

## فصل ۱

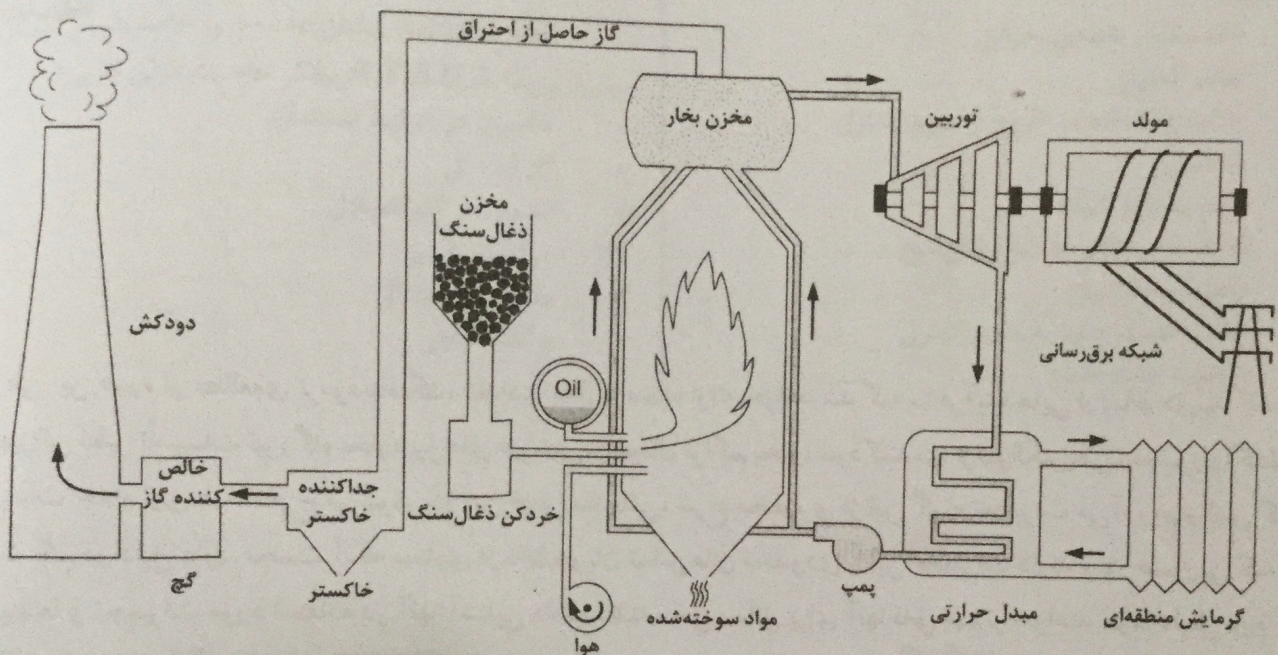
### مقدمه

در طی این دوره از مطالعه‌ی ترمودینامیک، تعدادی مثال و مسئله ارائه خواهد شد که با فرآیندهایی ارتباط دارند که در تجهیزاتی نظیر تأسیسات نیروگاه بخار، پیل‌های سوختی، یخچال تراکم بخار، سردکننده‌ی ترموالکتریکی، موتور راکت و تأسیسات جداسازی هوا، مطرح می‌شوند. در این فصل مقدماتی، شرح مختصری از این گونه تجهیزات می‌آوریم و این کار دست کم دو دلیل دارد. نخست آنکه بسیاری از دانشجویان تماس‌های محدودی با این تجهیزات دارند و در صورتی که با فرآیندها و تجهیزات مورد استفاده در آنها آشنایی داشته باشند، حل مسائل برای آنها قابل فهم‌تر خواهد بود. دلیل دوم آن است که این فصل مقدمه‌ای بر ترمودینامیک خواهد بود که در بردارنده‌ی کاربرد عبارات خاص (که در فصول آینده به‌طور کاملتر تعریف می‌گردند)، برخی از مسائل مربوط به ترمودینامیک و همچنین برخی از نتایج کاربرد ترمودینامیک می‌باشد. ترمودینامیک با بسیاری از فرآیندهای دیگر نیز ارتباط دارد که در این فصل به آنها اشاره نمی‌شود. در مطالعه‌ی خواص مواد، واکنش‌های شیمیایی و پلاسما، مطالعه‌ی ترمودینامیک از مبانی و اصول کار به‌شمار می‌آید. دانشجو باید به‌خاطر بسپارد که این فصل تنها مقدمه‌ای خلاصه و به‌ناچار ناقص در باره ترمودینامیک است.

#### ۱-۱ تأسیسات ساده‌ی نیروگاه بخار

یک نمودار طرحواره‌ای از تأسیسات ساده‌ی نیروگاه بخار در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. بخار مافوق گرم فشار بالا از دیگ بخار که آن را مولد بخار نیز می‌نامند، خارج و وارد توربین می‌شود. این بخار در توربین منبسط می‌شود و بدین طریق کار انجام می‌دهد و در نتیجه توربین می‌تواند مولد الکتریسیته را به حرکت درآورد. حال بخار آب با فشار پایین از توربین خارج شده و وارد مبرد حرارتی می‌گردد که در آنجا حرارت از بخار آب به آب سرد انتقال می‌یابد (و در نتیجه چگالیده می‌شود). از آنجا که مقادیر زیادی از آب سرد مورد نیاز است، تأسیسات نیروگاه‌های بخار را غالباً در مجاورت رودخانه‌ها یا دریاچه‌ها بنا می‌کنند. به‌واسطه‌ی تبادل حرارت با آب رودخانه یا دریاچه، مسئله آلودگی حرارتی پیش می‌آید که در سال‌های اخیر در سطح وسیعی مورد مطالعه و توجه قرار گرفته است. در طی مطالعات ترمودینامیکی، متوجه خواهیم شد که چرا انتقال حرارت لازم است و چگونه می‌توان آن را به حداقل رساند. در مواقعی که منبع تامین آب سرد محدود است از برج خنک کن استفاده می‌شود. در برج خنک کن، قسمتی از آب سردکننده‌ها، تبخیر می‌شود و بدین ترتیب درجه حرارت

