

صل درام

سیستم در به مقدار مشخص از ماده یا بیش معینی از فضایی می شود که توجه ما در مسئله به آن بخش

معلول می شود

(همگن)

(حجم کنترل)

انواع سیستم: (۱) سیستم باز: تبادل جرم با محیط اطراف دارد (۲) سیستم بسته: هیچ تبادل جرمی ندارد

(۳) انزوله (عایق): تبادل گرما با محیط ندارد (۴) سیستم انزوله: هیچ تبادل انرژی و جرمی ندارد

سیستم توسط مرز آن از محیط جدا می شود و حجم، حرارت و جرمی توان از مرز سیستم عبور کند

درگاه های کلیبی: (۱) درگاه میکروسکوپی: توجه به ذرات تشکیل دهنده سیستم است که عمل بررسی

آن غیر ممکن است. در ترمودینامیک آماری جای بررسی های ذرات میانگین خواص در یک لحظه

(۲) درگاه ماکروسکوپی: اثرات خاص که قابلیت مشاهده و اندازه گیری داشته باشند

استفاده می شود. صل پارامترها در واقع فشار، در ترمودینامیک کلاسیک از درگاه ماکروسکوپی استفاده می شود

خواص و حالت ماده: بررسی مواد در ترمودینامیک به طور عمده حالت تابع یا فاز را شامل می شود که آن مسائل گویند

خواص ماده، ویژگی های معین مشاهده پذیر ماده که با داشتن آنها حالت ماده تعیین می شود

نکته: نادانستن دو خاصیت مستقل از یکدیگر سیال می توان به معنای خواص ترمودینامیکی را تعیین نمود

انواع خواص ماده ، ① خواص سردی : به مقدار ماده وابسته نیست مثل دما و فشار و جغالی

② خواص مقداری : به مقدار ماده وابسته است مثل حجم

فرایند : زمانی که در یک سیستم از یک حالت اول به یک حالت ثانویه تغییر پیدا کند (خواص نیز تغییر می کنند)

یا حداقل یک خاصیت تغییر کند می گوئیم فرایند طی شده است

چرخه (سیکل) : اگر سیستم طی چند فرایند هم در یک حالت اول به یک حالت ثانویه طی شده است

واحد های اصلی : جرم (Kg) - طول (m) - زمان (s) - دما (T)

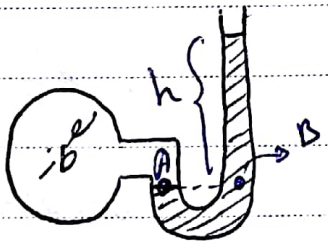
واحد های فرعی : سرعت  $(\frac{m}{s})$  - نیرو  $(N)$   $(\frac{m}{s^2})$  - جرم  $(\frac{m}{kg})$

جغالی : جرم واحد حجم  $\frac{kg}{m^3}$       حجم مخصوص : جرم واحد جرم  $\frac{m}{kg}$

فشار = نیروی وارد شده بر واحد سطح  $P = \frac{F}{A}$       1 bar = 1 atm = 10<sup>5</sup> Pa = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> = 10<sup>5</sup> PSI

نیروی ۹.۸ نیوتون بر سانتی متر مربع      هر یک bar برابر با ۱۴.۷ PSI است

انرژی سردی است :



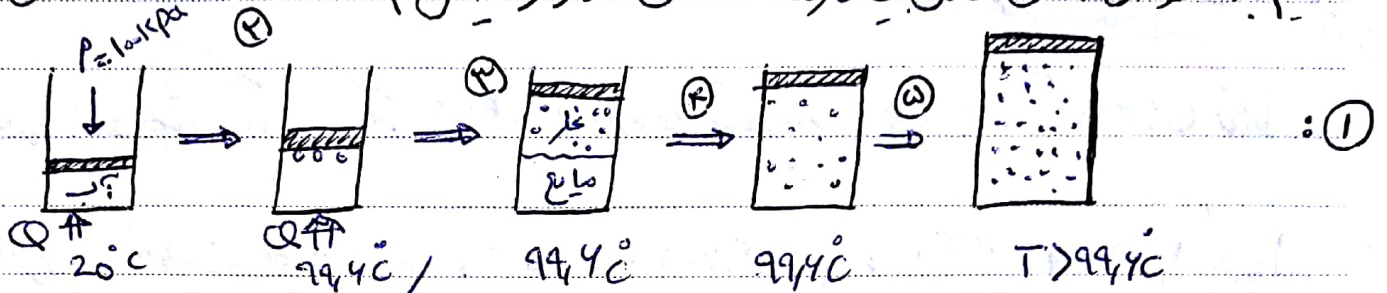
$$P_A = P_B = P_{atm} + P_{مائع} = P_{atm} + \frac{mg}{A} = P_{atm} + \frac{\rho \cdot h \cdot A \cdot g}{A}$$

$$\Rightarrow P_A = P_{atm} + \rho g h$$

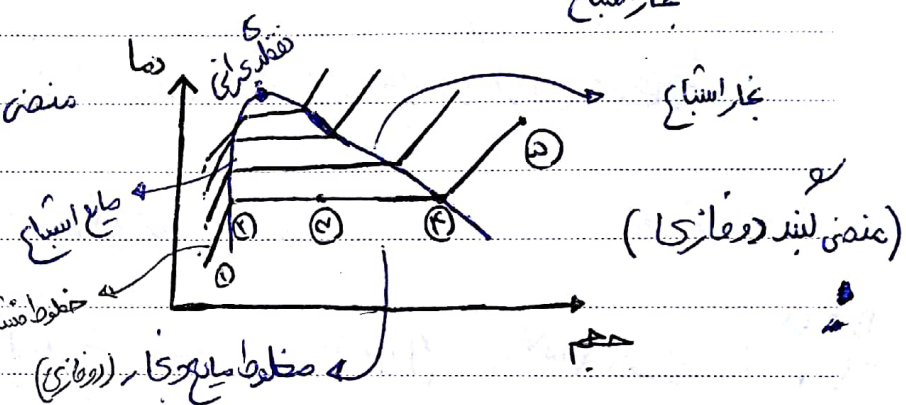
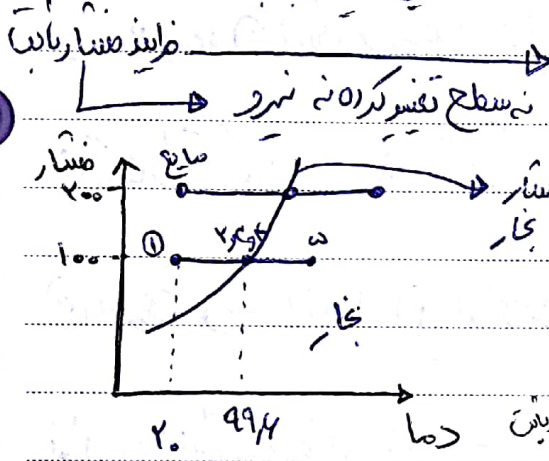
ارتفاع ستون مایع      فشار نسبی (خلأ)      فشار مطلق      نسبت به فشار جغالی



تقسیم بندی خواص: ① تعادل بین فازها ② گاز (ایده آل)



①: 20°C, 99.4°C, 99.4°C, 99.4°C, T > 99.4°C  
 20°C: مایع اشباع (مایع اشباع)  
 99.4°C: تسلیب اولین حبابها (تبدیل شدن مایع اشباع به بخار)  
 99.4°C: خطوط مایع و بخار (خطوط اشباع)  
 99.4°C: تبدیل شده (تبدیل شدن مایع اشباع به بخار اشباع)  
 T > 99.4°C: بخار اشباع (بخار اشباع)



در نقطه‌های بحرانی تغییر مایع و بخار امکان پذیر نبوده و در این نقطه مایع و بخار تبدیل شوند یا برعکس  
 نقطه‌های بحرانی جزو خواص یک ماده گسب می شود و برای موارد مختلف در جدول ها نوشته شده است

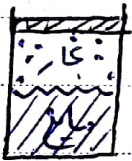
آب	دما بحرانی: 374.14	فشار بحرانی: 22.09
CO <sub>2</sub>	31.04	7.39
O <sub>2</sub>	-118.55	5.08

در حالت دو فاز خواص رما و فشار به بلندی وابسته هستند یعنی برای هر فشاری یک نقطه کاوش وجود دارد از آنجا که برای تعیین حالت سیستم داشتن دو خاصیت الزامی است، بنابراین در بخش دو فاز باید یک

خاصیت دیند (غیر از دما و فشار) داشته باشیم تا بتوان حالت سیم را تعیین کرد (مثل حجم).

برای حالت دوفازی بارامتری تحت عنوان نسبت تعریف می کنیم

نسبت: 
$$\alpha = \frac{\text{جرم بخار}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_v}{m} = \frac{m_g}{m}$$



$$v = v_{\text{مایع}} + v_{\text{بخار}} \quad \frac{v}{v_{\text{کل}}} = \frac{v_{\text{کل}}}{m_{\text{کل}}} \quad v = \frac{V}{m}$$

$$v_f = \frac{v_f}{m_f}, \quad v_g = \frac{v_g}{m_g}$$

$$V = v m = v_f m_f + v_g m_g \Rightarrow v = \frac{m_f}{m} v_f + \frac{m_g}{m} v_g = (1-\alpha)v_f + \alpha v_g \Rightarrow$$

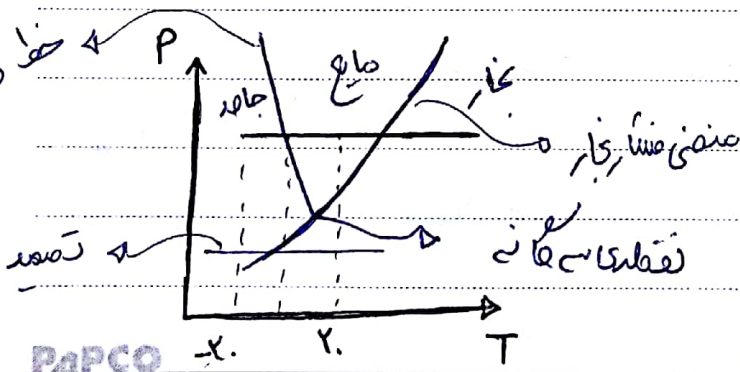
$$\Rightarrow v_f + (v_g - v_f)\alpha \quad m = m_f + m_g$$

$$\Rightarrow v = v_f + \alpha v_{fg} \quad , \quad v_{fg} = v_g - v_f$$

برای مایع اشباع:  $\alpha = 0$  برای بخار اشباع:  $\alpha = 1$  حالت دوفازی:  $0 < \alpha < 1$

در جدول ترمودینامیکی  $v_f$  و  $v_g$  و  $v_{fg}$  بعنوان خواص ماده ارائه شده است، همچنین وابستگی مقادیر دما

و فشار اشباع نیز وجود دارد.



برای حالت اشباع: در نقطه یاسه گانه، مایع و جامد و گاز در تعادل اند. یعنی خواص در این نقطه در هم برابر است.

نقطه‌های سه خانه مانند مجرای جزو خواص سوار گسرد می‌شود در جدول موجود هستند.

آب	زمان سه خانه	مسافت سه خانه
$0_2$	۰.۰۱	۰.۱۱۳
$50_2$	۰.۲۹	۰.۱۵
$100_2$	۰.۵۶۲	۰.۲۰۱۸

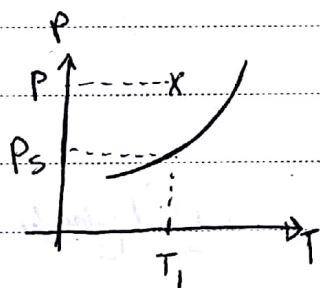
جدول پیوست B: خواص ترمودینامیکی آب و آمونیاک، R-12، R-22، R-134a، استون و...

روش های در جدول ها:

$x_1 \checkmark$	$y_1 \checkmark$
$x \checkmark$	$y ?$
$x_2 \checkmark$	$y_2 \checkmark$

$$\frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{y_1 - y}{x_1 - x} \rightarrow y \checkmark$$

تصحیح نوع ماده:



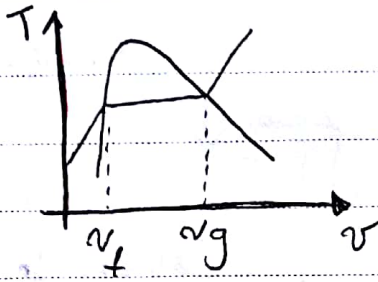
اگر  $P_1 > P_s$  راه شده باشد  $\leftarrow T_1$

فشار اشباع در  $T_1$   $\leftarrow P_s$

if  $P_1 > P_s \rightarrow$  مایع متراکم

if  $P_1 < P_s \rightarrow$  فوق گرم

if  $P_1 = P_s \rightarrow$  دو فازی



اند دما (فشار) و حجم مخصوص (T, u)

$T_1 \Rightarrow \Rightarrow v_f \text{ و } v_g \Rightarrow$  در جدول اشباع

if  $v < v_f \Rightarrow$  مایع متراکم

if  $v > v_g \Rightarrow$  فوق اشباع

if  $v_f \leq v \leq v_g \Rightarrow$  دوفازی

کدام نقطه کیفیت دارد شد یعنی در ناحیه دوفازی هستیم <sup>با اشباع</sup>  
 $v_f$  در مایع  $v_g$  در گاز

\* کیفیت بین 0 و 1 است یعنی مثلاً 70٪ و 30٪

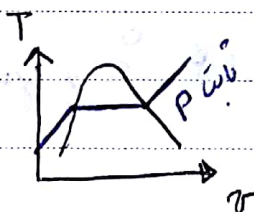
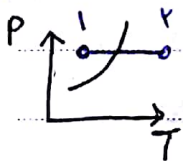
مثال) حجم مخصوص بخار آب در دمای 200°C و کیفیت 70٪ چقدر است؟

کیفیت به جدول اشباع آب ب. ا. 1 که چون دما داده شده

در ناحیه دوفازی حجم مخصوص از رابطه  $v = v_f + x v_{fg}$  بدست می آید

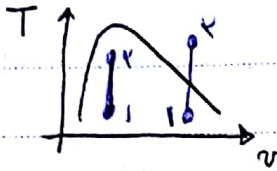
جایگذاری در رابطه  $\Rightarrow$   
 $v_f = 0.001154$   
 $v_{fg} = 0.14425$

در نمودارهای فشار دما و دمای مختلف مد نظر می باشد به عنوان مثال:

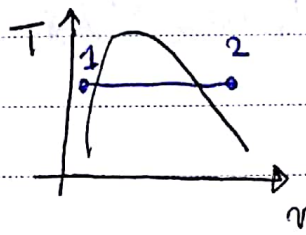
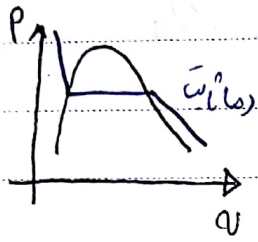


فشار و دما ثابت (سلندر و پیستون)

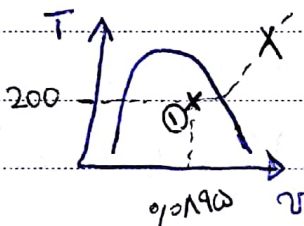
فرايند حجم ثابت :



فرايند دما ثابت :



مثال) در مسئله‌ی قبلی به سیستم حرارت می‌دهیم و سیستم در فشار ثابت دما به  $250^{\circ}\text{C}$  می‌رسد. حجم مخصوص را تعیین کنید.



