

پسده تعالی

* ترمودینامیک 2 ← دکتر محمد رضا سلیم پور (2-99)

(1) لیست های توان دسریس

(2) مخلوط گازها

(3) روابط ترمودینامیکی

(4) واکنش های شیمیایی

(5) جریان تراکم پذیر

* لسر فصل ها ←

* مرجع ← Fundamentals of thermodynamics By Sonntag, Borgnakke
and Van Wylen (6th Ed)

* میاترم ← 8 نمره

* پایانترم ← 8 نمره

* تکالیف ← 2 نمره

* کوئیز ← 4 نمره

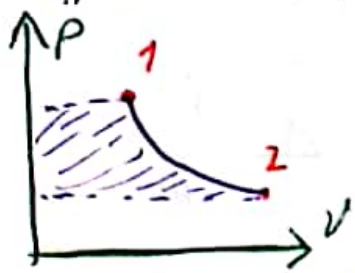
* بارم بنزی ←

(Mohammad Rezaee Shahzadeh Ali akbari)

فصل 1 — سیکل های توان و سرمایش

* مقدمه ای بر سیکل های توان ← از ترمودینامیک 1 بیاد داریم که

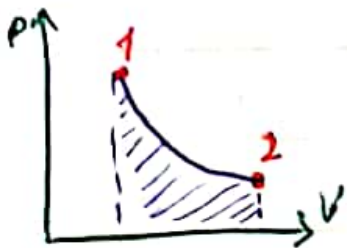
* برای یک حجم کنترل در شرایط پایا (SSSF) با صرف نظر از تغییرات انرژی پتانسیل و



$$W = - \int v dp$$

جنبی، کار محوری برگشت پذیر:

* برای یک سیستم بسته که عیناً همان همان تراکم 1 → 2 را طی کند (صرف نظر از تغییرات

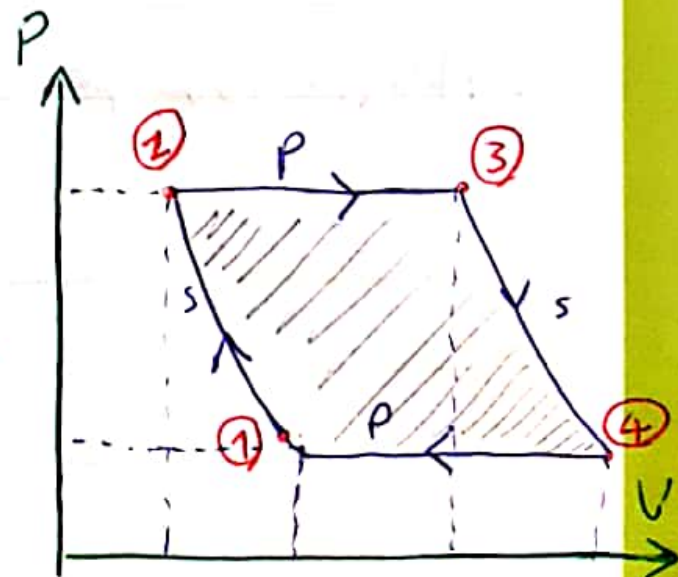
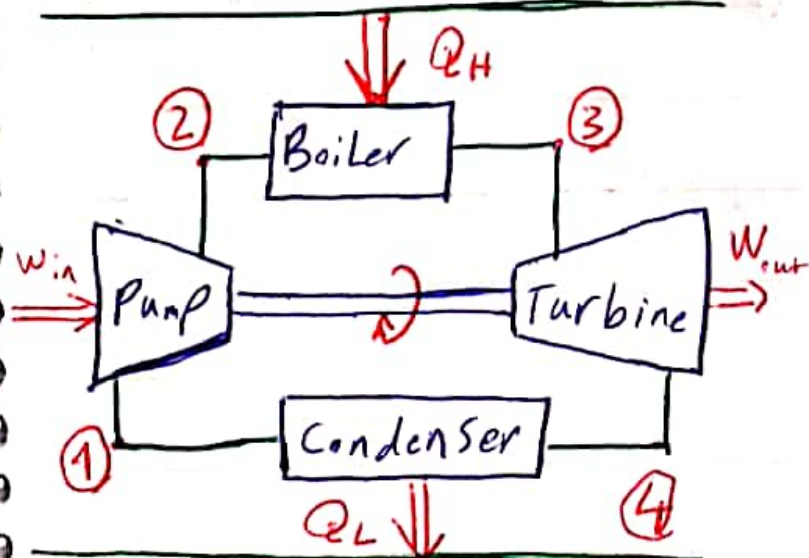


$$W = \int P dv$$

انرژی پتانسیل) کار سرزده متحرک برگشت پذیر:

نکته) کار انجام شده طی فرآیندهای خون الزاماً برابر نیست!

High-Temperature Reservoir



Low-Temperature Reservoir



تولید کار

سیکل توان ← چهار جزء دارد که در طبق انتقال گرما، انبساط، دفع گرما و انقباض (افزایش شمار) (در این درس)

* برای سیکل در شرایط پایا با صزن قطر از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل با فرض ثابت بودن شمار

در بویلر و کندانسور و آیزنوتروپیک بودن شرایط های تراکم و انبساط کار تولیدی سیکل برابر است با

$$W_{net} = -\int_1^2 v dp + 0 + -\int_3^4 v dp + 0 = -\int_1^2 v dp + \int_4^3 v dp = \text{مساحت داخل حوضه سیکل}$$

* حال فرض کنیم سیستم بسته ای داریم که عینا همان سیکل پیوسته شده قبلی را می کند . پس

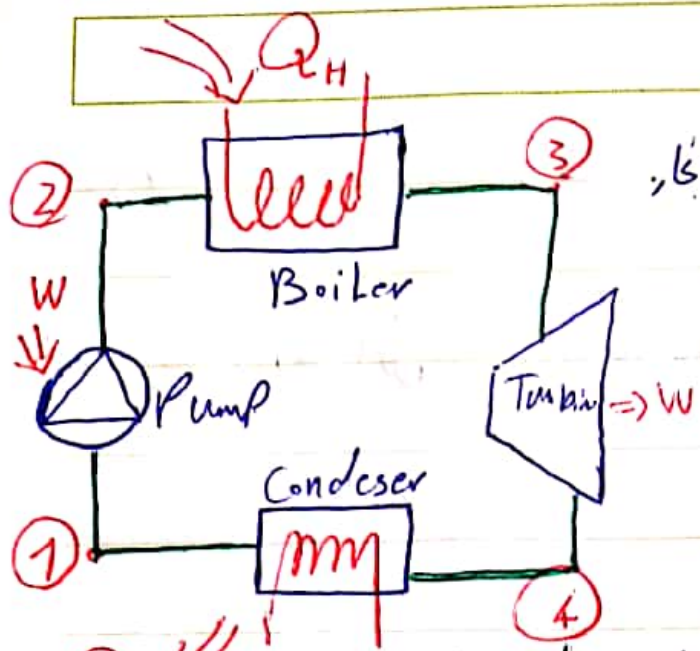
$$W_{net} = \int_1^2 P dv + \int_2^3 P dv + \int_3^4 P dv + \int_4^1 P dv = \text{مساحت داخل حوضه سیکل}$$

① کار هر فرآیند پایا در بسته با هم برابر نیست اما کار کل سیکل در دو حالت برابر است .

② جهت افزایش کار خالص تولیدی سیکل باید حجم مخصوص سیال عامل حین

فرآیند انبساط بالا و حین فرآیند تراکم پایین باشد .

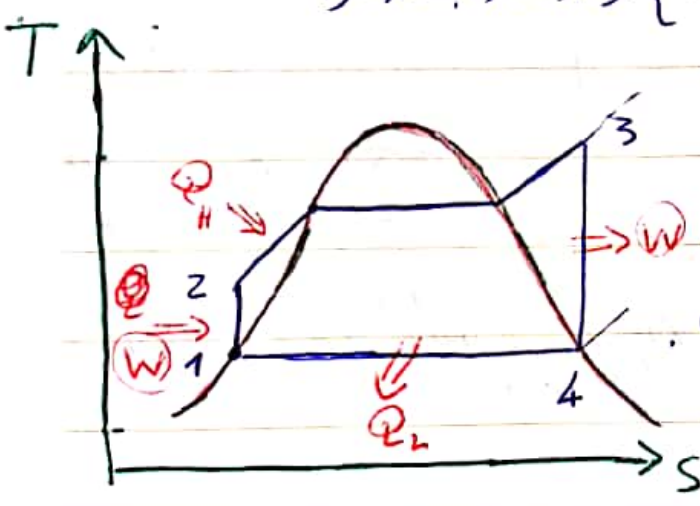
مسئله رانگین ← مسیله ایله آل بران نیروگاه توانی بخار



1-2 تراکم آیزنتروپیک در پمپ

2-3 انتقال گرما در شرایط بویلر

3-4 انبساط آیزنتروپیک توربین
4-1 دفع گرما در شرایط کندانسور



فرضه 1) از تغییرات انرژی جنبی و پتانسیل صرفه نظر

فرضه 2) فرآیند تمام اجزاء سیکل پایا (SSSF) است

قانون اول برای ترانزیت های جریان پایا ← $(q_{in} - q_{out}) + (W_{in} - W_{out}) = h_e - h_i$

* Pump $\Rightarrow q = 0 \Rightarrow W_{pump\ in} = h_2 - h_1 = v(P_2 - P_1) \Rightarrow \begin{cases} h_2 = h_{e,0} P_1 \\ v_2 = v_{f,0} P_1 \end{cases}$

* Boiler $\Rightarrow W = 0 \Rightarrow q_{in} = h_3 - h_2$

* Turbine $\Rightarrow W_{turbine\ out} = h_3 - h_4$

* Condenser $\Rightarrow W = 0 \Rightarrow q_{out} = h_4 - h_1$

$$* W_{net} = q_{in} - q_{out} = W_{turbine} - W_{P in} \Rightarrow \eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$



تقاسم سیکل رانکین و سیکل کارنو ← راندمان سیکل

کارنو از راندمان سیکل رانکین بیشتر است زیرا

سیکل رانکین برگشت پذیر داخلی است اما برگشت پذیر خارجی نیست

راندمان سیکل کارنو :

$$\eta_{th, Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

راندمان سیکل رانکین :

$$\eta_{th, Rankin} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{\int_4^1 T ds}{\int_2^3 T ds} = 1 - \frac{\bar{T}_L (s_1 - s_2)}{\bar{T}_H (s_1 - s_2)}$$

و $\begin{cases} s_1 = s_2 \\ s_4 = s_3 \end{cases} \Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{\bar{T}_L (s_1 - s_2)}{\bar{T}_H (s_1 - s_2)} = 1 - \frac{\bar{T}_L}{\bar{T}_H} \Rightarrow \begin{cases} \bar{T}_L = T_L \\ \bar{T}_H < T_H \end{cases}$

$$\eta_{th, Rankin} < \eta_{th, Carnot}$$

نکته) از سیکل کارنو به جای سیکل رانکین با وجود راندمان بیشتر استفاده نمی شود زیرا ←

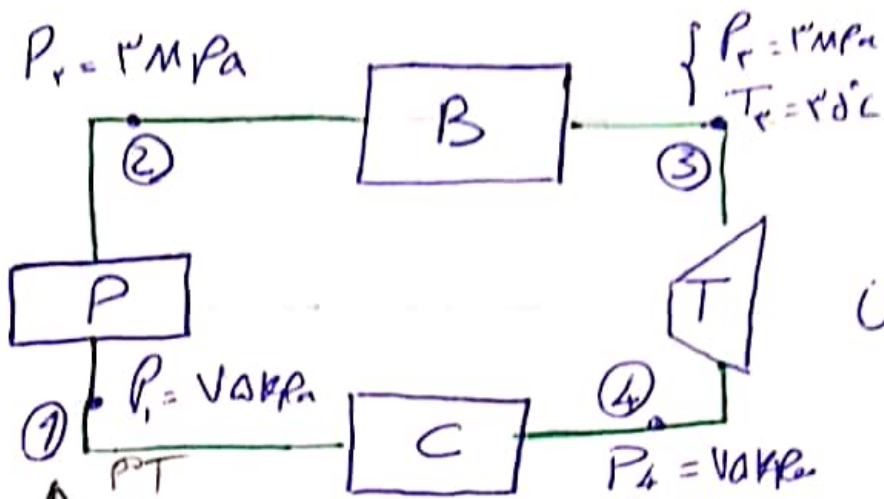
① در نقطه ③ آب دمازد و حاوی بخارات و نباید بخار وارد پمپ شود.

② عدم امکان سوپرگیت کردن و احتراز از رطوبت بالا در خروجی توربین (2)



که باعث خوردگی پره‌های توربین می‌شود.

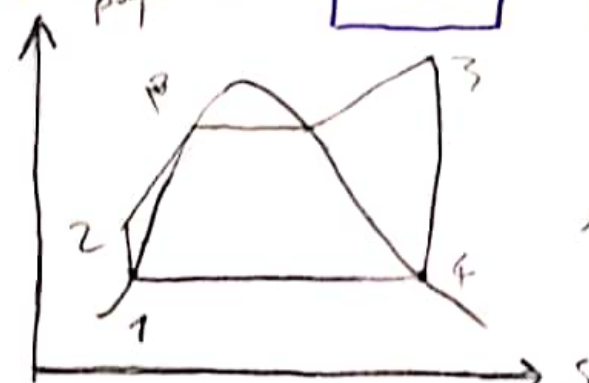
3) عدم امکان جذب بخش بزرگی از انرژی محصولات احتراق در 1) تا 4)



مثال) نیروگاه بخار مطابق شکل

بررسی ای سیکل را تکمیل کنید. مانندمان

نیروگاه را حساب کنید!



1) از تغییرات انرژی تا تبدیل در جبهه مرز لایه
2) ضربه فرآیند تا ایستگاه SSSF است

State 1 $\left\{ \begin{array}{l} P_1 = 75 \text{ kPa} \\ \eta_1 = 0 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_1 = h_{f@75} = 384.44 \text{ kJ/kg} \\ v_1 = v_{f@75 \text{ kPa}} = 0.001037 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right.$

State 2 $\left\{ \begin{array}{l} P_2 = 3 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right. \Rightarrow W_p = -v_1(P_2 - P_1) = -0.001037(3000 - 75) \Rightarrow$

$W_p = -3.03 \xrightarrow[q=0]{P_{\text{pump}}} q' - W_p = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = h_1 - W_p = 387.39 \text{ kJ/kg}$

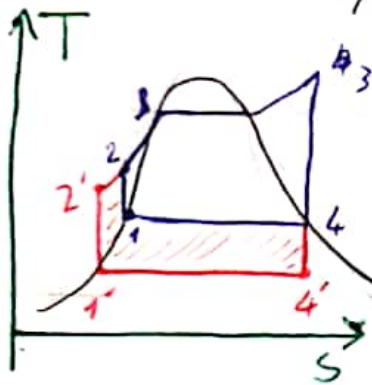
State 3 $\left\{ \begin{array}{l} P_3 = 3 \text{ MPa} \\ T_3 = 350^\circ\text{C} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_3 = 3115.25 \\ s_3 = 6.7428 \end{array} \right.$

State 4 $\left\{ \begin{array}{l} P_4 = 75 \text{ kPa} \\ S_4 = S_3 = 6.7428 \end{array} \right. \Rightarrow x_4 = 0.886 \Rightarrow h_4 = 2403$

(بولر) $W = 0 \Rightarrow$ first law: $q_H - W = h_3 - h_2 \Rightarrow q_H = 2727.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

(کندانسور) $W = 0 \Rightarrow$ first law: $-q_L - W = h_1 - h_4 \Rightarrow q_L = h_4 - h_1 = 2018.84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\eta_{th} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{2018.84}{2727.88} = 0.26 \times 100 = 26\%$



انترکامپنس دما و فشار منبسط (کندانسور) بر پارامترهای سیکل را بکین

* کار خالص تولید ← افزایش
* گرما را جمع می‌کند سیکل
* نمی‌توان گفت!

* گرمای داده شده به سیکل ← افزایش (انرژی) زیرا سوخت بیشتری در بویلر مصرف می‌شود

$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} T_L: \text{گرمای زیاد (4' } \rightarrow \text{ 1')} \\ T_H: \text{گرمای کم (2 } \rightarrow \text{ 2')} \end{array} \right. \Rightarrow$ راندمان سیکل ← افزایش

(عیب) کاهش کیفیت بخار در توربین (حد اکثر ۹۰٪) ← رطوبت بیشتر ← آب بیشتر به پره توربین (-)

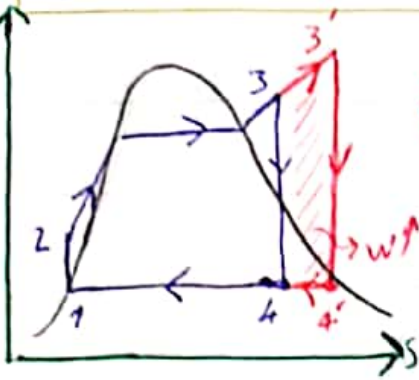
محدودیت) دمای آب خنک کن ← به طور میانگین دمای کندانسور باید ۱۵°C کمتر از دمای آب خنک کن

پاسد و از حدی به بعد پایش آذرن دمای کتب خنک کن هزینه‌های زیادی دارد.



NOTE BOOK

اثر سوپر هیست کردن بخار در دمای به توربین برابر است با سیکل رانگین ←



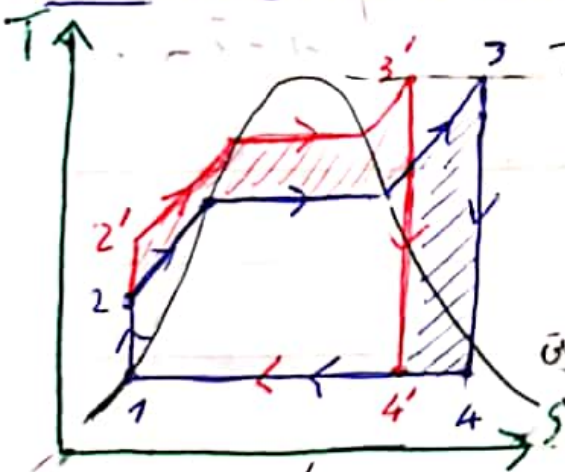
* کار خالص تولیدی ← افزایش گرمای داده شده ← افزایش

* گرمای دفع شده از سیکل ← افزایش $(S_{1 \rightarrow 4'} > S_{1 \rightarrow 4})$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \begin{cases} (T_H)_{1 \rightarrow 4} = (T_H)_{1 \rightarrow 4'} \\ (T_H)_{2 \rightarrow 3} < (T_H)_{2 \rightarrow 3'} \end{cases} \rightarrow \text{افزایش} \leftarrow \text{راندمان سیکل}$$

* مزایا ← ① افزایش راندمان ② افزایش کار تولیدی ③ افزایش کیفیت بخار در خریدی توربین

* محدودتیا ← ① حد تحمل حرارتی پره های توربین ← حداکثر دمای مایع قابل تحمل حدود 620



اثر افزایش فشار ماکزیمم (بولینگ) برابر است با سیکل رانگین ←

* کار خالص تولیدی ← مقدار کاهش و مقدار افزایش ← نمی توان دقیق سطح داخل چرخه گفت

* گرمای داده به سیکل ← سطح زیر منحنی 2' → 3 نسبت به 2 → 3 هم افزایش دارد کم ← نمی توان بانی

* گرمای دفع شده از سیکل ← $S_{4 \rightarrow 1} > S_{4' \rightarrow 1}$ ← کاهش یافته ← کدانسو کوچکترا نیاز داریم

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \begin{cases} (T_H)_{2'-3} > (T_H)_{2-3} \\ (T_L)_{4 \rightarrow 1} = (T_L)_{4' \rightarrow 1} \end{cases} \Rightarrow \text{افزایش} \leftarrow \text{راندمان سیکل}$$

NOTE BOOK

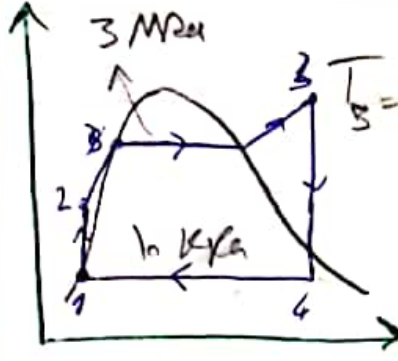
Dino

که در صنعت استفاده هم می شود

نکته اگر فشار از نود کبند اسباج (قطع جبرانی) بالاتر شود سیال فودن جبرانی و بولیدر سیکل تون جبرانی می شود

* **نریس** ← افزایش راندمان * **عیب** ← کاهش کیفیت بخار در خریدی توربین $(\chi_4 < \chi_4')$

* **زردی** ← کاهش دمای حداکثر مابعد محل پره ها توربین $(T_3 < T_3')$ در عمل



مثال 2 در یک نیروگاه بخار که براساس چرخه رانلین کار می کند $T_3 = 350^\circ\text{C}$

بخار نامفشار 3 MPa در دما 350°C دارد توربین می شود در

کندانسور با فشار 10 kPa قطری می شود ← **الف** بازده نیروگاه را تعیین کنید ؟

مانند مثال 1 فقط فشار کندانسور کم شده

$$\left. \begin{aligned} \chi_4 &= 0.886 \\ l+h &= 26\% \end{aligned} \right\} \text{ مثال 1 و } \left. \begin{aligned} \chi_4' &= 0.812 \\ (l+h)' &= 33.5\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

همانطور که گفته شد با کاهش فشار کندانسور ← بازده افزایش: $33.5\% > 26\%$
 کیفیت بخار کاهش: $0.812 < 0.886$

ب بازده حرارتی نیروگاه اگر بخار 350°C تا 600°C داغ شود ؟

مانند مثال 1 فقط دمای بولیدر زیاده

$$\left. \begin{aligned} \chi_4'' &= 0.914 \\ (l+h)'' &= 37.3\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{ جواب آخر}$$

در اثر افزایش دما بولیدر ← ① بازده افزایش: $37.3\% > 33.5\%$

② کیفیت بخار توربین افزایش: $0.914 > 0.812$

③ رطوبت کاهش: $8.6\% < 18.8\%$

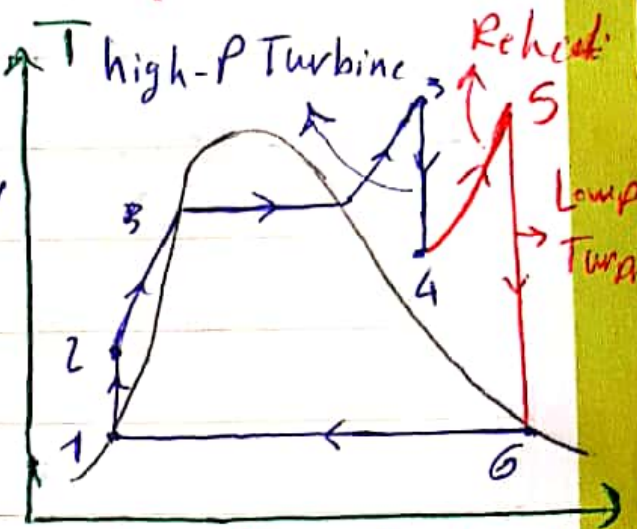
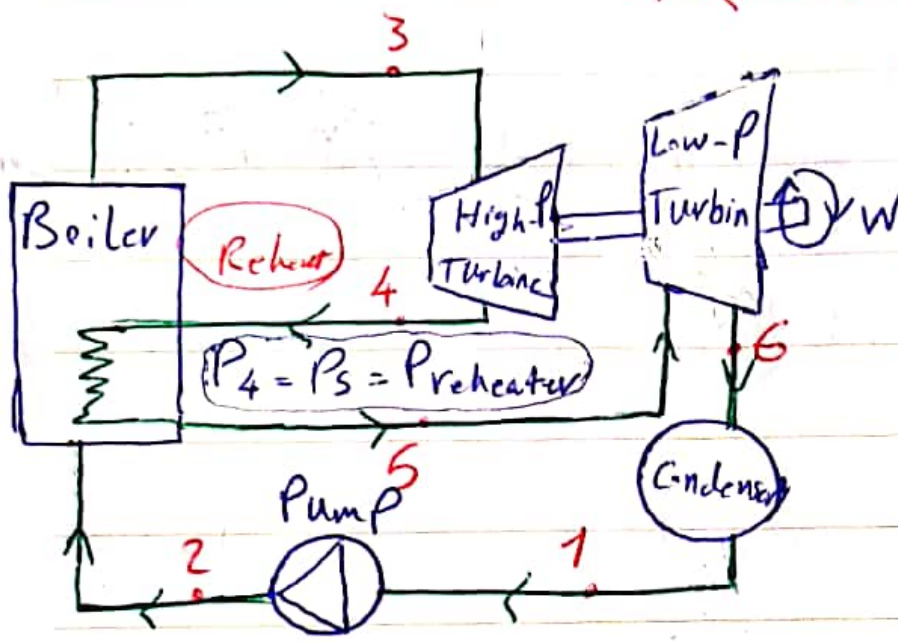


2) اگر فشار بخار به 15 MPa افزایش یابد در حالی که دما در درون توربین در 600°C باقی بماند

$\eta_4 = 0.804$
 $\eta_{th} = 43\%$

\Rightarrow بازده حرارتی خواهد بود: $0.804 \rightarrow 0.912$ کیفیت کاهش می‌دهد
 بازده افزایش: $37.3\% \rightarrow 43\%$

مسئله را بکنیم! اگر ما شش چیدمان (Reheat) ←



4 → 5 ⇒ Reheat

$T_3 = T_5$ ← حالت ایده آل

* دیدیم وقتی از بویلر با فشار بالا استفاده می‌کنیم رطوبت بخار در خروجی توربین زیاد می‌شود

و این مشکل بزرگی است. یکی از راه‌های حل این مشکل گرمایش مجدد (Reheat) است.

* کار خالص تولید می‌شود ← افزایش (درد) * گرمای داده به سیکل ← افزایش

* گرمای دفع شده از سیکل ← افزایش * راندمان سیکل ← معیولا افزایش (معمولاً)

$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow T_L = (T_L)'$

تغییرات T_H ← بستگی به فشار گرمایش مجدد دارد. ← ①
تفسیری کند.

① فشار گرمایش مجدد بسیار بالا باشد (3 → 4) ← r_{heat} اثرش را از دست می دهد و راندمان η_H

② فشار گرمایش مجدد را بسیار پایین ببریم (نزدیک فشار کندانشور) ← مقادیر بسیار زیادی از T_H خواهیم

داشت که T_H آن کم می شود پس راندمان کاهش می یابد.

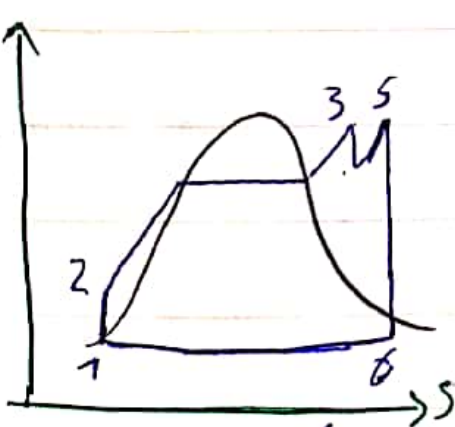
③ فشار گرمایش مجدد **بیشتر** باشد ← بران P_4 نقطه ای تعیین می شود که اگر فشار P_4 از آن

بیشتر باشد گرمایش مجدد اثرش را از دست می دهد و اگر کمتر باشد راندمان اکت می کند.

معمولاً در نیروگاه ها همین حالت فشار بیش انتخاب می شود و راندمان با گرمایش مجدد افزایش می یابد.

به مزیت ها ← ① افزایش راندمان ② افزایش کیفیت بخار در خروجی توربین (مزیت اصلی)

مثال 3) نیروگاه بخار که در چرخه ایده آل گرمایش مجدد



راندمان کار می کند در نظر بگیریم. بخار در فشار 15 MPa و دمای

600°C وارد توربین فشار قوی می شود و در فشار 10 MPa در کندانشور

تعطیری گردد. اگر مقدار رطوبت بخار در خارج توربین فشار ضعیف بیشتر از 12.4% نباشد.

(الف) فشارهای گدرد آن بخار مجدد گرم می شود **(ب)** بازده این چرخه را حساب کنید!

$$\left\{ \begin{array}{l} P_3 = P_2 = 15 \text{ MPa} \\ T_3 = 600^\circ\text{C}, T_5 = 600^\circ\text{C} \\ P_6 = P_1 = 10 \text{ kPa} \\ \lambda_6 = 0.896 \end{array} \right. \Rightarrow \text{مسئله آنتالپی} \left\{ \begin{array}{l} S_3 = S_4 \\ S_1 = S_2 \\ P_4 = P_3 \\ P_6 = P_1, X_1 = 1 \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} APE = 0 \\ AKE = \\ SSSF = \end{array} \right.$$

(الف) $P_5 = ? \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} P_6 = 10 \text{ kPa} \xrightarrow{B12} \\ \lambda_6 = 0.896 \text{ Superheat} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} h_6 = h_f + \lambda_6 h_{fg} = 2335.8 \\ S_6 = S_f + \lambda_6 S_{fg} = 7.37 \end{array} \right.$

توربین آنتالپی $\left\{ \begin{array}{l} T_5 = 600^\circ\text{C} \xrightarrow{B13} \\ S_5 = S_6 \text{ Super} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} P_5 = 4 \text{ MPa} \\ h_5 = 3676.44 \end{array} \right.$

(ب) $q_{th} = ? \Rightarrow \text{A) حجم بخار: کنسانور} \Rightarrow \text{diagram with } q_H \text{ and } q_L \text{ arrows} : q_L = h_6 - h_1$

(II) $\text{حجم بخار: بولر} \Rightarrow \text{diagram with } q_H \text{ and } q \text{ arrows} : q - W = (h_3 + h_5) - (h_2 + h_4)$

(III) $q_{th} = \frac{W_{net}}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H} \Rightarrow \text{حساب آنتالپی ها } (h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6)$

(1) $\left\{ \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ kPa} \\ \lambda_1 = 1 \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_1 = h_f = 191.81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ \lambda_1 = \lambda_f = 0.001010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{array} \right. \Rightarrow$

(ب) $\text{حجم بخار (بویلر)} \Rightarrow \text{diagram with } P \text{ and } q \text{ arrows} \left\{ \begin{array}{l} S_2 = S_1 \\ v_2 = v_1 \end{array} \right.$

$$W_p = + \int_1^2 v dp = v_1 (P_2 - P_1) = 15.11 \text{ , } SSSF \Rightarrow \frac{W_p}{P} = h_2 - h_1$$

$$\Rightarrow h_2 = h_1 + W_p = 206.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow h_4, h_3 \text{ قابل}$$

$$\textcircled{3} \begin{cases} P_3 = 15 \text{ MPa} \\ T_3 = 600^\circ\text{C} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} h_3 = 3582.3 \\ s_3 = 6.6775 \end{cases} \text{ , } \textcircled{4} \begin{cases} P_4 = P_5 = 4 \text{ MPa} \\ s_4 = s_3 = 6.6775 \end{cases}$$

$$\Rightarrow h_4 = 3154.3 \quad \textcircled{I} \Rightarrow q_h = h_6 - h_1 = 2143.99$$

$$\textcircled{II} \Rightarrow q_h = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) = 3893.52$$

$$\textcircled{III} \Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 0.45 \Rightarrow \eta_{th} = 45\%$$

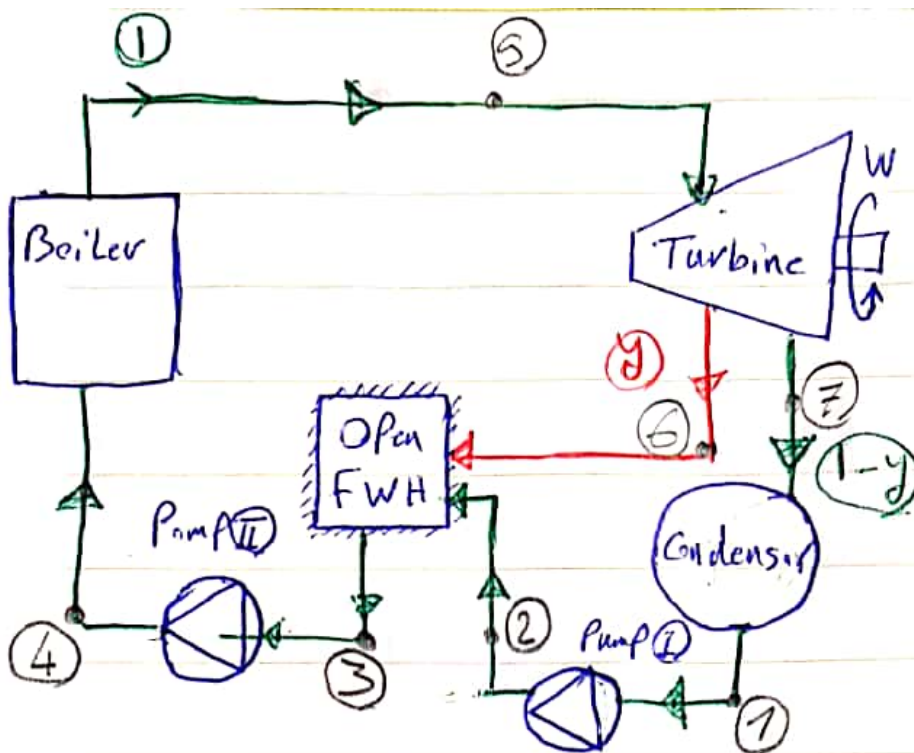
نکته (مقایسه نتایج با مثال 2)
 رطوبت } بدون گرمایش مجدد \Leftarrow رطوبت 17.6% \Leftarrow رطوبت کاهش
 با گرمایش مجدد \Leftarrow رطوبت 10.4% \Leftarrow پیرا کرده

سیکل رانلین داره باز یاب (Regeneration) \Leftarrow

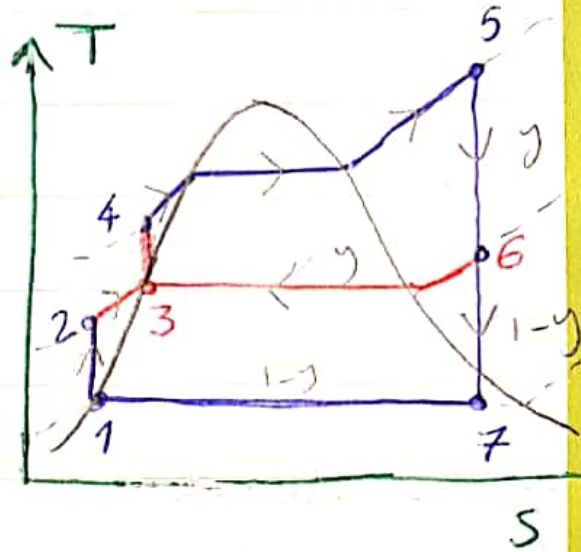
هدف استفاده از باز یاب \Leftarrow گرمایش آب تغذیه بوسیله بخار خود سیکل قبل از ورود به

بویلر \Leftarrow کاهش اختلاف دمای بویلر و سیال عامل آب هنگام انتقال حرارت به سیال

عامل در بویلر \Leftarrow کاهش برکت نا پذیری خارجی سیکل \Leftarrow نزدیک شدن به سیکل کارنو
 رانلین



① گرمکن آب تغذیه باز ←



نکته: بخشی از بخار وارد توربین شده در طبقات میانی توربین زیرکس (Extract) می شود (6)

و به همراه آب تغذیه خارج شده از پمپ I (2) وارد گرمکن آب تغذیه بازی شده و آب تغذیه

را با حرارت داخلی آب زیرکس شده در توربین (6) گرم کرده و به صورت مایع اسباع (3) از

گرمکن آب تغذیه باز خارج شده و وارد بویلری می شود. در نتیجه این کار اختلاف دمای آب

تغذیه ورودی بویلر و منبع حرارتی به دلیل انتقال حرارت داخلی و گرم شدن آب تغذیه در بویلر

کاهش پیدا کرده، برگشتناپذیری خارجی ایجاد شده در بویلر کاهش پیدا کرده و در نتیجه راندمان

نیروگاه افزایش پیدا می کند.

در حالت ایده آن فشار بخار زیرکسی شده (6) ، آب تغذیه خریدی از پمپ I

(2) در آب تغذیه خریدی از گرمکن آب تغذیه بازنم برابر است. $(P_2 = P_6 = P_3)$

به دلیل زیرکسی شدن مقدار بخار آب در توربین دبی های مختلف با هم برابر نیست. به ازای دبی (3) واحد

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_t} = \frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_t} = \frac{\dot{m}_5}{\dot{m}_t} = 1 \quad \text{و} \quad \frac{\dot{m}_6}{\dot{m}_t} = y \quad \text{و} \quad \frac{\dot{m}_7}{\dot{m}_t} = \frac{\dot{m}_7}{\dot{m}_t} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_t} = 1 - y$$

* $q_{in} = 1(h_5 - h_4) \Rightarrow$ کاهش و * $q_{out} = (1-y)(h_7 - h_7) \Rightarrow$ کاهش

* $W_{turb.out} = (h_5 - h_6) + (1-y)(h_6 - h_7) \Rightarrow$ کار تولید توربین کاهش پیدا کند

* $W_{Pump.in} = (1-y)W_{P(I).in} + W_{P(II).in} \Rightarrow \begin{cases} W_{P(I).in} = V_1(P_2 - P_1) \Rightarrow \text{کاهش} \\ W_{P(II).in} = V_3(P_4 - P_3) \end{cases}$

* $W_{net} = W_{t.out} - W_{P.in} \Rightarrow$ سهم کار توربین در W_{net} بسیار کمتر از کار پمپ \Rightarrow کاهش

* مزایا \leftarrow 1 افزایش راندمان - 2 هوای سردی سیم (هدف اصلی)

Ex. 4 نیروگاه حرارتی در چرخه ای که در آن رانگین که توسط گرمکن آب تغذیه باز کار می کند رادر

نظر بگیرد (شکل و نمودار صفحه قبل). بخار در فشار 15 MPa و دمای 600°C وارد توربین

می گردد و در فشار 10 kPa در کندانسور تقطیری می شود. مقداری بخار در فشار 1.2 MPa

توربین با ترکیب نموده و وارد گرمکن آب تغذیه باز می شود. مقدار بخار خروجی از توربین در

بازده حرارتی نیروگاه را بدست آورید! (الف) $m_1 = ?$ (ب) $\eta_{th} = ?$

$$\textcircled{1} \begin{cases} P_1 = 10 \text{ kPa} \Rightarrow h_1 = h_f = 191.81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ x_1 = 0 \text{ مایع اشباع} \quad v_1 = v_f = 0.00101 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{cases}$$

$$\textcircled{2} W_{P1} = v_1 (P_2 - P_1) = 1.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad W_{P1} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 193.03$$

$$\textcircled{3} \begin{cases} P_3 = 1.2 \text{ MPa} \Rightarrow h_3 = h_f = 798.64 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ x_3 = 0 \quad v_3 = v_f = 0.001139 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{cases}$$

$$\textcircled{4} W_{P2} = v_3 (P_4 - P_3) = 15.72 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow W_{P2} = h_4 - h_3 \Rightarrow h_4 = 814.37$$

$$\textcircled{5} \begin{cases} P_5 = 15 \text{ MPa} \text{ superheat} \Rightarrow h_5 = 3582.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ T_5 = 600^\circ\text{C} \quad s_5 = 6.6775 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \end{cases}$$

$$\textcircled{6} \begin{cases} P_6 = 1.2 \text{ MPa} \text{ superheat} \Rightarrow h_6 = 2859.5 \\ s_6 = s_5 = 6.6775 \end{cases}$$

$P_7 = 10 \text{ kPa} \Rightarrow \gamma_7 =$
 $S_2 = S_6 = S_5 = 6.6775$

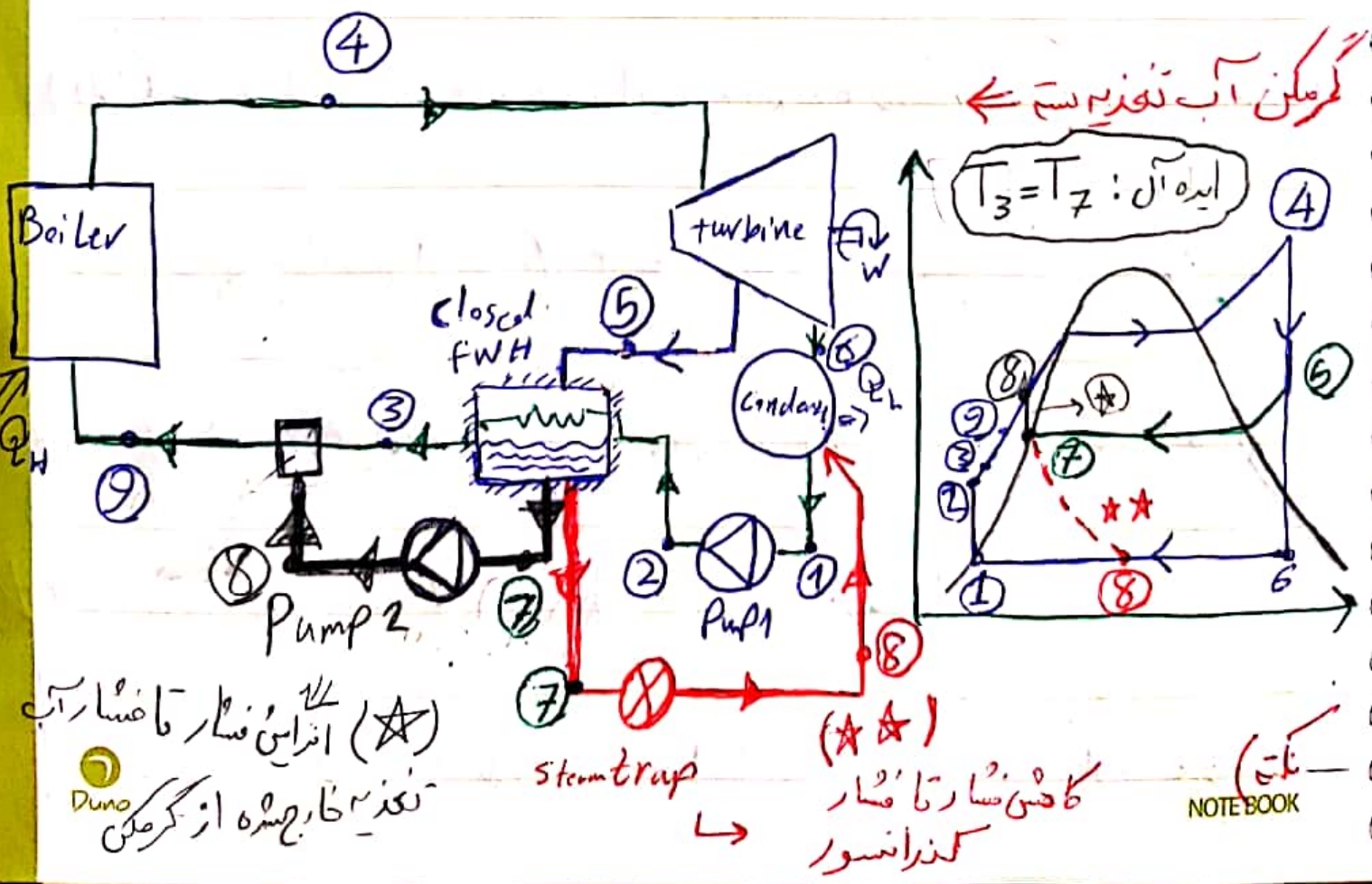
\Rightarrow First law: $\dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i \Rightarrow$

$m_1 h_6 + (1 - m_1) h_2 = 1 \times h_3 \Rightarrow m_1 = 0.227$ (الف)

$q_H = h_5 - h_4 = 2767.93$, $q_L = (1 - m_1)(h_7 - h_1) = 1487.1$

$W_{net} = q_H - q_L = 1189.83 \Rightarrow \eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 0.463$ (46.3%)

نکته: در معایب مثال 2 قسمت 2 که همین بدون بار یا ب بود (43% \leftarrow 46.3%) باز در بار رسیده



نکته) ویژگی اصلی گرمکن های بسته این است که جریان آب تغذیه با بخار آبی که در تویبین زیر کس می شود مخلوط نمی شوند بلکه بخار آب روی لوله حامل آب تغذیه می آید و گرمای خود را به آب منتقل کرده و به صورت مایع انبساط از گرمکن خارج می شود.