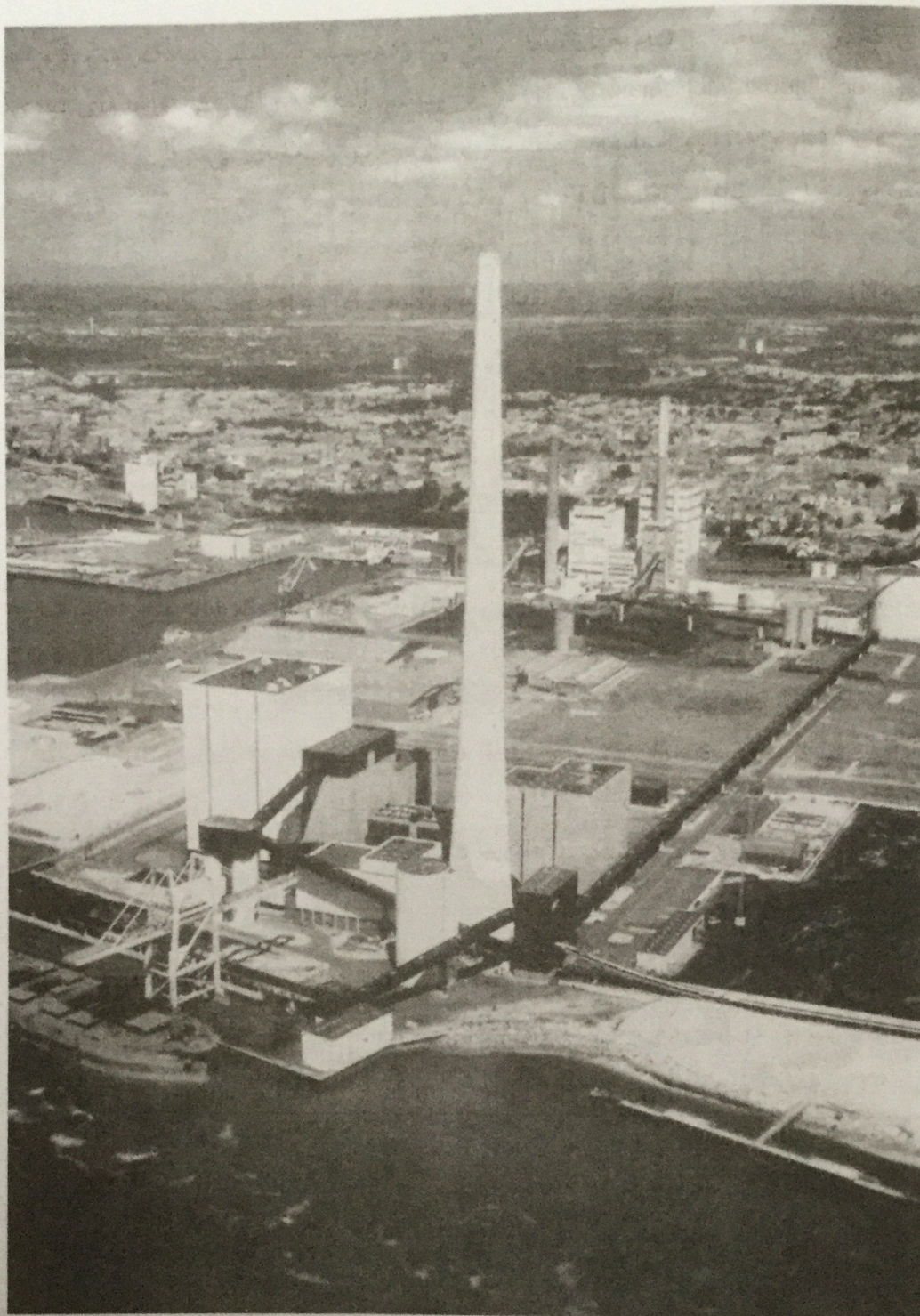
مایع آب کاهش می‌یابد. در نیروگاه نشان داده شده در شکل (۱-۱) تأسیسات به گونه‌ای طراحی شده است که آب سردکننده‌ی چگالنده در سیکل دیگری برای گرمایش فضاهای ناحیه مورد استفاده قرار گیرد. فشار مایع چگالیده شده‌ای که از چگالنده خارج می‌شود، در پمپ افزایش می‌یابد و در نتیجه به مولد بخار برای استفاده‌ی مجدد برمی‌گردد. در بسیاری از موارد، از یک سیستم صرفه‌جو یا پیش‌گرمکن آب در سیکل بخار استفاده می‌شود و در بسیاری از تأسیسات، هوایی که برای احتراق با سوخت به کار برده می‌شود، توسط گازهای حاصل از احتراق، پیش‌گرم می‌شود. این گازهای خروجی باید قبل از تخلیه به اتمسفر زمین، خالص‌سازی شوند به نحوی که پیچیدگی زیادی را نسبت به سیکل ساده به وجود می‌آورند.



شکل ۱-۱ طرحواره‌ی یک نیروگاه بخار

شکل (۱-۲) تصویری از یک نیروگاه است که در شکل (۱-۱) تشریح شد. ساختمان بلندی که در سمت چپ نزدیک محل قرار گرفتن توربین و سایر تجهیزات است، محل دیگ بخار را نشان می‌دهد. دودکش بلند و کشتی حمل ذغال سنگ نیز نشان داده شده است. این تأسیسات نیروگاه خاص در دانمارک قرار دارد و در زمان نصب آن دارای رکورد کارایی و بازده بود و چهل و پنج درصد از ۸۵۰ مگاوات انرژی حاصل از احتراق ذغال سنگ را به الکتریسیته تبدیل می‌کرد. چهل و هفت درصد از باقیمانده‌ی انرژی برای گرمایش فضاهای مسکونی منطقه مورد استفاده‌ی مجدد قرار می‌گرفت که قبلاً در نیروگاه‌های قدیمی بدون استفاده به محیط زیست فرستاده می‌شود.

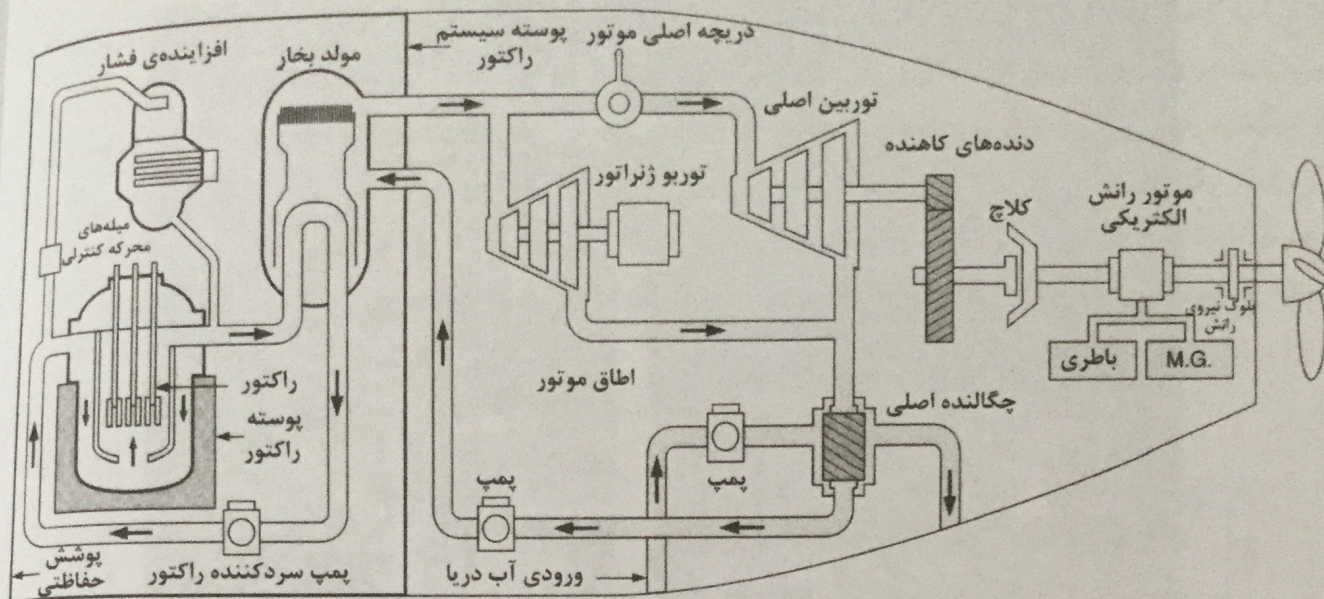
نیروگاه بخاری که در فوق تشریح گردید با استفاده از ذغال سنگ به عنوان سوخت احتراق کار می‌کند. در نیروگاه‌های دیگر از گاز طبیعی، نفت یا گازهای حاصل از تجزیه مواد ضایعات (biomass) استفاده می‌شود. تعدادی از نیروگاه‌های سراسر جهان با استفاده از حرارت آزاد شده در واکنش‌های هسته‌ای به جای سوخت احتراق کار می‌کنند. شکل (۱-۳) نمایش طرحواره‌ای از یک نیروگاه هسته‌ای در یک زیردریایی به عنوان نیروی رانش را نشان می‌دهد. در این سیکل، سیال ثانویه‌ای در راکتور جریان می‌یابد که حرارت آزاد شده توسط واکنش هسته‌ای را جذب می‌نماید. این حرارت در مولد بخار چگالنده، آب دریاست که با درجه حرارتی بالاتر به دریا بازمی‌گردد.