کمی؟ (1) نوع فرایند؟ فشار ثابت

(2) در جدول اسباب فشار مربوط در دمای  $20^{\circ}\text{C}$  خوانده می‌شود

$$P_5 / 200 = 1553,8$$

(3) با توجه به اینکه حالت نهایی سیستم فوق گرم است، در جدول ب (1-3) در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  و فشار فوق

at	$250^{\circ}\text{C}$	$1400 \text{ Pa}$	$v \text{ (m}^3/\text{kg)}$
			$0,1495$
		$1553,8$	$v=?$
	$250$	$1400 \text{ Pa}$	$0,14184$

با هر حجم مخصوص خوانده شود  
فشار بخاری است و حجم مخصوص کم

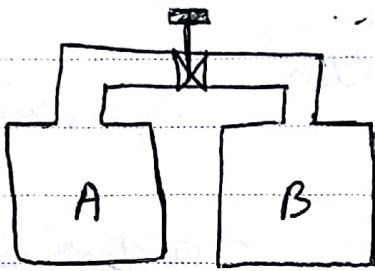
مثال) دو مخزن مطابق شکل به یکدیگر متصل هستند در هر دو حاوی آب هستند. مخزن A در فشار

$200 \text{ KPa}$  و حجم مخصوص  $\frac{0,5 \text{ kg}}{3 \text{ m}}$  و حجم مخزن A،  $1 \text{ m}^3$  و مخزن B،  $0,5 \text{ kg}$  آب

در فشار  $0,5 \text{ MPa}$  و  $400^{\circ}\text{C}$  است. سطح مابین دو مخزن باز می‌شود پس از گذشت



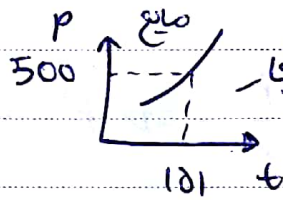
زمان هفتی، شرایط کنونی می گردد. حجم مخصوص برای آب باید  $P$



$$v = \frac{V_{tot}}{m_{tot}} = \frac{V_A + V_B}{m_A + m_B} \quad (*)$$

$$m_A = \frac{V_A}{v_A} = \frac{1}{0.5} = 2 \text{ Kg}$$

at 300 kPa  $\rightarrow T_s = 101$



$T_{00} > 101 \rightarrow$  ک، فو، روم  $\rightarrow$  ب ا ک

$$\Rightarrow 400^\circ\text{C} \Rightarrow v_B = 0.41 \text{ m}^3/\text{kg} \Rightarrow v_B = 2 \times 0.41 \text{ m}^3/\text{kg} = 0.82 \text{ m}^3/\text{kg}$$

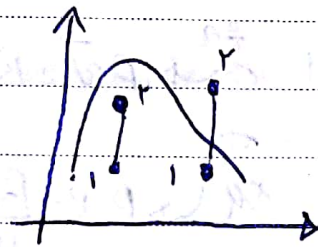
$$(*) \Rightarrow v = \frac{1 + 0.82}{2 + 2} = 0.91 \text{ m}^3/\text{kg}$$

مسئله (سوال) میزان جرمی به حجم  $1 \text{ m}^3$  حاوی  $2 \text{ Kg}$  آب  $100^\circ\text{C}$  است. میزان ل در سیستم

آب در دمای  $250^\circ\text{C}$  برسد، فشار برای سیستم چقدر است؟ فرایند از نوع چه است

①  $100^\circ\text{C}$  ,  $v_1 = 1 \text{ m}^3$  ,  $m_1 = 2 \text{ Kg}$

②  $250^\circ\text{C}$  ,  $v_2 = 1 \text{ m}^3$  ,  $m_2 = 2 \text{ Kg}$



②:  $v_2 = \frac{1}{2} = 0.5$  ,  $T = 250$

دما و داری  
فقط ضربه  
داریم

طبق جدول ب - ا - ا - 1  
 $at, 250^{\circ}C \Rightarrow v_2 > v_1 \sim v_2 > v_1$   
 فوق نرم

در جدول فوق نرم  
 $at, 250^{\circ}C$        $400 \text{ kPa}$        $0,59012$   
 $P$        $0,5$   
 $500 \text{ kPa}$        $0,47424$

$$P = \frac{500 - 400}{0,47 - 0,59} = \frac{500 - P}{0,47 - 0,59} \Rightarrow P = \checkmark$$

خواص گاز ایده آل: اگر فاصله بین مولکول ها اندازه ای کافی بالا باشد در بتوان از نیروهای

بین مولکولی صرف نظر نمود، در این حالت رضا مولکول ها مستقل از یکدیگر بوده و بر اساس تجرب

آزمایشی می توان رابطه ای میان خواص اصلی شامل حجم، فشار و دما تعیین نمود که این رابطه

معادله ای حالت گاز ایده آل گفته می شود

$$Pv = nRT$$

خواصی که بر مبنای مولی (مثلاً یک مول) نوشته می شوند را با بالا نریس (-) نشان می دهیم ( $\bar{R}$ )

$$Pv = nRT \xrightarrow{\div n} P\bar{v} = \bar{R}T$$

$$x \mu \xrightarrow{\div \mu} P\bar{v} = \frac{\bar{R}}{\mu} T \xrightarrow{\div \mu} \frac{\bar{R}}{\mu} = R$$

بزرگی عدد از غنق دارد ثابت است

معادله گاز ایده آل: از جدول الف - 1

$$* \Rightarrow Pv = mRT$$

در صورتی که ایده آل باشد از جدول الف - 1 استفاده می کنیم و می توانیم

$$* \Rightarrow Pv = RT$$

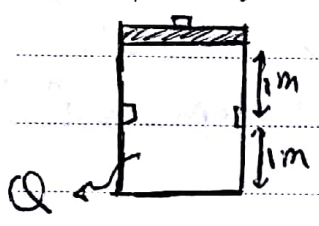
چه موقع یک گاز ایده آل است؟  
داخل جدول نسبت بین از معادله حالت می ریم.

مثال (معادله حالت گاز ایده آل): (هوا) در داخل استوانه ای مطابق شکل در صدد دارد. سطح مقطع استوانه

و ابتدا در فشار  $p = 200 \text{ kPa}$  و  $T_1 = 500^\circ \text{C}$  قرار دارد. هوا را ضغمت می کنیم (از سیستم حرارت

می گیریم) تا همین لحظه که هوا از جانبی که سیلندر به مانع می رسد فشار هوائی داخل سیلندر  $P$  (بعد از آنکه فرایند

در سیلندر  $20^\circ \text{C}$ )



روند حل مسئله: (1) بخودی تعیین خواص مواد (از جدول یا از معادله حالت)

تنها از جدولی از این در مرجع برای پیدا کردن آن است

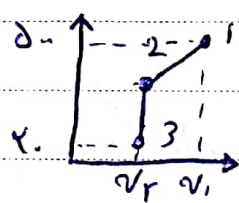
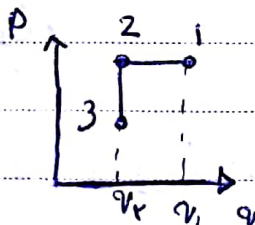
(2) تحلیل مسئله (تعیین نوع فرآیندها) (تعیین ورودی ها و تعیین خروجی ها) (روند حل مسئله)

(3) حل مسئله (جایگذاری داده ها و محاسبه نتایج)

حل: 1. معادله حالت 2. فرایند فشار ثابت تا مانع و بعد حجم ثابت است

داده ها: حجم اولیه و نهایی (سطح مقطع 1 و ارتفاع 1)

خواص ها: (مهای میانی در کفلی رسیدن به مانع) و فشارهای



معادله حالت را در هر نقطه ای که بخواهیم می توانیم بنویسیم

برای نقطه 1)  $P_1 v_1 = mRT_1$  (1)  $P_2 v_2 = mRT_2$  (2) و  $P_3 v_3 = mRT_3$  (3)

برای فرایند الف)  $\sqrt{\frac{v_1}{v_2}} = \frac{T_1}{T_2} \checkmark \Rightarrow T_2 = \checkmark$

برای فرایند ب)  $\sqrt{\frac{P_2}{P_3}} = \sqrt{\frac{T_2}{T_3}}$   $\hookrightarrow \frac{P_1 v_1}{P_3 v_3} = \frac{T_1}{T_3}$   $\Rightarrow P_3 = \checkmark$

حل مسئله: (ک)  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{2}{1} = 2 \Rightarrow T_2 = \frac{T_1}{2} = \frac{500 + 273}{2} = 386,5 \text{ (K)}$

ب)  $P_3 = \frac{P_2 T_3}{T_2} = \frac{200 \times (20 + 273)}{386,5} = 151,4 \text{ kPa}$  (ضمار بر حسب kPa و دما به لورن)

(تقریباً)  $Pv = RT \Rightarrow v = \frac{RT}{P}$  حجم مخصوص  
 مقدار دقیق از جدول  $v \rightarrow$

جابجایی حجم مخصوص از حالت و مقایسه با مقدار جدولی برای بخار آب

در این صورت می توان خطای این مقدار (فرض گاز ایده آل بودن بخار آب) محاسب کنیم.

درجه ضریب تراکم پذیری معیار خوبی برای ایده آل بودن گاز است.  $\frac{\text{تقریبی} - \text{واقعی}}{\text{واقعی}}$  در هر طرف

تراکم پذیری:  $Z = \frac{Pv}{RT} \Rightarrow Pv = ZRT$

اگر  $Z = 1$  فرض گاز ایده آل خطای کم دارد

اگر  $Z > 1$  یا  $Z < 1$  از حالت گاز ایده آل فاصله گرفته ایم

الف فرضیه تراکم پذیری را داشته باشیم جای معادله حالت از  $PV = ZRT$  استفاده می کنیم.

برای اینکه به یک نمودار (معادله حالت) برای موارد مختلف برسیم، نمودار تراکم پذیری بر اساس (درجه حرارت)

فشار، دما، دماهای کاهش یافته رسم شده است.  $T_r = \frac{T}{T_c}$   $P_r = \frac{P}{P_c}$  زمانی برای

دما و فشار بحرانی جزو خواص فاده بوزده و از جدول الف - 5 قابل استخراج است.

بر اساس  $P_r$  و  $T_r$  می توان از نمودار (د-۱) فرضیه را بدست آوردیم و از رابطه  $P_r V_r = Z_r R T_r$  استفاده کنیم.

(پس روش بدست آوردن  $Z$  از جدول است، بر اساس  $P_r$  و  $T_r$ ) جدول

(وقتی ضرایب بالا باشد یا در مایع یا بین باشد از حالت ایده آل دوری شویم)

- مسائل عونتای فصل ششم: 30 - 33 - 40 - 44 - 33 - 39 - 60 - 63 - 65
- 73 - 75 - 82 - 86 - 99 - 105 و 111

فصل چهارم -

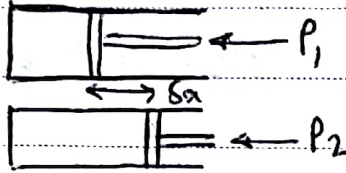
شرایط و کار

تعریف تاره  $\delta W, F \delta x$

تشخیص کار: آیا انرژی به شکل کار از سیستم عبور کرده است؟ اند انرژی عبوری بتواند منفرد

جام جایی که حجم شود در این صورت می گوئیم کار از فشار سیستم عبور کرده است.

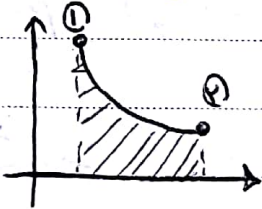
فرار دارد، اگر سیستم روی محیط جام انجام دهد مقدار آن مثبت و اگر محیط روی سیستم انجام دهد مقدار آن منفی (-)



$$\delta w = F \delta x = p A \delta x = p \delta v$$

تغییر حجم  $\delta v$  سطح مقطع  $\delta x$  فشار داخل سیستم

\* سطح زیر نمودار (P-v) برابر کار است  $\Rightarrow W = \int p dv = \int \delta w$



نکته: مقدار کار در این فرآیند تابع مسیر است برخلاف خواص مواد که

تابع نقطه ای هستند.

نکته: برای تابع نقطه ای در فرآیند کامل خاصیت تعریف می شود  $\int dp = p_2 - p_1 \int dv \dots$

ولی برای کار این توان در فرآیند کامل استفاده نمود  $\int \delta w = w_2 - w_1 = w_2$

برای حل انتگرال  $\int p dv$  باید فشار سیستم را به حسب حجم داشته باشیم. بر این اساس حالت های زیر

وجود خواهد داشت

حالت اول: فرآیند فشار ثابت  $W = \int p dv = p \int dv = p(v_2 - v_1)$

حالت دوم: گاز ایده آل (در حالت ثابت)  $p v = m R(T) \Rightarrow p v = \text{ثابت}$

$\Rightarrow p = \frac{\text{ثابت}}{v} \Rightarrow p_1 v_1 = p_2 v_2 = \text{ثابت} = m R T$

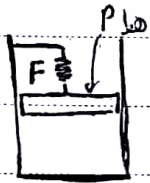
$$\Rightarrow \int_1^2 P dv = \int_1^r C \frac{dv}{v} = C \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$P(v)^n = C$$

حالت سوم (فشاری بی تغییر - فاز ایده آل)

$$W = \int P dv = \int \frac{C}{v^n} dv = C \int \frac{dv}{v^n} = C \int v^{-n} dv = C \frac{v^{1-n}}{1-n} \Big|_{v_1}^{v_2} = C \frac{(v_2^{1-n} - v_1^{1-n})}{1-n}$$

$$C = P_1 v_1^n = P_2 v_2^n \Rightarrow \frac{P_2 v_2 - P_1 v_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n}$$



$$F = k \Delta x = k(x - x_0)$$

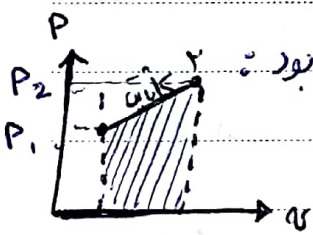
حالت چهارم (نیروی متغیر - نیروی بیستون)

$$P = P_0 + \frac{k(x - x_0)}{A} = P_0 + \frac{k(v - v_0)}{A^2} \quad \text{یا} \quad m(V - V_0)$$

(فشار جو + وزن بیستون)

توجه کنید که مقدار ثابت باشد با جای رابطه‌های فوق در  $\int P dv$  می‌توان مقدار کار را محاسبه نمود

اگر  $k$  متغیر باشد مثلاً به صورت یک رابطه خطی با میزان فشردگی، با جایگذاری در رابطه اول و انتگرال گیری می‌توانیم



در حالتی که ضریب تغییرات باشد، تغییرات فشار به حسب حجم در نمودار مطابق شکل خواهد بود:

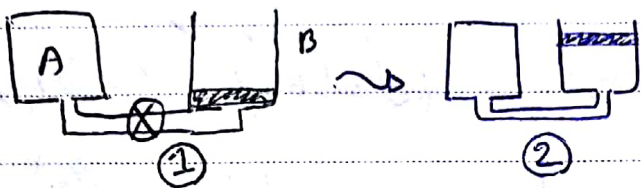
در این حالت می‌توان جای انتگرال گیری از فشار متوسط  $\left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)$  استفاده نمود.

$$\int_{v_1}^{v_2} P dv = \frac{P_1 + P_2}{2} (v_2 - v_1) \quad \text{مساحت ذوزنقه}$$

مثال) فنون A حاوی گاز آرگون با  $v_A = 400 \text{ lit}$  و  $T_1 = 30^\circ\text{C}$  و  $P_1 = 250 \text{ kPa}$  است. فنون B حاوی

بیستون است. اصطفاک است در برای بلند کردن آن  $150 \text{ kPa}$  فشار لازم است. ابتدا سلیند B خالی است

تدریس دو فنک باز شده و کم کم حالت یک نواخت برقرار می شود و دمای برای ها  $30^{\circ}\text{C}$  باقی می ماند. هر



انجام شده توسط اگر لون چند است؟

حل:

۱- سوال مورد نظر اگر لون است و گاز ایده آل فرض می شود

نوع فرایند: فشار ثابت (سلیندر پیستون A)

$$W = W_A + W_B = P(v_2 - v_1) = P v_B$$

$$P_A V_A = m R T_A \rightarrow m = \frac{P_A V_A}{R T_A}$$

از جدول الف 5

برای کل سیستم در حالت دوم

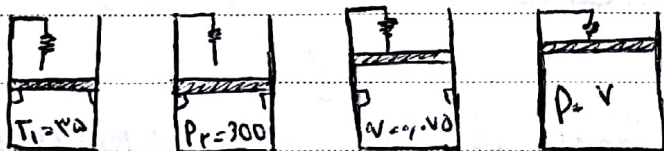
$$P_2 (v_A + v_B) = m R T_2 = m R T_A \Rightarrow v_B \checkmark \rightarrow W = P v_B \checkmark$$

مثال) در شکل زیر مساحت پیستون برابر  $A = 0.01 \text{ m}^2$  و حجم  $\text{H}_2\text{O}$  در حالت اول  $0.003 \text{ m}^3$  و جرم آن  $m = 4 \text{ kg}$

است. وزن پیستون و فشار اتمسفر طوری است که فشاری معادل  $300 \text{ kPa}$  می تواند پیستون را بلند کند. وقتی

حجم به  $0.0075 \text{ m}^3$  می رسد، پیستون به قدری برود می کند. برای قدر  $\frac{K}{m} = 34 \text{ K}$  است به سیم حرارت

می دهیم تا فشار به  $P_3 = 7 \text{ MPa}$  برسد. اندک دمای اول  $T_1 = 35^{\circ}\text{C}$  باشد



$Q \uparrow$   
(۱)

$Q \uparrow$   
(۲)

$Q \uparrow$   
(۳)

$Q \uparrow$   
(۴)

الف) حالت برای سیم؟

ب) کار انجام شده ای کل فرایند را تعیین کنید.

زمان بلند شدن

بخورد به قدر

فشاره شدن قدر

در سیم با  $v$



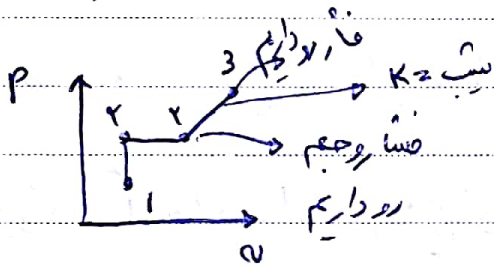
مسئله مورد نظر آب به خواص از جدول ب-1

سوالاتی از این درمورد باید حساب کنیم

فرایند ترکیبی است: حجم ثابت + فشار ثابت + فشار متغیر  
(1-2) (2-2) (2-3)

حالت‌های P و باید خواص را بدست آوریم: فشار، دما، حجم؟ (دروغای، فرقی درم با...)