نکته) به دلیل مخلوط شدن آب زیر کس شده و آب تغذیه فشار آنها برابر نیست: $(P_5 < P_2)$

(☆) تخلیه پسگرد (forward discharge) ← پس از آنکه مایع انبساط از گرمکن خارج شد

با استفاده از پمپ فشار آن را به فشار گرمکن آب تغذیه پایین دست گرمکن قبلی برسانیم

(اگر یک گرمکن داریم فشار آن را به فشار آب تغذیه خارج شده از گرمکن می رسانیم تا به

همراه آب تغذیه وارد بویلر شوند) ← هر گرمکن نیاز به یک پمپ دارد (از P_1 تا P_8)

در P_8 نزدیک تر از دبی جریان عبور با پمپ
 ← معاینه هزینه و نگهداری هر پمپ (همه مزایا) حفظ انرژی سیال و بهبود رانندگی

(☆☆) تخلیه پسگرد (back ward discharge) ← پس از آنکه مایع انبساط از گرمکن خارج شد

با استفاده از یک شیر فشار شکن، فشار آن را تا فشار گرمکن آب تغذیه بالا دست پایین می آوریم

اگر ارادین گرمکن بود فشار آن به فشار کندانسوری رسد طی یک فرآیند آنتالپی ثابت و کامل

برگت با پیروسی به همراه آب درون کندانسور به سیل برمی گردد.

* مزایا) سیستم ساده تر است و هزینه نگهداری و خرید پمپ نداریم.

* معایب) انرژی سیل هدری رود و راندمان کاهش می یابد.

عیب گرمکن های آب تغذیه باز بسته ←

مزایای گرمکن آب تغذیه باز ← 1) انتقال حرارت بهتر: انتقال حرارت مستقیا با مخلوط

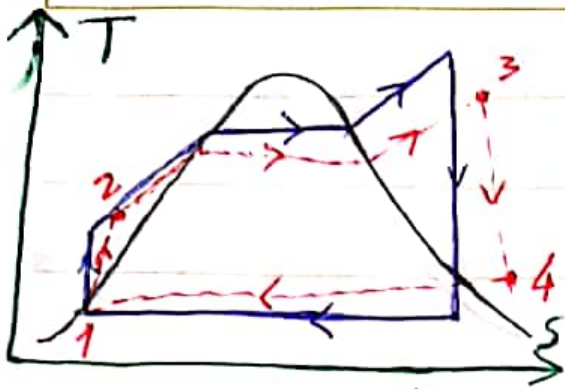
سیرن بخار آب و آب مایع منبع تغذیه اتفاق می افتد و از سطح استاده می شود پس انتقال حرارت کامل انجام می

2) قابلیت هوایگیری از سیستم: 3) ساختار ساده تر و دارنده 4) ارزاتر

عیب گرمکن آب تغذیه باز ← هر گرمکن به یک پمپ احتیاجی نیاز دارند: چون جریان

ها با هم مخلوط می شوند باید فشار بخار زیر کس شده از توربین و آب تغذیه و آب

خوبی از گرمکن با هم برابر و کمتر از فشار بوئلی با سد که بوسیله پمپ انجام می شود



انحراف سیکن را باین مابقی از حالت ایده آل ←

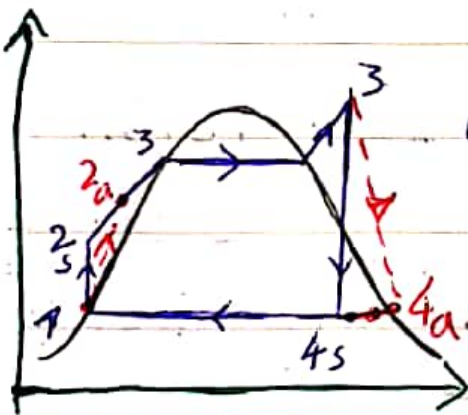
غیر آینه‌های سیکن را باین در محل برگشت پذیر داریم

1 ← 2) به دلیل اصطکاک سیال در لپه فدر آینه استرپی ثابت و برگشت پذیر نیست. $(s_2 > s_1)$

2 ← 3) به دلیل افت فشار ناشی از اصطکاک در بویلر فشار 2 در 3 برابر نیست و کاهش بسیاری کند.

3 → 4) به دلیل اصطکاک در توربین مقداری برگشت ناپذیر کاری در $(s_4 > s_3)$

4 → 1) در کندانسور نیز افت فشار داریم پس فشار ورودی از خروجی بی‌تر است تا برانته فشار غلبه کند. $(p_4 > p_1)$



نکته) افت فشار در بویلر و کندانسور سهم زیادی در برگشت ناپذیر

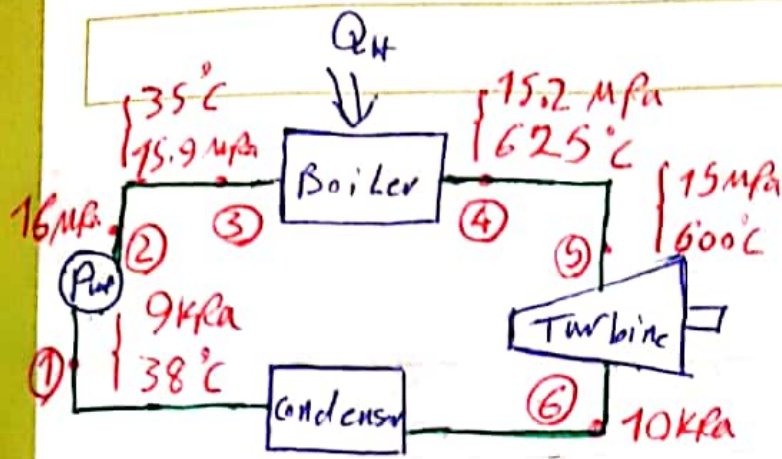
داخلی سیکن ندارند می‌توان از آنها صرف نظر کرد.

$$\left[\frac{W_s}{W_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \right]$$

$$\left[\frac{W_a}{W_s} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}} \right]$$

*) به شرطی می‌توان برای کار از اختلاف آنتالپی‌ها استفاده کرد که از انرژی جنبی و پتانسیل

صرف نظر شود.



(Ex. 5) در نیروگاه رده رده داریم

بازده آیزنترودیک پمپ $\eta_p = 85\%$

بازده آیزنترودیک توربین $\eta_t = 87\%$ و $\dot{m} = 15$ (الف) رانندگی سیکل.

ب) توان خالص خردی نیروگاه را محاسبه کنید. $\dot{W}_{net} = ?$ و $\eta_{th} = ?$ (الف)

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} \quad \text{I}, \quad W_{net} = W_t - W_p \quad \text{II} \Rightarrow$$

$$\eta_p = \frac{W_s}{(W_p)_a} \Rightarrow W_p = \frac{W_s}{\eta_p} = \frac{29 (P_2 - P_1)}{\eta_p} = 19 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$\eta_t = \frac{W_t}{W_s} \Rightarrow W_t = \eta_t W_s = \eta_t (h_s - h_{6s}) = 1275.9 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$q_H = h_4 - h_3 = 3499 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \xrightarrow{\text{II}} W_{net} = 1256.9 \xrightarrow{\text{I}} \eta_{th} = 35.9\%$$

نابینا

نکته) علاوه بر اصطکاک سیل (عامل اصلی)، انتقال حرارت به محیط در توربین نیز باعث افت رانندگی است.

می سوله البته انتقال حرارت به محیط بهر حال اصطکاک باعث کاهش آیزنترودیک می شود

تحلیل قانون دردی سیکل رانگین ←

* نرخ برگشت ناپذیری یک حجم کنترل جریان پایا (SSSF) :

$$I = T_0 \dot{S}_{gen} = T_0 (\dot{S}_{out} - \dot{S}_{in}) = T_0 \left(\sum_{out} \dot{m}_s + \frac{\dot{Q}_{out}}{T_{b,out}} - \sum_{in} \dot{m}_s - \frac{\dot{Q}_{in}}{T_{b,in}} \right)$$

* حجم کنترل پایا در دردی دخری :

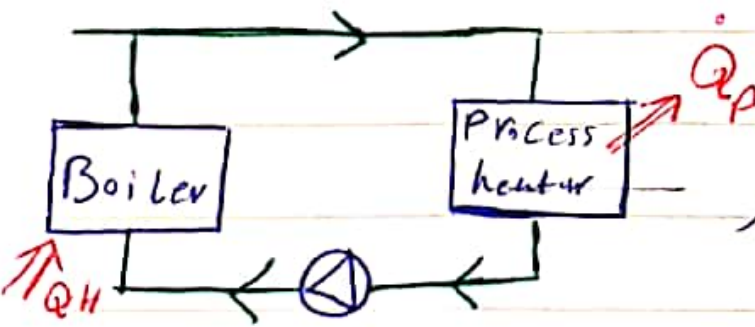
$$\dot{I} = T_0 \dot{S}_{gen} = T_0 \left(\dot{S}_e - \dot{S}_i + \frac{\dot{q}_{out}}{T_{b,out}} - \frac{\dot{q}_{in}}{T_{b,in}} \right)$$

⇒ در مدل حجم کنترل دخری حجم کنترل دیگر : برای یک سیکل ⇒ $\dot{I} = T_0 \left(\sum \frac{\dot{q}_{out}}{T_{out}} - \sum \frac{\dot{q}_{in}}{T_{in}} \right)$

← نرخ برگشت ناپذیری سیکل رانگین ←

$$\dot{I} = T_0 \left(\frac{\dot{q}_{out}}{T_L} - \frac{\dot{q}_{in}}{T_H} \right)$$

تولید توام (Cogeneration) ←



گرمایش تراژینس ← در بسیاری از مواقع در

صنعت نمی توان گرمایش را مستقیماً با تراژینس احراق به سیال عامل انتقال کرد به دو دلیل ←

۱- امنیتی ← مثلاً برای گرم کردن نفت خام در پالایشگاه نمی توان آن را مستقیماً در کوره

در معرض حرارت مستقیم قرار داد زیرا اعمال انفجار وجود دارد.

۲- هزنه‌ها ← لغت و سوختی که برای بویلر استفاده می‌شود در ریزستان دسرما و اسکوزیم

بسیار بالایی دارد و پمپ آن به پمپ فشار زیاد وارد کرده و هزنه زیاد می‌سازد پس نیاز دارد که با گرم کردن سوخت و اسکوزیم آن را بسیار پائین آورد تا پمپ آن راحت تر شود.

نکته) در گرمایش فرآیندی برای گرم کردن به سیال از یک سیال واسطه استفاده می‌شود

نکته) بزرگ بردترین سیال واسطه برای گرمایش فرآیند بخار آب است زیرا ← بخار آب

به دلیل بالا بودن ظرفیت حرارتی انرژی زیادی را می‌تواند با خود حمل کند و به سیال

اصلی منتقل کند. ۲- خود آب در برابر احتراق کاملاً بی‌خطر است. ۳- ارزان و در دسترس

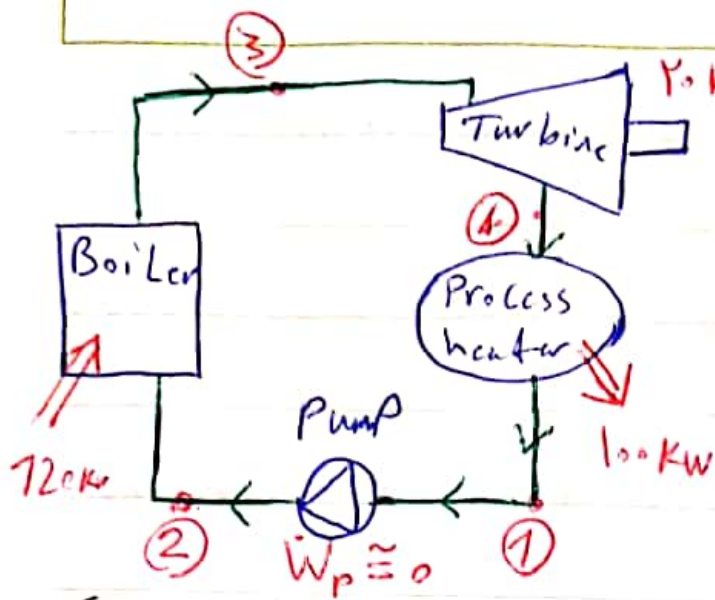
* ویژگی‌های گرمایش فرآیند ← 1) دمای بالا در بویلر (1400°C) -

2) دمای مورد نیاز پمپ در هیتر (حدود 200°) ← اختلاف دمای سیال با

محیطی چرخه بسیار کاهش می‌یابد ← انرژی بالینیت بالا به انرژی بالینیت پائین

تبدیل می‌شود ← انرژی بسیار زیادی از دست می‌رود (عب بزرگ)





مثال) راندمان سیکل را بدست آورید تحلیل کنید!

در این سیکل 20 kW گرمای بیشتر به بویلر داریم
در عوض با افتادن توربین 20 kW کار دریافت

کردیم. یعنی در واقع این سیکل ترکیب سیکل گرمایش فرآیند سنا داده سیکل جدید است که

20 kW گرمای دریافت کرده و به 20 kW کار تبدیل می کند یعنی بازده سیکل جدید 100% است!

حال سیکل حاصل را که (برای این سیکل گرمایش فرآیند سنا داده)

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{20}{20} = 100\%$$

و توربین با بازده 100% است را حساب می کنیم

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{20}{120} = 16.6\%$$

یعنی سیکل گرمایش فرآیند اول (دو مرحله قبل) چقدر فاجعه است که با سیکل بازده 100% ترکیب

شده و بازده آن شده 16.67%! (دلیل آن هدر رفت انرژی است که توضیح داده شد)

ضرب بهره برداری ← وفق سیکلی داریم که دو فرم انرژی (مثلا گرما و کار) را با هم تولید می کند

(تولید تمام) راندمان معیار خوبی برای سنجش عملکرد آن سیکل نیست

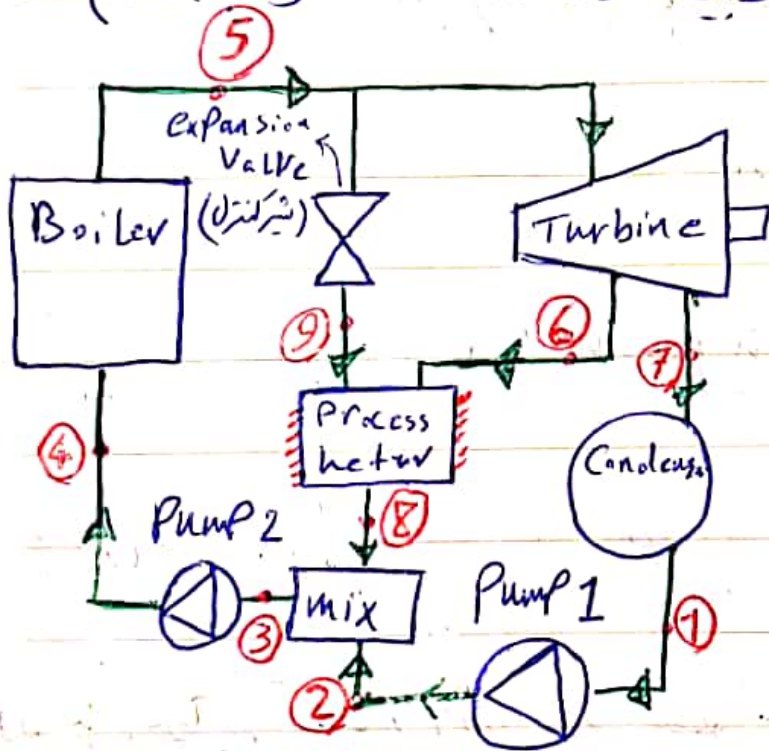
گرای انلائی

$$\epsilon_u = \frac{\text{گرایین فرآیند} + \text{کار خالص تولید}}{\text{گرای کل داده شده به سیکل}} = \frac{W_{net} + Q_p}{Q_H} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

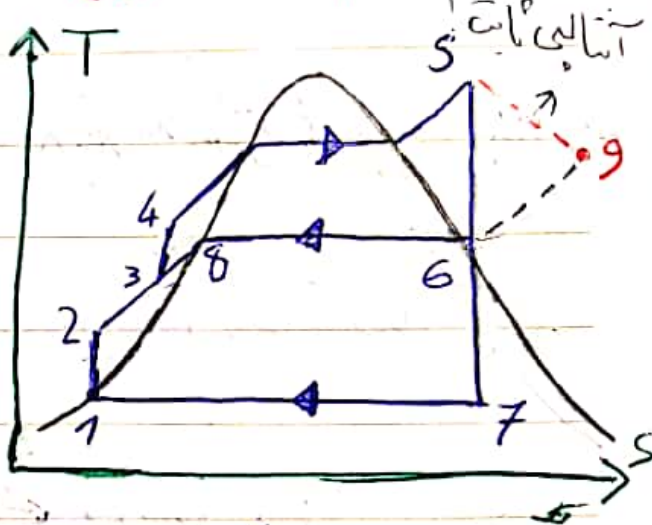
نکته) ضریب بهره برداری در حالت ایده آل می تواند ۱۰۰٪ باشد ولی عملاً حدود ۴۰٪ است.

نکته) سیکل تولید توان سوال عملی نیست، زیرا قابلیت تنظیم برای بارهای گسسته فرآیند و

تولید توان های فزاینده را ندارد. (چون توربین و گرمکن فرآیند کاملاً سری بسته شدند)



سیکل اصلی تولید توان (Cogeneration)



اهداف تولید توان ← ۱) گرمای فرآیند (هدف اصلی) - ۲) تولید توان و برق (هدف فرعی)

نکته) در این سیکل چون توربین و گرمکن فرآیند کاملاً سری بسته نشدند توانایی تنظیم وجود

دارد. به این صورت که با کم و زیاد کردن فشار بخار زیر کس سره از توربین می توان میزان

گرمای تولید شده در گرمکن نرآیندی و توان تولید شده در توربین را تنظیم کرد. باتوجه به اینکه

هدف اصلی تولید گرما در گرمکن نرآیندی است، می توان با باز کردن شیرکند تمام بخار

گرم شده توسط بویلر را صرف گرمکن نرآیندی کرده اینگونه کار تولیدی در توربین صنعتی شود.

$$* \dot{Q}_{in} = \dot{m}_4 (h_5 - h_4) \quad \text{و} \quad * \dot{Q}_{out} = \dot{m}_7 (h_7 - h_1)$$

$$* \dot{Q}_p = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_9 h_9 - \dot{m}_8 h_8$$

$$* \dot{W}_{turbine} = (\dot{m}_5 - \dot{m}_9)(h_5 - h_6) + \dot{m}_7 (h_6 - h_7)$$

نکته: عمل گرمکن بسته با تخلیه بخار، در صورت وجود شیر فشار شکن، فرآیند 5 تا 6 و 6 تا 7 است.

امیسل های توانی استاندارد هوا ← فرضیات :

1) سیال عامل هوا بوده که بطور مستمر در یک سیکل بسته جریان دارد و هوای تازه کار

ایده آن را دارد. - 2) فرآیند انتقال حرارت از منبع خارجی جاکلیز به نرآینه احتراقی شود

3) تمام فرآیندها برگشت پذیر داخلی هستند

4) سیکل بادفع حرارت به محیط کامل می شود. (با آنکه در واقعیت تحلیله سیال عامل صورت نمی گیرد)

فرض سیکل سرد ← در صورتی که گریه های ویژه ثابت باشد.

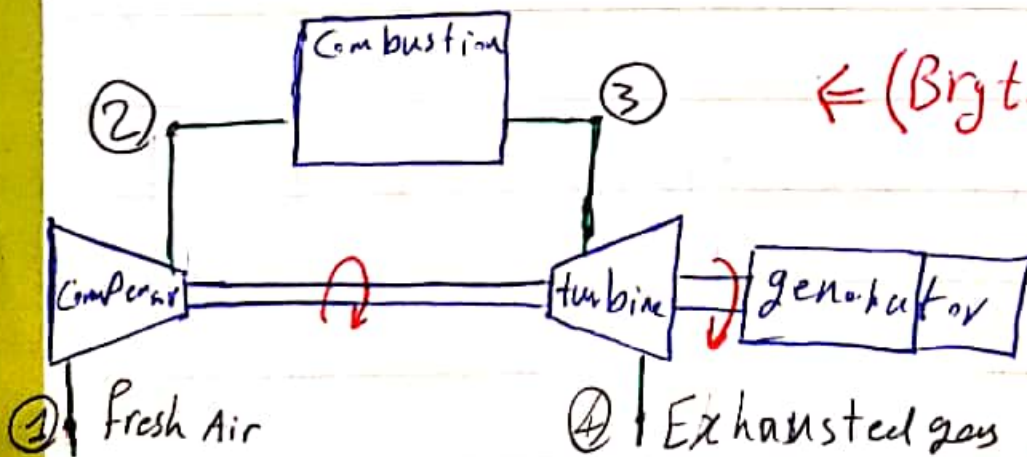
- * سیکل استاندارد هوای براتیون ← سیکل ایره آن توربین گاز
- * سیکل اتو ← سیکل ایره آن موتور بنزینی
- * سیکل دیزل ← سیکل ایره آن موتور دیزل
- * سیکل دوگانه ← ترکیب سیکل های اتو و دیزل
- * سیکل توربوچارج ← سیکل ایره آن سراسش موتور جت

انواع سیکل های استاندارد

توانی هوا

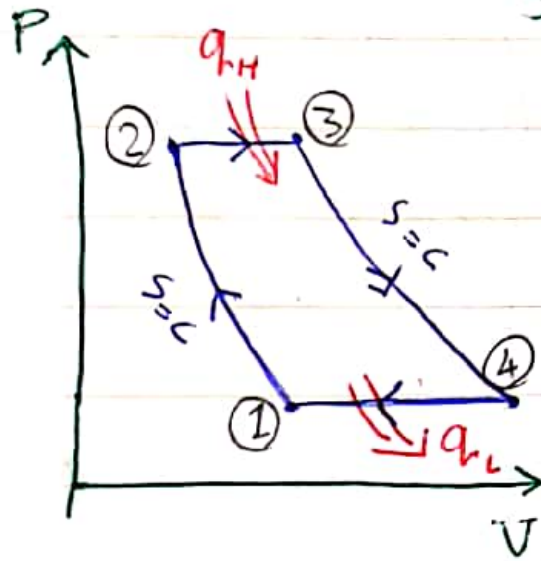
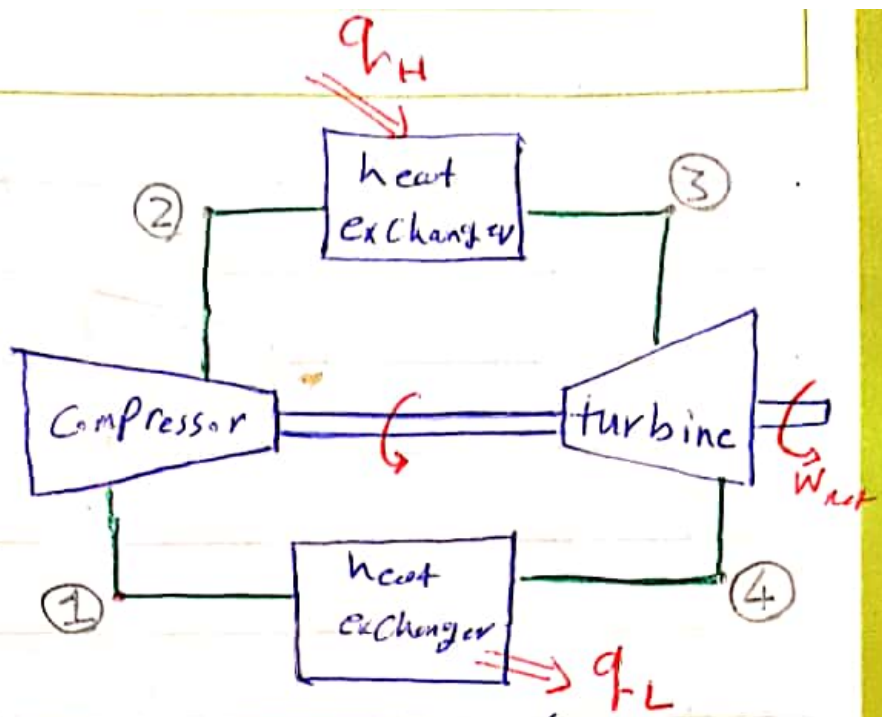
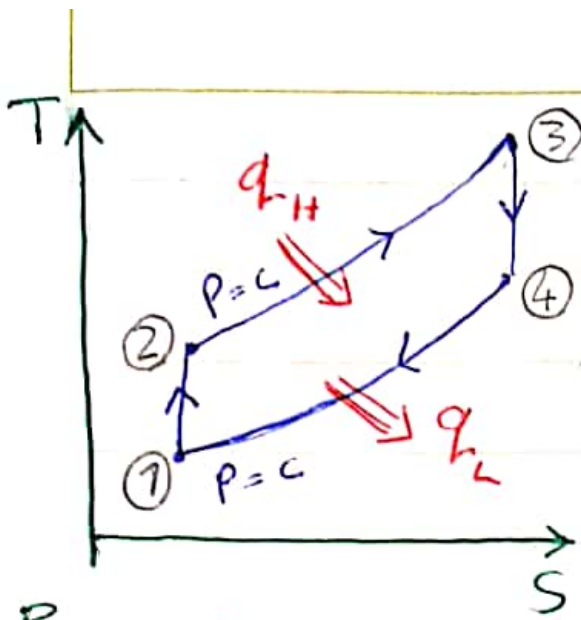
سیکل براتیون (Brayton cycle) ←

سیکل واقعی ←



این سیکل واقعی است با

اعمال فرضیات گفته شده، آن را به سیکل استاندارد هوای براتیون مربوط می کنیم



1 → 2 تراکم آدیاباتیك و برگت پذیر (ایزنتروپیک).

2 → 3 گرمادادن فشار ثابت و برگت پذیر.

3 → 4 انبساط آدیاباتیك و برگت پذیر (ایزنتروپیک).

4 → 1 دفع حرارت فشار ثابت و برگت پذیر.

فرضیات (1) - همه فرآیندها SSSF هستند - (2) تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل

ناچیز - (3) سیال عامل هوا گاز ایده آل با گرمای ویژه ثابت (سیکل سرد) است.

$$* q_{in} = h_3 - h_2 = C_p (T_3 - T_2), \quad * q_{out} = h_4 - h_1 = C_p (T_4 - T_1)$$

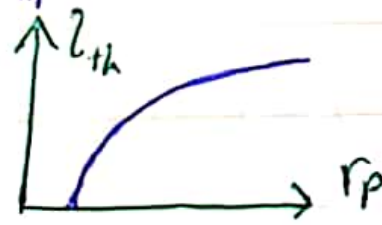
سیکل سرد

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\frac{T_2}{T_1}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{(r_p)^{\frac{k-1}{k}}}$$

با وجود برقرار بودن سه شرط (1- برگشت پذیری - 2- ایزنتروپیک - 3) گاز ایده آل با

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2}{T_3}$$



نکته: r_p نسبت فشار سیل بوده و معمولاً بین 11 تا 16 است.

اثر تغییرات $r_p = \frac{P_2}{P_1}$ بر راندمان سیل براتون ← در سیلی که ایره آل است (فشارهای

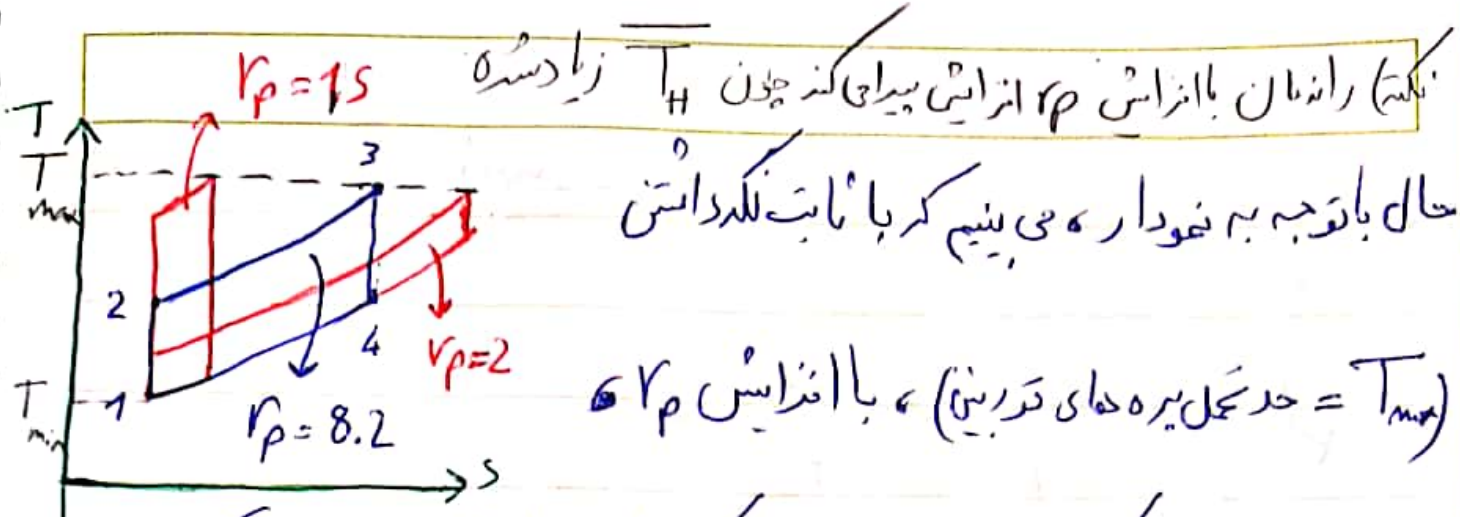
ترکم و انبساط کاملاً ایزنتروپیک هستند) با افزایش r_p راندمان افزایش می یابد. اما با افزایش

r_p فشار P_2 کوپین هم افزایش یافته و به دنبال آن دمای کوپین هم افزایش می یابد.

دلیل محدودیت دمای قابل تحمل کوپین (حدود 1425°) نمی توان دمای کوپین را به میزان

دلخواه افزایش داد. پس برای دستیابی به راندمان بهتر حداکثر T_{max} را ثابت

نکته داشته و پس r_p را تغییر دهیم. با توجه به نمودار



نکته) راندمان با افزایش v_p افزایش پیدا کند چون T_H زیاد شده

حالت با توجه به نمودار و می بینیم که با ثابت نگه داشتن T_{min} (حد تحمل پره های توربین) و با افزایش v_p ...

کار خالص تولیدی سیکل ابتدا افزایش و پس کاهش می یابد تا به صفر میل کند. پس

یک مقدار بیش v_p وجود دارد که در آن کار تولیدی ماکزیمم است و با افزایش یا

$$v_p = \left(\frac{T_{max}}{T_{min}} \right)^{\frac{K}{2(K-1)}}$$

کاهش آن کار تولیدی سیکل کاهش می یابد تا به صفر میل کند

نکته) راندمان سیکل برای تون حدود 30% است که دلیل پائین بودن راندمان ...

بالا بودن کار مصرفی کمپرسور است. (کار مصرفی کمپرسور حدود 4.5% تا 8.5% کار

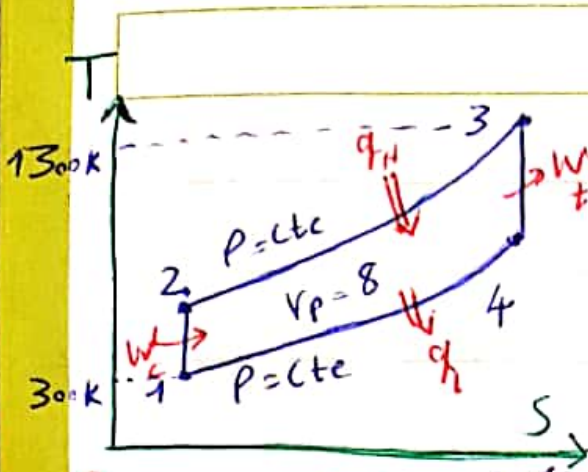
تولیدی توربین است در حالیکه در سیکل رانکین کار مصرفی پمپ حدود 1% تا 2% کار توربین بود)

$$r_{bw} = \frac{W_c}{W_t}$$

نسبت کار برگشتی نشان می دهد چه میزان کار توربین در کمپرسور مصرف می شود.

Ex-6) نیروگاهی که بر اساس سیکل ایبه آن برای تون کاری که دارای نسبت فشار 8 می باشد.

دمای گاز ورودی به کمپرسور 300 K دمای گاز ورودی به توربین 1300 K



بی‌بازده با فرض استاندارد از هوای استاندارد و گرمای

دیده متغیر نسبت به دما قابل کسب.

الف) دمای گاز در فرجه‌ی از کمپرسور و توربین - ب) نسبت کار برگشتی - ج) بازده حرارتی چرخه

$$\textcircled{1} T_1 = 300 \text{ K} \xrightarrow{\text{A7 هوا}} h_1 = 300.473 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, P_{r1} = 1.11458 \Rightarrow \text{تراکم 1} \rightarrow \text{2} \Rightarrow \text{آنتروپی}$$

$$\frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_{r2} = P_{r1} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{r_p}{r}} = 1.11458 (8) = 8.9166 \xrightarrow{\text{A7}} \text{دمای خنثی کمپرسور}$$

$$T_2 = 540 \text{ K} \mid h_2 = 544.686, \textcircled{3} T_3 = 1300 \text{ K} \xrightarrow{\text{A7}} h_3 = 1395.892$$

$$P_{r3} = 265.7145 \Rightarrow \text{آنتروپی 3} \rightarrow \text{4} \Rightarrow P_{r4} = P_{r3} \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{1}{r_p}} = 265.7145 \left(\frac{1}{8} \right)$$

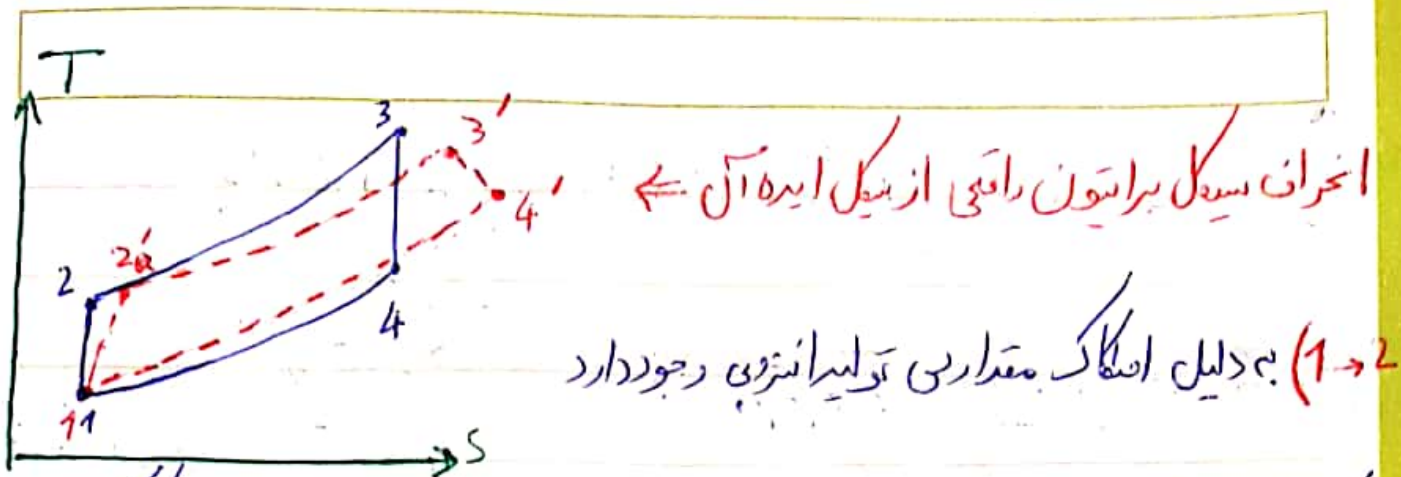
$$P_{r4} = 33.2143 \xrightarrow{\text{A7}} T_4 = 770 \text{ K} \mid h_4 = 762.372 \text{ دمای خنثی توربین}$$

$$\text{ب) } r_{kw} = \frac{W_c}{W_t} = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_4} = \frac{244.213}{606.52} = 0.402 \times 100 = 40.2 \%$$

$$\text{2) } \eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_H} = \frac{W_t - W_c}{h_3 - h_2} = \frac{362.307}{851.206} = 0.426 = 42.6 \%$$

$$\text{نکته:} \Rightarrow \text{با فرض یکسان} \Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{1}{(r_p)^{\frac{k-1}{k}}} = 0.448 = 44.8 \%$$

(Cp = 1.005) NOTE BOOK



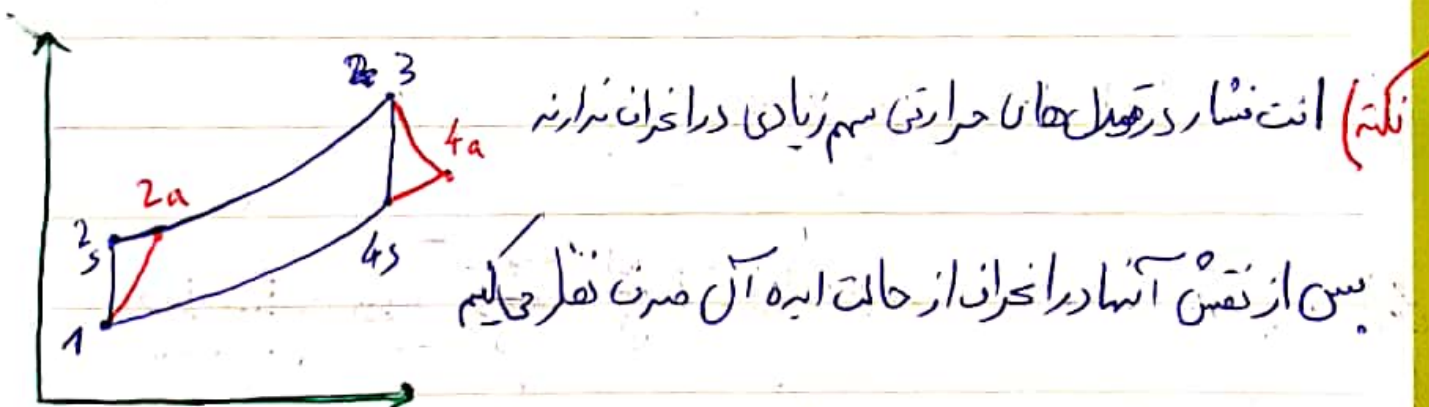
انحراف سیکل براستون واقعی از سیکل ایده آل \leftarrow

(1 \rightarrow 2) به دلیل اصطکاک مقداری توربین انرژی وجود دارد

و کاملاً آنتروپیک نیست. (2 \rightarrow 3) افت فشار در مبدل حرارتی به دلیل اصطکاک.

(3 \rightarrow 4) به دلیل اصطکاک و انتقال گرما (معمولاً صرف نظری کنیم). آنتروپی مقداری افزایش می‌یابد

(4 \rightarrow 1) به دلیل اصطکاک کمی آنتن فشار داریم.



نکته) آنتن فشار در مبدل‌ها با حرارتی سهم زیادی در انحراف ندارند

پس از تقسیم آنتن در انحراف از حالت ایده آل صرف نظری کنیم

$$\left. \begin{aligned} \eta_t &= \frac{W_{aT}}{W_{sT}} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}} \quad , \quad \left. \begin{aligned} \eta_c &= \frac{W_{sc}}{W_{ac}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \end{aligned} \right\}$$

(Ex. 7) در مثال 6 اگر بازده کمپرسور 80% و بازده توربین 85% باشد، محاسب کنید.

الف) نسبت کار برآورد - ب) بازده حرارتی چرخه - 2) دمای خردی توربین

مثال 7

$$\eta_c = \frac{W_s}{W_a} \Rightarrow (W_{ac}) = \frac{244.213}{0.8} = 305.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\zeta = \frac{W_a}{W_s} \Rightarrow (W_a)_T = 0.85 \times 606.52 = 515.54 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow r_{bw} = \frac{(W_a)_c}{(W_a)_T} = \frac{305.26}{515.54} = 0.592 = 59.2\%$$

A7 (T_{2a} = 598K)

$$c) (W_a)_c = h_{2a} - h_1 \Rightarrow h_{2a} = 305.26 + 300.473 = 605.733 \Rightarrow$$

$$q_H = h_3 - h_{2a} = 1395.892 - 605.723 = 790.159, \quad W_{net} = W_{at} - W_{ac}$$

$$\Rightarrow W_{net} = 210.28 \Rightarrow \zeta_{th} = \frac{W_{net}}{q_H} = 0.266 \times 100 = 26.6\%$$

← به دلیل برگشت نا پذیرهای توربین و کمپرسور بازه از 42.6% به 26.6% رسیده. در واقع بازه توربین ها را گاز به حد قابل رقابت نمی رسیند تا آنکه اصطلاحاتی روی توربین و کمپرسور انجام

$$2) W_{at} = h_3 - h_{4a} \Rightarrow h_{4a} = 880.352 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \xrightarrow{A7} T_{4a} = 853 \text{ K}$$

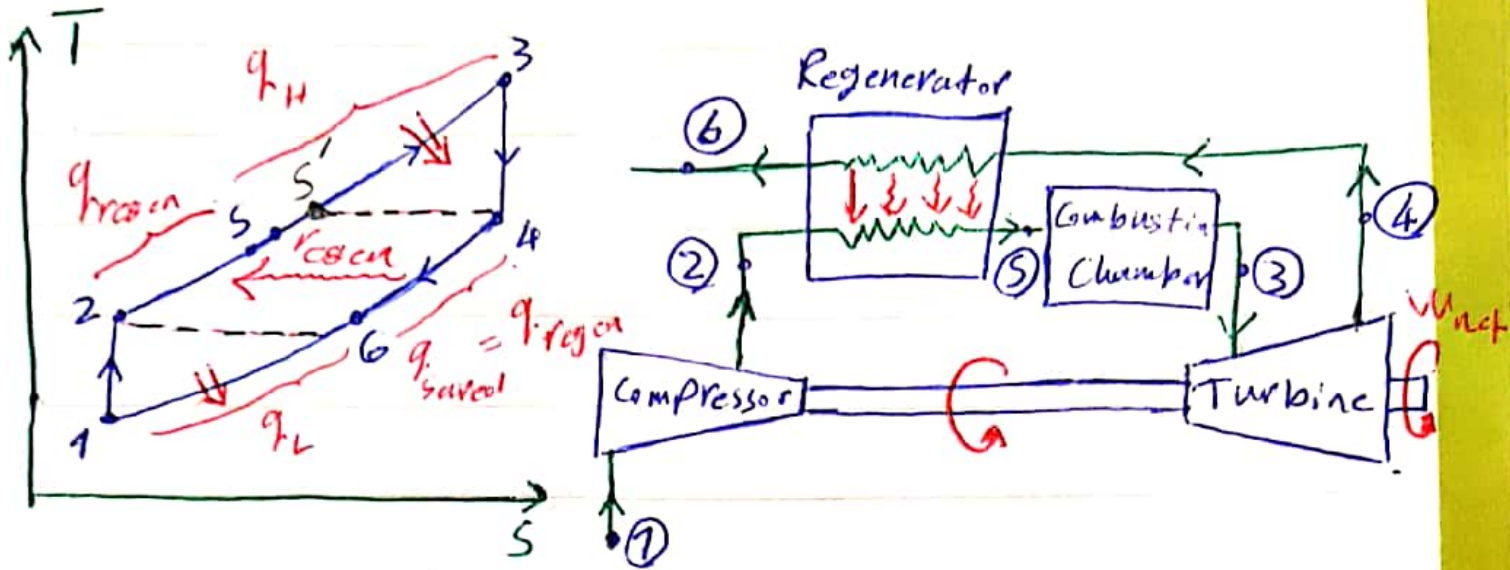
← این مقدار از دمای هوای خردی کمپرسور (T_{2a} = 598K) بیتر است و استفاده از بازتاب بران کم کردن حرارت مورد نیاز در ورودی پهنه‌های تور

سیکل براتیون با بازتاب (Regeneration) ← گاز هوای خروجی از توربین دارای

دما و انرژی بالایی هستند که اگر بدون استفاده دوباره وارد محیط سونده علاقه بر آنها خرد

ریت محلی با عدد رفتن انرژی سیال و در نتیجه کاهش زیاد در دمای سیکل می شود

پس با استفاده از مبدل های بازتاب از این گرما برای گرم کردن گاز بعد از کمپرسور استفاده می کنیم.