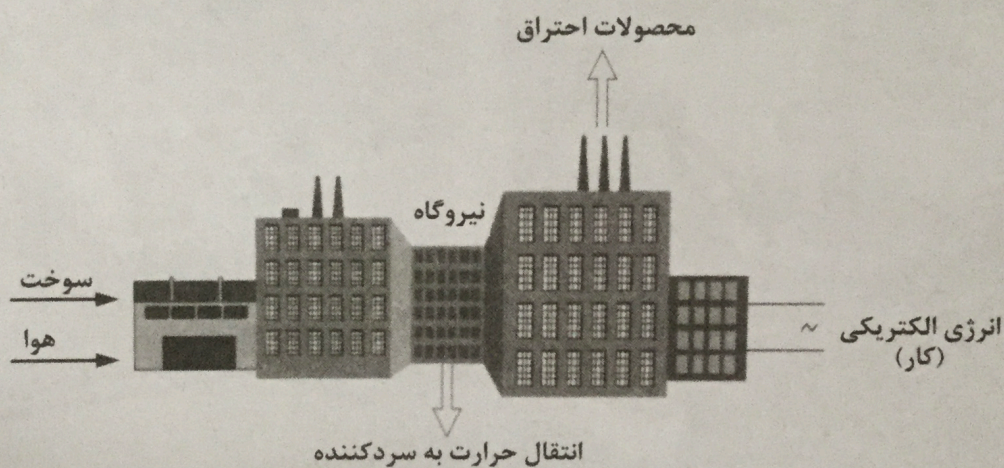
شکل ۱-۲ نیروگاه اسبرگ، دانمارک

## ۱-۲ پیل‌های سوختی

هنگامی که یک نیروگاه معمولی را به عنوان یک کلیت مورد بررسی قرار دهیم (نظیر شکل ۱-۴)، مشاهده خواهیم کرد که سوخت و هوا وارد نیروگاه می‌شود و محصولات احتراق از آن خارج می‌شود. همچنین تبادل حرارت به آب سرد نیز وجود دارد و کار نیز به شکل انرژی الکتریکی از نیروگاه خارج می‌شود. هدف کلی نیروگاه تبدیل قابلیت کاردهی سوخت به کار (به صورت انرژی الکتریکی) به مؤثرترین شیوه و با در نظر گرفتن ضروریاتی نظیر هزینه‌ها، فضای مورد نیاز و محیط زیست می‌باشد.



شکل ۱-۳ طرحواره سیستم رانش یک زیر دریایی هسته‌ای

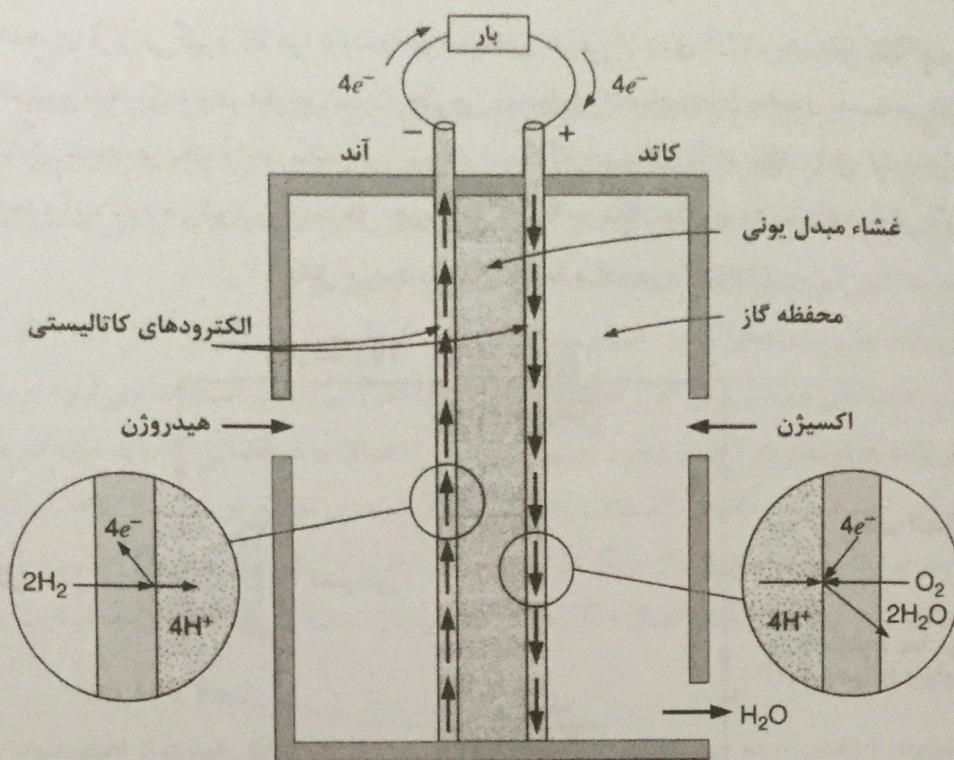


شکل ۱-۴ طرحواره یک نیروگاه

می‌توانیم این سؤال را مطرح کنیم که آیا تمامی تجهیزات یک نیروگاه نظیر مولد بخار، توربین، چگالنده و پمپ مورد نیاز می‌باشند؟ آیا ممکن نیست که انرژی الکتریکی را از سوخت به روشی مستقیم‌تر به دست آوریم؟

پیل سوختی وسیله‌ای است که چنین هدفی را برآورده می‌کند. شکل (۱-۵) نشان دهنده‌ی طرحی از پیل‌های سوختی از نوع غشاء تبادل یونی است. در این پیل سوختی هیدروژن و اکسیژن با هم واکنش می‌کنند و آب به دست می‌آید. جریان الکترون در مدار خارجی از آند به کاتد صورت می‌گیرد. هیدروژن از سمت آند و اکسیژن از سمت کاتد وارد می‌شود. بنابراین اختلاف پتانسیلی بین آند و کاتد وجود دارد که حاصل آن جریان الکتریسته به واسطه‌ی اختلاف پتانسیل است که در اصطلاح ترمودینامیک آن را کار می‌نامیم. همچنین ممکن است تبادل حرارتی بین پیل سوختی و محیط صورت می‌گیرد.

در حال حاضر در پیل‌های سوختی از هیدروژن یا مخلوطی از گازهای هیدروکربوی و هیدروژن استفاده می‌شود. اکسیدکننده نیز معمولاً اکسیژن است. با این حال پیشرفت‌های جاری در جهت تولید پیل‌های سوختی است که در آنها از سوخت‌های هیدروکربوری و هوا استفاده می‌شود.



شکل ۱-۵ چگونگی عملکرد یک پیل سوختی از نوع غشاء تبادل یونی.

گرچه در حال حاضر نیروگاه‌های بخار معمول (یا هسته‌ای) در سطح وسیعی برای سیستم‌های تولید قدرت به کار برده می‌شوند و موتورهای پیستونی و توربین‌های گازی برای سیستم‌های حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی سرانجام پیل‌های سوختی به عنوان یک رقیب جدی برای آنها مطرح خواهند شد. پیل‌های سوختی در حال حاضر برای تولید قدرت مورد نیاز در کاربردهای فضایی و خاص کاربری دارند.

