برای یک سیستم پایدار و با در نظر گرفتن انرژی‌های جنبشی و پتانسیل در ورود و خروج از قانون اول داریم:

$$\dot{Q} - \dot{w} = \dot{m}(h_e + \frac{۱}{۲}v_e^۲ + gz_e) - \dot{m}(h_i + \frac{۱}{۲}v_i^۲ + gz_i)$$

۳- قانون دوم ترمودینامیک:

$$\frac{Q}{T} < \text{ایجاد تولید آنتروپی} = \text{انرژی خروجی} - \text{انرژی ورودی} + \text{Increase of Entropy}$$

$$\frac{\dot{Q}}{T} + \frac{l\dot{w}}{T} = \sum \dot{M}_e Sle - \sum \dot{M}_i S_i + \frac{dS_{cv}}{dt} \rightarrow \text{ usuf برای}$$

۴- قانون بقای مومنتوم:

$$\Sigma F = \text{Creation momentum} = \text{out flow} - \text{In flow} + \text{Increase of momentum}$$

$$\sum F = \sum \dot{m}_e V_e - \sum m_i V_i + \frac{d_m V_{cv}}{dt}$$

سرعت

تعاریف:

۱- فرآیند ایزوترم : فرآیندی که در آن دما ثابت می‌ماند و در این فرآیند روابط زیر صادق است:

$$PV = cte \,/\, \Delta Q = \Delta w_t \,/\, \Delta w = P_۱ V_۱ Ln \frac{V_۲}{V_۱}$$

۲- در فرآیند حجم ثابت: روابط موجود به صورت زیر است:

$$\Delta u = ۰$$
$$\Delta w = ۰$$
$$\Delta Q = m_{cv}(T_۲ - T_۱)$$

۳- در فرآیند فشار ثابت: روابط موجود به صورت زیر است:

$$\Delta u = \Delta Q_P - \Delta w_P$$
$$\Delta w_P = P(V_۲ - V_۱)$$
$$\Delta Q_P = me_P(T_۲ - T_۱) = \dot{m}(h_۲ - h_۱)$$

۴- فرآیند آدیاباتیک: فرآیندی است که در طول تحول حرارت به سیستم وارد و خارج نمی‌شود.

۵- فرآیند برگشت‌پذیری: تحولی است که می‌توان بدون انجام کار و حرارت خارجی سیستم را به حالت اولیه برگرداند «تحول ایده‌آل»

۶- فرآیند پلی تروپیک: فرآیند آدیاباتیک است که رابطه فشار و حجم گاز کامل در آن به صورت زیر است:

$$PV^n = cte$$

۷- فرآیند آیزنتروپیک «آدیاباتیک و برگشت‌پذیر»: فرآیندی است که مقدار آنتروپی در آن ثابت می‌ماند و رابطه فشار و حجم برای گاز کامل به صورت روبرو است:

$$PV^k = cte$$

$$k = \frac{C_P}{C_v} \qquad \Delta w = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1 - k} \qquad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\Delta u = -\Delta w$$

مقدار کار در سیستم‌های انبساطی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\dot{w} = \int P\, dv$$

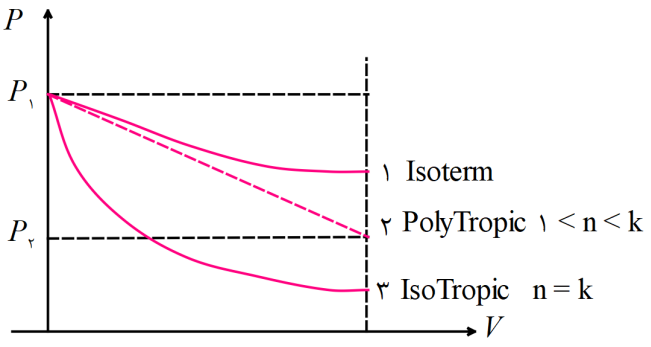
فشار — تغییر حجم

رابطه حاکم بر فرآیندهای گاز کامل:

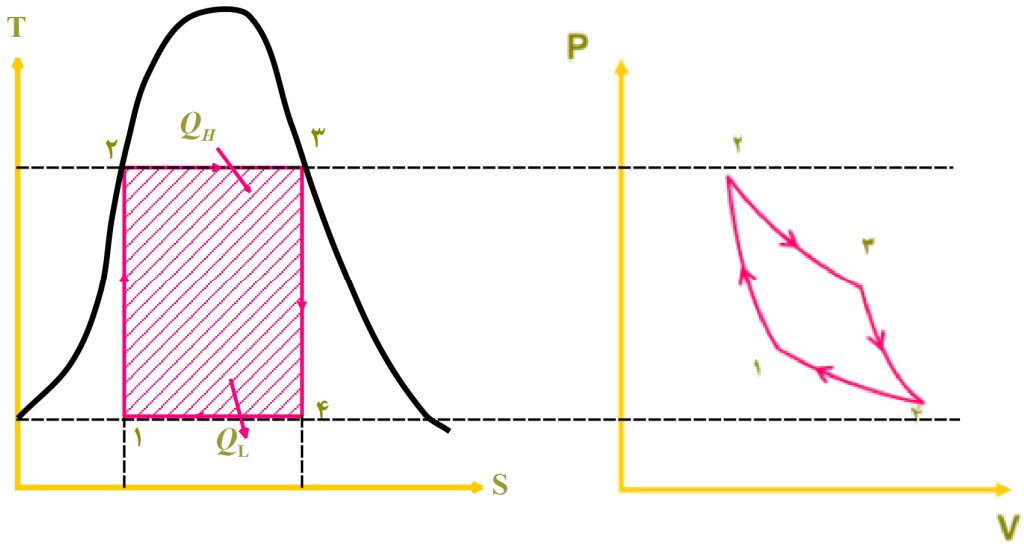
$$PV = cte \rightarrow \Delta u = \Delta Q - \Delta w$$

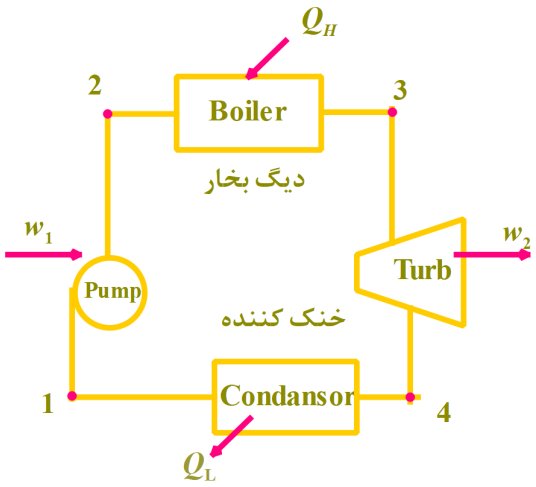
انرژی درونی — حرارت متبادله — کار مبادله شده

مقایسه فرآیندها: ←



چرخه بخاری کارنو «ایده‌آل»:





فرآیند ۲-۱: تراکم آیزنتروپیک «نشان دهنده کار پمپ»

فرآیند ۲-۳: گرما گرفتن از منبع در دمای ثابت «در دیگ بخار»

فرآیند ۳-۴: انبساط آیزنتروپیک «در حالت قرارگیری در توربین»

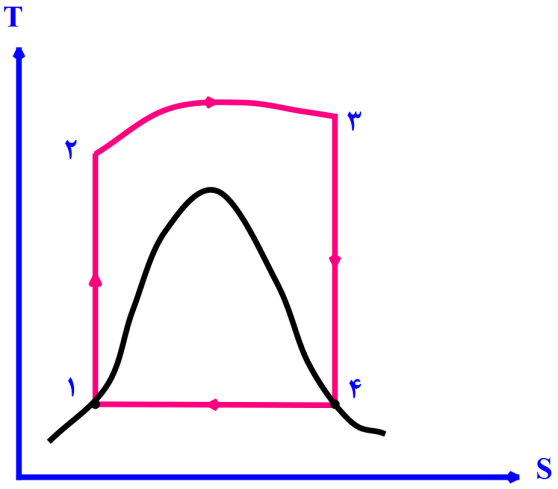
فرآیند ۴-۱: گرما دادن به بیرون در دمای ثابت «در کندانسور تا مایع شود»

فرآیند ۱-۲: تراکم آیزنتروپیک «نشان دهنده کار پمپ»

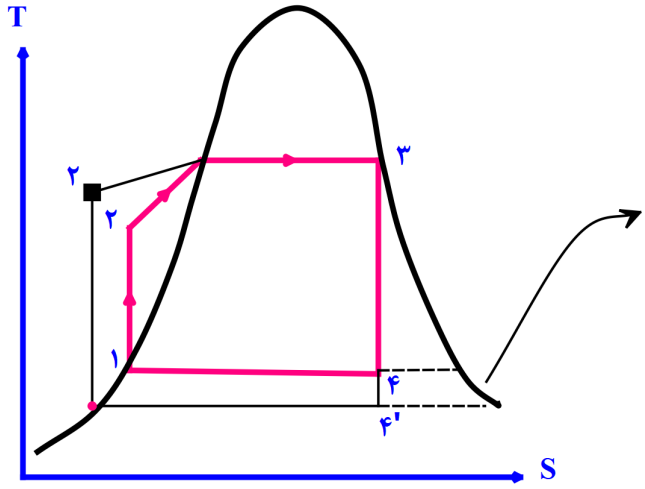
فرآیند ۲-۳: گرما گرفتن از منبع در دمای ثابت «در دیگ بخار»

فرآیند ۳-۴: انبساط آیزنتروپیک «در حالت قرارگیری در توربین»

فرآیند ۴-۱: گرما دادن به بیرون در دمای ثابت «در کندانسور تا مایع شود»



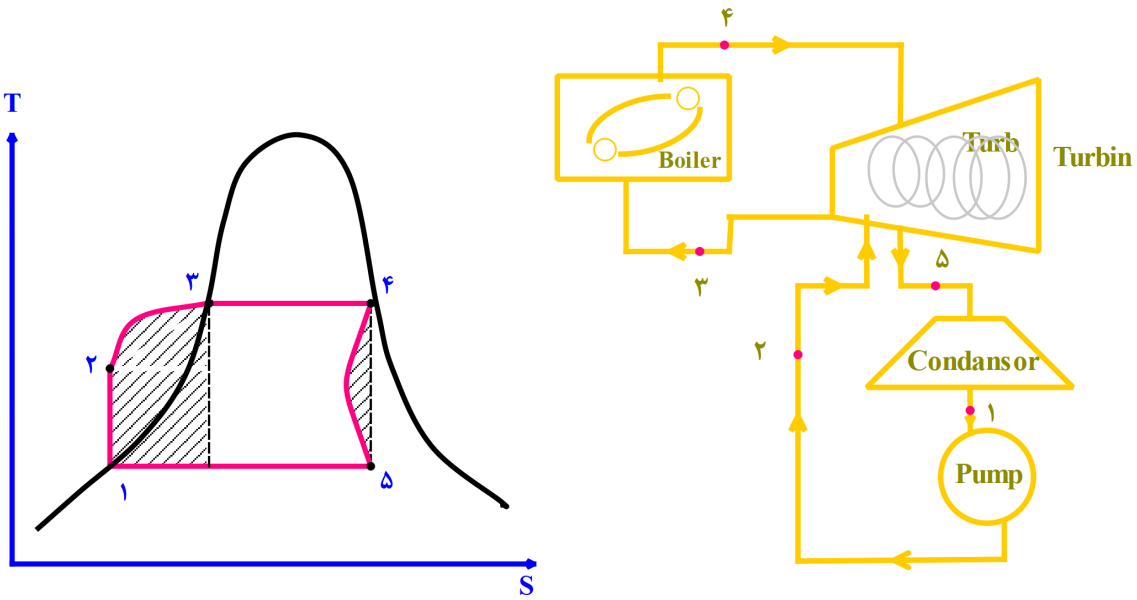
۴- کاهش حداقل فشار سیکل: ۱- باعث افزایش بازده می‌شود ۲- کاهش کیفیت بخار در انتهای توربین



کیفیت بخار کاهش پیدا کرده فاصله ۴ تا خط اشباع بیشتر از ۴ تا خط اشباع است.

