خواص ماده خالص

ماده‌ی خالص
تغییر فاز
مقدمه
خواص مواد خالص
نمودار خواص
جداول خواص
معادله‌ی حالت

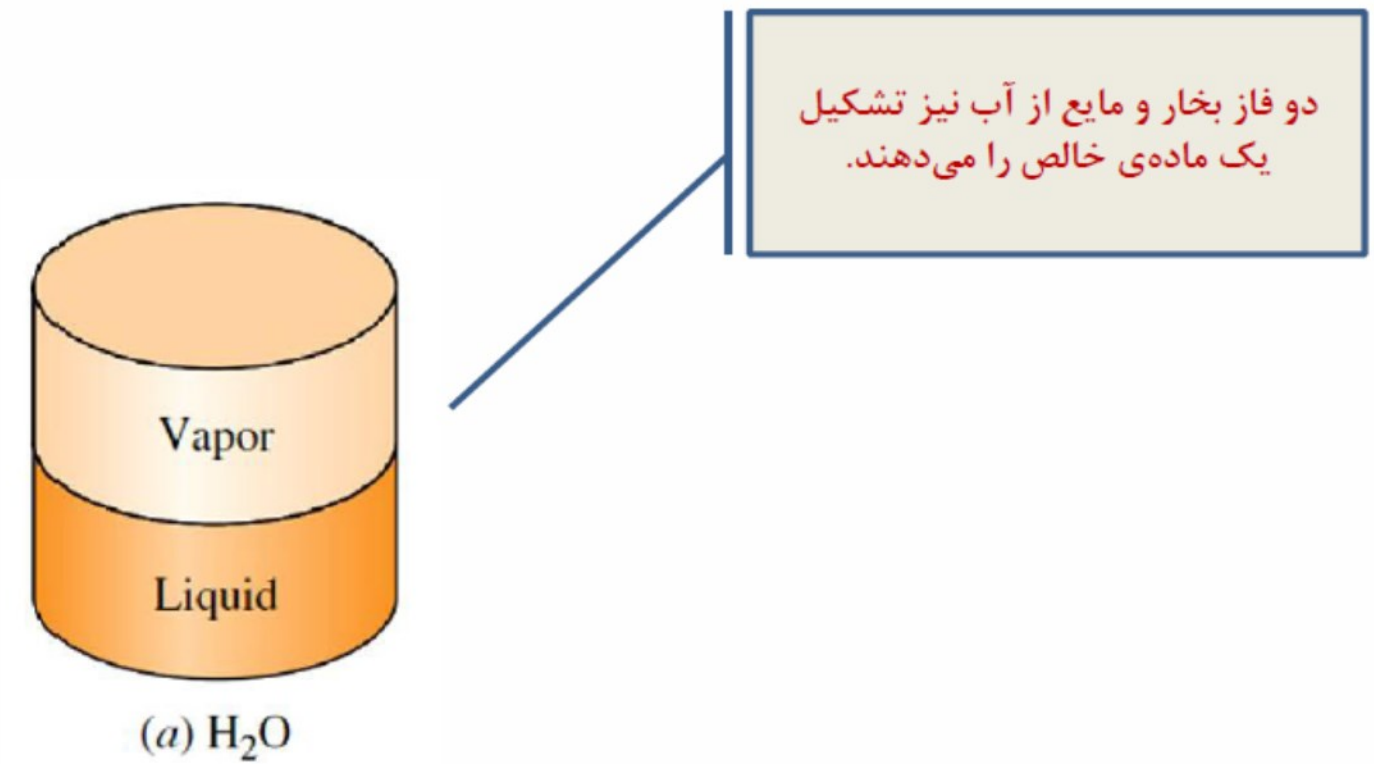
۱- مقدمه

•تعریف

•ماده‌ی خالص، ماده‌ای است که دارای ترکیب شیمیایی ثابتی می‌باشد.

•این ماده می‌تواند مانند هوا از چند عنصر مختلف هم تشکیل شده باشد.