چون مساله مورد نظر آب است از جدول باید استفاده کنیم  
 ~~$P_3 V_3 = m R T_3$~~



$$P_3 = P_0 + \frac{K}{A} (\alpha_3 - \alpha_2) = P_0 + \frac{K}{A_2} (v_3 - v_2)$$

حجم ثابت است  $\Rightarrow m_1 = \frac{V_1}{v_1} = m_2 = m_3$   $\Rightarrow P_1 v_1 = P_2 v_2$

(v رو حذف کنیم v با v کنده می‌شود) از جدول را بدست می‌آید  $\Rightarrow v_3$  و  $m_3$

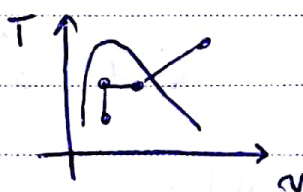
$$W_{1-2} + W_{2-2} + W_{2-3} = P_1 (v_2 - v_1) + \frac{P_2 + P_3}{2} (v_3 - v_2)$$

منبرکانه فشار ثابت حجم ثابت (سطح زیر نمودار سؤال)

بعد جایگذاری می‌کنیم: حالت (3) دروغای است  $v_1 = \frac{V_1}{m} = 0.00078 \text{ m}^3/\text{kg}$

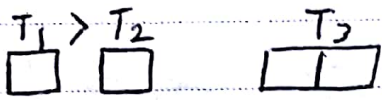
$v_3 = 0.142 \text{ (m}^3)$   $v_3 = 0.000255 \text{ m}^3/\text{kg}$   $T_3 = 352.18 \text{ }^\circ\text{C}$  از جدول

$$W = 20811 \text{ KJ}$$



حرارت و انرژی کدین دو جسم در اثر اختلاف دما منتقل می شود . شرط لازم برای انتقال حرارت وجود

اختلاف دما و شرط کافی عایق نبودن مرز میان دو جسم است .



$$T_1 > T_3 > T_2$$

حرارت از جنس انرژی است و لذا واحد آن J ، kJ ، Jm رده است .

حرارت و کار هر دو انرژی منتقل شده از مرز سیستم است

تابع مسیر فرایند هستند پس خاصیت سیستم نمی باشند .

کارآباد : اگر حرارت از سیستم خارج شود مقدار آن (-) و برعکس

کار و حرارت در واحد زمان :

$$\dot{W} = \frac{\delta W}{dt} \quad \text{توان}$$

$$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{dt} \quad \text{نرخ انتقال حرارت}$$

(W یا Q) J/s

روش های مختلف انتقال حرارت :

۱- انتقال حرارت رسانایی (Conduction) :

$$\dot{Q} = -KA \frac{dT}{dx}$$

مساحت

ضریب رسانایی (W/mK)

۲- انتقال حرارت جابجایی (Convection) :

$$\dot{Q} = hAST$$

ضریب جابجایی

ضریب جابجایی (W/m²K) ، تابع نوع جریان سیال و خواص آن (بهرت تجربی)

\* جابجایی فقط برای مایعات و گازها است

h ضریب جابجایی (W/m²K) ، برای مایعات (5000 - 100000) ، برای گازها (5 - 100)

۳- انتقال حرارت تابشی: در اثر انتشار امواج الکترومغناطیس حرارت منتقل می شود. برای انتقال

$$Q = \delta \epsilon A T^4$$

حرارت تابشی به ماده ندارد.

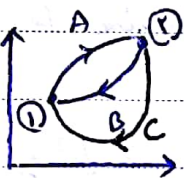
$\epsilon$  ضریب جذب بین صفر و یک (برای سطح سیاه ۱ است)

«فصل 5»

قانون اول ترمودینامیک

چرخه (سیکل): از حالت اول شروع و بعد طی حالت های دیگر دوباره به حالت اول برنگردد

قانون اول ترمودینامیک برای یک چرخه:  $\oint \delta Q = \oint \delta W$



1A2B1

برای جهت آوردن رابطه ی قانون اول برای یک فرایند:

$$\oint \delta W = \int_{1A}^2 \delta W + \int_{2B}^1 \delta W = \int_{1A}^2 \delta Q + \int_{2B}^1 \delta Q = \oint \delta Q$$

①

1A2C1

فرایند 2C1 را در نظر بگیرید. برای صرفه

$$\int_{1A}^2 \delta W + \int_{2C}^1 \delta W = \int_{1A}^2 \delta Q + \int_{2C}^1 \delta Q$$

②

$$\text{①} - \text{②} = \int_{2B}^1 \delta W - \int_{2C}^1 \delta W = \int_{2B}^1 \delta Q - \int_{2C}^1 \delta Q$$

$$\text{مرتبه ی دوم} = \int_{2B}^1 \delta Q - \delta W = \int_{2C}^1 \delta Q - \delta W$$

\* با توجه به اینکه  $dQ = dW$  به مسیر انتخابی وابسته نیست می تواند مانند خواص دینامیک بصورت یک تابع نقطه ای

تعریف شود. از آنجا که  $\delta Q$  و  $\delta W$  هر دو از جنس انرژی هستند این خاصیت نیز بیان کننده ی انرژی استیم می باشد.

$$\delta Q - \delta W = dE$$

E انرژی کل سیستم

که شامل انرژی درونی سیستم، انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل سیستم است

$$dE = dU + dK + dP \rightarrow \text{پتانسیل}$$

$\rightarrow mg(z_2 - z_1)$  (جنبشی)  
 $\rightarrow \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$  (پتانسیل)

(KJ) U: انرژی درونی سیستم: انرژی که به مولکول هلو اتم ما برمی خورد، تغییر این انرژی بستند در خواص ما را در سیستم

تغییر دما و فشار دیده می شود. انرژی درونی نیز یک خاصیت سیستم است و می توان آن را بر حسب خواص

دیگر در جدول ثبت نمود. انرژی درونی یک خاصیت مقداری است یعنی به حجم سیستم بستگی دارد.

U = m(u) → u در جدول بر حسب خواص دیگر موجود است

u: انرژی بر واحد حجم سیستم (KJ/Kg)

روش استخراج انرژی درونی به عنوان یک خاصیت: (۱) از جدول (۲) معادله حالت (برای گاز)

در جدول بر حسب دما و فشار به حجم مخصوص، ستون ردیفی برای انرژی درونی در نظر گرفته شده.

در حالت دو فاز (مثلاً به حجم مخصوص، از انرژی درونی فاز مایع (u<sub>f</sub>) - فاز گاز (u<sub>g</sub>) و اختلاف

آنها ذکر شده است (u<sub>fg</sub>).

$$U = mu \Rightarrow u = u_f + x u_{fg}$$

u: دو فاز

در حالت مایع متراکم اگر برای فضا رها یا بین مقدار انرژی درونی (داخلی) در جدول ذکر نشده بود می توانیم

از تقریب زیر استفاده کنیم:

$$u(P, T) = u_f(T_f)$$

که در مایع و فضا رها شده (ما داره شده)

مثال) یک فنون حاوی مایع به وسیله یک همزن مخلوط می شود به طوری که در پایان مایع ۵۰۰۰K ج

تقریب می شود. از مایع حرارت به بیرون منتقل می شود و مقدار آن ۱۵۰۰K می باشد. تغییرات انرژی

$$\delta Q - \delta W = du + \Delta KE + \Delta PE$$

درونی چقدر است؟

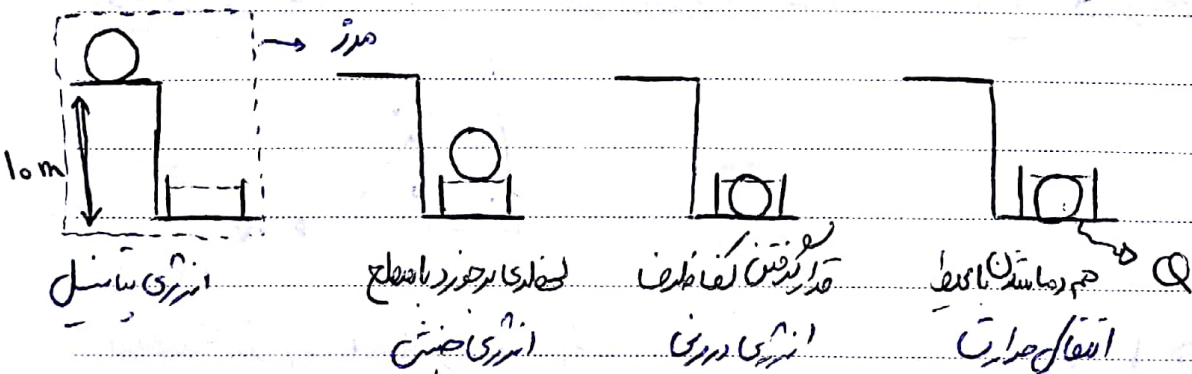
$$\int_1^2 \dot{Q} - \dot{W} = (U_2 - U_1) + \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2) + mg(z_2 - z_1)$$

? X X

کری می بینم اینجا کشته است  $W = -5000$   $Q_2 = -1500$  KJ

$$\Rightarrow \Delta U = -1500 - (-5000) = 3500 \text{ KJ}$$

مثال



$$\cancel{Q} - \cancel{W} = \Delta U + \Delta K + \Delta P \Rightarrow \Delta K = -\Delta P$$

بین حالت اول و دوم

$$Q - W = \Delta U + \Delta K + \Delta P \Rightarrow \Delta U = -\Delta P$$

بین حالت اول و دوم

$$Q - W = \Delta U + \Delta K + \Delta P \Rightarrow Q = \Delta P$$

اگر هم داشته باشد

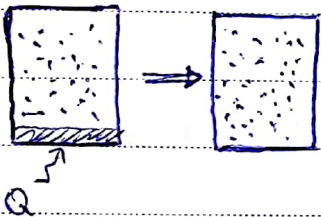
بین حالت اول و دوم

(W ها مساوی هستند چون کاری از درون سیستم عبور نکرده است)

مثال: یک فنجان صلب در حجم  $55 \text{ m}^3$  حاوی  $0.055 \text{ m}^3$  مایع است و بقیه کار استیج است. فشار اول برابر

با  $1 \text{ MPa}$  می باشد. به فنجان حرارت می دهیم تا آنجا که مایع تبخیر گردد و در حالت کار استیج برسد. تعیین

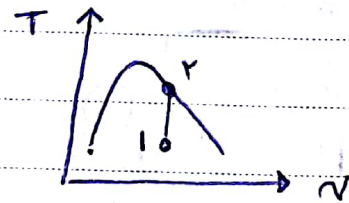
کنید: ① فشار برای سیستم؟ ② انتقال حرارت P ③ نمودار T-V P  $\alpha = 1$



(نوع مایع آن است)

از جدول (ب- ۱- ۲) به آب - دوفازی - فشار

نوع فزاینده: حجم ثابت  
خواص ورودی: فشار اول، حجم مایع، کار و حجم کل



$$u_2, v_2, v \sim P_2, v$$

در نقطه ۱ در  $v_1, v_2$  و  $\alpha = 1$  هم مخصوص

$$Q - W = dU + \Delta K + \Delta P$$

انتقال حرارت: Q و قانون اول ترمودینامیک

$$\Rightarrow Q = U_2 - U_1 = m(u_2 - u_1)$$

نسبت  $m$  : روش اول :  $m = \frac{V}{v}$  ,  $v_1 = v_f + \alpha v_{fg}$  ,  $\alpha_1 = \frac{m}{m_{tot}}$  X

روش دوم :  $v_2 = v_g$   $\rightarrow m \cdot v$   
 فشار در پایین است اگر چه

روش سوم :  $m = m_f + m_g = \frac{V_f}{v_f} + \frac{V_g}{v_g} \Rightarrow m \cdot v$

تجاسی  $u_1$  : روش اول :  $u_1 = u_f + \alpha u_{fg}$  ,  $\alpha = \frac{m_g}{m_{tot}} \Rightarrow u_1 = v$

روش دوم :  $U_{کل} = U_{فشار} + U_{جاذبه} = m_f u_f + m_g u_g$   
 از اصول نسبت می آوریم

حل مسئله :  $v_1 = v_f + \alpha v_{fg}$

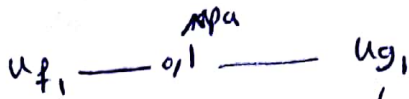
$m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0.05}{0.001043} = 47.94 \text{ Kg}$        $m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{4.95}{1.494} = 3.31 \text{ Kg}$

$m_{tot} = m_f + m_g = 51.25 \text{ Kg}$

$v_1 = v_f \cdot \frac{m_f}{m_{tot}} + v_g \cdot \frac{m_g}{m_{tot}} = \frac{v_{tot}}{m_{tot}} = \frac{5}{51.25} = 0.0975 \text{ m}^3/\text{kg}$

جمع فشارها  $v$  و نسبت  $z$   $v_g$  و روشی که از اصول ۱-۲ و در کتابی

2000	0.1894	$\rightarrow P_2 = 2030 \text{ KPa}$
P	0.091	
2250	0.1875	



روش اول:  $U_1 = U_{\text{مایع}} + U_{\text{بخار}} = 47,94 \times 417,32 + 2,42 \times 2507,02 = 27328,19 \text{ KJ}$

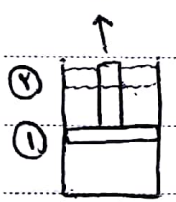
روش دوم:  $U_1 = mu_1 = 27324 \text{ KJ}$   
 $u_1 = 537,25 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$  (from steam table at 0.1 MPa)

$U_2 = mu_2 = 52,172 \times 2400,111 = 124211,2$

به از جدول  $Q = U_2 - U_1 = 104955 \text{ KJ}$

برای فشار 2030

آنتالپی:



$w = \int p dv = p \Delta v = p(v_2 - v_1)$  (مثلاً یک ضربه ضربه ثابت در دقت بگیرد)

$Q - w = \Delta U \Rightarrow Q = \Delta U + w \Rightarrow Q = (U_2 - U_1) + p(v_2 - v_1)$

$\Rightarrow Q = (U_2 + p v_2) - (U_1 + p v_1)$

$U$  و  $Pv$  خاصیت نسبی هستند. عبارت  $U + Pv$  نیز خاصیت نسبی است. به این خاصیت آنتالپی

$H = U + Pv \text{ KJ}$        $h = u + pv \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$   
 لغت می شود.      حجم مخصوص      انرژی داخلی بر واحد حجم

آنتالپی یک تعریف کلی است که کاربرد اصلی آن در سیستم‌های باز (با تبادل حجم) فعلی ششم می باشد.

در جدول انرژی داخلی داده نشده بود می توان از طریق آنتالپی داده شده انرژی داخلی را می یابیم  $(u = h - pv)$



مانند خواص دیگر در حالت روفاتی آنتالپی را می توان با توجه به کیفیت سیستم می رسم نمود

آنتالپی مایع اشباع

$$h = h_f + x h_{fg} \quad \leftarrow h_g - h_f$$

شکلی ویژه: مقدار گرمایی که به واحد حجم یک ماده داده می شود تا دمای آن  $C$  تغییر کند

$$C = \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{\delta T} \quad \left| \begin{array}{l} 1 - \text{فرایند حجم ثابت} \quad Q = \Delta U \Rightarrow C_v = \frac{1}{m} \frac{dU}{dT} = \left( \frac{dU}{dT} \right)_v \Rightarrow C_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \\ 2 - \text{فرایند فشار ثابت} \quad Q = \Delta U + P\Delta V = \Delta H \rightarrow \delta Q = dH \Rightarrow C_p = \frac{1}{m} \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \end{array} \right.$$

با توجه به اینکه  $u$  و  $T$  و  $h$  خواص سیستم هستند، عبارات های درست آمده برای لوله ویژه نیز خواص سیستم اند،

اما با توجه به این که این خواص کاربرد لغیری نسبت به سایر خواص دارند لذا در جدول ارائه نشده اند. برای تعیین

$C_p$  و  $C_v$  لزومی اطلاعات جدول به شکل زیر عمل می کنیم:

$$C_v = \left( \frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \approx \left( \frac{\Delta u}{\Delta T} \right)_v \quad \left| \begin{array}{l} \text{بازه کوچک} \\ \text{بازه کوچک} \end{array} \right.$$

$$C_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \approx \left( \frac{\Delta h}{\Delta T} \right)_p \quad \left| \begin{array}{l} \text{بازه کوچک} \\ \text{بازه کوچک} \end{array} \right.$$

برای مایعات و جامدات:  $h = u + pv \rightarrow dh = du + p dv + v dp \Rightarrow dh = du$    
  $\left| \begin{array}{l} \text{عذر کوچک است} \\ \text{که تقریباً چیزی است} \end{array} \right.$

$$\Rightarrow C_p \approx C_v = C$$

مقدار  $C$  برای جامدات الف-3 و مایعات الف-4

برای گاز ایده آل: مشاهده می شود برای گاز ایده آل نسبت تقریباً انرژی درونی با فشار جنبی

کم است. این بهر برای سایر خواص از جمله آنتالپی نیز دیده می شود. بهر لگی برای گازها خواص

انرژی داخلی و آنتالپی نسبتاً تابع دما است تا فشار، و برای گاز ایده آل می توان فرض کرد فقط تابع دما است.

$$\{ u = f(T) \Rightarrow C_v = \frac{du}{dT} \Rightarrow du = C_v dT$$

$$\{ h = f(T) \Rightarrow C_p = \frac{dh}{dT} \Rightarrow dh = C_p dT$$

واحد  $C_p$  و  $C_v$   $\frac{kg}{kg \cdot C}$  است

$$Q - W = \Delta U \quad \text{برای گاز ایده آل: } \Delta U = m c_v \Delta T$$

$$\left. \begin{array}{l} p v = RT \\ h = u + p v \end{array} \right\} \Rightarrow h = u + RT \Rightarrow dh = du + R dT$$

رابطه بین  $C_p$  و  $C_v$ :

$$\xrightarrow{\text{طرفین}} \frac{dh}{dT} = \frac{du}{dT} + R \Rightarrow C_p = C_v + R \Rightarrow C_p - C_v = R$$

جمع بندی برای خواص  $C_p$  و  $C_v$ :

$$\text{اگر واحد یا واحد } \Rightarrow C_p = C_v = C \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{الف - 4 صاع} \\ \text{ب - 3 جامد} \end{array} \right.$$

$$C_v = \frac{du}{dT} \Rightarrow du = C_v dT \Rightarrow \Delta U = \int C_v dT$$

$$C_p = \frac{dh}{dT} \Rightarrow dh = C_p dT \Rightarrow \Delta h = \int C_p dT$$

$$\Delta U = C_v (T_2 - T_1) \quad \text{و} \quad \Delta h = C_p (T_2 - T_1)$$

در کتاب برای گاز ایده آل از  $C_p$  و  $C_v$  استفاده شده است. مقدار آنها در جدول الف - 5 نوشته شده.