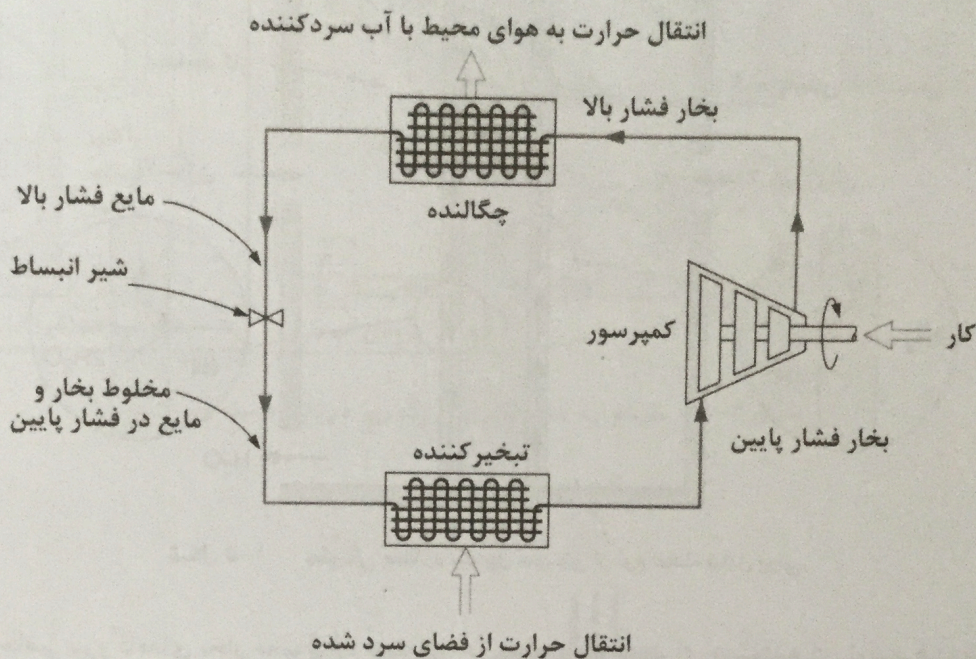
ترمودینامیک نقشی اساسی در تجزیه و تحلیل، توسعه و طراحی سیستم‌های تولید قدرت شامل موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی و توربین‌های گازی ایفا می‌کند. الزامات و اهدافی چون افزایش کارایی، بهبود طراحی، شرایط بهینه‌ی عملیاتی و آلودگی محیط زیست و روش‌های متنوع تولید قدرت همراه با سایر عوامل، مستلزم کاربرد دقیق اصول و مبانی ترمودینامیک است.

### ۱-۳ سیکل تبرید تراکم بخار

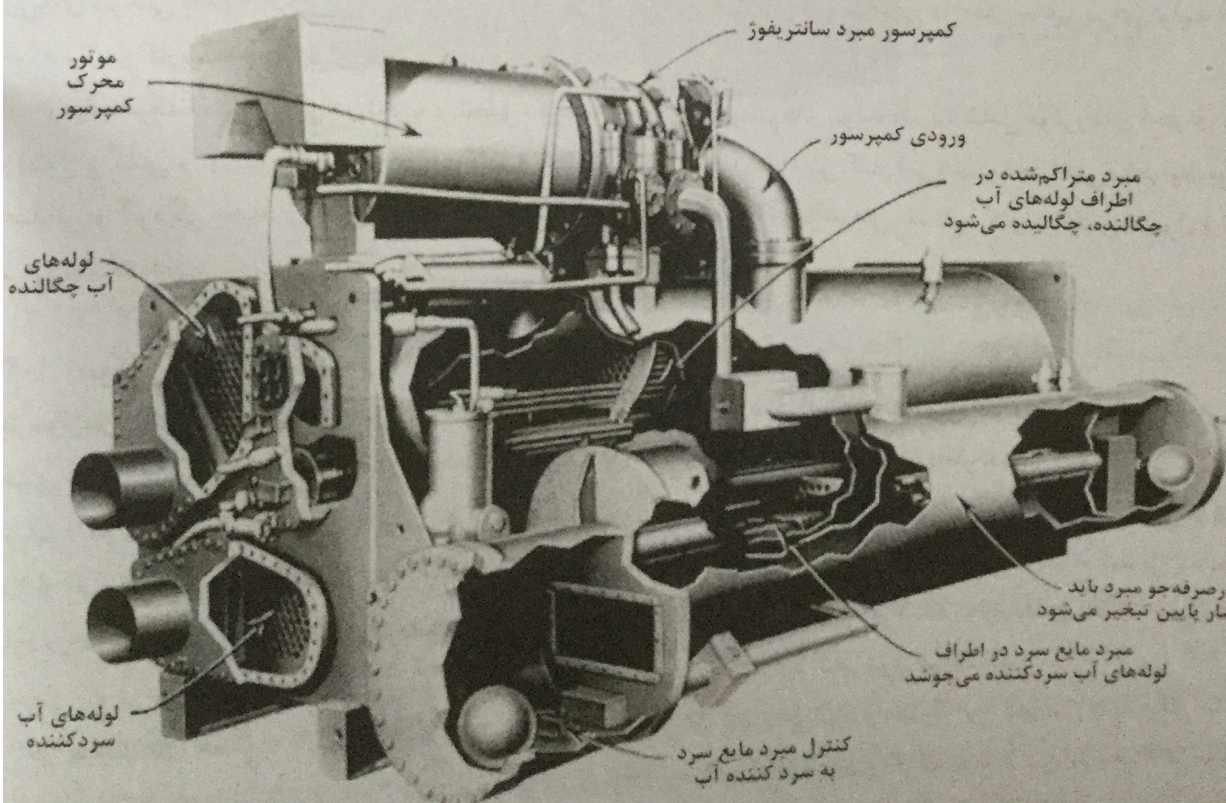
طرحواره‌ی یک سیکل تبرید تراکم بخار در شکل (۱-۶) مشاهده می‌شود. در این سیکل، مبرد که فشار آن پایین است و تا حدی مافوق گرم است وارد کمپرسور می‌شود. مبرد پس از خروج از کمپرسور به صورت بخار با فشار بالاتر وارد چگالنده می‌شود که در آنجا مبرد همزمان با انتقال حرارت به آب سرد یا محیط اطراف، چگالیده می‌شود و به صورت مایعی با فشار بالا از آن خارج می‌شود. با جریان یافتن مایع از طریق شیر انبساط، فشار مایع کاهش می‌یابد و بخشی از مایع تبدیل به بخار سرد می‌شود. مایع باقیمانده که اکنون دارای فشار و درجه حرارت پایین است در تبخیرکننده به واسطه‌ی انتقال حرارت از محیطی که تبرید آن مورد نظر می‌باشد، تبخیر می‌شود و بخار مبرد مجدداً وارد کمپرسور خواهد شد.

در یخچال‌های خانگی، کمپرسور در قسمت پشتی و تحتانی واحد نصب می‌شود و معمولاً این کمپرسورها به شکل کاملاً بسته و آب‌بندی شده‌اند یعنی موتور و کمپرسور هر دو در یک پوسته‌ی آب‌بندی قرار گرفته‌اند و هادی جریان الکتریسیته برای موتور از این پوسته می‌گذرد. این عمل به منظور جلوگیری از نشت مبرد صورت می‌گیرد. چگالنده نیز در پشت یخچال

نصب می شود و به نحوی قرار می گیرد که هوا به واسطه ی جابجایی طبیعی از روی آن جریان یابد. شیر انبساط به شکل یک لوله موئین طویل است و تبخیر کننده در اطراف سمت خارجی محفظه ی انجماد درون یخچال نصب می شود. شکل (۱-۷) نمایش دهنده ی یک واحد سانتریفوژ بزرگ است که جهت تبرید در یک واحد تهویه ی مطبوع به کار برده می شود. در این واحد، آب سرد می شود و در سیکل جریان می یابد تا در مکان های مورد نیاز، سرمایش لازم را انجام دهد.



شکل ۱-۶ نمودار ساده ی یک سیکل تبرید.