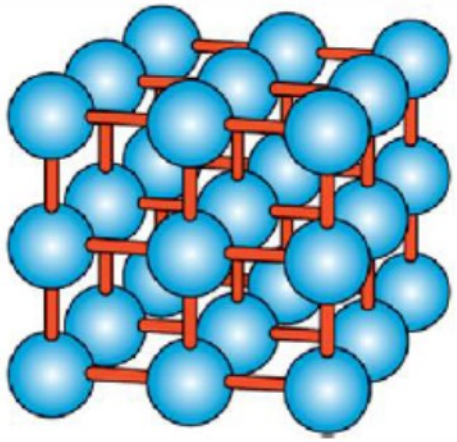
•همچنین یک ماده‌ی خالص می‌تواند ترکیبی از دو یا چند فاز باشد. (به شرطی که ترکیب شیمیایی فازها تغییر نکند.)



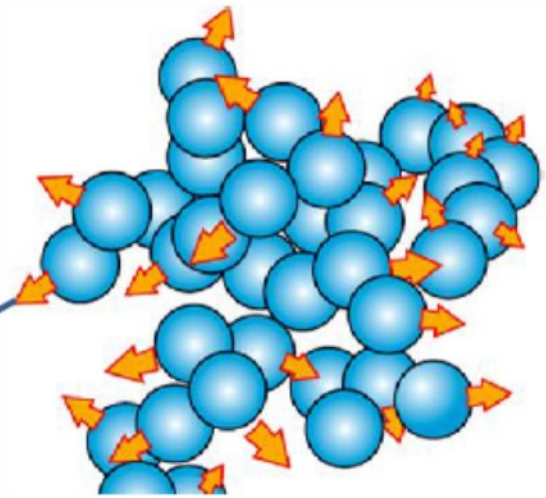
۲- ماده‌ی خالص

•فازهای ماده‌ی خالص

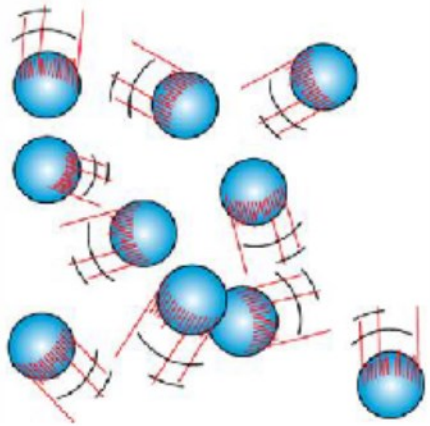
•می‌دانیم که یک ماده می‌تواند به سه فاز جامد، مایع و گاز وجود داشته باشد.



در فاز جامد، مولکول‌ها دارای آرایش منظم مولکولی هستند.



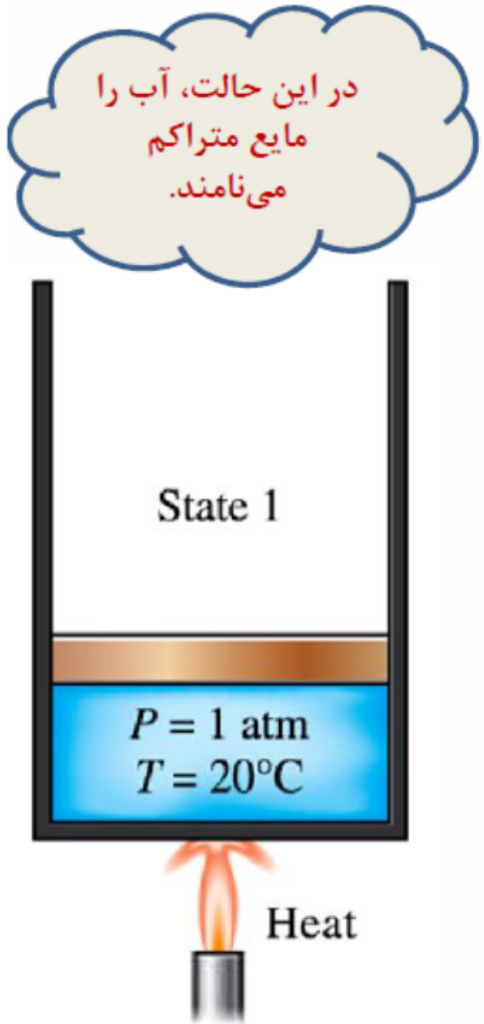
در فاز مایع، مولکول‌ها در شرایطی شبیه جامد هستند، اما در مکان ثابتی وجود ندارند.



در فاز گاز، مولکول‌ها از یکدیگر دورند و دارای حرکت تصادفی می‌باشند..