* گرمای داده شده به سیکل (q_H) کاهش $\left(S_{5 \rightarrow 3} < S_{2 \rightarrow 3} \right)$ می کند

* گرمای گرفته شده از سیکل (q_L) کاهش $\left(S_{6 \rightarrow 1} < S_{4 \rightarrow 1} \right)$ می کند

تفسیر

* کار خالص تولید \leftarrow بدون تلفات (سرایید) ورودی و خروجی بی تلفات مساحت داخل چرخه بدون

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_H} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} W_{net} \uparrow \\ q_H \uparrow \end{array} \right. = \eta_{th} \leftarrow \text{افزایش}$$

نکته \rightarrow در صورتی کار خالص تولید ثابت می ماند که سیکل ایده ای فرض شود. در غیر این صورت

افزودن مبدل بازتاب باعث **بمیل انت مسار** به سیکل شده (P_3) و کار خالص تولید کاهش نیابد.

$$\epsilon = \frac{(q_{regen})_{act}}{(q_{regen})_{max}} = \frac{h_5 - h_2}{h_4 - h_2} \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2} \leftarrow \text{ضریب کارایی میل بازتاب} \leftarrow$$

نکته) در صورتی که ضریب کارایی 100% باشد: $T_5 = T_4$ و $T_6 = T_2$ و برعکس

اما این ضریب کارایی در عمل کمتر از 85% است.

نکته) مقادیر بالای ضریب کارایی موجب افزایش سطوح انتقال حرارت در نتیجه افزایش هزینه

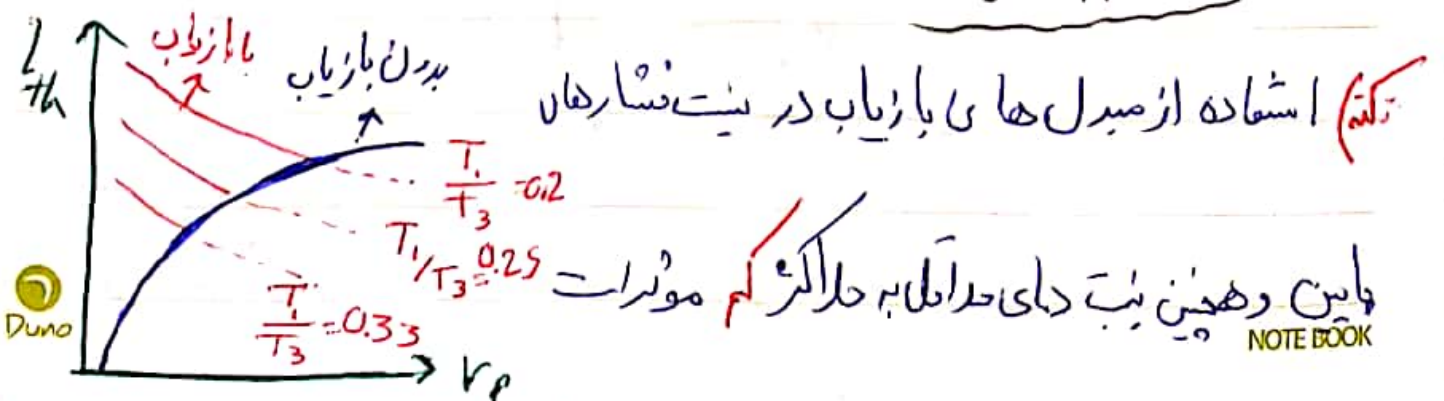
و همچنین افزایش استفساری شود. پس مقادیر بالای این ضریب ع مقرون به صرفه نیست.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \leftarrow \text{زاندمان میل برایتون یا بازتاب ایده آل (\epsilon=1)}$$

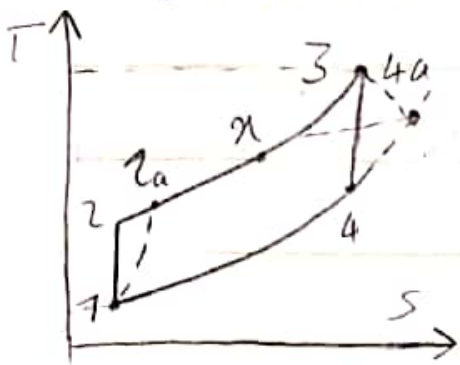
$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_H} = \frac{W_T - W_C}{q_H} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{q_H} \stackrel{\text{میل سرد}}{\approx} \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)}{T_3 - T_4}$$

$$= 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_2 \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_4}{T_3}\right)} \quad \text{و} \quad \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1} = \left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_2}{T_3} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \times \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$



Ex. 8) بازده حرارتی 7 سال را در صورتی که دارای بازتاب با بازده 80% باشد محاسبه کنید!



اطلاعات از سوال 7

$$\begin{cases} h_{2a} = 605.733 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_3 = 1395.892 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ h_{4a} = 880.352 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{cases}$$

$$\eta_{\text{reg}} = \frac{h_x - h_{2a}}{h_{4a} - h_{2a}} \Rightarrow 0.8 = \frac{h_x - 605.733}{880.352 - 605.733} \Rightarrow h_x = 825.43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_H = h_3 - h_x = 570.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net}}}{q_H} = \frac{210.28}{570.46} \Rightarrow$$

با اضافه کردن بازتاب W_{net} تغییر می‌کند

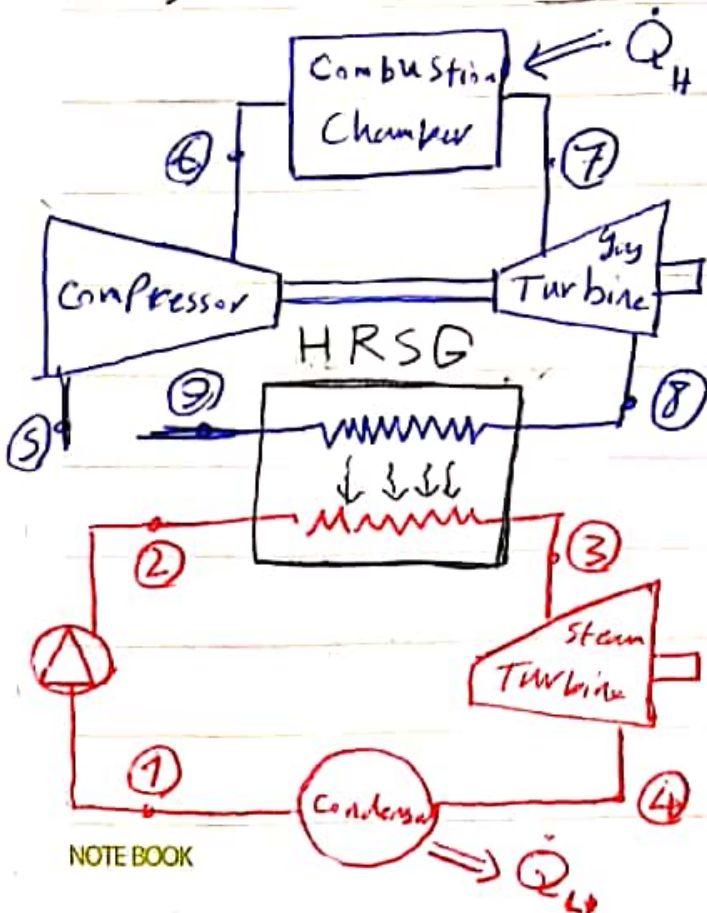
$$\eta_{\text{th}} = 0.369 = 36.9\%$$

با اضافه کردن بازتاب راندمان از 26.6% به 36.9% رسید

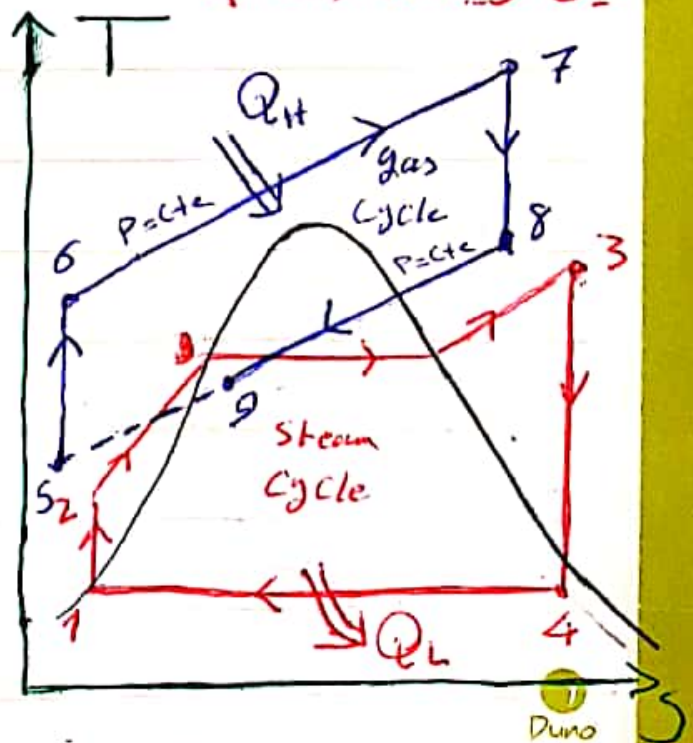
این مقدار بیان می‌کند که چه مقدار حرارت از برآورد در دسترس است

$$h_x - h_{2a} = 219.7$$

نکته



سیرک ترکیبی گاز-بخار ←



NOTE BOOK

Duno

* دمای هوای ورودی توربین گاز ($T_7 = 1150^\circ\text{C}$) و دمای بخار ورودی توربین بخار ($T_3 = 600^\circ\text{C}$)

و دمای خروجی توربین گاز ($T_8 \geq 600^\circ\text{C}$) ← هوای خروجی توربین گاز دارای دما و

انرژی بسیار بالایی است. در سیکل ترکیبی گاز-بخار از این انرژی بالا برای گرم کردن

بخار ورودی توربین به عنوان جایگزین بویلر استفاده می شود. به این صورت که به جای بویلر

یک **مبدل حرارتی** استفاده می شود و به جای سوزاندن سوخت در بویلر از انرژی بالا هوای

خروجی از توربین گاز برای گرم کردن آب ورودی توربین بخار استفاده می شود.

هدف 1- جلوگیری از افت انرژی خروجی از توربین گاز و آبی های احتمالی به محیط است

2) افزایش راندمان - 3) افزایش کار تولیدی ← (برخلاف استفاده از مبدل باز یاب که

تنها راندمان را افزایش می دهد و از مصرف سوخت نیز جلوگیری می کند اما در کار تولیدی اثری ندارد)

نکته: مبدل های حرارتی استفاده شده در این سیکل ترکیبی مبدل های بسیار بزرگی به نام

 **استادهای سوخت (HRSG) Heat Recovery Steam Generator**

NOTE BOOK

راندن سیکل ترکیبی گلو-بخار از هر دو سیکل گازی و بخاری بیتر است.

$$\eta_{cc} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H} = \frac{\dot{W}_{GT} + \dot{W}_{ST}}{\dot{Q}_H} = \frac{\eta_{GT} \dot{Q}_H + \eta_{ST} (\dot{Q}_H - \eta_{GT} \dot{Q}_H)}{\dot{Q}_H} \Rightarrow$$

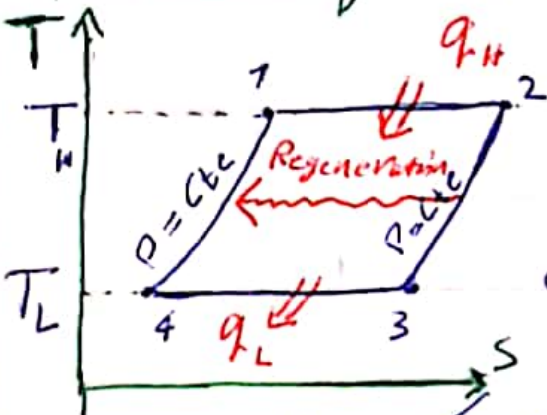
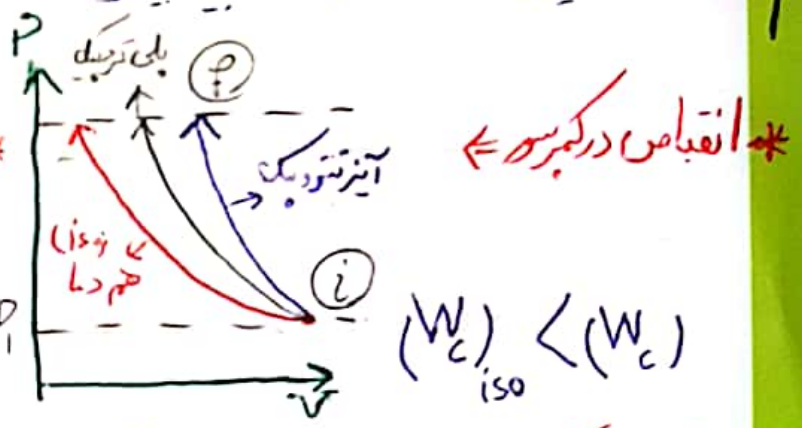
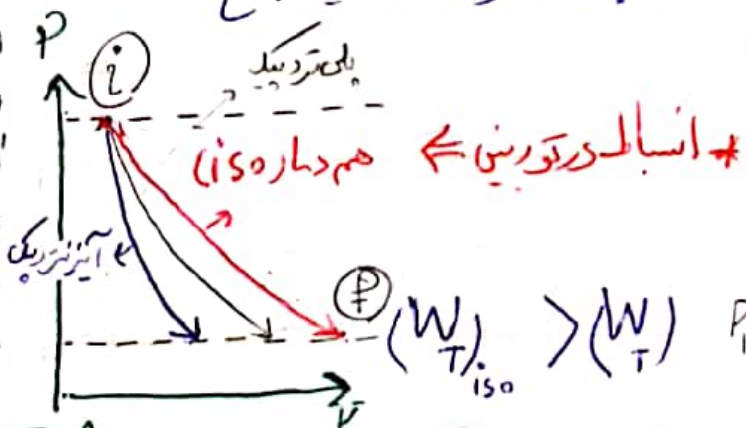
$$\eta_{cc} = \eta_{GT} + \eta_{ST} - \eta_{ST} \eta_{GT} \Rightarrow \eta_{cc} = \eta_{ST} + \eta_{GT} (1 - \eta_{ST}) > \eta_{ST}$$

$$\Rightarrow \eta_{cc} = \eta_{GT} + \eta_{ST} (1 - \eta_{GT}) > \eta_{GT}$$

از هر دو راندن η_{ST} و η_{GT} بیشتر

نکته) اگر فرآیند داخل توربین و کمپرسور به جای فرآیند آدیاباتیگ و برگشت پذیر، فرآیند اینترترم و

برگشت پذیر باشد کار تولیدی توربین بیشتر و کار مصرفی کمپرسور کمتر می شود و این به نفع ماست.



سیکل ارکیسون ← اگر فرآیندهای تراکم (1→2) و انقباض (3→4) در سیکل برای یون به جای آنکه آدیاباتیگ

و برگشت پذیر باشد، هم دما و برگشت پذیر باشد سیکل ارکیسون می شود.

نکته) در این سیکل در هر چهار فرآیند انتقال حرارت صورت می‌گیرد \leftarrow اگر با استفاده از مبدأ

بازتاب داخلی (با سطح بزرگ) گرمای مورد نیاز فرآیند (1 \rightarrow 4) از گرمای کولیس فرآیند (3 \rightarrow 2)

تامین شود، انتقال گرما با محیط تنها توسط فرآیندهای هم دمای (2 \rightarrow 1) و (4 \rightarrow 3) انجام می‌شود

و در این حالت ایده آل، برگشت ناپذیری داخلی و خارجی به طور کامل از بین رفته و راندمان سیکل برابر

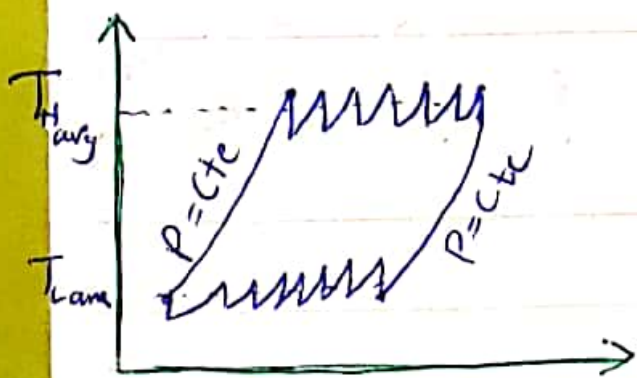
راندمان سیکل کارنوت می‌شود که بین همان دو دما کار می‌کند:

$$\eta_{Ericsson} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

نکته) در عمل به دلیل سخت بودن فرآیندهای دما ثابت انتقال دارت از سیکل اریکسون استفاده زیاد

می‌شود اما اخیراً سیکل به مایه‌های برای بهبود عملکرد سیکل برای توریون توربین گازها دهد.

بهبود عملکرد سیکل برای توریون \leftarrow با این روش‌ها باید فرآیندهای تراکم کم‌سر و دما ثابت توریون به



فرآیندهای دما ثابت نزدیک شوند.

1) انبساط با گرما پس مجدد در توریون

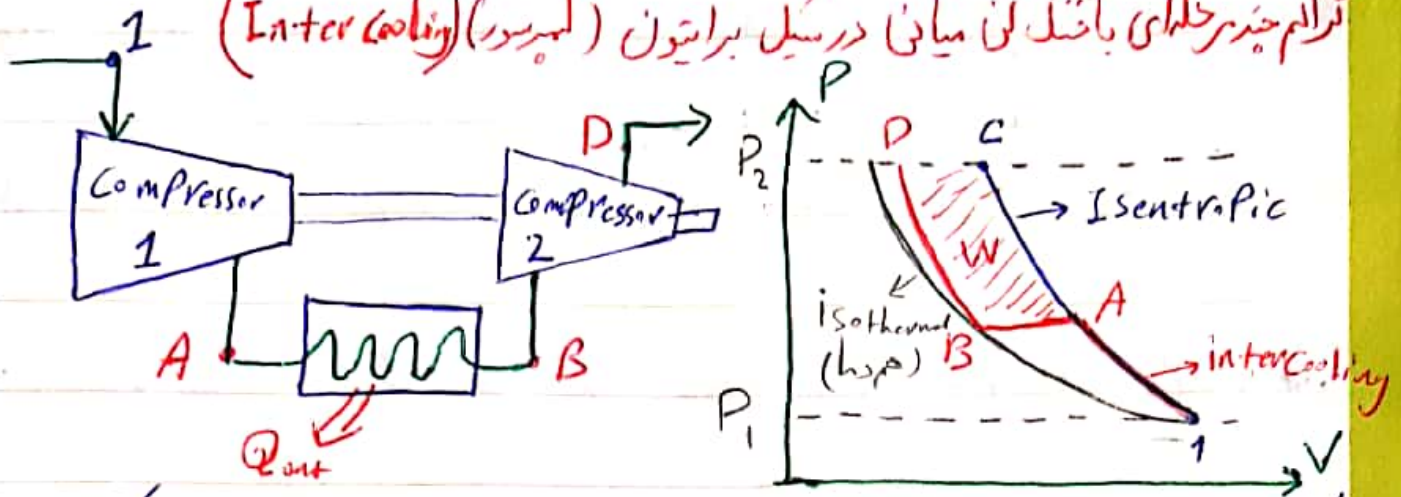
2) تراکم مجدد در خلا یا با خنک کن میانی در کمپرسور

\leftarrow با افزایش دما در این مراحل سیکل به سیکل اریکسون میل می‌کند!



NOTE BOOK

ترکم چند مرحله‌ای با خنک کن میانی در سیکل برایتون (کمپرسور) (Inter cooling)

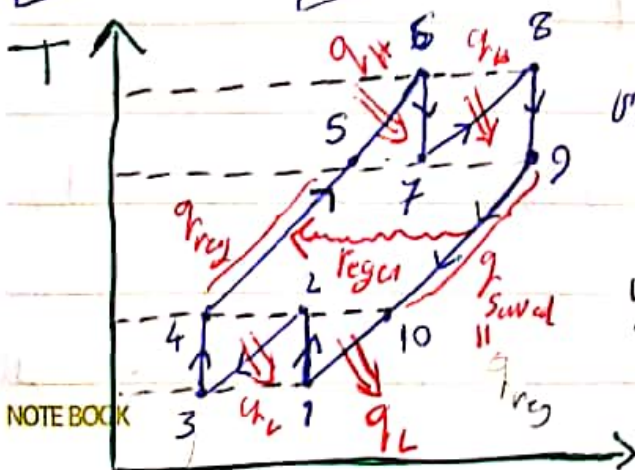
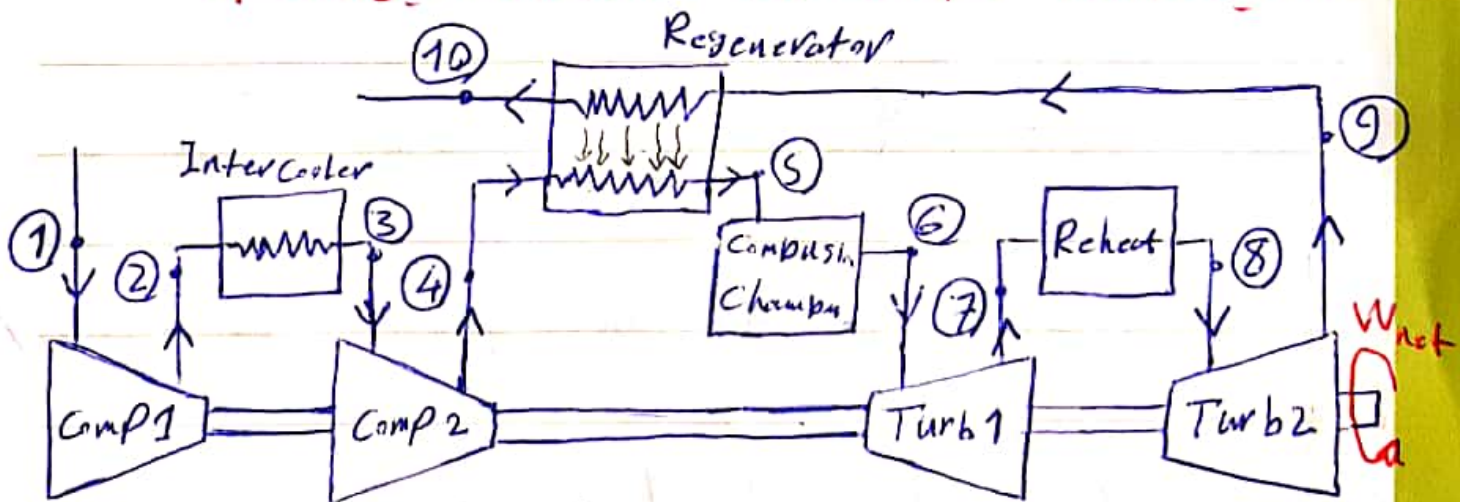


کار مصرفی به اندازه (W_{ABCD}) صرفه جویی شده. \star مایعنی به مایعنی همدم نزدیکتری شود.

نکته) اگر کار مصرفی کمپرسورینم باشد نساً رخن کن میانی از رابطه برت می آید (مات کنی)

$$P_A = \sqrt{P_1 P_2}$$

سیکل توربین گاز برایتون با ترکم چند مرحله‌ای با خنک کن میانی و گرمایش مجدد

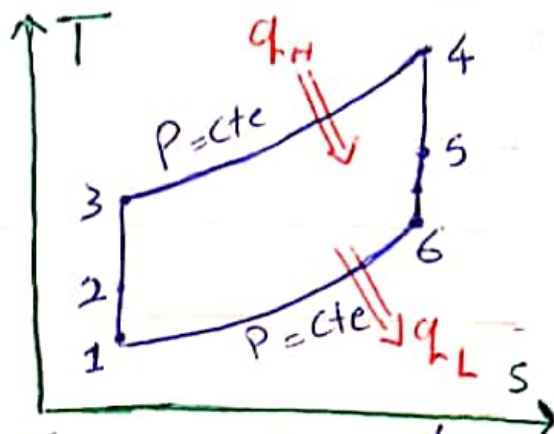
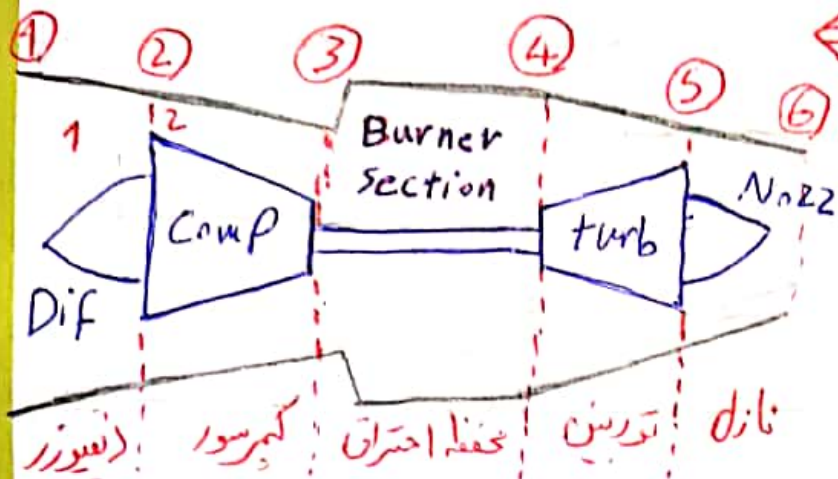


نکته) گرمایش مجدد بین توربین‌ها مناسب خنک‌کن

میان کمپرسورهاست. اگر مایش مجدد موجب کاهش راندمان می‌شود



سپیکل استانداردهای رانش جت ←



دو 2 و 7) تراکم آیزنتریک در دیفیوزر و کمپرسور: دیفیوزر ← افزایش فشار و کاهش سرعت.

4 → 5 → 6) انبساط آیزنتریک در توربین و نازل: نازل ← کاهش فشار و افزایش سرعت.

نکته) دیفیوزر و نازل برخلاف کمپرسور و توربین کار مصرف یا تولید نمی کنند فقط انرژی جنبشی را به فشار تبدیل می کنند.

نکته) کار تولیدی توربین برابر کار مصرفی کمپرسور است (زیرا هدف تولید انرژی الکتریکی نیست).

دبرای همین کمپرسور قوی لقب شده تا تغییر وضعیت بتری ایجاد شود و نیروی پسران بیشتر شود.

نکته) تراکم محفظه احتراق فشار ثابت - نکته) فرض سیگما سرد ← سیال کامل هوا با $\gamma = 1.4$ و C_p ثابت.

$$f = (\dot{m} V)_e - (\dot{m} V)_i = \dot{m} (V_e - V_i)$$

نیروی پسرانش ←

نکته) \dot{m} به دلیل تریب سوخت ثابت نیست اما به دلیل فرضیات سیگما هوا ثابت می آید.

$$W_p = F \cdot V_a = m \cdot (V_e - V_i) V_a \quad \because V_a = V_i = \text{سرعت درونی هوا برابر سرعت هوا بیجا}$$

$$\eta_p = \frac{\text{Pr. Pulsive Power}}{\text{Energy input rate}} = \frac{W_p}{Q_H} \quad \leftarrow \text{راندمان پرسیشن}$$

(Ex. 9) هوا در فشار 80 kPa و دمای 240 K و سرعت $1000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ وارد موتور جت ایربک آل می شود. نسبت فشار کمپرسور 8 به 1 می باشد. دمای درونی توربین 1200 K و فشار خروجی نازل 80 kPa است. الف) مقادیر حالت ها. ب) سرعت خروجی نازل؟

فرضیات: 1- فرضیات سیکل ایربک آل + 2- از انرژی جنبشی تمام نازل و غیره درونی و خروجی صرف نظر می شود. 3- از تغییرات انرژی پتانسیل صرف نظر می شود.

فرضیات: 1- فرضیات سیکل ایربک آل + 2- از انرژی جنبشی تمام نازل و غیره درونی و خروجی صرف نظر می شود. 3- از تغییرات انرژی پتانسیل صرف نظر می شود.

$$\text{First Law: } h_5 + \frac{V_5^2}{2} + g z_5 = h_6 + \frac{V_6^2}{2} + g z_6 + W_{5-6}$$

با این بار h_5 برابر h_6 پس از دینو زور شروع کرده و به ترتیب جلوی رویم!

$$\Rightarrow V_6 = \sqrt{2(h_5 - h_6)}$$

First Law: $h_2 = h_1 + \frac{V_1^2}{2} \quad T_1 = 240 \text{ K} \rightarrow h_1 = 240.267$

$P_{r1} = 0.51088 \Rightarrow h_2 = 240.267 + \frac{278^2}{2 \times 1000} = 278.9$

Isentropic: $P_{r2} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}} \Rightarrow P_2 = 134.7 \text{ kPa}$

کریو : $\frac{P_3}{P_2} = 8 \Rightarrow P_3 = 1077.6 \text{ kPa}$, Isentropic Compressor : $\frac{P_3}{P_2} = \frac{P_{r3}}{P_{r2}}$

$\Rightarrow P_{r3} = 6.8856 \xrightarrow{A7} h_3 = 505.500 \Rightarrow$ حجم معیار : $P_4 = P_3 = 1077.6 \text{ kPa}$
 حجم افترا

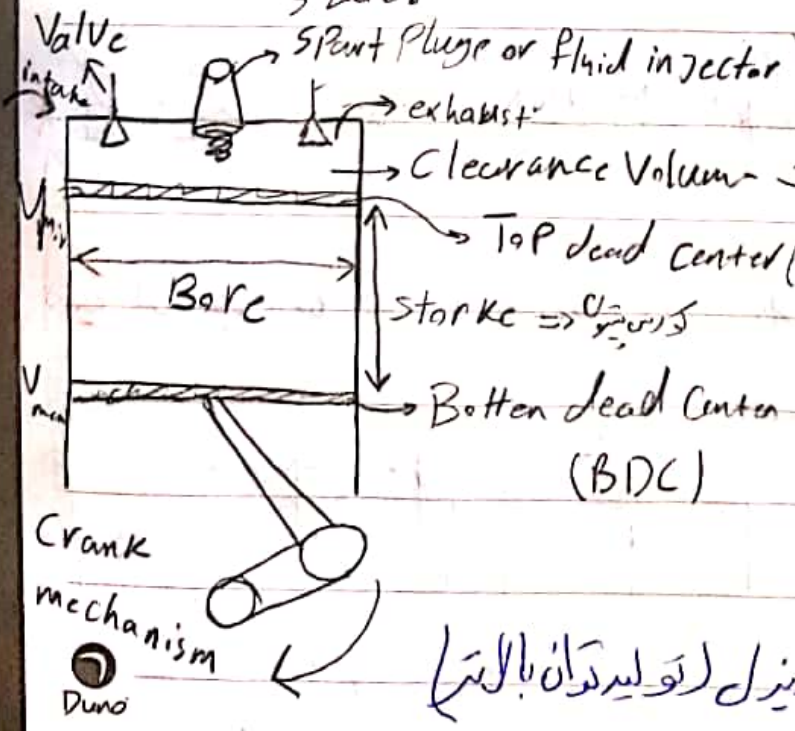
$T_4 = 1200 \text{ K} \xrightarrow{A7} h_4 = 1277.805, P_{r4} = 191.1736 \text{ kPa} \Rightarrow$

$*W_T = W_C \Rightarrow h_4 - h_5 = h_3 - h_2 \Rightarrow h_5 = 1051.2 \xrightarrow{A7} P_{r5} = 9336.35$

Isentropic Turbine : $\frac{P_5}{P_4} = \frac{P_{r5}}{P_{r4}} \Rightarrow P_5 = P_4 \times \frac{P_{r5}}{P_{r4}} = 526.2 \text{ kPa}$

Isentropic Nozzle : $\frac{P_6}{P_5} = \frac{P_{r6}}{P_{r5}} \Rightarrow P_{r6} = 14.194 \xrightarrow{A7} h_6 = 621.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$\star : V_6 = \sqrt{2(h_5 - h_6)} = \sqrt{2(1051.2 - 621.18) \times 1000} = 927.38 \frac{\text{m}}{\text{s}}$



موتورهای استران داخلی ←

1) موتور استران بیته ای

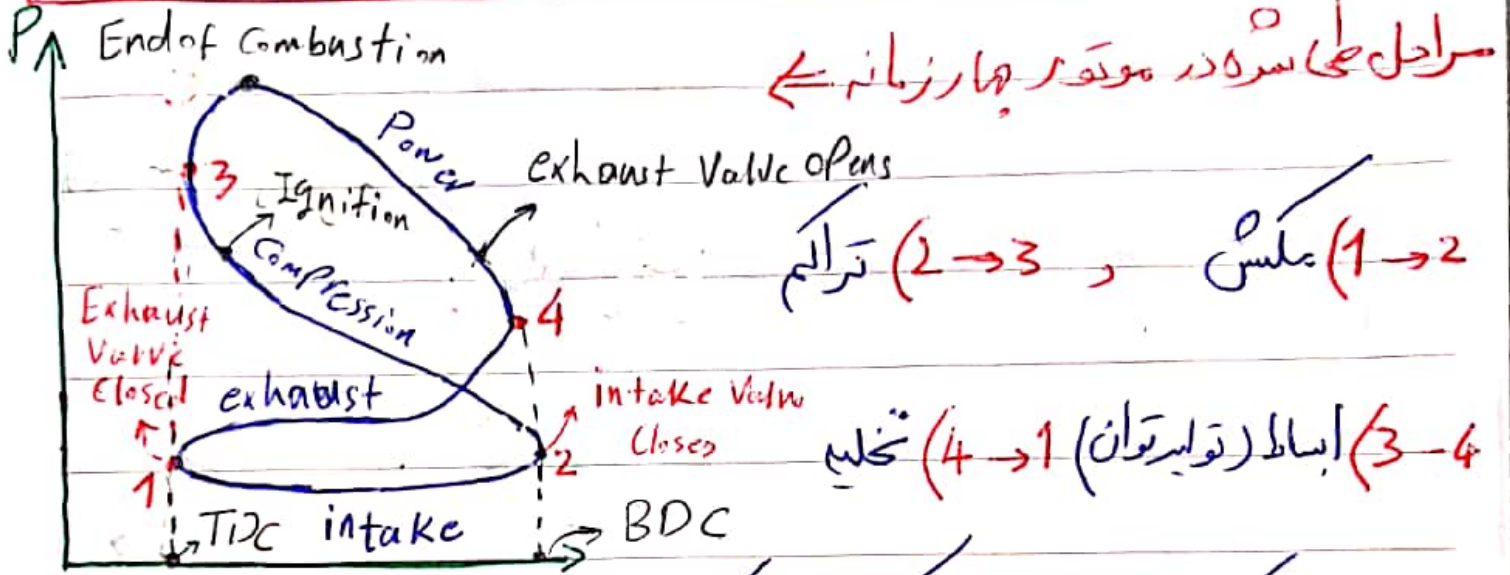
← موتور بسترشی (تولید توان 225)

2) موتور استران برالی ← موتور دیزل (تولید توان بالتر)

$$r_D = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{BDC}}{V_{TDC}} \leftarrow \text{نسبت تراکم} * V = S \times A_p \leftarrow \text{حجم جاردستره}$$

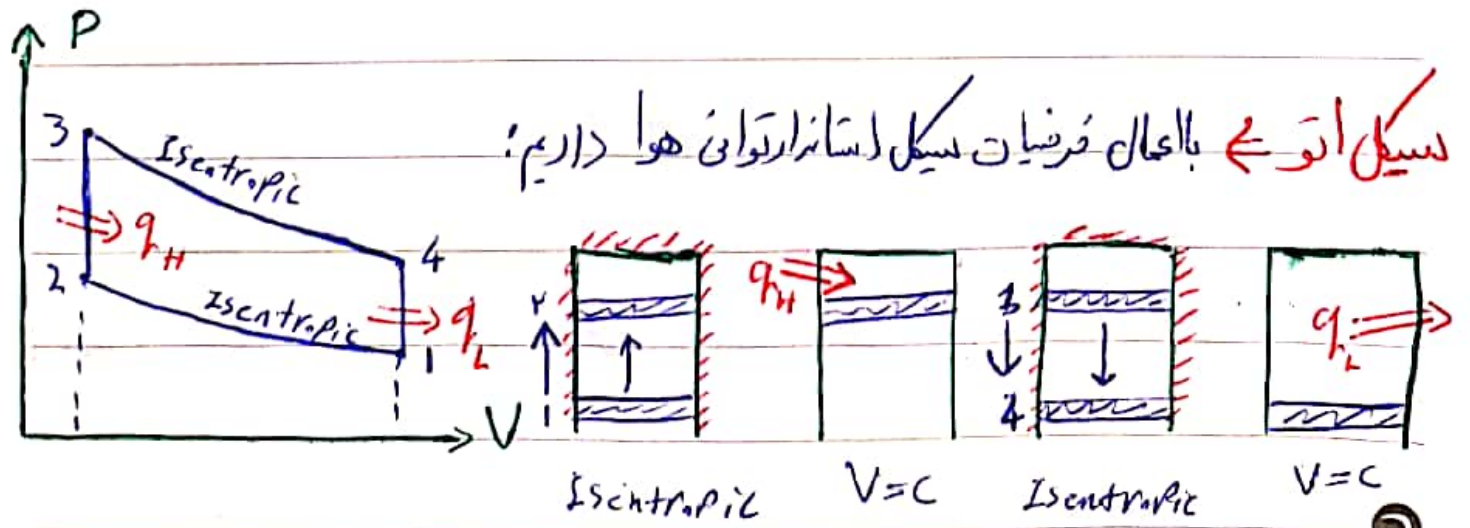
* فشار متوسط موثر \leftarrow فشار تئوری مقارناتی که اگر در مرحله اسیله برسیون

$$MEP = \frac{W_{net}}{V_{max} - V_{min}} \leftarrow \text{وارد شود کار حالتی معادله کار دایمی سیل تولید می کند}$$

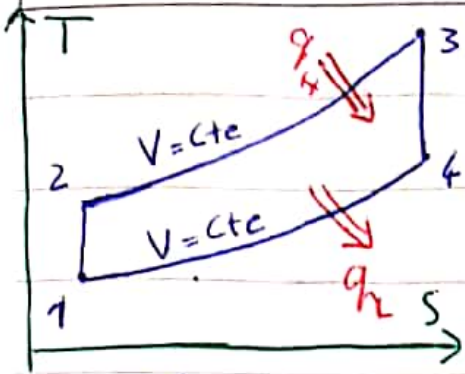


نکته) احتراق کمی قبل از پایان تراکم آغاز و کمی بعد از شروع اسیله پایان می یابد.

* سیل اتو \leftarrow سیل ایده آل موتور احتراق برته ای * سیل دیزل \leftarrow سیل ایده آل برای موتور دیزل



سیل اتو \leftarrow با اعمال فرضیات سیل استانه را توانی هوا داریم:



1 → 2 تراکم آیزنتروپیک (تراکم)
 بسکله اتو ← فرآیندهای داخلی

2 → 3 گرمایش حجم ثابت (احتراق)

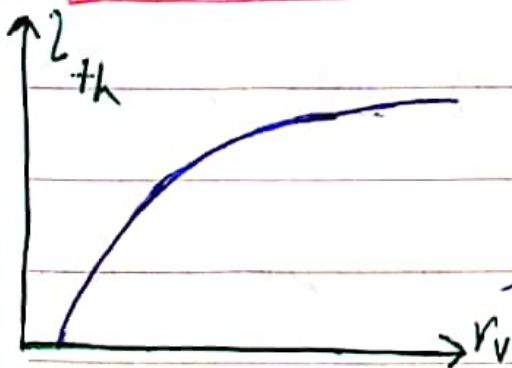
3 → 4 انبساط آیزنتروپیک (انبساط) - 4 → 1 دفع گرما در حجم ثابت (تخلیه و متساوی)

* $q_H = u_3 - u_2 = C_v(T_3 - T_2)$ و * $q_L = u_4 - u_1 = C_v(T_4 - T_1)$: سیم پیچ اتو

* $\eta_{th,otto} = \frac{W_{net}}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$

نکته: با اعمال سرشک $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$ *

* $\eta_{th,otto} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$ نسبت تراکم $r_v = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3}$



اثر افزایش نسبت تراکم بر رانندگی بسکله اتو ← با افزایش

نسبت تراکم رانندگی افزایش می یابد اما نمی توان r_v را تا هر

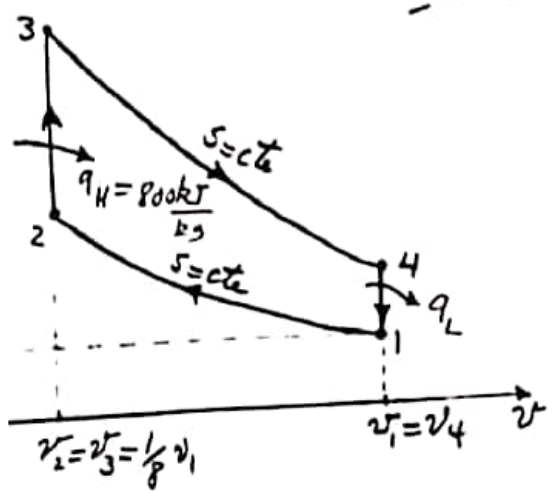
میزان افزایش داد: زیرا ممکن است با **Knocking** (اتفجار مخلوط هوا و سوخت قبل

راندگی) سوخت بیش از حد داغی

لترسین به نقطه مرگ بلایی) احتراق از افسار ما خارج شود * $\eta_{th,otto} < 30\%$ $\eta_{th,otto} < 25\%$



نسبت تراکم در این صفره اتو برابر 8 باشد. در شروع فرایند تراکم
 هوا در 100 kPa و 17°C بوده در صورت اتصال با منبع



به هوا در این فرایند حجم ثابت گرمایش برابر $800 \frac{kJ}{kg}$ باشد.
 بازنظر گرفتن تغییرات گداه درجه با هوا درجه کینه:

- الف - حداکثرت دورا بدست کرده در صفره
- ب - کار خالص صفره
- ج - بازده حرارتی
- > تا رابطه نوشتن صفره

من: نمودار P-v صفره در برداشته شده است.