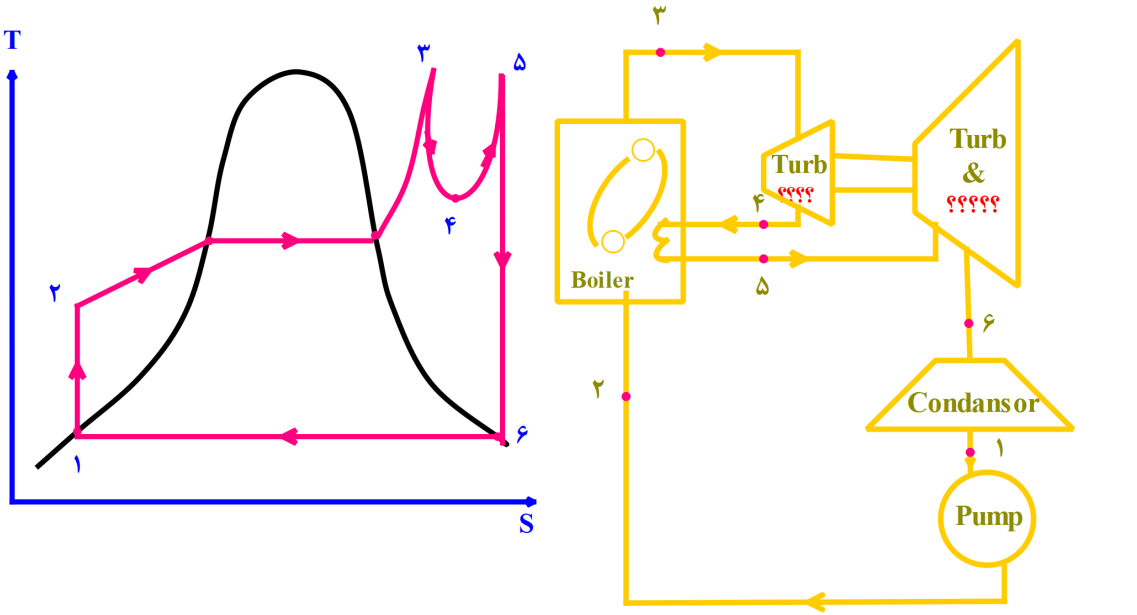
از قبل می‌دانیم عوامل بازگشت‌ناپذیری «اصطکاک، انبساط آزاد و » است در اینجا می‌خواهیم با از بین بردن عوامل بازگشت‌ناپذیر بازده چرخه رانکین را به چرخه کارنو نزدیک کنیم نتیجه این کار دسترسی به چرخه بازیاب است که به صورت صفحه بعدی می‌باشد.

چرخه بازیاب ایده‌آل: مساحت‌های هاشور خورده با هم برابرند.



$$Q_{۲-۳} = \int Tds = Q_{۴-۵}$$

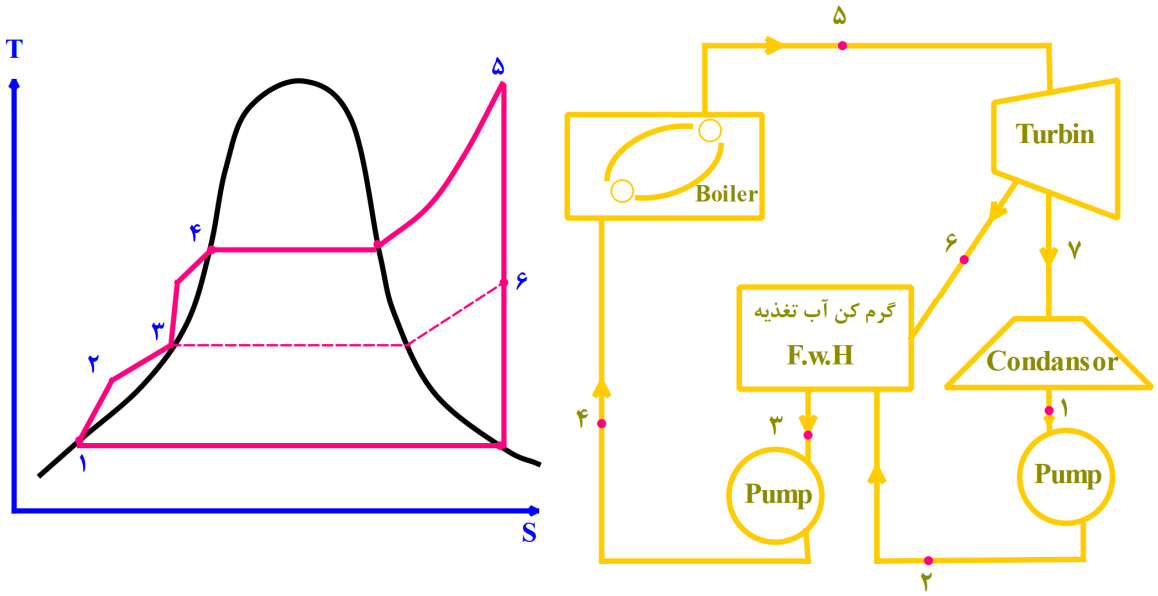
چرخه نیروگاه با بازتاب Reacheat cycle: مزیت این تکنیک افزایش کیفیت بخار در نقاط انتهایی پره توربین است.



در چرخه بازیاب ایده‌آل که در بالا ذکر شد: در این حالت ما بخار سرد شده را بعد از پمپ به پوسته‌ی توربین می‌فرستیم تا حرارت بگیرد و انرژی جذب کند.

فرآیند (۳-۲) بازده این سیکل به دلیل ایده‌آل بودن همانند چرخه کارنو می‌باشد و در عمل قابل اجرا نیست و از ایده آن در سیکل‌های دیگر استفاده می‌کنیم در ادامه به معرفی انواع چرخه‌های بازیاب عملی می‌پردازیم:

* چرخه بازیاب با استفاده از گرمکن آب تغذیه:



در اینجا مقداری از بخار آب از قسمت میانی توربین گرفته شده و به یک گرمکن آب تغذیه فرستاده می‌شود و اولین گرمای ۲ تا ۳ از مرحله ۶ به ۳ یعنی از تقطیر بخار داغ در مرحله ۶ در داخل گرمکن آب تغذیه تأمین می‌کند به بخار گرفته شده از توربین بخار زیرکش شده گویند.

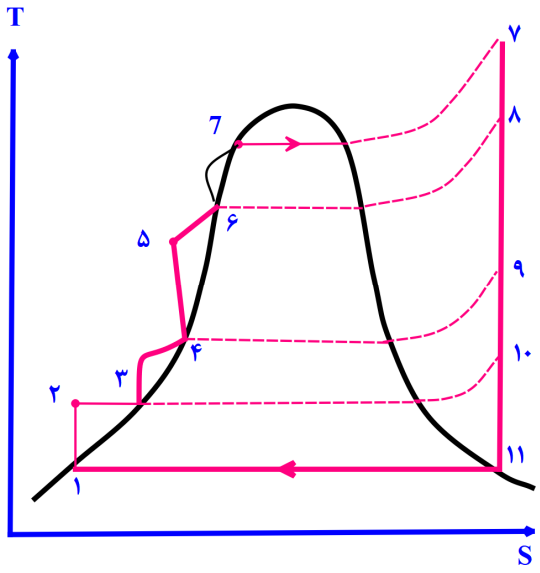
در نیروگاه‌ها ۲ نوع گرم‌کن می‌توانیم داشته باشیم:

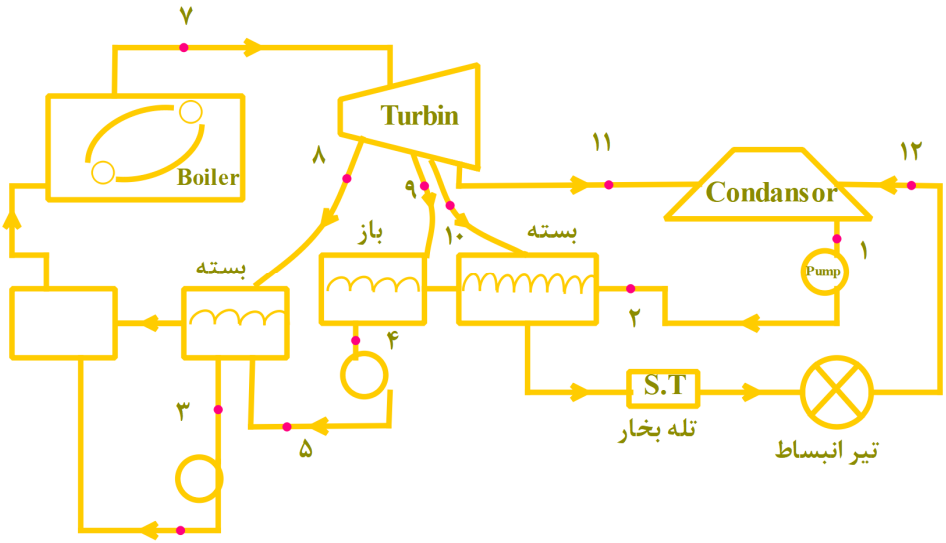
۱- گرمکن باز: با هوای اتمسفر در ارتباط بوده و بخار در خروج از آن به حالت اشباع می‌رسد.

۲- گرمکن بسته: مانند یک مبدّل گرما عمل می‌کند که بخار داغ بر روی لوله‌های حاوی مایع ریخته می‌شود.

توجه کنید که می‌توانیم به جای یک زیرکش چندین زیرکش و چندین گرمکن آب تغذیه در نیروگاه داشته باشیم:

* سیکل یک نیروگاه بخاری با ۳ گرم‌کن «یکی باز و دو تا بسته»:





* دلیل استفاده از گرمکن باز «هوازدا Dearator»:

در سیستم نیروگاهی به خاطر جبران آب اتلافی از سیستم که توسط آب نجوشیده خارجی می‌بایست جایگزین گردد مقداری هوا و گازهای مضر محلول در آب به صورت حباب وارد سیستم می‌شود که می‌تواند به پره‌های توربین یا لوله‌کشی سیستم آسیب برساند به این منظور و برای خارج کردن حباب‌های هوا از آب نجوشیده در هر سیستم نیروگاهی از یک گرم‌کن آب باز استفاده می‌کنند تا با لوله‌ی رو به اتمسفری که این گرمکن‌ها دارند گازهای همراه بخار آب از سیستم خارج شود.

مزایای گرم‌کن باز ۱- ارزانتر بودن آن

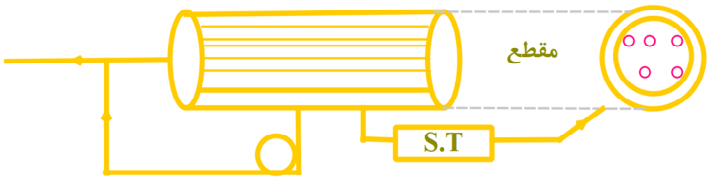
۲- تبادل حرارت بهتر

وظایف آن ۱- جدا کردن هوا از آب

۲- گرم کردن آب قبل از فرستادن به بویلر.