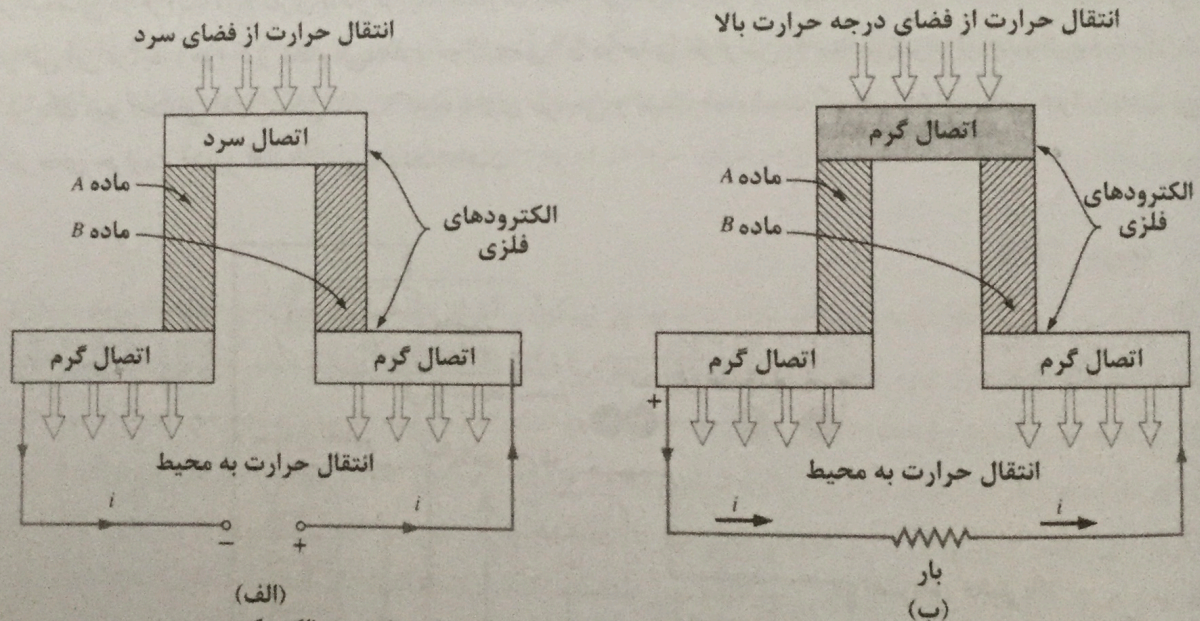


شکل ۱-۷ یک واحد تبرید برای سیستم تهویه ی مطبوع.

## ۱-۴ یخچال ترموالکتریک

می‌توانیم همان سئوالی را که در مورد نیروگاه‌های بخار مطرح نمودیم، برای یخچال تراکم بخار نیز مطرح کنیم. به عبارت دیگر می‌توان پرسید که آیا امکان انجام چنین عملی به روش مستقیم‌تر وجود ندارد؟ و آیا ممکن است در مورد یخچال، از انرژی الکتریکی (که به موتور الکتریکی داده می‌شود تا کمپرسور را فعال کند) استفاده و به روشی مستقیم‌تر تولید سرما کنیم و از هزینه‌های مربوط به کمپرسور، چگالنده، تبخیرکننده و لوله‌کشی آنها بپرهیزیم؟

یخچال ترموالکتریک، چنین وسیله‌ای را در اختیار ما قرار می‌دهد که طرحواره‌ی آن در شکل (۸-۱ الف) نشان داده شده است. در وسیله‌ی ترموالکتریک همانند ترموکوپل‌های رایج از دو ماده‌ی غیرمشابه استفاده می‌شود و بین این دو ماده غیرمشابه، در یخچال ترموالکتریک دو اتصال وجود دارد. یکی از این اتصالات در فضایی که باید سرد شود قرار می‌گیرد و دیگری در محیط بیرونی نصب می‌شود. وقتی اختلاف پتانسیلی اعمال شود، درجه حرارت اتصال واقع در محیط سردشونده کاهش می‌یابد و در عوض درجه حرارت اتصال دیگر افزایش خواهد یافت. در شرایط عملیاتی حالت پایدار، حرارت از فضای سردشده به اتصال سرد انتقال می‌یابد. اتصال دیگر در درجه حرارتی است که بالاتر از درجه حرارت محیط است و لذا حرارت از آن به محیط انتقال می‌یابد.



شکل ۸-۱ الف) یک یخچال ترموالکتریک (ب) یک مولد توان ترموالکتریک.

از یک وسیله‌ی ترموالکتریک می‌توان برای تولید نیرو استفاده کرد. به این شکل که به جای فضای سردشونده، جسمی قرار دهیم که درجه حرارت آن بالاتر از درجه حرارت محیط است. چنین سیستمی را در شکل (۸-۱ ب) مشاهده می‌کنید. در حال حاضر، یخچال ترموالکتریک نمی‌تواند با واحدهای تراکم بخار رقیب کند. با این حال در مواردی خاص، از یخچال‌های ترموالکتریک استفاده می‌کنند و با توجه به تحقیقات عمده‌ای که در این زمینه انجام می‌شود، بهره‌برداری وسیع از یخچال‌های ترموالکتریک در آینده، کاملاً میسر خواهد بود.

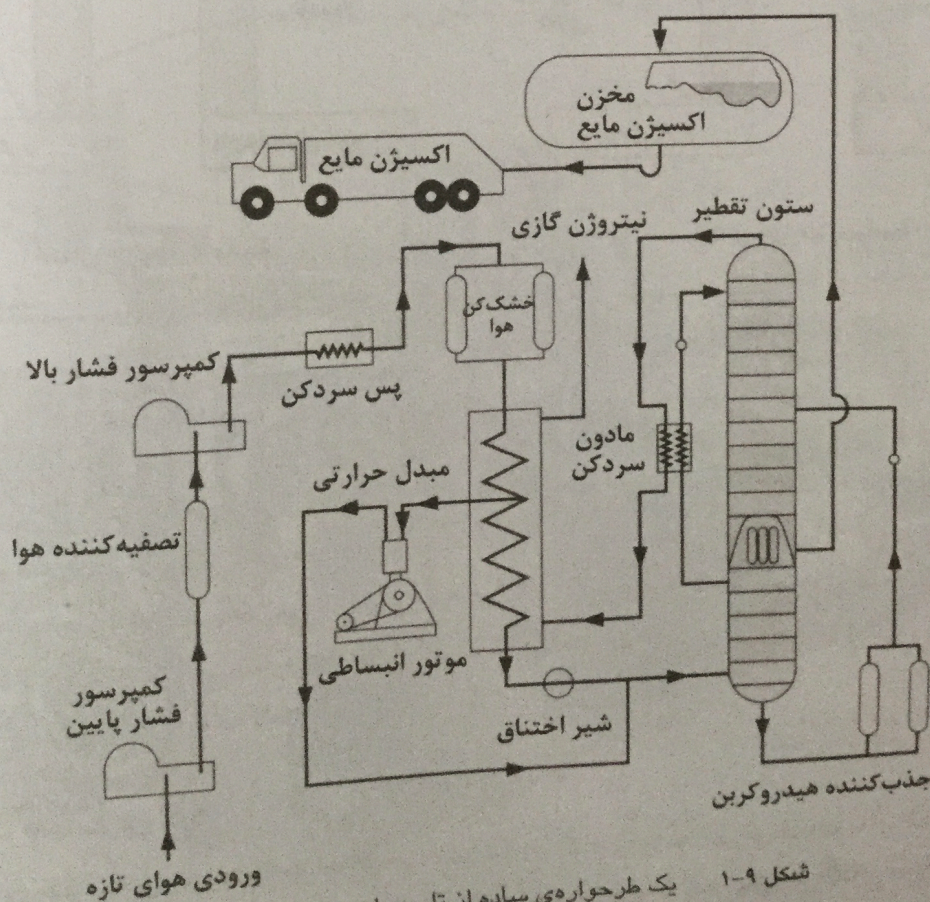
## ۱-۵ تأسیسات جداسازی هوا

یکی از فرآیندهای مهم صنعتی، تأسیسات جداسازی هواست که در آن هوا را به اجزای مختلف آن تفکیک می‌کنند، اکسیژن، نیتروژن، آرگون و گازهای نادری که بدین طریق تولید می‌شوند به نحو گسترده‌ای در صنایع مختلف، تحقیقات،

علوم فضایی و کالاهای مصرفی مورد استفاده قرار می گیرند. تأسیسات جداسازی هوا را می توان به عنوان مثالی از دوزمینی اصلی مطرح و بررسی کرد: صنایع فرآیندهای شیمیایی، و ایجاد سرماهایی با درجه حرارت بسیار پایین. تولید سرما در درجه حرارت های بسیار پایین اصطلاحی است که برای تکنولوژی، فرآیندها و تحقیقات در زمینه درجه حرارت های پایین (به طور کلی کمتر از  $-125^{\circ}\text{C}$  به کار برده می شود. در فرآیندهای شیمیایی و در تولید سرما در درجه حرارت های بسیار پایین، فهم ترمودینامیک برای درک بسیاری از پدیده هایی که اتفاق می افتند و نیز طراحی و توسعه فرآیندها و تجهیزات، یک اصل ضروری است.