توجه کنید که هوا در سلندره این سیلندر است و در این حالت درجه کینه در هر دو حالت است.
 فن ردی که گاز این است که در گداه درجه ثابت بدست کرده شده اند در این حالت این است

الف - $P_3 = ?$
 $T_3 = ?$

ب - $w_{net} = ?$

ج - $\eta_{th} = ?$

-> $meP = ?$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3} = 8 \\ P_1 = 100 \text{ kPa} \\ T_1 = 17^\circ \text{C} \\ q_H = 800 \frac{kJ}{kg} \end{array} \right.$$

الف - کار خالص در دورا صفره ($T_3 = ?$)
 $T_3 = ?$

$T_1 = 17 + 273 \approx 290 \text{ K}$ Table A.7 $\mu_1 = 207.191$ و $v_{r1} = 195.361$

فرایند 1-2: تراکم ایزنتروپیک (آرستروپیک)

$\frac{v_{r2}}{v_{r1}} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{8} \rightarrow v_{r2} = \frac{1}{8} (195.361) = 24.42 \xrightarrow{A.7} \left\{ \begin{array}{l} T_2 = 652.6 \text{ K} \\ \mu_2 = 475.6 \frac{kJ}{kg} \end{array} \right.$

$\frac{P_2 v_2}{T_2} = \frac{P_1 v_1}{T_1} \rightarrow P_2 = P_1 \left(\frac{v_1}{v_2} \right) \left(\frac{T_2}{T_1} \right) = 100 (8) \left(\frac{652.6}{290} \right) \rightarrow P_2 = 1800.3$

ادامه سوال 10 | نمونه اول ترمودینامیک برای فاینال هم جهت گرایش (2-3) : [سیتم]

$$q_3 = u_3 - u_2 + p_3 v_3 \rightarrow q_H = q_3 = u_3 - u_2 \rightarrow u_3 = u_2 + q_H = 1275.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$u_3 = 1275.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \xrightarrow{A.7} T_3 = 1575.8 \text{ K}, v_{T_3} = 1.768$$

$$\frac{P_3 v_3}{T_3} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \rightarrow P_3 = P_2 \left(\frac{v_2}{v_3} \right) \left(\frac{T_2}{T_3} \right) \rightarrow P_3 = 4347 \text{ kPa} = 4.347 \text{ MPa}$$

$$w_{net} = q_H - q_L \quad (1) \quad \text{ب - نسبت به واحد (} w_{net} = ? \text{)}$$

$$q_H = 800 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, q_L = u_4 - u_1 \quad (2) \quad \text{فاز 4-1 (همه صحت)}$$

$$\frac{v_{T_4}}{v_{T_3}} = \left(\frac{v_4}{v_3} \right) \rightarrow v_{T_4} = 14.144 \xrightarrow{A.7} T_4 = 795.2 \text{ K}, u_4 = 588.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

نسبت u_4 = فاز 3-4 (اینترنل)

$$2 \rightarrow q_L = 381.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad 1 \rightarrow w_{net} = 418.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

ج - نسبت به واحد (} \eta_{th} \text{)

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{418.5}{800} \rightarrow \eta_{th} = 0.523 = 52.3\%$$

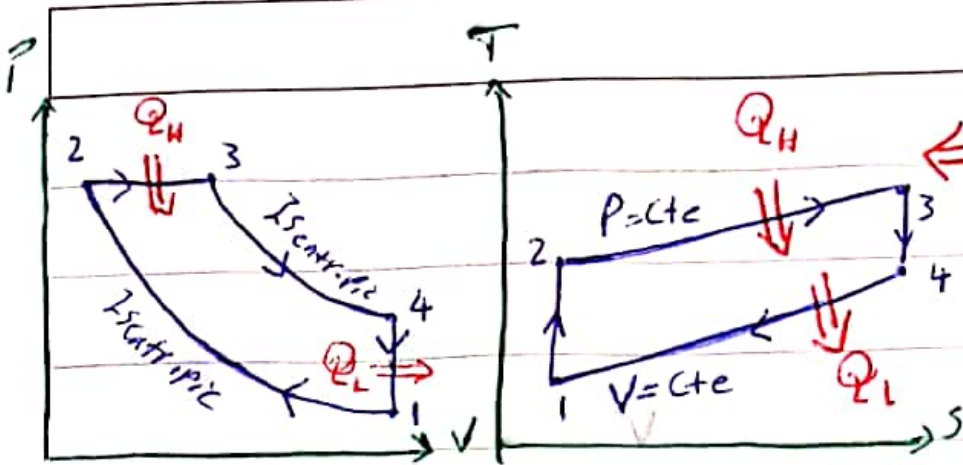
نکته: با رزق گرفتن از فن هوار استند سرد (گرم و شعله نایب در داخل) باز دو حالتی خواهیم شد:

$$\eta_{th} = 1 - r^{1-k} = 1 - 8^{1-1.4} = 0.565 = 56.5\%$$

که به تعداد قابل ملاحظه ای مقدار به دست آورده در بالا ذکر دارد. بنابراین در مورد که رزق هوار سرد استند

$$mep = \frac{w_{net}}{v_{max} - v_{min}} = \frac{w_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{w_{net}}{v_1 \left(1 - \frac{1}{r} \right)} \quad (3)$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 290 \text{ K}}{1 \text{ bar}} = 0.822 \text{ m}^3$$



سیکل استانه‌ها را دیزل ←

مسابه سیکل اتو فقط مبرای این

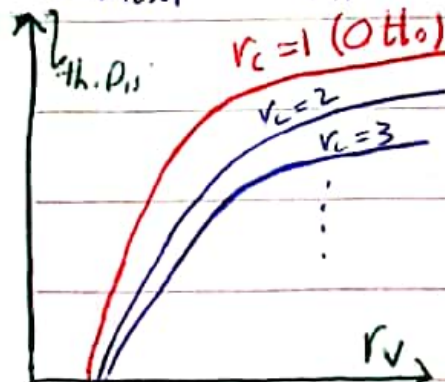
گرمادهی به جای حجم ثابت در فشار ثابت رخ می‌دهد ← یعنی تراکم و مسابله اتومات.

فشار ثابت

$$* q_H = W_{\text{boat}} + (u_3 - u_2) = P_2 (V_3 - V_2) + (u_3 - u_2) = h_3 - h_2 = C_p (T_3 - T_2)$$

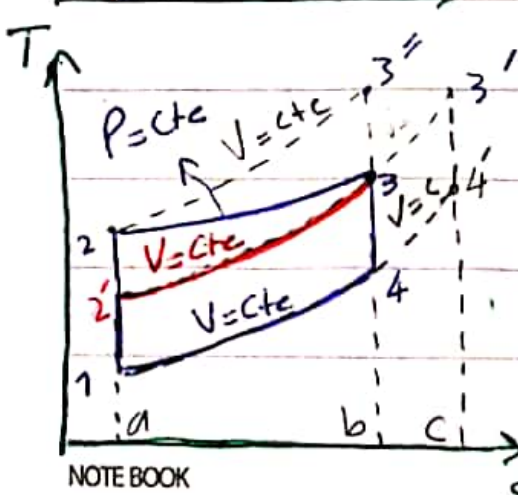
$$* q_L = u_4 - u_1 = C_v (T_4 - T_1) \quad * r_c = \frac{V_3}{V_2} = \text{نسبت چوبی (Cut-off ratio) ← نسبت حجم سیلندر بعد احتراق به حجم سیلندر قبل احتراق}$$

$$* \eta_{\text{th, Diesel}} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{K (T_3 - T_2)} \quad \text{ثابت لانه} \Rightarrow \eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{r_v^{K-1}} \left(\frac{r_c^K - 1}{K(r_c - 1)} \right)$$



* اگر نسبت چوبی به یک میل کند سیکل به سیکل اتو میل می‌کند و اثبات آن

آن ساکن می‌شود. عبارت داخل کرده مثبت است پس به نظر



چی رسرر اندمان اتو از دیزل بیشتر باشه اما ←

نسبت تراکم سیکل اتو کمتر از سیکل دیزل است.

$$(r_v)_O = \frac{V_{2'}}{V_1} < \frac{V_2}{V_1} = (r_v)_D$$

(25% تا 30%) (35% تا 40%)

$2' \rightarrow 3$ $2 \rightarrow 3$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (T_H)_O < (T_H)_D \\ (T_L)_O = (T_L)_D \end{array} \right. \Rightarrow (L_{th})_{Otto} < (L_{th})_{Diesel}$$

نکته) خطوط فشار ثابت ($2 \rightarrow 3$) و خطوط حجم ثابت ($1 \rightarrow 4$) **عکس** است ← با افزایش دمای ما نیز

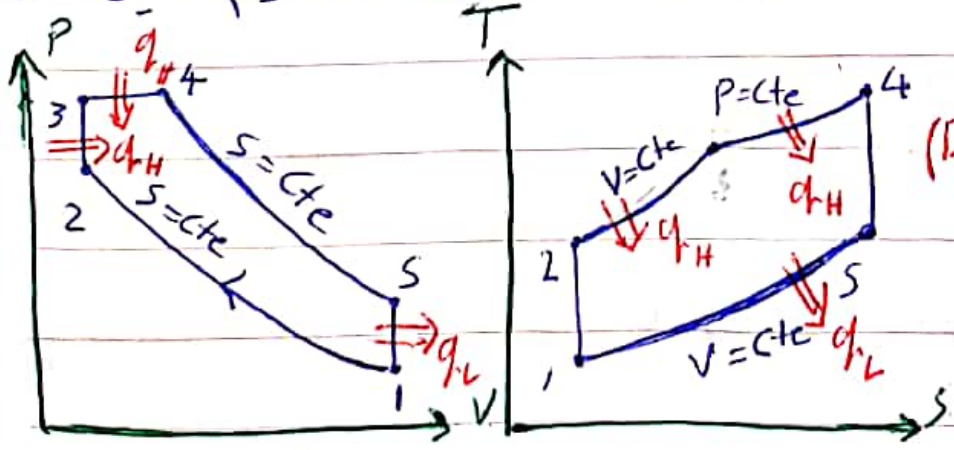
سیکل، راندمان سیکل دیزل کاهش می یابد زیرا افزایش دمای T_L بیشتر از افزایش دمای T_H است.

نکته) در موتور دیزل هوای دارد سوره سوخت ندارد و هوا کاملاً فشرده شده پس سوخت سنگینتر

ترقیف شده و احتراق انجام می شود ← نگرانی بابت Knocking نداریم ← نسبت تراکم می تواند بسیار

بالا باشد (تا 24 هم رسیده) ← دمای هوای داخل سیلندر بسیار بالایی دارد **در نتیجه دارد**

1) سوخت های کم تراکم (مثل گازوئیل) می تواند استفاده شود - 2) موتور حجم و سنگین می شود



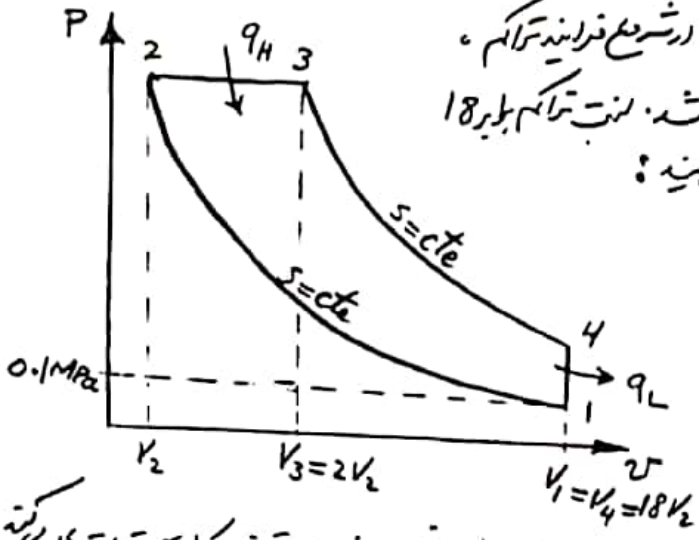
سیکل دوگانه ← (Dual)

دیزل + اتو

$$\eta_{th} = (q_H)_{V=c} + (q_H)_{P=c} = (u_3 - u_2) + (h_4 - h_3)$$

$$\text{Dual} \Rightarrow q_H = C_V(T_3 - T_2) + C_P(T_4 - T_3)$$

در یک چرخه استندارد دیزل، در شروع فرایند تراکم، دما 300K و فشار 0.1MPa باشد. نسبت تراکم 18 و نسبت جرمی برابر 2 باشد. رسم کنید.



الف - دقت رانندگی را در این چرخه تعیین کنید.

ب - بازده حرارتی

ج - نت رانندگی

الف - $T_2, T_3, T_4 = ?$
 ب - $\eta_{th} = ?$
 ج - $mep = ?$

داده ها:
 $P_1 = 0.1 \text{ MPa}$
 $T_1 = 300 \text{ K}$
 $\frac{v_3}{v_2} = \frac{v_4}{v_2} = 18$
 $r_c = \frac{v_3}{v_2} = 2$

- ۱- دمای رانندگی را در این چرخه تعیین کنید.
 ۲- فرایند تراکم را در این چرخه رسم کنید.
 ۳- دمای رانندگی، برگشت پذیری و دمای رانندگی را مشخص کنید.
 ۴- دما، گام رانندگی را مشخص کنید.
 ۵- تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل را در این چرخه مشخص کنید.

الف - در این چرخه دقت رانندگی را در حالت مختلف

$T_1 = 300 \text{ K} \xrightarrow{A.7} u_1 = 214.364 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, v_{f1} = 179.491$

فرایند تراکم 1-2:

$\frac{v_{f2}}{v_{f1}} = \frac{v_2}{v_1} \rightarrow v_{f2} = 179.491 \times \frac{1}{18} = 9.972 \xrightarrow{A.7} T_2 = 898.3 \text{ K}, h_2 = 930.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

گازهای: $\frac{P_2 v_2}{T_2} = \frac{P_1 v_1}{T_1} \rightarrow P_2 = P_1 \frac{v_1}{v_2} \frac{T_2}{T_1} = 0.1 (18) \left(\frac{898.3}{300} \right) \rightarrow P_2 = 5.39 \text{ MPa}$

فرایند تراکم 2-3:

$\frac{P_3 v_3}{T_3} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \rightarrow T_3 = T_2 \frac{v_3}{v_2} = 898.3 (2) \rightarrow T_3 = 1796.6 \text{ K}$
 $P_3 = P_2 \rightarrow P_3 = 5.39 \text{ MPa}$

$T_3 = 1796.6 \text{ K} \xrightarrow{A.7} h_3 = 1998.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, v_{f3} = 1.15$

فرایند انبساط 3-4:

$\frac{v_{f4}}{v_{f3}} = \frac{v_4}{v_3} = \frac{v_1}{v_3} = \frac{v_1}{v_2} \times \frac{v_2}{v_3} = 18 \times \frac{1}{2} = 9 \rightarrow v_{f4} = 9v_{f3} = 10.35$

$v_{T_4} = 10.35 \xrightarrow{A.7} T_4 = 887.8 K$, $u_4 = 664.7 \frac{kJ}{kg}$

افزایش حجم ثابت 1-4 گاز ایده‌آل:
 $\frac{P_4 V_4}{T_4} = \frac{P_1 V_1}{T_1} \rightarrow P_4 = P_1 \frac{T_4}{T_1} = 0.1 \left(\frac{887.8}{300} \right) \rightarrow P_4 = 0.296 MPa$

ب- در سه بازه حرارتی می‌باشد (η_{th}):

$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$ ①

توانند حجم ثابت 1-4:
 $q_L = u_4 - u_1 = 664.7 - 214.364 = 450.336 \frac{kJ}{kg}$

فرانتی ترتیب 2-3:
 $q_H = h_3 - h_2 = 1998.8 - 930.98 = 1067.82 \frac{kJ}{kg}$

$1 \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{450.336}{1067.82} \rightarrow \eta_{th} = 0.578 = 57.8\%$

ج- می‌باید رابطه را در نظر بگیرید (MEP):

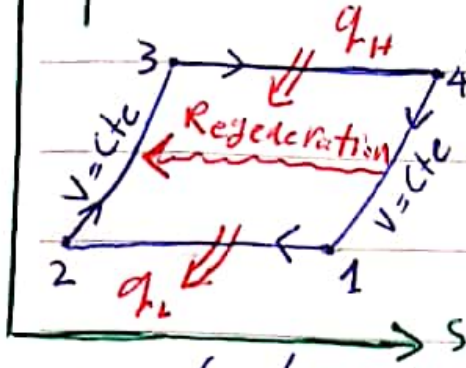
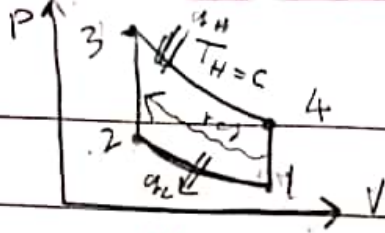
$MEP = \frac{w_{net}}{v_{max} - v_{min}} = \frac{w_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{w_{net}}{v_1 \left(1 - \frac{1}{r_v} \right)}$ - ②

$w_{net} = q_H - q_L = 1067.82 - 450.336 = 617.484 \frac{kJ}{kg}$

$P_1 v_1 = RT_1 \rightarrow v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287 \frac{kJ}{kg \cdot K} (300K)}{0.1 \times 10^3 \frac{kN}{m^2}} = 0.861 \frac{m^3}{kg}$

$2 \rightarrow MEP = \frac{617.484 \frac{kJ}{kg}}{0.861 \frac{m^3}{kg} \left(1 - \frac{1}{18} \right)} \rightarrow MEP = 760 kPa = 0.76 MPa$

توجه: درص این استند، از جدول هوا (A.7) استفاده در این ترتیب تغییرات کرده‌اند و دیده هوا بارها در نظر گرفته شده.



سپیل استرلینگ (Stirling cycle) ← اگر در سپیل اتو،

فراآیندهای تراکم و انبساط آیزنترودیک را با فراآیندهای

دمائیت و برکت بندر جا نلین کنیم به سپیل استرلینگ می رسم. (مثل سپیل اریکسون در برایتون)

نکته) در هر چهار فرآیند انتقال حرارت صورت می گیرد ← مانند سپیل اریکسون اگر از سپیل بازتاب

داخلی استفاده شود در حالت ایده آن برکت نایزیرا داخلی و خارجی کاملاً از بین می رود. پس رانندگی

آن با سپیل کارنو کمترین آن دودما کار کند برابری شود

$$\eta_{Stirling} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

نکته) عیب سپیل استرلینگ کم بودن MEP است پس کار تولیدی W_{net} آن کم است و اگر محمول

کار زیاد تولید شود باید اختلاف حجم بسیار زیاد داشته باشیم.

سپیل های سرمایه ای ← کاربردها: (1) دستگاه های تبرید (سواش) - (2) پمپ گرمایی (گرمایی)

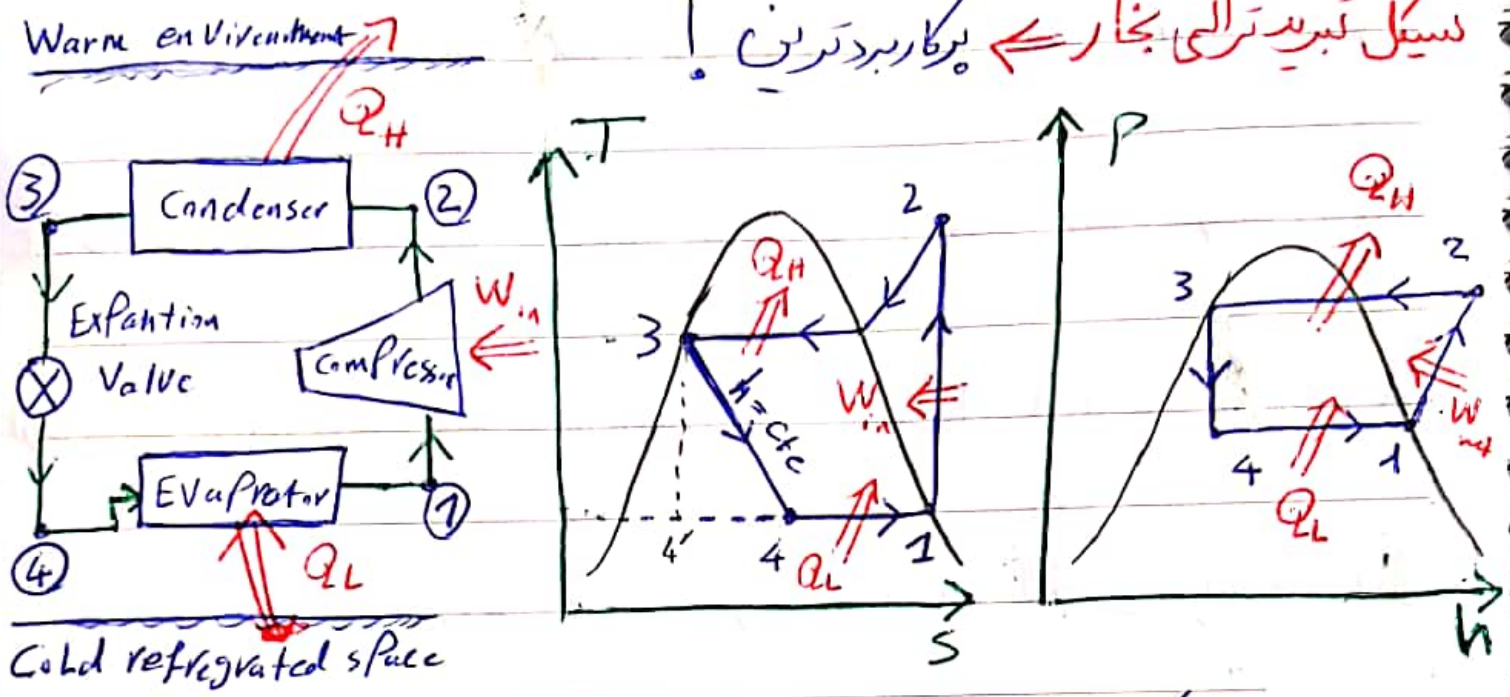
ضریب عملکرد ← تبرید: $\beta = \frac{Q_L}{W_{net}}$ و پمپ گرمایی: $\beta' = \frac{Q_H}{W_{net}}$

$\beta' - \beta = \frac{Q_H - Q_L}{W_{net}} = \frac{W_{net}}{W_{net}} = 1$ و $\beta' \geq 1$ و $\beta \geq 0$

از نظر ← برای گرمایش یک اتاق پمپ الکتریکی از هیتس الکتریکی بهتر است زیرا به انرژی

هر واحد کار پمپ گرمایی بیش از یک واحد گرمایی است می شود در حالی که در هیتس نهایتاً 1 واحد گرمایی
(بافتن با زود 100% !)

دسیکل تبدیل انرژی بخار ← پرکاربردترین !



1-2 تراکم آیزنتروپیک در کمپرسور - 2-3 دفع حرارت فشار ثابت در کندانسور

3-4 فرآیند خفگی (انالپی ثابت) آدیاباتیکی در سیرابا (برگشت ناخن)

4-1 جذب حرارت فشار ثابت در اواپراتور

تفسیر کمپرسور ← دمای سیال عامل را افزایش می دهد (با افزایش فشار) تا بتواند گرما را به

* چرا به جای سیر انبساط از توربین استفاده نمی شود (3 → 4)؟ می دانیم $(\frac{W_{3-4}}{3-4})_{turb}$

باتوجه به اینکه در 3 مایع انبساط داریم و حجم مخصوص آن (3) بسیار کم است کار بسیار کمی

تولیدی سود و استفاده از توربین به معنی سیستم افشانه کرده و صرفه اقتصادی ندارد.

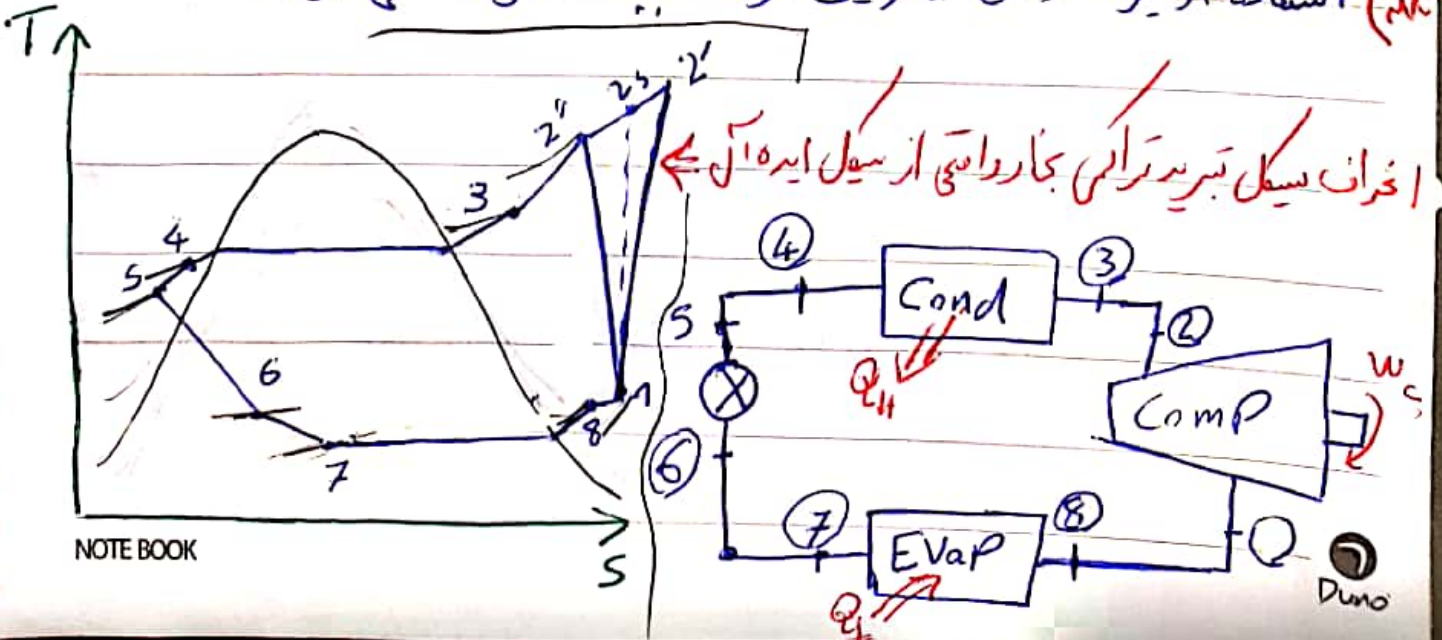
نکته) در خچال های خانگی و آب سرد کن ها بجای لیل گرایی ریمپیدگی به جای سیر انبساط از

لوله موئین استفاده می شود ← یک لوله دارای قطر بسیار کم وصول زیاد است که مانند سیر انبساط باعث

افت فشاری سود (با افزایش طول و کاهش قطر لوله افت فشار اصطکاکی بیشتر ایجاد می شود).

نکته) عیب لوله موئین عدم امکان تنظیم است که به همین دلیل فشار در سیستم های کوچک استفاده می شود

نکته) استفاده از سیر فشار شکن در هر سیلی لزوماً سبب کاهش دما نمی شود.



انحراف سیل تبرید تراش بخار و استی از سیل ایده آل ←

1-2) افزایش انرژی به دلیل اصطکاک + کاهش انرژی به دلیل انتقال حرارت به محیط در کپرسور

← انرژی کل حاصل نمی است افزایش (2') یا کاهش (2'') پیدا کند.

3-2) انتقال گرما به محیط (انرژی) در لوله 4-3) انتقال گرما به محیط (انرژی) + ساپلو لینگ مایع

در خریدی کندانسور (مایع اشباع می ت) 5-4) انتقال گرما به محیط در لوله (انرژی) + دفع گرما به محیط در لوله (انرژی)

6-5) خفگی (نکته ای ندارد) 7-6) جذب حرارت از محیط (انرژی) در لوله + انتقال گرما به محیط (انرژی)

8-7) سوپر هیت کردن بخار در ورودی کپرسور (الزامی و مثبت زیرا اگر سوپر هیت نشود

ممکن است قطرات بخار به پره های کپرسور آید بترنم) 1-8) جذب گرما در لوله (انرژی) + انتقال گرما به محیط (انرژی)

مبردها ← 1) فشار اشباع مبرد در دمای کندانسور خیلی بالا نباشد - 2) آنتالپی نهان تبخیر (اگر باشد برای اینکه به آن فشار برسیم کپرسور باید کار بیشتر بکند و مصرف عملگر دپایینی می آید) بالایی داشته باشد (که گرمای بیشتری را بتواند جذب کند) - 2) سعی، خورنده، قابل اشتعال و انفجار نباشد ممکن است آنتالپی جا

3) قابلیت آمیخته شدن با روغن کپرسور بدون از دست دادن خواص داشته باشد - 4) ارزان و در دسترس

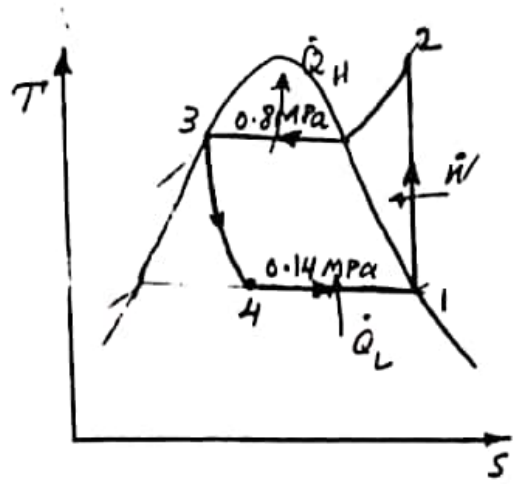
5) لایه آلودگی لایه خفگی نکند (حفاظت در برابر اسید مادامی که در برهنه از ترکیبات کلردار باشد) - 6) پتانسیل گریس زینی باشد داشته باشد

در این چرخه تبرید (سردکن) ، از جدول ۱۲ جدول ۱۲

میزان عمل تبرید تراکمی بخار

نقشه ۰.۸ مپا و ۰.۱۴ مپا و برای این چرخه تبرید تراکمی بخار
عمل تبرید - اگر در این چرخه تبرید (سایکل عمل) برابر ۰.۰۵ kg باشد

در یک دقیقه :



$\dot{m} = 0.05 \text{ kg/s}$

- الف - نرخ قدرت گرفته شده از محیط سرد (\dot{Q}_L)
- ب - توان ورودی کمپرسور (\dot{W})
- ج - نرخ انتقال حرارت در محیط گرم (\dot{Q}_H)
- د - ضریب عملکرد سردکن (β)

حل: درجه آزادی این چرخه (از جدول ۱۲) -

$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = 0.14 \text{ MPa} \\ x_1 = 1 \end{array} \right. \xrightarrow[\text{زردن ۱۲ اشیع}]{\text{B.3.1}} h_1 = h_g = 177.87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_1 = s_g = 0.7102 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
 ($T_1 = -22^\circ\text{C}$)
 $s_2 = s_1 = 0.7102 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$
 فرآیند ۱-۲: انزنتروپیک :

$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = 0.8 \text{ MPa} \\ s_2 = 0.7102 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \end{array} \right. \xrightarrow[\text{نقشه ۱۲}]{\text{B.3.2}} h_2 = 208.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad (T_2 = 43.5^\circ\text{C})$

$P_3 = 0.8 \text{ MPa} (x_3 = 0) \xrightarrow{\text{B.3.1}} h_3 = h_f = 67.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
 $h_4 \approx h_3 \rightarrow h_4 = 67.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
 فرآیند ۳-۴: فرآیند خفش =

$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_4) \rightarrow \dot{Q}_L = 5.53 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} (\text{kW})$: الف - \dot{Q}_L به حسب

$\dot{W} = \dot{m} (h_2 - h_1) \rightarrow \dot{W} = 1.54 \text{ kW}$: ب - \dot{W} به حسب

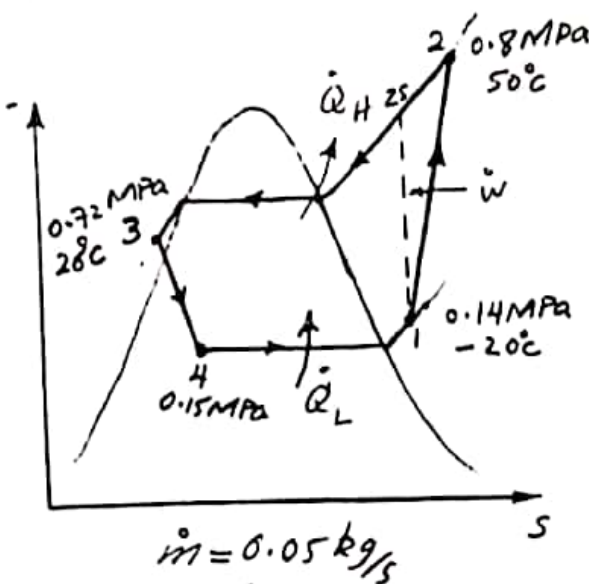
$\dot{Q}_H = \dot{m} (h_2 - h_3) \rightarrow \dot{Q}_H = 7.07 \text{ kW}$: ج - \dot{Q}_H به حسب

$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{5.53}{1.54} \rightarrow \beta = 3.59$: د - β به حسب

... این سردکن به ازای هر واحد انرژی که از محیط سرد گرفته می شود ۳.۵۹ واحد انرژی

چرخه واقعی تبرید تراکم بخار

فزون ۱۳ صورت بخار داغ از تبرید
 ۰.۱۴ MPa و ۲۰°C و ۰.۰۵ kg/s دارد که به طور
 یکدیگر سردکننده شود و کمترین از تبرید ۰.۸ MPa و ۵۰°C تراکم
 ممکنه. در فرجه از کمینه انور به شرایط فزون ۰.۷۲ MPa و ۲۶°C
 است. بلافاصله پس یک فیلتر خشکی در شرایط ۰.۱۵ MPa و ۲۶°C
 ۰.۱۵ MPa که در ۰.۱۵ MPa از هرگونه افت در واقع عملیات
 در لوله ها را یکدست از فیلتر و سیستم فیلتر نموده، مانع می‌گردد.
 الف - نرخ واریت کپاشیده از هر یک سرد (Q_L)
 ب - توان در ورودی کمپرسور (W)
 ج - بازده اینترتروپیک کمپرسور (η_c)



ب - توان در ورودی کمپرسور (W)
 ج - بازده اینترتروپیک کمپرسور (η_c)

حل: - عوارض T-s چرخه در بالا ترسیم شده و خواص ترمودینامیک هر نقطه بر روی آن مشخص شده است. با استفاده از این خواص و جدول فزون ۱۳ (B.3.1 و B.3.2) - آسانی تقاطع مختلف به دست می‌آید:

$$h_1 = 179.01 \frac{kJ}{kg}, \quad h_2 = 213.45 \frac{kJ}{kg}, \quad h_3 = h_4 = 60.68 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_1 = 0.7147$$

الف - نرخ Q_L:
$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \rightarrow \dot{Q}_L = 5.92 \text{ kW}$$

ب - نرخ W:
$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) \rightarrow \dot{W} = 1.72 \text{ kW}$$

ج - بازده اینترتروپیک کمپرسور (η_c):

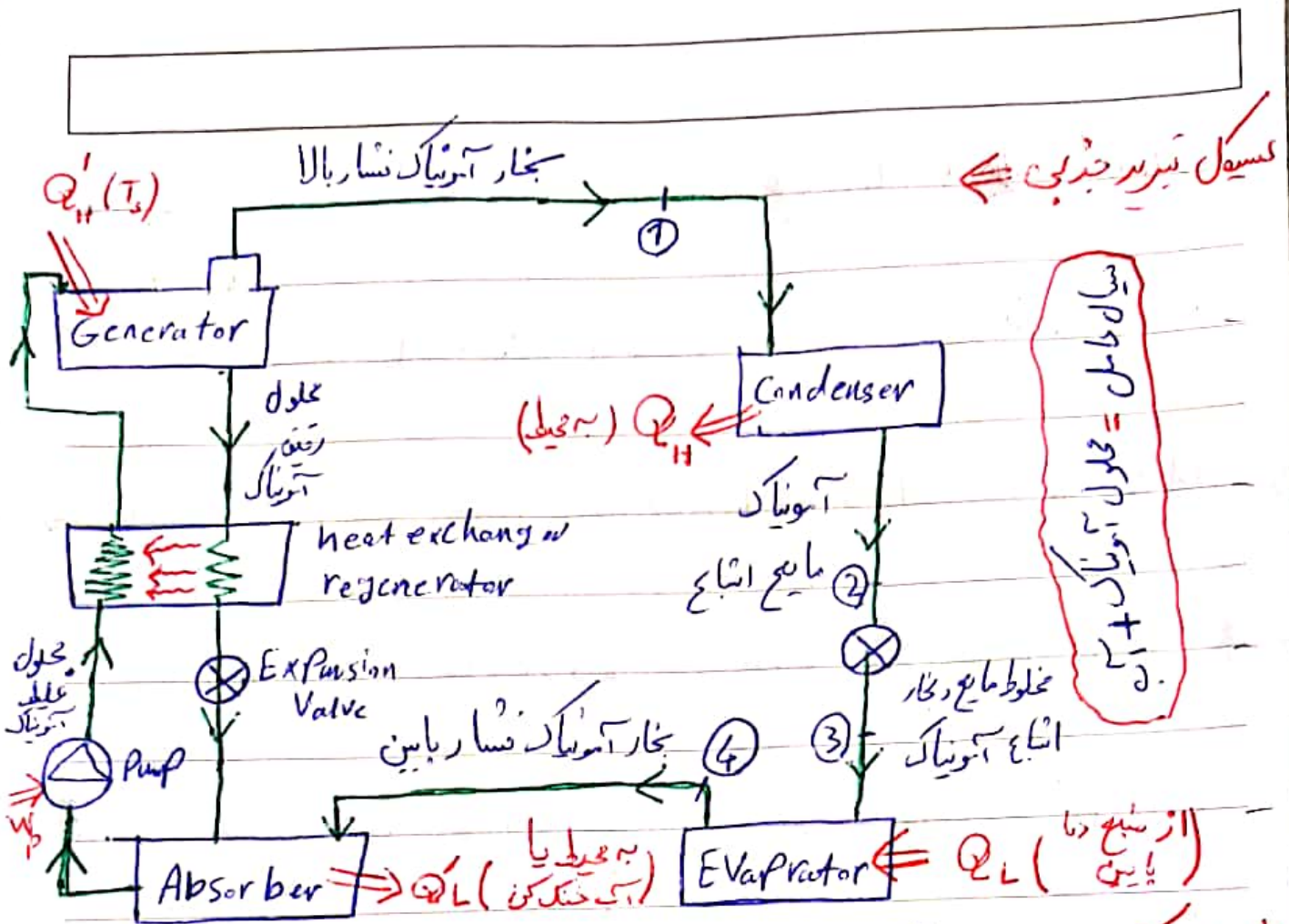
$$\eta_c = \frac{\dot{W}_s}{\dot{W}_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad \text{--- (1)}$$

از B.3.2:
$$\left\{ \begin{array}{l} P_2 = 0.8 \text{ MPa} \\ s_{2s} = s_1 = 0.7147 \frac{kJ}{kg \cdot K} \end{array} \right. \xrightarrow{\text{فزون ۱۳}} h_{2s} = 210.08 \frac{kJ}{kg}, \quad T_{2s} = 45.4^\circ C$$

بازده اینترتروپیک کمپرسور:
$$\eta_c = 0.902 = 90.2\%$$

ج - ضریب عملکرد سردکننده (β):
$$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{5.92}{1.72} \rightarrow \beta = 3.44$$

توجه: این مثال از آنچه در کتاب درج شده و در فرجه از کمینه انور تراکم شده است.



میان حاصل = مخلوط آمونیاک + آب

خود عملکرد ← جذب گاز در دمای پایین در نقطه جذبی (با کاهش دما اختلال پذیری

گازها افزایش می یابد) + افزایش فشار طول توسط پمپ + خرید گاز فشار بالا از مخلوط

با سردت دادن در زترا تور تولید بخار آمونیاک (با افزایش دما اختلال پذیری گاز در مایع کاهش می یابد)

عیب ← ضریب عملکرد پایین: $\beta = \frac{Q_L}{Q_{gen} + W_p} \approx \frac{Q_L}{Q_{gen}}$: کاربرد بسیار کوچک اما گران

ورودی زترا تور بسیار بالاتر و باعث می شود ضریب عملکرد بسیار پایین (اکثر) باشد + هزینه زیاد

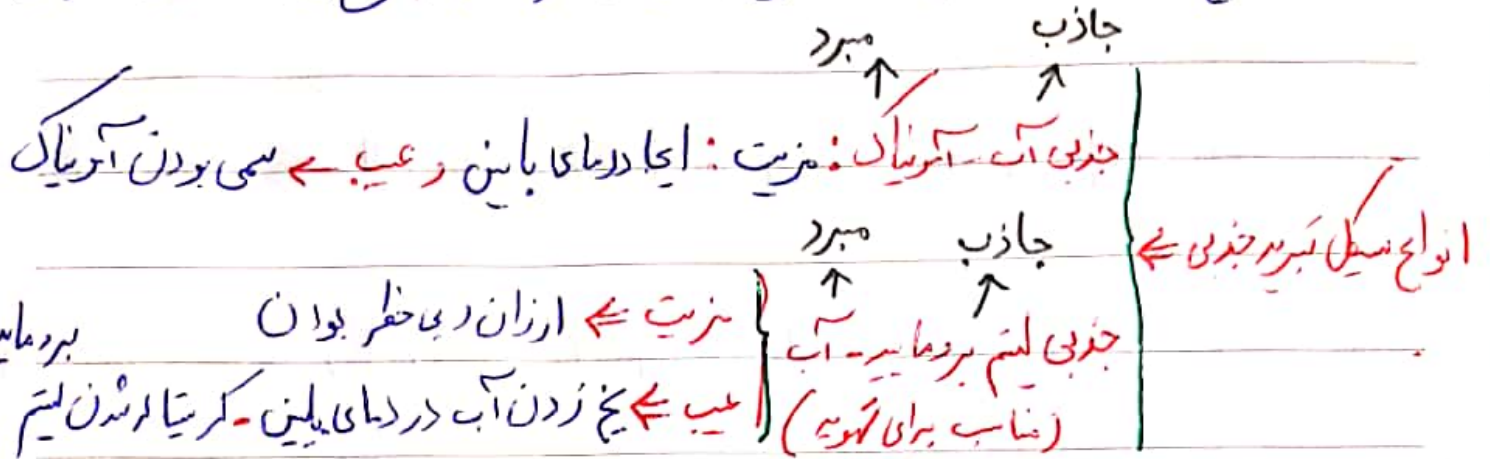
مزیت ← مصرف برق کم: در مقایسه با سیکل تبرید تراکمی بخار آب جایی

آب ← تنفس جاذب و آکسجین ← نفسی مورد (سرمایه گذاری کند)

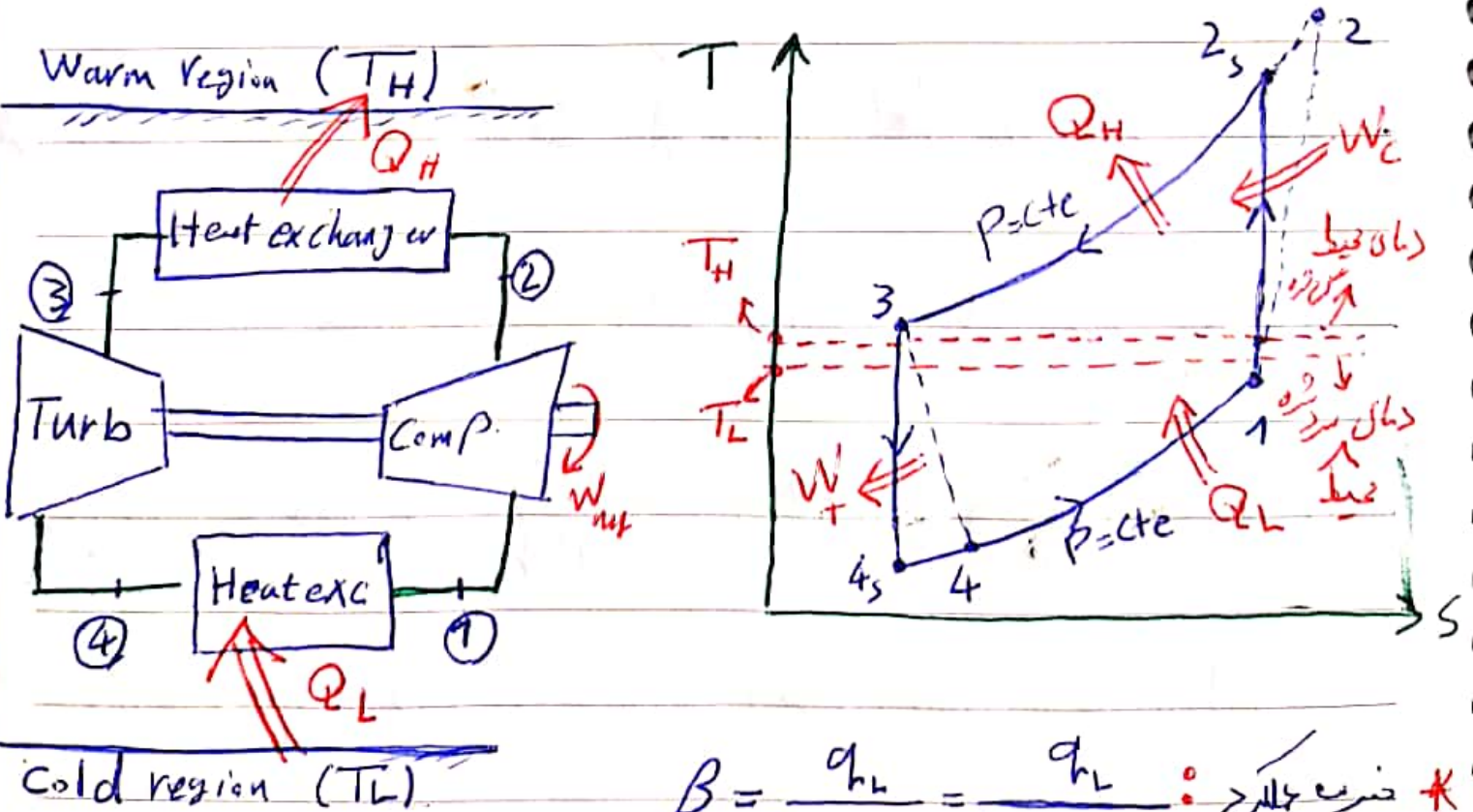
(کمپرسور) از (رُزاتور + بازتاب + محفظه جاذب + پمپ) استفاده شده که به دلیل کار مصرفی بسیار

کم پمپ در برابر کمپرسور کار مصرفی و برق مصرفی به نسبت کاهش می یابد. (انرژی مصرفی اصلی گریه ای است)

کاربرد ← منبع حرارتی ارزان نسبت در دسترس با سرد مثل انرژی خورشیدی یا بخار در نیروگاه حرارتی



سیکل تبرید استاندارد هوا ← برعکس سیکل براتون!



* ضریب کار: $\beta = \frac{q_{HL}}{W_{net}} = \frac{q_{HL}}{W_c - W_t}$

نکته) در حالت واقعی $\left\{ \begin{array}{l} T_3 > T_H \\ T_1 < T_C \end{array} \right\}$ اگر بخواهیم $T_3 = T_H$ $T_1 = T_C$ باشد باید انتقال حرارت

کامل (Perfect) انجام گیرد که نیازمند سطوح انتقال حرارت بی نهایت است و عملاً امکانپذیر نیست.