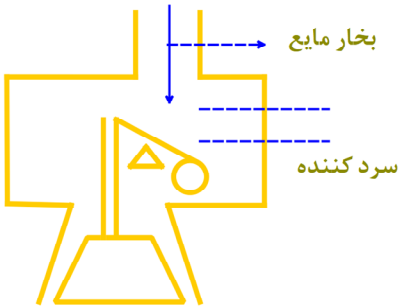
نمای یک تله بخار:

«نمای یک گرمکن بسته»



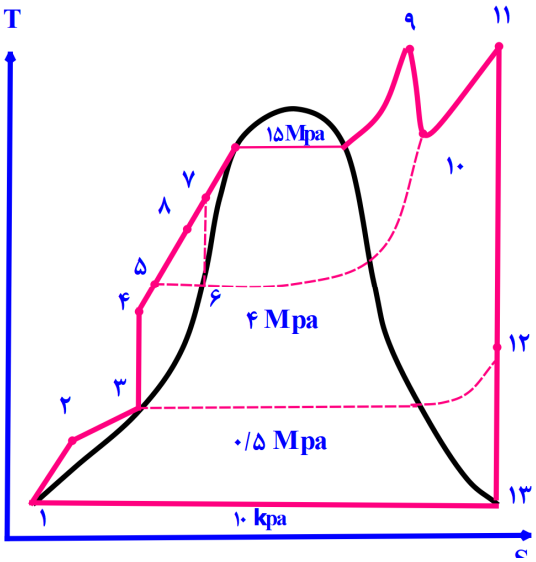
تله بخار: تمام گرما را به بیرون داده تا بخار چگالیده شده به مایع تبدیل شود و به بیرون انتقال پیدا کند.

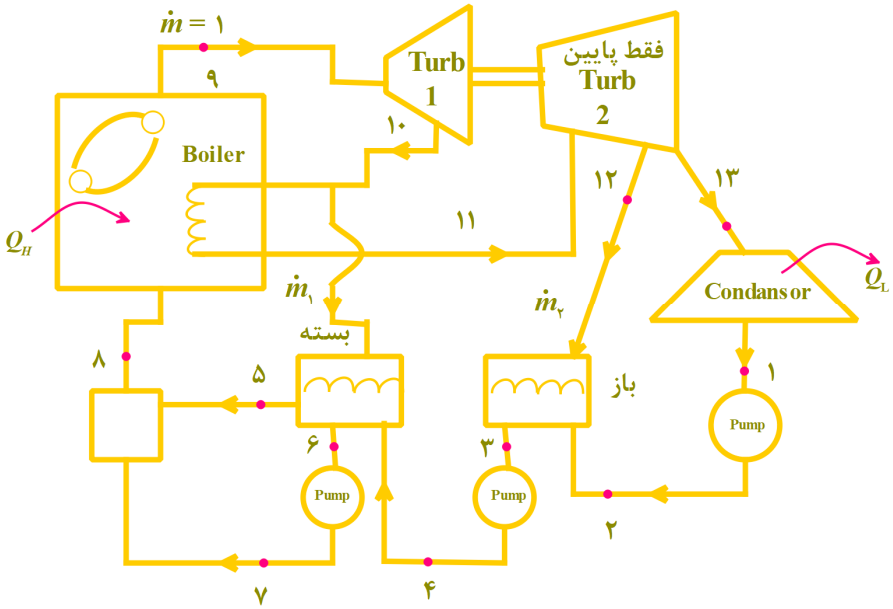
اگه آب بالا بیاید سوراخ باز و آب خالی می‌شود و اگر بخار باشد نمی‌رود.



مثال: سیکل رانکین با بازتاب و گرم‌کن آب تغذیه باز و بسته «بازاریاب»:

نیروگاه بخاری بر مبنای سیکل ایده‌آل بازتاب گرمایش رانکین با ۱ گرم‌کن باز و ۱ گرم‌کن بسته کار می‌کند بخار آب در شرایط ۱۵Mpa و ۶۰۰°C وارد توربین شده و در فشار ۱۰kpa در کندانسور چگالیده می‌شود قسمتی از بخار اب در فشار ۲Mpa از توربین خارج شده و به طرف گرم‌کن بسته هدایت می‌شود و باقیمانده بخار آب در فشار یکسان تا ۶۰۰°C باز گرم می‌گردد بخار آب در گرم‌کن بسته کاملاً چگالیده می‌شود و تا فشار ۱۵Mpa در خروجی چپ می‌گردد بخار زیرکش شده‌ی دیگری در فشار ۰/۵Mpa از توربین فشار پایین برای گرم‌کن باز استخراج می‌شود کسری از بخار آب که در هر مرحله زیرکش شده و بازده کلّ سیکل را بیابید؟





مقادیر آنتالپی بر اساس جدول:

$$w_{net} = w_{turb} - w_{net} = Q_H - Q_L$$

$$h_۱ = ۱۹۱/۸۳ kj/kg \quad / \quad h_۲ = ۲۰۶.۸ kj/kg$$

$$h_۳ = ۶۴۰/۳۳ kj/kg \quad / \quad h_۴ = ۶۵۶۰ kj/kg \quad / \quad h_۵ = ۱۰۸۷/۳ \simeq h_۶$$

$$h_۷ = ۱۱۰۱ kj/kg \quad / \quad h_۸ = ۱۰۸۹/۷ kj/kg \quad / \quad h_۹ = ۳۵۸۲/۳ kj/kg$$

$$h_{۱۰} = ۳۱۵۴/۳ kj/kg \quad / \quad h_{۱۱} = ۳۶۷۴/۴ kj/kg \quad / \quad h_{۱۲} = ۳۰۱۴/۳ kj/kg \quad / \quad h_{۱۳} = ۲۳۳۵/۸$$

$$w_{P_۱} = V(P_۲ - P_۱) = h_۲ - h_۱ \rightarrow \boxed{w_A = ۰/۴۹ kj} \checkmark \quad \boxed{w_{P_۲} = ۱۵/۸۵ kj} \quad \boxed{w_{P_۳} = ۱۳/۷۷ kj}$$

مقادیر دبی آب زیرکش شده از موازنه انرژی و جرم در گرم‌کن‌های آب تغذیه بدست می‌آید:

گرم‌کن بسته:

$$\dot{m}_۱ h_{۱۰} + (۱ - \dot{m}_۱) h_۴ = (۱ - \dot{m}_۱) h_۵ + \dot{m}_۱ h_۶ \rightarrow \boxed{\dot{m}_۱ = ۰/۱۷۳ kg/s}$$

انرژی خروجی = انرژی ورودی

گرم‌کن باز: $\dot{m}_۲h_{۱۲}+(۱-\dot{m}_۱-\dot{m}_۲)h_۲=(۱-\dot{m}_۱)h_۳ \rightarrow \boxed{\dot{m}_۲=۰/۱۳۱kg/s}$

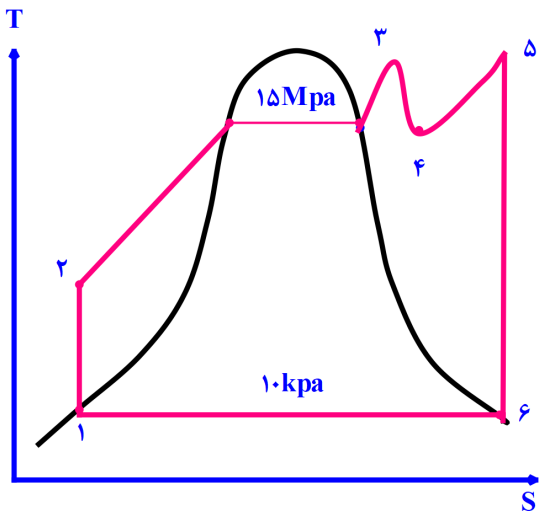
محفظه اختلاط: $۱\times h_۸=(۱-\dot{m}_۱)h_۵+\dot{m}_۱h_۷ \rightarrow \boxed{h_۸=۱۰۸۹/۷kj/kg}$

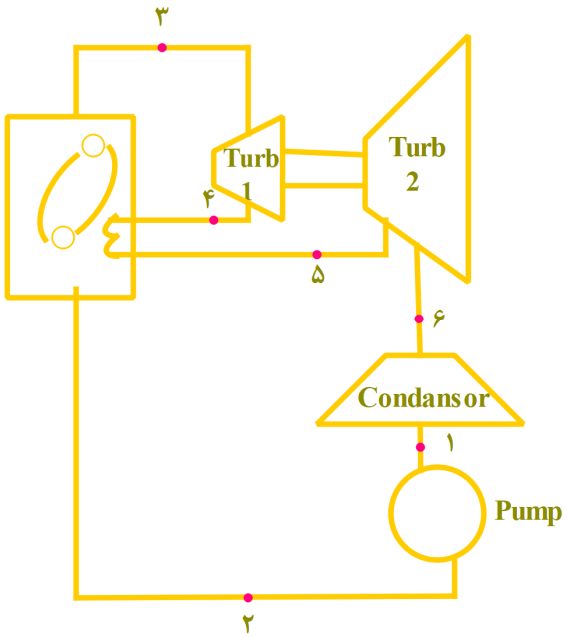
حرارت تبادله در بویلر: $q_H=(h_۹-H_۸)+(۱-\dot{m}_۱)(h_{۱۱}-h_{۱۰}) \Rightarrow \boxed{q_H=۲۹۲۲/۷kj/kg}$

حرارت تبادله در کندانسور: $q_L=(۱-\dot{m}_۱-\dot{m}_۲)(h_{۱۲}-h_۱)=۱۴۹۲/۲kj$

$\rightarrow \eta_{T_h}=\frac{w}{Q_H}=۱-\frac{Q_L}{Q_H}=۱-\frac{۱۴۹۲/۲}{۲۹۷۲/۷} \rightarrow \boxed{\eta_{T_h}=۰/۴۸۹}$

تمرین: بازده این سیکل را با بازتاب و بدون بازیاب بدست آورده با مقدار قبل مقایسه کنید؟ «اگر بدون بازتاب و یا بازیاب بود چی؟»





(۱) $\begin{cases}P_۱=۱۰kpa\\x=۰\end{cases} \rightarrow \boxed{h_۱=۱۹۱/۷kj/kg}$

(۲) $\begin{cases}S_۲=S_۱=۰/۶۴۹kj/kg\\P_۲=P_۱ \text{ منحني فشار ثابت}\end{cases} \rightarrow \boxed{h_۲=۲۰۶/۸kj/kg}$

(۳) $\begin{cases}P_۳=۱۵Mpa\\T=۶۰۰^\circ C\end{cases} \rightarrow \boxed{h_۳=۳۵۸۱/۵kj/kg}$

(۴) $\begin{cases}P=۴Mpa\\S_۴=S_۳\end{cases} \rightarrow \boxed{h_۴=۳۱۵۴/۳kj/kg}$

(۵) $\begin{cases}P=۴Mpa\\T=۶۰۰^\circ C\end{cases} \rightarrow \boxed{h_۵=۳۶۷۴/۳kj/kg}$