برای حل انتگرال از روابط ارائه شده در جدول الف - 6 برای  $C_p$  استفاده و انتگرال: حالت درج

سری می کنیم.

$$C_p = C_0 + C_1\theta + C_2\theta^2 + C_3\theta^3 \quad , \quad \theta = \frac{T(\text{کلوین})}{1000}$$

ضرایب  $C_0$  و  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  با توجه به نوع گاز جدول الف - 6 بدست می آید

اگر نسبت به یک دمای مرجع (مثلاً ۰) انحراف فوق حل شود و نتایج برای حالت سوخت :

دمای مختلف در یک جدول ارائه شود این کار برای چند گاز خاص انجام شده و در جدول الف آورده شده

الف - 7  $\Leftarrow$   $h_u$  بر حسب دما نسبت به حالت مبدأ (اگر برای هوا بود)

الف - 8  $\Leftarrow$  برای گازهای  $O_2$ ،  $N_2$ ،  $H_2O$  و  $CO_2$  مقادیر  $h_u$  و  $h$  داده شده است.

برای آسان انداختن از خواص  $h_u$  استفاده کنید ابتدا از حالت اول و انداختن خواص متغیر از حالت سوخت

(مثال) ۱ kg اکسیژن روی یک سیم نسلیدر بیستون حرارت می گیرد و از دمای 300 تا 1500 K گرم می شود. مقدار

انتقال حرارت را به سه روش گفته شده محاسبه کنید؟



کلیل : نوع سوال :  $O_2$  از بیست الف با خواص ثابت گاز استفاده می کنیم

نوع فرایند : فشار ثابت

$$Q - W = \Delta U \quad (\text{صرف نظر از انرژی جنبشی و پتانسیل})$$

چون فشار ثابت

$$Q = \Delta H = m(h_2 - h_1) = m(\Delta h)$$

محاسبه می توان  
محاسبه کرد

الف - 5  $\Delta h = C_p(T_2 - T_1)$

الف - 4  $\Delta h = \int_{300}^{1500} C_p dT$

الف - 1  $\Delta h = h_2 - h_1$

الف - 5

①  $C_p|_{O_2} = 0,922 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$$\Delta h = 0,922(1500 - 300) = 1104,4 \frac{kJ}{kg}$$

$$\textcircled{2} \Delta h = \int c_p dT = \int_{\theta_1}^{\theta_2} (c_0 + c_1 \theta + c_2 \theta^2 + c_3 \theta^3) d\theta \quad \theta = \frac{T}{1000}$$

$$\Delta h = \int_{300}^{1500} \left( 0,118 - \frac{0,0001}{1000} T + \frac{0,054}{(1000)^2} T^2 - \frac{0,033}{(1000)^3} T^3 \right) dT = 1241,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\textcircled{3} \quad h_{300} = 473,15 \quad h_{1500} = 1540,22 \quad \text{از جدول الف - ۸}$$

$$\Rightarrow \Delta h = 1241,5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad \text{این روش بستن دقت را دارد}$$

روش سوم نسبت به روش دوم 2% خطا دارد و روش اول نسبت به روش سوم 12,1% خطا دارد

این روش دقتی که در جدول الف - ۸ در دسترس است یعنی (900K) در این دما با استفاده از رابطه‌های جدول

$$\text{الف - ۲ برای اکسیدن: مقدار} \quad c_p = 1,0747$$

$$\Delta h = c_p (1500 - 300) = 1292,1 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

خطای این روش نسبت به روش سوم 2% است. (فایده‌ای آن حل نکردن اشتغال است)

$$\delta Q - \delta W = dE \quad \text{قانون اول در واحدهای توان}$$

اگر فایده چیزی فوق رید بازه‌های کوچک  $\delta t$  چ داده باشد، از تقسیم روابط فوق بر زمان خواهیم داشت

$$\frac{\delta Q}{\delta t} - \frac{\delta W}{\delta t} = \frac{\delta E}{\delta t} \Rightarrow \dot{Q} - \dot{W} = \frac{dE}{dt}$$

توان

واحد توان  $\frac{\text{J}}{\text{s}}$  یا W

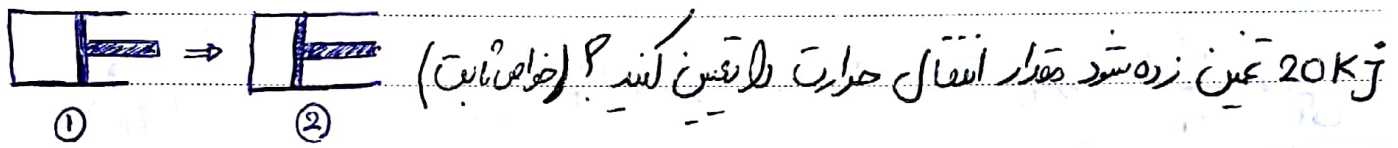
نرخ انتقال حرارت (اخذت به تفسیر انتقال حرارت)

کار ویژه :  $W = \int P dV$  مستقل از زمان

انتقال حرارت ویژه :  $q = \frac{Q}{m}$  مستقل از زمان

مثال) سیلندر و پیستون با حجم اولیه  $V_1 = 2 \text{ m}^3$  و دمای  $T_1 = 25^\circ\text{C}$  و  $P_1 = 150 \text{ kPa}$  در فشار  $P_2$  بخوان کار از این آکال در فشار  $P_2$  و دمای  $T_2 = 150^\circ\text{C}$  برسد. این طور انجام شدن و معادل

است. کار با حرکت پیستون متراکم می شود تا به فشار  $1 \text{ MPa}$  و دمای  $150^\circ\text{C}$  برسد. این طور انجام شدن و معادل



تخلیل : ماده سه  $V_2$  کار از این آکال و فضای حجم  $m_1 = m_2$  تراکم

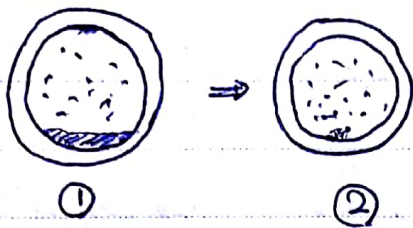
قانون اول  $Q - W = \Delta U$  با صرف نظر از جنبش و پتانسیل و  $W = -20 \text{ kJ}$

$Q = \Delta U + W$   $\Delta U = m \int c_v dT = m c_v (T_2 - T_1)$   
از جدول الف.  $c_v = 7.41 \text{ kJ/kg}$

$m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \Rightarrow m = \frac{P_1 V_1}{RT_1} \quad \gamma = 1.4 \Rightarrow Q = -4.2 \text{ kJ}$

۷۹٪ مثال) یک فنون کوری حاوی آب در دمای  $25^\circ\text{C}$  و  $\alpha = 1\%$  است. قطر داخلی آن  $5 \text{ m}$  و ضخامت آن  $1 \text{ cm}$  است. جنس بدنه فنون از آلومینیوم می باشد. به کل سیستم (شامل آب و فنون آلومینیوم)

حرارت داده می شود تا آب داخل فنون به حالت بخار اشباع در آید. مقدار انتقال حرارت را تعیین کنید.



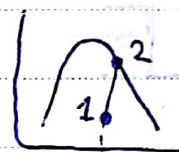
گسیل: نوع سیال آب و خاص از جدول ب

نوع فرآیند = حجم ثابت  $W=0$

قانون اول:  $Q - W = \Delta U$  و  $W=0$  ،  $Q = U_2 - U_1$  ،  $m_1 = m_2$  نوع صبرک:

$Q = \Delta U = (U_2 - U_1)_{\text{آب}} + (U_2 - U_1)_{\text{آلومینیم}} = m_{\text{آب}}(u_2 - u_1) + m_{\text{Al}}(u_2 - u_1)$

$m_{\text{آب}} = \frac{V_1}{v_1}$  ،  $v_1 = v_2 = v_f + x v_{fg}$  | at 25°C



حجم  $v_1 = \frac{\pi}{4} (D)^3$

حجم مخصوص ها برابرند.

$u_1 = u_f + x_1 u_{fg}$  | at 25°C و  $x_1 = 0.01$

$v_2 = v_1$  ،  $x_2 = 100\% = 1$  }  $\Rightarrow$  از جدول استیج  $T_2$  و  $u_{g_2}$  ✓

$m_{\text{Al}} \Rightarrow \rho \Rightarrow m = \rho V$  از جدول الف-3

$v_{\text{Al}} = \frac{\pi}{4} (0.02^3 - 0.01^3)$    
 از + 0.015

$(U_2 - U_1)_{\text{Al}} = C_{\text{Al}} (T_2 - T_1)$

دمای نهایی فرزند  $(T_2)$  برابر دمای آب استیج فرق می شود

از جدول الف-3

گزینه های صحیح 5: ۱۱۲ ، ۱۰۸ ، ۹۹ ، ۹۰ ، ۴۴ ، ۴۲ ، ۳۲ ، ۵۸ ، ۵۷ ، ۵۲ ، ۴۴ ، ۴۲ ، ۳۲

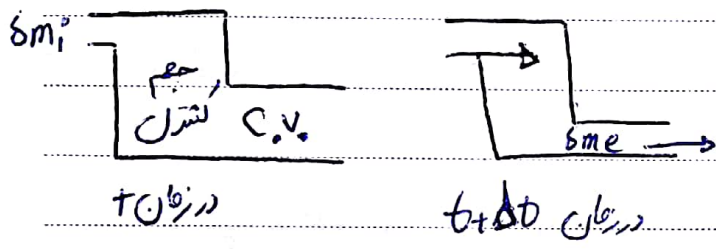
۱۳۴ ، ۱۳۳ ، ۱۲۹ ، ۱۱۵

- فصل 4 -

- قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل -

سیستم بسته به حجم کنترل      سیستم باز به حجم کنترل

در یک زمان  $t$  در  $dt$  حجم کنترل زودتر و در  $t+dt$  بعدتر. در ابتدا حجم  $\Delta m$  در ورودی قرار داشته و در آنجا



تا برای زمانی  $\Delta m_e$  در خروجی قرار می گیرد

قانون بقای جرم:

$$(m_{C.V.} + \delta m_i)_t = (m_{C.V.} + \delta m_e)_{t+dt}$$

$$\delta m_i - \delta m_e = (m_{C.V.})_{t+dt} - (m_{C.V.})_t = d(m_{C.V.})$$

انرژی را هم به همین روش می توان تقسیم کنیم:

قانون بقای جرم برای حجم کنترل

$$\dot{m}_i - \dot{m}_e = \frac{d(m_{C.V.})}{dt}$$

سرعت

$$\dot{m} = \rho A \cdot V$$

دبی جرمی

دبی حجمی

سرعت  $\rightarrow$   $V = A \cdot V$

$$\dot{V} = \int v \cdot dA$$

قانون اول ترمودینامیک: شکل قبل را در نظر می گیریم

$$\delta Q - \delta W = dE \quad \text{وزن } \delta t$$

$$\delta W = (\delta W)_{c.v.} - (\delta W)_{i+} - (\delta W)_e$$

$$\delta W_i = P_i A_i \cdot dx = P_i A_i v_i \cdot dt = P_i A_i v_i \rho_i dt \quad \rho v A = \frac{\delta m}{\delta t}$$

$$\Rightarrow \delta W_i = P_i v_i \delta m_i$$

$$\Rightarrow \delta W_e = P_e v_e \cdot \delta m_e$$

$$\delta W = \delta W_{c.v.} - P_i v_i \delta m_i + P_e v_e \delta m_e$$

$$dE = d\left(u + \frac{1}{2}mv^2 + mgz\right) = (E_{cb})_{t+\delta t} - (E_{cb})_t$$

$$dE = (E_{c.v.})_{t+\delta t} - (E_{c.v.})_t + e \delta m_e - e_i \delta m_i$$

$$dE = d(E)_{c.v.} + e \delta m_e - e_i \delta m_i$$

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz$$

جاننا، عبارت  $\delta W$  و  $dE$  در عبارت قانون اول:

$$\rightarrow \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} + \dot{m}_i \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_e \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) = \frac{dE_{c.v.}}{dt}$$

$$\rightarrow \sum \dot{m}_i \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) - \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} = \frac{d(E_{c.v.})}{dt}$$



معادله‌های فوق در این فصل برای دو حالت خاص حل می‌شود: ① شرایط پایا ② شرایط ناپایا

۱- حالت پایا: در این حالت که شرایط سیستم نسبت به زمان بدون تغییر باقی می‌ماند، با عبارت دیفرانسیل  $\frac{d}{dt}(\dots)$

برابر با ۰ است. برای این حالت قانون اول بصورت زیر درمی‌آید

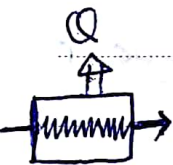
$$\sum \dot{m}_i \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) - \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) + \dot{Q}_{c.v.} + \dot{W}_{c.v.} = 0$$

قانون بقای جرم برای سیستم پایا:  $\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = 0 \Rightarrow \sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$

اگر سیستم پایا در دردی و خنک‌کننده در نظر گرفته شود:  $\dot{Q} - \dot{W} = 0$

$$\Rightarrow (h_i - h_e) + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) + q_{c.v.} - w_{c.v.} = 0$$

قانون اول برای تجهیزات بی‌فشار دردی نویسیم:



۱- مبدل حرارتی: برای انتقال حرارت از یک سیال به سیال دیگر استفاده می‌شود.

قانون بقای جرم:  $\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$   $\dot{m}_{ih} + \dot{m}_{ic} = \dot{m}_{eh} + \dot{m}_{ec}$

$$\begin{cases} \dot{m}_{ih} = \dot{m}_{eh} \\ \dot{m}_{ic} = \dot{m}_{ec} \end{cases}$$

چون تبادل جرم بین دو سیال وجود ندارد می‌توان نوشت

قانون اول توسعه دینامیک: همواره فرضیات زیر برای مبدلات حرارتی در نظر گرفته می‌شود و

① تغییرات فشار برای هدیه از جریان‌ها ناچیز است

② در بسیاری از موارد از تغییرات انرژی جنبی و پتانسیل صرف نظر می شود.

