل ۱۴ ـ توربین گاز ساده

فعالیت کارگاهی

از یک نیروگاه گازی بازدید کنید و ویژگی‌ها و سیکل توربین گاز آن را بررسی کنید.

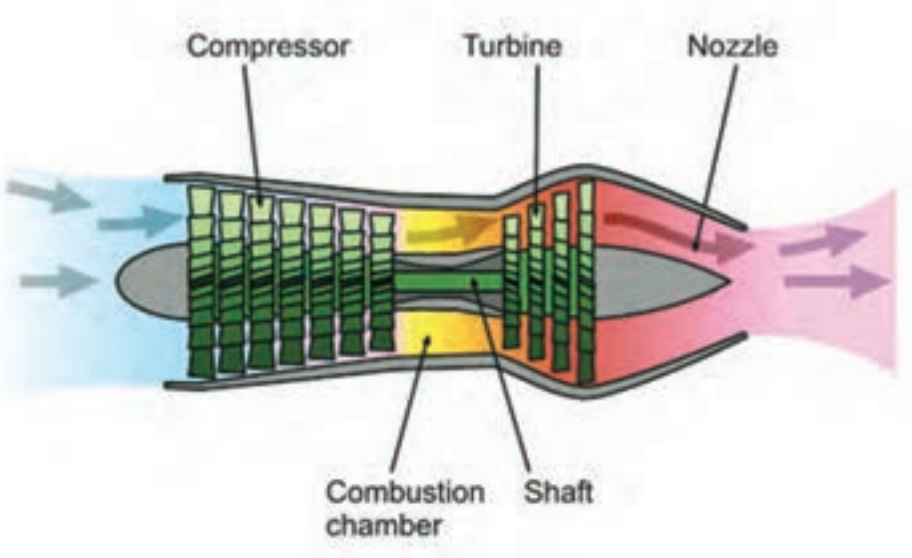
انواع موتورهای جت توربینی

امروزه به‌دلیل گستردگی استفاده از موتورهای جت توربینی برای مقاصد مختلف نیاز به‌طراحی موتورهای جت توربینی با کاربرد متفاوت می‌باشد. درحال حاضر چهار نوع موتور جت توربینی در صنعت استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

۱ توربو جت
۲ توربوفن
۳ توربوپراپ
۴ توربو شفت

توربوجت

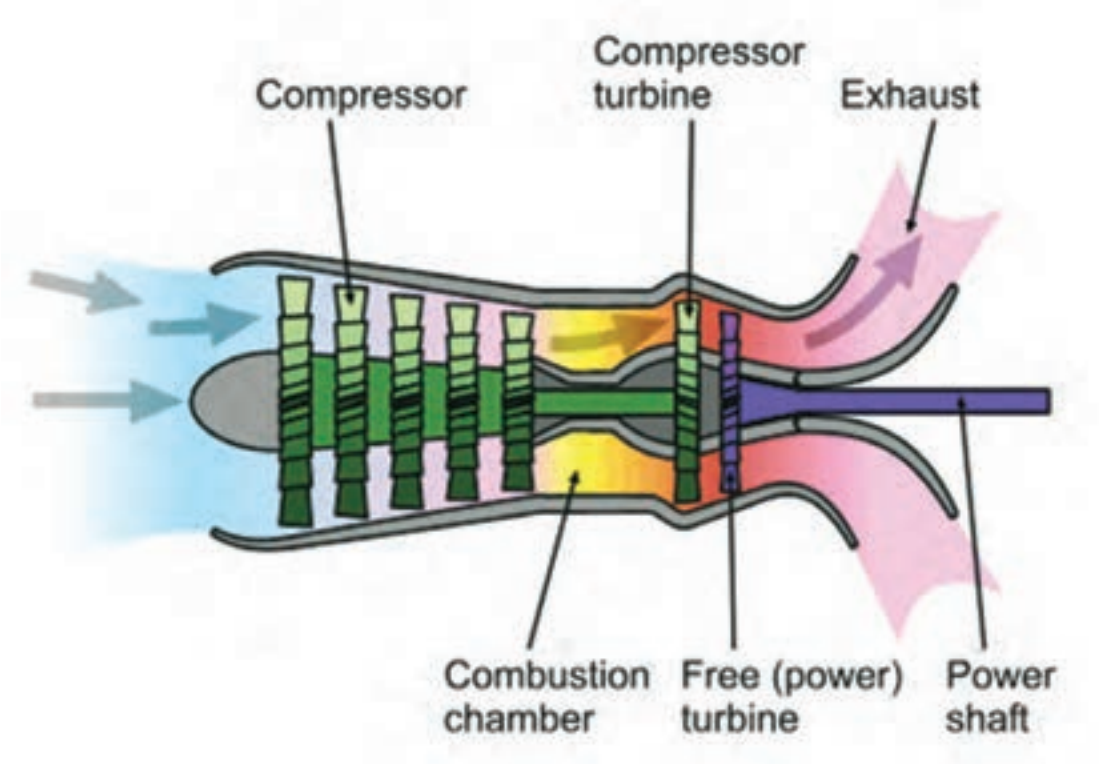
توربوجت اولین و ساده‌ترین شکل از یک موتور جت جهت تولید تراست است. همان‌طوری که در شکل۱۵ دیده می‌شود دارای کمپرسور، محفظهٔ احتراق، توربین و سایر قسمت‌های استاندارد یک موتور توربین گازی می‌باشد. تفاوت بارزی که بین یک توربوجت و یک موتور توربین گازی ساده وجود دارد در کمپرسور توربوجت است که دارای ضریب تراکم بسیار بالاتری نسبت به یک توربین گاز ساده است. تفاوت اساسی دیگر در توربین آن است که در توربوجت توربین تنها به‌کمپرسور متصل است و تنها میزان بسیارکمی از قدرت همان توربین جهت سایر موارد فرعی مانند پمپ‌ها استفاده می‌شود و در توربوجت پرانرژی بودن گازهای خروجی یک موضوع بسیار مهم و قابل توجه است، درحالی که دریک موتور توربین گازی به غیراز توربینی که به کمپرسور متصل است توربین دیگری نیز جدا از آن در قسمت خروجی محفظهٔ احتراق قرار دارد که درواقع به شفت خروجی موتور متصل است و جهت استفاده در مواردی از قبیل تولید برق و سایر موارد مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. نکتهٔ قابل توجهی که درمورد موتورهای توربین گازی وجود دارد این است که از گازهای خروجی آنها هیچ استفاده‌ای نمی‌شود به‌همین جهت سعی می‌شود که تمام حرارت و انرژی قابل استفاده گازهای محترق قبل از خروج جهت بازدهی بیشتر گرفته شود.