(۶) $\begin{cases}P=۱۰kpa\\x=۱\end{cases} \rightarrow \boxed{h_۶=۲۵۸۳/۷kj/kg}$

$Q_H=Q_{\text{بویلر}}=(h_۳-h_۲)+۱\times(h_۵-h_۴)$

$$(۱)\ \begin{cases} P_۱ = ۱۰kpa \\ T_۱ = ۴۲^\circ C \end{cases} \quad \begin{cases} P_۲ = ۵Mpa \\ \eta_{pump} = ۰/۸ \end{cases} \rightarrow P_۱ = ۱۰kpa \rightarrow \begin{cases} \delta_f = ۰/۶۴۹۲ kj/kg \\ h_f = ۱۹۱/۸۱ kj/kg \end{cases} \rightarrow \boxed{h_۲ = ۱۹۷/۳۷}$$

جدول متراکم $\begin{cases} P_{۲s} = ۵Mpa \\ S = ۰/۶۴۹۲ \end{cases} \rightarrow w_{pis} = h_{۲s} - h_۱ = (۱۹۷/۳۷ - ۱۹۱/۸۱) \rightarrow \boxed{w_{pis} = ۵/۵۶۸ kj}$

$$w_p = v(P_۲ - P_۱) \rightarrow \cancel{Tds}^{ds=۰} = dh + vdp \rightarrow dh = vdp \rightarrow h = \int vdp$$

$$\rightarrow w_P = v(P_۲ - P_۱) = (۰/۰۰۱۰۰۹)(۵۰۰۰ - ۱۰) \rightarrow \boxed{w_P = ۵/۰۳۴ kj/kg}$$

$$\eta_P = \frac{w_{is}}{w_{act}} \rightarrow w_{act} = \frac{w_{isp}}{\eta_{pump}} \rightarrow w_{act} = \frac{۵/۵۶۸}{۰/۸}$$

توربین $w_t = h_۵ - h_۶ \rightarrow \begin{cases} P_۵ = ۳/۸Mpa \\ T_۵ = ۳۸۰^\circ C \\ h_۵ = ۳۱۶۹/۱ \end{cases} \quad \begin{cases} P_۶ = ۱۰kpa \\ S_۵ = S_{۶s} = ۶/۷۲۳۵ \end{cases} \rightarrow \boxed{w_{act} = ۶/۹ kj}$

$$S_{۶s} = ۶/۷۲۳۵ = S_f + xS_{fg} \rightarrow ۶/۷۲۳۵ = ۰/۶۴۹۳ + x_{۶s} \times ۷/۵۰۰۹ \rightarrow \boxed{x_{۶s} = ۰/۸۰۹۸}$$

$$h_{۶s} = h_f + x_{۶s} h_{fg} \rightarrow h_{۶s} = ۱۹۱/۸ + (۰/۸۰۹۸ \times ۲۳۹۲/۸) \rightarrow \boxed{h_{۶s} = ۳۱۲۹/۵ kj/kg}$$

$$\eta_{\substack{Th \\ توربین}} = \frac{w_{act}}{w_{is}} \rightarrow w_{act_t} = \eta_{Th} \times w_{is}$$

$$\rightarrow w_{act_t} = ۰/۸۶(h_۵ - h_{۶s}) = ۰/۸۶(۳۱۶۹/۱ - ۲۱۲۹/۵) \rightarrow \boxed{w_{act_t} = ۸۹۴/۱ kj}$$

$$w_{net} = w_{Turb} - w_{Pump} = ۸۹۴/۱ - ۶/۹ \rightarrow \boxed{w_{net} = ۸۸۷/۵ kj}$$

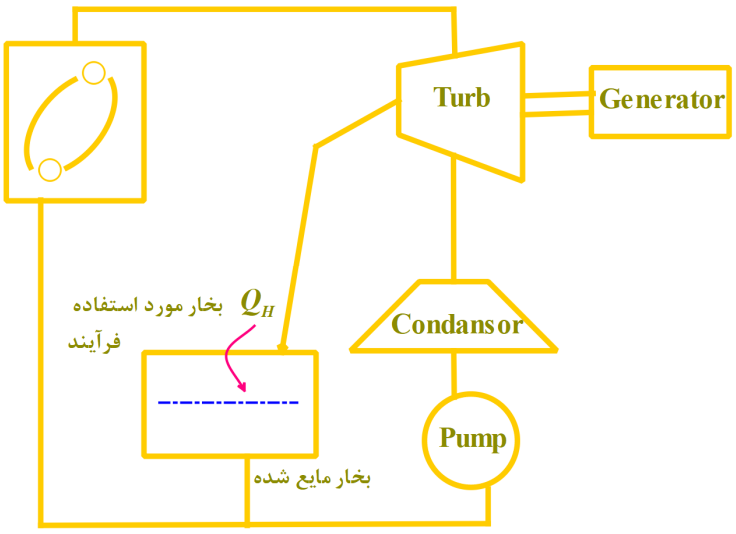
$$\begin{cases} P_۳ = ۴/۸Mpa \\ T_۳ = ۲۰^\circ C \end{cases} \rightarrow \boxed{h_۳ = ۱۷۱/۸ kj/kg}$$

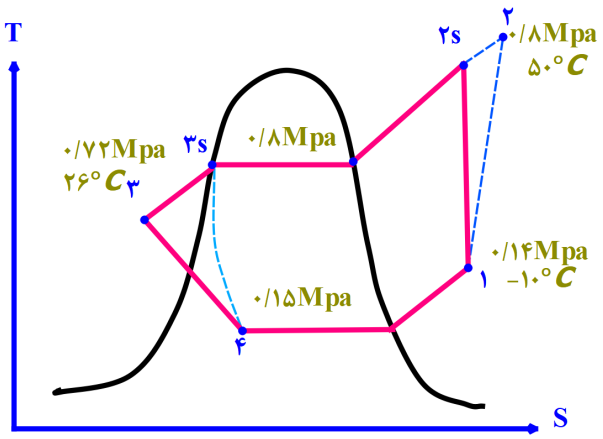
$$\begin{cases} P_۴ = ۴Mpa \\ T_۴ = ۴۰۰^\circ C \end{cases} \rightarrow \boxed{h_۴ = ۳۲۱۳/۶ kj/kg}$$

$$q_H = ۱(h_۴ - h_۳) \rightarrow \boxed{q_H = ۳۰۴۱/۸ kj/kg}$$

$$\eta = \frac{w_{neT}}{Q_H} \rightarrow \eta = \frac{۸۸۷/۸}{۳۰۴۱/۸} \rightarrow \boxed{\eta = ۲۹/۲\%}$$

تولید همزمان قدرت و حرارت:





$$\begin{cases} R_{۱۳۴a} \\ \dot{m} = ۰/۰۵\,kg/s \\ P_۱ = ۰/۱۴Mpa \\ T_۱ = -۱۰^\circ C \end{cases} \rightarrow \boxed{h_۱ = ۲۴۳/۴\,kj/kg}$$

$$\begin{cases} T_۲ = ۵۰^\circ C \\ P_۲ = ۰/۸Mpa \end{cases} \rightarrow \boxed{h_۲ = ۲۸۴/۳۹}$$

$$\begin{cases} T_۳ = ۲۶^\circ C \\ P_۳ = ۰/۷۲Mpa \end{cases} \rightarrow \boxed{h_۳ = h??? = ۸۵/۷}$$

$h_۴ = h_۳$ آنتـــالپي ثابـــت خفگـــي

$$Q_L = \dot{m}(h_۱ - h_۴) = ۰/۰۵(۲۴۳/۴ - ۸۵/۷۵) \rightarrow \boxed{Q_L = ۷/۸۸kw}$$

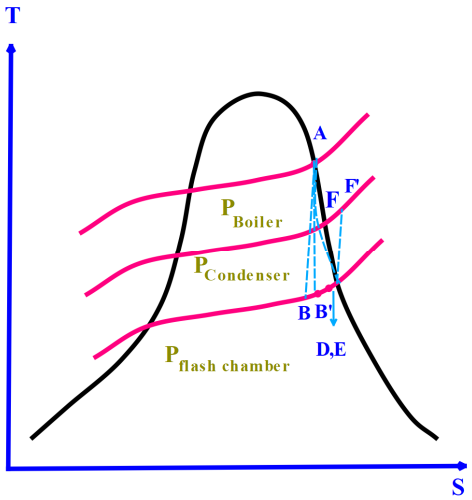
$$w = \dot{m}(h_۲ - h_۱) = ۰/۰۵(۲۸۴/۴ - ۲۴۳/۴) \rightarrow \boxed{w = ۲kw}$$

$$\eta_{Compersor} = \frac{h_{۲s} - h_۱}{h_۲ - h_۱} = \frac{۲۸۱/۱ - ۲۴۳/۴}{۲۸۴/۴ - ۲۴۳/۴} \rightarrow \boxed{\eta_C = ۰/۹۱۹\%}$$

$$\begin{cases} P_{۲s} = ۰/۸Mpa \\ S_{۲s} = S_۱ \end{cases} \rightarrow \boxed{h_{۲s} = ۲۸۱/۱kj/kg}$$

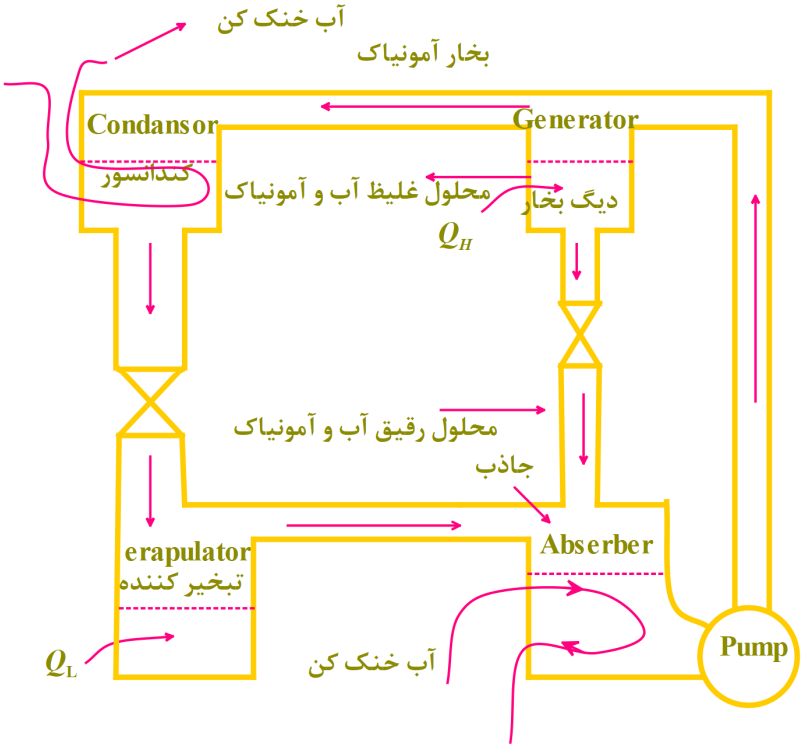
ضریب عملکرد برودتی $GP_R = \frac{Q_L}{w} = \frac{۷/۶۸}{۲} \rightarrow \boxed{GP_R = ۳۸۴}$

* سیستم تبرید انژکتوری بخاری:



E: بخار قبل از عبور از دیفیوزل

* سیستم‌های تبرید جذبی:



* انواع سیکل‌های جذبی:

۱- چرخه آب (جاذب) ـ آمونیاک (سرد):

۲- چرخه تبرید برمید لیتیم (جاذب) و آب (سِرد):

۳- چرخه تبرید جذبی ۳ سیالی.

