

حرفه‌ای عمل ترمودینامیک

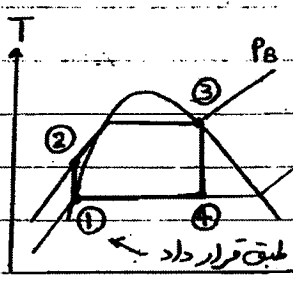
①* فرضی دگرگین: مفرد استفاده در نیروگاه‌های بخار

برودن بر قوانین اول و دوم ترمودینامیک برای فرضها

1st law: $W_{net} = \sum_i W_i = Q_{net} = \sum_i Q_i \rightarrow$ برای یک سیکل

$\oint \delta Q = \oint \delta W$

2nd law: $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$ (انابرابری کلاسیوس)

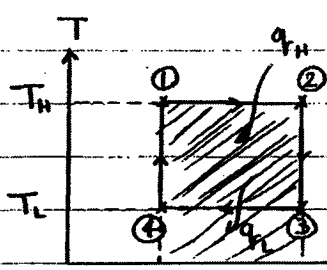


فرضه‌های ساده‌کننده برای سیکل دگرگین شامل فرآیندهای برگشت پذیر درونی است. ① خارج از مرز سیستم دارد. ② محیط دگرگین آدیاباتیکی هستند.

یک فرآیند برگشت پذیر فرآیندی است که پس از اتمام آن بتوان آن را به حالت اولیه بازگرداند بدون آنکه تغییری ظاهری بر سیستم داشته باشد.

* اگر انرژی زیاد شود، گرما جذب خواهد شد. (اصورتی که فرآیند برگشت پذیر باشد)

* یادآوری: 2nd law برای فرآیند یادآوری $dS = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_g$
 $S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + S_g \rightarrow \gg 0$



* یادآوری: سیکل کارنو

$\oint T ds = q_{net} = W_{net}$

$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_H}$

* $q_H = q_2 = \int_1^2 T ds$

SSSF, C.V Pump : 1st law: $w_2 = h_1 - h_2 = -w_p$

بدلیل نبودن اصطکاک و تغییرات دما و چگالی در پمپ، می توانیم
 $w_2 = \int_0^1 v dp \approx v_f (P_2 - P_1) \rightarrow w_p = -w_2 \approx v_f (P_2 - P_1) = v_f \cdot (P_2 - P_1)$
 (100 kPa)

$w_p = 0.00101 (2000 - 10) = 2.0 \frac{kJ}{kg}$ → Back work ratio = $\frac{w_p}{w_t}$

$i h_e - i w_e = (h + \frac{v^2}{2} + gz)_e - (h + \frac{v^2}{2} + gz)_i$

q_H : SSSF, C.V Boiler → 1st law: $q_3 = h_3 - h_2$

$q_H = q_3$

$h_3 = h_g @ 2 MPa = 2799.5 \frac{kJ}{kg}$

استفاده از قانون اول پمپ:

$h_2 = h_1 - w_2 = h_1 + w_p = h_f @ 100 kPa + 2 = 191.8 + 2 = 193.8 \frac{kJ}{kg}$

$\Rightarrow q_H = q_3 = h_3 - h_2 = 2799.5 - 193.8 = 2605.7 \frac{kJ}{kg}$

$\eta_{th} = \frac{790 - 2}{2605.7} = 30.3\%$ ($q_H = 2605.7 \frac{kJ}{kg}$, $w_{net} = 790 \frac{kJ}{kg}$)

$q_L = q_H - w_{net} = 1815.7 \frac{kJ}{kg}$

پس از آن: $w_{net} = q_{net} \rightarrow 790 = q_H - q_L$

سبب این است که: $\eta_{th, RHE} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$

Rankine cycle → $\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{q_H - q_L}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$

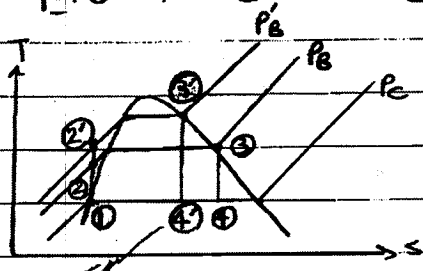
$q_H = q_3$

قانون دوم برای فرآیند برگشتی در پمپ:
 $ds = \frac{\delta q}{T} + \delta q_{int, rev}$ → $q_3 = \int_2^3 T ds = \bar{T}_H (s_3 - s_2)$

$q_L = -q_1 = \int_4^1 T ds = \bar{T}_L (s_4 - s_1)$

افزایش دمای جذب حرارت / کاهش دمای دفع حرارت
 $\eta_{th} = 1 - \frac{T_{th}}{T_{th}}$ $\rightarrow \eta_{th} \uparrow$

برای بالا بردن رانندگی موتور و فشار بخار را بالا می‌بریم و فشار کندانسور را پایین می‌آوریم



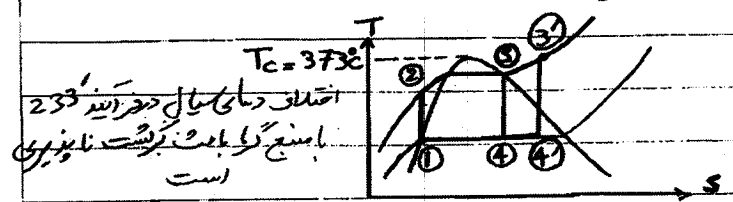
کفایت پایین - قطرات آب به بردن توربین
 ورود می‌کند

ما می‌توانیم فشار کندانسور را پایین آوریم که دمای میانی کندانسور از دمای محیط کمتر شود تا انتقال حرارت انجام شود

فرآیند 3-4 دمای دمای است و این امر باعث فرسایش پره‌های توربین می‌شود

روش‌های بهبود رانندگی:

1- بدون نقطه 3 دمای superheat تا جایی که نقطه 4 دارد تا دمای superheat نشود



استفاده دمای میانی در آنتالپی 233
 باعث گواشت نامرئی است

$w_{net} \uparrow$
 $\eta_{th} \uparrow$

مثال: یک موتور رانندگی $P_c = 10 \text{ kPa}$, $P_B = 2 \text{ MPa}$

بترین حالت (بالا ترین رانندگی)
 $T_{3'} = T [2 \text{ MPa}, s_{3'} = s_{4'} = s_g]_{10 \text{ kPa}} = 7.5009 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

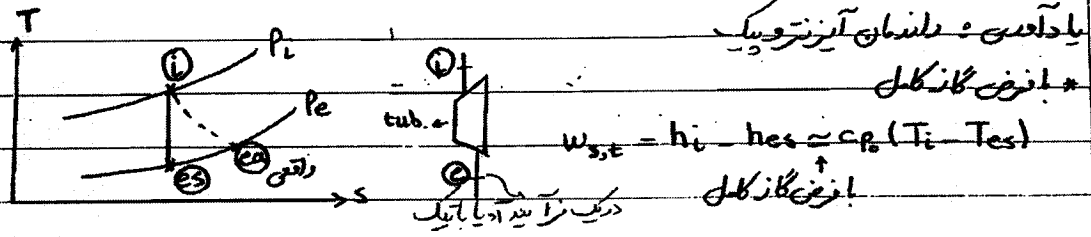
$\Rightarrow T_{3'} = 500^\circ\text{C}$, $s_{3'} = 7.4316 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, $h_{3'} = 3467.55 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$

$x = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} \Big|_{10 \text{ kPa}} = \frac{7.4316 - 0.6992}{7.5010} = 0.9$

$h_{4'} = h_f + x \cdot h_{fg} \Big|_{10 \text{ kPa}} = 191.91 + 0.9 \cdot 2392.82 = 2345.347 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

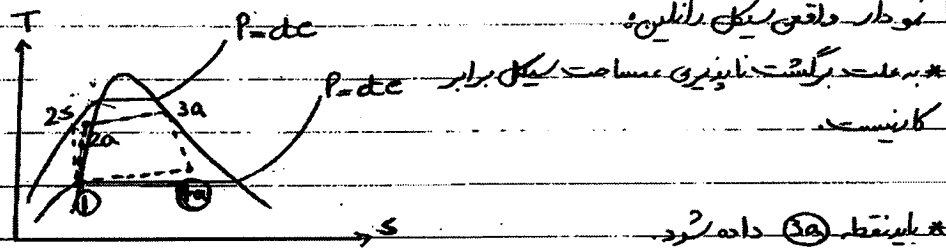
$\eta_{th} = \frac{w_t - w_p}{q_H} = \frac{(h_{3'} - h_{4'}) - 2.0}{h_{3'} - h_2} = \frac{3467.55 - 2345.5 - 2}{3467.55 - 143.8} = 0.339$

۵



* به ازای نسبت فشار یکسان و شرایط ورودی یکسان، کار توربین آیزنتروپیک نسبت به تمام توربین های آدیاباتیک بیشتر است.

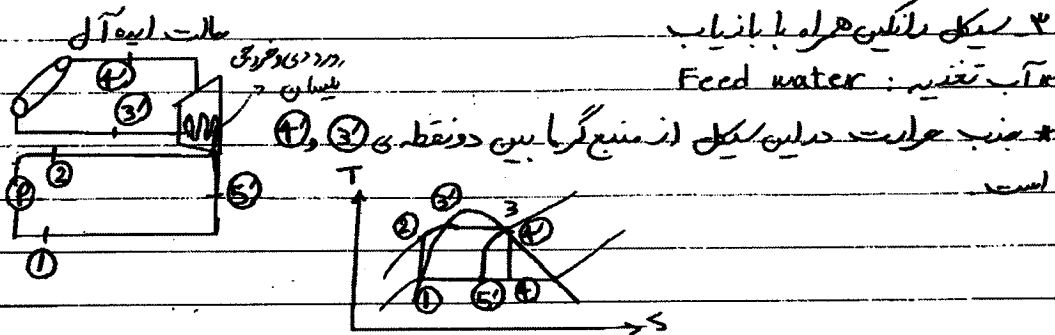
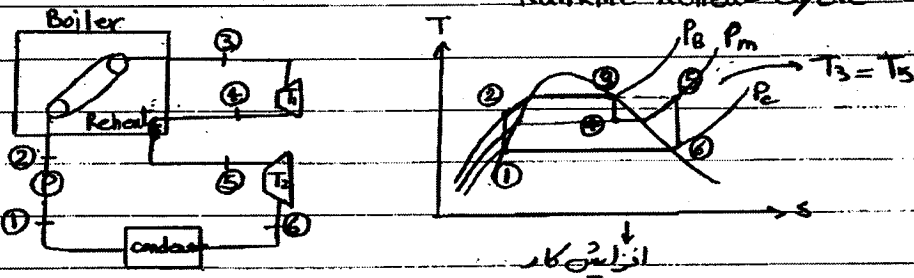
$$\eta_{s,t} = \frac{w_a}{w_s} \quad (75\% - 90\%)$$



$$\eta_{s,t} = \frac{w_a}{w_s} \quad \eta_{th} = \frac{w_{act}}{q_H} = \frac{w_t - w_p}{q_H} \rightarrow w_t = \eta_{s,t} w_{s,t}$$

$$\eta_{s,p} = \frac{w_{ps}}{w_{pa}}$$

Rankine Reheat cycle

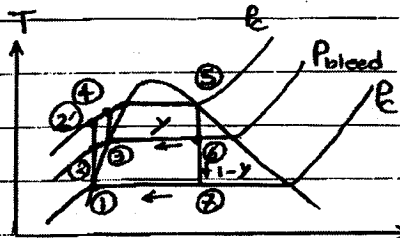
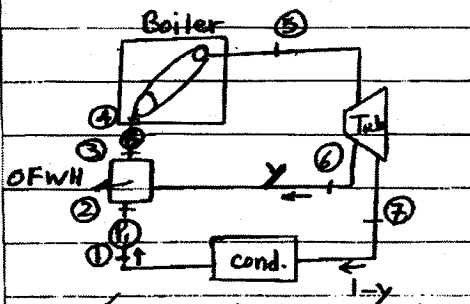


حالت ایده آل قابلیت اجرا ندارد (مشکل)

1. یک پمپ با یک همراه با این یک نوع بازه (open Feed water heater)

تبادل حرارت همراه با مخلوط شدن است.

قبل از مخلوط شدن، باید فشار دو خودی برابر شود



شکل ساده 12.571
رنگین

از روی نمودار می توان کار را حساب کرد $3 \rightarrow 2 \leftarrow \downarrow y$, $3 \rightarrow 6 \leftarrow \uparrow y$

* دمای آب تغذیه باید تا حد امکان بالا رود و همین نقطه 3 است. دمای دو فاز باید (بسیار)

پایین نقطه 3 روی سطح اشباع قرار می گیرد. چنانچه تا توربین داریم

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{m w_{t1} + (1-y)m w_{t2} - (1-y)m w_{p1} - m w_{p2}}{m q_H}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{t1} + (1-y)w_{t2} - (1-y)w_{p1} - w_{p2}}{q_H}$$

* کار خالص سیکل کم شده است. کار توربین و کار پمپ هر دو کم شده اند. اما کار خالص زیاد شده است.

مثال: یک سیکل رانکین همراه با این یک (از نوع باز را در نظر بگیرید) فشارهای بویلر و کندانسور 10 MPa و 10 KPa بوده و فشار برداشت 800 KPa است. راندهای حرارتی را بیابید.

$$w_{t1} = s w_6$$

$$1^{st} \text{ law: } s w_6 = h_5 - h_6 \quad , \quad h_6 = h_g)_{10 \text{ MPa}} \quad , \quad h_5 = h(800 \text{ KPa}, s_6 = s_2 = s_g)_{10 \text{ MPa}}$$

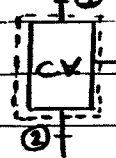
$$w_{t2} = h_6 - h_7$$

$$h_7 = h(10 \text{ KPa}, s_7 = s_5 = s_g)_{10 \text{ MPa}}$$

$$w_{p1} = v_1 (P_{bleed} - P_c) \quad , \quad v_1 = v_f)_{10 \text{ KPa}}$$

$$w_{p2} = v_3 (P_0 - P_{bleed}) \quad , \quad v_3 = v_f)_{P_{bleed}}$$

$$q_H = \frac{q}{h_5} = h_5 - h_4 \quad (h_4 = h_3 + w_{p2}) \leftarrow \text{تبدیل دما در 3 و 4}$$



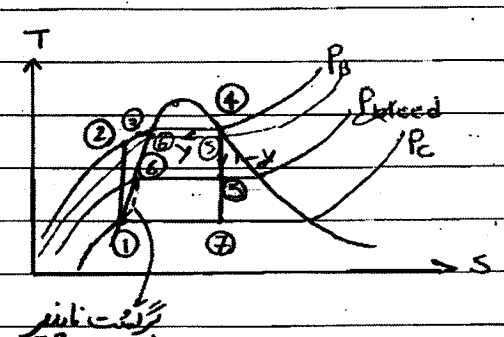
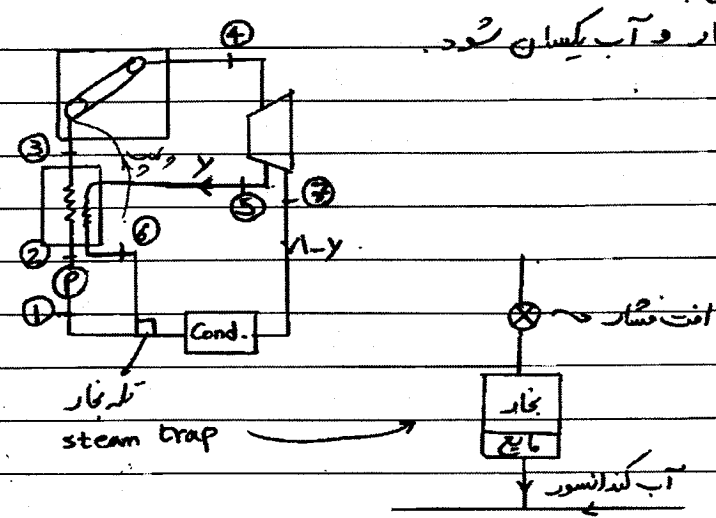
برای حالتی y:

$$SSSF: \dot{Q} = \dot{W} = 0 \rightarrow 0 = m_3 h_3 - (m_2 h_2 + m_1 h_1)$$

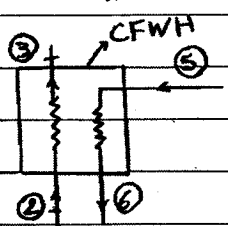
$$m_3 = m \div m \rightarrow 0 = h_3 [(1-y) h_2 + y h_1] \rightarrow y = \frac{h_3 - h_2}{h_1 - h_2}$$

۷۰

سیکل رانگیں همراه با بازیاب نوع بسته
 * هیچ نیروی متلاذ که فشار بخار و آب یکسان شود



$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{m w_{t1} + (1-y)m w_{t2} - m w_p}{m q_H} = \frac{w_{t1} + (1-y)w_{t2} - w_p}{q_H}$$



1st law: $\sum m_i h_i = \sum m_e h_e$

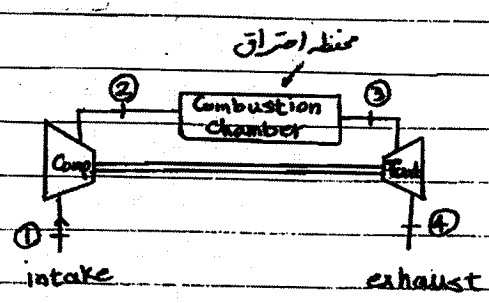
$$\rightarrow m h_3 + y m h_4 = m h_2 + y m h_5 \rightarrow y = \frac{h_2 - h_3}{h_5 - h_4}$$

$$h_3 = h_1 + w_p \cdot w_p = \frac{v_f (P_b - P_c)}{P_c} \quad , \quad h_1 = h_f(P_c)$$

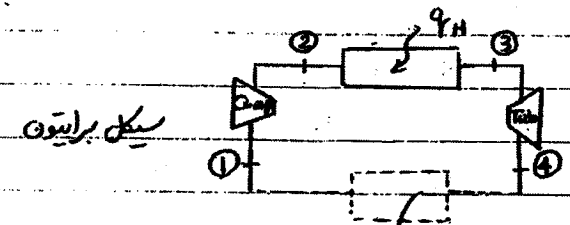
$$h_3 = h(P_b, T_s)_{P_{bled}} = h_f(T_s)_{P_{bled}} = h_4$$

$$h_5 = h[P_{bled}, S_5 = S_1 + S_g]_{P_b}$$

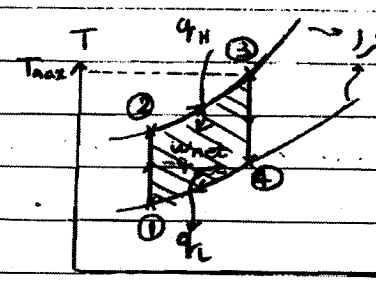
توربین های گازی:



سایکل برای توربین های گازی و موتورهای تراکم کننده
 * اهمیت بسیار کمی بعد از نقطه احتراق عوض می شود اما اولین فرض ساده کننده برای سایکل برای توربین
 این است که فرض کنیم در خارج انجام می شود و اهمیت بسیار در سرتاسر سایکل تغییر نمی کند. (برون بود)
 * هوا در این سایکل گاز کامل فرض می شود.
 * فرض می کنیم که هوای خارج شده از 4 توسط یک منبع حرارت خیالی گرا از دست داده و دوباره به
 نقطه 1 برگردد.