۳- فرآیندهای تغییر فاز

- **تغییر فاز**
  - در بسیاری از تجهیزات مهندسی دو فاز یک ماده‌ی خالص با یکدیگر در تعادل هستند.
  - مثلاً در اواپراتور یخچال که دو فاز مایع و بخار وجود دارد.
  - در اینجا تغییر فاز آب را بعنوان نمونه ارائه می‌دهیم.
  - برای سایر مواد هم می‌توان از چنین روندی استفاده کرد.
- **مایع متراکم و مایع اشباع**
  - یک سیلندر و پیستون را در نظر بگیرید.



با افزایش دما، فشار داخل سیلندر همچنان ثابت باقی می‌ماند. (چرا؟)

اگر دما به ۴۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد، آب کمی منبسط می‌گردد.

اگر فرآیند افزایش دما ادامه پیدا کند، هنگامی که دما به ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد هنوز هم آب در فاز مایع قرار دارد.

۳- فرآیندهای تغییر فاز

•مایع متراکم و مایع اشباع (ادامه)

•گفتیم که اگر فرآیند افزایش دما ادامه پیدا کند و دمای آب به ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برسد، هنوز هم آب در فاز مایع متراکم (Compressed liquid) وجود دارد.

•در این حالت اگر اندکی گرما به آب داده شود، مقداری از آن تبخیر می‌گردد.

•این فرآیند تبخیر تا جایی ادامه می‌یابد که همچنان آب مایع تمام نشده باشد.

•در تمام طول فرآیند، دما و فشار ثابت باقی می‌ماند.

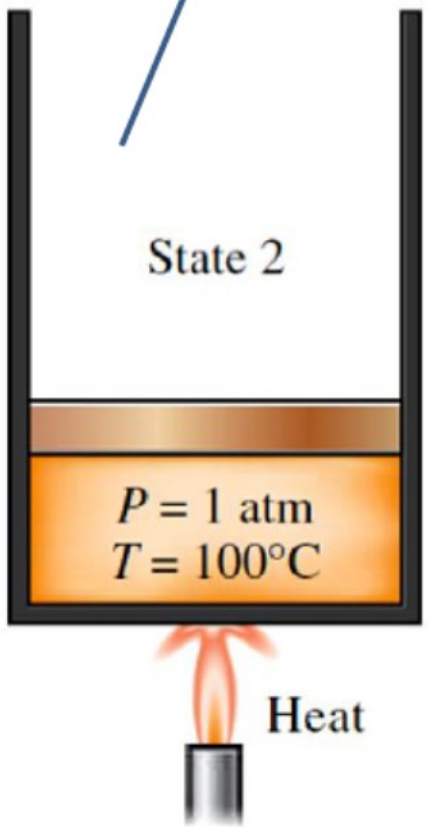
•تا زمانی که این دو فاز در حالت تعادل هستند، به آب مایع در حال تعادل با بخار، مایع اشباع (Saturated liquid) گویند.

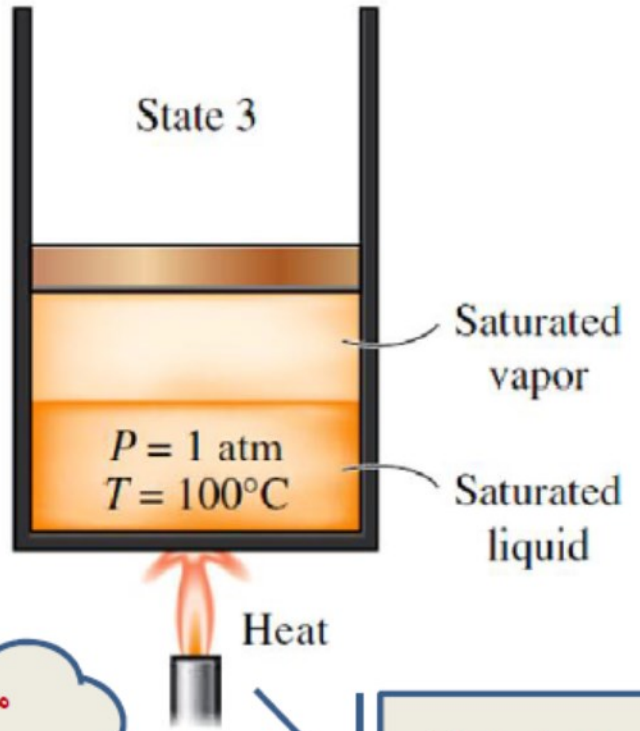
۳- فرآیندهای تغییر فاز

•بخار اشباع و بخار مافوق گرم

•گفتیم که در طول فرآیند تبخیر، دمای ماده ثابت باقی می‌ماند. (به شرطی که فشار ثابت باشد.)