طرح های متعددی برای تأسیسات جداسازی هوا وجود دارد. به شکل (۹-۱) که نمایانگر طرح ساده ی نوعی رایج از تأسیسات جداسازی هواست، توجه کنید. هوا تا فشار ۲ الی ۳ مگاپاسکال (۲۰ تا ۳۰ برابر فشار معمول جو) متراکم می شود و سپس آن را به خصوص برای حذف دی اکسید کربن تخلیص می کنند (دی اکسید کربن در هنگام سرد کردن هوا به منظور مایع کردن آن تا حد درجه حرارت مایع سازی، جامد می شود و مسیرهای جریان را مسدود می کند). سپس این هوا را تا فشار ۱۵ الی ۲۰ مگاپاسکال متراکم می کنند و در یک پس سردکن تا درجه حرارت محیط سرد و به منظور حذف بخار آب، خشک می کنند (بخار آب می تواند در صورت انجماد باعث انسداد مجاری جریان شود).

تبرید اصلی در فرآیند مایع سازی با دو فرآیند متفاوت انجام می شود: یکی از آنها انبساط هوا در یک موتور انبساطی است که در طی این فرآیند، هوا کار انجام می دهد و در نتیجه ی آن درجه ی حرارتش کاسته می شود. فرآیند تبرید دیگر شامل عبور از یک شیر اختناقی (فشارشکن) است که به نحوی طراحی و نصب شده است که افت فشار اساسی هوا را باعث می شود و لذا درجه ی حرارت آن نیز افت اساسی خواهد داشت.



شکل ۹-۱ یک طرحواره ی ساده از تأسیسات تولید اکسیژن مایع.

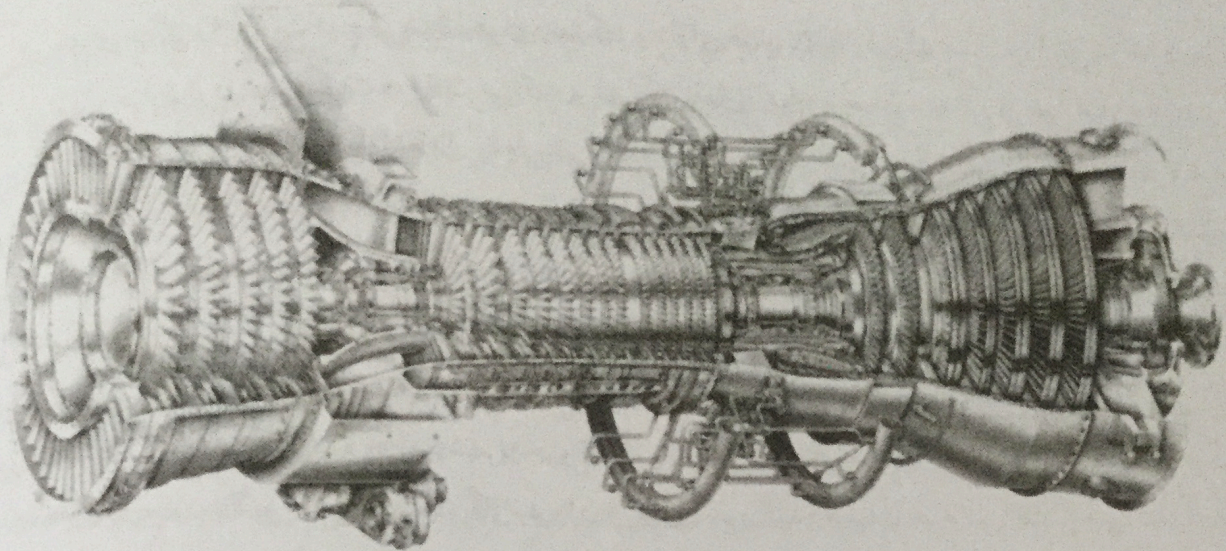
همانگونه که در شکل (۹-۱) مشاهده می‌شود، هوای خشک و دارای فشار بالا وارد یک مبدل حرارتی می‌شود. در حین عبور از این مبدل حرارتی، درجه حرارت هوا افت می‌کند و در یک نقطه‌ی میانه از مبدل، بخشی از هوا خارج و وارد یک موتور انبساطی می‌شود. باقیمانده‌ی هوا طول مبدل را طی می‌کند و وارد شیر فشارشکن می‌شود. این دو جریان که هر دو دارای فشار ۰/۵ تا ۱ مگاپاسکال هستند به هم می‌رسند و از قسمت انتهایی وارد ستون تقطیری که آن را ستون فشار بالا می‌گویند، خواهند شد. عمل ستون تقطیر، تفکیک هوا به اجزای مختلف به خصوص اکسیژن و نیتروژن است. دو جریان با اجزای مختلف درون ستون فشار بالا پس از عبور از میان شیرهای فشارشکن به قسمت فوقانی ستون (موسوم به ستون فشار پایین) می‌روند. یکی از این دو، جریان غنی از اکسیژن مایع است که از انتهای ستون پایینی خارج می‌شود و دیگری که غنی از نیتروژن است، وارد مادون سردکننده خواهد شد. با خروج اکسیژن مایع از انتهای ستون فوقانی و گاز نیتروژن از بالای ستون، جداسازی در ستون بالایی کامل می‌شود. گاز نیتروژن از مادون سردکننده و مبدل حرارتی اصلی می‌گذرد. انتقال حرارت به گاز نیتروژن سرد است که باعث سرمایش هوای فشار بالای ورودی به مبدل حرارتی می‌شود.

تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی نه تنها برای طراحی این سیستم به عنوان یک مجموعه، یک نیاز اساسی است بلکه هر جزء چنین سیستمی از جمله‌ی کمپرسورها، موتور انبساطی، تخلیص کننده‌ها و ستون تقطیر نیز براساس اصول ترمودینامیکی کار می‌کنند. در فرآیند تفکیک و جداسازی، ما با خواص ترمودینامیکی مخلوط‌ها و اصول و روش‌های جداسازی این مخلوط‌ها نیز مواجه هستیم. این مسئله در پالایش نفت و بسیاری دیگر از فرآیندهای شیمیایی نیز مطرح می‌شود. باید متذکر شویم که تولید سرما در درجه حرارت‌های بسیار پایین ارتباطی خاص با جنبه‌های متعددی از برنامه‌های فضایی دارد و دانستن ترمودینامیک برای کارهای خلاق و مؤثر در تولید سرما در درجه حرارت‌های پایین، یک اصل است.