* با فرض برگشت پذیری و شرایط SSSF
 $(P_2 = P_3)$



کیت های مورد نیاز برای مشخص کردن سایکل:
 $(T_1, P_1) \rightarrow r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} \quad T_{max} = T_3$

* بازده این سایکل تنها از بازده سایکل رانکین کمتر است

رابطه حرارتی سایکل برای توربین:

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{q_{net}}{q_H} = \frac{q_H - q_L}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$$

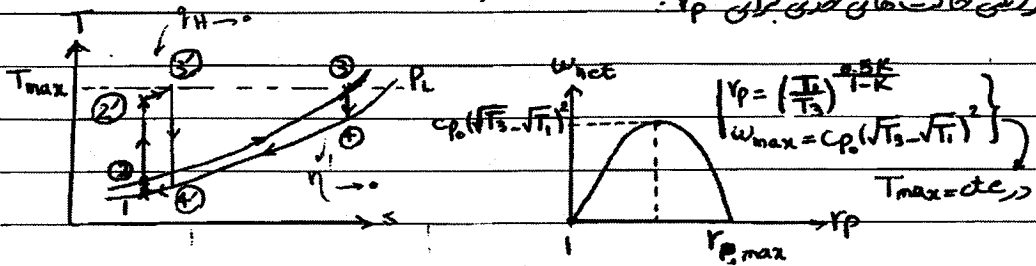
$$\left. \begin{aligned} q_H &= \overset{(1^{st} \text{ law})}{2} \overset{(SSSF)}{3} = h_3 - h_2 = c_p (T_3 - T_2) \\ q_L &= \overset{(1^{st} \text{ law})}{4} \overset{(SSSF)}{1} = h_4 - h_1 = c_p (T_4 - T_1) \end{aligned} \right\} \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1}$$

1-2 isentropic: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$

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

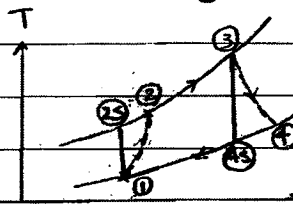
با تغییر این در یک برایتون و رانندگی آنها به نسبت فشار بستگی دارد بنابراین با بالا بردن دما و کار زیاد می شود اما رانندگی تغییر نمی کند

بررسی حالت های صریح برای r_p



$$w_{net} = w_t - w_c = c_{p0}(T_3 - T_4) - c_{p0}(T_2 - T_1)$$

مثالی که توربین گاز یک برایتون با دمای ورودی 850 درجه سانتیگراد و دمای خروجی 250 درجه سانتیگراد توربین 85٪ رانندگی و دمای ورودی 750 درجه سانتیگراد و دمای خروجی 250 درجه سانتیگراد توربین 75٪ رانندگی را در نظر بگیرید. الف) حاصل کار در هر حالت با کمترین رانندگی با طولی که موتور کار کند و ب) کار خالص انجام شده با اگر دمای کمترین رانندگی 1150 درجه سانتیگراد و دمای خروجی یک رانندگی را در نظر بگیرید.



$$\begin{aligned} w_t = w_c &\rightarrow \eta_{s,t} \quad w_{s,t} = \frac{w_{c,s}}{\eta_{s,c}} \\ w_{c,s} = h_3 - h_{2s} &= c_{p0}(T_3 - T_{2s}) = c_{p0} T_2 \left(1 - \frac{T_{2s}}{T_2}\right) \\ &= c_{p0} T_2 \left(1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}\right) \\ w_{c,s} = h_{2s} - h_1 &= c_{p0}(T_{2s} - T_1) = c_{p0} T_1 \left(\frac{T_{2s}}{T_1} - 1\right) \\ &= c_{p0} T_1 \left(r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1\right) \end{aligned}$$

$$w_c = w_t \rightarrow \frac{c_{p0} T_1 (r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1)}{\eta_{s,c}} = c_{p0} T_2 \left(1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}\right) \eta_{s,t} \rightarrow T_3 = 850^\circ\text{C}$$

* زیرا این کار یک کار نمی کند

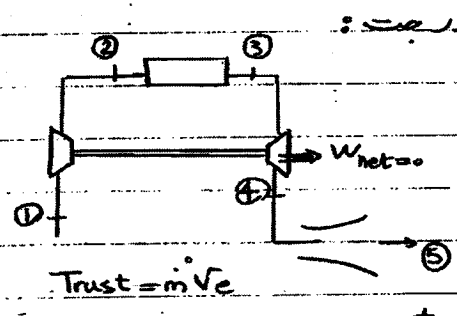
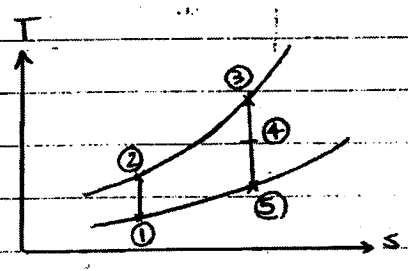
$$\begin{aligned} w_{net} = w_t - w_p &= \eta_{s,t} \frac{w_{c,s}}{\eta_{s,c}} - \frac{w_{p,s}}{\eta_{s,c}} = \eta_{s,t} (h_3 - h_{2s}) - \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{s,c}} \\ &= \eta_{s,t} c_{p0} T_2 \left(1 - \frac{T_{2s}}{T_2}\right) - \frac{c_{p0} T_1 \left(\frac{T_{2s}}{T_1} - 1\right)}{\eta_{s,c}} \\ &= \eta_{s,t} c_{p0} T_2 \left(1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}\right) - \frac{c_{p0} T_1 (r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1)}{\eta_{s,c}} \end{aligned}$$

10

$q_H = q_s$
 1st law SSSF 2 → 3: $q_H = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$

$h_2 - h_1 = w_c = \frac{c_p T_1}{\eta_{s,c}} \left(r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = c_p(T_2 - T_1)$: T_2 قابل است

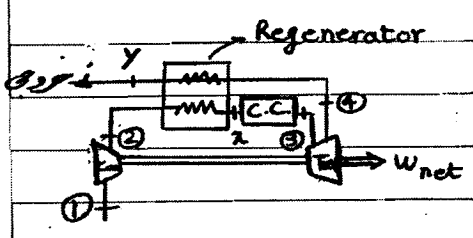
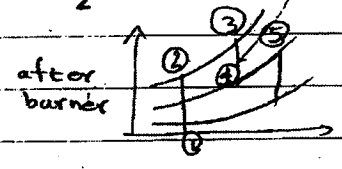
$\rightarrow T_2 = T_1 \left[1 + \frac{r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{s,c}} \right] \Rightarrow \eta_{th} = 27.1\%$



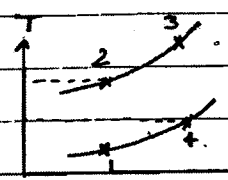
1st law Analysis at the nozzle (C.V. nozzle, SSSF, 1st law)

$h + \frac{V^2}{2} + g(z) = h_i + \frac{V_i^2}{2} + g(z_i) \rightarrow h_i - h_e = \frac{V_e^2}{2}$

$\rightarrow h_i - h_e = \frac{V_e^2}{2} \rightarrow c_p(T_i - T_e) = \frac{V_e^2}{2}$

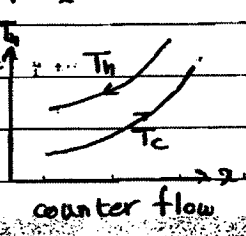
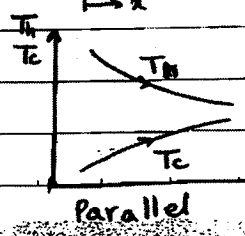
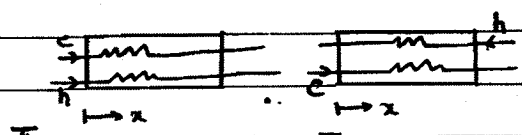
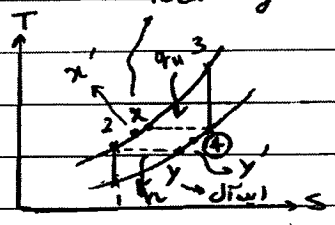


بسیار با اینها همراه با اینها...
 فواید: صرفه جویی کمتر، آلودگی کمتر
 * نسبت فشار کم شود باید توجه باشد که در خروجی تغییر
 بیشتر از در خروجی کم شود باشد



باز یاب امکان پایینتر
 (نسبت فشار بالا)

ideal regenerator



* یک موتور با یک افزایش یافته است (افزایش دمای متوسط جنب حرارت و کاهش دمای متوسط دفع حرارت)

$$\text{Ideal regenerator: } \eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{w_t - w_c}{q_H}$$

$$w_t = 3w_c$$

$$1^{st} \text{ law, SSSF, turbine: } 3w_c = h_3 - h_4 = c_p (T_3 - T_4)$$

$$q_H = xq_3$$

$$1^{st} \text{ law, SSSF, c.c.: } xq_3 = h_3 - h_2 = c_p (T_3 - T_2)$$

$$w_c = -1w_2$$

$$1^{st} \text{ law, SSSF, Compressor: } 1w_2 = h_1 - h_2 = c_p (T_1 - T_2)$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{w_c}{q_H} \quad (w_c = q_H) \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{c_p (T_2 - T_1)}{c_p (T_3 - T_4)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}{T_3 \left(1 - \frac{T_2}{T_3} \right)}$$

$$\rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) = 1 - \frac{T_1}{T_3} r_p^{\frac{k-1}{k}} \left(\frac{1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}}{1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}} \right) = 1 - \frac{T_1}{T_3} r_p^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\rightarrow \boxed{\eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_3} r_p^{\frac{k-1}{k}}}$$

$$\text{مثبت دما: } \eta_{reg} = \frac{T_2' - T_2}{T_4 - T_2} = \frac{T_4 - T_2'}{T_4 - T_2} \quad \text{مثبت دما: } \eta_{reg}$$

$$\text{مثبت دما: } 1^{st} \text{ law, SSSF, مثبت: } T_4 - T_2' = T_2' - T_2$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{q_{net}}{q_H} = \frac{q_H - q_L}{q_H} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$$

$$q_L = -yq_1 = hy' \quad h_1 = c_p (T_2' - T_1)$$

$$q_H = xq_3 = h_3 - h_2' = c_p (T_3 - T_2')$$

: T_2' جمله

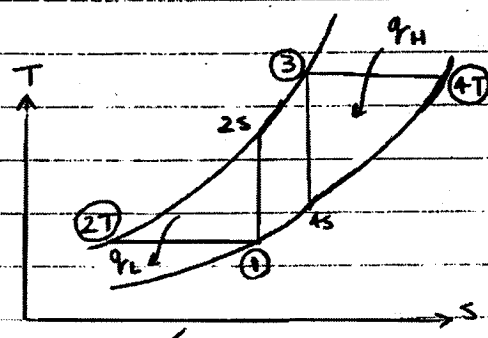
$$\left. \begin{array}{l} T_2 = \tilde{T}_1 r_p^{\frac{k-1}{k}} \\ T_2 = \tilde{T}_2 r_p^{\frac{1-k}{k}} \end{array} \right\} \Rightarrow \tilde{\eta}_{reg} = \frac{\tilde{T}_2' - \tilde{T}_2}{\tilde{T}_4 - \tilde{T}_2} \rightarrow T_2' = \checkmark$$

در T_2 نیز به همین صورت محاسبه شود

$$\eta_{reg} = \frac{T_4 - T_2}{T_4 - T_2}$$

سایکل اریکسون:

اصلاح شده برای سیکل اریکسون



توربین
آدیاباتیکی نیست

* این اختلاف دمای بالا، تقاضای استفاده از بازتاب دهنده را می‌کند

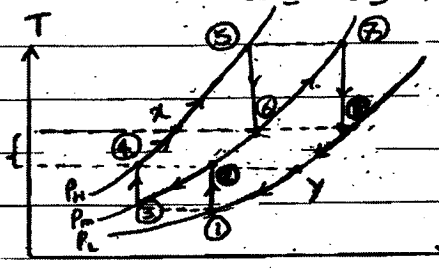
* بازتاب دهنده سیکل اریکسون بیشتر از سیکل اریکسون است. همچنین کار خالص بیشتری نیز دارد. (از این مشخصات یکسان)

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

(مثل سیکل کارنو)

* اجرای سیکل اریکسون بسیار مشکل است

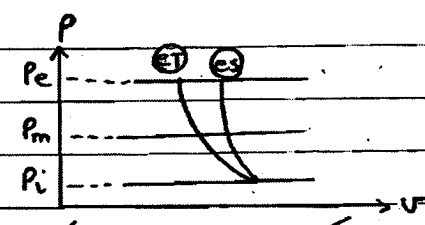
* برای نزدیک شدن سیکل اریکسون به سیکل اریکسون:



قابلیت بازتاب وجود دارد

$$\frac{P_H}{P_m} = \frac{P_m}{P_L}$$

$$w_{c.v.} = \int_i^e v dp$$

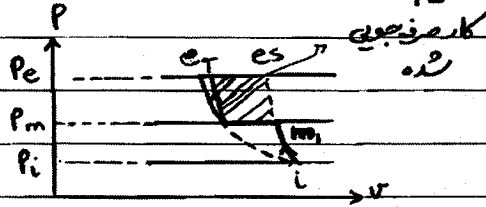


$$Pv = \text{const} (T=c)$$

$$Pv^k = \text{const} (s=c)$$

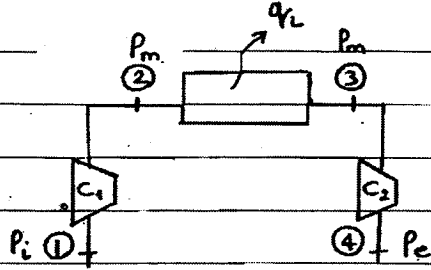
* بنابراین کار محدودی برای سیکل اریکسون وجود دارد (به دلیل نسبت فشار یکسان)

اگر از دو مرحله گیرنده استفاده کنیم (در واقع به جای گیرنده جدا، از دو گیرنده استفاده می‌کنیم)



در دو حالت جدی، معنی که فشار میان به فشار P_e یا P_i نزدیک می‌شود، میزان کار منفی جوی شده به صورتی می‌کند این نشان می‌دهد که یک حالت میان وجود دارد که در آن این کار منفی جوی شده کمترین می‌شود (کار منفی کل کمتر می‌شود)

در حالت دو گیرنده (با سه ایستگاه میان)



$$W_{total} = W_{C1} + W_{C2}$$

$$\Rightarrow W_{total} = (h_2 - h_1) + (h_4 - h_3)$$

$$\Rightarrow W_{total} = c_p T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + c_p T_3 \left[\left(\frac{P_4}{P_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

$$\Rightarrow W_{total} = c_p T_1 \left[\left(\frac{P_m}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] + c_p T_3 \left[\left(\frac{P_e}{P_m} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]$$