در فرآیند جوشش، تنها تغییری که مشاهده می‌گرددافزایش حجم و کاهش دائمی سطح مایع بر اثر تبخیر است.





مخلوط مایع و بخار
saturated liquid–vapor mixture

قسمتی از ماده تبخیر شده است. اما همچنان، دما و فشار ثابت است.

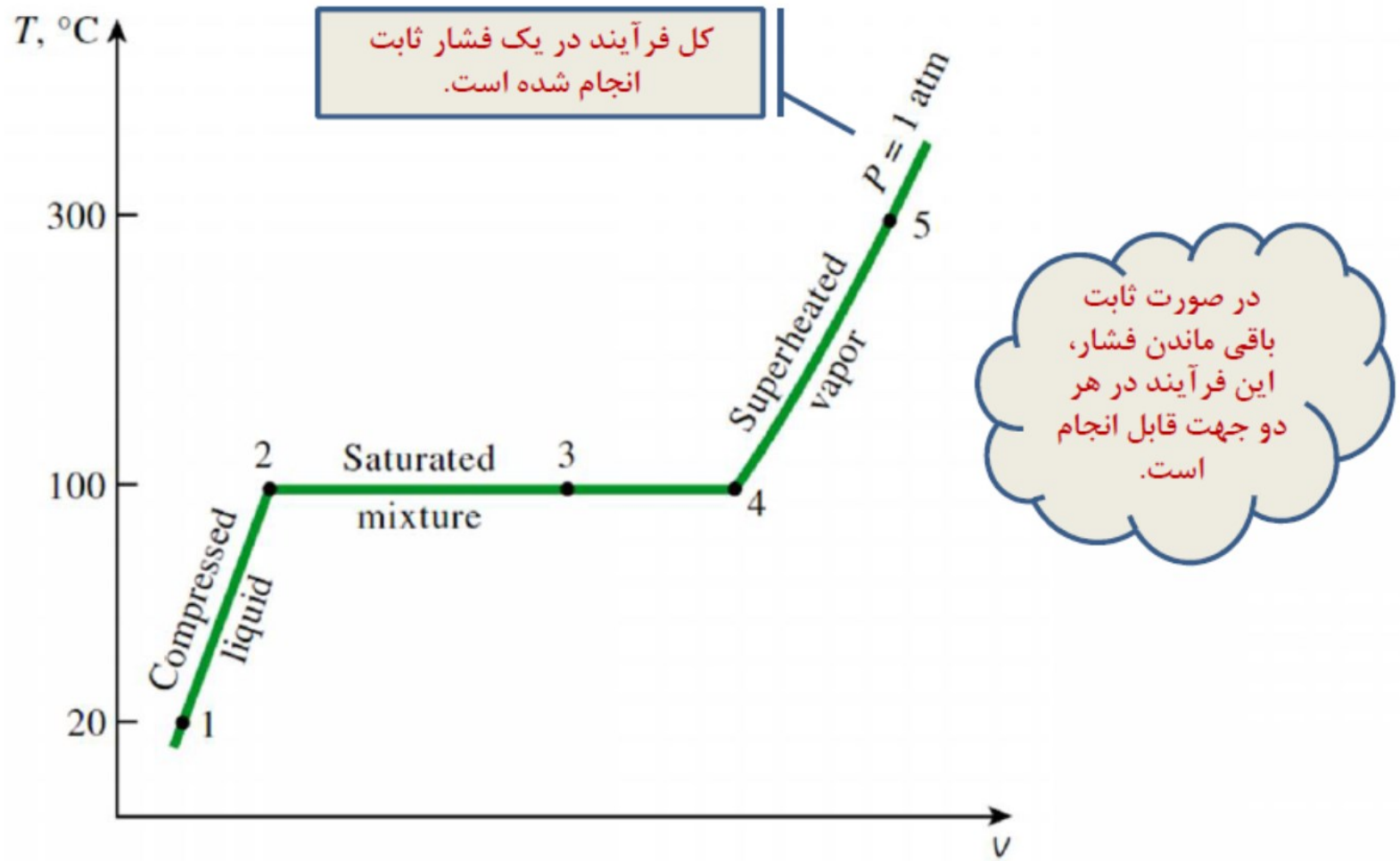
۳- فرآیندهای تغییر فاز

•بخار اشباع و بخار مافوق گرم (ادامه)