③ تبادل حرارت با محیط در یک صبدل ایده آل  $\dot{Q} = 0$  است. (حرارت از سیال گرم سرد منتقل می شود)

سیم یا است بین قانون اول بصورت :  $\dot{m}_{ih}(h_{ih}) + \dot{m}_{ic}(h_{ic}) - \dot{m}_{eh}(h_{eh}) - \dot{m}_{ec}(h_{ec}) = 0$

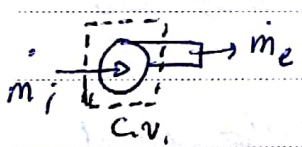
$\dot{Q}_{c.v.} - \dot{W} = 0$  ← چون صفر (3) ← تلفات

④ کار انجام شده در حجم کنترل  $\dot{W} = 0$  است.  $\dot{m}_{ih} = \dot{m}_{eh}$  ;  $\dot{m}_{ic} = \dot{m}_{ec}$

$\Rightarrow \dot{m}_h(h_i - h_e)_h + \dot{m}_c(h_i - h_e)_c = 0$

تغییرات انرژی جنبی از سیال ها در صبدل حرارتی، با بردهای صبدل لغدی شود و داریم :

در صورتی که برقرار بود  $Q = \dot{m}_h(h_i - h_e)_h = -\dot{m}_c(h_i - h_e)_c$  ← با بردهای صبدل



۲- چپ : وسیله ای است که برای افزایش فشار مایع استفاده می شود

$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$  ,  $\dot{m} = \rho A V$        $\rho_i v_i A_i = \rho_e v_e A_e$

با توجه به این که چگالی مایعات با افزایش فشار تقریباً (با کاهش فشار) ثابت می ماند  $(\rho_i \approx \rho_e)$  در نتیجه

$v_i A_i = v_e A_e$

فرضیات تحلیل چپ :

① تبادل حرارت با محیط تقریباً ناچند است

② تغییرات انرژی پتانسیل در نظر گرفته نمی شود مگر این که در صورت مسئله اشاره شود (مثلاً از ارتفاع محبت کند)

③ ... .. ضعیف

قانون اول:  $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$  و  $\dot{m}(h_i - h_e) + \dot{Q} - \dot{W} = 0$

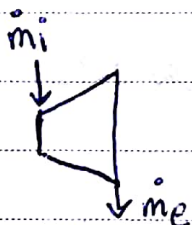
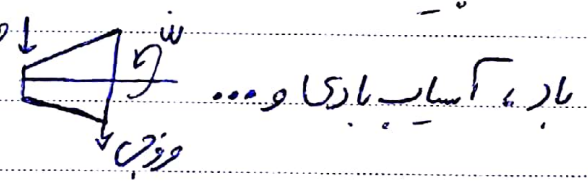
$\Rightarrow \dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e)$

۱- با توجه به این که آب از طریق حوض شیراز عبور می کند پس در حوض منقح خواهد بود

۲- کمپرسور: وسیله ای است که فشار یک گاز را افزایش می دهد

تحلیلی کمپرسور مشابه می باشد پس  $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$  و  $\dot{W} = \dot{m}(h_i - h_e)$

۳- توربین: وسیله ای است که انرژی یک سیال را به انرژی مکانیکی و سپس الکتریکی تبدیل می کند مثل توربین

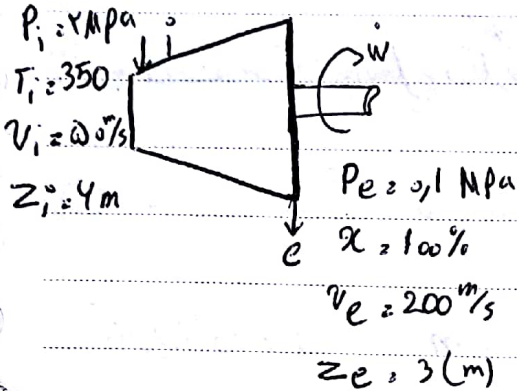


حالت خاص: توربین باین موردی و خصوصاً:  $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

قانون اول:  $\dot{m}_i \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) - \dot{m}_e \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} = 0$

تفاوت انتقال حرارت از پمپی توربین  $\Rightarrow \dot{W}_{\text{turbine}}$

مثال) شرایط زیر را برای یک توربین (طابق شکل) در نظر بگیرید. توان تولیدی توسط توربین (قدرت خروجی) چقدر است؟



است؟  $\dot{m} = 1.5 \text{ kg/s}$  و  $\dot{Q}_{\text{Loss}} = \dot{Q}_{\text{C.V.}} = -1.5 \text{ kW}$

$\dot{W} = ?$

علل، بیان سوآب سه خواص از جدول (ب-ا)

$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m} \checkmark$

قانونهای جرم

قانون اول:  $\dot{m} \left( (h_i - h_e) + \frac{v_i^2 + v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) \right) + \dot{Q}_{\text{C.V.}} - \dot{W}_{\text{C.V.}} = 0$

$h_i = h_f |_{P=2, T=350C}$

$h_e = h_g |_{P=0.1 \text{ MPa}}$

\* تبدیلی هم:  $h$  از جدول هم می آید. در صورتی که عبارت های  $\frac{v_i^2 + v_e^2}{2}$  و  $g(z_i - z_e)$  بر حسب  $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$

برست می آید. لذا باید یک سازی واحد ها صورت گیرد.  $(h_i - h_e)$  برود در هدر از جدول می آید.

یا اون دو بار و تقسیم بر هدر می آید.

نکته 2: معمولاً در توربین های چرخ دوری ما بخار فوق سرد است.

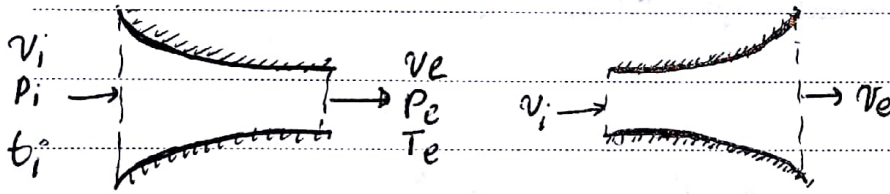
$h_i = h_f = 3127 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$   
 $h_e = h_g = 2475.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$   
 $h_i - h_e = 651.5 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$

$$\frac{v_i^2 - v_e^2}{1000 \times 2} = -18,75 \frac{kJ}{kg}$$

$$g(z_i - z_e) = 0,03 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Rightarrow \dot{W} = 455 \text{ kW} \quad \frac{kJ}{s}$$

نازل و ششوره: وسیله ای است که با تغییر سطح مقطع و جریان خواص سیال در محدوده سیال کاری است  
لاغیر می دهد. کاربرد آن افزایش سرعت جریان و کاهش فشار برای ایجاد مکش جریا مانده



فرضیات اصلی: ① تلفات حرارتی صفر است ② کار برابر صفر است ③ معمولاً تغییرات انرژی پتانسیل صفر است

مثلاً اگر سرعت در ورودی این لوله باشد  $\Rightarrow \rho v_i A_i = \rho v_e A_e$  بقای جرم:  $\dot{m}_i = \dot{m}_e$  نسبت آورد

$$\text{قانون اول: } \dot{m} (h_i - h_e) + \frac{\rho (v_i^2 - v_e^2)}{2} = 0$$

3/6 مثال) نازی بخار آب در شرایط  $P_i = 1 \text{ MPa}$  و  $T_i = 400^\circ \text{C}$  دریافت می کنند. ری بخار  $\frac{kg}{s}$  ارائه است (m)

و سرعت ورودی ناچیز ( $v_i = 0$ ). بخار در شرایط  $P_e = 500 \text{ kPa}$  و دمای  $T_e = 350^\circ \text{C}$  از نازل خارج

می شود. سرعت خروجی بخار از نازل و مساحت خروجی را پیدا کنید

$A_e$  و  $V_e$  = ?

کلیل، سال بخار آب و حوض در ب-ا

بقایا هم :  $\dot{m} = \rho_i A_i V_i = \rho_e V_e A_e$

$\Rightarrow 0.1 = \rho_e V_e A_e$        $\rho_e = \frac{1}{V_e}$   
(ما وضو را در اصول و در حوض)

قانون اول :  $\dot{m} (h_i - h_e) + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} = 0$

$\Rightarrow h_i - h_e + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} = 0 \Rightarrow V_e = 438.17 \text{ m/s}$   
از جدول بارش

P و T  
 $\Rightarrow 0.1 = \rho_e V_e A_e \Rightarrow A_e \sqrt{=} = 0.00013 \text{ m}^2$

سر اختلاف (فشارش) ?

① فشار زیاد  
② فشار کم

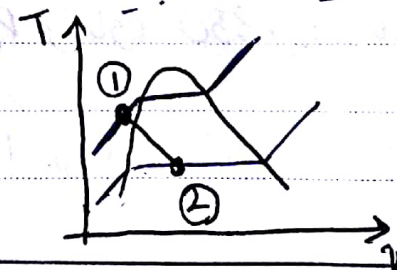
فرضیات :  $Q_{cv}$  و  $W$  و  $\Delta KE$  و  $\Delta PE = 0$

یا  
قانون بقایا :  $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

قانون اول :  $\dot{m} (h_i - h_e) + \frac{V_i^2 - V_e^2}{2} + 0 + 0 = 0$

برای سسلی های تبرید (سوا سوا) : حالت ورودی و خروجی مایع متراکم و برابر کاهش

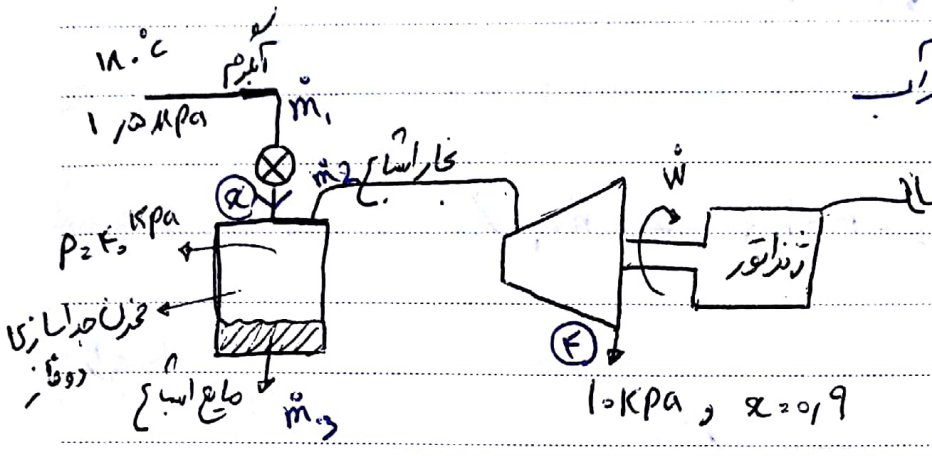
فشار حالت خروجی و ورودی دوفازی است



دوفازی مایع

برای تولید یک معادلات برق، در صورت نیاز آب گرم را تعیین کنید.

سیال آب به خواص از جدول کار آب



اطلاعات توربین از دست  
بسته به از کلید توربین  
مشروع می کنیم.

سوال اول: ورودی رودخانه تا جایی که OK

$$\eta = \frac{m_2}{m_{\text{کل}}} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \alpha$$

حاصل توربین:

$$m_2 = m_4 \quad \checkmark$$

سویچ و دیپانسیل =

$$m_2 (h_2 - h_4) = \dot{W}_{\text{turbine}} \Rightarrow m_2 = \checkmark$$

$h_4 = (h_f + \alpha h_3) \quad | \quad P = 10 \text{ kPa}$

حاصل وزن جدا سازی:

بقای حجم:  $m_1 = m_2 + m_3$

$\eta = \frac{m_2}{m_1} \Rightarrow m_1 = \frac{m_2}{\alpha}$

$h_2 = h_3 + h_f$  (at 40 kPa)  
 $h_4 = h_3 + \alpha h_3$  (at 10 kPa)

قانون اول:  $m_1(h) = m_2 h_2 + m_3 h_3$

چون جدولی های جدا سازی  
همون فشار 40 و 10

بقا قانون:  $m_1(h) = m_2 h_2 + m_3 h_3 - m_2 h_3$

قانون بقا :  $\dot{m}_1 = \dot{m}$

حاصل سیرالختان :

از حالتی بدست می آید

قانون اول :  $h_1 = h_2$

$\Rightarrow \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_2 h_3 \Rightarrow \dot{m}_1 \checkmark$

راه حل دوم :

$h_1 = h_2 = h_f + x h_f g \Big|_{40KPa} \Rightarrow (9) \checkmark$

$\Rightarrow \dot{m}_1 = \frac{\dot{m}_2}{(9)}$

جرم های نابایا (ندار) : در این جریان ها خصوصیات سیال یا سیم درین نقطه با گذشت زمان تغییر می کند مانند خمی کندی سیال به آن وارد می شود و خروجی ندارد یا جرم پر فشاری کندی سیال از آن خارج می شود مثل بی سول گاز

$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = \frac{d(M_{control})}{dt}$

قانون بقای جرم :

در زمانهای گزینشی بازه زمانی  $\Delta t$  در نظر است .

در ابتدای بازه خواص حجم کنترل با اندیس 1 نشان داده می شود و در انتهای بازه با اندیس 2 ، برای ورودی و خروجی و کل جرم وارد شده و خارج شده از زمان  $\Delta t$  مد نظر می باشد .

$\int \dot{m}_i dt = m_i$   
کل جرم وارد شده

$\int \dot{m}_e dt = m_e$   
کل جرم خارج شده

$\int \frac{d(M_{control})}{dt} = M_2 - M_1$



$$\Rightarrow \sum m_i - \sum m_e = M_2 - M_1$$

$$\text{قانون اول: } \sum m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i) - \sum m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e) + \dot{Q}_{c.v.} - \dot{W}_{c.v.} = \frac{d(E_{c.v.})}{dt}$$

با فرض استقاره از خواص متوسط در بازه‌ی زمانی مورد نظر یا با فرض ثابت بودن خواص در بازه‌ی زمانی مورد نظر

$$\int_{c.v.} \dot{Q} dt = Q_{c.v.} (kJ) \quad \int_{c.v.} \dot{W} dt = W_{c.v.} (kJ)$$

تغییر انرژی در بازه‌ی زمانی مورد نظر

$$\sum m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i) - \sum m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e) + Q_{c.v.} - W_{c.v.} = E_{c.v.2} - E_{c.v.1}$$

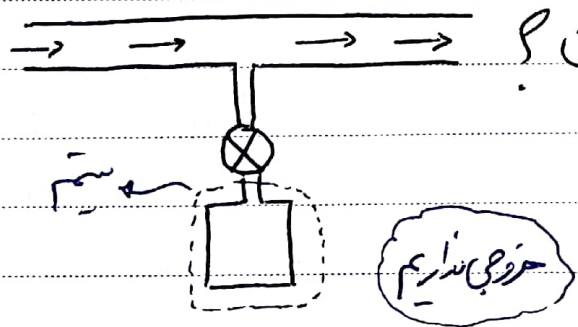
$$E_{c.v.2} - E_{c.v.1} = M_2 (u_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2) - M_1 (u_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1)$$

تغییر انرژی در بازه‌ی زمانی مورد نظر

بخار در شرایط ۱ MPa و 300°C در داخل یک لوله جریان دارد، به این لوله یک فنون کوچک که در ابتدا

خلای می باشد وصل می کنیم، شرایط بازه‌ی مورد نظر در داخل فنون جریان می یابد پس از پرسیدن فنون

شرایط می شود. دما و فشار برای فنون چقدر است؟



کامل، خواص برای آب از جدول (ب-۱)

- فشار برای: چون به شدت فشار با فشار لوله برابر است

$$m_i - 0 = M_2 - 0 \Rightarrow m_i = M_2$$

$$m_i h_i = M_2 u_2 \Rightarrow h_i = u_2$$

↓  
جول (صورت مسلک)

پس فشار و دما را در جدول (ماده‌ی آبی) ۴۵°C

Subject: \_\_\_\_\_  
Date \_\_\_\_\_

YA - 24 - FY - F9 - WM - W9 - V9 - 11 - 91 - 9K - 1.9 - 1.8 - 112 - 119

- فصل هفتم -

- قانون دوم ترمودینامیک -

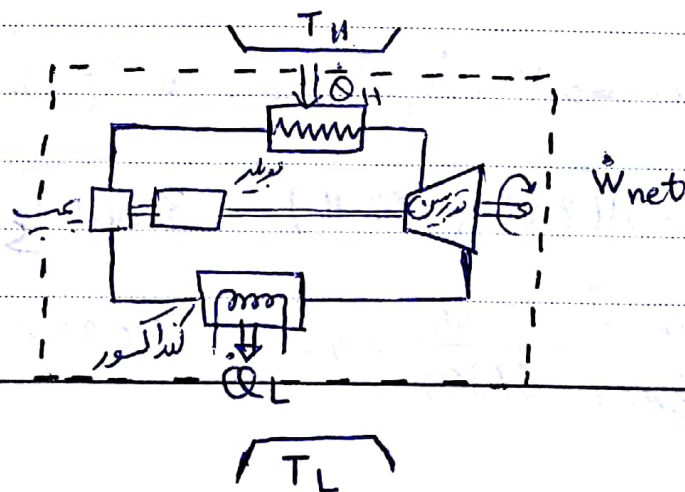
قانون دوم ترمودینامیک در خصوص امکان پذیر بودن فرآیندهای برگشتی می‌کند، ممکن است فرآیندی از قانون اول درست باشد اما در عمل امکان پذیر نباشد. در این فصل ابتدا به بیان کفین قانون دوم می‌پردازیم و در فصل بعد معیارهای برای کفین نمودن این قانون ارائه می‌دهیم.

تعاریف :

منبع حرارتی : منبعی است که در اثر تبادل حرارت دمای آن تغییرات ثابت باقی می‌ماند یعنی انتقال حرارت از آن با آن دما می‌تواند به صورت بی‌نهایتی در دسترس باشد.

منبع حرارتی گرم و سرد : انتقال حرارت با منبع گرم  $Q_H$  که دما منبع گرم  $T_H$  و در منبع سرد  $Q_L$  و  $T_L$  است.

سازش حرارتی : دستگاهی است که حرارت را دریافت کرده و کار تولید می‌کند.



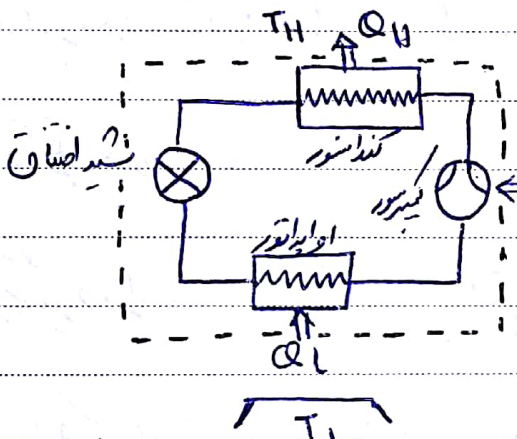
$$\underbrace{Q_H - Q_L - \dot{W}}_{\text{سنت}} = 0, \quad \underbrace{Q_H - Q_L - W_{net}}_{\text{باز (جریان دگر)}} = 0$$

$$\Rightarrow W_{net} = Q_H - Q_L$$

$$\epsilon = \frac{\text{دخل}}{\text{خرج}} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

بازده ماشین برقی:

ماشین برقی: (سنگها) استند کار و صرف می کند و نتیجتاً آن انتقال حرارت از منبع سرد به منبع گرم است.