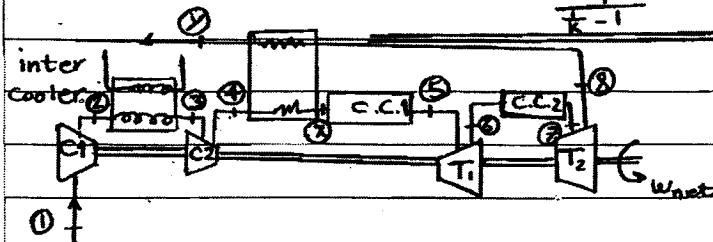
فرض می‌کنیم که سردکن میان های سیال با به دمای ورودی گیرنده ۱ برساند پس: $T_1 = T_3$

حال برای اینکه کمترین کار منفی را داشته باشیم، قرار می‌دهیم:

$$\frac{dW_{net}}{dP_m} = 0 \rightarrow c_p T_1 \left(\frac{k-1}{k} \right) P_m^{-\frac{1}{k}} + P_i^{-\frac{1}{k}} - c_p T_3 \left(\frac{k-1}{k} \right) P_e^{\frac{k-1}{k}} P_m^{-2+\frac{1}{k}} = 0$$

$$\Rightarrow P_m^{-\frac{1}{k}} P_i^{\frac{1}{k}-1} = P_e^{1-\frac{1}{k}} P_m^{-2+\frac{1}{k}} \rightarrow P_m^{-2+\frac{2}{k}} = P_i^{\frac{1}{k}-1} P_e^{\frac{1}{k}-1}$$

$$\Rightarrow P_m^{+2(\frac{1}{k}-1)} = P_i^{\frac{1}{k}-1} P_e^{\frac{1}{k}-1} \xrightarrow{\text{جذور بگیر}} P_m^2 = P_i P_e \rightarrow \boxed{P_m = \sqrt{P_i P_e}}$$



: Modified Brayton Cycle

$$W_C = W_{C1} + W_{C2} = c_p (T_2 - T_1) + c_p (T_4 - T_3) = c_p T_1 \left[\frac{T_2}{T_1} - 2 + \frac{T_4}{T_3} \right]$$

$T_3 = T_1$ تا به جای نزدیک سوم به جای هر دو ایستگاه

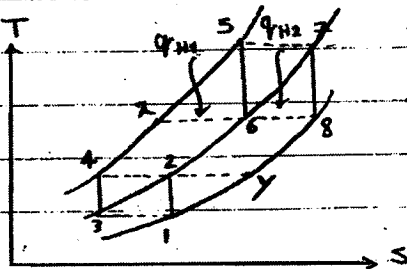
از طرف: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_m}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k}}$ ، $\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_m} \right)^{\frac{k-1}{k}}$

$$\rightarrow w_c = w_c(P_m) \rightarrow \frac{dw_c}{dP_m} = 0 \rightarrow P_{m,opt} = \sqrt{P_1 P_4}$$

$$\rightarrow \frac{P_{m,opt}}{P_1} = \frac{P_4}{P_{m,opt}} \rightarrow \text{به همین ترتیب برای توربین ها نیز درست می آید} \rightarrow \frac{P_{m,opt}}{P_5} = \frac{P_8}{P_{m,opt}}$$

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

$$\rightarrow \text{به همین ترتیب: } T_6 = T_8$$



قرار داد: $T_1 = T_3$, $T_5 = T_7$
تابه یکدیگر لایه‌سوی نزدیک شویم

$$\begin{cases} T_2 = T_4 \\ T_6 = T_8 \end{cases}$$

* اگر بازتاب ایده آل نباشد، نقطه x پایینتر و نقطه y بالاتر خواهد بود.

مثال: یک موتور برابریون اصلاح شده را در نظر بگیرید که نسبت فشار در کمپرسورها و توربین‌ها برابر 8 می‌باشد. جرم و فشار هوای ورودی به کمپرسور اول به ترتیب 20 kg/s و 200 kPa و دمای کمپرسور یک $T_3 = T_7 = 1100^\circ \text{C}$ است. در یک موتور نظر بازتاب حرارتی، یک بازتاب ایده آل است. در این موتور کار تراکم در کمپرسورها، کار توربین‌ها و لایه‌سوی یکدیگر را بیست آورید.

$$T_1 = T_3, \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_4}{P_3} = 8$$

$$\rightarrow T_4 = T_2$$

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

$$w_c = w_{c1} + w_{c2} = 2 w_{c1} = 2 c_{p0} (T_2 - T_1) = 2 c_{p0} T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = 2 c_{p0} T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

$$\rightarrow w_c = 485.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_t = w_{t1} + w_{t2} = 2 w_{t1} = 2 c_{p0} (T_5 - T_6) = 2 c_{p0} T_5 \left(1 - \frac{T_6}{T_5}\right) = 2 c_{p0} T_{max} \left(1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}\right)$$

$$\rightarrow w_t = 1234.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_H = q_{H1} + q_{H2} = h_5 - h_x + h_7 - h_c = c_{p0} (T_5 - T_6) + c_{p0} (T_7 - T_6)$$

$$\rightarrow q_H = c_{p0} T_{max} \left(1 - \frac{T_6}{T_5}\right) + c_{p0} T_{max} \left(1 - \frac{T_6}{T_7}\right) = 2 c_{p0} T_{max} \left(1 - r_p^{\frac{1-k}{k}}\right)$$

$T_5 = T_7$

$$\rightarrow q_H = w_t = 1234.4$$

$$\eta_{th} = \frac{w_t - w_c}{q_H} = \frac{1234.4 - 485.3}{1234.4} = 0.61$$

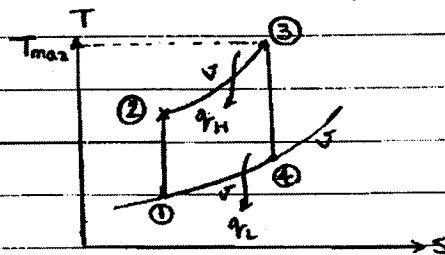
یک موتور

یک مدل ترمودینامیکی برای موتورهای لینند پیشنهاد می‌دهد که توسط قابل انتقالی دانسته می‌شود
فرضیات:

- * این موتور در قالب سیستم تقابلی می‌گردد
- * برای ساده‌تر فرض می‌کنیم که سیال کاری در تمام این موتور است
- * عمل هوایی در هر دو انجام می‌گردد
- * عملی گازی را باید فرآیند دفع حرارت هم ثابت جایگزین می‌کنیم

پارامترهای مشخص کننده موتور:

* نسبت تراکم (نسبت حجم ماکزیمم در این موتور به حجم مینیمم در این موتور) T_{max} - دما و فشار در دوی



$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$$

$$q_H = q_{2-3}$$

1st law analysis of 2-3 system: $q_{2-3} - w_{2-3} = u_3 - u_2 = C_v(T_3 - T_2)$

$$q_L = q_{4-1}$$

1st law analysis of 4-1 system: $q_{4-1} = u_1 - u_4 = C_v(T_1 - T_4)$

$$w_{4-1} = 0$$

$$\Rightarrow q_L = C_v(T_4 - T_1)$$

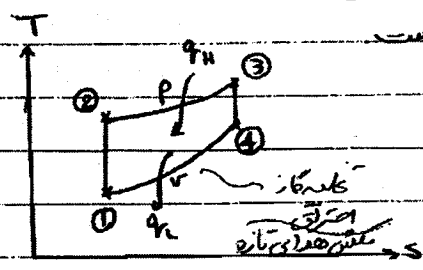
$$\eta_{th} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \right)$$

از طرفی: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{\gamma-1} = \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{\gamma-1} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}$

$$\Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{\gamma-1} \xrightarrow[\text{Compression Ratio } \gamma]{\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_1}{v_2} \equiv r_c} \eta_{th} = 1 - r_c^{\gamma-1}$$

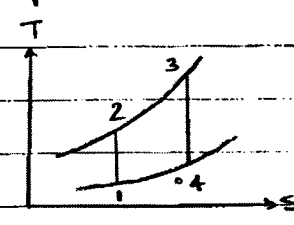
یک چرخه:

* برای توضیح اینکه اینها چه هستند
 * یک برای موتورهای درونی هستند



* $(T_1, P_1) \rightarrow T_{max} = T_3 = r_p = \frac{V_1}{V_2}$
 $\frac{V_3}{V_2} = r_c = \frac{T_3}{T_2}$ (نسبت قطع)

Simple Brayton cycle $\eta_{th} = 1 - r_p^{\frac{1-k}{k}} = 0.695$: $k = 1.4$



$\frac{T_2}{T_1} = r_p^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow T_2 = 961.4K$

$T_3 = T_2 = T_3 = T_2 \left(\frac{P_3}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 757.2K$

برای اینکه اینها را پیدا کنیم
 $T_1 = 1373(64)^{-\frac{0.4}{1.4}} = 418.4K$
 $T_1 = T_2 = T_4 = 293 \cdot 8^{\frac{0.4}{1.4}} = 530.8K$

$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{q_H - q_C}{q_H} = 1 - \frac{q_C}{q_H}$: $q_C = q_H$

$q_C = -q_1$
 1st law analysis of 4-1, system: $+q_1 = u_1 - u_4 \rightarrow q_C = u_4 - u_1$
 $\rightarrow q_C = c_v(T_4 - T_1)$

$q_H = q_3$
 1st law analysis of 2-3, system: $q_3 = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$

$\eta_{th} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1}$

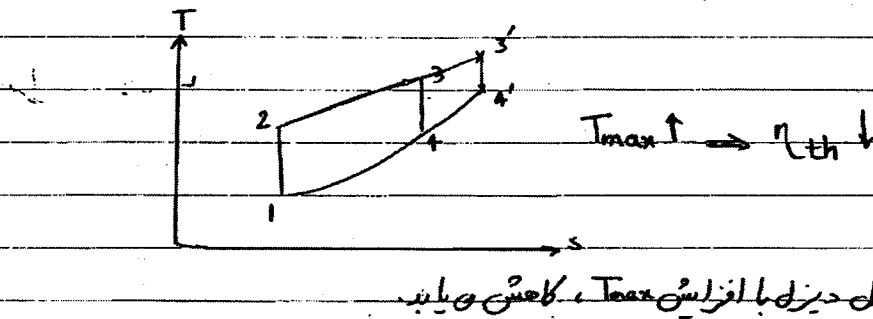
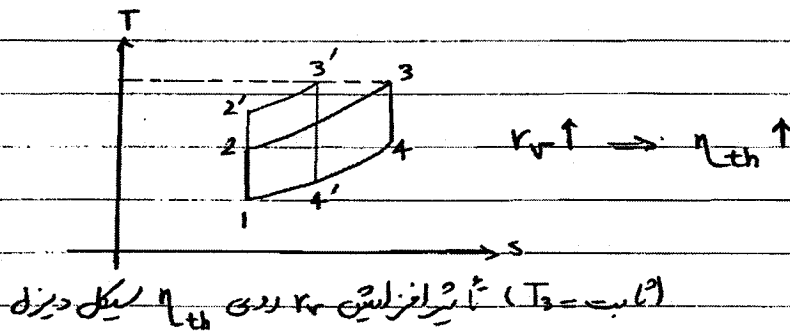
$\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = r_c$

$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_4}{T_3} \frac{T_3}{T_2} \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{1-k} = \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^{1-k} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-k} \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{1-k}$
 $= r_p^{1-k} r_c^{k-1}$

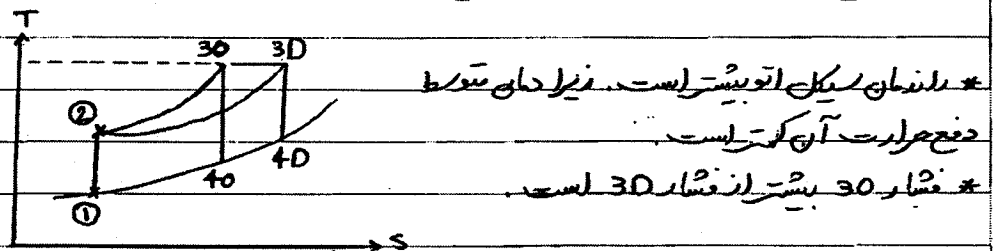
IV

$$\frac{T_4}{T_1} = r_v^{1-k} r_c^{k-1} r_c^{k-1} r_v^{k-1} = r_c^k$$

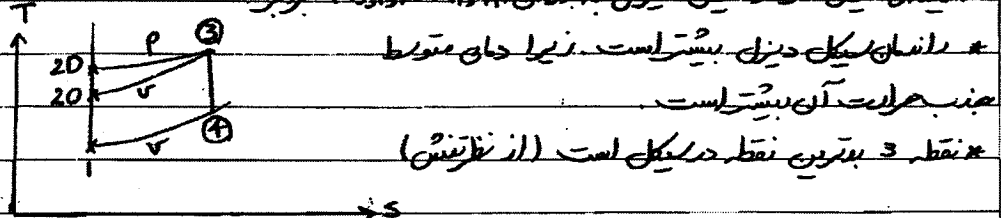
$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r_c^k} r_v^{1-k} \frac{r_c^k - 1}{r_c - 1} \rightarrow \text{نسبت گرایی یکدیگر دارند}$$



مقایسه یکدیگر اتو و دیزل بر اساس r_v و (T_3, P_3) و T_{max} یکدیگر:

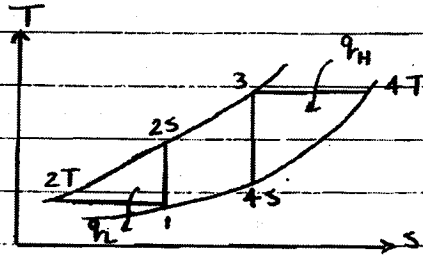


مقایسه یکدیگر اتو و دیزل بر اساس (T_3, P_3) و (T_3, P_3) برابر:



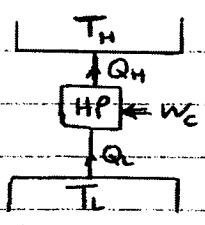
سبیل استرلینگ:

حالت ایده آل سبیل استرلینگ



کار خالص و دانهای سبیل استرلینگ بیشتر از سبیل اتوالست (1-2-3-4-1)

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$



سبیل تبرید: برای یک سبیل حرارتی برگشت پذیر که بین دو دمای T_L و T_H کار کند. اگر هدف سرمایش باشد $\beta = \frac{Q_L}{W_c}$

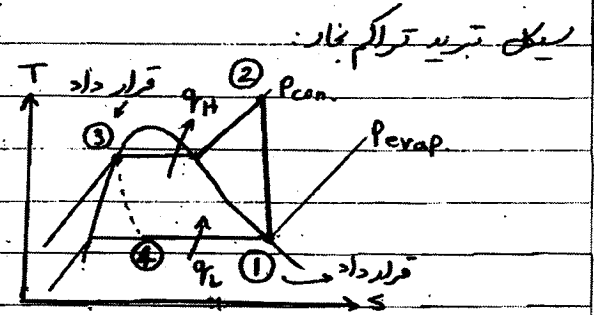
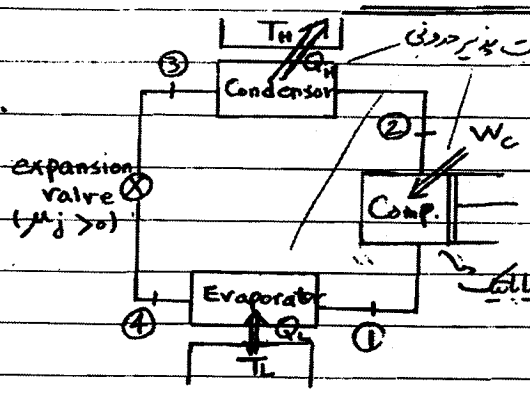
$$\beta = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

$$\beta_{RHP} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

* برخلاف سبیل های توان باید $\frac{T_H}{T_L}$ کم شود (T_L ↑, T_H ↓)

* اگر هدف گرمایش باشد:

$$\beta' = \frac{Q_H}{W_c} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} \Rightarrow \beta'_{RHP} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}}$$



مغزات سبیل: فشار کم کننده و فشار ادا برآورد

مغزات این سبیل در بالاتر از دمای محیط قرار دارد و دمای آن سردتر است

* راه های افزایش β : $P_{cond} \downarrow$, $P_{evap} \uparrow$

مثال: سردی R-12 به یک لوله لوله آل تبدیل تراکم بخار است. این لوله قرار است حرارت را با محیط به دمای 40°C دفع نماید. در حالی که حرارت را از محیط با دمای 20°C دریافت و کند. بخار اشباع در دمای 20°C وارد کمپرسور شده و با یک اشباع در دمای 40°C از کندانسور خارج می شود. در این چرخه سردی $0.008 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ است. با توجه به شرایط داده شده مقادیر زیر را تعیین کنید.