اصول چرخه مبرد در سیستم‌های جذبی مشابه سیستم‌های تراکمی تبخیری می‌باشد اختلاف اساسی این دو چرخه عامل جریان دادن مبرد در سیستم است در سیکل جذبی یک مخزن جاذب و یک ژنراتور «دیگ بخار» جایگزین کمپرسور شده است مزایای سیستم‌های جذبی عدم وابستگی به جریان الکتریکی جهت کار کردن کمپرسور در ظرفیت‌های بالای تبرید می‌باشد و در مواردی که سوخت‌های فسیلی فراوان‌ترند دارای صرفه اقتصادی نسبت به سیستم‌های تراکمی می‌باشد یک سیستم ساده جذبی از ۴ جزء اصلی تشکیل می‌شود قسمت جاذب و تبخیر کننده، که در سمت کم فشار سیستم قرار دارند و سیستم مولّد بخار و چگالنده در

$Q_H = ۸۰۰ kj/kg \quad C_v = ۰/۹ \quad k = ۱/۴$

۱) حداکثر فشار در نقطه ۳ که انتهای مرحله احتراق است بوجود می‌آید.

روش اول از جدول ؟؟؟؟ $\rightarrow \begin{cases} T_۱ = ۲۹۰k \\ P_۱ = ۱۰۰kpa \end{cases} \Rightarrow u_۱ = ۲۰۶/۹ kj/kg$

$$r_{vs} - ۸ = \frac{V_۱}{V_۲} \Rightarrow \left(\frac{P_۲}{P_۱}\right)^{\frac{k-۱}{k}} = \left(\frac{V_۱}{V_۲}\right)^{k-۱} \Rightarrow \boxed{\frac{P_۲}{???} = ۱۸۳۸kpa}$$

$$\frac{T_۲}{T_۱} = \left(\frac{V_۱}{V_۲}\right)^{k-۱} \Rightarrow T_۲ = (۸)^{۰/۴} \times ۲۹۰ = ۶۶۶k \overset{\text{جدول}}{\Rightarrow} \boxed{u_۲ = ۴۷۸ kj/kg}$$

$$q = u_۳ - u_۲ \Rightarrow ۸۰۰ = u_۳ - ۴۷۸ \Rightarrow \boxed{u_۳ = ۱۲۷۸ kj/kg} \rightarrow \underline{T_۳ = ۱۵۷۸}$$

روش دوم

* با استفاده از روابط گاز کامل:

$$\frac{P_۳ v_۳}{T_۳} = \frac{P_۲ v_۲}{T_۲} \overset{\text{حجم ثابت}}{\Rightarrow} P_۳ = P_۲ (\frac{T_۳}{T_۲}) = \underline{۴/۳۵ Mpa}$$

$$q_{comb} = c_v (T_۳ - T_۲) = ۰/۹ (T_۳ - ۶۶۶) \Rightarrow T_۳ = ۱۵۵۴k$$

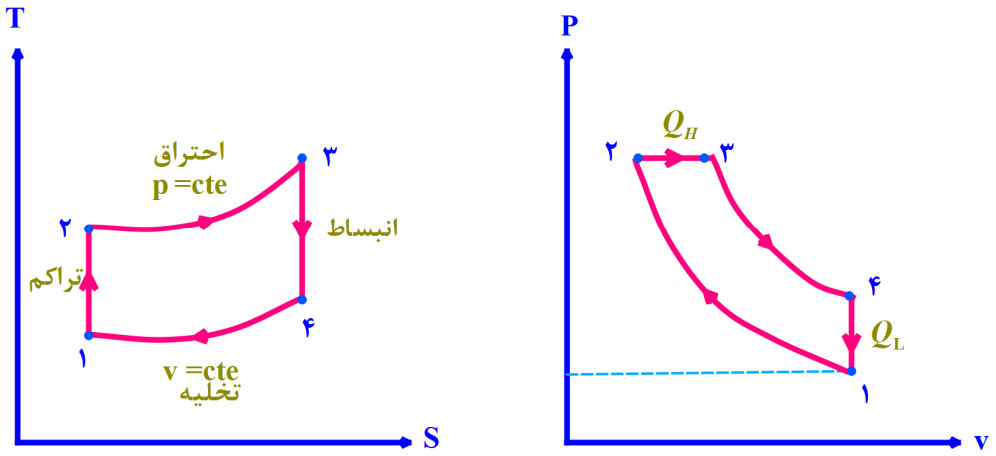
راه حل اول ب $w = q_{comb} - q_{ex????} \qquad q_{comb} = u_۳ - u_۲ = C_v (T_۳ - T_۲)$

$$q_{exhust} = u_۴ - u_۱ = C_v (T_۴ - T_۱)$$

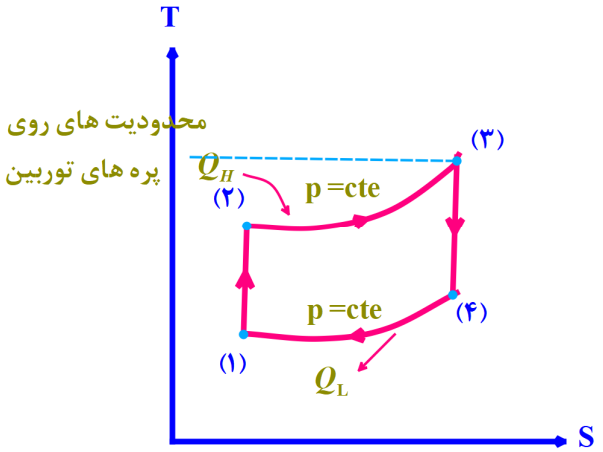
راه حل دوم ب $\eta_{Th} = \frac{w}{Q_{comb}} = ۱ - \frac{۱}{r_v^{k-۱}} = ۱ - \frac{۱}{۸^{۰/۴}} = ۰/۵۶۵$

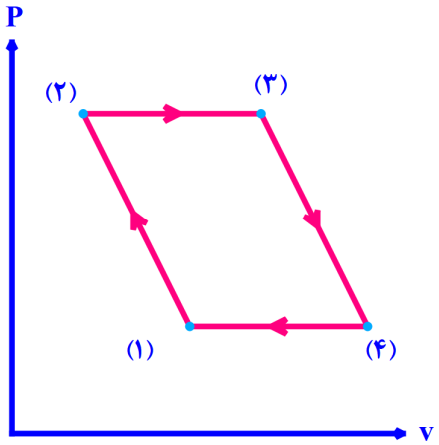
$$\rightarrow w = \eta_{Th} \times q_{comb} = ۰/۵۶۵ \times ۸۰۰ = ۴۵۳ kj/kg$$

چرخه ایده‌آل دیزل:



چرخه برایتون: «ایده‌ال برای توربین‌های گاز»:



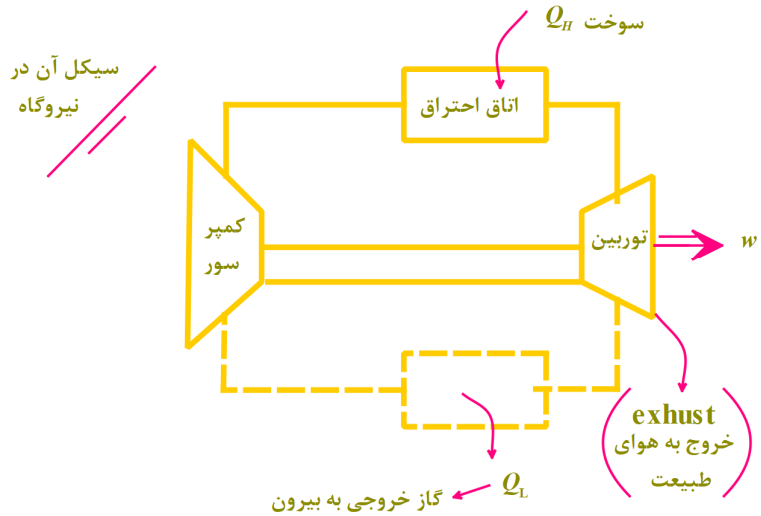


$$\eta = ۱ - \frac{Q_L}{Q_H} = ۱ - \frac{Q(T_۴ - T_۱)}{C_P(T_۳ - T_۲)}$$

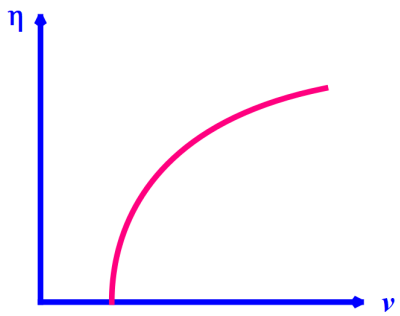
داریم که:

$$\frac{T_۲}{T_۱} = \left(\frac{P_۲}{P_۱}\right)^{k-۱/k} = \left(\frac{V_۱}{V_۲}\right)^{k-۱} = \frac{T_۳}{T_۴}$$

$$\boxed{\eta = ۱ - \frac{T_۱}{T_۲} = ۱ - \frac{۱}{r_{ps}^{\frac{k-۱}{k}}}}$$



تغییرات بازده در این چرخه به صورت روبرو است:



عوامل انحراف از حالت ایده‌آل:

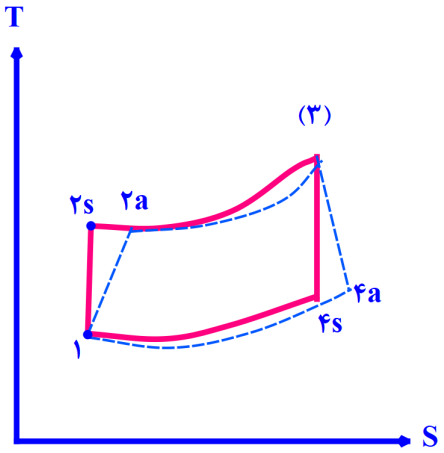
چند نکته در این سیکل وجود دارد توجه می‌کنیم که به خاطر مواد سازنده پره‌های توربین ما برای نقطه ۳ محدودیت دما داریم بنابراین اگر بخواهیم در همان دما در فشار بالاتری کار کنیم مقدار کار گرفته شده از توربین تماماً صرف کمپرسور می‌شود.

۲- در چرخه‌های برایتون واقعی هوا بعد از خروجی از توربین معمولاً به محیط بازگشت داده می‌شود لذا در حالت ایده‌آل چرخه برایتون یک دور را «یک سیکل» را طی می‌کند.