به منبع گرم است.  
سخت بالای فشار بالا  
"بایستی" "بایستی"  
W  
نسبت بحال:  
$$COP = \epsilon = \frac{Q_L}{|W|} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$
  
ضریب کارایی

ضریب کارایی می تواند عددی کمتر یا بیشتر از ۱ باشد پس به آن بازده نمی گوئیم. مثلاً ضریب کارایی بحال های خانگی در حدود ۲ تا ۳ می باشد.

سپس فرق می تواند دو حالت کاری داشته باشد: حالت ① بخاری است که انرژی مفید حاصل  $Q_L$  است

(گرمایش در تابان) در این حالت ضریب کارایی به صورت لغت شده محاسبه می شود  $COP = \beta_{ref}$

حالت ② زمانی که  $Q_H$  انرژی مورد استفاده می باشد (گرمایش در زمستان) در این حالت ضریب کارایی

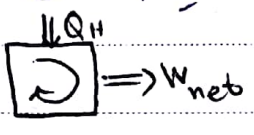
$$\beta_{HP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

برابر است با

Heat Pump

قانون دوم ترمودینامیک (برای سیال‌ها) :

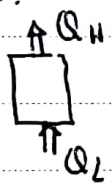
- برای ماشین حرارتی میان لگوس بلانک : هیچ ماشین حرارتی وجود ندارد که در یک چرخه عمل کند و نتایجی



آن تبادل کار و تبدیل حرارت باید منبع حرارتی باشد.

همچنین نتیجه می‌توان گفت بازدهی یک ماشین حرارتی نمی‌تواند ۱۰۰٪ باشد.

برای ماشین‌های سردی : حرارت نمی‌تواند به صورت خودمختاری از یک منبع در دما پایین به یک منبع در دما

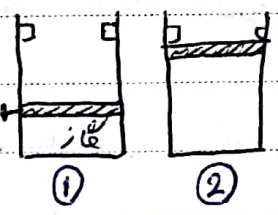


بالا تر منتقل شود.

همچنین نتیجه می‌توان گفت ضریب کارایی یک ماشین سردی نمی‌تواند صفر باشد (چون  $Q_L \neq 0$ )

یکی از عواملی که باعث می‌شود راندها در ماشین حرارتی به ۱۰۰٪ نرسند، وجود عوامل بازگشت پذیر است.

فراگند بازگشت پذیر : فرایندی است که بتوان سیستم را پس از انجام آن در جهت معکوس به نقطه‌ی ابتدایی



بگرداند، بدون اینکه تبادل انرژی (کار یا حرارت) با محیط صورت گیرد.

باتوجه به شکل، برگرداندن سیستم به حالت (۱) از حالت (۲) نیاز به صرف کار و تبادل

حرارت با محیط است. بنابراین فراگند (۱) - (۲) (انسان نالمانی) یک فرایند بازگشت ناپذیر است.

عوامل بازگشت ناپذیری : (۱) انسان نالمانی : برای برگرداندن سیستم به حالت اولی نیازمند کار و حرارت است.

(۲) اصطفاک : در اثر اصطفاک حرارتی تولید می شود که باعث تلف شدن است

(۳) مخلوط شدن (۴) انتقال حرارت با اختلاف دما زیاد (با اختلاف کم دما می توان بازگشت نیز فرق کرد)

(۵) سایر عوامل مانند احتراق ...

بیشترین راندمان ممکن برای یک ماشین حرارتی چقدر است ؟

اولین شرط برای رسیدن به بیشترین راندمان بازگشت نیز بود که فرایندها در سلسله است. حرارتی یک عنوان آگهی

سوی کارنو بنا بر چرخه کارنو ارائه شده است. مشاهدات تجربی همواره این موضوع را که این چرخه دارای

بیشترین راندمان است را تأیید نموده است. این چرخه از فرایندهای زیر تشکیل شده است :

(۱) فرآیند انتقال حرارت بازگشت نیز در دمای ثابت  $T_H$

(۲) فرآیند بی دررو (آدیاباتیکی) بازگشت نیز و رسیدن از دما  $T_H$  به  $T_L$

(۳) فرآیند انتقال حرارت بازگشت نیز در سیم در دمای  $T_L$

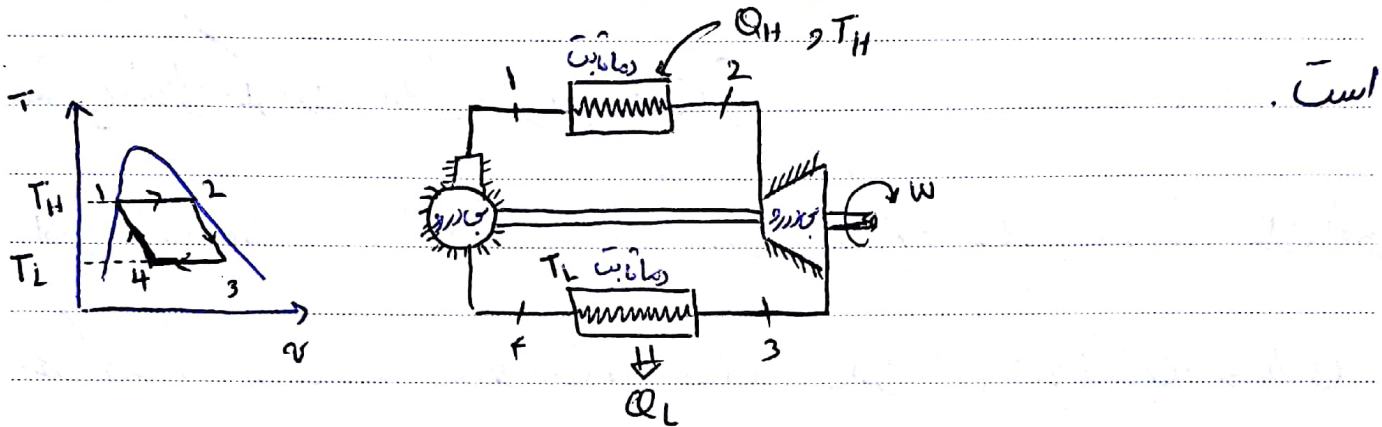
(۴) فرآیند بی دررو بازگشت نیز و رسیدن به دمای  $T_H$  از دما  $T_L$

نکته : بازه سیل کارنو فقط به دما  $T_H$  و  $T_L$  وابسته است یعنی اگر سیل هایی با مساحت کاری متفاوت داشته باشیم

که در همین بازه های عمل کنند، بازه آنرا یک خواهد بود

نکته: چون لایه‌های فدا کننده باز است پذیرنده‌های توان چرخه را در جهت عکس تکرار نمود و این کار  
بودی باز است پذیرنده (کارنو) خواهیم داشت.

سپس کارنو به روش‌های مختلفی قابل نمایش است. یکی از این حالت‌ها چرخه‌ای مشابه نیروگاه بخاری



$$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\beta_{\text{Carnot, ref}} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

بضایال

$$\beta_{\text{Carnot, HP}} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

به طور مشابه برای سیکل‌ها دیگری هم می‌توان نوشت:

نکته: برای محاسبه کردن رانندگی فوق‌العاده‌ای استفاده می‌شود.

$$\eta_{\text{real}} \leq 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

- شرایط لازم برای امکان پذیر بودن سیکل‌های توان کم‌تر بودن

$$\beta_{\text{ref}} \leq \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad \text{و} \quad \beta_{\text{HP}} \leq \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

رانندگی آن از رانندگی سیکل کارنو است.

مثال) یک نیروگاه بخاری 1 Mw حرارت به بویلر داده می شود  $(\dot{Q}_H)$  در کندانسور 0.52 Mw انرژی دفع می شود  $(\dot{Q}_L)$  بازده ترمودینامیکی  $(\eta_{th})$  را بیابید.

بازده ترمودینامیکی  $(\eta_{th})$  چیست؟

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{W_T - W_P}{Q_H}$$

قانون اول:  $\dot{Q}_H - \dot{Q}_L = \dot{W}_{net} = \dot{W}_T - \dot{W}_P$

$$1 - 0.52 = \dot{W}_T - 0.2 \Rightarrow \dot{W}_T = 0.44 \text{ MW}$$

$$\eta_{th} = 0.42 = 42\%$$

مثال) یک بخار ساز قدر است و 250 kg آب را به بخار تبدیل کند (در فشار ثابت). اگر ضریب

کاری بخار ساز 3.5 و توان کمپرسور 750 w باشد، مدت زمان مورد نیاز برای این فرایند چقدر است؟

$$\dot{W} = \frac{\delta W}{\delta t} \quad \dot{Q} = \frac{\delta Q}{\delta t} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$\beta_{ref} = \frac{Q_L}{W} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} \Rightarrow \dot{Q}_L = \dot{W} \times \beta_{ref}$$

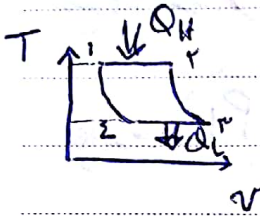
$$\Delta t = \frac{\Delta Q_L}{\dot{Q}_L} \quad , \quad Q = m(h_r - h_l) \rightarrow \begin{cases} h_l = h_f \text{ at } 10^\circ\text{C} \\ h_r = h_g \text{ at } 0^\circ\text{C} \end{cases}$$

← حالت طرد



## - فصل هشتم -

### - آنتروپی -

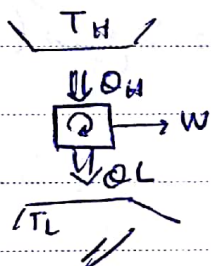


برای یک سیل کارنو: چنانچه افزایشها با زیادت پذیر هستند

$$\oint dQ = Q_H - Q_L \qquad \oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L}$$

از فصل قبلی می دانیم  $\leftarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$

اگر سیل تبدیل کارنو را در نظر بگیریم، می توان اثبات کرد که  $\oint \frac{dQ}{T} = 0$  و بطور کلی برای هر سیل



بازگشت پذیری می توان این رابطه را اثبات نمود  
چون یک ماشین گرمایی را در نظر بگیریم:

تقریباً همیشه مقدار نامی حرارت، سیل داده می شود (\$Q\_H\$). اگر در این سیل عامل بازگشت پذیری

وجود داشته باشد (مثل احتراق، اصطکاک یا...) باعث می شود کار تولیدی سیل کاهش یابد

هم عبارت دیگر:  $W_{irr} < W_{rev}$  بازگشت پذیری

$$(Q_H - Q_L) = W$$

↑  
بافت

در حالت بازگشت پذیری مقدار \$Q\_L\$ اقتضای پدیده می کند.

در نتیجه برای رابطه  $\oint \frac{\delta Q}{T}$  خواهیم داشت:

$$f\left(\frac{dQ}{T}\right) = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{(Q_L)_{irr}}{T_L} < 0 \quad \text{بسیار کمترین حد (T_H و T_L)}$$

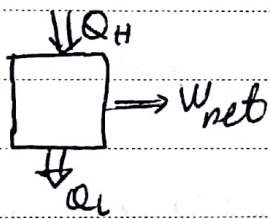
در نتیجه برای یک ماشین حرارتی می توان بیان کرد که در حالت تساوی فقط

در سطح بازگشت پذیر می قرار است. بطور مشخصه برای یک سطح ترمودینامیکی توان این کار

در اوقات نمودارها را در نظر بگیرید.  $f\left(\frac{dQ}{T}\right) = 0$  همیشه برای ماشین های حرارتی ورودی صدق می کند.

$f\left(\frac{dQ}{T}\right) < 0$  (مثال و  $Q_H$ ) و حالت تساوی مربوط به سطح بازگشت پذیر است. در حالتی که

نامساوی لازم است نقدی شود و آنفون مثال نقضی برای آن آورده نشده است.



مثال) ماشین حرارتی روی جدول در نظر بگیرید:

a)  $Q_H = 1000$      $Q_L = 400$   
 $T_H = 250^\circ\text{C}$      $T_L = 40^\circ\text{C}$

$$\eta_{th} = \frac{400}{1000} = 40\%$$

$$f\left(\frac{dQ}{T}\right) = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} = \frac{1000}{250+273,15} - \frac{400}{40+273,15}$$

$$\eta < \eta_{Carnot}$$

$$\Rightarrow = 0,434 > 0$$

$$\eta > \eta_{th \text{ Carnot}}$$

بنابراین فرآیند امکان پذیر نمی باشد

b)  $\begin{cases} T_H = 400 \\ T_L = 40 \end{cases} \Rightarrow \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} = -0,133$      $\eta = 44\%$   
Carnot

پس این فرآیند امکان پذیر است

می توان اثبات نمود عبارت  $\int \frac{\delta Q}{T}$  برای یک فرایند خاص به مسیر فرایند وابسته نیست و یک تابع دگرگونی

است. لذا آن را می توان به صورت یک خاصیت سیستم تعریف نمود. این خاصیت آنتروپی نامیده

می شود.  $dS = \frac{\delta Q}{T}$  به تغییرات آنتروپی

تعریف فوق برای فرایند بازگشت پذیر است به  $dS = S_2 - S_1 = \int_1^2 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{rev}$

$\delta Q$  به مسیر وابسته است اما  $\frac{\delta Q}{T}$  به مسیر وابسته نیست.

$Q$  واحد  $KJ$  دارد، لذا  $S$  ( $\frac{KJ}{K}$ ) و آنتروپی یک خاصیت شدی است یعنی  $S = m s$

لذا آنتروپی بر واحد حجم  $\left( \frac{KJ}{m^3} \right)$  به صورت یک خاصیت در جدول قید شده است ( $s$ ). برای

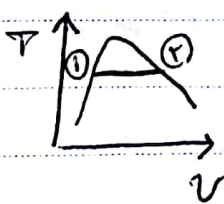
آب دمای  $101^\circ C$  دمای مینا در نظر گرفته شده و آنتروپی در این دما برابر با صفر است. برای بیشتر مبردها در

کتاب دمای  $4^\circ C$  به عنوان مینا در نظر گرفته شده است.

در حالت دوفازی آنتروپی حالت خاص زیر بازنمایی  $S = S_f + x S_{fg}$  می باشد.

زیرا  $S_f$  و  $S_{fg}$  :

مثال) یک بویلر دارد در نظر بگیرید که آب اشباع را بخار اشباع تبدیل می کند و فرایند بازگشت پذیر باشد



$$Q = m(h_g - h_f) = m(h_{fg})$$

$$Q = \int T ds \Rightarrow \frac{\delta Q}{T} = ds \Rightarrow Q = \int T ds$$

$$Q = T(S_2 - S_1) = T_m(S_{fg})$$

چون ثابت دما است

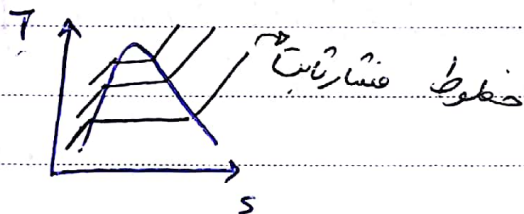
$$\Rightarrow h_{fg} = T S_{fg}$$

$$\delta Q = T ds \Rightarrow Q_{rev} = \int T ds$$

سطح زیر نمودار

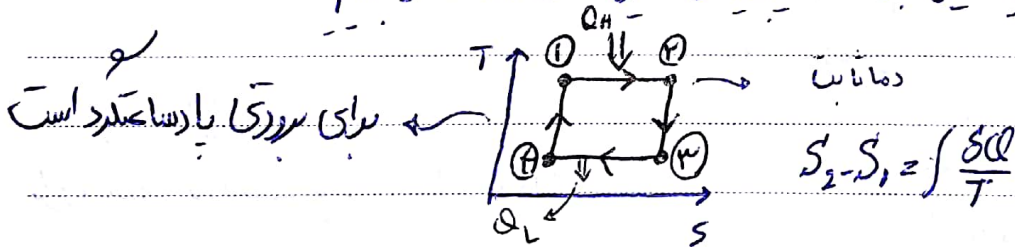
طبق تعریف انتروپی  $\frac{\delta Q}{T} = ds$  لذا:

نمودار (T-s) یکی از نمودارهاست که در ترمودینامیک بسیار استفاده می‌شود (T-v) رسم می‌شود



طبق  $Q_{rev} = \int T ds$  نشان می‌دهد که مساحت زیر نمودار (T-s) برابر با انتقال حرارت صورت گرفته است.

حالت‌های مختلف را می‌توان با این نمودار نشان داد و در نظر بگیریم:



$$S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T}$$

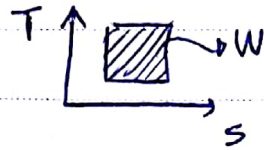
$$1-2 : S_2 - S_1 = \frac{Q_H}{T} \quad 2-3 : S_2 - S_1 = \frac{Q_H}{T}$$

$$3-4 : S_4 - S_3 = \frac{Q_L}{T} \quad 4-1 : S_4 = S_1$$

سطح زیر نمودار  $1-2 : Q_H = T(S_2 - S_1)$  از طریق رابطه

سطح زیر نمودار  $3-4 : Q_L = T(S_4 - S_3)$

$\Rightarrow W = Q_H - Q_L$  سطوح داخل نمودار برابر با کار انجام شده سطوح است



دادهای  $ds = \oint \frac{\delta Q_{rev}}{T}$  فقط برای اشکال بازگشت پذیر صادق است لذا سطح زیر نمودار نیز فقط

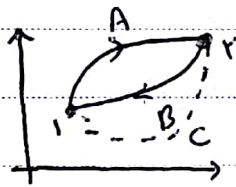
برای فرآیند بازگشت پذیر نشان دهنده انتقال حرارت است  $Q = \int_{rev} T ds$

اشکال  $W = \int p dV$  نیز فقط برای فرآیند بازگشت پذیر قابل استفاده است.