## ۱-۶ توربین گازی

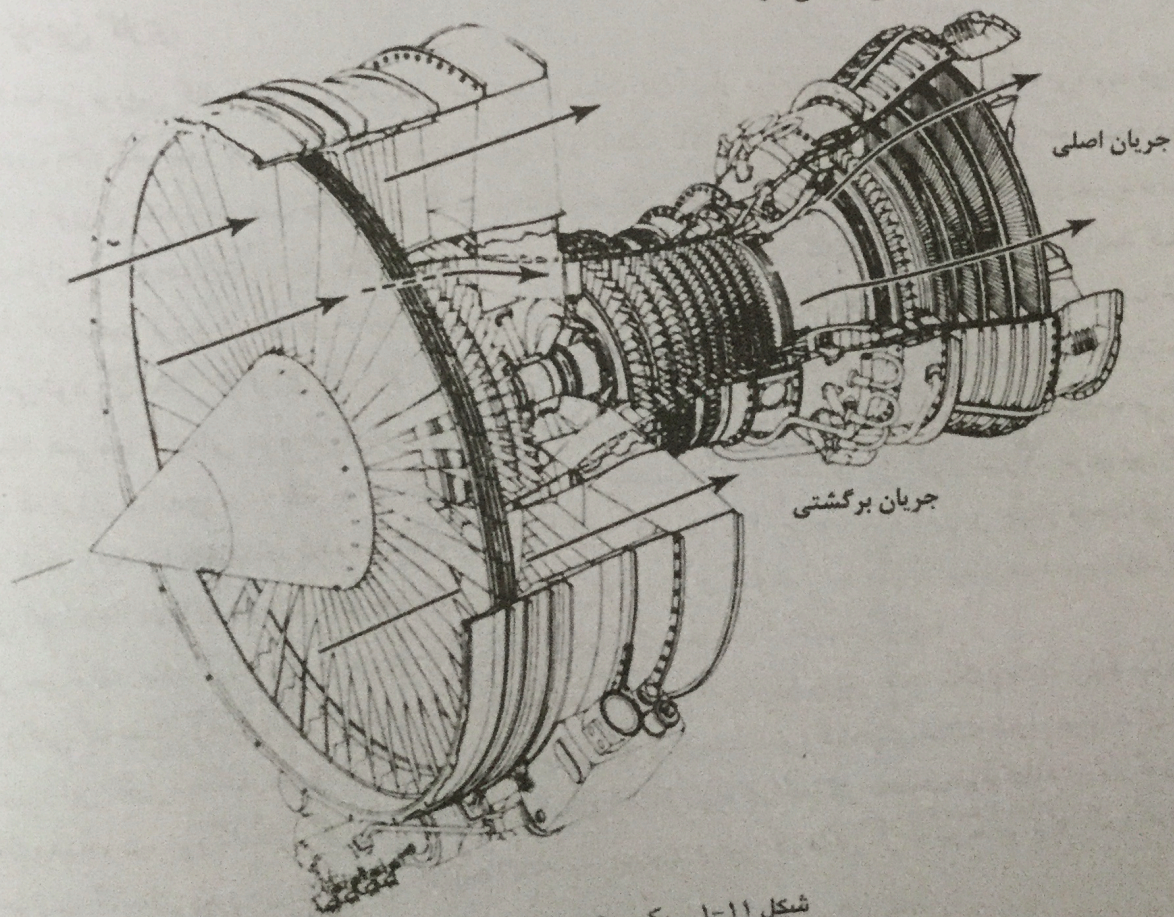
عملکرد اساسی توربین گاز مشابه نیروگاه بخار است به جز اینکه در آن از هوا به جای بخار آب استفاده می‌شود. هوای تازه‌ی جوبه درون یک کمپرسور وارد و در آنجا توسط کمپرسور تا فشار بالا متراکم می‌شود. سپس با تزریق سوخت به درون هوا، انرژی وارد توربین شده و سوخت مشتعل می‌گردد. احتراق سوخت باعث تولید جریانی با درجه حرارت زیاد می‌شود. گازهای دارای درجه حرارت و فشار بالا وارد توربین شده و تا فشار خروجی منبسط می‌شوند و در این فرآیند کار تولید می‌گردد. کار محور توربین برای چرخاندن کمپرسور یا دیگر وسایل از قبیل مولد برق که می‌تواند به محور جفت شده باشد استفاده می‌شود. آن بخش از انرژی که برای کار محور دستگاه استفاده نشده است در حالی که دارای درجه حرارت و سرعت زیاد هستند همراه با گازهای خروجی از توربین خارج می‌شود. طراحی توربین گازی با توجه به اهداف صورت می‌گیرد به گونه‌ای که انرژی تولیدی مورد نظر به حداکثر مقدار خود برسد. نمونه‌ای از یک توربین گازی بزرگ برای نیروگاه‌های ثابت در شکل (۱۰-۱) نشان داده شده است. این واحد دارای کمپرسور ۱۶ مرحله‌ای و توربین چهار مرحله‌ای با توان خروجی 43 MW (43000kw) است. توجه داشته باشید که چون احتراق سوخت نیازمند اکسیژن هوا می‌باشد، گازهای خروجی نمی‌توانند مانند آب موجود در چرخه‌ی نیروگاه‌های بخار مجدداً به سیکل باز گردند.

در مواقعی که مقدار زیادی نیرو لازم بوده و فضای موجود کم باشد غالباً توربین گاز یک وسیله تولید نیرو است. مثالهایی از این کاربردها عبارتند از: موتورهای جت، موتورهای توربوجت، نیروگاه‌های فلات قاره، موتورهای کشتی، موتورهای هلیکوپتر، نیروگاه‌های کوچک محلی، یا مولدهای کمکی نیرو در حداکثر مصرف نیروگاه‌های بزرگتر. چون درجه حرارت گازهای خروجی از توربین گاز نسبتاً بالاست، می‌توان از این گازها قبل از تخلیه به جو برای گرم کردن آب مورد استفاده در نیروگاه بخار سود جست.

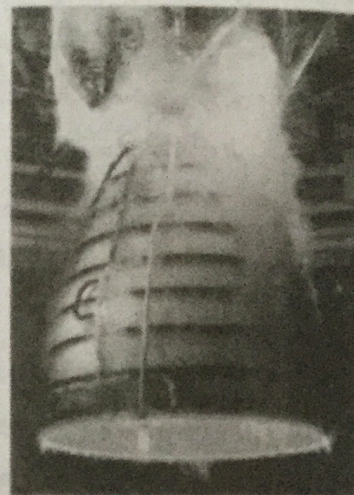
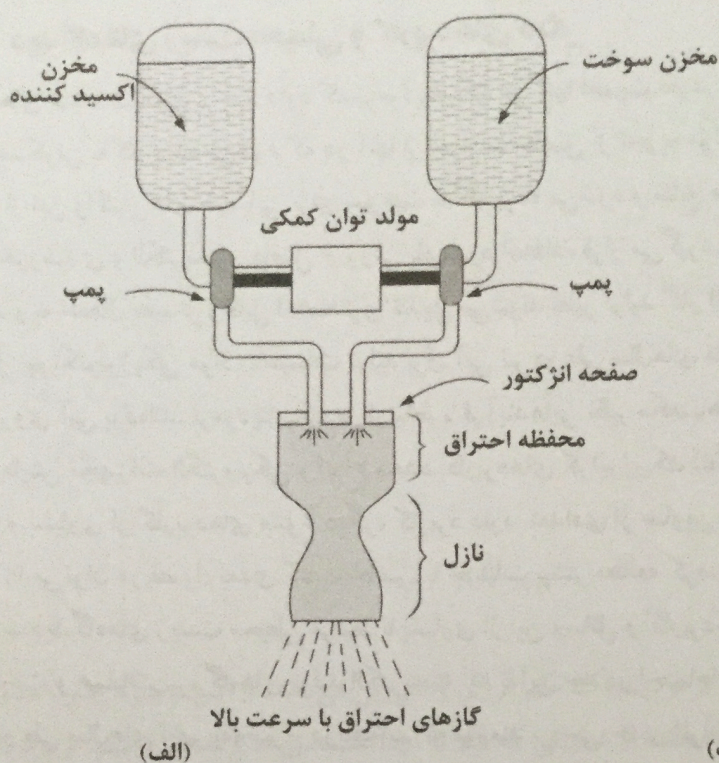


شکل ۱۰-۱ یک توربین گاز با توان 43 MW

در مورد کاربردهای موتور جت و موتورهای توربوجت که قبلاً ذکر شد، بخشی از توان تولیدی برای تخلیه‌ی گازها با سرعت زیاد استفاده می‌شود. این گازها تولید نیروی محوری کرده و موجب حرکت هواپیما با سرعت به جلو می‌شوند. بنابراین طرح توربین گاز برای چنین کاربردهایی متفاوت با طرح آن برای یک نیروگاه ثابت است. در نیروگاه ثابت انرژی به صورت کار محور به یک مولد برق انتقال می‌یابد. یک نمونه از موتورهای توربوجت مورد استفاده در هواپیماهای تجاری در شکل (۱۱-۱) نشان داده شده است. فن دهانه‌ی ورودی هوا را به درون موتور می‌راند و بدینوسیله ضمن سرد کردن موتور، باعث تولید نیروی پیش برنده‌ی اضافی نیز می‌شود.