* مزایا \leftarrow نسبت به میزان تولید سرمایه اجزای ساده و سبک دارد \leftarrow در صنایعی که وزن مهم است استفاده می شود.

* معایب \leftarrow ضربه و لرزه پائین است: کمپرسور هوا را فشرده می کنند پس کار مصرفی زیادی دارد.

* کاربردها \leftarrow سرمایه هواپیما + مایع سازی گازها

* آبیایی توان در این سیل به جای توربین از سیرنشار شکن استفاده کرد؟ خیر، اگر از سیرنشار شکن

تراشیده خفگی ($h = c/c$) استفاده شود سیل کار نمی کند چون دما کاهش نمی یابد زیرا سیال عامل سیل

هوا (گاز آبی) است و می دانیم در گاز آبی آن تغییرات آنتالپی فقط تابع دماست و در نتیجه

ضربه و لرزه نامسون هوا $\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h$ برابر صفر می شود یعنی با کاهش فشار در آنتالپی

ثابت دما تغییری نمی کند و در نتیجه سیل کار نمی کند و نمی توان از سیرنشار شکن استفاده کرد.

یادآوری) ضربه و لرزه نامسون \leftarrow نسبت تغییرات دما به تغییرات فشار در در آنتالپی ثابت

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h$$

① $\mu > 0$ ← با افزایش فشار در انتالی ثابت دما هم افزایش

یابد و برعکس ← میال حاصل سیل تبرید باید $\mu > 0$ باشد!

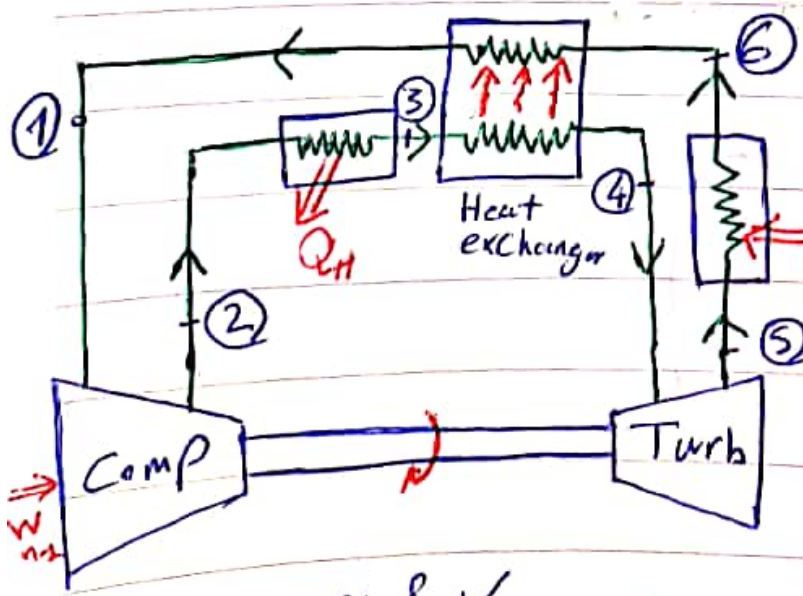
② $\mu < 0$ ← با افزایش فشار در انتالی ثابت دما کاهش میابد برعکس

③ $\mu = 0$ ← با افزایش یا کاهش فشار در انتالی ثابت دما تغییر نمیکنه

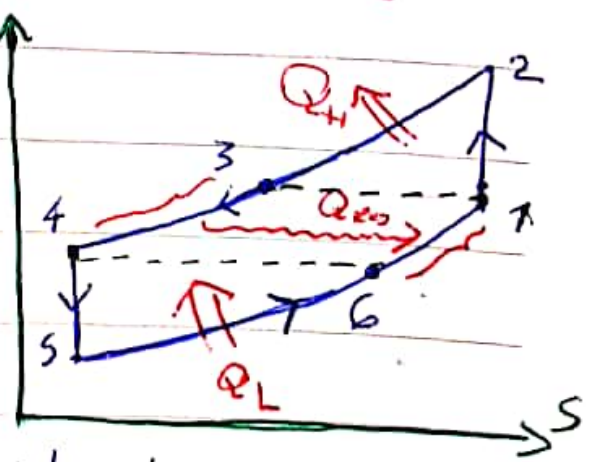
سیم خنک کننده هوا بیا ← معمولاً از کمپرسور خود موتور جت برای ترانم هوا استفاده می شود

در واقع از تفاوت میانی کمپرسور موتور جت، مقداری هوای نرسیده برای سیل تبرید زیر کس می شود

نکته) کار تولیدی توربین برق مصرفی هوا بپار آمین می کند در بطی به کمپرسور ندارد



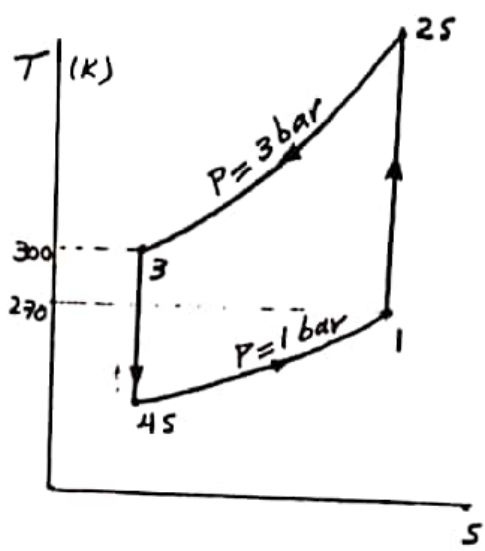
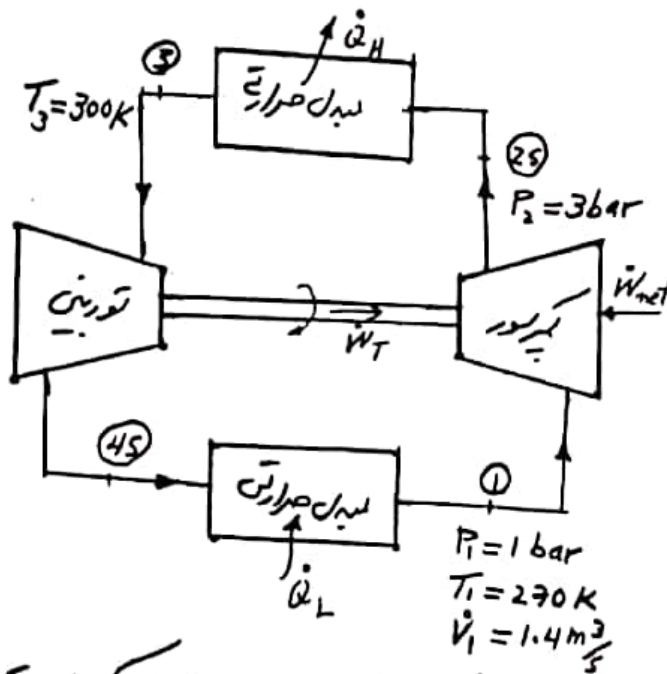
سیل تبرید استاندارد با بازتاب ←



* جهت رسیدن به دماهای پایین مناسب است و * موجب کاهش اثر تبرید می شود

مثال 14
چرخه تبرید استاندارد هوا

دین چرخه تبرید استاندارد هوا (چرخه تبرید برابری) هوا با فشار 1 bar و دما 270K در پیستون 3 بوره و دایره هوا ورودی و دمای 300K باشد. ضریب عملکرد (COP) و ضریب عملکرد (β) توان خالص ورودی (W_{net})



حل: چون چرخه ایصال است و دانه ها 1-2 و 3-4 ایزنتروپیک هستند، بنابراین فرجه کپلورد کپلوردی را برقرار می‌کنیم. $P_{25} = P_3$ و $P_{45} = P_1$. $S_{25} = S_1$ و $S_{45} = S_3$.
همه از آنجا که در حالتی داریم و در دانه‌های ما از جدول A.7 در دسترس است.

$h_1 = 270.11 \text{ kJ/kg}$, $h_{25} = 370.1 \text{ kJ/kg}$, $h_3 = 300.19 \text{ kJ/kg}$ و $h_{45} = 219 \text{ kJ/kg}$
 - ضریب عملکرد (COP):
 $P_1 V_1 = \dot{m} R T_1 \rightarrow \dot{m} = \frac{P_1 V_1}{R T_1}$

$\dot{m} = \frac{(1 \times 10^5 \text{ N/m}^2)(1.04 \text{ m}^3/\text{s})}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} (270 \text{ K})} \left(\frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}} \right) \rightarrow \dot{m} = 1.807 \text{ kg/s}$

الف - توان خالص ورودی (W_{net}):
 $\dot{W}_{net} = \dot{m}(h_{25} - h_1) - \dot{m}(h_3 - h_{45}) \rightarrow \dot{W}_{net} = 33.97 \text{ kW}$

ب - ظرفیت سرمایش سیستم (Q_L):
 $\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_{45}) \rightarrow \dot{Q}_L = 92.36 \text{ kW}$

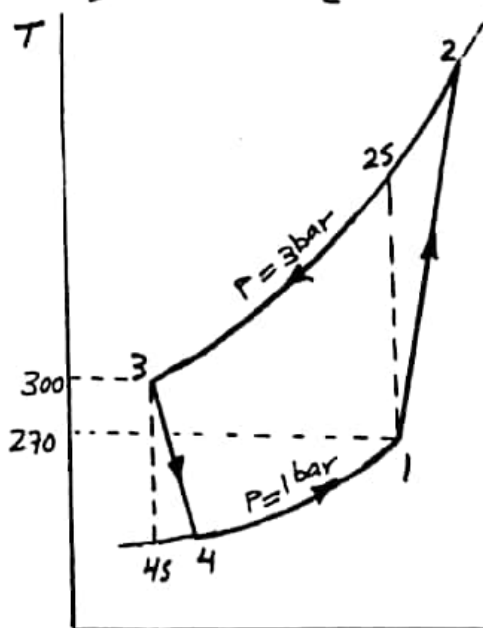
ج - ضریب عملکرد (β):
 $\beta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} \rightarrow \beta = 2.72$

سؤال 15

مصرفه و دقتش تیر به هواش

سؤال 14 را مبرداً از نظر بگیرید. دقتش در این حالت کم می شود و توربین، هر کدام دارای بازده اینترمدیوم 80٪ باشند. برای این مصرفه اصلاح شود، چه باید کرد؟

الف - توان خالص در دسترس (W_{net}) ب - ظرفیت سرشش (\dot{Q}_L) ج - فریب گلدرد (3)



حل: از سؤال 14 داریم:

$$h_1 = 270.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h_{2s} = 370.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = 300.19 \text{ "}, \quad h_{4s} = 219 \text{ "}$$

$$\dot{m} = 1.807 \text{ kg/s}$$

الف - $W_{net} = ?$

چون بازده اینترمدیوم دقتش کم می شود:

$$w_{c,s} = h_{2s} - h_1 = 99.99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_c = \frac{w_{c,s}}{w_{c,a}} \rightarrow w_{c,a} = \frac{w_{c,s}}{\eta_c}$$

$$w_{c,a} = \frac{99.99}{0.80} \approx 125 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

چون بازده اینترمدیوم دقتش کم می شود:

$$w_{t,s} = h_3 - h_{4s} = 81.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_t = \frac{w_{t,a}}{w_{t,s}} \rightarrow w_{t,a} = \eta_t \cdot w_{t,s} = 0.80 (81.19) = 64.95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{net} = w_{c,a} - w_{t,a} = 125 - 64.95 = 60.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_{net} = \dot{m} \cdot w_{net} = 1.807 (60.05) \rightarrow W_{net} = 108.5 \text{ kW}$$

ب - \dot{Q}_L : $w_{t,a} = h_3 - h_4 \rightarrow h_4 = h_3 - w_{t,a} = 235.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$\dot{Q}_L = \dot{m} (h_1 - h_4) = 1.807 \text{ kg/s} (270.11 - 235.24) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \dot{Q}_L = 63 \text{ kW}$$

$$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{W_{net}} = \frac{63}{108.5} \rightarrow \beta = 0.58$$

توجه: با افتادن این سؤال، با سؤال 14، در دو سیستم که برگشت ناپذیرهای توربین و کمپرسور تا شتابان توربین بردند و سیستم تیر به تیر همی دارند. (که در دسترس این سؤال است) و با افتادن دقتش، دقتش کم می شود.

فصل 2 مخلوط گازها

ماده خالص ← ماده ای که با ترکیب شیمیایی ثابت!

ات.

نکته) هوا ماده خالص نیست اما رفتار ماده خالص را نشان می دهد چون ترکیب هوای در همه جا تقریباً یکسان است.

هدف) تعیین خواص ترمودینامیکی مخلوط بر حسب خواص اجزا را تسهیل دهنده آن.

نکته) همه مخلوط ها گاز از این فصل گازهای ایده آل فرض می شوند. حال مخلوط با ایده

$$* m_t = m_1 + m_2 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i \quad * n_t = n_1 + \dots + n_n = \sum_{i=1}^n n_i \quad \text{جزء داریم}$$

$$* \text{جزء جرمی} : C_i = \frac{m_i}{m_t} \quad * \text{جزء مولی} : y_i = \frac{n_i}{n_t}$$

$$* m_i = n_i M_i \Rightarrow C_i = \frac{m_i}{m_t} = \frac{n_i M_i}{\sum n_j M_j} = \frac{\frac{n_i}{n_t} M_i}{\sum \frac{n_j}{n_t} M_j} = \frac{y_i M_i}{\sum y_j M_j}$$

$$\Rightarrow y_i = \frac{n_i}{n_t} = \frac{\frac{m_i}{M_i}}{\sum \frac{m_j}{M_j}} = \frac{m_i / (M_i M_t)}{\sum m_j / (M_j M_t)} = \frac{C_i / M_i}{\sum C_j / M_j}$$

$$* M_{mix} = \frac{m_t}{n_t} = \frac{\sum n_i M_i}{n_t} = \sum y_i M_i \quad \text{جرم مولی مخلوط}$$

Ex. 1) آنالیز مولی محصولات احتراق گاز زیر سوخت داده شده!

Component	y_i
CO ₂	0.08
H ₂ O	0.11
O ₂	0.07
N ₂	0.74

الف) جرم سوکلوئی مخلوط؟ ب) ثابت گاز مخلوط؟

ج) جزو جری هر کدام از اجزاء نسلی دهنده مخلوط؟

الف) $M_{mix} = \sum y_i M_i = 0.08(44) + 0.11(18) + 0.07(32) + 0.74(28) = 28.46 \frac{kg}{kmol}$

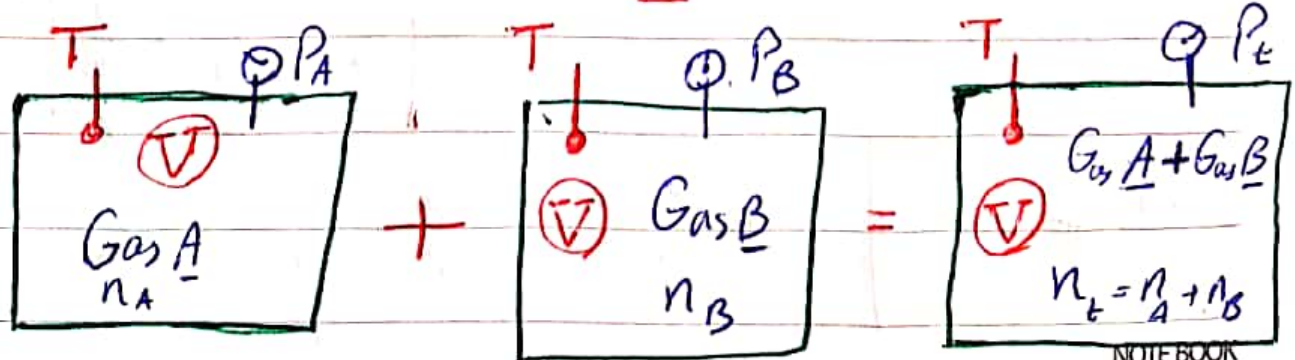
ب) $R_{mix} = \frac{\bar{R}}{M_{mix}} = \frac{8.3145}{28.46} = 292 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ $C_{CO_2} = 7.87\%$ و $C_{N_2} = 72.8\%$

ج) $C_i = \frac{y_i M_i}{\sum y_i M_i} = \frac{y_i M_i}{M_{mix}} \Rightarrow C_{CO_2} = 12.37\%$ و $C_{H_2O} = 6.96\%$

آنالیز مخلوط گازها ← ① مدل دالتون ② مدل آمگات

① مدل دالتون ← فرض می شود خواص گاز در مخلوط برابر خواص آن گاز باشد

• نکته که آن گاز به تنهایی در حجم و دما مخلوط قرار داده باشد



$$\textcircled{A} P_A V = n_A \bar{R} T, \textcircled{B} P_B V = n_B \bar{R} T, \textcircled{A+B} P_t V = n_t \bar{R} T$$

$$n_t = n_A + n_B \Rightarrow \frac{P_t V}{\bar{R} T} = \frac{P_A V}{\bar{R} T} + \frac{P_B V}{\bar{R} T} \Rightarrow P_t = P_A + P_B$$

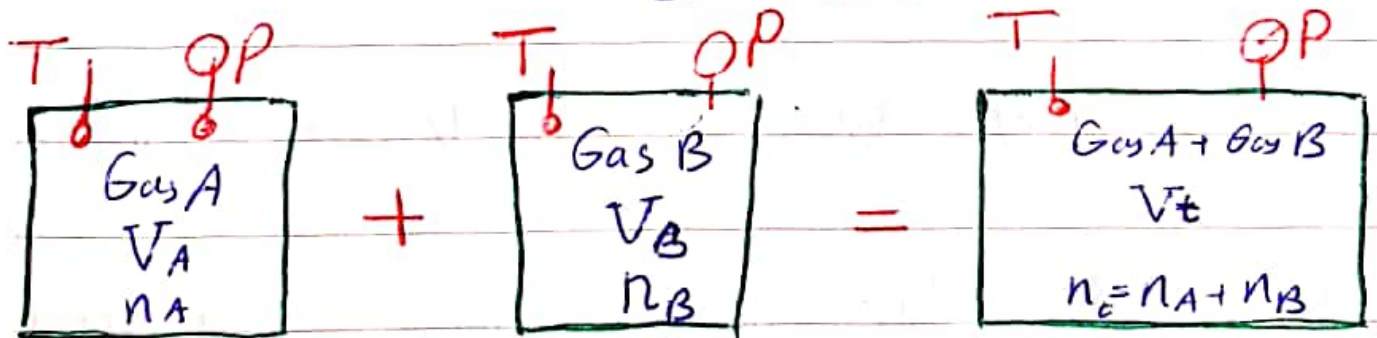
فشار جزئی B
فشار جزئی A

فشار جزئی گاز ← فشار که اگر گاز به تنهایی در حجم و دما در فلوک قرار داشته باشد دارد افزایش یابد.

$$\textcircled{A} \frac{P_A}{P_t} = \frac{n_A}{n} = y_A, \textcircled{B} \frac{P_B}{P_t} = \frac{n_B}{n_t} = y_B$$

در این مدل فرض می شود خواص گاز در فلوک برابر خواص آن گاز باشد.

هنگامی که آن گاز به تنهایی در فشار و دما در فلوک قرار داشته باشد.



$$\textcircled{A} P V_A = n_A \bar{R} T, \textcircled{B} P V_B = n_B \bar{R} T, \textcircled{A+B} P V_t = n_t \bar{R} T$$

$$n_t = n_A + n_B \Rightarrow \frac{P V_t}{\bar{R} T} = \frac{P V_A}{\bar{R} T} + \frac{P V_B}{\bar{R} T} \Rightarrow V_t = V_A + V_B$$

$$\Rightarrow \frac{V_A}{V_t} + \frac{V_B}{V_t} = 1$$

جزء جمع گاز B

$$\textcircled{A} \frac{V_A}{V_t} = \frac{n_A}{n_t} = y_A$$

$$\textcircled{B} \frac{V_B}{V_t} = \frac{n_B}{n_t} = y_B$$

نکته) برای آنکه دوزن را هم شمار کنیم کافی است یکی از مخازنی که فشار بیشتری دارد را اجازه دهیم

مقداری گاز نخلیه شود و پس از برابری شمارش را بستم و تعداد مول را اندازه گیری می کنیم.

نکته) برای آنکه شمار در ظرف مخلوط برابر دو فشار قبلی شود کافیست آن را مانند سیلندر پستون نزنیم

در گاز را مخلوط کنیم و حجم سیلندر پستون را آنقدر تغییر دهیم (مثلا با دزنده های متعادت روی

پستون) که فشار در ظرف مخلوط برابر دو فشار قبلی شود.

نکته) برای گازهای ایده آل مدل ها که آمگات در دالتون دقیق بوده و نتایج یکسانی می دهند

نیاز خواص ترمودینامیکی مخلوط گازها را ایده آل (بر حسب اجزای شکل دهنده مخلوط) ←

از مدل دالتون استفاده می شود ← چون به واقعیت نزدیک تر است $(\bar{h} = \frac{Kz}{m.l})$

$$* U = U_1 + \dots + U_n = \sum U_i = n_1 \bar{u}_1 + n_2 \bar{u}_2 + \dots + n_j \bar{u}_j = \sum_{n=1}^j n_i \bar{u}_i$$

$$* H = H_1 + \dots + H_n = \sum_{n=1}^j H_i = n_1 \bar{h}_1 + n_2 \bar{h}_2 + \dots + n_j \bar{h}_j = \sum_{n=1}^j n_i \bar{h}_i$$

نکته) گاز ایده آل ← \bar{u} و \bar{h} فقط تابع دماست ← \bar{u}_i و \bar{h}_i در دمای مخلوط قرانت می شوند

$$S = S_1 + \dots + S_j = \sum_{i=1}^j S_i = n_1 \bar{S}_1 + n_2 \bar{S}_2 + \dots + n_j \bar{S}_j = \sum_{i=1}^j n_i \bar{S}_i$$

نکته: \bar{S}_i نام دما و فشار است $\leftarrow \bar{S}_i$ در دمای مخلوط و فشار جزئی P_i ترات مساوی است.

حساب کرد

نکته: U و H و S خواص گسترده (extensive) هستند پس می توان مقادیر را بصورت جمع اجزا شکل دهیم

* تغییر آنتروپی طی فرآیند اختلاط گازهای ایده آل \leftarrow می دانیم اختلاف یلی از دلایل تغییر

آنتروپی را ایجاد برکت ناپذیری است و آنتروپی موله نام مخلوط گازهای ایده آل برابر است

$$S_i = S_{T_i}^0 - R_i \ln \left(\frac{y_i P}{P_0} \right) \quad \leftarrow \text{تغییر آنتروپی اختلاف دما ثابت دو گاز A و B}$$

$$S_2 - S_1 = \sum_{gen\ mix} = M_A (S_2 - S_1)_A + M_B (S_2 - S_1)_B \Rightarrow S_{T_i}^0 \text{ ها ساده می شود}$$

$$= M_A \left(0 - R_A \ln \frac{P_A}{P} \right) + M_B \left(0 - R_B \ln \frac{P_B}{P} \right) = -M_A R_A \ln y_A - M_B R_B \ln y_B$$

$$\Rightarrow S_{gen\ mix} = -n_A \bar{R} \ln y_A - n_B \bar{R} \ln y_B \Rightarrow \text{برای اختلاف گاز ایده آل}$$

$$\Rightarrow S_{gen\ mix} = -\bar{R} \sum_K n_K \ln y_K = -n \bar{R} \sum_K y_K \ln y_K$$

خلوط گاز و بخار ← آنالیز مخلوط هوا و بخار آب در تهویه مطبوع کاربرد دارد چایی که ما باید

بایستی خواص مخلوط هوا و بخار آب بر مبنای میزان هوای خشک و همچنین میزان رطوبت موجود

در مخلوط به مخلوط هوا و بخار آبی با کیفیت مطلوب (دما و رطوبت مناسب) برسیم.

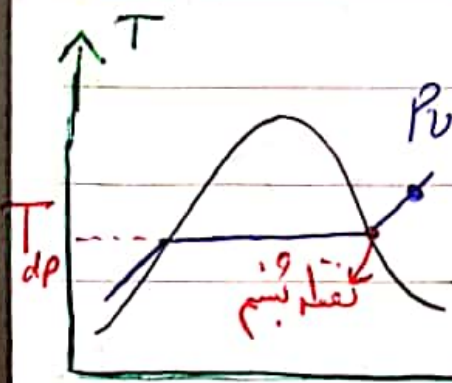
فرضیات ۱ ← گازها مخلول در فاز مایع (که با هوای رطوبت آبی به تعادل ترمودینامیکی

رسیده) وجود ندارد ۲) هوا و بخار آب هر دو گاز ایده آل هستند ۳) تعادل

ترمودینامیکی کنذانه (مایع) و بخار آب تحت تأثیر سایر مولفه های گازی حرارت ندارد

یعنی اگر بین این دو فاز تعادل ترمودینامیکی برقرار باشد، فشار جزئی بخار آب برابر

فشار جزئی بخار در دمای مخلوط خواهد بود



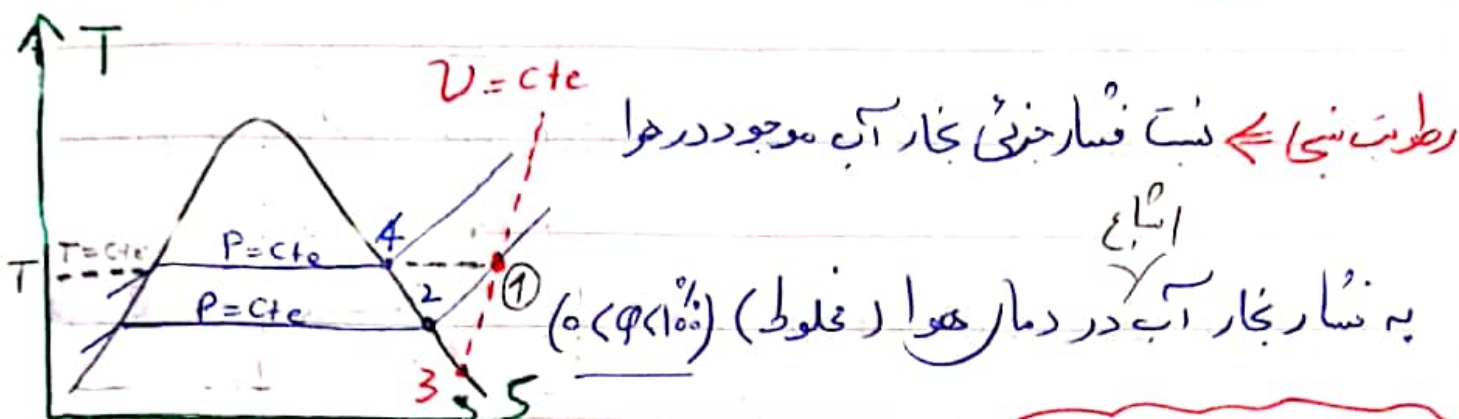
نقطه شبنم ← دمای است که اگر هوای مرطوب را طی فشار ثابت

تا آن دما سرد کنیم، اولین قطره شبنم تشکیل خواهد شد (Pew point)

جگالس ← تغییر فاز بخار به مایع (تقطیر، میعان)

بسیار ساده تره

هوای اسیب ← هوایی که بخار موجود در آن در دما و فشار اسیب باشد (بخار آب جرم بخار اول)



رطوبت نسبی ← نسبت فشار جزئی بخار آب موجود در هوا

به نسبت بخار آب در دما و هوا (مخلوط) $(0 < \phi < 100\%)$

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{P_1}{P_4} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_v v_v = RT \\ P_g v_g = RT \end{array} \right. \Rightarrow \frac{P_v}{P_g} = \frac{v_g}{v_v} \Rightarrow \phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{v_g}{v_v} = \frac{\rho_v}{\rho_g}$$

رطوبت مطلق (نسبت رطوبت، رطوبت مخصوص) ← میزان رطوبت موجود در واحد جرم هوای

$$w = \frac{m_v}{m_a} \Rightarrow m_{v,a} = \frac{P_{v,a} V}{R_{v,a} T} = \frac{P_{v,a} V M_{v,a}}{R T} \quad \leftarrow \text{خشک}$$

$$w = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{R_a P_v}{R_v P_a} = \frac{M_v P_v}{M_a P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_{total} - P_v}$$

Ex.2) اتاقی با ابعاد 3 x 5 x 5 متر مادی هوا در دما 25°C و فشار 100 kPa

رطوبت نسبی 75% می باشد. محاسبه کنید (الف) دمای نقطه شبنم (ب) فشار هوای خشک

(ج) نسبت رطوبت (د) جرم هوای خشک (ه) جرم بخار آب

2.38 kPa

$$T = 25^\circ C \xrightarrow{B.11} P_g = 3.169 \text{ kPa} \Rightarrow \phi = \frac{P_v}{P_g} \Rightarrow P_v = 0.75 \times 3.169$$

(الف)

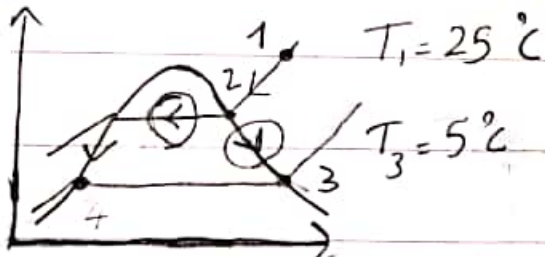
$$P_v = 2.38 \text{ kPa} \xrightarrow{B.1.2} T_{dp} = 20.2^\circ\text{C} \Rightarrow P_a = P - P_v = 100 - 2.38 = 97.62 \text{ kPa}$$

$$W = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = \frac{0.622 \times 2.38}{(100 - 2.38)} = 0.0152 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg dry air}}$$

$$V_a = V_v = V_{\text{room}} = 5 \times 5 \times 3 = 75 \text{ m}^3 \Rightarrow m_a = \frac{P_a V_a}{R_a T} = \frac{97.62 \times 75}{0.287 \times 298} = 85.61 \text{ kg}$$

$$m_v = \frac{P_v V_v}{R_v T} = \frac{2.38 \times 75}{0.4615 \times 298} = 1.3 \text{ kg} \quad \text{b) } m_v = W m_a = 0.0152 \times 85.61 = 1.3 \text{ kg}$$

Ex.3 مخلوط هوای بخار آب سال 2 را در نظر بگیرید، اگر این مخلوط طی فرآیند فشار ثابت تا دما



5°C سرد سرد، مقدار بخار چالیده شده را به دست آورید!

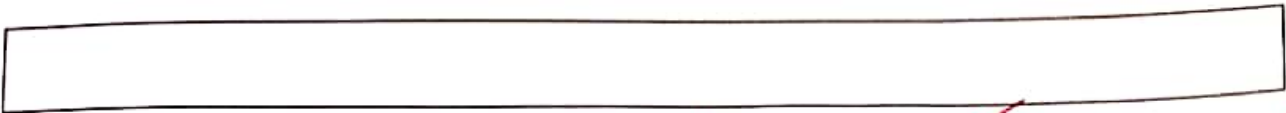
نقطه 1 را طی فشار ثابت سردی کنیم و به بخار آب در نقطه 2 رسیدیم، مقداری از بخار آب اشیاء به صورت بخار آب اشیاء باقی مانده و دما در آن تا نقطه 3 پایین می آید، مقداری از آن هم مایع شده است.

$$T_3 = 5^\circ\text{C} \xrightarrow{B.1.1} P_{v_3} = P_{g_3} = 0.872 \text{ kPa} \Rightarrow P_{a_3} + P_{v_3} = 100 \text{ kPa} \Rightarrow$$

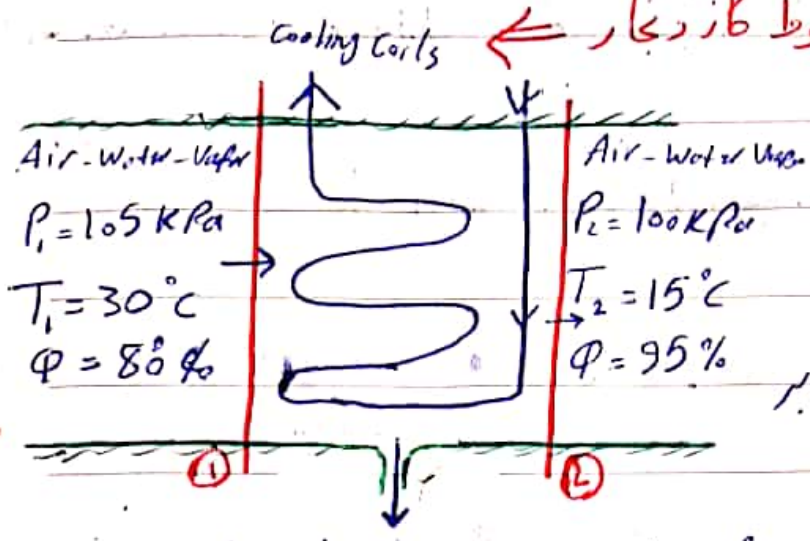
$$P_{a_3} = (100 - 0.872) \text{ kPa} = 99.128 \text{ kPa} \Rightarrow W_3 = 0.622 \frac{P_{v_3}}{P_{a_3}} = 0.0055 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg dry air}}$$

$$\text{از مثال: } \begin{cases} W_1 = 0.0152 \\ m_a = 85.61 \text{ kg} \end{cases} \Rightarrow m_l = m_a (W_1 - W_3) = 85.61 (0.0152 - 0.0055)$$

$$\Rightarrow m_l = 83 \text{ kg}$$



قانون اول ترمودینامیک برای مخلوط گاز و بخار ←



(Ex. 4) سیستم تهویه مطبوع نشان داده

در شکل را در نظر بگیرید. انتقال حرارت بر

واحد حجم هوای خشک را محاسبه کنید. Condensed liquid water: $T = 15^\circ\text{C}$

نکته) اگر دمای سطح coil از دمای سیستم مخلوط پایین تر یا بر مقدار بخار آب کنش می شود که همین اتفاق

افتاده
نکته) اگر رطوبت آن با رطوبت نسبی 100% شود اما چون هوا با سطح کویل کامل تماس ندارد

معادله بقا در جرم: $\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_o$
 بقای آب: $\sum \dot{m}_i v_i = \sum \dot{m}_e v_e \Rightarrow \dot{m}_v1 = \dot{m}_v2 + \dot{m}_l2$

First law: $\dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i h_i = \dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_e h_e \Rightarrow$

$\dot{Q}_{cv} + \dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_v h_{v1} = \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_v h_{v2} + \dot{m}_l h_{l2} \quad \div \dot{m}_a$

$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} + h_{a1} + \omega_1 h_{v1} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2} + (\omega_1 - \omega_2) h_{l2} \Rightarrow$

$T_1 = 30^\circ\text{C} \xrightarrow{\text{B11}} P_{g1} = 4.246 \text{ kPa} \Rightarrow P_{v1} = \phi P_{g1} = 0.8 \times 4.246 = 3.397 \text{ kPa}$

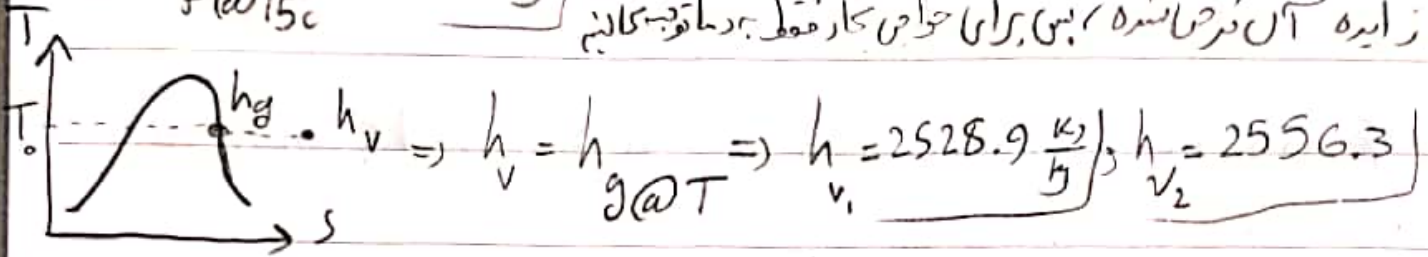
$\Rightarrow \omega = 0.622 \frac{P_{v1}}{P_{t1} - P_{v1}} = 0.622 \times \frac{3.397}{1.05 - 3.397} = 0.0208$

$$T_2 = 15^\circ \text{C} \xrightarrow{\text{B11}} p_{g2} = 1.7051 \text{ kPa} \Rightarrow p_{v2} = \phi_2 p_{g2} = 0.95 \times (1.7051) = 1.62 \text{ kPa}$$

$$\omega_2 = 0.622 \frac{p_{v2}}{p_2 - p_{v2}} = 0.622 \frac{1.62}{100 - 1.62} = 0.0102$$

$$h_{l2} = h_{f@15^\circ \text{C}} = 62.99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

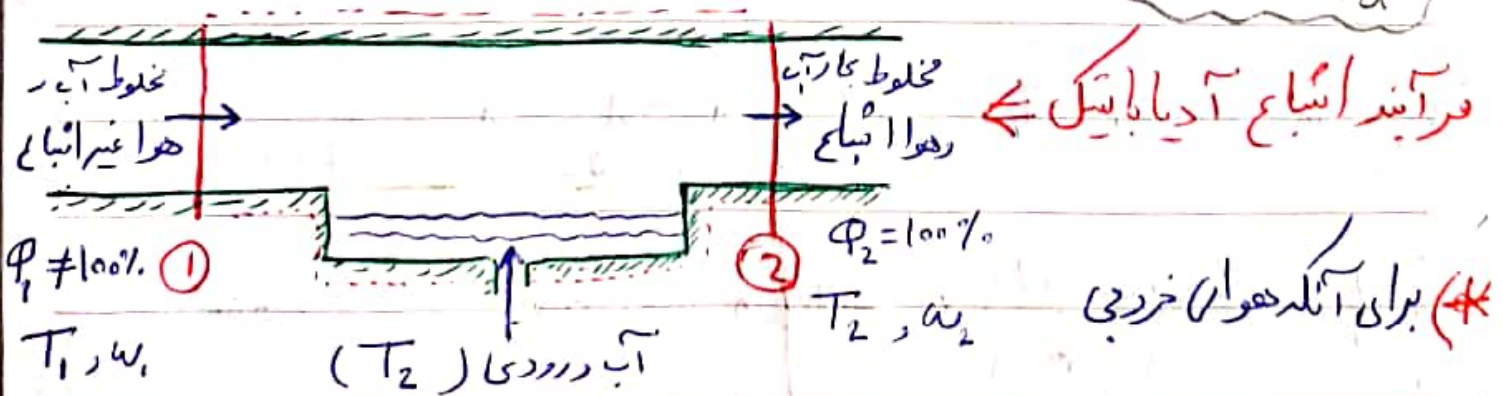
می دانیم در گاز ایده آل آنتالپی تنها تابع دماست و بخار آب
گاز ایده آل فرض شده پس برای خواص بخار فقط به دما توجه کنیم



$$\Rightarrow h_{a2} - h_{a1} = c_{p_a} (T_2 - T_1) = 1.004 (15 - 30) \Rightarrow$$

$$\text{first law: } \frac{Q_{cv}}{m_a} = 1.004 (15 - 30) + 0.0102 (2528.9)$$

$$-0.0208 (2556.3) + (0.0208 - 0.0102) (62.99) = -41.76 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_a}$$



کاملاً اشباع بایست می توانیم آب را داخل هوا بیاییم یا اینکه سطح تبادل هوا و آب آنقدر زیاد

سود باشد که هوا نسبت کافی داشته باشد تا حدی که امکان نیز هست و آنچه بخار در هوا

فرضیات ① هوای خردی: اسباع، ② فرآیند آدیاباتیک و پایا به اندازه آب تبخیر شده

آب به مخلوط افتاده شود. ③ دمای آب افتاده شده برابر دمای هوای خردی (T_2)

به این فرآیند، فرآیند اسباع آدیاباتیک و به دمای هوای اسباع خردی از آن دمای اسباع آدیاباتیک می‌گویند

انرژی: ① فرآیند اسباع آدیاباتیک: $\Delta KE = 0$ و $\Delta PE = 0$ - فرآیند SSSF

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{معادله} \\ \text{پوستگی} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} * m_{a1} = m_{a2} = m_a \\ * m_{v1} + m_{l1} = m_{v2} \end{array} \right. \xrightarrow{w = \frac{m_v}{m_a}} \omega_1 \dot{m}_1 + \dot{m}_1 = \omega_2 \dot{m}_2 \Rightarrow \dot{m}_l = (\omega_2 - \omega_1) \dot{m}_a$$

$$\text{First Law} \quad \dot{Q}_{cv} + \dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_v h_{v1} + \dot{m}_l h_{l1} = \dot{W}_{cv} + \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_v h_{v2} \xrightarrow{\div \dot{m}_a}$$

$$\Rightarrow h_{a1} + \omega_1 h_{v1} + (\omega_2 - \omega_1) h_{l1} = h_{a2} + \omega_2 h_{v2} \Rightarrow \omega_1 (h_{v1} - h_{l1}) = h_{a2} - h_{a1} + \omega_2 (h_{v2} - h_{l2})$$

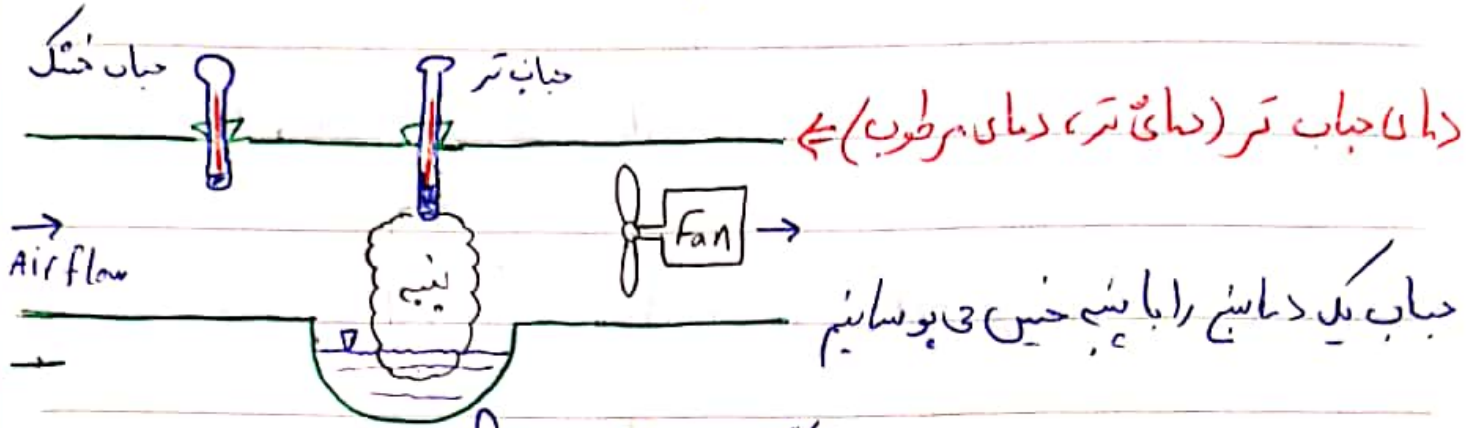
$$* h_{a2} - h_{a1} = C_p (T_2 - T_1) \quad \text{و} \quad * h_{v2} - h_{l2} = h_{fg2}$$

$$\Rightarrow \omega_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{v1} - h_{l2}} \quad \text{و} \quad \omega_2 = 0.622 \frac{P_{v2}}{P_2 - P_{v2}} = 0.622 \frac{P_{g2}}{P_2 - P_{g2}}$$

با محاسبه رطوبت مطلق ω_1 ، P_{v1} و P_{g1} بدست آمده پس رطوبت نسبی ϕ_1 نیز بدست می‌آید، (در واقع)

هدف از اندازه‌گیری دار اسباع آدیاباتیک، اندازه‌گیری رطوبت هوا است

دماى جاب خشک ← دماى که دما سنج معمولى اندازه گيرى مى کند.