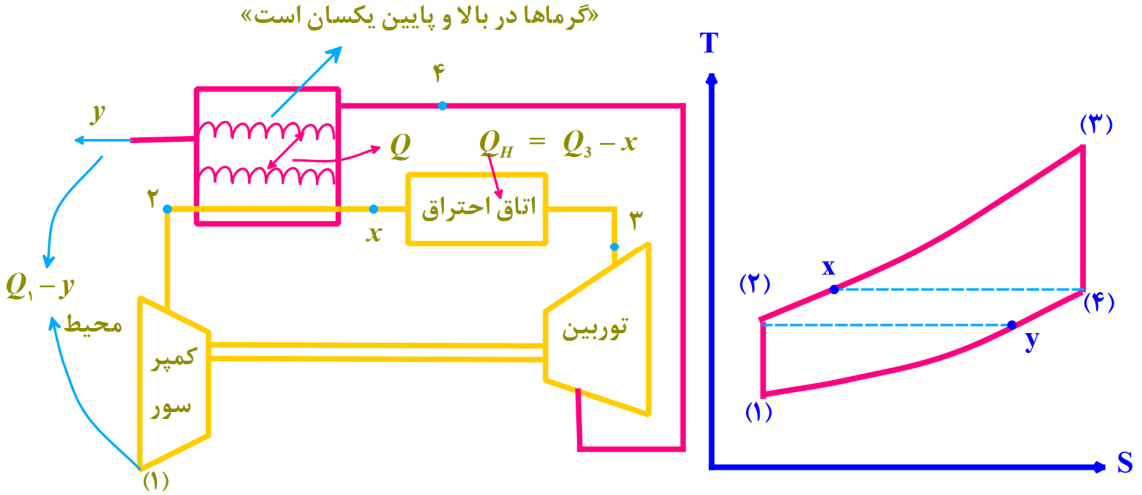
۳- انحراف عملکرد توربین و کمپرسور از حالت ایده‌آل با بازده آنها مدّنظر قرار می‌گیرد.

$$\eta_{is\ C} = \frac{w_{is}}{w_{act}} = \frac{h_{۲s} - h_{۱}}{h_{۲a} - h_{۱}} = \frac{T_{۲s} - T_{۱}}{T_{۲a} - T_{۱}}$$

$$\eta_{is\ Th} = \frac{w_{act}}{w_{is}} = \frac{h_{۴a} - h_{۳}}{h_{۴s} - h_{۳}} = \frac{T_{۴a} - T_{۳}}{T_{۴s} - T_{۳}}$$



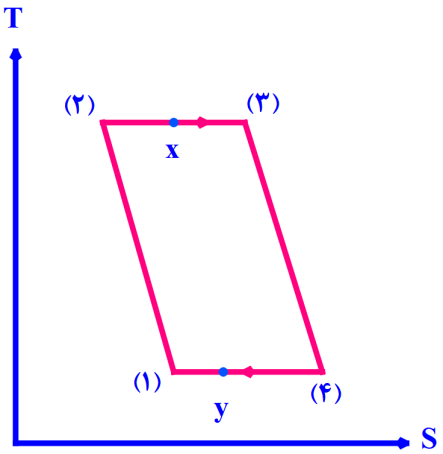
چرخه ایده‌آل توربین گاز با بازیاب:



به محیط است ← حرارت خروجی $= q_{۱-y}$

حرارت بازیابی $q_{۴-y} = q_{x-z} = ۰$

حرارت ورودی $q_{۳} - x = ۰$

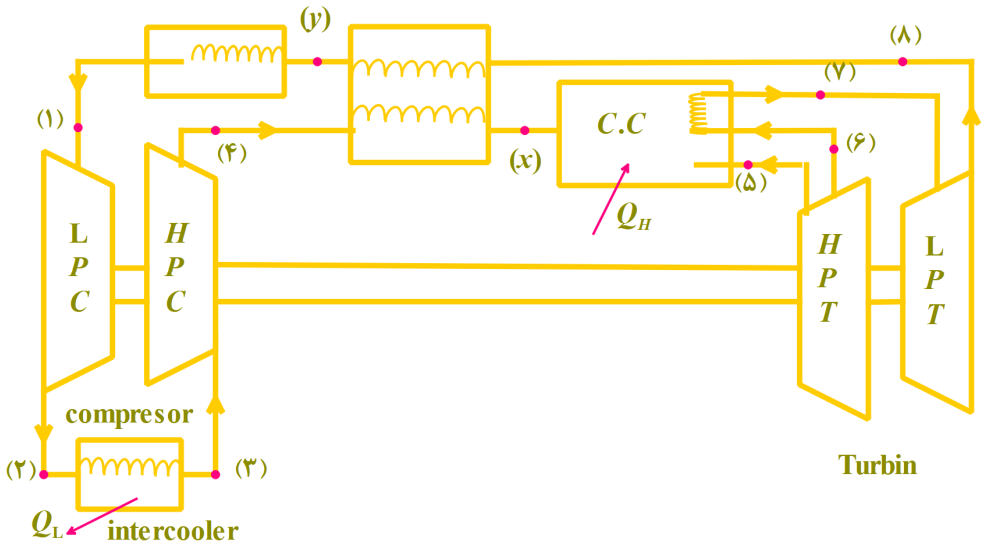


$$\eta_{Th} = ۱ - \frac{Q_L}{Q_H} = ۱ - \frac{Q_P(T_y - T_۱)}{C_P(T_۳ - T_x)} = ۱ - \frac{T_۱(\frac{T_۳}{T_۱} - ۱)}{T_۳(۱ - \frac{T_۴}{T_۳})}$$

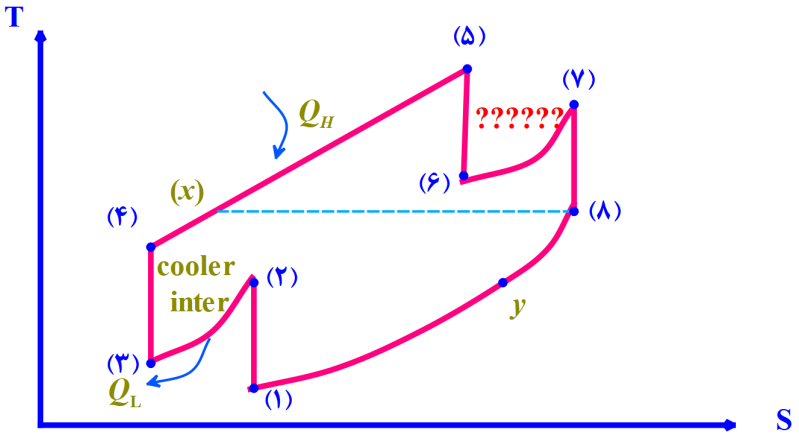
$$= ۱ - \frac{T_۱((\frac{P_۲}{P_۱})^{\frac{k-۱}{k}} - ۱)}{T_۳(۱ - \frac{۱}{(\frac{P_۳}{P_۱})^{k-۱/k}})} = \boxed{۱ - \frac{T_۱}{T_۳} r_{ps}^{\frac{k-۱}{k}}}$$

ضریب تأثیر بازیابی: $\varepsilon = \frac{\text{حرارت متبادله واقعی در مبدل}}{\text{حرارت متبادله ایده آل}} = \frac{C_P(T_{x'} - T_۲)}{C_P(T_k - T_۲)}$

سیکل برایتون یا سرمایش میانی (intercooler)و بازتابش و بازیابی:



حالت ایده‌آل $\leftarrow Q \rightarrow \begin{cases} T_1 = T_3 \\ T_5 = T_7 \end{cases}$



بازده این چرخه به خاطر شبیه شدن به کار در دمای ثابت به بازده چرخه اریسکون نزدیک می‌شود.

سیکل گازی با گرمایش و بازیاب : سیکل گازی ایده‌آلی با ۲ مرحله انبساط دارای نسبت فشار کلّی ۸ است هوا در دمای $300\,k$ وارد هر یک از طبقات کمپرسور شده و با دمای $1300\,k^{\circ}$ وارد هر یک از طبقات توربین می‌گردد مقدار کلّ کار مفید و بازده این سیکل را بدست آورید؟

$K_{air} = 1/4$

$cp_{air} = ???$

فرض می‌کنیم نسبت فشارهای ۲ طبقه یکسان باشد.

$$\frac{P_4}{P_3} = \frac{P_2}{P_1} = \sqrt{8} = 2/82$$

$$\frac{P_6}{P_7} = \frac{P_8}{P_9} = \sqrt{8} = 2/83$$

با توجه به وابستگی آنتالپی گاز به دما:

$$T_1 = T_3 \Rightarrow h_1 = h_3 \qquad T_2 = T_4 \Rightarrow h_2 = h_4$$

$$T_6 = T_8 \Rightarrow h_6 = h_8 \qquad T_7 = T_9 \Rightarrow h_7 = h_9$$

$$T_1 = 300k \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = (\frac{P_2}{P_1})^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow \frac{T_2}{300} = (\sqrt{8})^{\frac{0/4}{1/4}} \rightarrow \boxed{\sqrt{12} = 403k}$$

$$w_{c_1} = w_{c_2} = C_P(T_2 - T_1) = 1(403 - 300) = 103/3\,kj/kg$$

$$w_{Comp} = w_{c_1} + w_{c_2} = 206/3\,kj/kg$$

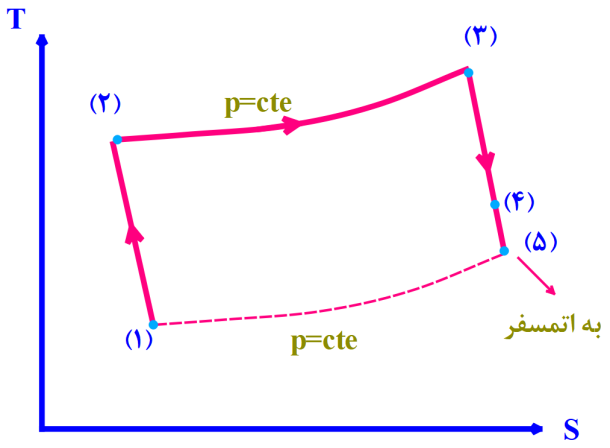
$$T_6 = 1300k \qquad \frac{T_6}{T_7} = (\frac{P_c}{P_v})^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \frac{1300}{T_7} = (\sqrt{8})^{\frac{0/4}{1/4}} \rightarrow \boxed{T_7 = 966k}$$

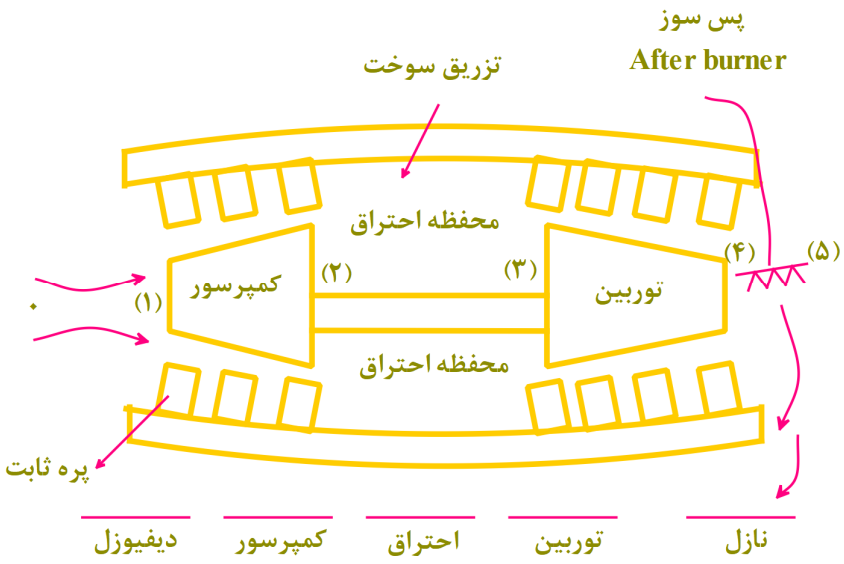
$$t_z = C_p(T_6 - T_7) = 1(1300 - 966) = 304\,kj/kg$$

$$w_t = ۶۰۸ kj/kg \rightarrow w_{net} = w_t - w_{Comp}$$
$$\rightarrow w_{net} = ۶۰۸ - ۲۰۶/۳ = ۴۰۱/۷$$
$$\rightarrow q_{ورودي} = (h_۶ - h_۴) + (h_۸ - h_۷) = ۱۳۴۴ kj$$
$$\eta_{Th} = \frac{w}{q} = \frac{۴۰۲}{۱۳۳۴} = \underline{۰/۳۰۱|} \text{ بـازده}$$