شکل ۱۱-۱ یک موتور جت توربوفن



شکل ۱-۱۲ (الف) طرحواره‌ی ساده‌ی یک موتور راکت با سوخت مایع (ب) تصویر موتور اصلی فضاپیمای NASA

## ۱-۲ موتور شیمیایی راکت

پیشرفت موشک‌ها و سفاین فضائی، کاربرد موتورهای راکت به عنوان سیستم تولید قدرت و نیروی پیش برنده را امتیازی خاص بخشیده است. موتورهای شیمیایی راکت را می‌توان با توجه به سوخت مورد مصرف به گروه سوخت‌های مایع و سوخت‌های جامد تقسیم کرد.

شکل (۱-۱۲)، طرحواره‌ی ساده‌ای از راکت با سوخت مایع را نمایش می‌دهد. اکسید کننده و سوخت پمپ می‌شوند و از طریق صفحه‌ی تزریق کننده به درون محفظه‌ی احتراق وارد می‌شوند و در آنجا احتراق در فشار بالا رخ می‌دهد. محصولات احتراق که در درجه حرارت و فشار بالا هستند، هنگام عبور از شیپوره منبسط و با سرعتی زیاد، از آن خارج می‌شوند. تغییر اندازه‌ی حرکت هوا با این افزایش سرعت باعث ازدیاد نیروی پیشران وسیله‌ی مورد نظر می‌شود.

اکسید کننده و سوخت را باید به درون محفظه‌ی احتراق پمپ کرد و برای به حرکت درآوردن پمپ، نیاز به مولد توان کمکی خواهد بود. در یک راکت بزرگ، این مولد توان محرک پمپ باید بسیار قابل اعتماد باشد و توان خروجی آن بالا و وزن آن نیز کم باشد. مخازن اکسید کننده و سوخت، بخش بزرگی از راکت واقعی را اشغال می‌کنند و قدرت پرتاب راکت نیز بیشتر با توجه به مقدار سوخت و اکسید کننده‌ای که می‌تواند حمل کند، تعیین می‌شود. انواع مختلفی از سوخت‌ها و اکسید کننده‌ها مورد توجه و آزمایش قرار گرفته‌اند و سعی بر آن بوده است که سوخت‌ها و اکسید کننده‌هایی تکامل یابند که نیروی رانش بالاتری در واحد دبی جرمی مواد اولیه، تولید کنند. در راکت‌های با سوخت مایع غالباً از اکسیژن مایع به عنوان اکسید کننده و هیدروژن مایع به عنوان سوخت استفاده می‌شود.

کارهای بسیاری در مورد راکت‌های سوخت جامد انجام شده است و از آنها در هواپیماهایی که برای بلندشدن از موتور جت بهره می‌گیرند، موشک‌های نظامی و سفاین فضایی، یا موفقیت استفاده می‌شود. این نوع راکت‌ها از نظر تجهیزات مورد نیاز برای موارد عملیاتی و پشتیبانی که در استفاده از آنها پیش می‌آید بسیار ساده‌تر هستند.

## ۸-۱ دیدگاه‌های زیست محیطی و کاربردهای دیگر

کاربردهای متعدد دیگری وجود دارد که ترمودینامیک در آنها اهمیت دارد. بسیاری از عملیات در حال حاضر در شهرها و مناطق مسکونی به کار برده می‌شود که در آنها از حرارت حاصل از تجزیه مواد زائد زنده استفاده می‌شود. همچنین گاز متان حاصل از این واکنش‌های شیمیایی برای سوخت به کار برده می‌شود و منابع حرارتی ژئوترمال (زمین گرمایی) نیز همانند انرژی خورشیدی و الکتریسته حاصل از وزش باد مورد استفاده قرار می‌گیرد. منابع سوخت از یک شکل به شکل دیگر تغییر می‌کنند و به اشکال مفیدتر و قابل اعتمادتری تبدیل می‌شوند نظیر تولید گاز از ذغال سنگ یا تولید سوخت‌های مایع با استفاده از تبدیل بیوتکنولوژیکی مواد. تأسیسات تولید برق آبی نیز در طی سال‌های متمادی فعال بوده‌اند و دارای مصارف دیگری از جمله نیروی آبی بوده‌اند. ترمودینامیک در ارتباط با فرآیندهایی نظیر مکعب‌های بتونی ریخته شده که تولید حرارت می‌کنند و یا سرمایش تجهیزات الکترونیکی و انواع متعدد کاربردهای کرایونیک (نظیر جراحی با سرمای زیاد، انجماد سریع مواد غذایی) و بسیاری از کاربردهای متنوع دیگر، کاربرد دارد. تعدادی از عناوین و کاربردهایی که در این پاراگراف نام برده شده‌اند را می‌توان در فصول بعدی کتاب حاضر، با جزئیات بیشتر مطالعه کرد.

ما باید دیدگاه‌های زیست محیطی مرتبط با بسیاری از این وسائل و کاربردهای ترمودینامیک را نیز مدنظر قرار دهیم. برای مثال ساخت و عملیات نیروگاه‌های تولید الکتریسته که تا این حد در اجتماعات ما رسوخ کرده است را باید مورد توجه قرار دهیم. در طی سال‌های اخیر به وضوح دریافته‌ایم که نیازمند بررسی جدی اثرات چنین عملیاتی بر محیط زیست هستیم. سوختن سوخت‌های هیدروکربوری باعث ورود دی اکسید کربن به جو زمین می‌شود و غلظت آن افزایش می‌یابد. دی اکسید کربن همانند گازهای دیگر تشعشع مادون قرمز را از سطح زمین جذب می‌کند و باعث می‌شود حرارت در نزدیکی این سیاره باقی مانده و اثرات گلخانه‌ای به وجود آید که آن نیز به نوبه خود تغییرات آب و هوایی بحرانی زمین را به دنبال دارد. احتراق در نیروگاه بخصوص نیروگاه‌های ذغال سنگی باعث انتشار دی اکسید گوگرد می‌شود که وارد ابرها شده و به صورت باران اسیدی بر زمین می‌بارد. فرآیندهای احتراق در نیروگاه‌ها و موتورهای بنزینی و گازوئیلی نیز مواد آلاینده‌ای دیگر تولید می‌کنند. اجزایی نظیر مونوکسید کربن، اکسیدهای نیتریک و سوخت‌هایی که بطور کامل نسوخته‌اند همراه با ذرات معلق، آلوده کننده‌های جو زمین را تشکیل می‌دهند که قوانین خاصی برای تنظیم آنها وضع شده است. مبدل‌های کاتالیستی در خودروها به کمتر شدن مشکلات آلودگی کمک می‌کنند. در نیروگاه نشان داده شده در شکل (۱-۱) مشاهده می‌کنید که خاکسترها جذب شده و گازهای حاصل از احتراق نیز فرآیند تمیز کردن را طی می‌کنند و تا حد زیادی به حل این مشکل کمک می‌کنند. آلودگی حرارتی نیز به دلیل وجود جریان آب سرد کننده در نیروگاه‌ها وجود دارد که در بخش (۱-۱) به آن اشاره شد.

در سیستم‌های تبرید و تهویه مطبوع نیز همانند سایر فرآیندهای صنعتی، از سیال کلروفلوروکربن استفاده می‌شود که وارد لایه‌های بالایی جو شده و لایه‌ی محافظ اوزن را تخریب می‌کنند. بسیاری از کشورها تولید این ترکیبات را قبلاً "محدود کرده‌اند و به دنبال سیال جایگزین مناسب هستند.

این نکات تنها بخشی از مشکلات زیست محیطی است که بواسطه‌ی تولید کالاها مطرح شده و اثراتی در تلاش برای بهبود زندگی انسان دارند. در طی مطالعه این دوره‌ی ترمودینامیک که علم تبدیل انرژی از یک شکل به شکل دیگر است، باید به انعکاس این دیدگاه‌ها پردازیم. باید توجه کنیم که می‌توانیم اثرات تخریبی را حذف یا حداقل کاهش دهیم در عین حال که منابع طبیعی خود را به صورت مؤثرتر و با مسئولیت بیشتر به کار می‌بریم.