در معرض جریان هوا محیط ترماری دهیم. اگر هوا اشباع نباشد، در ابتدا مقداری آب با

جذب حرارت از بقیه آب، تبخیر شده دمای آب پائین می آید، با ایجاد اختلاف دما

بین آب و هوای عبوری، گرما از هوا عبورت جایابی به آب منتقل می شود. در این حالت

گرمای نهان لازم برای تبخیر آب از بقیه آب و هوای عبوری کاهش می شود. با ادامه این

فرآیند، آب سرد تر شده در نتیجه اختلاف دمای آب و هوا در نتیجه اتساع حرارت از هوا به

آب افزایش می یابد. انقدر دمای آب پائین می آید که حرارت جذب شده از هوا با گرماى صزن

شده بهت تبخیر آب برابر می شود. از این لحظه به بعد دما تغییراتی نمی کند. دماى کدما سنج

در این لحظه نشان می دهد همان دمای جاب تر است.

نکته) دمای جاب تر هوای از دمای جاب خشک کمتر است (زیرا در اثر تبخیر آب دمای آب پایین تر خواهد شد)

آمده) مگر اینکه هوا همان (ول هوا) اشیاع باشد که در این صورت آبی تبخیر شده و دما برابر دمای جاب خشک

نکته) دمای جاب تر تقریباً با دمای اشیاع آدیاباتیگ (برای بخار آب) برابر است.

$$W = \frac{C_p (T_{wb} - T_{db}) + W_{wb} (h_{fg})_{wb}}{(h_v)_{db} - (h_l)_{wb}}$$

← با داشتن دمای جاب خشک و تری دهن رطوبت هوا را اندازه گیریم.

نکته) دمای جاب خشک، دمای جاب تر و دمای بیسم هوا و اشیاع با هم برابرند.

Ex. 5) دمای جاب خشک و ترها با فشار 1 atm به ترتیب 25°C و 15°C اندازه گیری شده

رطوبت مخصوص در رطوبت نسبی هوا را محاسب کنید $P = 1.705 \text{ kPa}$ $\frac{P_{vwb}}{P} = 1.705$

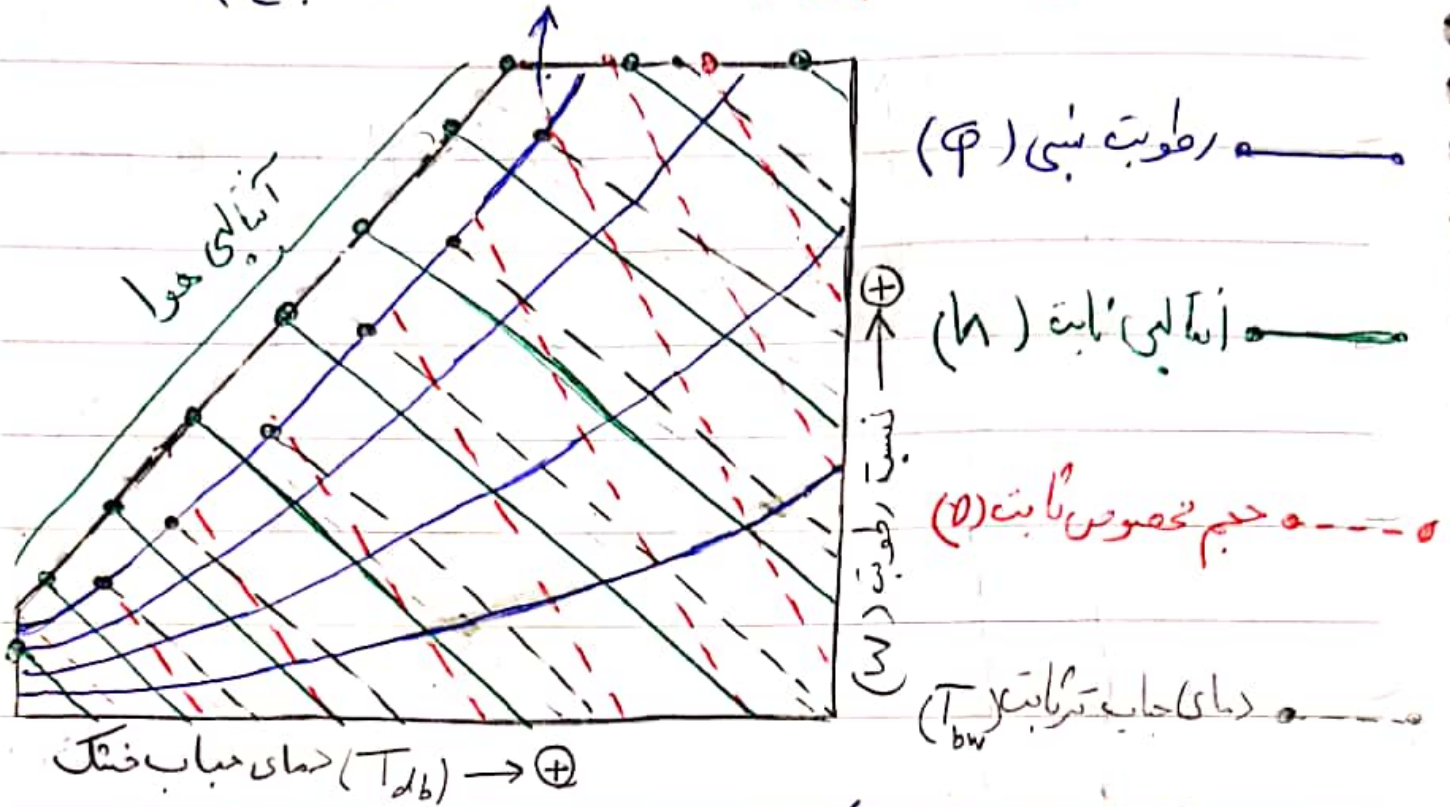
$$W_{wb} = 0.622 \frac{P_{vwb}}{P - P_{vwb}} = 0.622 \frac{1.705}{101.325 - 1.705} = 0.01068 \frac{\text{kg w}}{\text{kg d}}$$

$$T_{db} = 25^\circ\text{C} \Rightarrow h_{vdb} = 2547.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad T_{wb} = 15^\circ\text{C} \Rightarrow \begin{cases} (h_v)_{wb} = 2528.91 \\ (h_{fg})_{wb} = 2465.93 \\ (h_l)_{wb} = 62.98 \end{cases}$$

$$\Rightarrow W = \frac{C_p (T_{wb} - T_{db}) + W_{wb} (h_{fg})_{wb}}{(h_v)_{db} - (h_l)_{wb}} = 0.00653 \Rightarrow$$

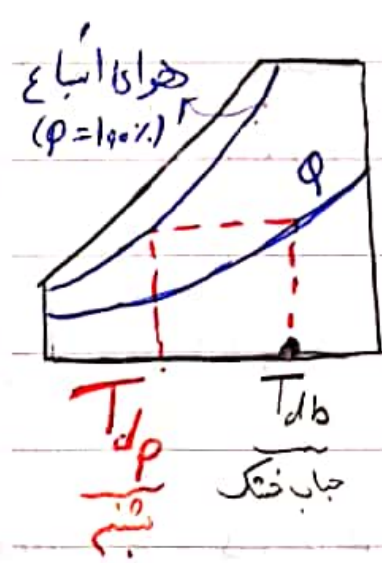
$$W = 0.622 \frac{P_{vdb}}{P - P_{vdb}} \Rightarrow P_{vdb} = 1.053 \text{ kPa} \Rightarrow P = \frac{P_{vdb}}{P_{gdb}} = 33.28\% \text{ Duno}$$

نمودار سایکلومتریک (رطوبت نسبی) $\leftarrow \phi = 100\%$ (هوای اشباع)



نکته: ای دهم مدار سایکلومتریک ترسیم شده و با تغییر فشار نمودار تغییر می کند.

نکته: با داشتن دو خاصیت می توان سایر خواص را از نمودار بدست آورد.



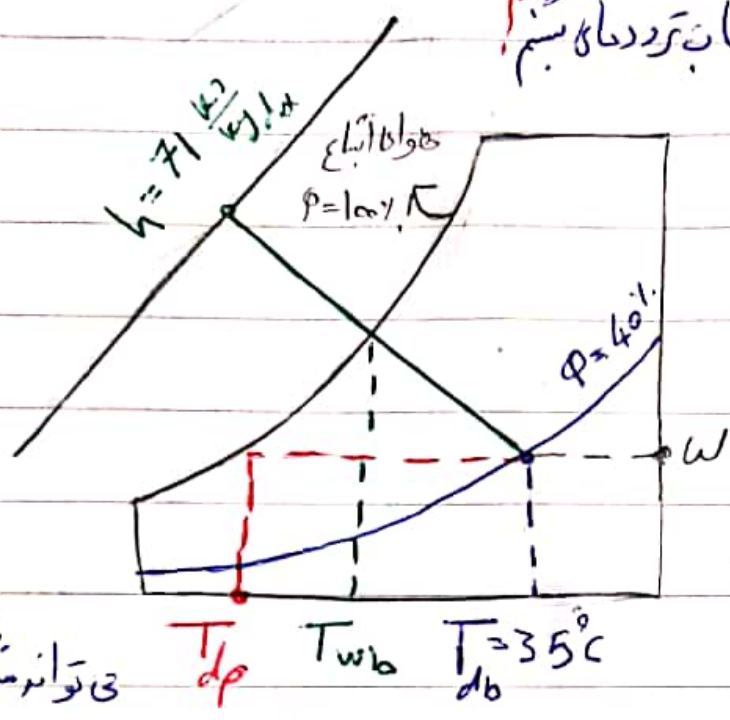
نکته: خطوط آنتالپی ثابت و دمای مرطوب ثابت تقریباً برابرند.

نکته: برای بدست آوردن دمای سیستم (در T_{db} و ϕ مشخص) \leftarrow

نکته: کاربرد اصلی این نمودار در تهویه مطبوع است.

Ex.6) آباتی را در نظر بگیرید که حاوی هوای در فشار 1 atm و دمای 35°C و رطوبت نسبی 40% است.

رطوبت مخصوص، آنتالپی مخصوص، دمای جیب سرد و دمای سبم؟



$$h = 71 \frac{kJ}{kg \text{ dry air}}$$

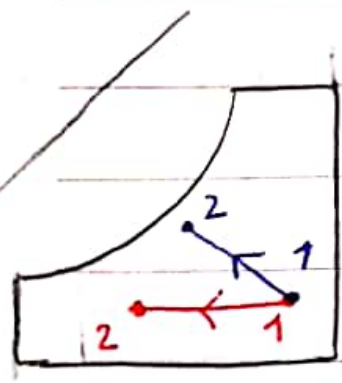
$$\omega = 0.014 \frac{kg \text{ water}}{kg \text{ dry air}}$$

$$T_{wb} = 23^\circ C \text{ و } T_{dp} = 19^\circ C$$

باسه!
می توانم متفاوت

نکته) از آن جایی که مرجع صفر نمودارها مختلف فرق دارد، مقادیر آنتالپی در نمودارهای مختلف

فرآیندهای سایکرومتریک ←



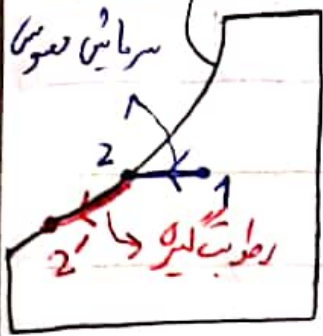
نکته
① سرمایش تبخیری (کولرهای آبی) ← دمای مرطوب ثابت آنتالپی تقریباً

نکته) اگر رطوبت نسبی هوای محیط خیلی بالا باشد سرمایش تبخیری عملاً کار ساز نیست ← زیرا

پس از طی فرآیند کولر آبی هوا اسباب سرد دیگر خشک کاری تبخیری انجام نمی شود.

② سرمایش مخصوص (کولر گازی) ← رطوبت ثابت، دمای سبم ثابت

هوای آسب $\varphi = 100\%$

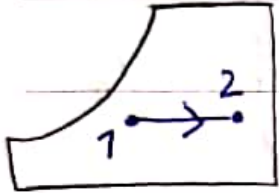


نکته) اگر رطوبت نسبی هوای محیط خنثی بالا باشد تا قبل از رسیدن به هوای

اسباع سرمايش محسوس دايريم و پس از آن سرمايش همراه رطوبت گيري خواهد بود.

نکته) در سرمايش مخصوص رطوبت نسبی انزایش می یابد ←

انزایش می یابد $\Rightarrow \varphi \uparrow$ ، $P_g \downarrow$ ، $P_v = cte$: $\varphi = \frac{P_v}{P_g}$



3) سرمايش محسوس ← رطوبت مطلق ثابت ، دمای بسنج ثابت !

رطوبت نسبی φ کاهش می یابد ، فرآیند گرمایش بدون رطوبت نسبی : $P_v = cte$ ، $P_g \uparrow$

فصل 3 روابط ترمودینامیکی

اندازه گیری خواص ترمودینامیکی ← (1) برخی خواص مستقیماً قابل اندازه گیری هستند

حجم محسوس

← دما ، جرم ، حجم ، فشار - (2) برخی خواص با روابط ساده قابل اندازه گیری اند ← چگالی

(3) برخی خواص را به سادگی نمی توان اندازه گرفت ← انتقالی ، انرژی داخلی و انترپی

هدف یافتن روابط برای تعیین خواص دسته سوم که جداول خواص در محاربه حالت بر اساس آن بنا شدند



NOTE BOOK

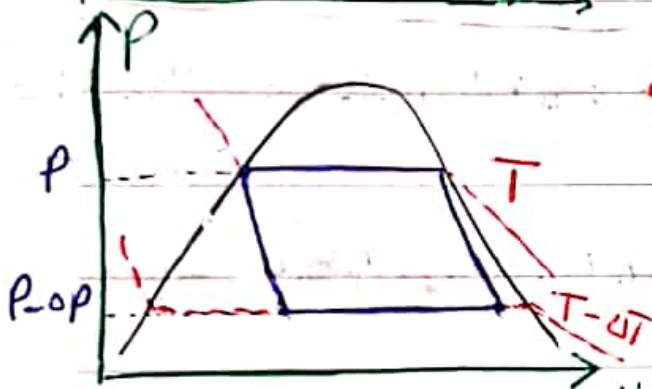
نکته: برخی از روابط برای تغییر فاز در برقی فقط برای یک فاز سخن کار برد دارند.

معادله کلاسیک ← برای اندازه گیری انسابی دانستری تغییر فاز (S_{fg} و h_{fg})



* $q_H = T S_{fg}$, $q_L = (T - \Delta T) S_{fg}$ (I)

$\Rightarrow W_{net} = q_H - q_L = \Delta T S_{fg} = h_{fg} \Rightarrow S_{fg} = \frac{h_{fg}}{\Delta T}$ *



* $W_{net} = 0 - \int_2^3 v dp + 0 - \int_4^1 v dp$

(به دلیل کوچک بودن لا دید مقدار متوسط در نظر گرفته از انحراف خارجی کنیم) (II)

$\Rightarrow W_{net} = -\left(\frac{v_2 + v_3}{2}\right)(P - 0P - P) - \left(\frac{v_1 + v_4}{2}\right)(P - P + \Delta P) = \Delta P \left[\left(\frac{v_2 + v_3}{2}\right) - \left(\frac{v_1 + v_4}{2}\right) \right]$

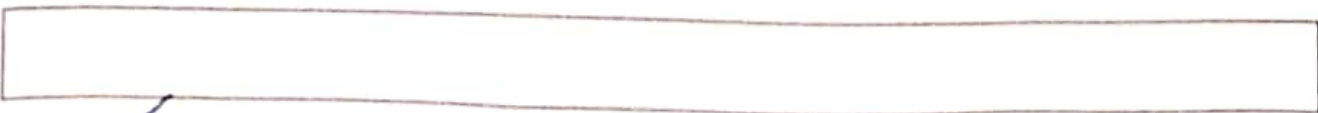
(I) $\Delta P \approx \frac{S_{fg}}{\left(\frac{v_2 + v_3}{2}\right) - \left(\frac{v_1 + v_4}{2}\right)}$ *

(II) $\Delta T \rightarrow 0 \Rightarrow \begin{cases} v_3 \rightarrow v_2 = v_g \\ v_4 \rightarrow v_1 = v_f \end{cases}$

$\Rightarrow \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{S_{fg}}{v_{fg}} \Rightarrow \frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{S_{fg}}{v_{fg}} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}}$ *

← P و T و v خواصی هستند که به راحتی می توان اندازه گرفت و با استفاده از آنها

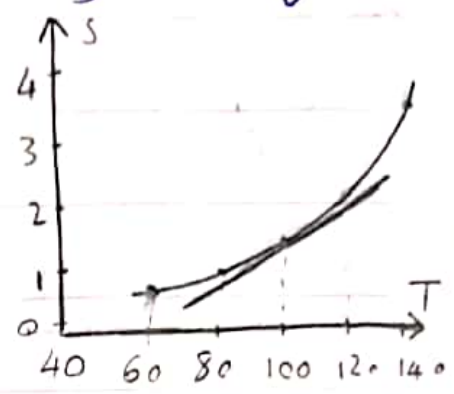
می توان معادیر S_{fg} و h_{fg} را محاسبه کرد. (دما مخلوق k)



Ex. 1) با استفاده از داده‌های $P-v-T$ جدول آب اشباع در دمای 100°C محاسبه کنید.

معادله کلایرون: $h_{fg} = T v_{fg} \left(\frac{dP_{sat}}{dT} \right) \leftarrow \int_{fg} u_{fg} \left(\frac{dP}{P} \right) + h_{fg}$

$T = 100^\circ\text{C} \Rightarrow \begin{cases} P_{sat} = 101.3 \text{ kPa} \\ v_{fg} = 1.67185 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{cases} \Rightarrow$



برای چیزها قبل و بعد از 100°C ، مار اشباع را ببرد
آورده و نمودار تقریبی رسم می‌کنیم، شب خط مماس در $T = 100^\circ\text{C}$ برابر $\frac{dP_{sat}}{dT}$ است

$\frac{dP_{sat}}{dT} = 3.571 \frac{\text{kPa}}{\text{K}} \Rightarrow h_{fg} = (373.15)(1.67185)(3.571) = 2227.77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$u_{fg} = h_{fg} - P_{sat} v_{fg} = 2227.77 - (101.3)(1.67185) = 2058.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

2.) $s_{fg} = \frac{h_{fg}}{T} = \frac{2227.77}{373.15} = 5.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ \Rightarrow خنثی دارد

همه معاینه خطار اندکی نیست به معنی دراز که به دلیل خطار برآزش منحنی دانه از کمر شب است نه معادله کلایرون!

رابط ریاضی برای یک فاز هستی \leftarrow داریم در یک فاز ممکن هر خاصیت تابع در خاصیت سرتی است.

$Z = f(m, y) \Rightarrow dz = \left(\frac{\partial z}{\partial m} \right)_y dm + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_m dy \Rightarrow dz = M dm + N dy$

$\left(\frac{\partial M}{\partial y} \right)_m = \left[\frac{\partial \left(\frac{\partial z}{\partial m} \right)_y}{\partial y} \right]_m = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial m}$, $\left(\frac{\partial N}{\partial m} \right)_y = \left[\frac{\partial \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_m}{\partial m} \right]_y = \frac{\partial^2 z}{\partial m \partial y}$

خواص ترمودینامیکی توابع نقطه‌ای
 پیوسته با دینفرانسیل دقیق است $\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x} \Rightarrow \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)_y$ ******

***** $x = x(y, z) \Rightarrow dx = \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z dy + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y dz$
 $y = y(x, z) \Rightarrow dy = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z dx + \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x dz$

حذف dx $\Rightarrow dx = \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z dx + \left[\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y\right] dz$

$\Rightarrow \left[1 - \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z\right] dx = \left[\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y\right] dz$ *******

نکته: x, z مستقل هستند پس می‌توانیم برای روابط تکرار در حالتیکه پارامتر دیگر تغییر نکند!

***** $dz = 0, dx \neq 0 \Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z = 1 \Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \frac{1}{\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z}$ **رابطه متقابل** *******

***** $dx = 0, dz \neq 0 \Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x = -\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y = \frac{-1}{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y}$

$\Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$ **رابطه سیکلی**

$du = Tds - pdv$ **(1)** , $dh = Tds + vdp$ **(2)** *** روابط کسین**

(3) $a = u - Ts \Rightarrow da = du - Tds - sdT = -pdv - sdT$

$$y = h - TS \Rightarrow dy = dh - Tds - sdT \Rightarrow \underline{dy = vdp - sdt} \quad (4)$$

$$dz = Mdu + Ndy \quad (**) \left(\frac{\partial M}{\partial y} \right)_n = \left(\frac{\partial N}{\partial u} \right)_y \quad \leftarrow \text{رابطه ماکسول}$$

$$(1) \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial v} \right)_s = - \left(\frac{\partial p}{\partial s} \right)_v \quad (2) \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_s = \left(\frac{\partial v}{\partial s} \right)_p$$

$$(3) \Rightarrow \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T \quad (4) \Rightarrow \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = - \left(\frac{\partial s}{\partial p} \right)_T$$

نکته) روابط سوم و چهارم ماکسول از اهمیت بیشتری برخوردار است \leftarrow در این روابط s

یک طرف و p و v و T (کمیت‌هایی که اندازه‌گیری‌شان راحت است) درست دیگر قرار دارد.

نکته) رابطه سوم از رابطه چهارم بهتر است \leftarrow در بیشتر موارد تغییرات شمار بر حسب دما و حجم داده می‌شود

$$M = \left(\frac{\partial z}{\partial u} \right)_y, \quad N = \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_u \quad \leftarrow \text{چند رابطه کمکی}$$

$$(1) \Rightarrow T = \left(\frac{\partial u}{\partial s} \right)_v, \quad p = - \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_s \quad (2) \Rightarrow T = \left(\frac{\partial h}{\partial s} \right)_p, \quad v = \left(\frac{\partial h}{\partial p} \right)_s$$

$$(3) \Rightarrow p = - \left(\frac{\partial a}{\partial v} \right)_T, \quad s = - \left(\frac{\partial a}{\partial T} \right)_v \quad (4) \Rightarrow v = \left(\frac{\partial g}{\partial p} \right)_T, \quad s = - \left(\frac{\partial g}{\partial T} \right)_p$$

(Ex. 2) اعتبار آخرین رابطه ماکسول را برای بخار آب در 250°C و 300 kPa نشان دهید

رابطه ماکسول: $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = -\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T \Rightarrow \left(\frac{\Delta v}{\Delta T}\right)_{300\text{ kPa}} = -\left(\frac{\Delta s}{\Delta P}\right)_{250^\circ\text{C}}$ (*)

$$\left(\frac{\Delta v}{\Delta T}\right)_{300\text{ kPa}} = \left[\frac{v_{300^\circ\text{C}} - v_{200^\circ\text{C}}}{(300 - 200)^\circ\text{C}} \right]_{300\text{ kPa}} = \frac{0.87529 - 0.71629}{100} = 0.00159 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$-\left(\frac{\Delta s}{\Delta P}\right)_{250^\circ\text{C}} = \left[\frac{s_{400\text{ kPa}} - s_{200\text{ kPa}}}{(400 - 200)\text{ kPa}} \right]_{250^\circ\text{C}} = \frac{7.3788 - 7.7085}{200} = -0.00165 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

(*) $0.00159 \approx 0.00165 \Rightarrow 4\% \text{ Error} \Rightarrow$ علت خطا تبدیل ۵ بر ۱۰ دلیل ۴٪
 اطلاعات کافی است نه قانون ماکسول

رابطه کلی برای محاسبه تغییرات انرژی داخلی، انتالپی و انتروپی ←

تغییرات انرژی داخلی $u_{(T,v)} = u \Rightarrow du = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv$

$$\Rightarrow du = c_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv \quad (1)$$

* $s = s(T, v) \Rightarrow ds = \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T dv$ و $du = T ds - P dv$

$$\Rightarrow du = T \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v dT + \left[T \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T - P \right] dv \quad (2)$$

(1), (2) $\Rightarrow \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v = \frac{c_v}{T}$ و $\left(\frac{du}{dv}\right)_T = T \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T - P$

رابطه سوم ماکسول \Rightarrow رابطه 1) $\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p$ و $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$

$du = c_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv \Rightarrow du = c_v dT + \left[T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p\right] dv \Rightarrow$

$$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT + \int_{v_1}^{v_2} \left[T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p\right] dv$$

تغییرات آنالپی $h = h(T, p) \Rightarrow dh = c_p dT + \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p\right] dp$

$\Rightarrow h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT + \int_{p_1}^{p_2} \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p\right] dp$ (ادس 1) کاربرد دوتر

$h_2 - h_1 = u_2 - u_1 + (p_2 v_2 - p_1 v_1)$ (2) زیرا معمولاً ابتدا تغییرات آنالپی بررسی می‌کنیم پس انرژی داخلی

تغییرات انترپی $s = s(T, v) \Rightarrow ds = \frac{c_v}{T} dT + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv$

$\Rightarrow s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v}{T} dT + \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv$ (1)

* $s = s(T, p) \Rightarrow ds = \frac{c_p}{T} dT - \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp$

$s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p}{T} dT + \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp$ (2)

Ex. 3 در محوره که یک دسیستی از ناسار دما، معادله حالت یک ماده خاص با دقت خوبی توسط

رابطه $v = \frac{RT}{P} - \frac{C}{T^3}$ داده شده که در آن C ثابت است. عبارتی برای اجابم تغییرات

انآلی و انترپی این ماده در فرآیند دما ثابت بیاید! $\Rightarrow \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 0 \Rightarrow T=C$

$$(h_2 - h_1)_T = 0 + \int_{P_1}^{P_2} [v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P] dP_T, \quad \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P = \frac{R}{P} + \frac{3C}{T^4}$$

$$(h_2 - h_1)_T = \int_{P_1}^{P_2} [v - T \left(\frac{R}{P} + \frac{3C}{T^4} \right)] dP_T = \int_{P_1}^{P_2} \left[\frac{RT}{P} - \frac{C}{T^3} - \frac{RT}{P} - \frac{3C}{T^3} \right] dP_T$$

$$(h_2 - h_1)_T = \int_{P_1}^{P_2} -\frac{4C}{T^3} dP_T = -\frac{4C}{T^3} (P_2 - P_1)_T$$

$$(S_2 - S_1)_T = - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P dP_T = - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{R}{P} + \frac{3C}{T^4} \right) dP_T \Rightarrow$$

$$(S_2 - S_1)_T = -R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) - \frac{3C}{T^4} (P_2 - P_1)_T$$

$$\delta_T = \frac{1}{L} \left(\frac{\delta L}{\delta T} \right)_P$$

* ضریب انبساط طولی جامدات \leftarrow

$$\alpha_P = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P = 3 \delta_T$$

* ضریب انبساط حجمی مایعات و گازها \leftarrow

$$\beta_T = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = -\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T$$

* ضریب تراکم پذیری دما ثابت \leftarrow

$$\beta_s = \frac{-1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_s$$

ضریب ترمپری آدیاباتیك ←

* مدول جی سیانانت ← $\beta_T = -v \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_T$ و مدول جی آدیاباتیك ← $\beta_s = -v \left(\frac{\partial p}{\partial v} \right)_s$

(Ex. 4) شماردار دبریک ملک سی به جرم 1 kg طی فرآیند برکت پذیر از شد 0.1 MPa

تا 100 MPa افزایش می دهیم ولی درجه حرارت در 15°C ثابت نگه داشته می شود. کار انجام

شده برسی، تغییر آنتروپی به ازای هر کیلوگرم مس، انرژی داخلی و انتقال حرارت در

هر کیلوگرم برای آنتروپی! $v = 0.000114 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ ، $\beta_T = 8.6 \times 10^{-12} \frac{\text{m}}{\text{N}}$ و $\alpha_p = 5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$

$$\beta_T = \frac{-1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T \Rightarrow dv_T = -v \beta_T dp_T \Rightarrow \int_1^2 P dv_T = \int_1^2 P (-v \beta_T dp_T)$$

انطباق
هدما

$$\Rightarrow W = - \int_1^2 v \beta_T P dp_T = - \frac{v \beta_T}{2} (P_2^2 - P_1^2)$$

تغییر آنتروپی با استفاده از رابطه
④ آنتروپی و تغییر انطباق پذیر

$$\Rightarrow \left(\frac{\partial s}{\partial p} \right)_T = - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = - \frac{v}{T} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = -v \alpha_p \Rightarrow ds_T = -v \alpha_p dp_T \Rightarrow$$

$$(s_2 - s_1)_T = -v \alpha_p (P_2 - P_1)_T \Rightarrow \frac{\text{حرارت}}{\text{هدما}} = q = \int T ds_T = T (s_2 - s_1)_T$$

$$\Rightarrow q = T \times -v \alpha_p (P_2 - P_1) = 0.00014 \times 5 \times 10^{-5} \times (100 - 0.1) \times 10^6 \times -288$$

⊙
Duro

$$\Rightarrow q = -288.2 \times 0.5694 = -164.1 \frac{\text{J}}{\text{s}} \quad \text{First law: } q - w = U_2 - U_1$$

$$w = \frac{-0.000114 \times 8.6 \times 10^{-6} \times (100^2 - 0)}{2} = -4.9 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\text{FL} \Rightarrow U_2 - U_1 = -164.1 - (-4.9) = -159.2 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

نحوه تکوین جداول خواص ترمودینامیکی ← اطلاعات موجود: ① اطلاعات منفی

فشار بخار (منفی که دما را به فشار اسیع تبدیل می کند) ② فشار، حجم مخصوص

و دما در بنام بخار ③ چگالی مایع اسیع، دما و فشار بحرانی ④ گرمای ویژه فشار
 (به اندازه گیری که این به نسبت راحت است)

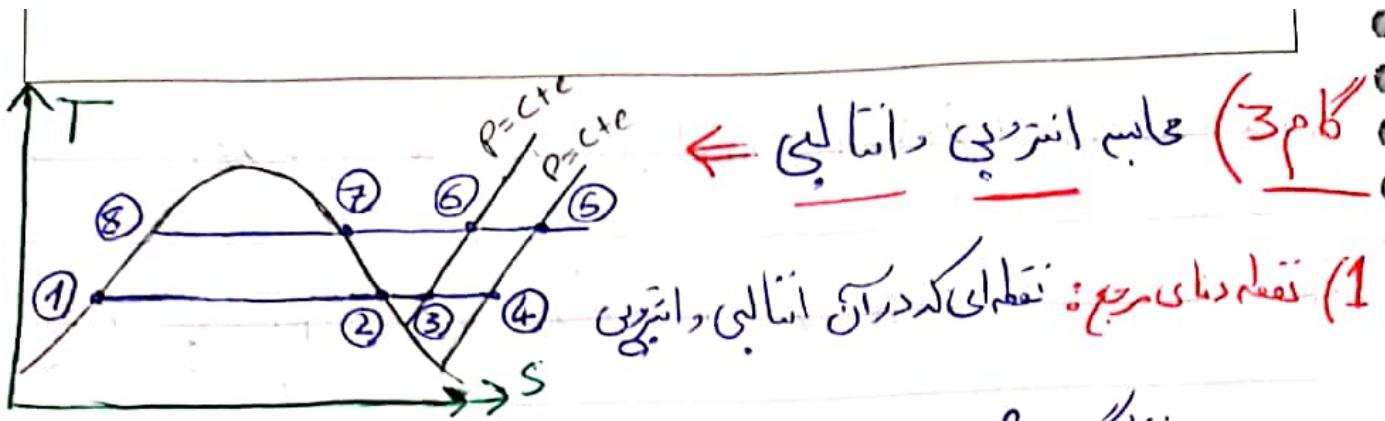
صفر بخار (از طریق کالری بهتری یا طیف فشاری و ترمودینامیک آسانی) ← یعنی گاز مورد

تقدرا اندر فشار کم کنیم که نزدیک صفر برسد و رفتار گاز مشابه گاز ایده آل شود.

تکوین جدول خواص: گام 1) درست آوردن معادله فشار بخار با برآزش منفی از داده های تجربی

گام 2) پیدا کردن معادله حالت برای نایه بخار بر اساس داده های (P-v-T).

کمیت هایی که اندازه گیری آن راحت است و قبلاً اندازه گیری کرده ایم می توانیم خدمت ما بدهد ای باشد



1) نقطه دمای مرجع: نقطه‌ای که در آن انتالپی و انتروپی

برابر صفر در نظر گرفته شده و سایر نقاط نسبت به آن نقطه سنجیده می‌شود.

در این جا نقطه 1) * برای آن نقطه مرجع معمولاً نقطه سبکانه ($T=0.010$) است

State 2 $\frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{S_{fg}}{v_{fg}} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}} \Rightarrow h_2 - h_1 = T_1 (v_2 - v_1) \left(\frac{dP}{dT} \right)_{sat} \Rightarrow h_2 = v$

نکته: $\left(\frac{dP}{dT} \right)_{sat}$: گام اول معنی ساز بجار $v_1 = v$ و $v_2 = v_2$ معادله P و T نامی بخار و h_1 مرجع

$\frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{S_{fg}}{v_{fg}} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}} \Rightarrow S_2 - S_1 = \frac{h_2 - h_1}{T_1} \Rightarrow S_2 = v$

State 3 $dh = c_p dT + [v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p] dP \Rightarrow$ چنانچه معادله حالت در نامی بخار $h_3 = v$

$h_3 - h_2 = \int_{P_2}^{P_3} [v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p] dP \Rightarrow h_3 = v$ را داریم می‌توانیم v را برابر T و P پیدا کرده دستف بگیریم

$ds = \frac{c_p}{T} dT - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dP \Rightarrow S_3 - S_2 = - \int_{P_2}^{P_3} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dP \Rightarrow S_3 = v$

State 4 \leftarrow آنقدر فشار را کاهش می‌دهیم تا فشار نزدیک به صفر

رسیده و رفتار گاز ایده آن شود، اما لایه دانه زایی (4) مسأله (3) را بسط می‌شود.

State 5 ⇒ زنگار : $h_5 - h_4 = \int_{T_4}^{T_5} C_p dT$ و $S_5 - S_4 = \int_{T_4}^{T_5} C_p \frac{dT}{T}$ ⇒ $\begin{cases} S_5 = \checkmark \\ h_5 = \checkmark \end{cases}$

State 6, 7 ⇒ مسأله حالات 2 و 3 را بسط می‌شوند.

State 8 ⇒ مسأله حالت 2، از معادله کلاپیرون استفاده می‌شود.

* دقت جداول ترمودینامیکی (1) دقت داده‌های تجربی (2) میزان همخوانی

معادلات برازش شده و حالت با اطراعات تجربی.

معادله حالت ⇒ معادله ای که فشار، دما و حجم (مغضوب) یک ماده را به هم ربط می‌دهد.

* معادله حالت گاز ایده آن $Pv = RT$ * معادله حالت گاز واقعی $Pv = ZRT$

ضریب تراکم Z (2) ⇒ تابع دما، فشار و جنس گاز است اما چنانچه آن را بر حسب دما

و فشار تبدیل یافته (T_r, P_r) بیان کنیم، تابعیت جنس آن را در سیالات ماده تقریباً

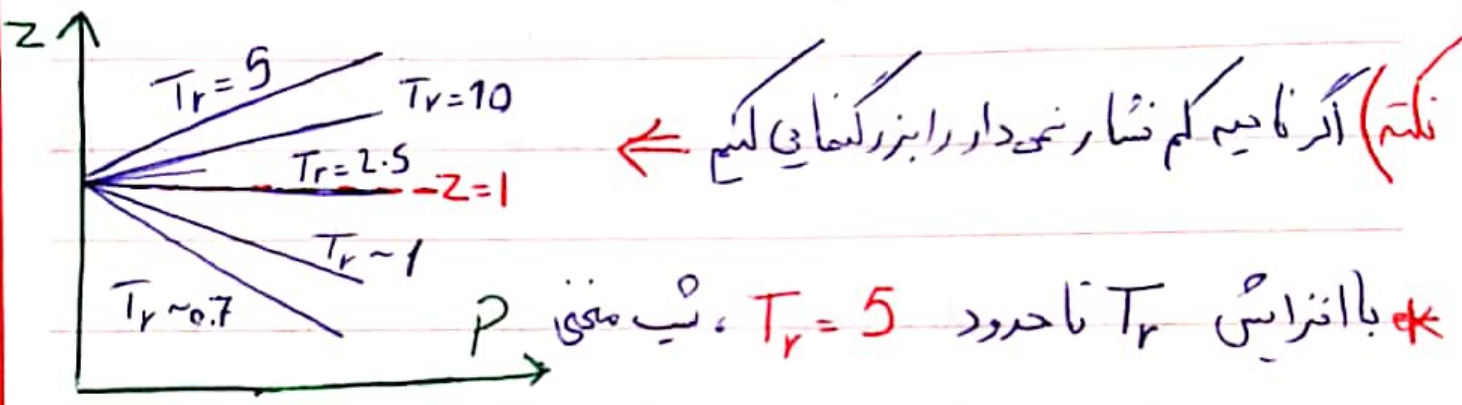
از جنسی رود $Z = f(T_r, P_r)$ ⇒ $T_r = \frac{T}{T_c}$ و $P_r = \frac{P}{P_c}$

* نمودار D-1 تغییرات ضریب تراکم ρ با دما و فشار گاهی مانند نشان می دهد

* P_r خیلی کوچک ($P_r \ll 1$) $\leftarrow z \approx 1$ (اگر فشار خیلی کوچک باشد رفتار گاز ایده آل است)

* اگر $2 < T_r < 10$ و $P_r < 1$ $\leftarrow z \approx 1$ (مسابه رفتار گاز ایده آل را دارد).

* اگر $2 < T_r$ و فشار چندان کم نباشد \leftarrow انحراف از گاز ایده آل قابل توجه خواهد بود.



انقباض می یابد و پس از آن با افزایش T_r ، ضریب خطوط به سمت خط $z=1$ گاهی می یابد

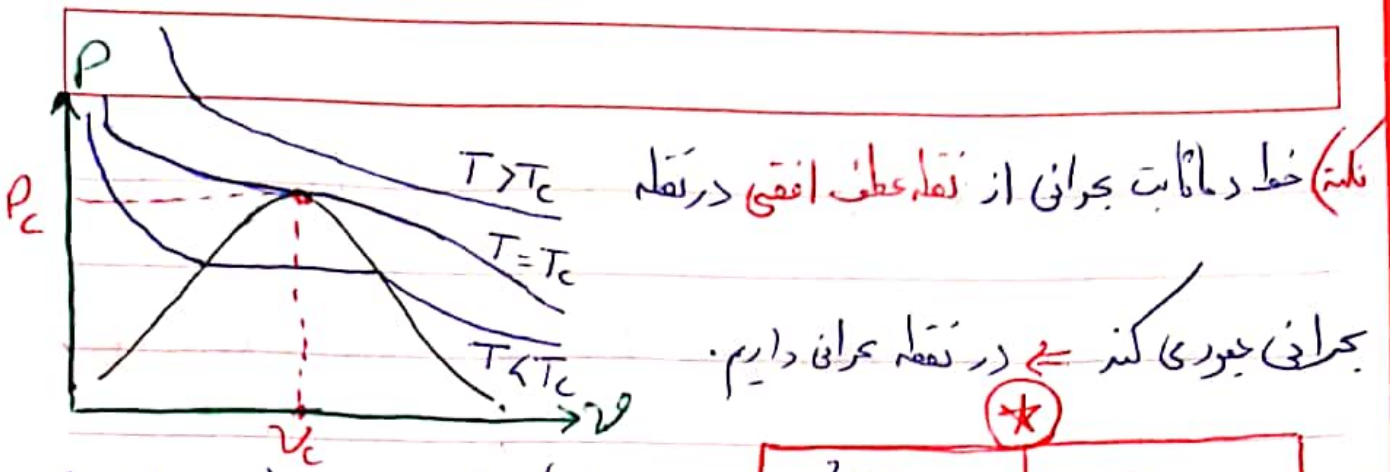
* (دمای بویل $T_r=2.5$) \leftarrow ضریب این خط صفر است یعنی $\left(\frac{\partial z}{\partial P}\right)_T = 0$ در $P_{D=0}$

\leftarrow در این دما: $z=1$ \leftarrow نهادهایی است که گاز در فشارهای پایین دما در رفتار ایده آل دارد.

\leftarrow ضریب z در دما $T_r=2.5$ صفر است در حالیکه برای گازهای ایده آل برابر صفر است.

\leftarrow ضریب z در دما $T_r=5$ برای $T_r=5$ برابر صفر است.





این در شرط در بیشتر معادلات حالت رعایت می شود $\leftarrow \left(\frac{\partial P}{\partial v} \right)_{T_c} = 0 \quad \left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2} \right)_{T_c} = 0$

مقدار حالت واندر والس $\leftarrow b = \frac{RT_c}{8P_c}$ و $a = \frac{27R^2T_c^2}{64P_c}$

نکته) در گاز ایده آل \leftarrow ۱- حجم مولکولیت به عوامل مولکول ها قابل نظر کردن

است ۲- نیروی جاذبه بین مولکولی (اندرکس بین مولکولی) صفرات.

در گاز واقعی \leftarrow $\left. \begin{aligned} &\leftarrow \frac{a}{v^2} \leftarrow \text{تعصیح مربوط به نیروی جاذبه مولکولی است} \\ &\leftarrow b \leftarrow \text{تعصیح مربوط به حجم اشغالی مولکول هاست} \end{aligned} \right\}$

نکته) مقدار ضرایب a و b با استاده از معادلات (*) (نقطه عطف) حاصل می شود.

معادله حالت ردلیک و کواند (Redlich and Kwong) \leftarrow

$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b)T^{1/2}}$ $a = 0.42748 \frac{R^2 T_c^{5/2}}{P_c}$ و $b = 0.08664 \frac{RT_c}{P_c}$

معادله حالت بندیکت - وب - ربین (BWR) (Benedict - Webb - Rubin) ←

$$P = \frac{\bar{R}T}{\bar{v}} + (B\bar{R}T - A - \frac{C}{T^2}) \frac{1}{\bar{v}^2} + \frac{(b\bar{R}T - a)}{\bar{v}^3} + \frac{a\alpha}{\bar{v}^6} + \frac{C}{\bar{v}^3 T^2} \left(1 + \frac{\gamma}{\bar{v}^2}\right) \exp\left(\frac{-\beta}{\bar{v}^2}\right)$$

* این معادله بر سره رفتار همیدرگرن های کسیر را به خوبی پس بینی می کند.

جدید حذف شده

* این معادله 8 ثابت تجربی دارد که تابع جنس گاز است. (جدول D-2 در جداول منبع ترمودینامیک)

* در این معادله واحد فشار کیلو پاسکال و واحد \bar{R} باید $\frac{kJ}{kmol \cdot K}$ باشد.

معادله حالت لی - کسیر (Lee - Kesler) ← این پژوهنگران با اصلاح معادله BWR، ثابتها

تعداد ثابت را از 8 به 12 افزایش دادند. این معادله تجربی بوده و تابع جنس ماده نیست. دقت بسیار بالا

$$Z = \frac{P_r v_r'}{T_r} = 1 + \frac{B}{v_r'} + \frac{C}{v_r'^2} + \frac{D}{v_r'^5} + \frac{c_4}{T_r^3 v_r'^2} \left(\beta + \frac{\gamma}{v_r'^2}\right) \exp\left(\frac{-\gamma}{v_r'^2}\right)$$

$$B = b_1 - \frac{b_2}{T_r} - \frac{b_3}{T_r^2} - \frac{b_4}{T_r^3}, \quad C = c_1 - \frac{c_2}{T_r} + \frac{c_3}{T_r^3}, \quad D = d_1 + \frac{d_2}{T_r}$$

* 12 ثابت فوق برار سیالات ساده در جدول D-3 (برخی جداول P-2) آمده

$$v_r' = \frac{v}{RT_c/P_c}$$

* در معادله، v_r' حجم مخصوص تبدیل یافته واقعی $\left(\frac{v}{v_c}\right)$ است بلکه

← اگر گاز ایده آن بود: $v_c = \frac{RT_c}{P_c}$ اما چون واقعی است از v_c (بدون بعد) استفاده می کنیم.

(Ex 5) فشار گاز زیر درون بادمار 175 K در حجم مخصوص $0.00375 \frac{m^3}{kg}$ با استفاده از روش حالت

کفای زیر بدست آورده و مقدار آن را با مقدار تجربی $10000 kPa$ مقایسه کنید.