الف) توان مفید کمپرسور بر حسب KW

ب) ظرفیت تبدیل بر حسب اشباع

ج) فریب عملکرد و همچنین فریب عملکرد لوله لوله آل در دمای 20°C و 40°C کار می کند.

$$\text{a) } h_1 = h_g)_{20^\circ\text{C}} = 195.78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad , \quad s_1 = s_g)_{20^\circ\text{C}} = 0.6884 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} = s_2$$

$$P_2 = P_3 = P_{sat})_{40^\circ\text{C}} = 960.65 \text{ kPa}$$

$$h_2 = h(960.65 \text{ kPa}, s_2 = s_1) = 205.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_f)_{40^\circ\text{C}} = 74.59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_4$$

$$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.008 \times (205.1 - 195.78) = 0.075 \text{ kW} \quad \text{الف)}$$

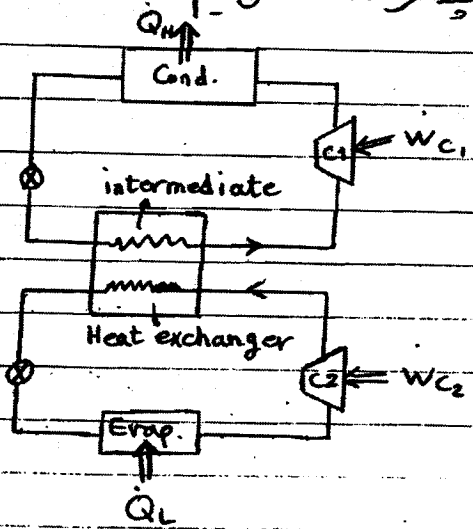
$$Q_c = -\dot{Q}_1 = \dot{m}(h_1 - h_4) = 0.008 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times (195.78 - 74.59) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times \frac{1 \text{ tone}}{211 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}} \quad \text{ب)}$$

$$\rightarrow Q_c = 0.276 \text{ tone}$$

$$\beta = \frac{q_c}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{195.78 - 74.59}{205.1 - 195.78} = 13.0 \quad \text{c)}$$

$$\beta_{\text{COP}} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} = \frac{1}{\frac{273+40}{273+20} - 1} = 14.65 > 13.0 \rightarrow 2^{\text{nd}} \text{ law } \checkmark$$

برای اجزای ترانسپورت، این مدار استفاده کنیم:
سکیم ترکیبی:



ترمودینامیک

فصل ١٤

خواص کلی گازها

mass fraction: $m_f = \frac{m_i}{m} \quad \sum_i m_f = 1 \quad (\sum m_i = m)$

mole fraction: $y_i = \frac{n_i}{n} \quad \sum_i y_i = 1 \quad (\sum n_i = n)$

$M \rightarrow R = \frac{\bar{R}}{M} \rightarrow c_p = c_{v0} + R \rightarrow k = \frac{c_p}{c_v}$

برای آدنوم مجموع مولهای گازها:

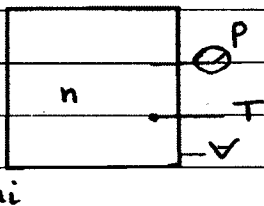
$m = \sum_i m_i \rightarrow n M_{mix} = \sum_i n_i M_i \rightarrow M_{mix} = \sum_i y_i M_i$

$M_{air} = 0.79 \times 28 + 0.21 \times 32 = 28.84 \frac{kg}{kmol} \approx 29 \frac{kg}{kmol}$

$m_f = \frac{kg_i}{kg_{mix}} \quad , \quad \frac{m_f}{M_i} = \frac{n_i}{kg_{mix}} \Rightarrow \sum \frac{m_f}{M_i} = \frac{n_{mix}}{kg_{mix} M_{mix}} = 1$

$\rightarrow M_{mix} = \left[\sum_i \left(\frac{m_f}{M_i} \right) \right]^{-1} = \sum_i y_i M_i$

معادلات: (برای گازهای ایده‌آل)



$T_i = T \quad , \quad P_i V_i = n_i \bar{R} T_i$
 $V_i = V \quad , \quad PV = n \bar{R} T$

$\rightarrow P = \frac{n_i}{n} P = y_i P$

$U = \sum_i U_i \rightarrow m u = \sum_i m_i u_i \rightarrow u = \sum m_f u_i$

$\bar{u} = \sum_i y_i \bar{u}_i \rightarrow \left(\frac{kJ}{kmol} \right)$

با مشتق گرفتن نسبت به دما در طرفین:

$c_{v,mix} = \sum_i m_f c_{v,i} \quad \left| \quad H = \sum_i H_i \rightarrow \begin{cases} c_{p,mix} = \sum m_f c_{p,i} \\ \bar{c}_{p,mix} = \sum y_i \bar{c}_{p,i} \end{cases}$

1st law analysis of the entire system: $Q_1 - Q_2 = \Delta U \rightarrow U_2 - U_1 = 0$

$$U_1 = U_{1,A} + U_{1,B} = n_A \bar{u}_{1,A} + n_B \bar{u}_{1,B}$$

$$U_2 = U_{2,A} + U_{2,B} = n_A \bar{u}_{2,A} + n_B \bar{u}_{2,B}$$

$$\rightarrow U_1 - U_2 = n_A (\bar{u}_{1,A} - \bar{u}_{2,A}) + n_B (\bar{u}_{1,B} - \bar{u}_{2,B}) = 0$$

$$\rightarrow n_A \bar{c}_{v,A} (T_1 - T_2) + n_B \bar{c}_{v,B} (T_1 - T_2) = 0 \rightarrow T_2 = T_1$$

از آنجا که $T_2 = T_1$ و چون $n_A \bar{c}_{v,A} + n_B \bar{c}_{v,B} > 0$ پس $T_1 = T_2 = T$

$$U_1 = U_2 \rightarrow U_{1,A} + U_{1,B} = (n_A + n_B) \bar{R} T \rightarrow n_A \bar{R} T + n_B \bar{R} T = (n_A + n_B) \bar{R} T$$

$$\rightarrow \bar{R} T (n_A + n_B) = \bar{R} T (n_A + n_B) \rightarrow P_2 = P_1$$

$$S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + S_g \rightarrow S_2 - S_1 = (n_A \bar{s}_A + n_B \bar{s}_B)_2 - (n_A \bar{s}_A + n_B \bar{s}_B)_1$$

$$\rightarrow S_2 - S_1 = n_A (\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_A + n_B (\bar{s}_2 - \bar{s}_1)_B$$

$$= n_A \left(\bar{c}_{p,A} \ln \frac{T_2}{T_1} - \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1} \right)_A + n_B \left(\bar{c}_{p,B} \ln \frac{T_2}{T_1} - \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1} \right)_B$$

A: $P_1 = P$, $P_2 = y_A P \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = y_A$ در حالت مخلوط در تمام از گازها و قسمتی از فشار

B: $P_2 = P$, $P_1 = y_B P \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = y_B$ مخلوط را بسبب $T_2 = T_1$

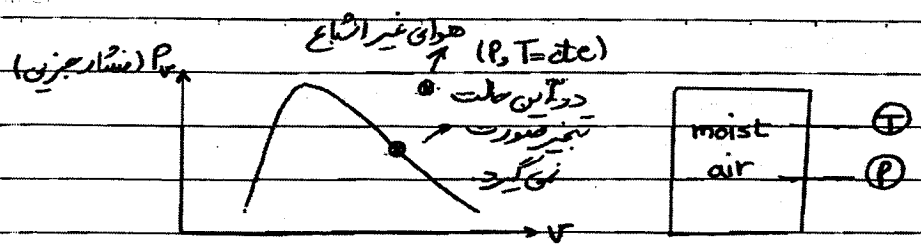
$$S_2 - S_1 = S_g = \bar{R} (n_A \ln y_A + n_B \ln y_B) > 0$$

$$x \cdot x^M \rightarrow \bar{x}$$

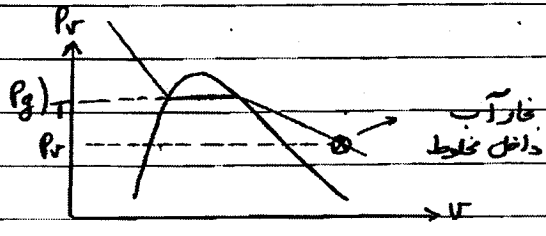
$$m x = \bar{n} \bar{x}$$

Psychrometry: مخلوطی از هوای سرد و هوای گرم و بخار آب است.
 moist air ← water vapor + Dry air ← هوای مرطوب و هوای خشک

هوای اشباع: هوایی که در آن بخار آب حالت اشباع را داشته باشد.



میزان انحراف یک هوای مرطوب از هوای اشباع با کسین قوت عنوان رطوبت نسبی مسقون شود
 relative humidity $\phi = \frac{P_v}{(P_g)_T}$ انتقال جرم برای انتقال جرم
 * برای هوای اشباع $\phi = 100\%$



رطوبت مطلق (w):

هوای

طوب

②

①

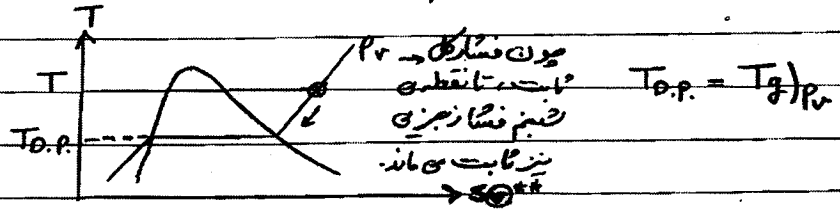
$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\text{جرم بخار آب}}{\text{جرم هوای خشک}}$

تقریباً 10^{-2} تا 10^{-3}

$$w = \frac{P_v \cdot v}{P_a \cdot v} = \frac{P_v}{P_a} \times \left(\frac{M_v}{M_a} \right) = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = 0.622 \frac{\phi (P_g)_T}{P - \phi (P_g)_T}$$

$R = \frac{R}{M}$

دای شبنم (T_{D.P.}): اگر هوای مرطوب در شرایط فشار ثابت خنک شود، دای آستانه میعان بخار آب در داخل هوای مرطوب را دای شبنم گویند.



مثال: هوای 30°C با رطوبت نسبی 40% را در نظر بگیرید. دای شبنم آن را بیست آورید.

اگر این دای را بیشتر از نقطه به گانه بیاید شبنم جامد درآید.

$$T_{D.P.} = (T_g)_{P_v} = 14.8^\circ\text{C}$$

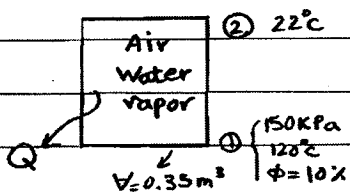
$$P_v = \phi (P_g)_T = 0.4 \times 4.246 = 1.698 \text{ kPa}$$

$$H = H_v + H_a = m_v h_v + m_a h_a$$

انتالی هوای مرطوب

$$\text{Specific Enthalpy of moist air} = \frac{H}{m_a} = h_a + w h_v$$

مثال: فلوید هوا و بخار آب در یک ظرف بستنی حلب با حجم 35 m^3 در فشار 150 kPa و دما 120°C و رطوبت نسبی 10% قرار دارد. فلوید در حجم آب بستنی شود تا اینکه در دمای 22°C به یخ تبدیل شود.



انتالی نقطه تعیین برای حالت اولیه

باید که در آن معیار شروع شود

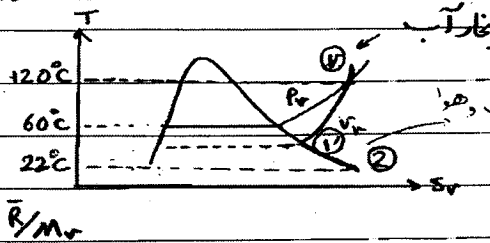
چ مقدار بخار آب تابع شود

و مقدار انتالی حرارت

$$P_{v,1} = \phi_1 P_g|_{T_1} = 0.1 \times 128.53 = 12.853 \text{ kPa}$$

الف

$$T_{o.p.}|_1 = T_g|_{12.853 \text{ kPa}} = 60^\circ \text{C}$$



$$v_1 = v_1' = \frac{R_v T_1}{P_{v,1}} = \frac{(8.3143 + 18)(393)}{12.853} = 2.146 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

ب

$$\text{dew} = v_g|_{T_1} = 2.146 \text{ m}^3/\text{kg} \Rightarrow T_1' = 56^\circ \text{C}$$

$$\text{@2: } T_2 = 22^\circ \text{C} \Rightarrow v_g|_{T_2} = v_g|_{22^\circ \text{C}} = 51.447 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

ج

$$m_v|_2 = \frac{V}{v_g|_2} = \frac{35}{51.447} = 0.681 \text{ kg}$$

$$m_{v,1} = \frac{V}{v_1|_{T_1}} = \frac{35}{2.146} = 16.31 \text{ kg} \Rightarrow m_w = 16.31 - 0.681 = 15.629 \text{ kg}$$

1st law for the entire room: $Q_2 - W_2 = U_2 - U_1$

د

$$\rightarrow Q_2 = (m_a u_a + m_v u_v)_2 + m_w u_w - (m_a u_a + m_v u_v)_1$$

$$\rightarrow \frac{Q_2}{m_a} = (u_2 - u_1)_a + w_2 u_{v,2} + (w_1 - w_2) u_w - w_1 u_{v,1}$$

$$\frac{Q_2}{m_a} = c_{p,a}(T_2 - T_1) + w_2 h_g|_{T_2} + (w_1 - w_2) h_g|_{T_2} - w_1 h_g|_{T_1}$$

$$w_1(T_1, \phi_1) \approx h_g|_{T_1}$$

تبع مینوی از فشار

$$w_1 = \frac{0.622 \phi_1 p_1}{p_1 - \phi_1 p_1}$$

$$\phi_2 = 1$$

$$m_a = \frac{P_{a1} V}{R_a T_1}$$

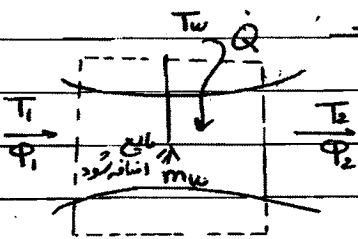
$$P_{a1} = P_1 \frac{P_{v,1}}{\phi_1 p_1}$$

ma جزیی است

$$\left. \begin{array}{l} P_2 V_2 = m_a R T_2 \\ P_1 V_1 = m_a R T_1 \end{array} \right\} \rightarrow P_2 = P_{v,2} + P_{a,2} \quad ; \quad P_{v,2} = \phi_2 p_2 \Rightarrow \frac{P_{a,2}}{P_{a,1}} = \frac{T_2}{T_1}$$

تبع مینوی از عمق

$$\rightarrow P_{a,2} = P_{a,1} \frac{T_2}{T_1} \rightarrow w_2 = 0.622 \frac{p_2}{P_{a,2}}$$



SSSF = Steady State Flow

adiabatic = بدون تبادل حرارت

$$\text{mass: } m_{a,1} = m_{a,2} \quad \text{تبع مینوی از جرم}$$

$$H_2O: m_{v,1} + m_w = m_{v,2} \Rightarrow m_a(w_2 - w_1) = m_w$$

$$1^{st} \text{ law: } \dot{Q} = [(m_a h_a + m_v h_v)]_2 - [(m_a h_a + m_v h_v)]_1 + m_w h_w$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Q}}{m_a} = (h_2 - h_1)_a + w_2 h_{v,2} - w_1 h_{v,1} + (w_2 - w_1) h_w$$

$$(h_2 - h_1)_a = c_{p,a}(T_2 - T_1)$$

$$h_{v,2} \approx h_g|_{T_2} \quad ; \quad h_{v,1} \approx h_g|_{T_1} \quad ; \quad h_w \approx h_f|_{T_w}$$

$$w = \frac{0.622 \phi p}{p - \phi p}$$

تبع مینوی از دما و فشار

$$m_a = \frac{\dot{V}}{v_a} \quad ; \quad v_a = \frac{R_a T}{p - \phi p}$$

دواره و فیس

$$\frac{T}{\phi}$$

$$\frac{T = T_{as}}{\phi = 1} < T$$

فرآیند اشباع آدیباتیک (صراحتی تبخیر) است

در حالتی فرآیند در واقع متداول آب

بکار می آید و در حالت

جریان پایدار باشد

دیواره و فیس

آدیباتیک

(دما و رطوبت)

مثال: هوای مرطوب با رطوبت نسبی 20% و دمای 40°C وارد یک اشباع کننده آدیباتیک شده و در شرایط اشباع رطوبت نسبی 100% از آن خارج می شود. دمای خروجی را بیابید.