- فرآیند گرمادهی تا جایی ادامه می‌یابد که آخرین قطره‌ی آب نیز تبخیر گردد.
- در این حالت دما همچنان ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است.
- هرگونه دفع گرما از بخار باعث تبدیل دوباره‌ی آن به مایع می‌گردد.
- به این بخار که در آستانه‌ی چگالش است، بخار اشباع (Saturated vapor) می‌گویند.
- اگر باز هم به ماده گرما دهیم، دمای بخار بیشتر می‌گردد.
- به این حالت ماده، بخار مافوق‌گرم (Superheated vapor) می‌گویند.

۳- فرآیندهای تغییر فاز

- بخار اشباع و بخار مافوق گرم (ادامه)
- نمودار حجم-دما برای فرآیند توضیح داده شده به شکل زیر ارائه می‌گردد.



۳- فرآیندهای تغییر فاز

•دمای اشباع و فشار اشباع

•همواره برای بکار بردن دمای اشباع می‌بایست فشار نیز ذکر گردد.

•در یک فشار معین، دمایی را که در آن ماده‌ی خالصی تغییر فاز می‌دهد، فشار اشباع P_{sat} می‌گویند.

Temperature T, °C	Saturation Pressure P_{sat}, kPa
−10	0.260
−5	0.403
0	0.611
5	0.872
10	1.23
15	1.71
20	2.34
25	3.17
30	4.25
40	7.38
50	12.35
100	101.3 (1 atm)
150	475.8
200	1554
250	3973
300	8581

به جداول انتهای کتاب مراجعه شود

فشار اشباع آب در دماهای مختلف

۳- فرآیندهای تغییر فاز

•دمای اشباع و فشار اشباع (ادامه)

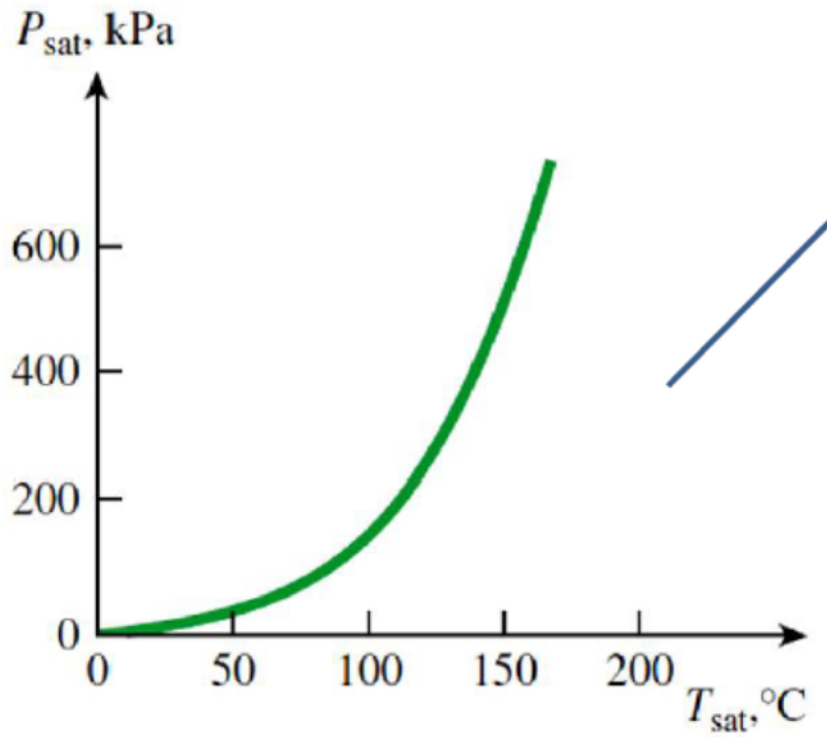
•ذوبِ جامد و تبخیرِ مایع مقدار زیادی انرژی نیاز دارد.

•انرژی جذب شده یا رها شده در فرآیند تغییر فاز را گرمای نهان (Latent heat) می‌گویند.