(الف) معادله حالت گاز ایده آن (ب) معادله حالت واندر والس (ج) معادله حالت BWR

(الف) $P = \frac{RT}{v} = \frac{(0.297)(175)}{0.00375} = 13860 kPa \Rightarrow 38.6\% \text{ Error!}$

(ب) $P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} \Rightarrow N^{\frac{A-2}{v}} \Rightarrow \begin{cases} P_c = 3.39 MPa \\ T_c = 126.2 K \end{cases} \Rightarrow a = \frac{27 R^2 T_c^2}{64 P_c} = 0.17$

$b = \frac{RT_c}{8 P_c} = 0.00138 \Rightarrow P = 9471 kPa \Rightarrow 5.3\% \text{ Error (کمتر)}$

نکته) اگر بخواهیم از R بهمان برابری موی استفاده کنیم بقیه پارامترها مثل a و b و T_c باید برابری داشته باشند

2) (N_2) :

a		A		b		B		c		C
2.54		106.73		0.002328		0.04074		7.379×10^4		8.164×10^5

α

1.272×10^{-4}		γ
0.0053		

 \Rightarrow جایگذاشته $P = 10009 kPa$
معادله BWR

خطا $\leq 0.00\%$ بسیار دقیق

لمودار فراگیر تغییرات انتالی گاز واقعی در دما ثابت \Leftarrow

$$*(h_2 - h_1)_T = \int_1^2 \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \right] dP_T \quad (+) \quad (u_2 - u_1)_T = \int_1^2 \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dv_T$$

\Leftarrow باز به اینکله معرراتسار را به صورت تابعی از قبیل پارامترها داریم. بستر از معادله درم استفاده می‌کنیم.

$$(h_2 - h_1) = (u_2 - u_1) + (P_2 v_2 - P_1 v_1) = (u_2 - u_1) + RT(z_2 - z_1) \quad (\star)$$

$$* P = \frac{zRT}{v} \Rightarrow \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \frac{zR}{v} + \frac{RT}{v} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_v \quad \text{و} \quad du = \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dv \quad (1)$$

$$\Rightarrow du = \frac{RT^2}{v} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_v dv \quad \text{تغییر مقیاس:} \quad v'_r = \frac{v}{RT_c/P_c} \Rightarrow \frac{dv}{v} = \frac{dv'_r}{v'_r}, \quad \frac{dT}{T} = \frac{dT_r}{T_r}$$

$$\Rightarrow \text{تغییر مقیاس} + \left(\frac{T_c^2}{T_c^2} \right) \Rightarrow \frac{1}{RT_c^2} du = \frac{T_r^2}{v'_r} \left(\frac{\partial z}{\partial T_r} \right)_{v'_r} dv'_r$$

\Leftarrow از این معادله بین حالت معلوم $(P_r \text{ و } v'_r)$ تا حد گاز ایده آل $(P_r^* \rightarrow 0, v'_r^* \rightarrow \infty)$ انتگرال می‌کنیم

$$\Rightarrow \frac{u^* - u}{RT_c} = \int_{v'_r}^{\infty} \frac{T_r^2}{v'_r} \left(\frac{\partial z}{\partial T_r} \right)_{v'_r} dv'_r \Rightarrow \text{تنها مجهول } z \text{ است، با استفاده از معادله ای - کلد اینگراون فون (را گامپونر عدد) همایه می‌کنیم}$$

نتیجه به صورت جارت فواید \Rightarrow معادله \Rightarrow $f(T_r, P_r) = \frac{h^* - h}{RT_c} = \frac{u^* - u}{RT_c} + T_r(1 - z)$

این معادله اخراج انتالی گاز واقعی از گاز ایده آل را می‌دهد.



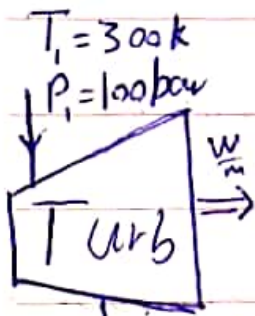
(نمودار D.2)

نکته) مقادیر انحراف انتالپی گاز واقعی از گاز ایده آل برای سیالات ساده بزرگ در دسترس است.

نمودار فرآیند تغییرات انرژی گاز واقعی در حالت \Rightarrow

$$\frac{S^* - S}{R} = f(T_r, P_r)$$

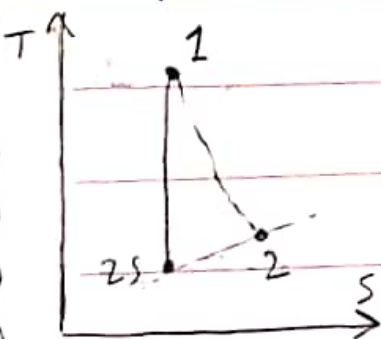
نکته) مقادیر انحراف انرژی گاز واقعی از گاز ایده آل برابر سیالات ساده بزرگ در دسترس است. (نمودار D-3)



Ex.6) با استفاده از نمودارهای تصحیح انتالپی و انرژی. (گاز N_2)

الف) کار تولیدی توربین. ب) نرخ تولید انرژی. ج) رانندگی آیزنویک!

$P_2 = 40 \text{ kPa}$, $T_2 = 245 \text{ K}$



توربین آدیاباتیکی و $\begin{cases} \Delta PE = 0 \\ \Delta KE = 0 \end{cases}$ (SSSF) $w = h_2 - h_1$

$$\Rightarrow w = -(h_1^* - h_1) + (h_1^* - h_2^*) + (h_2^* - h_2)$$

$N_2 \xrightarrow{A2}$ $\begin{cases} P_c = 3.39 \text{ MPa} \\ T_c = 126.2 \text{ K} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} P_{r1} = \frac{P_1}{P_c} = 2.95 \\ P_{r2} = \frac{P_2}{P_c} = 1.18 \end{cases}, \begin{cases} T_{r1} = \frac{T_1}{T_c} = 2.38 \\ T_{r2} = \frac{T_2}{T_c} = 1.94 \end{cases}$

$P_{r1} = 2.95$ نمودار $\frac{h_1^* - h_1}{R T_c} = 0.5 \Rightarrow h_1^* - h_1 = 0.5 \times 0.2968 \times 126.2 = 18.73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$T_{r1} = 2.38$ D2 $\frac{h_1^* - h_1}{R T_c}$

$P_{r2} = 1.18$ نمودار $\frac{h_2^* - h_2}{R T_c} = 0.31 \Rightarrow h_2^* - h_2 = 0.31 \times 0.2968 \times 126.2 = 11.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$T_{r2} = 1.94$ D2 $\frac{h_2^* - h_2}{R T_c}$

$T_1 = 300 \text{ K} \xrightarrow{A8} \bar{h}_1^* = 54 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}, T_2 = 245 \text{ K} \xrightarrow{A8} \bar{h}_2^* = 1545$

$$h_1^* - h_2^* = \frac{\bar{h}_1^* - \bar{h}_2^*}{M} = \frac{57 - (-1545)}{28} = 57.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

آرژاندل گاز ابره آه استفاده
فاصله 57.11 کیلوگرم

$$\Rightarrow W = -(h_1^* - h_1) + (h_1^* - h_2^*) + (h_2^* - h_2) = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow 14\% \text{ خطا داشت}$$

$$b) \dot{S}_2 - \dot{S}_1 = \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = -(\dot{S}_2^* - \dot{S}_2) + (\dot{S}_2^* - \dot{S}_1^*) + (\dot{S}_1^* - \dot{S}_1)$$

$$P_{r1} = 2.95 \xrightarrow{D-3} \frac{\dot{S}_1^* - \dot{S}_1}{R} = 0.19 \Rightarrow \dot{S}_1^* - \dot{S}_1 = 0.19 \times 0.2968 = 0.0564 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$T_{r1} = 2.38$$

$$P_{r2} = 1.18 \xrightarrow{D-3} \frac{\dot{S}_2^* - \dot{S}_2}{R} = 0.12 \Rightarrow \dot{S}_2^* - \dot{S}_2 = 0.12 \times 0.2968 = 0.0356 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$T_{r2} = 1.94$$

$$\bar{S}_2^* - \bar{S}_1^* = \bar{S}_{T_2}^0 - \bar{S}_{T_1}^0 - \bar{R} \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 191.789 - 185.297 - 8.314 \ln\left(\frac{40}{100}\right)$$

$$\Rightarrow \bar{S}_2^* - \bar{S}_1^* = 1.711 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}} \Rightarrow \dot{S}_2^* - \dot{S}_1^* = \frac{\bar{S}_2^* - \bar{S}_1^*}{M} = 0.0611 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \Rightarrow \dot{S}_{gen} = 0.082 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

2) $\left\{ \begin{array}{l} \dot{W}_a \\ \dot{W}_s \end{array} \right. = \frac{\dot{W}_a}{\dot{W}_s} \Rightarrow \dot{W}_a = 50 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow$ در 25 درجه سانتیگراد است اما انتزعی
سرعتی و حدودی برابر $\dot{S}_{25} = \dot{S}_1$

$$\Rightarrow \dot{S}_{25} - \dot{S}_1 = -(\dot{S}_{25}^* - \dot{S}_{25}) + (\dot{S}_{25}^* - \dot{S}_1^*) + (\dot{S}_1^* - \dot{S}_1) = 0$$

$$\Rightarrow -\bar{R} \left(\frac{\bar{S}_{25}^* - \bar{S}_{25}}{\bar{R}} \right) + \left[\bar{S}_{T_{25}}^0 - \bar{S}_{T_1}^0 - \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1} \right] + \bar{R} \left(\frac{\bar{S}_1^* - \bar{S}_1}{\bar{R}} \right) = 0$$

نمودار D-3

جول A.8

نمودار D3

Duro

?

?

✓

NOTE BOOK

این دو ترم را نمی توانیم بیدار کنیم زیرا T_{25} را نداریم. با جاگذاری مقیم مقدار بدست می آوریم:

$$-R \left(\frac{\bar{S}_{25}^* - \bar{S}_{25}}{R} \right) + \bar{S}_{T_{25}}^0 = 182.48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \xrightarrow{\text{سعی در خطا}} T_{25} = 229 \text{ K}$$

$$\Rightarrow \omega_s = h_1 - h_{25} = 68.66 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \omega_s = \frac{\omega_a}{\omega_s} = \frac{50}{68.66} = 72.8\%$$

رابطه $P-v-T$ برای مخلوط گازها حالتی \leftarrow در دسترس وجود ندارد:

1) استفاده از معادلات حالت نرم مایع \leftarrow در این روش یک روش تجربی است، مخلوط

را یک گاز خالص فرض کرده ثابتهای معادله حالت را بدست می آوریم. به عنوان مثال برای

معادلات ون در والس در دلیک و کوآند، ثابتهای مخلوط a_m و b_m بر حسب ثابتهای هر جزء

$$a_m = \left[\sum_{i=1}^N y_i a_i^{1/2} \right]^2 \quad b_m = \sum_{i=1}^N y_i b_i$$

مخلوط a_i و b_i به صورت زیر

2) استفاده از نمودار فرالیبر \leftarrow از معادله $Pv = ZRT$ استفاده می شود. برای یافتن

ضرایب تراکم پذیر، باید فشار و دمای بحرانی مخلوط محاسب شود. برای این منظور از معادله

$$(T_c)_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^N y_i T_{c,i} \quad (P_c)_{\text{mix}} = \sum_{i=1}^N y_i P_{c,i}$$

Key استفاده می شود

← با بابت آوردن فشار در دما و جرمی مخلوط، (مادنه ساز کاهشی) باشد (T_r, P_r) مخلوط خالص

کرده دیباچه به نمودار پوست P ضرایب تراکم پذیری، انحراف آنالیزی و انحراف انیروپی را می یابیم

$T = 238^\circ\text{C}$ $P = ?$

$\bar{V} = 0.241 \text{ m}^3$

0.18 kmol CH_4

$0.274 \text{ kmol C}_4\text{H}_{10}$

(Ex. 7) مقدار کربنی فشار مخلوط نشان داده شده در شکل 68.9 bar

اندازه گیری شده، فشار مخلوط را با روش های زیر محاسب کنید.

الف) معادله حالت گاز ایده آل. ب) قانون Key و نمودار تراکم پذیری برای هر دو. معادله داندروانس

$$n = 0.18 + 0.274 = 0.454 \text{ kmol} \Rightarrow y_1 = \frac{n_1}{n} = 0.396, y_2 = \frac{n_2}{n} = 0.604$$

$$\bar{v} = \frac{V}{n} = \frac{0.241}{0.454} = 0.531 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \Rightarrow \text{الف) } P = \frac{\bar{R}T}{\bar{v}} = 80.01 \text{ bar}$$

$$\text{ب) } \begin{cases} T_{c1} = 191 \text{ K} & P_{c1} = 46.4 \text{ bar} \\ T_{c2} = 425 \text{ K} & P_{c2} = 38.0 \text{ bar} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} T_c = y_1 T_{c1} + y_2 T_{c2} = 332.3 \text{ K} \\ P_c = y_1 P_{c1} + y_2 P_{c2} = 41.33 \text{ bar} \end{cases}$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{511}{332.3} = 1.54, P_r = \frac{P}{P_c} \Rightarrow P \text{ خود مجهول است}$$

هم P تابع Z و هم Z تابع P است، در معادله غیر صریح داریم

$$\text{Fig D-1} \Rightarrow Z = f(T_r, P_r) = f(T_r, P/P_c) \Rightarrow P \text{ تابع } Z \text{ و هم } Z \text{ تابع } P$$

$$P\bar{v} = ZRT$$

و در جدول $Z \approx 0.88$ با سعی و خطا مقدار تراکم پذیری را می یابیم که هگلسونده: NOTE BOOK

$$\Rightarrow \rho = \frac{2 \bar{R} T}{\bar{v}} = 70.4 \text{ bar} \Rightarrow 3\% \text{ بیشتر مقدار واقعی}$$

$$2) \bar{a} = \frac{27 \bar{R}^2 T_c^2}{64 P_c}, \bar{b} = \frac{\bar{R} T_c}{8 P_c} \Rightarrow \begin{cases} \bar{a}_1 = 2.293 \text{ bar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}\right)^2 \\ \bar{b}_1 = 0.0428 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}\right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \bar{a}_2 = 13.86 \text{ bar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}\right)^2 \\ \bar{b}_2 = 0.1162 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \bar{a}_m = y_1 \bar{a}_1^{1/2} + y_2 \bar{a}_2^{1/2} = 8.113 \text{ bar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}\right) \\ \bar{b}_m = y_1 \bar{b}_1^{1/2} + y_2 \bar{b}_2^{1/2} = 0.087 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}} \end{cases}$$

$$\Rightarrow 3\% \text{ کمتر از مقدار واقعی} : \rho = \frac{\bar{R} T}{\bar{v} - \bar{b}} - \frac{a}{\bar{v}^2} = 66.91 \text{ bar}$$

فصل 4 واکنش‌های شیمیایی

سیم‌های واکنشی ← سیم‌هایی که در آن واکنش شیمیایی رخ دهد (ماهیت مواد عوض شود)

سیم‌های غیر واکنشی ← سیم‌هایی که در آن هیچ واکنش شیمیایی رخ ندهد (مثالان سیم کربن)

سوخت ← هر ماده‌ای که بسوزد و انرژی گرمایی آزاد کند.

سوخت هیدروکربنی ← اغلب سوخت‌ها در ساختار خود دارای هیدروژن و کربن هستند.

انواع سوخت‌های هیدروکربنی ← 1 - جامد ← مانند زغال سنگ. مستعد آلودگی

کربن ات - اما شامل اکسیژن، نیتروژن، هیدروژن، گوگرد و سایر اجزای ناخواسته دارد

2- مایع ← مائذترین، نفت سفید، گازوئیل و نفت کوره، از نظر قیمت خام بدست می آید

3- گاز ← مائذ گاز طبیعی (بترین ماده شکل دهنگان منان است)

نکته) ترکیب سوختها تابع منبع استخراج و فرآیند پالایش دارد

* بترین ← قیمت عمده آن آلکان (C_8H_{18}) است ← درواکشها محولاً آلکان فرنی می شود.

* گازوئیل ← قیمت عمده دودگان $(C_{12}H_{26})$ ← محولاً درواکشها دودگان فرنی می شود
(مورد درین)

* گاز طبیعی ← قیمت عمده آن منان (CH_4) است ← قیمت های دیگر آن ممکن است

مورد قجیب باشد ← برای بررسی آن لازم است آنالیزولی آن در دسترس باشد

احتراق ← یک واکنش شیمیایی که در آن سوخت اکسید شده مقدار زیادی انرژی آزاد می شود

نکته) قدرت احتراق و اکسیداسیون ساده (آهسته) ← اکسیداسیون ماده بالندی انجام می گیرد

دائری که آزادی کته بسیار کمتر از انرژی حاصل از احتراق است.

نکته) سوخت جهت احتراق با اکسید کننده نیاز دارد که محولاً از هوا استفاده می شود

داز آکسژن خالص به عنوان اکسید کننده کمتر استفاده می شود زیرا خالص مازای اکسژن خالص بهر است

آنانیزهوا بر پایه مولی ← اکسژن : 21% و - نیترژن : 78%

- آرگون : 1% و - سایر گازها : به مقدار ناچیز

نکته دردهای معمولی، بیشتر در فرآیند احتراق شرکت می کنند و تأثیر در احتراق نداشته

همراه محصولات احتراق خارجی شود البته مقداری از انرژی آزاد شده را جذب

می کنند زیرا وقتی نیترژن وارد آتش می شود دمای آن برابر دمای محیط و وقتی همراه

محصولات احتراق خارجی شود دمایش برابر دمای محصولات احتراق (بسیار بالا) می شود

و این مقداری که ما را از فرآیند احتراق جذب کرده و باعث خنک شدن محصولات احتراق می شود

نکته اگر دما خیلی بالا باشد مانند موتورهای احتراق داخلی، نیترژن با اکسژن و کربن

داده اکسیدهای نیترژن سبکی می شوند اما چون مقدار آن ناچیز است صرف نظر می کنیم.

دلیل هوا بر طرفت تنها بر این مقداری که گاز است و نیترژن و اکسید احتراق

تا گردد که البته آن نیز تأییدی در فرآیند احتراق ندارد.

نکته) با توجه به اینکه اگر در دینترورن، هیچکدام در احتراق شرکت نمی کنند، در آنالیز نیز نیز

احتراق، همگرا اگر در دینترورن در نظری بگیرند. در نتیجه میزان

نیترورن در هوا 79% خواهد بود که به آن **نیترورن اتمسفری** می گویند.

آنالیز هوای اتمسفری برابر با مولی ← اکسیژن: 21% و نیترورن: 79%

← به ازای یک مول اکسیژن، 3.76 مول نیترورن در هوا وجود خواهد داشت.

شرایط انجام آزمایش احتراق ← **1** سوخت و اکسیژن با نسبت مناسب موجود باشد

2 تماس مناسب بین سوخت و اکسیژن برقرار شود **3** سوخت تا دمای اشتعال

گرم شود ← باعث تماس و فرآیندهای احتراق خود به خودی گتری رخ دهد.

$$AF = \frac{n_{air}}{n_{fuel}} \leftarrow \text{نسبت هوا به سوخت مولی} \quad AF = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \leftarrow \text{نسبت هوا به سوخت جزیی}$$

نکته) اگر لقمه سد (نسبت هوا به سوخت) ، منظور نسبت هوا به سوخت جزیی است

$$* A_{f_{mass}} = \frac{M_{arr}}{M_{fuel}} = \frac{N_{air} M_{air}}{N_{fuel} M_{fuel}} = A_{f_{mol}} \left(\frac{M_{air}}{M_{fuel}} \right)$$

نکته) نسبت سوخت به هوا (FA) ، عکس نسبت هوا به سوخت (AF) است .

احتراق کامل \leftarrow زمانی که تمام اجزا قابل احتراق یک سوخت به طور کامل در شرایط سوخت

تسوزند (سوخت سوخته نرسانه باقیمانده) \leftarrow سلا اگر سوخت کربن باشد در محصولات احتراق C_2 ^{نیاست}

احتراق ناقص \leftarrow زمانی که اجزا قابل احتراق سوخت به طور کامل نمی سوزند و محصولات

احتراق شامل مقادیر سوخت سوخته نشده است مثل CO و C و H_2 .

نکته) علت احتراق ناقص \leftarrow 1- کافی نبودن اکسیژن - 2- نماندن کافی اکسیژن و سوخت (تسوزند)

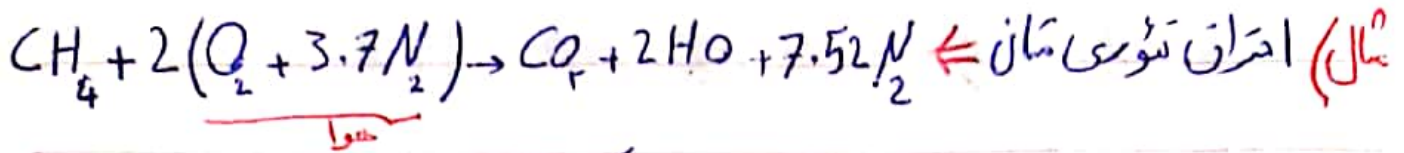
هوای تنوری (استوکیومتریک) (ظرفی) (تنوری 100%) \leftarrow حداقل هوای لازم

برای احتراق کامل سوخت را هوای تنوری گویند .

تنوری تسوزند

احتراق تنوری \leftarrow فرآیند احتراق آیره آن که طی آن سوخت به طور کامل با هوای

\leftarrow در محصولات احتراق اکسیژن (هوای تنوری) است) و سوخت (احتراق کامل) بناید باشد ^{سوخته نشده}



احتراق واقعی \leftarrow اگر از هوای تئوری استفاده کنیم، به دلیل عدم تماس کافی بین

سوخت و اکسیژن، احتراق ناقص رخ می‌دهد و مقداری از سوخت نمی‌سوزد \leftarrow

بهت جلوگیری از احتراق ناقص، باید تماس بیشتری بین اکسیژن و سوخت برقرار باشد

که بدین منظور هوای بیشتری نسبت به هوای تئوری به اتاقک احتراق وارد می‌کنیم.

هوای اضافی \leftarrow میزان هوای مازاد بر هوای تئوری را هوای اضافی می‌نامند.

مثلا \leftarrow 50% هوای اضافی \leftarrow 150% هوای تئوری

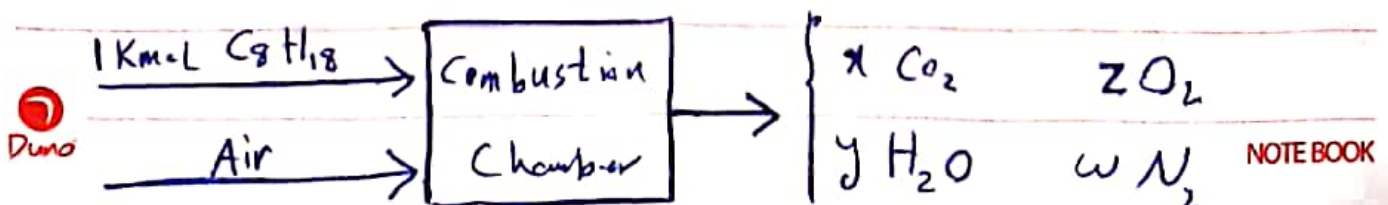
200% هوای اضافی \leftarrow 300% هوای تئوری

$$\text{نسبت سوخت به هوای واقعی} = \frac{\text{نسبت سوخت به هوای تئوری}}{\text{نسبت سوخت به هوای واقعی}}$$

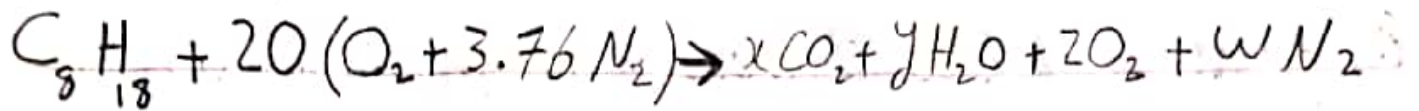
* نسبت هم‌اوری \leftarrow

Ex.1 یک کیلو مول آلان با هوای حاوی 20 کیلو مول اکسیژن در محفظه احتراق می‌سوزد

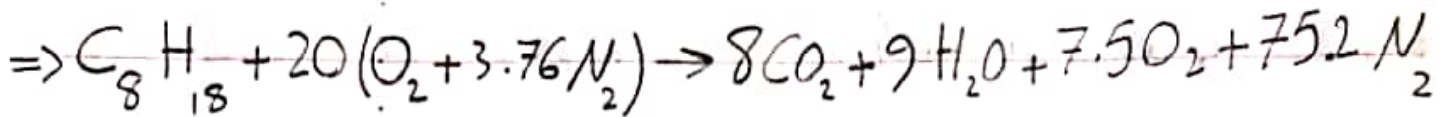
اگر محصولات احتراق مطابق شکل باشد، تعداد مول هر گاز از محضرات احتراق و نسبت هوا به سوخت چقدر است؟



جرای حاوی 20 کیلو مول اکسیژن



$$\Rightarrow \text{موازنه} \begin{cases} C: 8 = x \Rightarrow x = 8 & O: 20 \times 2 = 2x + y + z \Rightarrow z = 7.5 \\ H: 18 = 2y \Rightarrow y = 9 & N_2: (20)(3.76) = w = 75.2 \end{cases}$$

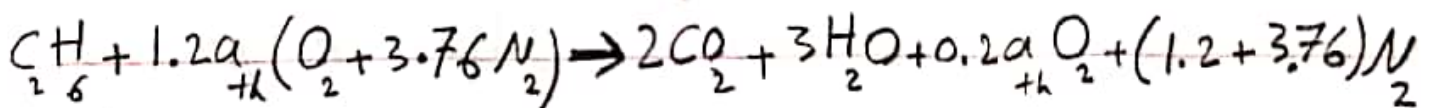
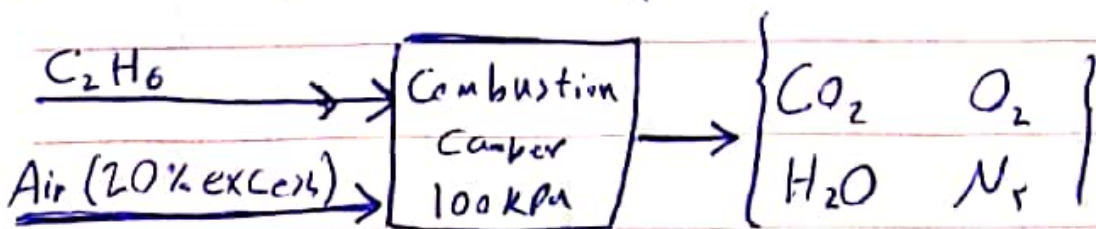


تعداد مول هوا: $20(1 + 3.76)$ و تعداد مول اکسیژن: 20 (نکته)

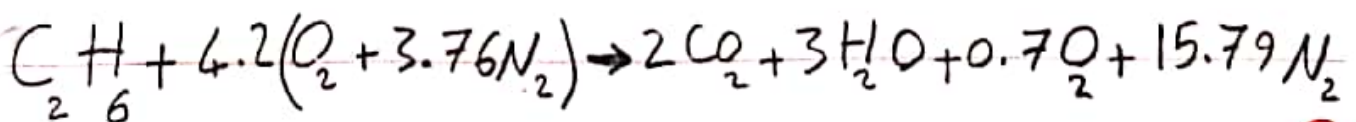
$$AF = \frac{M_{air}}{M_{fuel}} = \frac{(NM)_{air}}{(NM)_C + (NM)_{H_2}} = \frac{20 \times 4.76 \times 29}{8 \times 12 + 9 \times 2} = 24.2 \frac{kg_{air}}{kg_{fuel}}$$

Ex-2) اتان با 20% هوای اضافی طی یک فرآیند احتراق می سوزد، با فرض کامل بودن عمل احتراق، نسبت هوای سوخت و دمای بسنج محصولات را محاسبه کنید، (شارک 100 kPa)

عمل احتراق، نسبت هوای سوخت و دمای بسنج محصولات را محاسبه کنید، (شارک 100 kPa)



$$O_2: 1.2a_{th} = 2 + 1.5 + 0.2a_{th} \Rightarrow a_{th} = 3.5$$



$$Af = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{(4.2 \times 4.76) \times 29}{2 \times 12 + 3 \times 2} = 19.3 \frac{\text{kg air}}{\text{kg fuel}}$$

مشارجه) $P_v = \frac{N_v}{N_{prod}} \Rightarrow P_v = \frac{3}{21.49} (100 \text{ kPa}) = 13.96 \text{ kPa}$
 دالتون

$$P = 13.96 \text{ kPa} \Rightarrow T_{dp} = T_{sat @ 13.96 \text{ kPa}} = 52.3^\circ \text{C}$$

نکته) بران N_{prod} فقط باید جمع مول‌های گازی خفته سرد (زیر اجم مایعات جامدات در برابر گازها) نابیز و قابل سقوط کردن است

نکته) اهمیت دمای تبین محصولات ← اگر دمای محصولات به هر دلیلی از دمای تبین کمتر

سرد بخار آب محصولات احتراق چگالیده سرد و به آب مایع تبدیل شده و با بخارات

غیر فلزی (مثل آلومینوم، آلومیناکسید و...) که در زیر آینه احتراق وجود دارند و اکسید

نشان داده و تولید اسید می‌کنند که باعث خوردگی تمام سطوح محفظه احتراق و خرابی در... می‌شود

پس باید از این دو بالاتر باشد (حتی چند درجه بالاتر از دمای تبین که به دلیل عدم تعادل

کمبودیابی و افت فشارهای موضعی در برخی نقاط خوردگی رخ ندهد).

گاز (سوزنی)	درصد جرمی
CH ₄	72
H ₂	9
N ₂	14
O ₂	2
CO ₂	3

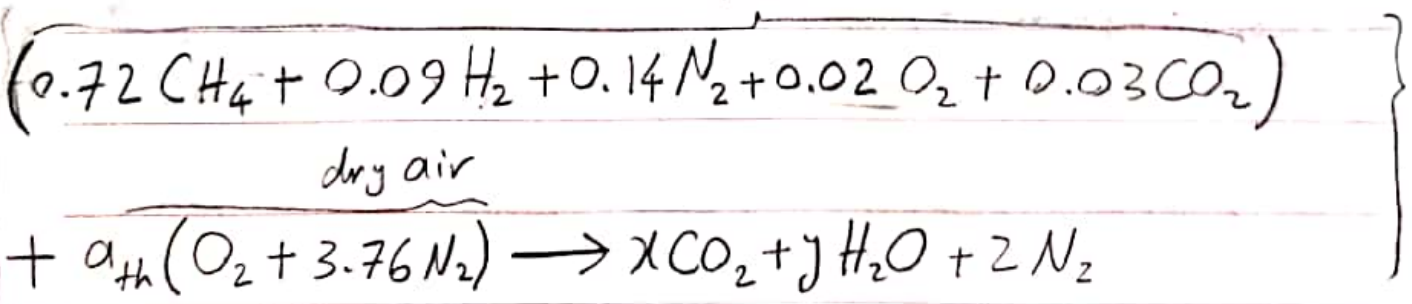
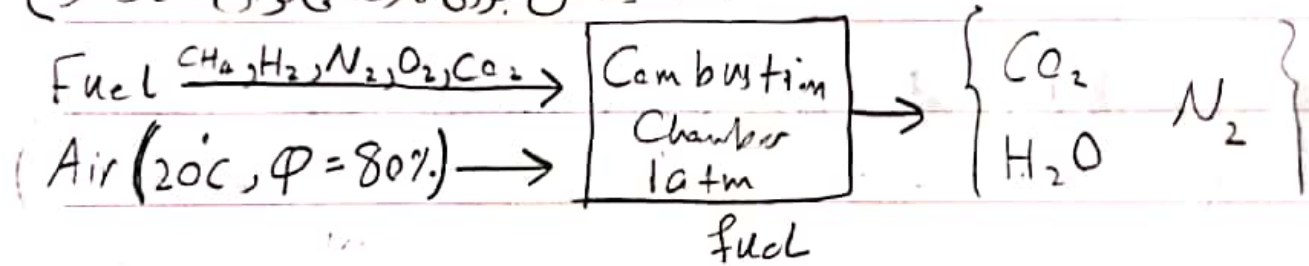
Ex.3) سوخت با آنالیز جرمی در برابر هوا با تئوری در دمای

20°C و فشار 1 atm در رطوبت نسبی 80% می‌سوزد، با فرض

کامل بودن احتراق، دمای بسنج محصولات را محاسبه کنید.

ابتدا معادله واکنش را بر مبنای هوا با شکل نوشته پس از موازنه، بخار آب را به طرفین اضافه می‌کنیم.

ماده‌های آماکت ← درصد جرمی = درصد متری (مبدل‌های آماکت و دالتون بران هر مخلوط گازی با فرض اینکه آن بودن گازها می‌تواند استفاده کرد)



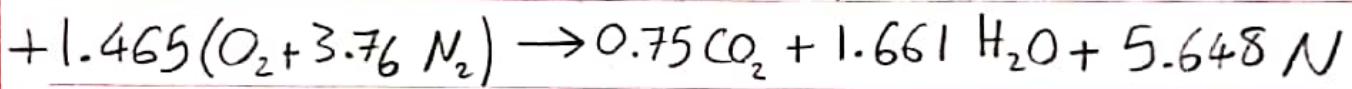
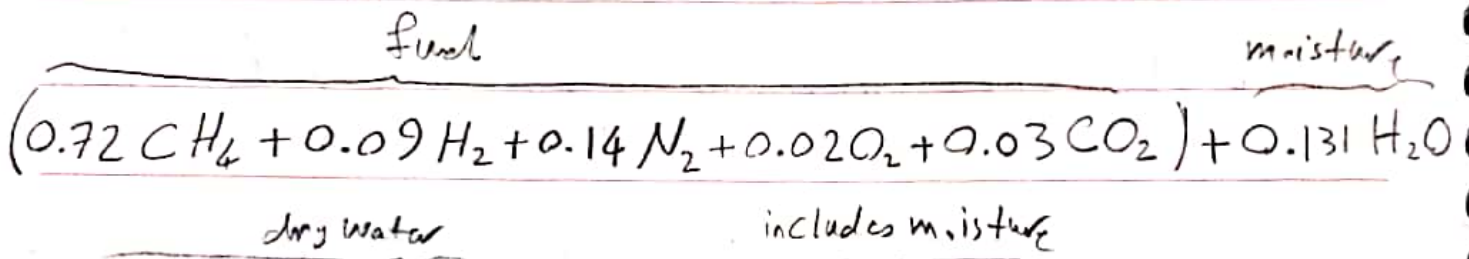
موازنه

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{C: } 0.72 + 0.03 = x \Rightarrow \underline{x = 0.75} \\ \text{H: } 0.72 \times 4 + 0.09 \times 2 = 2y \Rightarrow \underline{y = 1.53} \\ \text{O}_2: 0.02 + 0.03 + a_{th} = x + \frac{y}{2} \Rightarrow \underline{a_{th} = 1.465} \\ \text{N}_2: 0.14 + 3.76 a_{th} = z \Rightarrow \underline{z = 5.648} \end{array} \right.$$

$$\text{میتانول تنگ} \Rightarrow 4.76 a_{th} = 4.76 \times 1.465 = 6.97 \text{ kmol dry air}$$

$$P_{air} = \frac{P_{v,air}}{P_{sat @ 20^\circ C}} \Rightarrow P_{v,air} = 0.8 \times 2.3392 \text{ kPa} = 1.871 \text{ kPa}$$

$$\text{دالتون} \Rightarrow N_{v,air} = \left(\frac{P_{v,air}}{P_{total}} \right) N_{total} = \frac{1.871}{101.325} (6.97 + N_{v,air}) \Rightarrow N_{v,air} = 0.131 \text{ kmol}$$



$$\text{دالتون} \Rightarrow P_{v,prod} = \left(\frac{N_{v,prod}}{N_{prod}} \right) P_{prod} = \frac{1.661}{8.059} \times 101.325 = 20.88 \text{ kPa}$$

$$(P_{v,prod}) = 20.88 \text{ kPa} \Rightarrow T_{dp} = T_{sat @ 20.88 \text{ kPa}} = 60.9^\circ \text{C}$$

تنگه) نقش بخار آب (در واکنش شرکت نمی کند) ← اگر هوا مرطوب تر باشد محتوای
فقط گرمای واکنش را جذب می کند

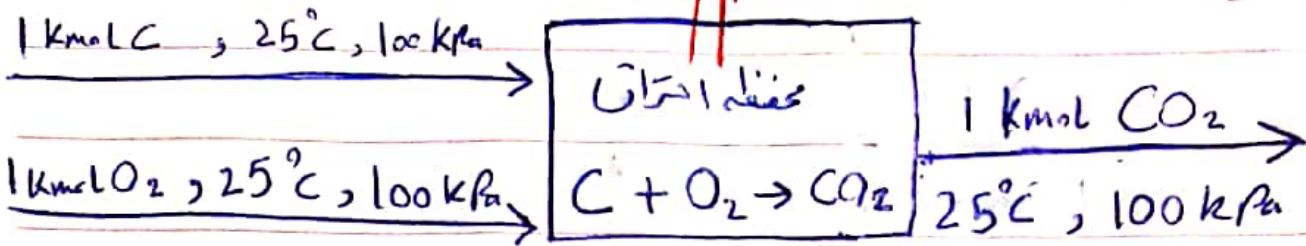
رطوبت محصولات استراحت بیشتر از حالتی است که هوای تنگ دانه با سیم به همین

دلیل دمای سیم افزایش پیدا می کند (اگر بجای هوای مرطوب از هوای تنگ استفاده کردیم)

رطوبت دمای سیم 59.5°C بدست می آید

$$Q_{cv} = -393552 \text{ kJ}$$

انتهایی تشکیل ←



* قانون اول ترمودینامیک برای محفظه احتراق ←

$$Q_{cv} + H_R = H_P \xrightarrow[\text{دخوردگی}]{\text{چند ورودی}} Q_{cv} + \sum_R n_i \bar{h}_i = \sum_R n_e \bar{h}_e$$

شرایط مرجع ← دمای 25°C و فشار 100 kPa را شرایط مرجعی گیریم

فرض) انتهایی تمام عناصر در شرایط مرجع برابر صفر است پس داریم:

$$H_R = 0 \Rightarrow Q_{cv} = H_P = -393522 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} = \bar{h}_f^0$$

← به حرارت آزاد شده یا جذب شده هنگام تشکیل ماده مرکب از عناصر تشکیل دهنده آن

هنگامی که هم ماده مرکب هم عناصر در شرایط مرجع باشد **انتهایی تشکیل** گفته می شود

* چرا انتهایی تشکیل تعریف می شود؟ می دانیم انتهایی هر نقطه نسبت به یک نقطه مرجع نسبیست

می شود که آن را صفر در نظر می گیریم و در جداول مختلف ممکن است این نقطه مرجع

در نتیجه انتالی نقطه خنک‌در این جدول‌ها با هم متفاوت باشد اما Δh ثابت است

پس برای نوشتن قانون اول ترمودینامیک به شکلی برینما خویریم. در داکت‌های سیمایی

ماهیت مواد عوض می‌شود و مواد جدیدی بوجود می‌آید به همین دلیل نمی‌توان از جدول

مربوط به مواد عنصر استفاده کرد. برای حل این مشکل انتالی تمام عناصر در سرای مربع را منفر

3 بگیریم. و بر این اساس می‌توانیم قانون اول ترمودینامیک را برای داکت‌های سیمایی هم بنویسیم

$$\bar{h}_{T,P} = (\bar{h}_f^{\circ})_{298,15K} + (\Delta \bar{h})_{298,0.1MPa \rightarrow T}$$

محاسبه انتالی تشکیل سرب غیر مربع ←

* جدول A.9 (یا A.10) انتالی تشکیل مواد مختلف در جدول A.8 (A.9) متداول اختلاف

انتالی در دمای مورد نظر با انتالی در دمای مربع با فرض بر ترازای فشار و گاز ایده‌آل ارائه

$$\Delta \bar{h}_{298K \rightarrow T} = \bar{h}_T - \bar{h}_{298K}^{\circ}$$

تی دهد (بالا نویسنده نشان دهنده فشار گاز ایده‌آل)

* Δh را باید از جدول ترمودینامیکی با معادلات حالت بسته به نوع ماده حساب کرد.

* در جدول انتالی تشکیل را با حیف نگاری و ترمودینامیکی آسانی بدست می‌آورند

* در برخی مواد دارا چند حالت پایه هستند در عمل یک حالت پایه را بودن و بقیه حالتها

بسیار پایه هستند مانند کربن که می تواند به صورت گرافیت و الماس وجود داشته باشد

در این صورت حالت پایه را به عنوان حالت پایه در نظر می گیرند (انتهای شکل صفر)

و سایر حالتها را نسبت به آن می شناسند (مثلا در کربن گرافیت پایه و در اکسیژن O_2 پایه)

* از جدول A.9 دیده می شود در انتهایی شکل برای آب وجود دارد: یک انتهایی شکل

برای آب مایع و یک انتهایی شکل برای بخار آب (گاز آیره آن نرمی) در حالی که

پایه آب در شرایط مربع فقط به صورت مایع موجود است \leftarrow انتهایی شکل بخار

آب (گاز آیره آن) در شرایط مربع، جهت مایع انتهایی بخار آب (آیره آن) سایر شرایط است

* مانول اول ترمودینامیک برای سیم های والستی \leftarrow

$$Q_{cv} + H_R = W_{cv} + H_P \Rightarrow Q_{cv} + \sum_e n_i \bar{h}_i = W_{cv} + \sum_p n_e \bar{h}_e$$

$$Q_{cv} + \sum_R n_i (\bar{h}_f^o + \Delta h)_i = W_{cv} + \sum_P n_e (\bar{h}_f^o + \Delta h)_e$$

انتالی آب (بر مبنای یک کیلو مول) در 300°C و 3.5 MPa را نسبت به حالت مرجع 25°C و 0.1 MPa با استفاده از روش های زیر، محاسبه کنید.

۱. فرض کنید بخار گاز ایدآل با مقادیر C_{p0} داده شده در جدول A-۶ ضمیمه باشد.

۲. فرض کنید بخار گاز ایدآل با داده شده در جدول A-۹ ضمیمه باشد.

۳. جدول های بخار

۴. معادلات حرارت مخصوص داده شده در روش (۲) و نمودارهای عمومی

حل:

برای هر یک از روش ها می توانیم بنویسیم:

$$\bar{h}_{T,P} = (\bar{h}_f^0 + \Delta\bar{h})$$

تنها تفاوت در روش های ذکر شده، محاسبه است. از جدول A-۹ خواهیم داشت:

$$(\bar{h}_f^0)_{\text{H}_2\text{O}(g)} = -241\,826\text{ kJ/kmol}$$

۱. با استفاده از معادله حرارت مخصوص برای $\text{H}_2\text{O}(g)$ از جدول A-۶

$$C_{p0} = 1.79 + 0.107\theta + 0.586\theta^2 - 0.20\theta^3, \theta = T/1000 \quad \text{که در آن:}$$

$$T_{avg} = \frac{298.15 + 573.15}{2} = 435.65\text{ K}$$

Scanned by CamScanner

۱۵. واکنش های شیمیایی ۵۹۱

$$C_{p0} = 1.79 + 0.107(0.43565) + 0.586(0.43565)^2 - 0.2(0.43565)^3 \quad \text{که}$$

$$= 1.9313 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\Delta\bar{h} = MC_{p0} \Delta T \quad \text{بنابراین:}$$

$$= 18.015 \times 1.9313(573.15 - 298.15) = 9568\text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{h}_{T,P} = -241\,826 + 9568 = -232\,258\text{ kJ/kmol}$$

۲. با استفاده از جدول A-۹ برای $\text{H}_2\text{O}(g)$

$$\Delta\bar{h} = 9539\text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{h}_{T,P} = -241\,826 + 9539 = -232\,287\text{ kJ/kmol}$$

۳. با استفاده از جدول های بخار، از حالت مرجع مایع یا حالت مرجع گازی می توان استفاده کرد.

برای مایع:

$$\Delta\bar{h} = 18.015(2977.5 - 104.9) = 51\,750\text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{h}_{T,P} = -285\,830 + 51\,750 = -234\,080\text{ kJ/kmol}$$

برای گاز:

$$\Delta\bar{h} = 18.015(2977.5 - 2547.2) = 7752\text{ kJ/kmol}$$

$$\bar{h}_{T,P} = -241\,826 + 7752 = -234\,074\text{ kJ/kmol}$$

اختلاف کوچک نتایج ناشی از استفاده از انتالی بخار اشباع در 25°C (که دقیقاً یک گاز ایدآل نیست) در محاسبه $\Delta\bar{h}$ است.

۴. هنگام استفاده از نمودارهای عمومی از علائم معرفی شده در فصل ۱۳ استفاده می کنیم.

$$\bar{h}_{T,P} = \bar{h}_f^0 - (\bar{h}_2^* - \bar{h}_2) + (\bar{h}_2^* - \bar{h}_1^*) + (\bar{h}_1^* - \bar{h}_1)$$

که ۲ مربوط به حالت 3.5 MPa و 300°C و پانویس ۱ مربوط به حالت 0.1 MPa و 25°C است.