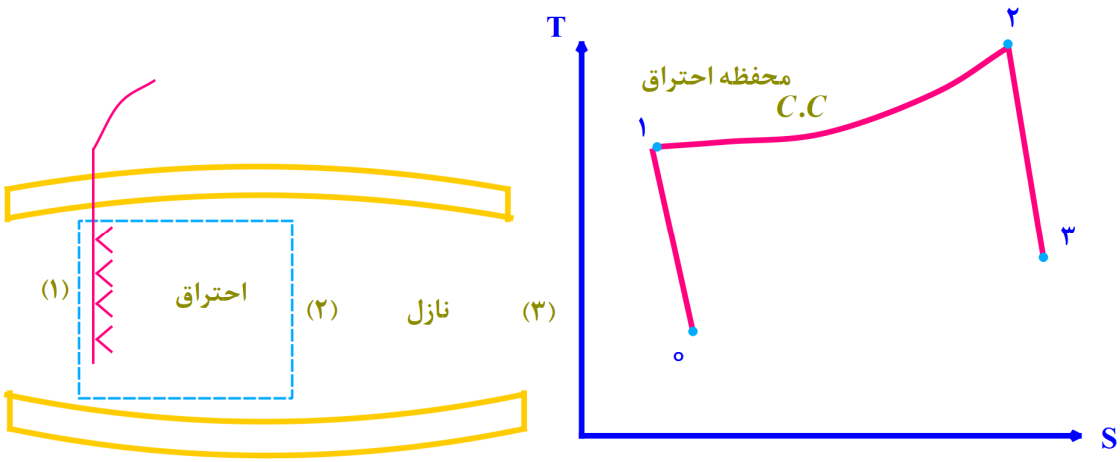
نکته در این چرخه: $۸ = \frac{P_۴}{P_۱} = \frac{P_۴}{P_۳} \times \frac{P_۳}{P_۱} = \frac{P_۴}{P_۳} \times \frac{P_۳}{P_۱}$

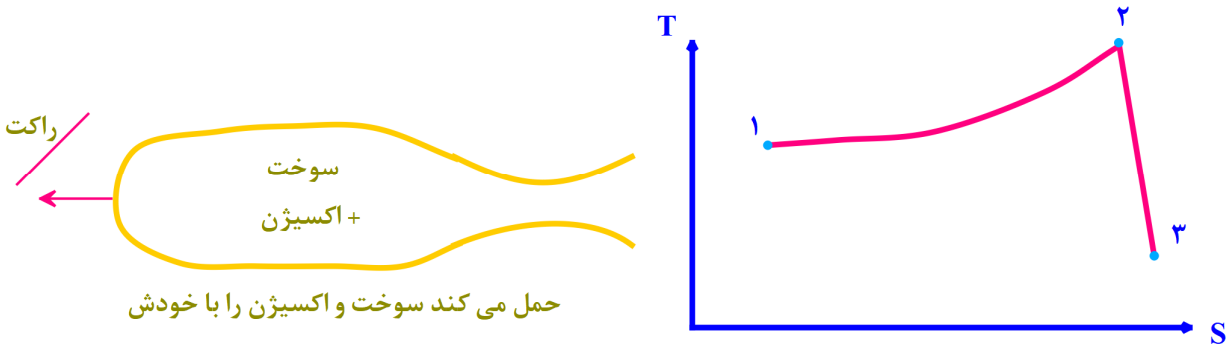
چرخه‌های استاندارد هوا برای رانش جت:



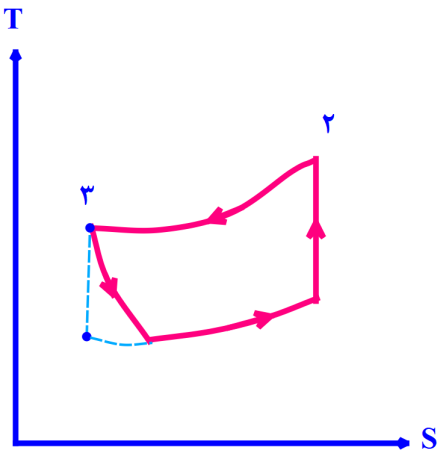


فرم چیست:





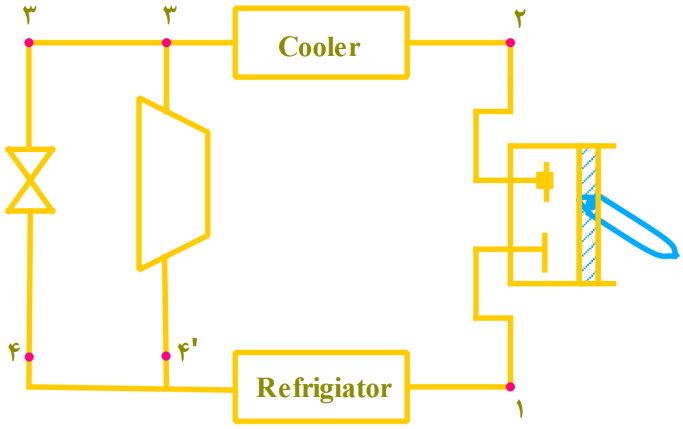
چرخه استاندارد هوایی تبرید «معکوس برایتون»:



$$B_L = \frac{Q_L}{w}$$

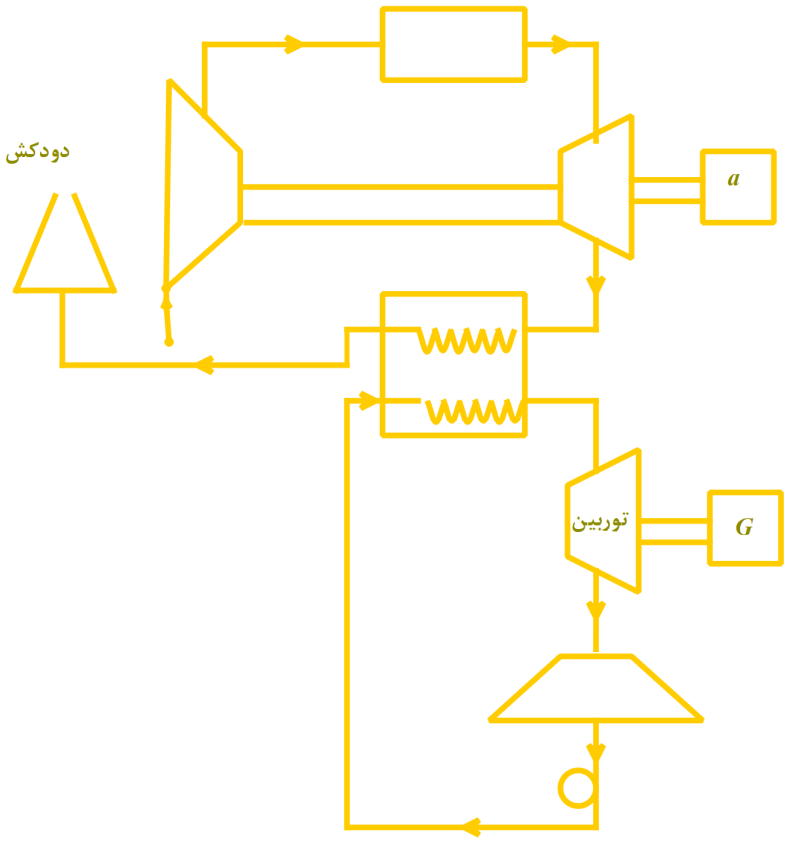
$$B_H = \frac{Q_H}{w}$$

$$B_H - B_L = ۱$$



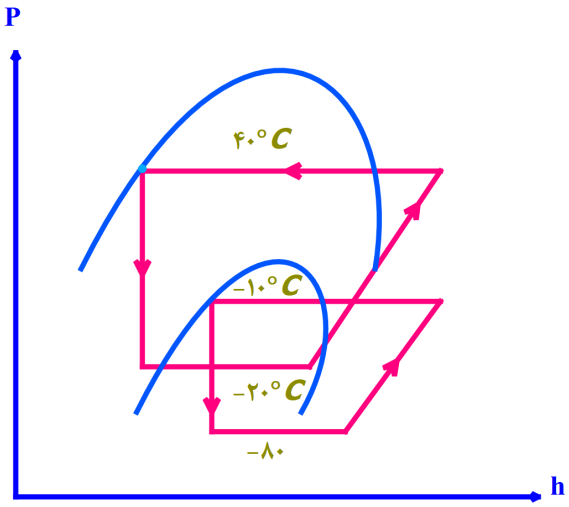
مثل خنک کاری ژنراتور تولید برق که در آن دیگر نمی‌شود از مبرد برای خنک کاری استفاده کرد.

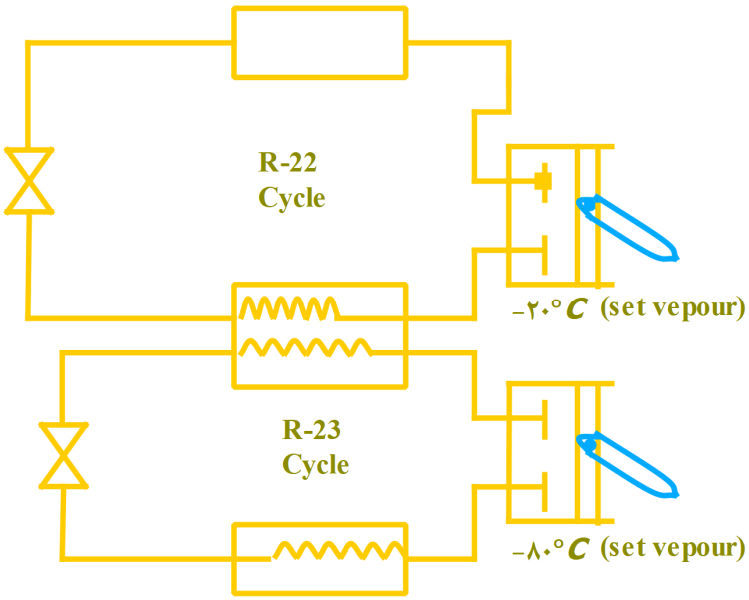
چرخه ترکیبی: چرخه ترکیبی نیروگاه بخار و توربین گاز:



در این چرخه هوای خروجی از توربین گاز فشار خود را از دست داده ولی حرارت بالایی در حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه دارد و می‌توان از آن برای گرم کردن یا پیش گرم کردن اب در یک boiler نیروگاه بخار استفاده کرد. با این کار بازده سیکل بالا می‌رود از این سیستم در صنعت فراوان استفاده می‌شود.

چرخه ترکیبی تبرید:





در این نوع سیستم‌ها به دلیل شرایط دمایی کارکرد مبردها برای بدست آوردن دماهای خیلی پایین از سیکل‌های ترکیبی استفاده می‌شود زیرا هر مبرد برای عملکرد در دما و فشارهای مخصوصی مناسب است.