شکل ۱۵ـ نمونه یک توربوجت

توربوشفت

توبوشفت گونه‌ای از موتورهای جت است که تقریباً تمام بالگردها و کشتی‌هایی که امروزه ساخته می‌شوند، از آن نیرو می‌گیرند. همان‌طور که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود توربوشفت از بسیاری قسمت‌های توربوجت استفاده می‌کند. یک تفاوت اساسی بین توربوشفت و سایر موتورهایی که در بالا معرفی شدند این است که توربین تنها به‌کمپرسور متصل نیست. البته همانند توربوپراپ در اکثر موتورهای توربوشفت چند مرحله از توربین‌های مجزا از کمپرسور، وجود دارند که انرژی آنها از طریق شفتی مجزا به‌جعبه دنده جهت تغییر به‌گشتاور مناسب انتقال می‌یابد و بعد مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور نمونه تیغه‌های روتور بالگرد را می‌چرخاند. از طرفی بالگردها در ارتفاعی بسیار پایین‌تر از هواپیماها جایی که گرد وخاک، ماسه و دیگر آشغال‌های ریز به‌راحتی می‌توانند به داخل موتور مکیده شوند، کار می‌کنند. جهت برطرف کردن این مشکل، بیشتر موتورهای توربوشفت به‌یک دستگاه تجزیهٔ ذره‌ها که جریان ورودی را صاف کرده و قبل از رسیدن آن به کمپرسور، گردوخاک را بیرون می‌ریزد، مجهز هستند. (شکل ۱۶)



شکل ۱۶ـ نمونه یک توربوشفت

فعالیت کارگاهی

توسط یک قیف فلزی و مشعل برشکاری با استفاده از دانش علمی توربین‌های گاز، توربین دست‌ساز خود را به‌حرکت درآورید.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز	نگه‌داری و تعمیر توربین گاز	نگهداری و تعمیر توربین گاز	بالاتر از حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه‌اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ عملکرد توربین گاز را بررسی کند. ۲ـ یک توربین گاز ساده را بسازد و راه اندازی کند. ۳ـ نکات زیست محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر توربین گاز را رعایت کند. *هنرجو توانایی انجام یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی نگهداری و تعمیر توربین بخار و گاز

شرح کار:
نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار؛
نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی ؛
نگهداری و تعمیر توربین گاز.

استاندارد عملکرد:
باید بتواند عملکرد دیگ بخار، عملکرد توربین بخار دریایی و توربین گاز را بررسی نماید.

شاخص‌ها:
ـ عملکرد دیگ‌های بخار رابررسی کند.
ـ عملکرد توربین‌های بخار دریایی رابررسی کند.
ـ عملکرد توربین گاز رابررسی کند.
ـ ساخت و راه اندازی توربین دیگ بخار ساده،توربین بخار ساده و توربین گاز ساده.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
شرایط: کارگاه مکانیک موتورهای دریایی با شرایط تهویهٔ مناسب و نور کافی.
ابزار و تجهیزات: رایانه، ویدئو پرژکتور، قیچی ورق بر،مشعل برش.

معیارشایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	نگهداری و تعمیر دیگ‌های بخار.	۲	
۲	نگهداری و تعمیر توربین‌های بخار دریایی.	۱	
۳	نگهداری و تعمیر توربین گاز.	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، و... ۱ـ استفاده از لباس مناسب کار در کارگاه ۲ـ استفاده صحیح و مناسب از ابزار و تجهیزات کارگاه ۳ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها، ۴ـ دقت و تمرکز در اجرای کار، ۵ـ شایستگی تفکر و یاد گیری مادام العمر، ۶ـ رعایت اصول و مبانی اخلاق حرفه‌ای،	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.