1st law analysis of adiabatic saturation Process:

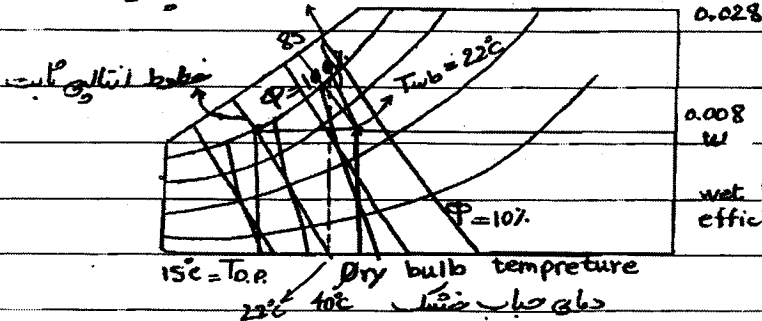
$$0 = c_{p,a} (T_{as} - T_1) + w_2 h_g - w_1 h_g - (w_2 - w_1) h_w + h_w - h_f - T_{as}$$

$$\rightarrow T_{as} = T_1 \frac{1}{c_{p,a}} [w_2 h_g - w_1 h_g - (w_2 - w_1) h_f - T_{as}]$$

یک معادله خوب و دمای تبخیر است

Psychrometric Chart:

برای فشار کل 100 kPa نمودار با یک مقیاس دما درجه سانتیگراد است



$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v \rightarrow \frac{H}{m_a} = h_a + w h_v$$

$$\frac{Q}{m_a} = (h_2 - h_1) a + w_2 h_{v,2} - w_1 h_{v,1} - (w_2 - w_1) h_w$$

$$\rightarrow \frac{Q}{m_a} = (h_a + w h_v)_2 - (h_a + w h_v)_1 - (w_2 - w_1) h_w \text{ (1)}$$

دما و رطوبت در واقع همان دما و رطوبت آدیباتیک است

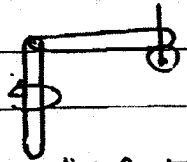
مثال: $T_1 = 40^\circ C, \phi = 0.2 \Rightarrow w = 0.0088, H = 85 \frac{kJ}{kg}$

فرآیند اشباع آدیباتیک در نمودار یک خط $T_{wb} = \text{const}$ است. برای فرآیند اشباع آدیباتیک دما و رطوبت

$$(h_a + w h_v)_2 = (h_a + w h_v)_1 + (w_2 - w_1) h_f \text{ (2)}$$

(برای دما و رطوبت)

تعیین ϕ و w با استفاده از فرآیند اشباع آدیباتیک:



sling psychrometer

دما در گلوله مرطوب
 T_{wb}
 $\phi = ?$

T_{as}
 $\phi = 1$

$$\phi = \frac{c_{p,a}(T_{wb} - T) + w_{wb} h_g}{w h_g + (w_{wb} - w) h_f}$$

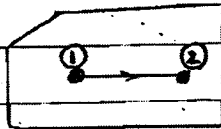
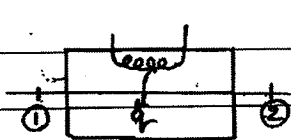
w در d $\rightarrow w = \frac{1}{h_g(T) - h_f(T_{wb})} [c_{p,a}(T_{wb} - T) + w_{wb}(h_g(T_{wb}) - h_f(T_{wb}))]$

دما در گلوله مرطوب

$$w_{wb} = \frac{0.622 \phi_{wb} P_{g}(T_{wb})}{P - \phi_{wb} P_{g}(T_{wb})}$$

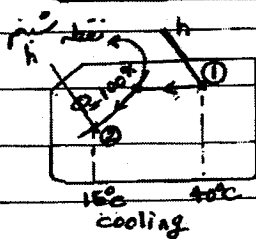
کتابه اثر رطوبت مخلوط حالت با اشباع به ϕ میسر برآورده می شود کردن حالت نیاز داریم

فرآیندهای متداول:



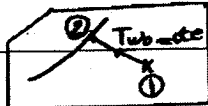
(1) گرمایش

کولر آبی
 (طوبت زدایی)

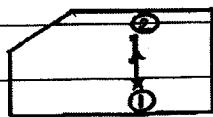


(2) سرمایش

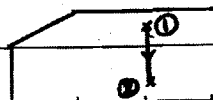
کولر آبی
 $(\dot{Q} = 0)$
 سردی



(3) اشباع آدیباتیک:



(4) افزودن آب:



(5) گرفتن آب:

39

رابطہ ترموڈینامیک

: 13 جلد

$$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT \rightarrow \text{دیکھو کہ (کے ساتھ)}$$

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT \rightarrow \text{دیکھو کہ (کے ساتھ)}$$

$$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} \rightarrow \text{van der Waals}$$

: دیکھو ترموڈینامیک

$$\left\{ \begin{array}{l} T ds = du + P dv \text{ (1)} \\ T ds = dh - v dp \text{ (2)} \end{array} \right.$$

$$\text{(1)} \quad du = T ds - P dv \xrightarrow{u = u(s, v)} \frac{\partial u}{\partial s} ds + \frac{\partial u}{\partial v} dv = T ds - P dv$$

$$\rightarrow T = \left. \frac{\partial u}{\partial s} \right|_v \quad P = \left. \frac{\partial u}{\partial v} \right|_s$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial s \partial v} = \frac{\partial^2 u}{\partial v \partial s}$$

$$\boxed{\left. \frac{\partial T}{\partial v} \right|_s = - \left. \frac{\partial P}{\partial s} \right|_v}$$

$$\text{(2)} \quad dh = T ds + v dp \xrightarrow{h = h(s, p)} T = \left. \frac{\partial h}{\partial s} \right|_p \quad v = \left. \frac{\partial h}{\partial p} \right|_s$$

$$\rightarrow \boxed{\left. \frac{\partial T}{\partial p} \right|_s = \left. \frac{\partial v}{\partial s} \right|_p}$$

$$\text{دیکھو کہ } \rightarrow \text{دیکھو کہ } \rightarrow a = u - Ts$$

$$\rightarrow da = du - T ds - s dT \rightarrow da = P dv - s dT$$

$$\xrightarrow{a = a(v, T)} P = \left. \frac{\partial a}{\partial v} \right|_T \quad -s = \left. \frac{\partial a}{\partial T} \right|_v \rightarrow \boxed{\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v = \left. \frac{\partial s}{\partial v} \right|_T}$$

تابع گیبز $g = h - Ts$

$$* dg = \underbrace{dh}_{vdp} - Tds - sdT \rightarrow v = \left. \frac{\partial g}{\partial p} \right|_T \quad s = \left. \frac{\partial g}{\partial T} \right|_p$$

$$\rightarrow \left. \frac{\partial v}{\partial T} \right|_p = \left. \frac{\partial s}{\partial p} \right|_T$$

مقادیر کلانویس کلاریون:

$$\left. \frac{\partial p}{\partial T} \right|_v = \left. \frac{\partial s}{\partial v} \right|_T \quad \text{از رابطه استاتوس} \rightarrow \frac{dp}{dT} = \left. \frac{\partial s}{\partial v} \right|_T \quad \text{②}$$

از کتب: $s = s_f)_T + x s_{fg})_T \quad x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f}$

$$\rightarrow s = s_f)_T + (v - v_f) \left(\frac{s_{fg}}{v_{fg}} \right)_T \rightarrow \left. \frac{\partial s}{\partial v} \right|_T = \frac{s_{fg}}{v_{fg}})_T$$

از کتب: $Tds = dh - vdp \rightarrow \int_f^g Tds = \int_f^g dh - \int_f^g v dp$

$$\rightarrow T s_{fg} = h_{fg}$$

$$\text{③} \quad \left. \frac{dp}{dT} \right|_{\text{sat}} = \frac{s_{fg}}{v_{fg}})_T \rightarrow \left. \frac{dp}{dT} \right|_{\text{sat}} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}}$$

مثال: اتمال تغییر فاز آب از مایع به بخار در دمای 90°C را با استفاده از اتمال کلاریون محاسبه کنید.

$$\left. \frac{dp}{dT} \right|_{90^\circ\text{C}} = \frac{P_s)_{25^\circ\text{C}} - P_s)_{85^\circ\text{C}}}{95 - 85} = \frac{84.55 - 57.83}{10} = 2.672$$

$$h_{fg} = T \left. \frac{dp}{dT} \right|_s \cdot v_{fg} = 363 \times 2.672 \times 2.35953 = 2288.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

نتیجه از کتب کلاریون برای تغییر حالت ذوب و تبخیر می توان استفاده کرد.

Sublimation (تسام): $\frac{dp}{dT}|_{sat} = \frac{s_g - s_i}{v_g - v_i} = \frac{h_g - h_i}{T(v_g - v_i)} \rightarrow \frac{dp}{dT}|_{sat} = \frac{h_{ig}}{T \frac{RT}{P}}$

حالت تبدیل ≈ 0

تقریباً ثابت

$\frac{RT}{P}$ (نشارهای کمتر از فشار برابری)

$$\rightarrow \frac{dp}{P} = \frac{h_{ig}}{R} \frac{dT}{T^2} \rightarrow \ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{h_{ig}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

مثال: با فرض اینکه h_{ig} ثابت است، فشار تبخیر آب را در دمای 40°C با استفاده از اطلاعات جدول 8-1-1 تعیین کنید.

1 \rightarrow آب، 2 \rightarrow 40°C تقریباً ثابت

$$\left. \begin{array}{l} h_{ig}|_{T.P.} = 2834.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ P_1 = 0.6113 \text{ kPa} \\ T_1 = T_{T.P.} = 273.16 \text{ K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} R = \frac{8.3143}{18} \\ P_2 = ? \\ T_2 = 233.15 \text{ K} \end{array} \rightarrow P_2 = 0.0129 \text{ kPa}$$

مثال: مردی به حجم 80 kg در حال انجام ورزش است و در آن حالت مساحت کل تیغه در دهان با 200 mm^2 برابر است. دمای 2°C است. آیا غش در دهان منجمد می‌شود یا خیر؟ (غش در دهان منجمد می‌شود اگر دمای آن از 0°C کمتر شود). دمای غش در دهان را در فشار اتمسفری تعیین کنید. 2°C را T_1 در نظر بگیرید.

حل: دمای غش در دهان را در فشار اتمسفری تعیین کنید. 2°C را T_1 در نظر بگیرید.

$$\frac{dp}{dT}|_{sat} = \frac{h_{if}}{T v_{if}} \rightarrow dp = \frac{h_{if}}{v_{if}} \frac{dT}{T} \rightarrow P_2 - P_1 = \frac{h_{if}}{v_{if}} \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\rightarrow T_2 = T_1 \exp \left[\frac{v_{if}}{h_{if}} (P_2 - P_1) \right] \text{ (8)}$$

1 \rightarrow آب، 2 \rightarrow P_2

$$h_{if} \approx h_{if}|_{T.P.} = (h_f - h_i)|_{T.P.} = \underbrace{(h_f - h_g)}_{-h_{fg}} - \underbrace{(h_i - h_g)}_{-h_{ig}} = -2501.3 - (-2834.81)$$

$$\rightarrow h_{if} = 333.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow \text{برای استفاده از این جدول به جدول 8-1-5 و 8-1-1 مراجعه کنید}$$

$$v_{if} = +0.021 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = v_{fg} + v_{ig}$$

$$P_2 = 101.325 + \frac{80 \times 9.81}{200 \times 10^{-6}} \times \frac{1}{1000} = 4025.325 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 0.01^\circ\text{C}, P_1 = 0.6113 \text{ kPa}$$

$$\textcircled{*} T_2 = 22.9 \text{ K} = -250.21^\circ\text{C} < 2^\circ\text{C} \rightarrow \text{غش منجمد می‌شود}$$

گشتاور: $\alpha_p = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$ ، $\beta_T = -\frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial p} \right)_T$

$\rightarrow c^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho} \Big|_s$

$\Delta u, \Delta h, \Delta s$ for non ideal gases

$h = h(T, P) \rightarrow dh = \frac{\partial h}{\partial T} dT + \frac{\partial h}{\partial P} dP$ تغییر انتالپی بین دو حالت ترمودینامیکی

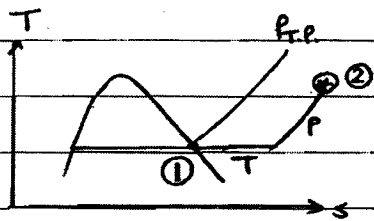
$T ds|_T = dh|_T - v dp|_T \xrightarrow{dp} T \frac{\partial s}{\partial P} |_T = \frac{\partial h}{\partial P} |_T - v \rightarrow \frac{\partial h}{\partial P} |_T = v + T \frac{\partial s}{\partial P} |_T$

$\frac{\partial h}{\partial P} |_T = v + T \frac{\partial v}{\partial T} |_P$ * $dh = c_p dT + (v + T \frac{\partial v}{\partial T} |_P) dP$

$v = v(T, P)$

$v = \frac{RT}{P} \rightarrow \frac{\partial v}{\partial T} |_P = \frac{R}{P} \rightarrow T \frac{\partial v}{\partial T} |_P = \frac{RT}{P} = v$ اگر گاز ایده آل است

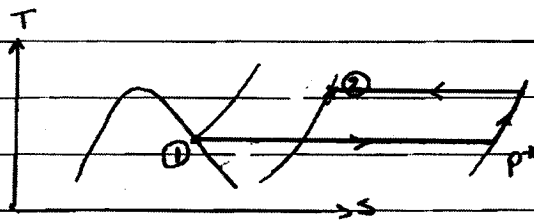
$\rightarrow v + T \frac{\partial v}{\partial T} |_P = 2v$ انتالپی برای گاز ایده آل تنها تابع دماست



! انتالپی از مشخصات تعین نمی‌کند

$$h_2 - h_1 = \int_{P_1}^{P_2} \left[v + T \frac{\partial v}{\partial T} |_P \right] dP + \int_{T_1}^{T_2} c_p dT$$

چون در این مسیر، انتالپی c_p تابع دماست و برای انتالپی وجود ندارد، این مسیر را تعین می‌کنیم.



انتالپی c_p تابع دماست
وجود ندارد

تغییر انرژی درونی بین دو حالت ترمودینامیکی:

$u = u(T, v) \rightarrow du = \frac{\partial u}{\partial T} dT + \frac{\partial u}{\partial v} dv$ *

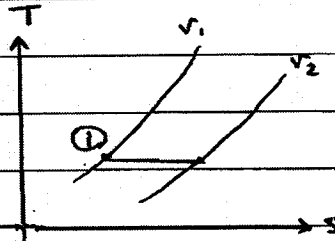
$\frac{\partial u}{\partial T} |_v = c_v$

از آنجا که: $T ds|_T = du|_T + P dv|_T \rightarrow \frac{\partial u}{\partial v} |_T = T \frac{\partial s}{\partial v} |_T - P$

$\frac{\partial P}{\partial T} |_v$

→ $\left. \frac{\partial u}{\partial v} \right|_T = T \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v - P$

⊕ $du = c_v dT + \left[T \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v - P \right] dv$



→ $u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT + \int_{v_1}^{v_2} \left(T \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v - P \right) dv$, $P = P(T, v)$

تغییر انتروپی بین دو حالت متعادل

I) $s = s(T, v) \rightarrow ds = \left. \frac{\partial s}{\partial T} \right|_v dT + \left. \frac{\partial s}{\partial v} \right|_T dv$ ⊕

⊕ $T ds = du + P dv$ $v = \text{cte} \rightarrow T ds|_v = du|_v \rightarrow T \left. \frac{\partial s}{\partial T} \right|_v = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v = c_v$

⊕ $ds = \frac{c_v}{T} dT + \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v dv \rightarrow s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_v}{T} dT + \int_{v_1}^{v_2} \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v dv$

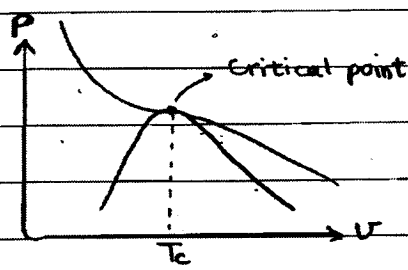
II) $s = s(T, p) \rightarrow ds = \left. \frac{\partial s}{\partial T} \right|_p dT + \left. \frac{\partial s}{\partial p} \right|_T dp = \frac{c_p}{T} dT - \left. \frac{\partial v}{\partial T} \right|_p dp$

→ $s_2 - s_1 = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p}{T} dT - \int_{p_1}^{p_2} \left. \frac{\partial v}{\partial T} \right|_p dp$, $v = v(T, p)$

مقدارهای بحرانی

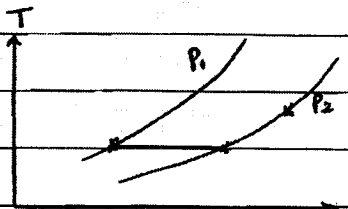
$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$

① $\left. \frac{\partial P}{\partial v} \right|_{T_c} = 0$ ② $\left. \frac{\partial^2 P}{\partial v^2} \right|_{T_c} = 0$



با $a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$, $b = \frac{RT_c}{8P_c}$ و $Z_c = \frac{P_c v_c}{RT_c} = \frac{3}{8}$

$a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$, $b = \frac{RT_c}{8P_c}$ $Z_c = \frac{P_c v_c}{RT_c} = \frac{3}{8}$



تغییر انتروپی برای گاز دانه‌دانه

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

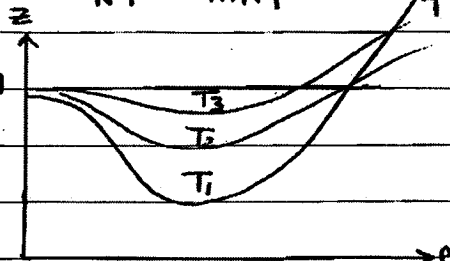
$$\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{v-b}$$

برای یک فرآیند هم‌دما داریم:

$$\rightarrow (s_2 - s_1)_T = \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv = \int_{v_1}^{v_2} \frac{R}{v-b} dv = R \ln \left(\frac{v_2 - b}{v_1 - b} \right)$$

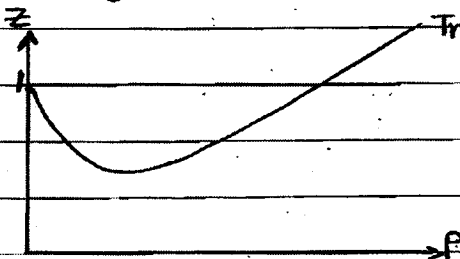
اصول تطابق دانه‌دانه

تعریف $Z = \frac{pv}{RT} = \frac{PV}{mRT}$ ضریب تراکم پذیری



دانه‌دانه
 $T_3 > T_c > T_1$ →
 زنجیر
 بر گاز ایده‌آل

$P_r = \frac{p}{p_c}$ ، $T_r = \frac{T}{T_c}$ → دانه‌دانه



مثال: هم‌دما ۱۰۰°C و فشار ۴ MPa تعیین کنید

$$v = \frac{ZRT}{p} = Z \cdot v_{ig}$$

ideal gas $v_{ig} = \frac{RT}{p} = \frac{8.3143}{28} \frac{(173)}{4000} = 0.0128 \frac{m^3}{kg}$

$T_c = 126.2 K$ ، $p_c = 3.39 MPa$ → A_2 دانه

$T_r = \frac{173.15}{126.2} = 1.37$ ، $p_r = \frac{4}{3.39} = 1.18$ → $Z = Z(p_r, T_r) \approx 0.86$

$v = Z \cdot v_{ig} = 0.011 \frac{m^3}{kg}$

۴۵

حل: $T_{rk} = 0.8 \Rightarrow P_r)_s = 0.25 \Rightarrow T_c = 647.3 \text{ K}, P_c = 22.12 \text{ MPa}$
 $\Rightarrow T_s = 0.8 \times 647.3 = 517.8 \text{ K} = 244^\circ\text{C}$
 $\Rightarrow P_s = 22120 \times 0.25 = 5530 \text{ kPa}$

۱ kg پروپان در دما 440 K و فشار 6 MPa در داخل ظرف طبق در حالت تعادل است در اثر انتقال حرارت از پروپان دمای آن به 300 K کاهش می یابد حالت نهایی پروپان را تعیین کنید.