•گرمای نهان ذوب و تبخیر آب به ترتیب ۳۳۳/۷ و ۲۲۵۷/۱ کیلوژول بر کیلوگرم است.

Vaporization

fusion



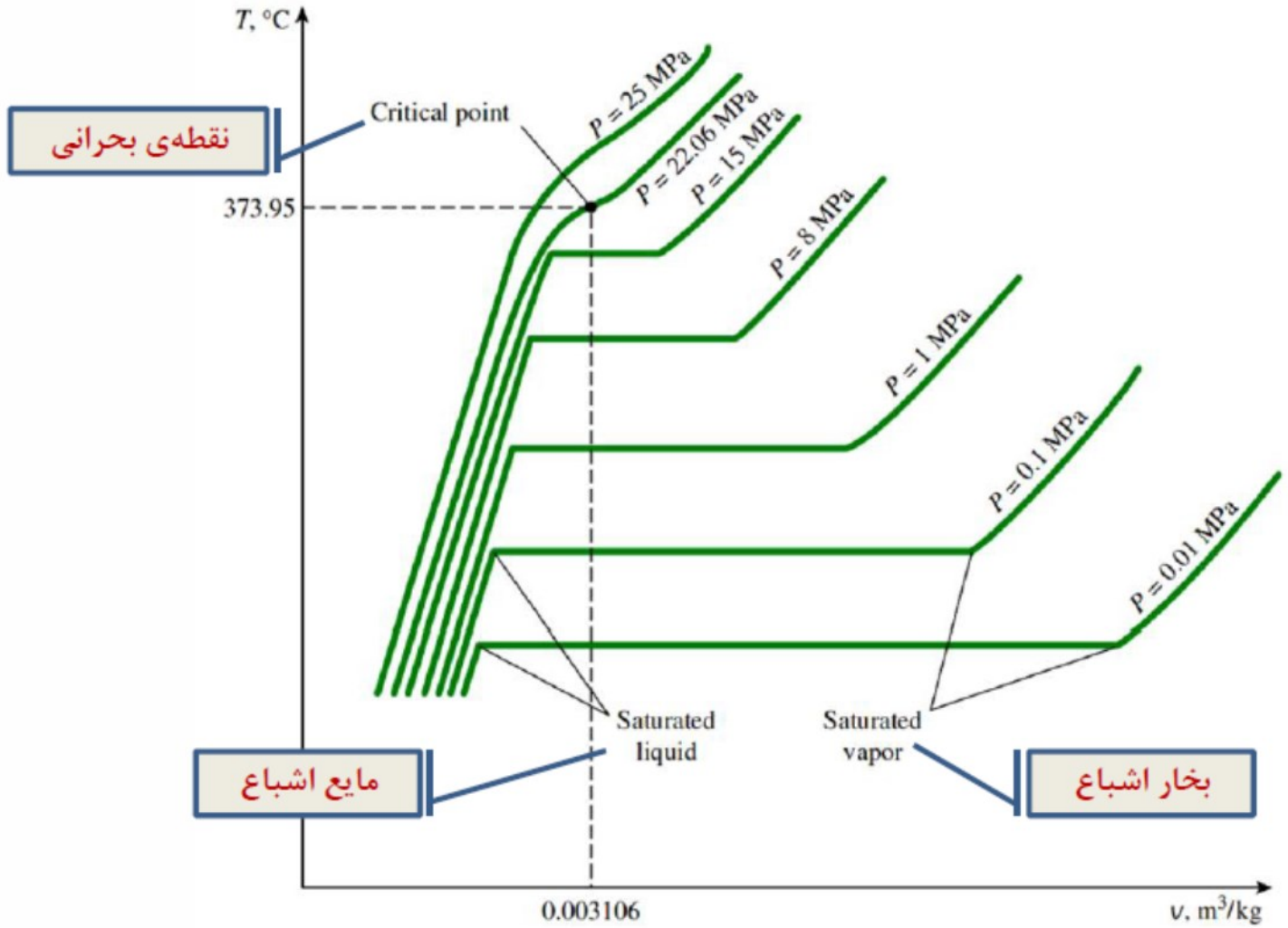
تغییرات دما و فشار اشباع در مقابل یکدیگر

توضیحاتی در خصوص تغییرات دمای اشباع و ارتفاع و همچنین اثرات تغییر فشار در تجهیزات تبرید ارائه گردد.