از قسمت ۲ داریم:

$$2. \bar{h}_2 - \bar{h}_1^* = 9539\text{ kJ/kmol.}$$

از نمودارهای عمومی انتالی (شکل D-۲) داریم:

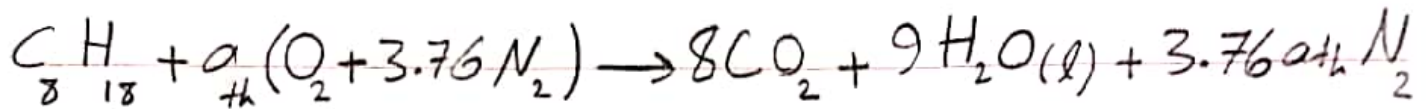
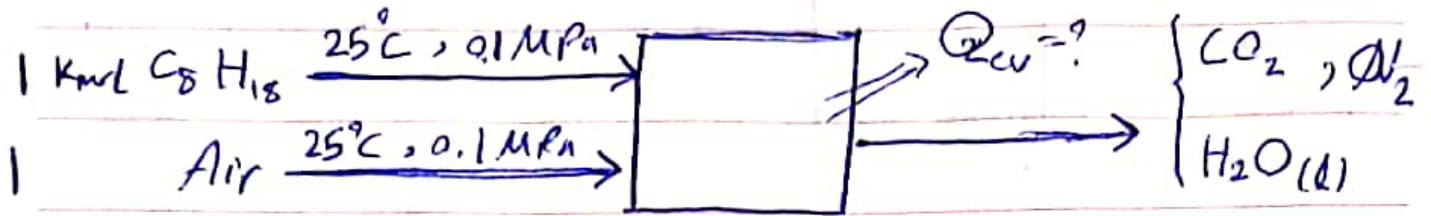
$$\bar{h}_1^* - \bar{h}_1 = 0$$

$$P_{r2} = \frac{3.5}{22.09} = 0.158 \quad T_{r2} = \frac{573.2}{647.3} = 0.886$$

روش حل مورد استفاده در این مسئله بستگی به اطلاعات و داده های موجود دارد.

Ex. 4 مقدار گرمای آزاد شده از سوختن تئوری یک کیلو مول اتان گاز در شکل در دمای 25°C

و فشار 100 kPa را بدست آورید. فرض کنید آب موجود در محصولات بصورت مایع باشد.



First Law: $Q_{cv} + \sum_R n_i \bar{h}_i = \sum_P n_e \bar{h}_e$ ، شرایط مرجع $\Rightarrow \begin{cases} (\bar{h}_f^\circ)_{\text{N}_2} = 0 \\ (\bar{h}_f^\circ)_{\text{O}_2} = 0 \end{cases}$

$$* \sum_R n_i \bar{h}_i = 1 (\bar{h}_f^\circ)_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 1 \times -208600 = -208600 \text{ kJ}$$

$$* \sum_P n_e \bar{h}_e = 8 (\bar{h}_f^\circ)_{\text{CO}_2} + 9 (\bar{h}_f^\circ)_{\text{H}_2\text{O}(l)} = -5720696 \text{ kJ}$$

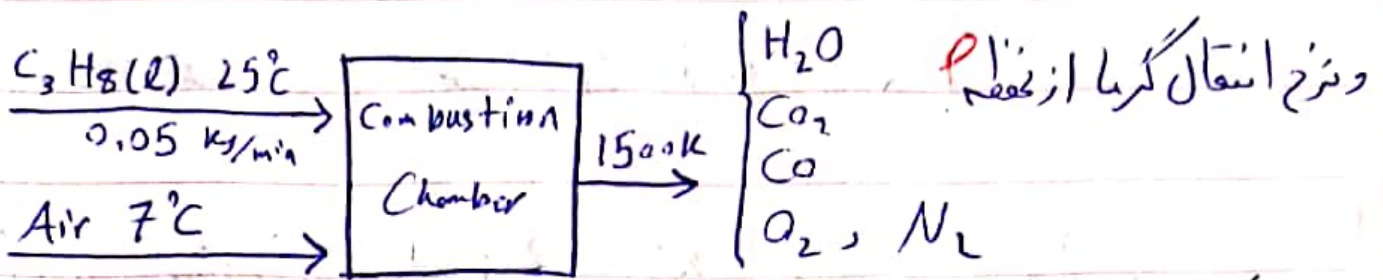
$$\xrightarrow{FL} Q_{cv} = -5512046 \text{ kJ} \quad \left(\begin{array}{l} \text{میان 7 در این مطالعه مورد} \\ \text{صنعه قبل} \end{array} \right)$$

Ex. 5 پروپان بادی $0.05 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$ در دمای 25°C وارد محفظه احتراق شده با 50%

هوای اضافی که بدان 7°C وارد شده می سوزد. آنالیز محصولات احتراق نشان داده

تمام حیدر در آن موجود می سوزد و آب تبدیل می شود. اما شما 10٪ و کربن

به CO_2 تبدیل شده و بقیه کربن به CO تبدیل می شود. دبی جری هوای در دبی به محفظه احتراق

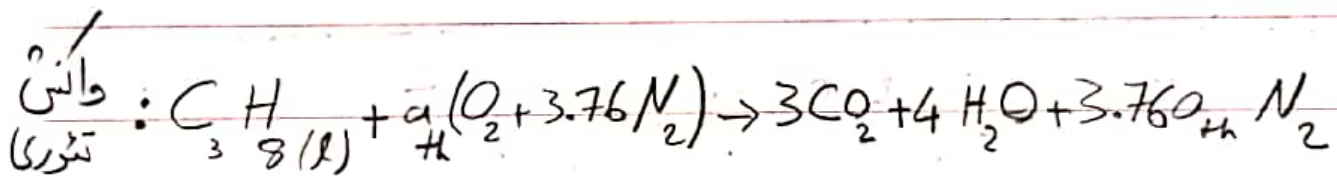


← از آنجا که احتراق کامل نیست و هوای اضافی نیز وجود دارد، باید حتماً اتمه محادله احتراق

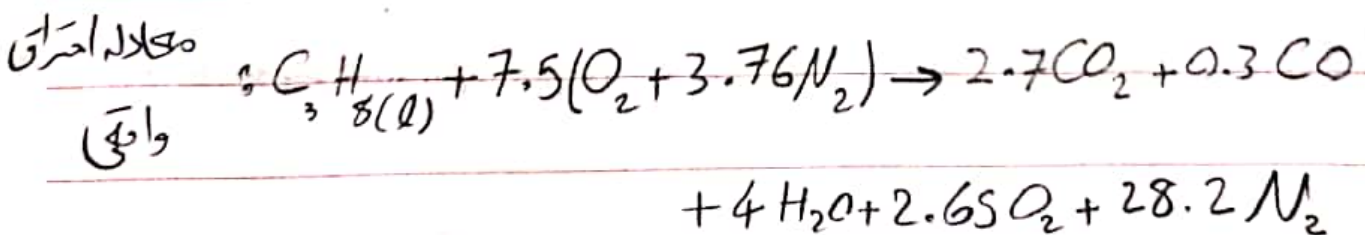
تئوری نوشته شود پس از آن میزان هوای اضافی را بر مبنای محادله تعیین کرده معادله احتراق

افزایی برابر نیست

واقعیتی را نوشت. زیرا میزان اکسیژن اضافی موجود در محمولات احتراق با اکسیژن موجود در هوا



$\Rightarrow O_2$ موازنه $\Rightarrow a_{th} = 3 + 2 = 5$



$$A_f = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{7.5 \times 4.76 \times (29)}{3 \times (12) + 4 \times (2)} = 25.53 \frac{kg_{air}}{kg_{fuel}}$$

$$\dot{m}_{air} = (A_f) \dot{m}_{fuel} = 25.53$$

$$\text{First law: } Q_{cv} + \sum_R n_i (\bar{h}_f^0 + \Delta \bar{h})_i = W_{cv} + \sum_P n_c (\bar{h}_f^0 + \Delta \bar{h})_c$$

فرض (هوای معمولی احتراق گاز ایده آن هسته) $h = h(T) \leftarrow$

ماده	\bar{h}_f^0	$\Delta \bar{h}_i = \bar{h}_{280} - \bar{h}_{298}^0$	$\Delta \bar{h}_c = \bar{h}_{1500K} - \bar{h}_{298K}^0$
$C_3H_8(l)$	-118910	---	---
O_2	0	-526	40600
N_2	0	-525	38405
$H_2O(g)$	-241826	---	48149
CO_2	-393522	---	61705
CO	-110527	---	38852

جگه از گاز در تانک $\Rightarrow Q_{cv} = -363882 \frac{kJ}{kmol} \Rightarrow q_{cv} = \frac{Q_{cv}}{M}$

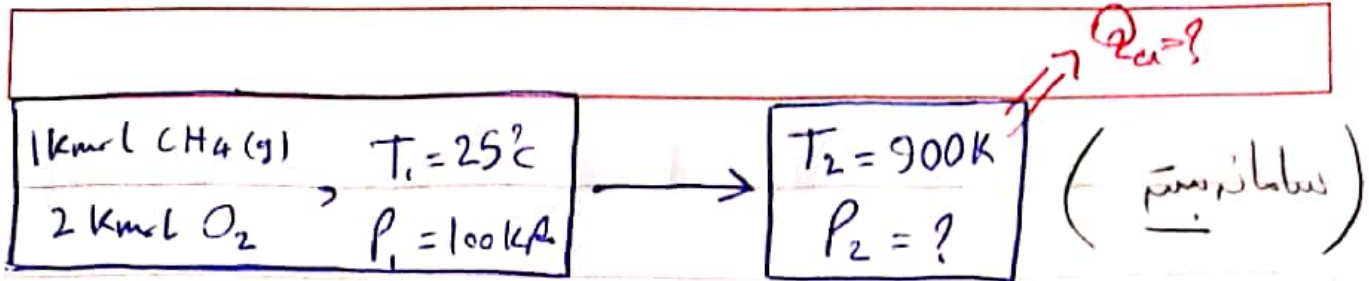
$\Rightarrow q_{cv} = \frac{-363882}{44} = -8270 \frac{kJ}{kg} \Rightarrow \dot{Q}_{cv} = \dot{m}_{fuel} q_{cv} = -6.89 kW$

(Ex.6) مخلوطی از 1 kmol ستان گاز با 2 kmol اکسیژن در ظرف حلب مطابق شکل در

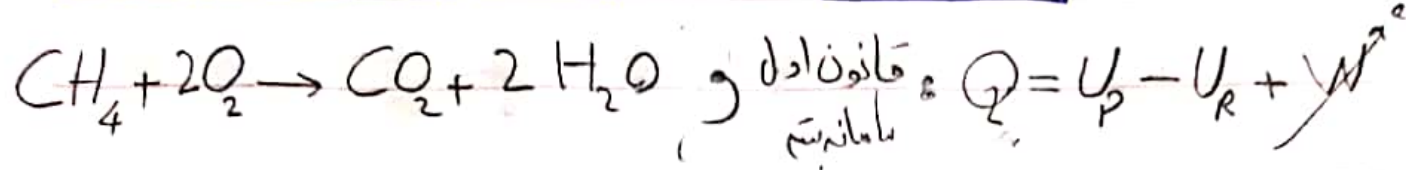
دمای $25^\circ C$ و فشار 100 kPa قرار دارد. فرآیند احتراق کامل رخ می دهد. اگر دمای نهایی

محصولات 900 K باشد، میزان انتقال حرارت از مخزن و فشار نهایی مخزن؟

(تم) واکنش ماده محصولات گاز ایده آن



Q_{cv} = ?



$$\Rightarrow Q = U_p - U_R = \sum_p n_c (\bar{h}_f^\circ + \Delta h - \bar{R}T) - \sum_R n_i (\bar{h}_f^\circ + \Delta h - \bar{R}T)_i$$

$$* \sum_R n_i (\bar{h}_f^\circ + \Delta h - \bar{R}T) = (\bar{h}_f^\circ)_{\text{CH}_4(g)} - 3\bar{R}T_1 = -82311 \text{ kJ}$$

$$* \sum_p n_c (\bar{h}_f^\circ + \Delta h - \bar{R}T) = (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_{\text{CO}_2} + 2(\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_{\text{H}_2\text{O}(g)} - 3\bar{R}T = -827719 \text{ kJ}$$

$$\frac{P_1 V = n_R \bar{R} T_1}{P_2 V = n_p \bar{R} T_2}, n_R = n_p = 3 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow P_2 = 302 \text{ kPa}$$

* اگر داخل محصولات احتراق و واکنش دهنده‌ها فاز جدا یا مایع وجود داشت، چون حجم محصور

آنها بسیار کم است هنگام جاگذاری $h - P_2$ یا $h - P_1$ از نظر P_2 منوطی کنیم و $h = h$ است.

دمای سعله آدیاباتیک \leftarrow در یک حالت شیبی با صرف نظر از تغییرات انرژی جنبی و

پتانسیل، انرژی آزاد سده می‌تواند به دو صورت صرف شود \leftarrow

1) انتقال حرارت به محیط (2) افزایش دمای محصولات احتراق



* اگر محفظه احتراق آدیاباتیکی باشد، تمام انرژی آزاد شده صرف افزایش دمای معمولاً

استراق می شود که به دمای محصولات احتراق در این شرایط **دمای سعله آدیاباتیکی** گویند.

← دمای سعله آدیاباتیکی ماکزیمم دمای است که در این شرایط واکنش مشخصی توان به آن رسید

نکته در یک واکنش با شرایط کاملاً مشخص، دمای سعله آدیاباتیکی یک است، اما اگر

فقط سوخت مشخص باشد (مثلاً بگویند متان می سوزد یا ...) و بقیه شرایط واکنش مشخص نباشد

در این صورت برای حالت های مختلف واکنش، دمای سعله آدیاباتیکی متفاوت است.

← در این حالات مختلف، دمای سعله آدیاباتیکی زمانی خود ماکزیمم می شود که **احتراق**

به طور کامل و با هوای **تئوری** انجام شود، یعنی **احتراق تئوری** صورت گیرد

* این ماکزیمم برای طر ا می متالورژیکی محفظه احتراق مورد نیاز است.

نکته هوای اضافی نقش **خنک کن** را در محفظه احتراق ایفا می کند یعنی مقداری از حرارت

تولیدی را جذب کرده باعث کاهش دمای سعله آدیاباتیکی می شود.

عوامل موثر بر دمای سعله آدیاباتیکی (1) حالت راکتورها (مثلا دمای سوخت

ورودی به محفظه احتراق) هرچه دمای سوخت ورودی به محفظه احتراق بیشتر باشد

دمای سعله آدیاباتیکی بیشتر خواهد بود (2) درجه کامل بودن واکنش (هرچه واکنش کامل تر

باشد گرمای بیشتری آزاد شده و دمای سعله آدیاباتیکی افزایش پیدا خواهد کرد.

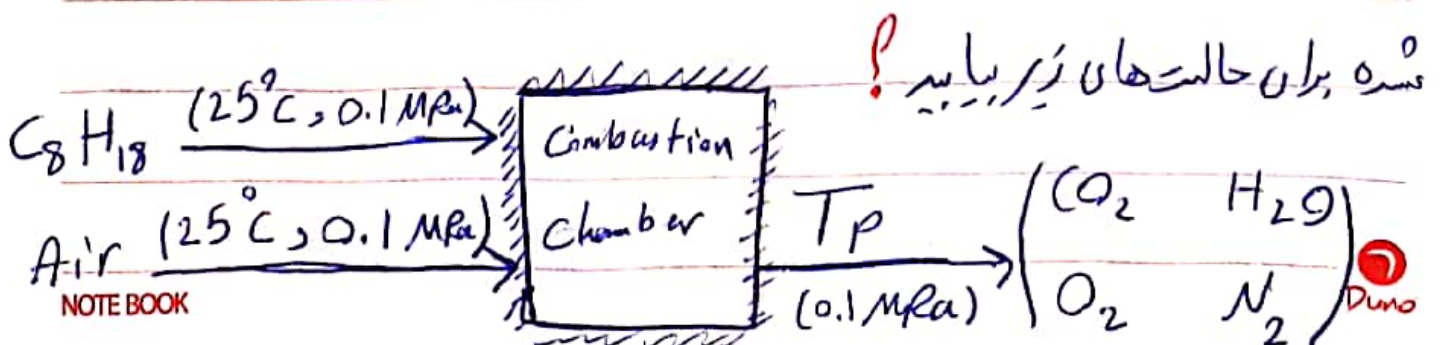
(3) مقدار هوای اضافی (هرچه هوای اضافی بیشتری داشته باشیم دمای سعله آدیاباتیکی

کاهش می یابد زیرا هوای تولیدی انرژی حرارتی بیشتری را جذب می کند)

نکته) در عمل به دلیل عایق نبودن کامل محفظه احتراق، کامل نبودن احتراق و

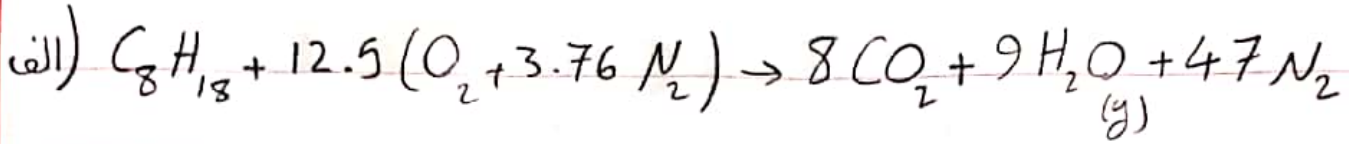
استفاده از هوای اضافی، به ما کسیمی دمای سعله آدیاباتیکی نمی رسیم.

(Ex.7) دمای سعله آدیاباتیکی را برای احتراق آلان مایع در محفظه احتراق نشان داده



الف) احتراق کامل با 100% هوای تئوری (ب) احتراق کامل با 400% هوای

تئوری (ج) احتراق ناقص با 90% هوای تئوری



$$\dot{Q}_{cv} + H_R = \dot{W}_{cv} + H_P \Rightarrow H_R = H_P \Rightarrow \sum_R n_i (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_i = \sum_P n_e (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_e$$

$$\sum_R n_i (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_i = (\bar{h}_f^\circ)_{C_8H_{18}} = -250105 \frac{kJ}{kmol \text{ of fuel}}$$

$$\sum_P n_e (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_e = 8(-393522 + \Delta h_{CO_2}) + 9(-241826 + \Delta h_{H_2O_{(g)}}) + 47 \Delta h_{N_2}$$

بازرسی
ماتریس

$$8 \Delta h_{CO_2} + 9 \Delta h_{H_2O_{(g)}} + 47 \Delta h_{N_2} = 5074504 \text{ kJ} \Rightarrow$$

این معادله ظاهره سه مجهول دارد اما هر سه تابع دمای سهله آدیاباتیک ← با سعی و خطا مآثر این
مغایب

موضوعی که Δh ما
مادری باشد

$$\Delta h_{ave} = \frac{5074505}{8+9+47} = 75740 \frac{kJ}{kmol}$$

* تخمین اولیه T_P

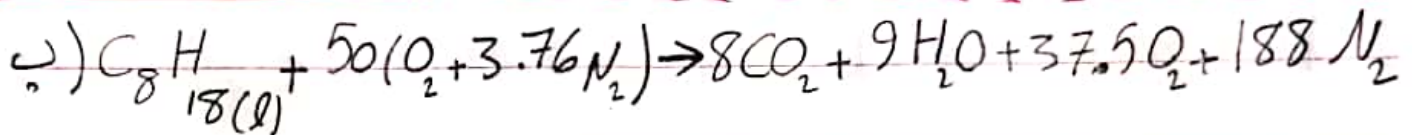
T_P	گاز
2540 K	تیروزن
2060 K	بخار آب
1740 K	کربن دی-اکسید

← این مقدار متوسط انتالپی برای هر یک از محصولات احتراق است
 T_P خامی است، با جدول A8 (A9) به جدول
 در هر دو سیستم می‌توانیم دماها را حساب
 می‌کنیم

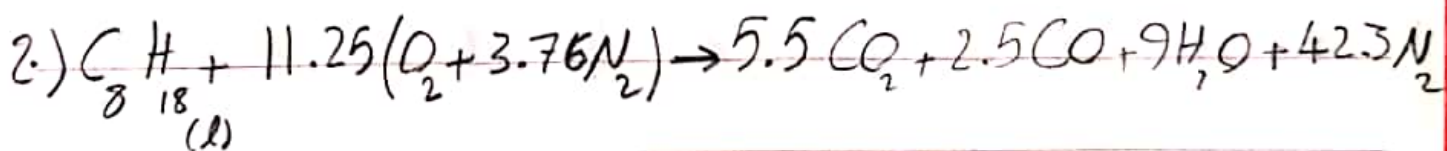
$$T_p = \frac{8 \times 1740 + 9 \times 2060 + 47 \times 2540}{8 + 9 + 47} = 2372.5 \text{ K}$$

برای بست آئینه در حدس اولیه Δh در ماده از جدول A8 خوانده می شود پس در محاسبه بست آئینه گزاشه و Δh ماده سوم خوانده می شود و پس از آن از جدول A8 برای ماده سوم دمای متناظر با Δh بست آئینه برای ماده سوم را می خوانیم. اگر اختلاف دمای بست آئین برای ماده سوم در دمای حدس اولیه ناخبر بود که دمای بست آئینه T_p است اگر اختلاف ناچگونگی وجود از دمای بست آئینه برای ماده

سوم به عنوان حدس دوم استفاده کرده و اینقدر ادامه می دهیم که همگرا شود $T_p = 2394 \text{ K}$



(ب) کمتر شده زیرا هوای اضافی شده (ت) مشابه است اف $T_p = 962 \text{ K}$ کاری کرده



$T_p = 2236 \text{ K}$ مشابه قبل

انتالپی احتراق \leftarrow اختلاف انتالپی محصولات احتراق و مواد اولیه در احتراق کامل

در فشار و دمای معین را انتالپی احتراق گویند. $\bar{h}_{RP} = H_p - H_R$

$$\Rightarrow \bar{h}_{RP} = \sum_p n_e (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_e - \sum_R n_i (\bar{h}_f^\circ + \Delta h)_i$$

* واحد انالپی احتراق کیلوژول بر کیلو مول سوخت است ← در معادله واکنش ضریب سوخت مابعد باشد

نکته) انالپی احتراق در دماها و فشارهای مختلف متفاوت است اما انالپی تسلیم ثابت پس

$$H = H^{\circ} + \Delta H \Rightarrow H_R^{\circ} = \sum_R n_i \bar{h}_{f,i}^{\circ}, \quad \Delta H_R = \sum_R n_i \Delta \bar{h}_i$$

$$H_P^{\circ} = \sum_P n_i \bar{h}_{f,i}^{\circ}, \quad \Delta H_P = \sum_P n_i \Delta \bar{h}_i$$

$$\Rightarrow H_P - H_R = H_P^{\circ} - H_R^{\circ} + \Delta H_P + \Delta H_R \Rightarrow H_P - H_R = \bar{h}_{RP}^{\circ} + \Delta H_P - \Delta H_R$$

نکته \bar{h}_{RP}° انالپی احتراق در شرایط مرجع که در جدول 3-13 برای تعدادی از هیدروکربنها

انرژی داخلی احتراق ← اختلاف بین انرژی داخلی محصولات احتراق و مواد اولیه

در احتراق کامل در فشار و دمای معین را انرژی داخلی احتراق گویند.

$$* \bar{U}_{RP} = U_P - U_R = \sum_P n_e (\bar{h}_f^{\circ} + \Delta \bar{h} - p\bar{v})_e - \sum_R n_i (\bar{h}_f^{\circ} + \Delta \bar{h} - p\bar{v})_i$$

تمام گازهای اولیه و محصولات گاز ایده آل و از حجم مواد غیرگاز در برابر حجم گاز صرف نظر کنیم.

$$\Rightarrow \bar{U}_{RP} = \bar{h}_{RP} - \bar{R}T (n_{\text{gas produced}} - n_{\text{gas reactants}})$$

گرمای دانس (ارزس حرارتی) ← حرارت انتقال یافته از محفظه احتراق طی فرآیند ثابت

← در فرآیند (سیستم) نشار ثابت یا حجم کمترل $SSSF$ $(q = \Delta h)$ ← گرمای دانس

برابر منفی انالپی احتراق است ← به آن **ارزس حرارتی نشار ثابت** احتراق می گویند.

$$\boxed{q_{RP} = -\bar{h}_{RP}}$$

← در فرآیند (سیستم) حجم ثابت $(q = \Delta u)$ ← گرمای دانس برابر منفی انرژی داخلی احتراق

است ← به آن **ارزس حرارتی حجم ثابت** احتراق می گویند: $\boxed{q_{RP} = -\bar{u}_{RP}}$ گرمای دانس

* **ارزس حرارتی بالا** ← اگر آب موجود در محصولات احتراق بصورت مایع باشد

به ارزس حرارتی، ارزس حرارتی بالا گفته می شود. (HHV)

* **ارزس حرارتی پایین** ← اگر آب موجود در محصولات احتراق بصورت بخار باشد

به ارزس حرارتی، ارزس حرارتی پایین گفته می شود. (LHV)

(دقیق آب موجود در محصولات احتراق بصورت بخار است یعنی مایع مایع نمی تواند)

جذب کنیم تا به مایع تبدیل شود پس مقداری گرمای نهان تبخیر را

محصولات احتراق هنوز در خود دارند به همین دلیل ارزش حرارتی برت آمده

ارزش حرارتی پایین است اما اگر همان حرارت گرمای نهان تبخیر سوز آن گرفته

شده باشد و آب محصولات احتراق مایع شود گرمای بیشتر جذب کردیم پس ارزش حرارتی

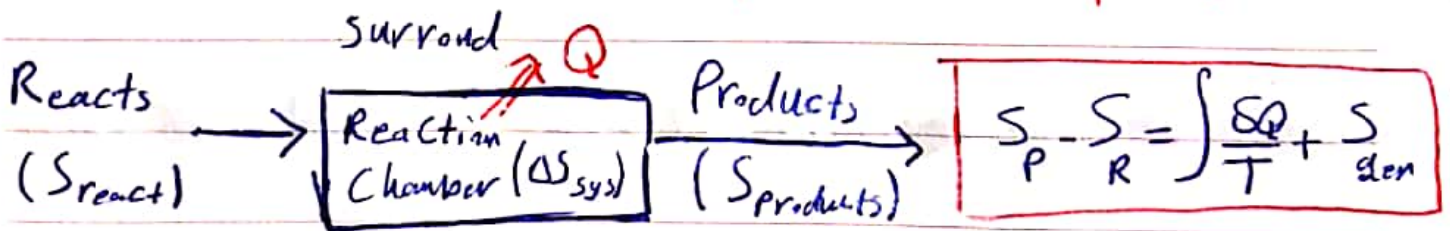
$$HHV = LHV + (n \bar{h}_{fg})_{H_2O} \leftarrow \text{برت آبره بالا است}$$

$$S_{in} - S_{out} + S_{gen} = \Delta S_{sys} \leftarrow \text{تغییر انترنپی سیستم (واکنش یافته)}$$

تولید
تولید
تغییر انترنپی

تغییر انترنپی
تغییر انترنپی توسط

تغییر انترنپی سیستم های واکنش بسته یا حجم کنترل واکنش $\Delta S_{sys} \leftarrow$



$$S_{gen} = \Delta S_{net} = \Delta S_{sur} + \Delta S_{sys} \geq 0 \leftarrow \text{اصل افزایش انترنپی}$$

$$\Delta S_{sys} = S_P - S_R = \sum_P n_i \bar{S}_i - \sum_R n_i \bar{S}_i \quad \text{و} \quad \Delta S_{sur} = -\frac{Q}{T_0}$$

نکته: قبلاً دیدیم برای اندازه گیری انتالپی طی یک واکنش شیمیایی فرض کردیم که

انتالپی عناصر شیمیایی در شرایط مرجع برابر صفر باشد پس از آن

موفق شیم با تفریق استاتیسیسیل ، استاتیسی اجزا مختلف را محاسب کنیم .

به طور مشابه ، برای اندازه گیری استرویسی طی یک داکس سیمیسی یک مربع مطلق

برای استرویسی بیان گردد (زیرا ماهیت مواد در حالت تغییرات) .

قانون سوم ترمودینامیک ← استرویسی یک ماده خالص کریستیالی در دمای

صفر مطلق برابر صفر است (اثبات ندارد اما اندازه گیری های تجربی نشان می دهد صفر است)
استرویسی مطلق است

* قانون سوم یک مربع برای استرویسی مواد مختلف می دهد ← مقدار استرویسی نسبت به این مربع
ی دهد

* جدول A8 (A9) استرویسی مطلق برخی گازها (با فرض ایده آل) در 100 kPa و دماهای مختلف

* جدول A9 (A10) مقادیر استرویسی مطلق تقلا بستی مواد را در 100 kPa و 25°C می دهد

* با اینکه دست استرویسی گاز ایده آل ، برخلاف استاتیسی آن هم تابع دما و هم فشار است

* استرویسی مطلق 5° (۵ نشان دهنده استرویسی در شرایط استاندارد $P_0 = 100 \text{ kPa}$)

مقادیر استرویسی مطلق در فشارهای غیر 100 kPa را می توان با محاسب تغییرات استرویسی

جدول A8

$$\bar{S}_{T,P}^* = \bar{S}_T^0 - R \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

گاز ایده آل طی فرآیند هم‌تأبته فرضی برگشت آورده

$$\bar{S}_T^0 = \bar{S}_{T_0}^0 + \int_{T_0}^T \frac{\bar{C}_p}{T} dT$$

* اگر انرژی ماده در جدول A8 نباشد $\left(\begin{smallmatrix} \bar{S}_{T_0}^0 \\ \downarrow \\ A9 \end{smallmatrix}\right)$

$$\bar{S}_{mix}^* = \sum_i y_i \bar{S}_i^* \quad , \quad \bar{S}_i^* = \bar{S}_{T_i}^0 - R \ln\left(\frac{y_i P}{P_0}\right)$$

* مخلوط گاز ایده آل \leftarrow

$$\bar{S}_{T,P} = \bar{S}_{T,P}^* + (\bar{S}_{T,P} - \bar{S}_{T,P}^*)$$

* گاز واقعی (عبارت داخل پرانتز نمودار استخراج انرژی)

$$\bar{S}_{mix} = \bar{S}_{mix}^* + (\bar{S}_{mix} - \bar{S}_{mix}^*)$$

* مخلوط گاز واقعی \leftarrow

انالیز قانون دبی سیستم واقعی \leftarrow

$$\psi = (h - T_0 s) - (h_0 - T_0 s_0)$$

* انرژی درغیاب انرژی پستی ریپانیل \leftarrow

* حفظ اشتراق یک حجم کنترل SSSF در نظر گرفته از تغییرات انرژی پستی

$$W^{rev} = \sum_i m_i (h_i - T_0 s_i) - \sum_e m_e (h_e - T_0 s_e) \quad : \text{ریپانیل صرف نظری کنیم}$$

$$W^{rev} = \sum_R n_i (\bar{h}_f^0 + \Delta h - T_0 \bar{s}_i) - \sum_P n_e (\bar{h}_f^0 + \Delta h - T_0 \bar{s}_e) \quad :$$

$$Q_{cv} + \sum_R n_i (\bar{h}_f^0 + \Delta h)_i = W_{cv} + \sum_P n_e (\bar{h}_f^0 + \Delta h)_e$$

* قانون اول \leftarrow
NOTE BOOK



برگشت ناپذیری سیم و الکتی ←

$$I = W^{rev} - W = \sum_P n_e T_e \bar{S}_e - \sum_R n_i T_i \bar{S}_i - Q_{cv} = T_0 S_{gen} \quad \leftarrow$$

* تابع گیبس: $g = h - TS$ ← اگر مواد اولیه و محصولات در تعادل دمایی

$$W^{rev} = \sum_R n_i \bar{g}_i - \sum_P n_e \bar{g}_e = -\Delta G, \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

باجیب باست:

* حرارت کار قابل حصول از یک داکس سیسیایی چقدر است؟ برای پاسخ به این

سوال فرض می کنیم یک کیلو مول سوخت هیدروکربنی با هوای لازم برای احتراق کامل

هر دو در شرایط محیط بانشار 100 kPa و دمای 25°C قرار دارند حرارت کار قابل

حصول زمانی است که تراشید احتراق بصورت برگشت پذیر رخ داده و محصولات

$$W^{rev} = \sum_R n_i \bar{g}_i - \sum_P n_e \bar{g}_e = -\Delta G$$

احتراق نیر در تعادل با محیط باست:

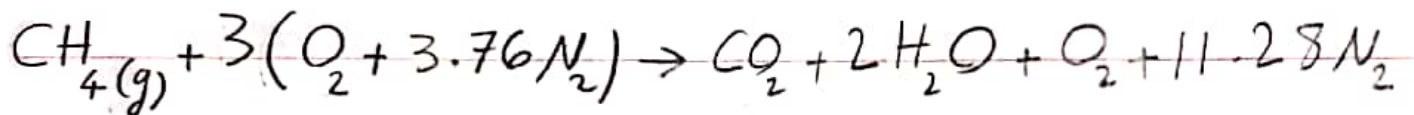
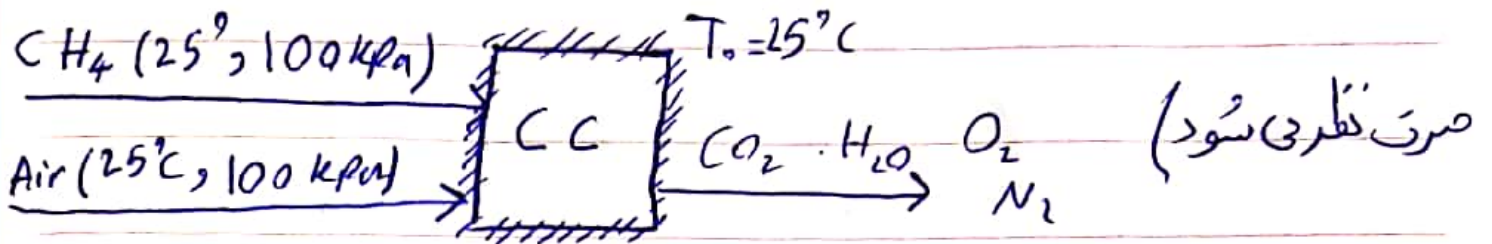
یکته) از آنجایی که حالت نهایی در تعادل با محیط است کار برگشت پذیر فون با

می توان به عنوان انرژی سوخت و هوا در نظر گرفت.

Ex.8) گاز متان با 50% هوای اضافی در دمای 25°C و فشار 100 kPa وارد

محفظه احتراق آدیاباتیک می شود و بطور کامل می سوزد. دمای تولیدی، کارایی و

پنروبرکت ناچیزی را محاسبه کنید (دمای محیط 298K و ازانت ناسار در محفظه احتراق



دمای محصولات همان دمای سوز آدیاباتیک که با فرض تبدیل بیست می آید: $T_p = 1789\text{K}$

$$S_{gen} = \Delta S_{net} = \Delta S_{cv} + \Delta S_{surr} \geq 0 \Rightarrow S_{gen} = \Delta S_{cv}$$

$$\Delta S_{cv} = S_{gen} = S_p - S_R = \sum_p n_e \bar{s}_e - \sum_R n_i \bar{s}_i$$

$$\bar{s}_i = \bar{s}_{T_i}^\circ - R \ln\left(y_i \frac{P}{P_0}\right) \xrightarrow{P=P_0} \bar{s}_i = \bar{s}_{T_i}^\circ - R \ln(y_i)$$

↓
از جدول $\bar{s}_{T_i}^\circ$ جدول A8

obj	n_i	$y_i = \frac{n_i}{n}$	$\bar{s}_{T_i}^{\circ}$ (A8)	\bar{s}_i (A.4.1)	$n_i s_{e_i} = n_i s_i$
CH ₄	1	1	186.251	186.251	186.251
O ₂	3	0.21	205.148	218.124	654.137
N ₂	11.28	0.79	191.609	193.569	2183.46

$$S_R = \sum_R n_i \bar{s}_i = 3023.86$$

CO ₂	1	0.0654	302.517	325.191	325.19
H ₂ O	2	0.1309	258.957	275.862	551.72
O ₂	1	0.0654	264.471	287.145	287.15
N ₂	11.28	0.7382	247.977	250.501	2825.65

$$S_P = \sum_P n_c \bar{s}_c = 3989.71$$

$$S_{gen} = S_P - S_R = \sum_P n_c \bar{s}_c - \sum_R n_i \bar{s}_i = 965.85 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

$$I = \sum_P n_c T_c \bar{s}_c - \sum_R n_i T_i \bar{s}_i - Q_{rev}^{\circ} = T_0 \left(\sum_P n_c \bar{s}_c - \sum_R n_i \bar{s}_i \right)$$

$$\Rightarrow I = T_0 S_{gen} = (298 \times 965.85) = 287823 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol CH}_4}$$

$$I' = W_{rev} = 287823 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol CH}_4}$$

ارزیابی فرآیندهای واقعی احتراق ← پارامترهای مختلفی را می توان بهت ارزیابی

فرآیند واقعی احتراق در نظر گرفت که با توجه به ماهیت فرآیند بار استر مناسب انتخاب می شود

سیکل گازی ← هدرن زمان در میان محصولات احتراق به ماکزیم دمای سیکل (ماکزیم

دمای قابل تحمل پره های توربین) است. اگر فرآیند احتراق کامل آدیاباتیک

داسته باشیم، دمای محصولات همان دمای سوله آدیاباتیک خواهد بود. بنابراین

این فرآیند به عنوان فرآیند ایده آل گرفته شده و نسبت سوخت به هوا این حالت به نسبت

سوخت به هوای ایده آل می نامیم، توجه شود این فرآیند در واقع احتراق تئوری نیست

اما در عمل احتراق واقعی کامل نبوده مقداری انتقال حرارت به محیط رخ می دهد، لذا

برای رسیدن به دمای فنون باید سوخت یسری مصرف کرد (نسبت هوا به سوخت یسری برای رسیدن

به دمای حرکات سیکل نیاز است) ← راندمان احتراق :

$$\eta_{\text{Comb}} = \frac{(FA)_{\text{ideal}}}{(FA)_{\text{actual}}}$$

$$\eta_{Boiler} = \frac{\text{Heat transferred to Water}}{\text{High Heating Value of Fuel}}$$

بویلر ← هزن انتقال ماکزیم حرارت به آب ←

موتوره‌های احتراق داخلی ← در این موتورها هدف تولید کار است بنابراین راندمان آنها

باید بصورت نسبت کار تولیدی واقعی به ماکزیم کار قابل حصول از یک تغییر حالت

برگشت پذیر بین مواد اولیه و محصولات احتراق تغییر می‌شود که همان راندمان قانون دوم است

اما در عمل راندمان این موتورها بصورت نسبت کار واقعی تولیدی به منفی انتقالی احتراق

(ارزش حرارتی فشار ثابت) سوخت تغییر می‌شود. این راندمان معمولاً راندمان حرارتی

$$\eta_{th} = \frac{W}{-h_{RP}}$$

موتور احتراق داخلی دایره‌ای سوخت :

(Ex. 9) در یک نیروگاه بخار آب با جرم $325000 \frac{kg}{h}$ فشار $12.5 MPa$ و دمای

$200^\circ C$ وارد بویلر شده با فشار $9 MPa$ و دمای $500^\circ C$ از آن خارج می‌شود

توان خردی توربین $81 MPa$ می‌باشد. در بویلر زغال سنگ با ارزش حرارتی بالای

$33.25 \frac{MJ}{kg}$ با نرخ جرمی $26700 \frac{kg}{hr}$ مصرف می‌شود. راندمان بویلر و راندمان

$$\eta_{Boiler} = \frac{\dot{m}_w (h_2 - h_1)}{\dot{m}_{fuel} HHV} = \frac{3325000 (3386.1 - 857.1)}{26700 \times 33250} = 92.6\%$$

حرارتی نیروگاه

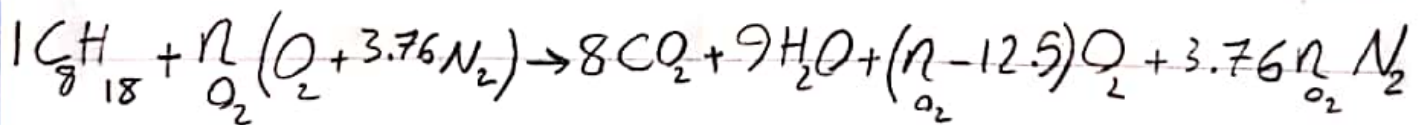
$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_{fuel} HHV} = \frac{81000 \times 3600}{26700 \times 33250} = 32.8\%$$

(Ex. 10) با اندازه گیری اطلاعات زیر از محفظه احتراق یک توربین گاز که از آلکان مایع

به عنوان سوخت استفاده می کند به دست آمده، رانندگی احتراق؟ $FA = 0.0211$
actual

$$T_{Air} = 400\text{K}, V_{Air} = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, T_{fuel} = 50^\circ\text{C} \quad | \quad T_{Prod} = 1100\text{K}, V_{Prod} = 150 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

* در احتراق ایده آل انتقال حرارت به محیط رخ نمی دهد. بازنویسی معادله دکانون اول ترمودینامیک



* دمای محصولات احتراق درواکنش واقعی 1100K است. اگر احتراق ایده آل باشد.

① به ازای همان هوای مصرفی با سوخت کمتری توان به این دما رسید (زیر دجات

ایده آل محفظه احتراق آدیاباتیکی (ظرفی ناچیزات) و یا ② با همان میزان

سوخت مصرفی با مصرف هوای بیشتری توان به همان دمای 1100K

در حالت برآنی رسید (برای هوا) اضافی نفس جنگ این را دارد) ← ما در این مسئله فرض

دوم را مورد بررسی قرار می دهیم یعنی فرض می کنیم درواکس دائمی با مصرف یک کیلوگرم

سوخت به دمای 1150K رسیده ایم و در حالت ایره آن نیز یک کیلوگرم سوخت داریم

و با محاسبه هوای مصرفی در حالت ایره آن نسبت هوا به سوخت ایره آن را حساب کرده و با تقسیم

آن بر نسبت هوا به سوخت دائمی (0.021) را زمان احتراق را محاسبه می کنیم.

$$H_R + KE_R = H_P + KE_P \quad (\star)$$

قانون اول برای محفظه احتراق

$$H_R + KE_R = \sum_R n_i \left(\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right)_i$$

$$= \left[\bar{h}_f^\circ + \bar{c}_p (50 - 25) \right]_{C_8H_{18}(l)} + n_{O_2} \left(\Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right)_{O_2} + 3.76 n_{O_2} \left(\Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right)_{N_2}$$

$$= -250105 + 2.23 + 114.23(50 - 25) + n_{O_2} \left(3034 + \frac{32 \times 100^2}{2 \times 1000} \right)$$

$$+ 3.76 n_{O_2} \left(2971 + \frac{28.02 \times 100^2}{2000} \right) = -243737 + 14892 n_{O_2}$$

$$H_P + KE_P = \sum_P n_e \left(\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right)_e$$

$$\begin{aligned}
 &= 8 \left(\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h} \frac{M V^2}{2} \right)_{\text{CO}_2} + 9 \left(\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right)_{\text{H}_2\text{O}} + (n_{\text{O}_2} - 12.5) \left(\Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right)_{\text{O}_2} \\
 &+ 3.76 n_{\text{O}_2} \left(\Delta \bar{h} + \frac{M V^2}{2} \right) = 8 \left(-393522 + 38891 + \frac{44 \times 150^2}{2000} \right) \\
 &+ 9 \left[-241826 + 30147 + \frac{18 \times 150^2}{2000} \right] + (n_{\text{O}_2} - 12.5) \left(26218 + \frac{32 \times 150^2}{2000} \right) \\
 &+ 3.76 n_{\text{O}_2} \left(24758 + \frac{28 \times 150^2}{2000} \right) = -5068599 + 120853 n_{\text{O}_2}
 \end{aligned}$$

دالیت

$$\xrightarrow{\star} -243737 + 14892 n_{\text{O}_2} = -5068599 + 120853 n_{\text{O}_2}$$

$$\Rightarrow n_{\text{O}_2} = 45.53 \frac{\text{kmol O}_2}{\text{kmol fuel}} \Rightarrow \frac{\text{kmol air}}{\text{kmol fuel}} = 4.76 \times 45.53 = 216.72$$

$$(F_A)_{\text{ideal}} = \frac{114.23}{216.72 \times 28.97} = 0.0182 \frac{\text{kg fuel}}{\text{kg air}}$$

$$\Rightarrow \eta_{\text{comb}} = \frac{(F_A)_{\text{ideal}}}{(F_A)_{\text{actual}}} \times 100 = \frac{0.0182}{0.0211} \times 100 = 86.2\% \quad \checkmark$$