1 kg propane	② 300K	$M = 42.081 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}, T_c = 370 \text{ K}, P_c = 4.26 \text{ MPa}$
		$v_c = 0.181 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$
		$T_{r1} = \frac{440}{370} = 1.19, P_{r1} = \frac{6}{4.26} = 1.41 \Rightarrow Z_1 = 0.7$
	① 440K 6 MPa	$v_2 = v_1 = \frac{Z_1 R T_1}{P_1} = 0.7 \left(\frac{8.3143}{42.081} \right) \left(\frac{440}{6 \times 10^3} \right) = 0.010142 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
		$T_2 = 300 \text{ K}, v_2 = 0.010142 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$
		$P_2 = \frac{R T_2}{v_2} Z_2(P_2, T_2) \Rightarrow P_{r2} = \frac{R T_2}{P_c v_2} Z_2(T_2, P_2)$
		$T_{r2} = \frac{300}{370} = 0.81 \Rightarrow P_{r2} = 1.37 Z_2(T_2, P_2)$

نکته: اگر در جدول معلوم باشد از روی خط استفاده کنیم

$$T = \frac{Pv}{RZ(T,P)}$$

$$\Rightarrow T_{r2} = \frac{P_{r2}}{R T_c} \frac{1}{Z(P_{r2}, T_{r2})} = \frac{A}{Z(P_{r2}, T_{r2})} \quad \text{①}$$

برای T_{r2} و P_{r2} از جدول Z و P_r, T_{rk} استفاده می کنیم و از آن طبق رابطه T_{r2} را تعیین می کنیم.

از جدول معلوم است:

فرض کنیم حالت ② در ناحیه (2) باشد:

$$T_{r2} = 0.81, P_{r2} = 0.25 \Rightarrow Z_2 = 0.25 / 1.37 = 0.182$$

از روی نمودار تراکم می بینیم: $(Z_f = 0.04, Z_g = 0.81)$

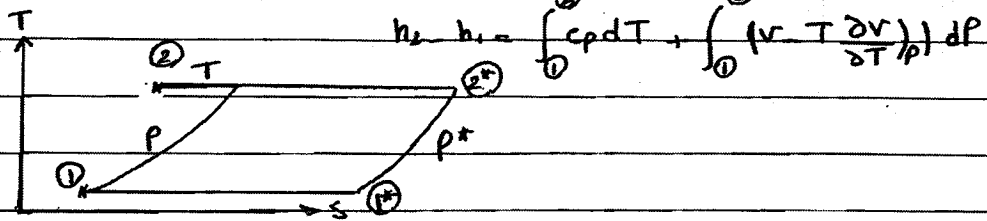
$$\Rightarrow \frac{Z R T}{P} = Z_f \frac{R T}{P} + x (Z_g \frac{R T}{P} - Z_f \frac{R T}{P}) \Rightarrow Z = Z_f + x Z_g$$

$$\Rightarrow 0.182 = 0.04 + x (0.81 - 0.04) \Rightarrow x = 0.185 \checkmark$$

یعنی فرض درست است.

تغير المحتوى الحراري (Δh) عند

$$P = P(V, T)$$



$$h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p dT + \int_1^2 (v - T \frac{\partial v}{\partial T} \Big|_P) dP$$

$$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v dT + \int_{V_1}^{V_2} [T \frac{\partial P}{\partial T} \Big|_V - P] dV$$

$$h_2 - h_1 = (h^* - h)_{T_1} + (h_2^* - h_1^*) - (h^* - h)_{T_2} + \int_{T_1}^{T_2} c_p dT - c_p \Delta T$$

$$(h^* - h)_T = (u^* - u)_T + (P^* v^* - P v)_T = (u^* - u)_T + RT \left(\frac{Z^*}{Z} - 1 \right)$$

$$\rightarrow (h^* - h)_T = (u^* - u)_T + RT(1 - Z)$$

$$du)_T = [T \frac{\partial P}{\partial T} \Big|_V - P] dV_T$$

من أجل تقييد الحالة: $P = \frac{ZRT}{v}$ ، بالتالي $\frac{\partial P}{\partial T} \Big|_V = \frac{ZR}{v} + \frac{RT}{v} \frac{\partial Z}{\partial T} \Big|_V$

$$T \frac{\partial P}{\partial T} \Big|_V = \frac{ZRT}{v} + \frac{RT^2}{v} \frac{\partial Z}{\partial T} \Big|_V \Rightarrow du)_T = \left[\frac{RT^2}{v} \frac{\partial Z}{\partial T} \Big|_V \right] dV_T$$

الآن نكتب الحالة العامة للحالة الحقيقية

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} \quad \text{حيث } z = \frac{v}{v-b} - \frac{a}{vRT}$$

$$v'_r = \frac{v}{\frac{RT_c}{P_c}} \rightarrow v = v'_r \left(\frac{RT_c}{P_c} \right)$$

تعريف كين

$$T = T_r T_c$$

جدول T_r و v_r' عدلیه

$$Z(v_r', T_r) = 1 + \frac{B}{v_r'} + \frac{C}{v_r'^2} + \frac{D}{v_r'^5} + \frac{C_1}{T_r^3 v_r'^2} \left[\beta + \frac{\gamma}{v_r'^2} \right] \exp\left(-\frac{\gamma}{v_r'^2}\right)$$

* این معادله فقط برای حالت Z_c معتبر است

* این معادله برای تمام حالت ها و تمام گاز ها معتبر است

با این معادله:

$$du_T = \left[\frac{RT^2}{v} \frac{\partial Z}{\partial T} \right]_{v_r'} dv_r' \quad , \quad Z = Z(v_r', T_r)$$

$$T = T_c \cdot T_r \quad , \quad v = v_r' \frac{RT_c}{P_c} \quad , \quad dv_T = \frac{RT_c}{P_c} dv_r'$$

پس از کسر با v_r' :

$$du)_{T_r} = \left[\frac{RT_c}{v_r'} T_r^2 \frac{\partial Z}{\partial T_r} \right]_{v_r'} dv_r')$$

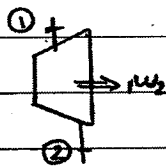
$$\frac{u^* - u}{RT_c} = \int_{v_r'}^{\infty} \frac{T_r^2}{v_r'} \left(\frac{\partial Z}{\partial T_r} \right)_{v_r'} dv_r')$$

$$(h^* - h)_T = (u^* - u)_T + RT(1 - Z)$$

$$\rightarrow \frac{(h^* - h)_T}{RT_c} = \frac{(u^* - u)_T}{RT_c} + T_r(1 - Z)$$

مثالی: در حالت SSSF نیروی در دمای 250K و فشار 100bar در حال توسعه است و فشار 30bar و دمای 190K از آن خارج می شود. مطلوب است که تولید نیروی به ازای هر کیلوگرم نیروی ورودی در صورتی که انتقال حرارت با محیط خارج است.

1st law SSSF: C.V.: Turbine



$$w_2 = h_1 - h_2 = (h_{1^*} - h_{2^*}) - RT_c \left[\left(\frac{h^* - h}{RT_c} \right)_1 - \left(\frac{h^* - h}{RT_c} \right)_2 \right]$$

$$* h_{1^*} - h_{2^*} = c_p(T_1 - T_2) = 57.27 \frac{kJ}{kg}$$

از دو جزء برای نقطه برای نیروی در دسترس:

$$T_c = 126 K \quad , \quad P_c = 33.9 MPa \quad , \quad R = 0.2968 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$T_{r1} = \frac{250}{126} \approx 2 \quad , \quad P_{r1} = \frac{100}{33.9} = 2.95 \quad \rightarrow \quad \frac{h^* - h}{RT_c} \Big|_1 \approx 0.75$$

$$T_{r2} = \frac{190}{126} \approx 1.5 \quad , \quad P_{r2} = \frac{30}{33.9} = 0.88 \quad \rightarrow \quad \frac{h^* - h}{RT_c} \Big|_2 \approx 0.4$$

$$h_1, h_2 = 57.27 - (0.246)(126)(0.75 - 0.4) = 44.8 \frac{kJ}{kg}$$

بنا بر این:

$T_2, P_2 \rightarrow s_2$, $s_2^* = s^*(T_2, P_2) \rightarrow$ نمودار هم‌دم‌انرژی و ایزننتالپیک (ایزوتروپ)

$T_1, P_1 \rightarrow s_1$

$s^* - s \rightarrow$ انحراف انترپی

$$s_2 - s_1 = (s_2^* - s_1^*) - \{ (s_2^* - s_2) - (s_1^* - s_1) \}$$

$$\begin{aligned} * s_2^* - s_1^* &= c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (c_p = \text{const}) \\ &= s_2^* - s_1^* - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (c_p = c_p(T)) \end{aligned}$$

$$ds = \frac{c_v}{T} dT + \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v dv \rightarrow ds|_T = \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v dv|_T$$

$$\Rightarrow s(T, P) - s(T, P') = \int_{v'}^v \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v dv|_T \quad \text{①}$$

for ideal gas: $P = \frac{RT}{v} \Rightarrow \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v = \frac{R}{v} \rightarrow s^*(T, P) - s^*(T, P') = \int_{v'}^v \frac{R}{v} dv|_T$ ②

$$\text{①} - \text{②} \Rightarrow [s(T, P) - s^*(T, P)] - [s(T, P') - s^*(T, P')] = \int_{v'}^v \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v dv|_T - \int_{v'}^v \frac{R}{v} dv|_T$$

$$\Rightarrow \lim_{P' \rightarrow 0} [s(T, P') - s^*(T, P')] = 0$$

ایزوتروپ
دیده

$$s(T, P) - s^*(T, P) = \lim_{v' \rightarrow \infty} \int_{v'}^v \left[\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v - \frac{R}{v} \right] dv|_T$$

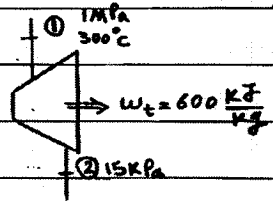
مثال: $P = \frac{ZRT}{v} \rightarrow \left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v = \frac{ZR}{v} + \frac{RT}{v} \left. \frac{\partial Z}{\partial T} \right|_v$ ③

مثال: $Z = Z(T_r, v_r)$, $T = T_r T_c$, $v = v_r' \frac{RT_c}{P_c}$

$$\text{③} \rightarrow \left[\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right|_v - \frac{R}{v} \right] dv|_T = \left[\frac{RT_c}{v_r'} \frac{\partial Z}{\partial T_r} - (1 - Z) \frac{R}{v_r'} \right] dv_r'|_T$$

$$\Rightarrow \frac{s^* - s}{R} = \lim_{v' \rightarrow \infty} \int_{v_r'}^{v_r' \rightarrow \infty} \left(\frac{T_r}{v_r'} \frac{\partial Z}{\partial T_r} - \frac{(1 - Z)}{v_r'} \right) dv_r'|_T$$

سوال: رانندگی آیزنر و یک یک توربین آدیاباتیک با فشار ۱ MPa و ۳۰۰°C و فشار خروجی ۱۵ kPa باشد. اگر تولید توربین ۶۰۰ $\frac{kJ}{kg}$ است.

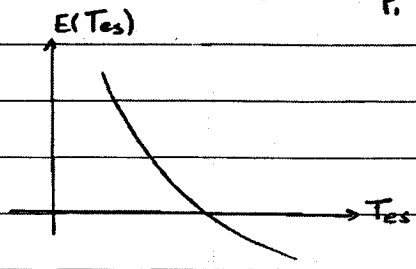


1st law: $w_{t,s} = h_i - h_{es}$

$w_{t,s} = R T_c \left[\left(\frac{h-h^*}{R T_c} \right)_i - \left(\frac{h-h^*}{R T_c} \right)_{es} \right] + c_p (T_i - T_{es})$

چون: $s_{es} - s_i = \frac{s_{es}^* - s_i^*}{s_{T_{es}}^* - s_{T_i}^*} + R \left[\left(\frac{s^* - s}{R} \right)_i - \left(\frac{s^* - s}{R} \right)_{es} \right] - E(T_{es}) = 0$

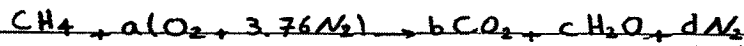
$R \ln \frac{P_i}{P_e}$



فصل چهارم احتراق

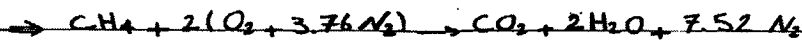
احتراق کامل یک سوخت هیدروکربنی زمان احتراق و افتد که کل کربن به CO_2 و کل اکسیژن به آب تبدیل شود. هوائ فرآیند به جای اکسیژن خالص از هوا استفاده کنیم و فرض شود که در این تبدیل N_2 دست نخورده باقی میماند. هوائ نظری همان که در محصولات اکسیژن آزاد و سوخت دست نخورده نداشتیم با هم هوائ ورودی را هوائ نظری گویند. به عبارت دیگر اکسیژن دقیقاً به اندازه ای که در سوخت با آن

مثال: معادله واکنش سیمان احتراق کامل متان با هوائ نظری را بنویسید



بنابراین هر یک مول O_2 و 3.76 مول N_2 داریم (در هوائ)

$$C: b=1 \quad \left\{ \begin{array}{l} H: c=2 \\ O: 2a=2b+c \end{array} \right. \rightarrow a=2 \quad \left\{ \begin{array}{l} N: 3.76a=d \\ \rightarrow d=7.52 \end{array} \right.$$



تعریف نسبت سوخت به هوائ:

Air Fuel ratio: $AF = \frac{\text{تعداد مول هوائ}}{\text{تعداد مول سوخت}}$ $\frac{مثال}{\text{بلا}}$ $AF = \frac{2 + 2 \times 3.76}{1} = 9.52 = AF_{theo.}$ CH_4

$\% \text{ Theoretical Air} = \frac{AF_{\text{Actual}}}{AF_{\text{theoretical}}} \times 100$ می توانیم بزرگتر از 100 را

مثال: متان با 50% هوائ اضافی (50% هوائ نظری) سوخت معادله واکنش را بنویسید



ابتدا معادله واکنش بدون هوائ اضافی را بنویسیم. سپس هوائ اضافی را که دست نخورده باقی میماند معادله اضافی کنیم.

برای آلودگی معادله واکنش با استفاده از آنالیز محصولات:

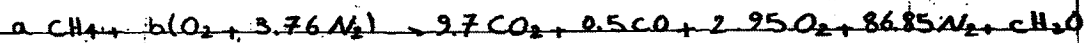
مثال: متان در هوائ سوخت تحلیل مولی محصولات احتراق هوائ خشک (بدون در نظر گرفتن آب)

به صورت زیر است: $CO_2: 9.7\% \quad \left\{ \begin{array}{l} CO: 0.5\% \\ O_2: 2.95\% \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} N_2: 86.85\% \end{array} \right.$

با توجه به اطلاعات داده شده:

الف) نسبت به هوا به سوخت بر مبنای مول و بر مبنای جرم را بیست آورید.
ب) درصد هوای نظری را بیست آورید.