خاصه‌های لائوس :  $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$  برای سطوح

$ds = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{rev}$

تعریف آنتروپی برای فرآیند بازگشت پذیر



A و B بازگشت پذیر  
C نابگیر

$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_{1A} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2B} \frac{\delta Q}{T} = 0$

1A2B1

برای سطوح بازگشت پذیر

$\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_{1A} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2C} \frac{\delta Q}{T} < 0$

1A2C1

برای سطوح بازگشت پذیر

$S_2 - S_1 = \Delta S = \int_{rev} \frac{\delta Q}{T} > \int_{irr} \frac{\delta Q}{T}$

تغییر بی‌لایوس :

$ds = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{rev} > \int \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{irr}$

آنتروپی تولید شده در اثر عوامل بازگشت پذیر

PAPCO  $\Rightarrow ds = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{irr} + \delta S_{gen}$

$$ds = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{rev} \Rightarrow \delta Q = T ds$$
 برای بازگشت پذیر حسین بطور کلی :

$$\delta Q = T ds - T \delta S_{gen}$$
 برای فرآیند بازگشت ناپذیر

چون عوامل بازگشت ناپذیر مانند اصطفاان عاملی هستند  
 اینه آل (rev)  $Q < Q_{عملی}$  (irr)  $Q > Q$  انتقال حرارت به حجم  $Q > 0$   
 از حجم  $Q < 0$

$$\frac{\delta Q}{T} + \delta S_{gen} = ds \Rightarrow \Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen} \quad (1)$$

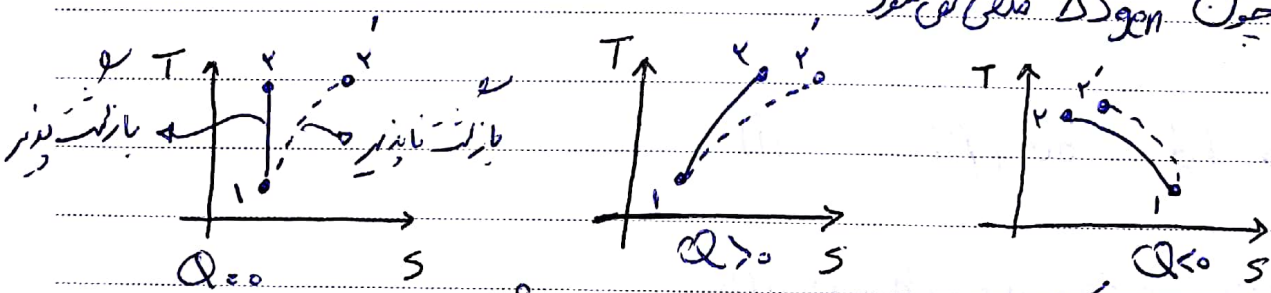
نکته:  $\Delta S_{gen}$  در عبارت همیشه مثبت است. این عامل معرف عوامل بازگشت ناپذیر مانند اصطفاان

است

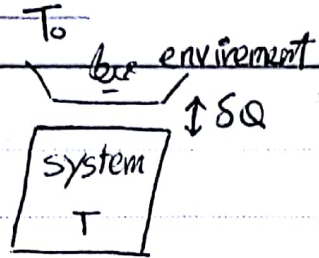
- طبق رابطه (1) برای افزایش آنتروپی سیستم:
- ① وجود عوامل بازگشت ناپذیر
  - ②  $Q > 0$  باشد نام عباری حرارت به سیستم وصل شود

برای کاهش آنتروپی فقط این راه وجود دارد: انتقال حرارت از سیستم ( $Q < 0$ )

چون  $\Delta S_{gen}$  منفی نمی شود



- عوامل بازگشت ناپذیر موجب افزایش آنتروپی می شوند



$$ds_{sys} = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_{gen}$$

$$ds_{env} = -\frac{\delta Q}{T_0}$$

$$ds_{tot} = ds_{sys} + ds_{env} = \delta Q \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) + \delta S_{gen}$$

$$\delta Q \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) > 0 \iff T < T_0 \iff Q > 0 \rightsquigarrow \text{حقیقی گرمی}$$

$$\delta Q \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) < 0 \iff T_0 < T \iff Q < 0 \rightsquigarrow \text{سیمی گرمی}$$

$\delta S_{gen} > 0$  و  $\delta Q \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \iff$  تغییر آنتروپی کل همواره مثبت است لذا آنتروپی همواره

در حال افزایش است که این اصل، اصل از زیاد آنتروپی گفته می شود (مطالعه بیشتر در کتاب)

روابط کسین:

$$\begin{cases} \delta Q - \delta W = dU \implies \delta Q = \delta W + dU \\ \delta Q = T ds \\ \delta W = p dv \end{cases}$$

برای فرایند مابزرگ نیز قانون اول:

$$\implies T ds = du + p dv \quad (1)$$

$$h = u + pv \implies dh = \underbrace{du + p dv}_{T ds} + v dp$$

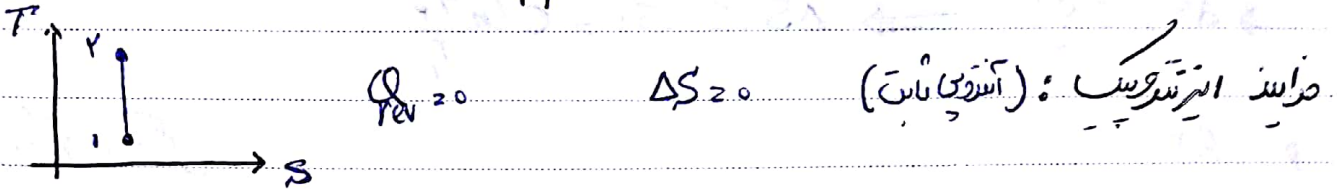
$$\implies T ds = dh - v dp \quad (2)$$





$$S_T^\circ = \int_T^T C_p \frac{dT}{T} \quad \int_{T_0}^{T_2} C_p \frac{dT}{T} = S_{T_2}^\circ \quad \int_{T_0}^{T_1} C_p \frac{dT}{T} = S_{T_1}^\circ$$

⇒  $\Delta S = S_{T_2}^\circ - S_{T_1}^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1}$  . پس برای خواص متغیر آنتروپی استاندارد در دما و درجه حرارت می‌خواهیم



① ⇒  $\Delta S = 0 \Rightarrow \int C_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1} = 0$  برای گاز ایده‌آل:

② ⇒  $\Delta S = 0 \Rightarrow \int C_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0$

② ⇒  $\int C_p \frac{dT}{T} = R \ln \frac{P_2}{P_1}$  با فرض خاصیت  $C_p \ln \frac{T_2}{T_1} = R \ln \frac{P_2}{P_1}$

$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{R/C_p}$

$C_p - C_v = R$

$\frac{C_p}{C_v} = k$  نسبت ظرفیت‌های گرمایی

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

① با فرض خاصیت  $C_v \ln \frac{T_2}{T_1} = -R \ln \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{R/C_v} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1}$  ②

با فرض  $\left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^k$  ③

⇒  $P_1 v_1^k = P_2 v_2^k \Rightarrow P v^k = C$

نسبت فرایند ایزنتروپیک

- مقادیر k در جدول الف-5 برای گازهای مختلف داده شده است

فرضیات: از انرژی جنبشی و پتانسیل صرفاً غافلیم  
ی فرایند ها و صفت برای یک سیستم بسته:

① فرایند دما ثابت: قانون اول:  $Q - W = \Delta U = m(u_2 - u_1)$

قانون دوم:  $S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen} = \frac{Q}{T} + \Delta S_{gen}$

حالت خاص: اگر فرایند بازگشت پذیر باشد:  $S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} \Rightarrow Q = T(S_2 - S_1)$   
 $= mT(S_2 - S_1)$

حالت خاص دیگر: گاز ایده آل  $Q - W = \Delta U = 0 \Rightarrow Q = W$  (با  $c_v(\Delta T)$ )

در حجم دایره بود:  $S_2 - S_1 = \int c_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow S_2 - S_1 = R \ln \frac{V_2}{V_1}$

در فشار دایره بود:  $S_2 - S_1 = \int c_p \frac{dT}{T} + R \ln \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow S_2 - S_1 = R \ln \frac{P_2}{P_1}$

رابطه کلی (مطابق حالت):  $P_1 V_1 = P_2 V_2$

\* قانون اول:  $Q - W = \Delta U = m(u_2 - u_1)$  فرایند فشار ثابت: قانون اول

$W = P(V_2 - V_1) = mP(v_2 - v_1) \xrightarrow{*} Q = m(h_2 - h_1)$

$S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen}$

حالت خاص: گاز ایده آل  $S_2 - S_1 = \int c_p \frac{dT}{T} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$

$S_2 - S_1 = \int c_p \frac{dT}{T} + R \ln \frac{P_2}{P_1} = \int c_p \frac{dT}{T} \xrightarrow{\text{خاصیت}} S_2 - S_1 = m c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$

$\frac{v_1}{T_1} = \frac{v_2}{T_2}$

$S_r - S_1 = S_r^\circ - S_1^\circ$  حدول الف و الف ۱ در خواص ثابت نبود

$Q - W = \Delta U = m(u_2 - u_1) = mc_v(T_2 - T_1)$  قانون اول برای گاز ایده آل  
فرض خواص ثابت

در خواص متغیر بود  $\rightarrow$  استخراج مستقیم  $u$  از جدول الف و الف ۱

$Q - W = \Delta U \Rightarrow Q = m(u_2 - u_1)$  قانون اول فرايند حجم ثابت

$S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen}$

$S_2 - S_1 = \int c_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{V_2}{V_1} = \int c_v \frac{dT}{T}$  حالات خاص: گاز ایده آل

$\Rightarrow S_r - S_1 = c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$  در خواص ثابت بود

$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_r}{T_2}$  ماده ها حالت

فرايند آديباتيك (مبادرو):

$Q - W = \Delta U \Rightarrow W = U_1 - U_2 = m(u_1 - u_2)$  قانون اول

$S_r - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen} = \Delta S_{gen}$  يعني فقط اثر عوامل ايزنتالپيک

$W = U_1 - U_2 = c_v(T_1 - T_2)$  قانون اول حالت خاص، برای گاز ایده آل

$S_r - S_1 = \int c_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{V_r}{V_1}$

$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_r V_r}{T_2}$

$S_r - S_1 = \int c_p \frac{dT}{T} + R \ln \frac{P_r}{P_1}$

⑤ فرایندی در رو بازنیت پذیره قانون اول  
 $W = U_1 - U_2 = m(u_2 - u_1)$

قانون دوم  
 $S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen} \Rightarrow S_1 = S_2$   
 بازنیت پذیر

حالت خاص: گاز ایده‌آل:  $c_v$  از حالت 5  
 $W = - \int c_v dT = m c_v (T_1 - T_2)$

$PV^k = C$   
 $\begin{cases} \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \\ \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \end{cases}$

④ فرایندی تراکم (محصول گاز ایده‌آل):  
 $Q - W = \Delta U = m(u_2 - u_1)$

$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n}$

$PV^n = C \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{n-1}$

مثال) یک کیلوگرم آمونیاک در 50°C و 1000 kPa داخل سیلندر استون طی فرایندی بازنیت پذیر و هم‌دما

تا 100 kPa منبسط می‌شود، کار و انتقال حرارت را در این فرایند بیابید  
 $T_1 = T_2 = 50^\circ C$   
 $P_1 = 1000 \text{ kPa}$      $P_2 = 100 \text{ kPa}$

آمونیاک سه جزیل

قانون اول:  $Q - W = \Delta U$

$S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} + \Delta S_{gen} \Rightarrow S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} \rightarrow Q = T(S_2 - S_1)$

$\Rightarrow Q = T \times m \times (s_2 - s_1)$  از جدول برای حالت اول و ثانویه می‌خوانیم  $s_1$  و  $s_2$

$$\Delta U = C_v \Delta T$$

Subject:  $\Delta U = 0$   
Date:

فرايند همدم است و گر نه  $\Delta U \neq 0$  چون گاز ايده آل نسبتاً  $\Delta U = 0$  است

$$W = (U_1 - U_2) + Q \Rightarrow W = m(u_1 - u_2) + Q \rightarrow u_1 \text{ و } u_2 \text{ از جدول}$$

at	1000 kPa	:	$S_1 = 5,245 \frac{kJ}{kg \cdot K}$	at	100 kPa	:	$S_2 = 4,494$
	50°C	:	$u_1 = 1391,3 \frac{kJ}{kg}$		50°C	:	$u_2 = 1344,7$

بروناً حالت دو فازي بود بايد بررسي مسأله كه از طريق اول  $S$  و  $u$  رو بريت باررسي پس بي از جدول صحت حجم رو بايد سوال بده كه حجم مخصوص بريت يار و ...

مثال) سيلندر - بسيوي حاوي هوا در فشار 100 kPa و در 400 K قرار دارد و با فشار 500 kPa امتداد هم ميشود

براي دو فرايند زير دماي نرهاي و كار و غيره را حياي بنمايد؟ (فرض كنيد خواص ثابت است)

الف) فرايند اينترتريك : ب) فرايند دما ثابت با رتت زير :

سيال هوا است پس گاز ايده آل

الف)  $W = U_1 - U_2 = m(u_1 - u_2) = C_v (T_1 - T_2) \times m$  قانون اول

?  $W = C_v (T_1 - T_2)$    
 و غيره

از جدول الف - 5  $\rightarrow K = 1,4$  و  $\Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{K-1}{K}}$

$\Rightarrow T_2 \checkmark \rightarrow W = \checkmark$

ب) قانون اول :  $Q - W = \Delta U \rightarrow Q = W$    
 دما ثابت

قانون اول  $Q - W = \Delta U \Rightarrow Q = W$

$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} + 0 \Rightarrow Q = mT(S_2 - S_1)$

$W = T(S_2 - S_1)$

$w = \frac{W}{m} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}}, \quad q = \frac{Q}{\dot{m}}$

- فعل برهم -

قانون دوم برای حجم کنترل (سیستم‌ها باز) -

$\sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e = \frac{d}{dt} (M_{c.v.})$

بقای حجم:

قانون اول:  $\sum \dot{m}_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i) - \sum \dot{m}_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e) + \dot{Q} - \dot{W} = \frac{d}{dt} (E_{c.v.})$

$dS = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_{gen}$

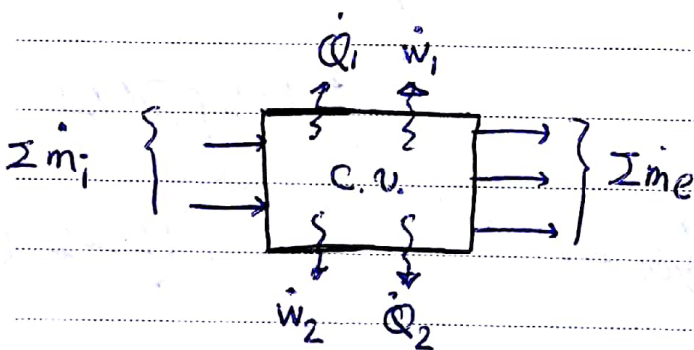
قانون دوم:

اگر با زوی زمانی  $\delta t$  در نظر بگیریم سرد

$\frac{dS}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$

$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{\delta t}, \quad \dot{S}_{gen} = \frac{\delta S_{gen}}{\delta t}$

حجم کنترل زود را در نظر بگیرید:



تغییرات انرژی حجم کنترل = تولید انرژی + انرژی مبرمان ها خروجی - انرژی مبرمان ها ورودی

$$\Rightarrow \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = \frac{d}{dt}(S) \rightarrow$$

$\int_A \left( \frac{\dot{Q}}{T} \right) dA$

انرژی تولید داخل حجم کنترل      انرژی مبرمان عبوری از سطح کنترل

نکته: حالت پایا را در نظر بگیرید:

$$\sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = 0$$

نامساوی لازویس برای حجم کنترل

$$\dot{S}_{gen} \geq 0 \rightarrow \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} \leq 0$$

اگر فرایند آدیاباتی باشد:

$$\sum \dot{m}_i s_i \leq \sum \dot{m}_e s_e$$

اگر سیستم یک ورودی و یک خروجی داشته باشد:

$$s_e \geq s_i$$

که حالت مساوی برای فرایند بازگشت پذیر

\* برای حجم کنترل اگر بخواهیم سهم فرایند آدیاباتی پذیر باشد، باید در روابط بالا صفر کنده قانون دوم برقرار باشد. برای حجم کنترل از طریق نامساوی لازویس در ابتدا گفتیم.