روابط ترمودینامیکی :

«تغییرات u» (الف

از قبل می‌دانستیم $C_v = (\frac{\partial u}{\partial T})_v$ و $C_p = (\frac{\partial h}{\partial T})_p$ فرض: $u = u(T,v)$

$$du = (\frac{\partial u}{\partial T})_v dT + (\frac{\partial u}{\partial v})_T dv$$
$$du = C_v dT + (\frac{\partial u}{\partial v})_T dv$$

با استفاده از رابطه $du = Tds - Pdv$ داریم:

$$(\frac{\partial u}{\partial T})_v = [-P + T(\frac{\partial s}{\partial v})_T]_T$$

با استفاده از روابط ماکسول داریم:

$$(\frac{\partial u}{\partial v})_T = [-P + T(\frac{\partial P}{\partial T})_v]_T$$
$$\rightarrow du = C_v dT + [-P + T(\frac{\partial P}{\partial T})_v]_T dv$$
$$\rightarrow u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v dT + \int_1^2 (-P + T(\frac{\partial P}{\partial T})_v]dv$$

اگر گاز آرمانی باشد $PV = RT$ داریم: $u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v dT$

«تغییرات آنتالپی» $h = f(T,P)$ (ب

$$dh = (\frac{\partial h}{\partial T})_p dT + (\frac{\partial h}{\partial P})_T dp$$
$$dh = C_P dT + [v - T(\frac{\partial V}{\partial T})_p]_T dp$$
$$\rightarrow h_2 - h_1 = \int_1^2 C_p dT + \int_1^2 (v + T(\frac{\partial v}{\partial T})_p]dp$$

«تغییرات آنتروپی» (ج

برای تغییرات آنتروپی ۲ رابطه موجود است:

فرض: $S = s(T,v)$ و $S = s(T,p)$

$$ds = (\frac{\partial s}{\partial p})dT + (\frac{\partial s}{\partial p})_T dp$$

با استفاده از روابط $dh = Tds + vdp$ داریم:

$$ds = \frac{1}{T}(\frac{\partial h}{\partial T})_p dT + (-\frac{\partial v}{\partial T})_p]dp$$

به همین ترتیب برای حالت دوم هم:

$$ds = \frac{C_p}{T}dT - (\frac{\partial v}{\partial T})_p dp$$
$$S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T}dT - \int_{P_1}^{P_2} (\frac{\partial v}{\partial T})_p dp$$
$$S_2 - S_1 = \int \frac{C_p}{T}dT - RLn\frac{P_2}{P_1}$$

معادلات گرمای ویژه: همانطور که می‌دانیم گرمای ویژه یک گاز ایده‌آل به دمای آن بستگی دارد ولی برای یک گاز دو حالت کلّی گرمای ویژه علاوه بر دما به حجم مخصوص و فشار نیز بستگی دارد در فشارهای پایین گازها همانند گاز ایده‌آل رفتار می‌کنند و گرمای ویژه آنها الزاماً فقط به دما بستگی دارد در این جا روابطی برای تعیین ضرایب گرمای ویژه در فشارهای بالاتر با استفاده از این ضرایب اولیه ارائه می‌گردد.

$$ds = \frac{C_p}{T}dT - (\frac{\partial v}{\partial T})_p dp$$
$$ds = \frac{C_v}{T}dT - (\frac{\partial p}{\partial T})_v dv$$

ابتدا برای یافتن $C_p - C_v$ تلاش می‌کنیم «از کم کردن دو رابطه بالا از هم»

$$dT = \frac{T(\frac{\partial p}{\partial T})_v}{C_p - C_v}dv + \frac{T(\frac{\partial v}{\partial T})_p}{C_p - C_v}dp$$
$$dT = (\frac{\partial T}{\partial v})_p dv + (\frac{\partial T}{\partial p})_v dp$$

با فرض اینکه $T = T(p,v)$:

$$(\frac{\partial T}{\partial v})_p = \frac{T(\frac{\partial P}{\partial T})_v}{C_p - C_v}$$
$$(\frac{\partial T}{\partial p})_v = \frac{T(\frac{\partial v}{\partial T})_p}{C_p - C_v}$$
$$\Rightarrow C_p - C_v = \frac{T(\frac{\partial v}{\partial T})_p}{(\frac{\partial T}{\partial p})_v}$$

با استفاده از رابطه $(\frac{\partial T}{\partial p})_v \times (\frac{\partial v}{\partial T})_p \times (\frac{\partial p}{\partial T}v)_T = -1$

$$C_p - C_v = -T(\frac{\partial v}{\partial T})_p^2 (\frac{\partial p}{\partial v})_T$$

مقدار C_p / C_v :

$$S = S(T,p) \Rightarrow ds = \frac{C_p}{T}dT - (\frac{\partial v}{\partial T})_p dp$$

$$S = S(T,v) \Rightarrow ds = \frac{C_v}{T}dT + (\frac{\partial p}{\partial T})_v dv$$

در یک فرآیند

$$\xrightarrow{\times T} Tds = C_p dT - T(\frac{\partial v}{\partial T})_p dp$$

آنتروپی ثابت

$$\xrightarrow{\times T} Tds = C_v dT + T(\frac{\partial p}{\partial T})_v dv$$

$$\rightarrow \begin{cases} C_p dTs = T(\frac{\partial v}{\partial T})_p dp \\ C_v dTs = -T(\frac{\partial p}{\partial T})_v dv \end{cases} \xrightarrow{\text{تقسیم}} \frac{C_p}{C_v} = -\left[\frac{(\frac{\partial v}{\partial T})_p}{(\frac{\partial p}{\partial T})_v}\right]\left[\frac{\partial v}{\partial T}\right]_s$$

از رابطه چرخشی استفاده می‌کنیم: $(\frac{\partial v}{\partial p})_T (\frac{\partial p}{\partial T})_v (\frac{\partial T}{\partial v})_p = -1$

$$(\frac{\partial p}{\partial T})_v = -\frac{1}{(\frac{\partial v}{\partial p})_T (\frac{\partial T}{\partial v})_p} = \frac{(\frac{\partial v}{\partial T})_p}{(\frac{\partial v}{\partial p})_T}$$

$$\searrow -\frac{1}{(\frac{\partial T}{\partial v})_p}.(\frac{\partial v}{\partial T})_p$$

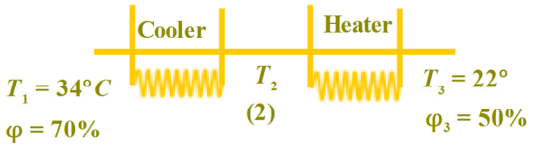
$$\rightarrow \frac{C_p}{C_v} = \frac{(\frac{\partial p}{\partial v})_s}{(\frac{\partial p}{\partial v})_T}$$

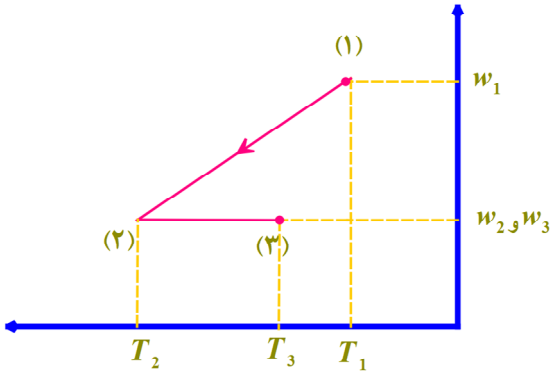
تعریف مهم: $\beta = \frac{1}{v}(\frac{\partial v}{\partial T})_p$ قابلیت انبساط حجمی $\alpha = \frac{1}{v}(\frac{\partial v}{\partial p})_T$ تراکم‌پذیری $C_p - C_v = \frac{vT\beta^2}{\alpha}$

تمرین: نشان دهید که مقدار C_p/C_v برای یک فرآیند آیزنتروپیک روی گازهای کامل برابر k است؟

$$\beta = \frac{1}{v}(\frac{\partial v}{\partial T})_p$$

جواب سوال ۴ سری سوّم:





$$pv_1 = \varphi_1 \times pa_1(34^\circ C) \xrightarrow{\text{جدول}} 0/7 \times 5/62 = 3/93 kpa$$

$$w_1 = 0/622 \frac{pv_1}{pa_1} = 0/622 \times \frac{3/93}{100 - 3/93} = 0/02408$$

از روی نمودار سایکرومتریک $\rightarrow h_1 = 95/2 kj/kg$

$$pv_2 = \varphi_2 pg_2(22^\circ C) \xrightarrow{\text{جدول}} 0/5 \times 2/74 = 1/37 kpa$$

$$w_2 = 0/622 \frac{pv_2}{pa_2} = 0/0036 \quad \text{نمودار سایکرومتریک} \rightarrow h_2 = 43/1 kj/kg$$

$$w_3 = w_2 \rightarrow pv_2 = 1/37 kpa \rightarrow \begin{cases} T_2 = 11/45^\circ \\ h_w = hf = 42/02 kj/kg \\ h_2 = 32/81 kj/kg \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\dot{Q}_{cooler}}{\dot{m}a_1} = \dot{m}a_1 h_1 - (\dot{m}a_2 h_2 + \dot{m}_w h_w) = \frac{\dot{m}a}{\dot{m}a}(h_1 - h_2) - \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}a} h_w \\ \dot{q}_{cooler} = (h_1 - h_2) - (w_1 - w_2) h_w = 62/74 kj/kg \end{cases}$$

مثال: هوا بصورت آدیاباتیک از یک شیر عبور می‌کند شرایط ورودی هوا ۱۴۰kpa و دمای ۱۵۰°C است و فشار خروجی ۱۰۶kpa می‌باشد اگر از تغییرات انرژی‌های پتانسیل و جنبشی صرف نظر گردد و فشار محیط ۱۰۱kpa و دمای محیط ۲۵°C فرض شود محاسبه کنید قابلیت کاردهی در ورود و خروج از شیر انبساط ۲) کار برگشت‌پذیر هوا در عبور از شیر؟ ۳) کار گم شده و برگشت‌ناپذیری؟

$$P_i = 140 kpa \quad P_e = 106 kpa \rightarrow \Psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0)$$

$$T_i = 100^\circ C \quad \begin{cases} P_0 = 101 kpa \\ T_0 = 25^\circ C \end{cases} \rightarrow \Psi_i = C_p(T_i - T_0) - T_0(s_i - s_0)$$

محیط محیط

i: inlet

e: exit

o: محیط

تغییر آنتروپی برای هوا «گاز کامل» $(s_i - s_.) = c_p(Ln\frac{T_i}{T_.}) - Ln\frac{p_i}{p_.}$

$$\Psi_i = ۱/۰۰۳۵(۱۵۰-۳۵) - ۲۹۸/۱۵[۱/۰۰۳۵Ln\frac{۱۰۰-۲۷۳}{۲۷۳+۳۵} - ۰/۲۸۷Ln\frac{۱۴۰}{۱۰۱}] = ۴۸/۶۳$$

$$\Psi_e = C_p(T_e - T_.) - T_.[C_p\frac{T_e}{T_.} - RLn\frac{P_e}{P_.}] = ۲۴/۸$$

$$\rightarrow w_{rev} = \varphi_i - \varphi_e = ۴۸/۶۲۱ - ۲۴/۸۱۵ = ۲۲/۸۰۳ kj/kg$$

$$\rightarrow I = w_{rer} - w_{act} = m_e t_. s_e - m_i T_. s_i = \dot{m} T_.(s_e - s_i)$$

$$\rightarrow w_c = I = T(s_e - s_i) = (۱۵۰ + ۲۷۳/۱۵)(c_p Ln\frac{T_e}{T_i} + RLn\frac{p_e}{p_i}) = ۳۳/۷ kj/kg$$

$$\rightarrow ds_{c-v} = \sum m_i s_i - \sum m_e s_e + \frac{s\not{Q}}{\not{T}_.} + \frac{sw}{T}$$