ج) با فرض اینکه واکنش در فشار 100 kPa انجام شود و دمای نقطه اشباع محصولات احتراق را بیست آورید.



$$\begin{aligned} \text{C: } & a = 9.7 + 0.5 \\ \text{H: } & 4a = 2c \\ \text{O: } & 2b = 2(9.7) + 0.5 + 2(2.95) + c \end{aligned} \Rightarrow a = 10.2, b = 23.1, c = 20.4$$

بنابراین:



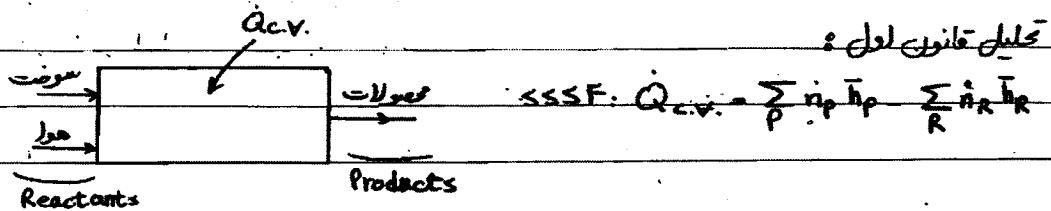
$$\bar{AF} = \frac{23.1(1+3.76)}{10.2} = 10.78 \frac{\text{kmol air}}{\text{kmol fuel}} \quad (\text{الف})$$

$$AF = \bar{AF} \times \frac{M_{\text{air}}}{M_{\text{fuel}}} = 10.78 \times \frac{29}{16} = 19.54 \frac{\text{kg air}}{\text{kg fuel}}$$

$$\% \text{ Theoretical Air} = \frac{\bar{AF}_{\text{actual}}}{\bar{AF}_{\text{theoretical}}} = \frac{10.78}{9.52} = 1.13 = 113\% \quad (\text{ب})$$

$$P_r = y_r P = \frac{20.4}{9.7 + 0.5 + 2.95 + 86.85 + 20.4} \times 101.3 \text{ kPa} = 17.1 \text{ kPa} \quad (\text{ج})$$

$$T_{o.p.} = T_g|_{P_r} = T_g|_{17.1 \text{ kPa}} = 56.5^\circ\text{C}$$

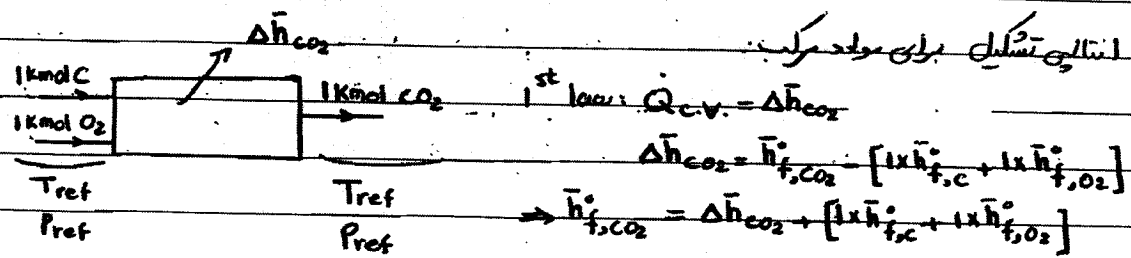


$$\dot{Q}_{cv} = \sum \dot{n}_p \bar{h}_p - \sum \dot{n}_R \bar{h}_R$$

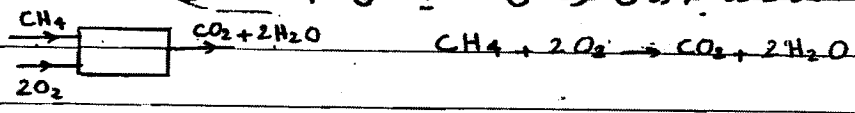
نسبت سوخت
استوکیومتر

* برای مرادگی در دمای 298K و فشار 100kPa، که اتمال تشکیل تعریف کنیم.
(\bar{h}_f°)

$$\bar{h}(T, P) = \bar{h}_f^\circ + \int_{T_{ref}=298K}^T \bar{c}_p dT \rightarrow \text{انرژی کالری} \rightarrow \frac{kJ}{kmol}$$



مثالی می‌توان با اکسیژن خالص نظیر به طور کلی می‌تواند در صورتی که واکنش تنها درجا و فشار مرجع انجام شود عبارت آنرا درجه بر از این سوالات 1 kmol متان را بیست آید

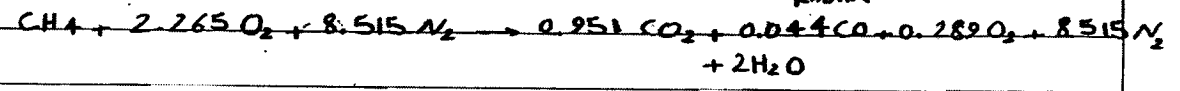


$$1^{st} \text{ law: } \frac{Q}{n_{CH_4}} = [n_{CO_2} \bar{h}_{CO_2} + n_{H_2O} \bar{h}_{H_2O}] - [n_{CH_4} \bar{h}_{CH_4} + n_{O_2} \bar{h}_{O_2}]$$

$$\rightarrow \frac{Q}{n_{CH_4}} = [1x(\Delta \bar{h}_{CO_2} + 1x \bar{h}_{f,CO_2}^\circ + 1x \bar{h}_{f,O_2}^\circ) + 2(\Delta \bar{h}_{H_2O} + 1x \bar{h}_{f,H_2}^\circ + \frac{1}{2} x \bar{h}_{f,O_2}^\circ)] - [1x(\Delta \bar{h}_{CH_4} + 1x \bar{h}_{f,C}^\circ + 2x \bar{h}_{f,H_2}^\circ) + 2(\bar{h}_{f,O_2}^\circ)]$$

نکته: انرژی تشکیل متان غنای درجا و فشار مرجع را می‌توان منفرد نظر گرفت. انرژی تشکیل مواد مرکب که درجا و فشار مرجع قرار دارند عبارت است از حرارت مورد نیاز برای تشکیل 1 kmol از آن ماده مرکب در یک واکنش ترکیبی با استفاده از عناصر تشکیل دهنده آن درجا و فشار مرجع مشروط بر اینکه عناصر ایجاد دینتر گرفته شوند

مثالی می‌توان در دمای 400K و فشار 100kPa وارد یک محفظه احتراق شده و در آنجا با هوای ورودی در 500K و فشار 100kPa واکنش می‌دهد. محصولات واکنش در فشار 100kPa و دمای 1800K از محفظه احتراق خارج می‌شوند. اثرات انرژی جنبشی و پتانسیل قابل صرف نظر کردن و با استفاده از شرایط SSSF نرخ انتقال حرارت به ازای هر کیلو مول سوخت را تعیین کنید. مقدار متوسط \bar{c}_p برای متان به 38 kJ/kmol.K در 400K, 298K و 1800K است.



۴۴

$$\frac{\dot{Q}_{c.v.}}{\dot{n}_{Fuel}} = \frac{\sum n_p \bar{h}_p}{H_P} - \frac{\sum n_R \bar{h}_R}{H_R} = H_P - H_R$$

$$H_R = n_{CH_4} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{CH_4} + n_{O_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{O_2} + n_{N_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{N_2} = 6880 \text{ KJ/Kmol CH}_4$$

-74873 6086 5911

$$\Delta \bar{h} = \int_{T_{ref}}^T \bar{c}_p dT \rightarrow \Delta \bar{h}_{CH_4} = \bar{c}_{p,CH_4} (400 - 298) = 3876 \text{ KJ/Kmol}$$

-33522 79432 38

$$H_P = n_{CO_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{CO_2} + n_{CO} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{CO} + n_{O_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{O_2} + n_{N_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{N_2} + n_{H_2O} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{H_2O}$$

-110527 49529 0 51674 0 48979
-241826 62693

$$\Rightarrow H_P = -227659 \text{ KJ/Kmol CH}_4 \Rightarrow \frac{\dot{Q}_{c.v.}}{\dot{n}_{CH_4}} = 220779 \text{ KJ/Kmol CH}_4$$

ارزش حرارتی (Heat Value = HV)

ارزش حرارتی (التالی احتراق) عبارت است از حرارت آزاد شده به ازای سوختن ۱kg از یک نوع سوخت به طور کامل در حالت فشار مرجع (مقادیر استاندارد و محصولات در حالت فشار مرجع بالایی) به عبارت دیگر تالی حرارت استعمال شود. (جدول ۱۹-۳) تالی آبی (HHV) (g) تالی " " (LHV)

مثال: عبارت برای ارزش حرارتی تالی بر حسب التالی محلی تشکیل متان، بخار آب و دی اکسید کربن به دست آید.

* فرض کنیم احتراق با هوای تالی انجام شود.



$$\frac{\dot{Q}}{\dot{n}_{CH_4}} = H_P - H_R = [n_{CO_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{CO_2} + n_{H_2O} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{H_2O} + n_{N_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{N_2}] - [n_{CH_4} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{CH_4} + n_{O_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{O_2} + n_{N_2} (\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h})_{N_2}]$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Q}}{\dot{n}_{CH_4}} = n_{CO_2} \bar{h}_{f,CO_2}^\circ + n_{H_2O} \bar{h}_{f,H_2O}^\circ - n_{CH_4} \bar{h}_{f,CH_4}^\circ$$

$$HV = \frac{-1}{M_{CH_4}} [n_{CO_2} \bar{h}_{f,CO_2}^\circ + n_{H_2O} \bar{h}_{f,H_2O}^\circ - n_{CH_4} \bar{h}_{f,CH_4}^\circ]$$

حتی برای احتراق بدون هوای تالی (با داشتن هوای اضافی کم صرفی) می توان

* هوای اضافی تالی را کم می کند.

دای آدیباتیک لغله:

دای حاصل از احتراق در صورتی که احتراق به صورت آدیباتیک باشد.

1st law SSSF: $\frac{Q}{\dot{m}_{fuel}} = H_p - H_r = \sum_p n_p (\bar{h}_f + \Delta h)_p - \sum_R n_R (\bar{h}_f + \Delta h)_R$

set $Q = 0 \rightarrow H_p = H_r$, $H_p = H_p(T_{ad})$, $\Delta h = \int_{T_{ref}}^{T_{ad}} \bar{c}_p(T) dT$
adiabatic flame

* مشکل اصلی در این مسائل، دانستن معادله و کثرت است. برای چنین کاری به جهت تعادل نیاز داریم

اصل دوم ترمودینامیک (قانون نرنست):

انتروپی همراه در دای صفر مطلق برابر صفر است

$S_T^0 \left(\frac{kJ}{K \cdot mol} \right)$, $S_T^0 = S(T, P_{ref}) \rightarrow \bar{S}(T, P)$ $\bar{S}_T^0 = R \ln \frac{P}{P_{ref}}$
 $\rightarrow \bar{S}(T, P) = \bar{S}_T^0 + R \ln \frac{P}{P_{ref}}$

کار برگشت پذیر، برگشت ناپذیری، قابلیت کار دهی (الزنی):

$\dot{W}_2^{rev} = (\dot{V}_1 - \dot{V}_2) - T_0 (S_1 - S_2) + \dot{Q}_2 \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)$

دای محیط

دای محیطی که سیستم با آن تبادل حرارت کرده است.

$\dot{W}_2^{actual} = \dot{Q}_2 - (\dot{V}_2 - \dot{V}_1)$

تغییر انتروپی منبع تغییر انتروپی سیستم

$\dot{I}_2 = \dot{W}_2^{rev} - \dot{W}_2^{actual} = T_0 (S_2 - S_1) - T_0 \left(\frac{\dot{Q}_2}{T_H} \right) = T_0 \left(S_2 - S_1 - \frac{\dot{Q}_2}{T_H} \right) \gg 0$
 $\Delta S_{net} \gg 0$

حالت مرده و حالت ترمودینامیکی هم دا هم فشار با محیط افزون بر اینکه قابلیت مکنش با محیط داشته باشد.

الزنی و بیشترین کاری که از یک حالت حاصل شود اگر به حالت مرده برسیم. حالت کار برگشت پذیر

↑ الزمات در حالت مرده

$\dot{Q} = \dot{m} \dot{m}_0 - T_0 (S_1 - S_0) - \dot{h} (\dot{V}_0 - \dot{V}_1) \rightarrow \left(\frac{kJ}{kg} \right)$
کار انجام شده در مقابل فشار محیط

خاصیت ترمودینامیکی

در حالت مرده:

الزنی $\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0)$

مکانی که فرآیند در شرایط SSSF $\dot{w}_e^{rev} = (h_i - h_e) - T_0 (s_i - s_e) + \dot{q}_e \left(1 - \frac{T_0}{T_H} \right)$ انجام شده باشد.

50

تخلیه قانون دوم برای فرآیندهای شیمیایی:

$$\frac{W_{rev}}{\dot{n}_{Fuel}} = \sum_R n_R ((\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h}) - T_0 \bar{s})_R - \sum_P n_P [(\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h}) - T_0 \bar{s}]_P$$

$$\frac{\dot{I}}{\dot{n}_{Fuel}} = \sum_P n_P (T_0 \bar{s}_P) - \sum_R n_R T_0 \bar{s}_R - Q_{c.v.} \frac{T_0}{T_H}$$

برای تعریف قابلیت کاردهی، فرض می‌کنند در حالت مرده، هر ماده به مقدار استاندارد است.

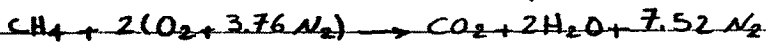
$$\dot{\Psi} = \sum_R n_R [(\bar{h}_f^\circ + \Delta \bar{h}) - T_0 \bar{s}] - \sum_P n_P (\bar{h}_f^\circ - T_0 \bar{s}^\circ)_P$$

Each constituent is @ 0.1 MPa & 298 K.

مثال: قابلیت کاردهی متان در حالت استاندارد (reference state).

$$\frac{\dot{\Psi}}{\dot{n}_{Fuel}} = \sum_R n_R (\bar{h}_f^\circ - T_0 \bar{s}^\circ)_R - \sum_P n_P (\bar{h}_f^\circ - T_0 \bar{s}^\circ)_P$$

برای محاسبه قابلیت کاردهی فرض کنیم واکنش کامل باشد:

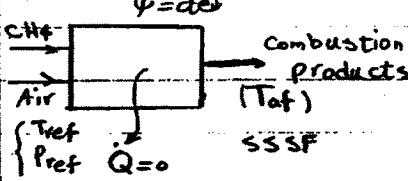


$$\frac{\dot{\Psi}}{\dot{n}_{Fuel}} = [1(\bar{h}_f^\circ - T_0 \bar{s}^\circ)_{CH_4} + 2 \times (-T_0 \bar{s}^\circ)_{O_2} + 7.52(-T_0 \bar{s}^\circ)_{N_2}]$$

$$- [1(\bar{h}_f^\circ - T_0 \bar{s}^\circ)_{CO_2} + 2(\bar{h}_f^\circ - T_0 \bar{s}^\circ)_{H_2O} + 7.52(-T_0 \bar{s}^\circ)_{N_2}]$$

$$= 826278 \frac{kJ}{kmol CH_4} = 51514 \frac{kJ}{kg CH_4}$$

در فرآیند شیمیایی $\dot{\Psi} = d\psi$



حال احتراق آدیاباتیک متان را در نظر بگیرید. درجه حرارت و فشار متان و اکسیژن را به نسبت آدیوپد.

$$\frac{\dot{I}}{\dot{n}_{Fuel}} = T_0 \left[\sum_P n_P \bar{s}_P - \sum_R n_R \bar{s}_R \right] - \dot{Q} \frac{T_0}{T_H}$$

$$\sum_R n_R \bar{s}_R = 1(\bar{s}^\circ_{CH_4}) + 2(\bar{s}^\circ_{O_2}) + 7.52(\bar{s}^\circ_{N_2})$$

$$= 1 \times 186.25 + 2 \times 205.1 + 7.52 \times 191.4 = 2035.777$$

54

$$1^{st} \text{ law: } H_R = H_P \rightarrow 1(\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h})_{CO_2} + 2(\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h})_{H_2O} + 7.52(\Delta\bar{h})_{N_2} - \bar{h}_f^\circ_{CH_4}$$

$$\rightarrow -393522 + \Delta\bar{h}_{CO_2} + 2(-241827) + 2 \Delta\bar{h}_{H_2O} + 7.52 \Delta\bar{h}_{N_2} = -74873$$

$$\rightarrow \Delta\bar{h}_{CO_2} + 2 \Delta\bar{h}_{H_2O} + 7.52 \Delta\bar{h}_{N_2} - 802303 = E(T_{af})$$

بجانب (تقسیم) bisection

$T_{af}(K)$	2000	3000	2500	2300	2400	$\rightarrow T_{af} = 2336 K$
$E(T_{af})$	-143295	301009	76377	-12149	21576	

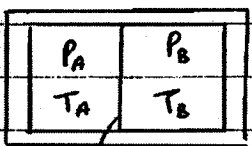
$$\bar{s}(T_{af}, P_i) = \bar{s}^\circ - \bar{R} \ln \frac{P_i}{P}$$

	Y_i	P_i	$\bar{s}^\circ(T_{af})$	$\bar{s}(T_{af}, P_i)$
CO ₂	0.095	9.5	318.74	338.25
H ₂ O	0.19	19	272.8	286.8
N ₂	0.715	71.5	257.7	260.5

$$\sum \frac{n_p \bar{s}_p}{P} = 1 \times 338.25 + 2 \times 286.8 + 7.52 \times 260.5 = 2866.81$$

$$\rightarrow \frac{\dot{I}}{\dot{n}_{Fuel}} = 247647.5 \rightarrow \frac{\dot{I}}{\dot{m}} = 15477.97$$

۵۷



دو پاره‌های
حرارت

تبادل شیبایی
۱st law: $dU = \delta Q - \delta W$
 $\delta W = P dV$ برای فشار یکسان
 $\Rightarrow \delta Q = dU + P dV$

۲nd law: $dS = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_g \Rightarrow T dS = \delta Q + T \delta S_g$

$\Rightarrow T dS = dU + P dV + T \delta S_g \Rightarrow T dS - dU - P dV = T \delta S_g$