قانون دوم برای:

$$\sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = 0 \quad (1) \text{ فرایند پایا}$$

$$\sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} = 0$$

فرايند بازگشت پذير:

$$\sum \dot{m}_i s_i = \sum \dot{m}_e s_e$$

فرايند آدياباتيک بازگشت پذير:

$$S_i - S_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = 0$$

فرايند با بک ورودی و یک خروجی:

$$S_i - S_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T} = 0$$

برای بازگشت پذير:

$$S_i = S_e$$

برای بازگشت پذير آدياباتيک:

۳) با بک پذير:

$$\dot{m}_i s_i - \dot{m}_e s_e + \frac{\dot{Q}}{T} = 0 \Rightarrow \dot{Q} = T(s_e - s_i)$$

فرايند دما ثابت:

$$S_i = S_e$$

فرايند آدياباتيک:

$$\sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \int_0^t \frac{\dot{Q}}{T} dt + \dot{S}_{gen} = (m_2 s_2 - m_1 s_1)$$

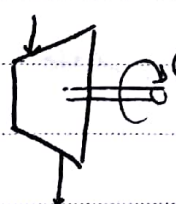
فرايند لدا:

حجم کنترل اولی ← حجم کنترل ثانویه

مثال) بخار در شرایط  $P_i = 1 \text{ MPa}$  و  $T_i = 300^\circ \text{C}$  و  $v_i = 50 \text{ m/s}$  وارد توربین می‌شود.

شده و در شرایط  $P_e = 150 \text{ MPa}$  و  $v_e = 200 \text{ m/s}$  از آن خارج می‌شود. کار ویژه تولیدی

این توربین را تعیین کنید اگر فرايند آدياباتيک و بازگشت پذير باشد؟





حالت خواص: از جدول بخار آب - فرایند آیزنتروپیک - حالت دوم مستقیم نیست - حالت ورودی ✓

$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$  بقای جرم  $\dot{Q} = 0$  تبریک واحد

قانون اول:  $(h_i + \frac{v_i^2}{2}) - (h_e + \frac{v_e^2}{2}) - w = 0 \Rightarrow w = h_i - h_e + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2}$

قانون دوم:  $s_i = s_e \rightsquigarrow$  خوبی  $\left\{ \begin{matrix} P_{e1} \\ s_{e1} \end{matrix} \right\} \rightsquigarrow \left\{ \begin{matrix} T_{e1} \\ h_{e1} \end{matrix} \right\} \Rightarrow w$

حل:  $s_i = 7,1229 \frac{KJ}{kg \cdot K}$   $h_i = 3051,2 \frac{KJ}{kg}$  فوق نرم

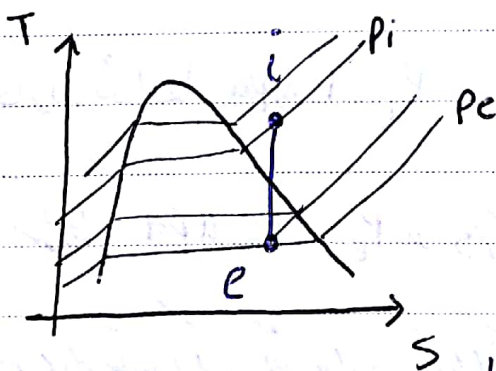
at  $\left\{ \begin{matrix} P_e = 10 \text{ kPa} \\ s_e = 7,1229 \end{matrix} \right\} \rightsquigarrow s_f < s_e < s_g \rightsquigarrow \alpha$  باید هم سرد

در فشار 10 با یک در  $s_f$  مقایسه می کنیم

$s_e = s_f + \alpha s_{fg} \Rightarrow \alpha = 0,9827$

$h_e = h_f + \alpha h_{fg} \Rightarrow h_e = 2455 \frac{KJ}{kg}$

$\Rightarrow w = (3051,2 - 2455) + \left( \frac{0,2 - 200}{2 \times 1000} \right) = 377,5 \frac{KJ}{kg}$



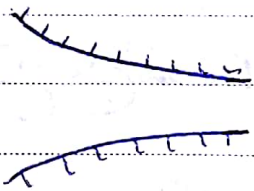
رسم نمودار:

$s_i = s_e$  طبق بالا مندرج

حالت اول فوق نرم حالت دوم دوپازی

مثال نازل: جریان آدیاباتیکی و بازگشت پذیر بخار آب از داخل یک سیلندریک استندارد میسرید. شرایط

ورودی:  $P_i = 1 \text{ MPa}$  ،  $T_i = 300^\circ\text{C}$  ،  $v_i = 30 \text{ m/s}$  و شرایط خروجی  $P_e = 3 \text{ MPa}$



سوال:  $v_e = ?$

$m_i = m_e = m$  (بجای حجم)

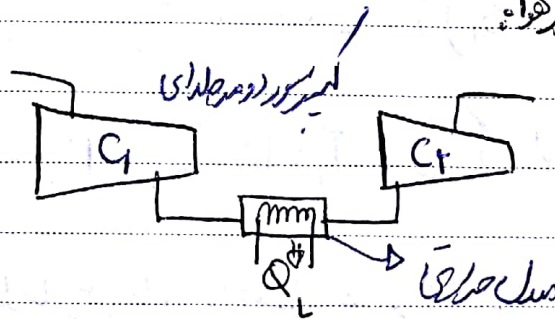
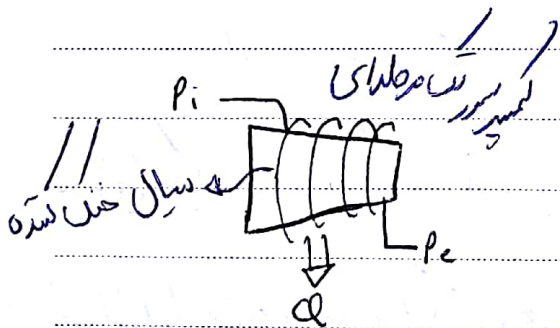
تبدیل واحد شد یاد آید  $h_i = h_e + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2}$  قانون اول

قانون دوم:  $S_i = S_e = V, 1249$

$P_e v_e = P_i v_i$  (قانون اول)  $\rightarrow$   $v_e = \dots$  (جریان)

$h_e \rightarrow 159,4^\circ\text{C}$  (در رویای با)  $\rightarrow$   $2781,2$  (بار رویایی)

$v_e = 735,5 \text{ m/s}$



مثال ۲۹ (کمپرسور هوا)

حتی اطلاع

کمپرسور مبرد R-134a طی فرآیند ایزنتروپیک از حالت مایع اشباع در 100 kPa و دمای 15°C به دمای 5°C و فشار 100 kPa وارد شده و در حالت سردی سردی کلوری که دمای مبرد ثابتی مانند آن در مبرد در دمای 5°C و فشار 100 kPa وارد شده و در حالت بخار اشباع خارج شود. کار ویژه و انتقال حرارت کل را بیابید؟

سردی سردی کلوری که دمای مبرد ثابتی مانند آن در مبرد در دمای 5°C و فشار 100 kPa وارد شده و در حالت بخار اشباع خارج شود. کار ویژه و انتقال حرارت کل را بیابید؟

معادله اول:  $h_i - h_e + q - w = 0$  (ورودی، 5°C و 100 kPa، خروجی: 5°C و بخار اشباع)

معادله دوم:  $s_i - s_e + \frac{q}{T} = 0$  (فانن دوم)

$\Rightarrow q = T(s_e - s_i) \rightarrow$  قانون اول  $\rightarrow w$

حل:  $h_i = 403.2 \frac{kJ}{kg}$  و  $s_i = 1.8211 \frac{kJ}{kg \cdot K}$  (در 5°C و 100 kPa)

بخار اشباع در 5°C:  $h_e = 398.34$  و  $s_e = 1.7242$

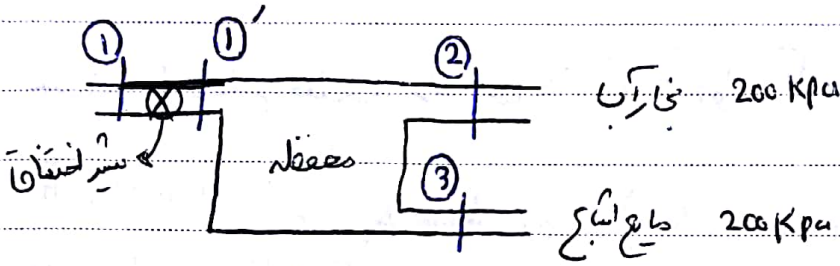
$w = h_i - h_e + q = -22.18 \frac{kJ}{kg}$  (یعنی کمپرسور کار می‌کند)

$q = (s_e - s_i) T = -21.83 \frac{kJ}{kg}$  (از دستم حرارت گرفته می‌شود)

مثال) مایع ریزش در فای آب با  $P_1 = 500 \text{ kPa}$  و  $T_1 = 15^\circ\text{C}$  تا همین می‌کند. این آب وارد یک شیر انبساط شده و سپس وارد یک محفظه‌ای جدا سازی غایب. محفظه عایق است. اگر دمای آب

شیر انبساط شده و سپس وارد یک محفظه‌ای جدا سازی غایب. محفظه عایق است. اگر دمای آب  $m = 1.5 \text{ kg/s}$  باشد و در صورت مایع اشباع در فشار 200 kPa از این محفظه خارج شود و بخار اشباع؟

درها ضا، از بالای محفظه خارج می‌شود. میزان تولید انرژی در محفظه‌ی جدا ساز بدست آورید؟



بقای جرم:  $\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$  ✓ ? ?

قانون اول:  $\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_3 h_3$  ✓ ✓

}  $\dot{m}_2$  و  $\dot{m}_3$  ✓

در شرایط استاندارد:  $\dot{m}_1 = \dot{m}_1'$  ,  $h_1 = h_1'$

$\dot{m}_1 s_1 + (-\dot{m}_2 s_2) - \dot{m}_3 s_3 + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = 0$

کانون ←

$\Rightarrow \dot{S}_{gen} = \dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_3 s_3 - \dot{m}_1 s_1$

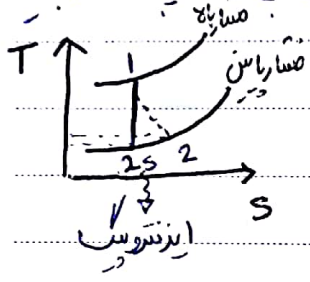
$s_1' : \left. \begin{array}{l} h_1' = v \\ p = 200 \text{ kPa} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{حالت} \Rightarrow s_1'$

$h_1 : \left. \begin{array}{l} 200 \text{ kPa}, 10^\circ \text{C} \end{array} \right\} \approx h_f(10^\circ \text{C})$

در جدول برای فشار  
200 kPa

$\dot{S}_{gen} = 0.11 \frac{\text{KW}}{\text{K}}$

رابطه آیزن‌نویس : فرایند آیزن‌نویس حالت ایده آل دارد. چرخه‌های ماسد عبور و مرور

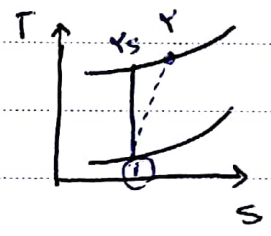


است. اما در عمل اختلاف اندکی بین حالت واقعی و ایده آل وجود دارد.

$$\dot{w} = \dot{m} (h_i - h_e) \Rightarrow \dot{w} = \dot{m} (h_i - h_e) \begin{cases} \text{واقعی} & \dot{w}_{actual} = h_i - h_r \\ \text{ایده آل} & \dot{w}_{isen} = h_i - h_{rs} \end{cases}$$

$$\eta = \frac{\dot{w}_{act}}{\dot{w}_{isen}} = \frac{h_i - h_r}{h_i - h_{rs}}$$

حالت ایده آل به کارگیری بیشتر

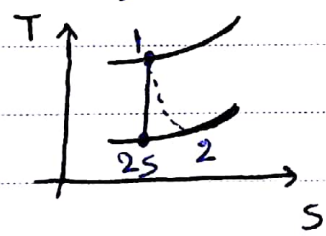


$$\eta = \frac{\dot{w}_{isen}}{\dot{w}_{act}} = \frac{h_i - h_{rs}}{h_i - h_r}$$

چندان کمتر

حالت ایده آل به کارگیری کمتر

به کارهای مفیدی در حالت واقعی به کارگیری نیاز داریم. در توربین در حالت واقعی کار کمتری تولید می‌شود.



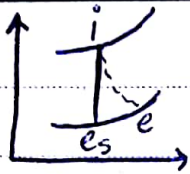
$$(h_i - h_e) + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} = 0 \Rightarrow \begin{cases} h_{es} = v_{es} \\ h_e = v_e \end{cases} \text{ نازل}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\frac{v_{act}^2}{2}}{\frac{v_{isen}^2}{2}} = \left( \frac{v_{act}}{v_{isen}} \right)^2$$

مثال) هوا در دمای  $T_i = 1400^\circ K$  وارد توربین شده و در فشار  $P_e = 100 kPa$  و دمای  $T_e = 830^\circ K$  خارج می‌شود.

راندمان توربین  $\eta = 85\%$  (ایزنتروپیک) است. کار تولیدی توربین (برتره) و

فشار ورودی توربین را محاسبه کنید؟ (راهیابی : از خواص متغیرها استفاده شود)



$P_e = P_{es} \rightarrow$  روی خط

کلین ، سوال هوا خواص منفرد از جدول الف-۷

ورودی : دما / خروجی : دما و فشار ✓

قانون اول :  $h_i - h_e = w$

$w \checkmark \Rightarrow$  جدول الف-۷  $\rightarrow h_i, h_e \rightarrow$  خواص متغیر  $T_i \leftarrow T_e$

$\Delta S = \int c_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = S_{T_2}^{\circ} - S_{T_1}^{\circ} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

قانون دوم برای فرآیند بازگشت نزدیک به تعادل

$S_{T_{es}}^{\circ} - S_{T_i}^{\circ} - R \ln \frac{P_e}{P_i} = 0$

فرآیند آنتروپیک قابل تعادل

$\eta_{isen} = \frac{w_{act}}{w_{isent}} \Rightarrow \eta_{isen} = \frac{w_{act}}{h_i - h_{es}} \Rightarrow \begin{cases} T_{es} \checkmark \\ S_{es} \checkmark \end{cases}$  بارهای ای از جدول

$S_{T_{es}}^{\circ} - S_{T_i}^{\circ} = R \ln \frac{P_e}{P_i} \Rightarrow P_i \checkmark$  در خواص متغیر

اگر فرض می‌کنیم خواص ثابت است  $\Rightarrow \frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$  و  $w_s = c_p(T_{2s} - T_1)$   
 $\rightarrow P_1 = \checkmark$

سوال) هوا در فشار ۱۰۰ kPa و دمای ۳۰۰ K به یک توربوشارژر متصل و از دی سوژ و با فشار ۱۵۰ kPa فشرده می‌شود

راندمان این توربوشارژر ۷۰٪ است. کار ویژه‌ی مورد نیاز آن و دما و فشار خروجی آن چقدر است؟ (با استفاده از خواص ثابت)

توربوشارژر در واقع مثل کمپرسور عمل می‌کند پس :

$\eta_{com} = \frac{w_{isen}}{w_{act}} = \frac{w_s}{w_{act}}$  قانون اول :  $w = h_i - h_e = c_p(T_i - T_e)$

$$w_s = h_i - h_{es} = c_p(T_i - T_{es})$$

$$\frac{T_{es}}{T_i} = \left(\frac{P_e}{P_i}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_{es} \checkmark$$

$$\Rightarrow w_s \checkmark$$

فرايند آديزتروپيك براي هوا

در خواص ثابت

$$w_{act} = \frac{w_s}{\eta_{isen\ comp}} \Rightarrow w_{act} \checkmark$$

$$w_{act} = c_p(T_i - T_e) \Rightarrow T_e \checkmark$$

حسابي کار در فرايند بازتاب پذير :

هر فرايند را در نمودار (T-s) مي توان بصورت ترتيباً فرايندهای دما ثابت و انترپي ثابت فرق نمود.

فرايند بازتاب پذير آديزتروپيك (انترپي ثابت) : ①  $h_i - h_e + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) - w = 0$  قانون اول

قانون دوم : ②  $S_i = S_e$

(ز رابطه)  $T ds = dh - v dp \Rightarrow dh = v dp \Rightarrow h_e - h_i = \int_{P_i}^{P_e} v dp$  ③

①, ②  $\Rightarrow w = - \int_{P_i}^{P_e} v dp + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e)$  ④

فرايند دما ثابت : ⑤  $S_e - S_i = \frac{q}{T} \Rightarrow q = T(S_e - S_i) \rightarrow$  سطح زیر انتقال

قانون اول : ⑥  $h_i - h_e + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) + q - w = 0$

$$Tds = dh - vdp \Rightarrow T(s_e - s_i) = h_e - h_i - \int_{p_i}^{p_e} v dp \quad (7)$$

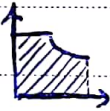
$$h_i - h_e = -T(s_e - s_i) - \int_{p_i}^{p_e} v dp$$

$$\Rightarrow w = - \int_{p_i}^{p_e} v dp + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) \quad (8)$$

با مقایسه روابط ۴ و ۸ نتیجه می شود که برای پیدا کردن بارهای مفید کارایی توان از رابطه زیر بدست آورد:

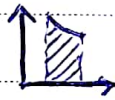
$$w_{is} = - \int_i^e v dp + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e)$$

$$w = - \int v dp$$



التر از تغییران انرژی جنبشی و پتانسیل صرف نظر شود ←

$$w = \int p dv$$



برای سیستم بسته داریم:

برای حالتی که بین نقطه ۱ و ۲ کاری انجام می شود مانند انتقال سیال (در دو لوله) با فرض تراکم ناپذیر بودن

$$-v(p_e - p_i) + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) = 0 \quad \text{سیال می توان رابطه زیر را نوشت:}$$

$$\Rightarrow \frac{p_i - p_e}{\rho} + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) = 0 \quad \text{معادله برنولی} \leftarrow$$