$\Rightarrow T dS - dU - P dV \geq 0$ (i)

تبادل شیبایی در حالت T و فشار P ثابت:

$G = H - TS \Rightarrow dG = dU + P dV + V dP - T dS - S dT$

$\Rightarrow dG - V dP + S dT = - (T dS - dU - P dV)$
 ≥ 0

$\Rightarrow dG - V dP + S dT \leq 0$ برای تبادل dG $T, P = 0$

* اگر سیستم ظاهر باشد، آنگاه: $G = G(T, P, n)$

* اگر سیستم مخلوط باشد، آنگاه: $G = G(T, P, n_1, n_2, \dots, n_j)$

$\Rightarrow \alpha G = G(T, P, \alpha n_1, \alpha n_2, \dots, \alpha n_j)$

از دو طرف معادله نسبت به α مشتق می‌کنیم:

$G = \frac{\partial G}{\partial(\alpha n_1)} \frac{\partial(\alpha n_1)}{\partial \alpha} + \frac{\partial G}{\partial(\alpha n_2)} \frac{\partial(\alpha n_2)}{\partial \alpha} + \dots + \frac{\partial G}{\partial(\alpha n_j)} \frac{\partial(\alpha n_j)}{\partial \alpha}$

$\Rightarrow G = \frac{\partial G}{\partial n_1} n_1 + \frac{\partial G}{\partial n_2} n_2 + \dots + \frac{\partial G}{\partial n_j} n_j = \sum_{i=1}^j n_i \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_{L \neq i}}$

یک نامیت جدید تر معرفی می‌کنیم. تمام پتانسیل شیبایی تعریف می‌کنیم:

$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_{L \neq i}} \Rightarrow G = \sum_{i=1}^j n_i \mu_i$ (ii)

h: SA

شرط تعادل برای دایه ثابت T و فشار ثابت P به صورت زیر است:

$$dG]_{T,P} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^j \left. \frac{\partial G}{\partial n_i} \right|_{T,P,n_{j,i}} dn_i = 0 \Rightarrow dG]_{T,P} = \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i = 0 \quad (\text{iv})$$

تغییر (مقدار) دایه

برای غلظت کم غلظت اولیه آل داریم: از معادله بالا استفاده کنیم

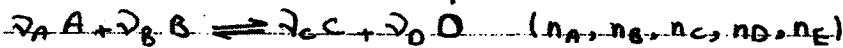
$$G = \sum_{i=1}^j n_i \bar{g}_i(T, P_i) \Rightarrow \mu_i = \bar{g}_i(T, P_i)$$

$$\Rightarrow \mu_i = \bar{g}_i(T, P_i) = \bar{h}_i(T) - T \bar{s}_i(T, P_i)$$

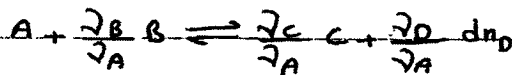
$$\Rightarrow \mu_i = \bar{h}_i(T) - T \left[\bar{s}_i^0 - R \ln \frac{P_i}{P_{ref}} \right] = \bar{g}_i^0 + \bar{R} T \ln \frac{P_i}{P_{ref}} \quad (\bar{g}_i^0 = \bar{h}_i(T) - T \bar{s}_i^0(T))$$

@ Pref

فرض کنیم 5 نوع گاز A, B, C, D و E (مختصاً) با هم ترکیب وکنش داشته باشند:



$$dn_A \quad dn_B \quad dn_C \quad dn_D$$



$$dn_B = \frac{\nu_B}{\nu_A} dn_A, \quad dn_C = -\frac{\nu_C}{\nu_A} dn_A, \quad dn_D = -\frac{\nu_D}{\nu_A} dn_A$$

بنا بر این:

$$\frac{dn_A}{\nu_A} = -\frac{dn_B}{\nu_B} = \frac{dn_C}{\nu_C} = \frac{dn_D}{\nu_D} = d\epsilon \Rightarrow \text{درجه ترکیب}$$

$$dn_A = \nu_A d\epsilon, \quad dn_B = -\nu_B d\epsilon, \quad dn_C = \nu_C d\epsilon, \quad dn_D = \nu_D d\epsilon$$

برای دایه ثابت و دما ثابت:

$$dG]_{T,P} = 0 = \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i = 0 \Rightarrow (\nu_A \mu_A - \nu_B \mu_B + \nu_C \mu_C + \nu_D \mu_D) d\epsilon = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{\nu_A \mu_A + \nu_B \mu_B = \nu_C \mu_C + \nu_D \mu_D} \Rightarrow \text{مقدار ترکیب ثابت}$$

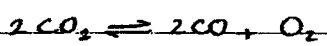
$$\Rightarrow \nu_A (\bar{g}_A^0 + \bar{R} T \ln \frac{P_A}{P_{ref}}) + \nu_B (\bar{g}_B^0 + \bar{R} T \ln \frac{P_B}{P_{ref}}) = \nu_C (\bar{g}_C^0 + \bar{R} T \ln \frac{P_C}{P_{ref}}) + \nu_D (\bar{g}_D^0 + \bar{R} T \ln \frac{P_D}{P_{ref}})$$

$$\Delta G^0 = \nu_C \bar{g}_C^0 + \nu_D \bar{g}_D^0 - \nu_A \bar{g}_A^0 - \nu_B \bar{g}_B^0$$

$$\frac{\Delta G^\circ}{RT} = \ln \left[\frac{y_C^{\nu_C} y_D^{\nu_D}}{y_A^{\nu_A} y_B^{\nu_B}} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^{\nu_C + \nu_D - \nu_A - \nu_B} \right]$$

$$\rightarrow \frac{y_C^{\nu_C} y_D^{\nu_D}}{y_A^{\nu_A} y_B^{\nu_B}} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^{\nu_C + \nu_D - \nu_A - \nu_B} = \exp \left(-\frac{\Delta G^\circ}{RT} \right) = K(T)$$

غلظت
مثال: 1 kmol از CO₂، 2 kmol از CO، 2 kmol از O₂ و 2 kmol از N₂ در دما 25°C و فشار 150 kPa در یک فرآیند SSSF فشار ثابت به 3000 K افزایش داده می‌شود. با فرض اینکه تنها گازها اشاره شده در مخلوط تعادل موجود باشند، ترکیب غلظت را مشخص کنید.



	CO ₂	CO	O ₂	N ₂
initial	1	2	2	2
change	-2x	2x	x	0
Equal	1-2x	2+2x	2+x	2

$$\rightarrow n_{tot} = 1 - 2x + 2 + 2x + 2 + x + 2 = 7 + x$$

$$y_{N_2} = \frac{2}{7+x}, \quad y_{CO} = \frac{2+2x}{7+x}, \quad y_{CO_2} = \frac{1-2x}{7+x}, \quad y_{O_2} = \frac{2+x}{7+x}$$

$$K(T) = \frac{y_{CO}^2 \cdot y_{O_2}^1}{y_{CO_2}^2} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{2+1-2} \rightarrow K(3000 K) = 0.10839 = e^{-2.277}$$

$$\rightarrow \left(\frac{1+x}{1-2x} \right)^2 \left(\frac{2+x}{7+x} \right) = 0.018065 \rightarrow x = 0.4649$$

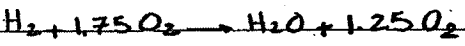
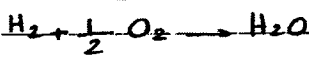
$$y_{CO_2} = 0.2953, \quad y_{CO} = 0.1638, \quad y_{O_2} = 0.2349, \quad y_{N_2} = 0.3060$$

مثال: هیدروژن و دما 25°C و فشار 1 atm وارد یک راکتور مایع بنی شده و در آنجا با 350% اکسیژن نظری که در دما 227°C و فشار 1 atm وارد شده است واکنش دهد. محصولات واکنش در شرایط SSSF و فشار 1 atm از راکتور خارج می‌شوند. دمای حاصله از واکنش را در دو حالت زیر بدست آورید:

الف) احتراق کامل

ب) یک مخلوط تعادلی از H₂O، H₂ و O₂ وجود دارد. با فرض اینکه

الف) ابتدا معادله احتراق نظری را می‌نویسیم:



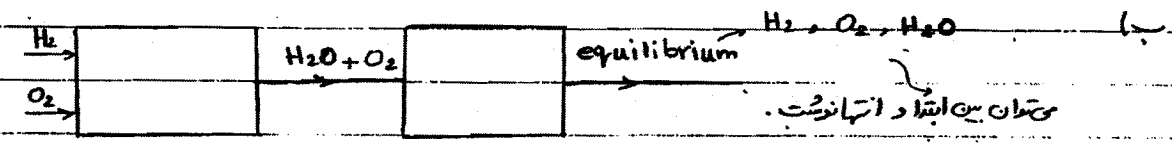
Do p

1st law: $H_p = H_R$

$$\rightarrow 1x(h_f + \Delta h)_{H_2O} + 1.25(h_f + \Delta h)_{O_2} = 1(h_f + \Delta h)_{H_2} + 1.75(h_f + \Delta h)_{O_2}$$

$\Delta h_{H_2O}|_{T_{af}}$ $\Delta h_{O_2}|_{T_{af}}$ $\Delta h_{O_2}|_{500K}$

$\rightarrow T_{af} \approx 3033K$

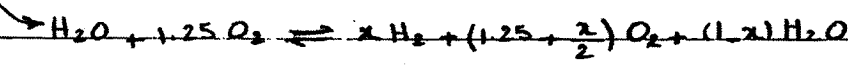


	H_2	O_2	H_2O
initial	0	1.25	1
change	x	$\frac{x}{2}$	$-x$
equilibrium	x	$1.25 + \frac{x}{2}$	$1-x$

$\Rightarrow n_{total} = x + (1-x) + 1.25 + \frac{x}{2} = 2.25 + \frac{x}{2}$

$y_{H_2} = \frac{x}{2.25 + \frac{x}{2}}$, $y_{O_2} = \frac{1.25 + \frac{x}{2}}{2.25 + \frac{x}{2}}$, $y_{H_2O} = \frac{1-x}{2.25 + \frac{x}{2}}$

$K(T_{af}) = \frac{y_{H_2}^{2} y_{O_2}}{y_{H_2O}} \left(\frac{P}{P_{ref}}\right)^{\nu_{H_2} + \nu_{O_2} - \nu_{H_2O}} \Rightarrow \text{solve for } x, T_{af}$



1st law: $H_p = H_R$

$$1(h_f + \Delta h)_{H_2O}|_{3033K} + 1.25(h_f + \Delta h)_{O_2}|_{500K} = x(h_f + \Delta h)_{H_2}|_{T_{af}} + (1.25 + \frac{x}{2})(h_f + \Delta h)_{O_2}|_{T_{af}} + (1-x)(h_f + \Delta h)_{H_2O}|_{T_{af}}$$

Simultaneous Reactions:

A mixture of 8 components: A B C D E , L M N

Reactions: ↑
inert

I) $\nu_A A + \nu_B B \rightleftharpoons \nu_C C + \nu_D D \Rightarrow \frac{dn_A}{\nu_A} = \frac{dn_B}{\nu_B} = \frac{dn_C}{\nu_C} = \frac{dn_D}{\nu_D} = de_1$

II) $\nu'_A A + \nu'_L L \rightleftharpoons \nu'_M M + \nu'_N N \Rightarrow \frac{dn'_A}{\nu'_A} = \frac{dn'_L}{\nu'_L} = \frac{dn'_M}{\nu'_M} = \frac{dn'_N}{\nu'_N} = de_2$

$\Rightarrow dn_A = \nu_A de_1 - \nu'_A de_2$, $dn_B = \nu_B de_1$, $dn_C = \nu_C de_1$, $dn_D = \nu_D de_1$,
 $dn_L = -\nu'_L de_2$, $dn_M = \nu'_M de_2$, $dn_N = \nu'_N de_2$

د

Condition for equilibrium:

$$dG]_{T,P} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^j \mu_i dn_i = 0$$

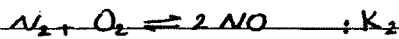
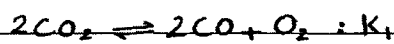
$$\rightarrow (\cancel{\nu_A \mu_A} + \cancel{\nu_B \mu_B} + \nu_C \mu_C + \nu_D \mu_D) e_1 + (\cancel{\nu'_A \mu_A} + \cancel{\nu'_L \mu_L} + \nu'_M \mu_M + \nu'_N \mu_N) e_2 = 0$$

$$\textcircled{1} \nu_A \mu_A + \nu_B \mu_B = \nu_C \mu_C + \nu_D \mu_D \Rightarrow \frac{(-\Delta G^0_1)}{RT} = \ln \left[\frac{y_C^{\nu_C} y_D^{\nu_D}}{y_A^{\nu_A} y_B^{\nu_B}} \left(\frac{P}{P^0} \right)^{\nu_C + \nu_D - \nu_A - \nu_B} \right]$$

$$\textcircled{2} \nu'_A \mu_A + \nu'_L \mu_L = \nu'_M \mu_M + \nu'_N \mu_N \Rightarrow \frac{(-\Delta G^0_2)}{RT} = \ln \left[\frac{y_M^{\nu'_M} y_N^{\nu'_N}}{y'_A^{\nu'_A} y'_L^{\nu'_L}} \left(\frac{P}{P^0} \right)^{\nu'_M + \nu'_N - \nu'_A - \nu'_L} \right]$$

$\ln K_2(T)$

مثال: مخلوطی از CO_2 ، O_2 ، N_2 در فشار 100 kPa و دمای 3000 K در یک مخزن قرار دارد. در این مخزن واکنش‌های زیر اتفاق می‌افتد:



	N_2	O_2	CO_2	CO	NO
initial	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0	0
change	$-\frac{y}{2}$	$x - \frac{y}{2}$	$-2x$	$2x$	y
Equilibrium	$\frac{1}{2} - \frac{y}{2}$	$\frac{1}{2} + x - \frac{y}{2}$	$1 - 2x$	$2x$	y

$$\sum n = \frac{1}{2} - \frac{y}{2} + \frac{1}{2} + x - \frac{y}{2} + 1 - 2x + 2x + y = 2 + x$$

$$y_{\text{N}_2} = \frac{\frac{1}{2} - \frac{y}{2}}{2+x}, \quad y_{\text{O}_2} = \frac{\frac{1}{2} + x - \frac{y}{2}}{2+x}, \quad y_{\text{NO}} = \frac{y}{2+x}, \quad y_{\text{CO}_2} = \frac{1-2x}{2+x}, \quad y_{\text{CO}} = \frac{2x}{2+x}$$

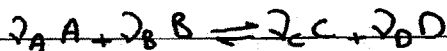
$$K_1(3000\text{K}) = \frac{y_{\text{CO}}^2 y_{\text{O}_2}}{y_{\text{CO}_2}^2} = \frac{(2x)^2 \left(\frac{1}{2} + x - \frac{y}{2} \right)}{(1-2x)^2} = e^{-2.217}$$

$$K_2(3000\text{K}) = \frac{y_{\text{NO}}^2}{y_{\text{N}_2} y_{\text{O}_2}} = \frac{y^2}{\left(\frac{1}{2} - \frac{y}{2} \right) \left(\frac{1}{2} + x - \frac{y}{2} \right)} = e^{-4.205}$$

$\rightarrow x = 0.1882$
 $y = 0.0675$

or

داده شده



$$\bar{R} T \ln K = -\Delta G_o = -(\nu_C \bar{g}_C^o + \nu_D \bar{g}_D^o - \nu_A \bar{g}_A^o - \nu_B \bar{g}_B^o)$$

$$\bar{g}^o(T) = \bar{h}^o(T) - T \bar{s}^o(T)$$

$$\rightarrow \bar{R} T \ln K = [\nu_C (\bar{h}^o(T) - T \bar{s}^o(T))_C + \nu_D (\bar{h}^o(T) - T \bar{s}^o(T))_D - \nu_A (\bar{h}^o(T) - T \bar{s}^o(T))_A - \nu_B (\bar{h}^o(T) - T \bar{s}^o(T))_B]$$

از دو طرف T ضرب کنیم

$$\bar{R} T \frac{d(\ln K)}{dT} + \bar{R} \ln K = [\nu_C \left(\frac{d\bar{h}^o}{dT} - T \frac{d\bar{s}^o}{dT} - \bar{s}^o \right) + \dots]$$

$$* \frac{d\bar{h}^o}{dT} = \bar{c}_p \quad , \quad T \frac{d\bar{s}^o}{dT} = \bar{c}_p$$

$$\bar{R} T^2 \frac{d(\ln K)}{dT} + \bar{R} T \ln K = T (\nu_C \bar{s}_C^o - \nu_D \bar{s}_D^o + \nu_A \bar{s}_A^o + \nu_B \bar{s}_B^o) = -\Delta S_o$$

$$\rightarrow \bar{R} T^2 \frac{d(\ln K)}{dT} = \nu_C \bar{h}_C^o + \nu_D \bar{h}_D^o - \nu_A \bar{h}_A^o - \nu_B \bar{h}_B^o = \Delta H$$

298K = 25°C ΔH و ΔS از اینها به دست می آید

ΔH با تغییر دما تغییر می کند

$$\int_{K_1}^{K_2} \frac{d(\ln K)}{dT} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\Delta H}{\bar{R} T^2} \Rightarrow \ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta H}{\bar{R}} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$