٤- نمودارهای خواص برای فرآیندهای تغییر فاز

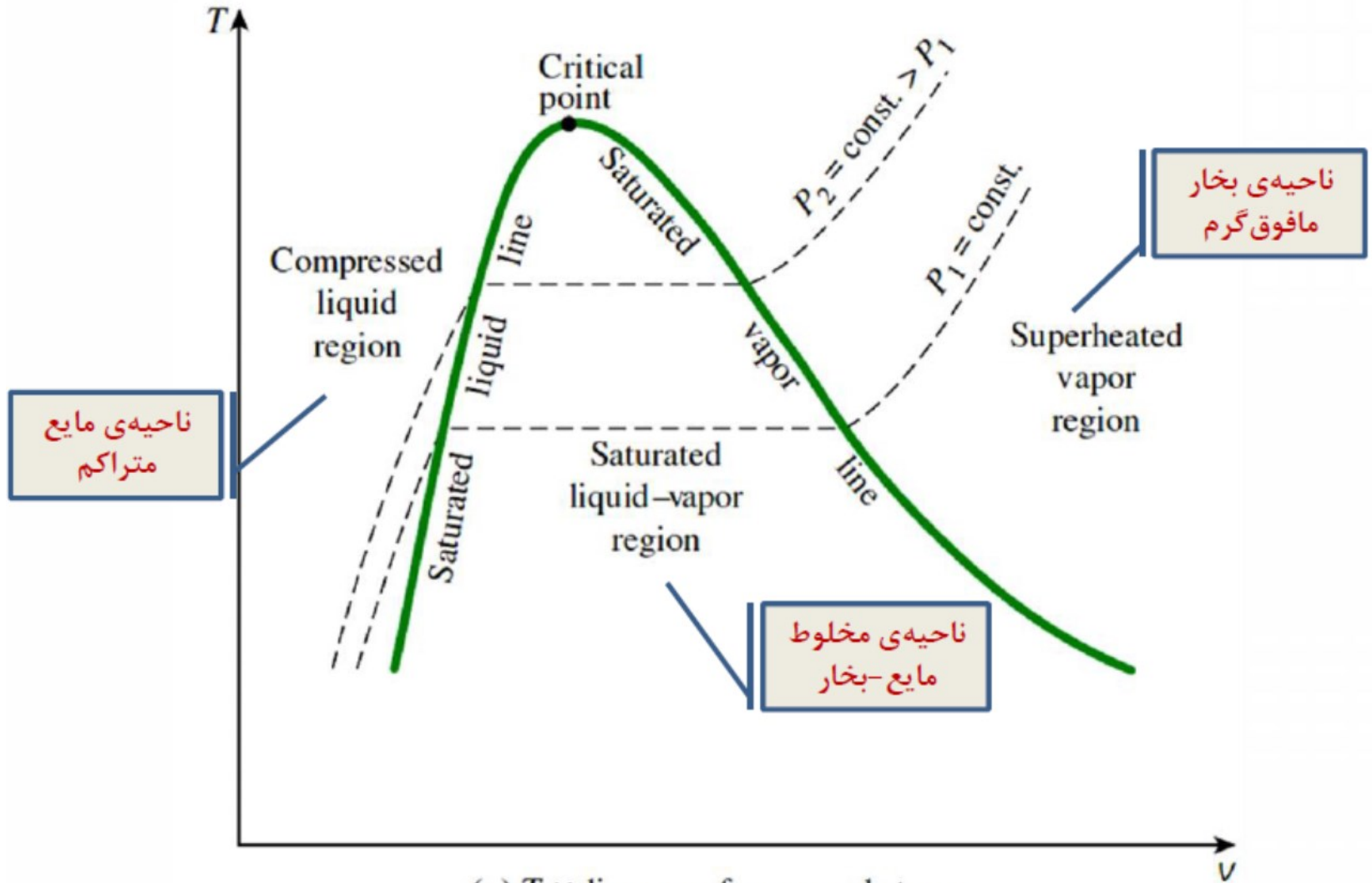
•نمودار دما-حجم مخصوص (T-v)

•قبلاً نمودار دما-حجم مخصوص را برای فرآیند تغییر فاز آب در یک فشار را ارائه کردیم.



٤- نمودارهای خواص برای فرآیندهای تغییر فاز

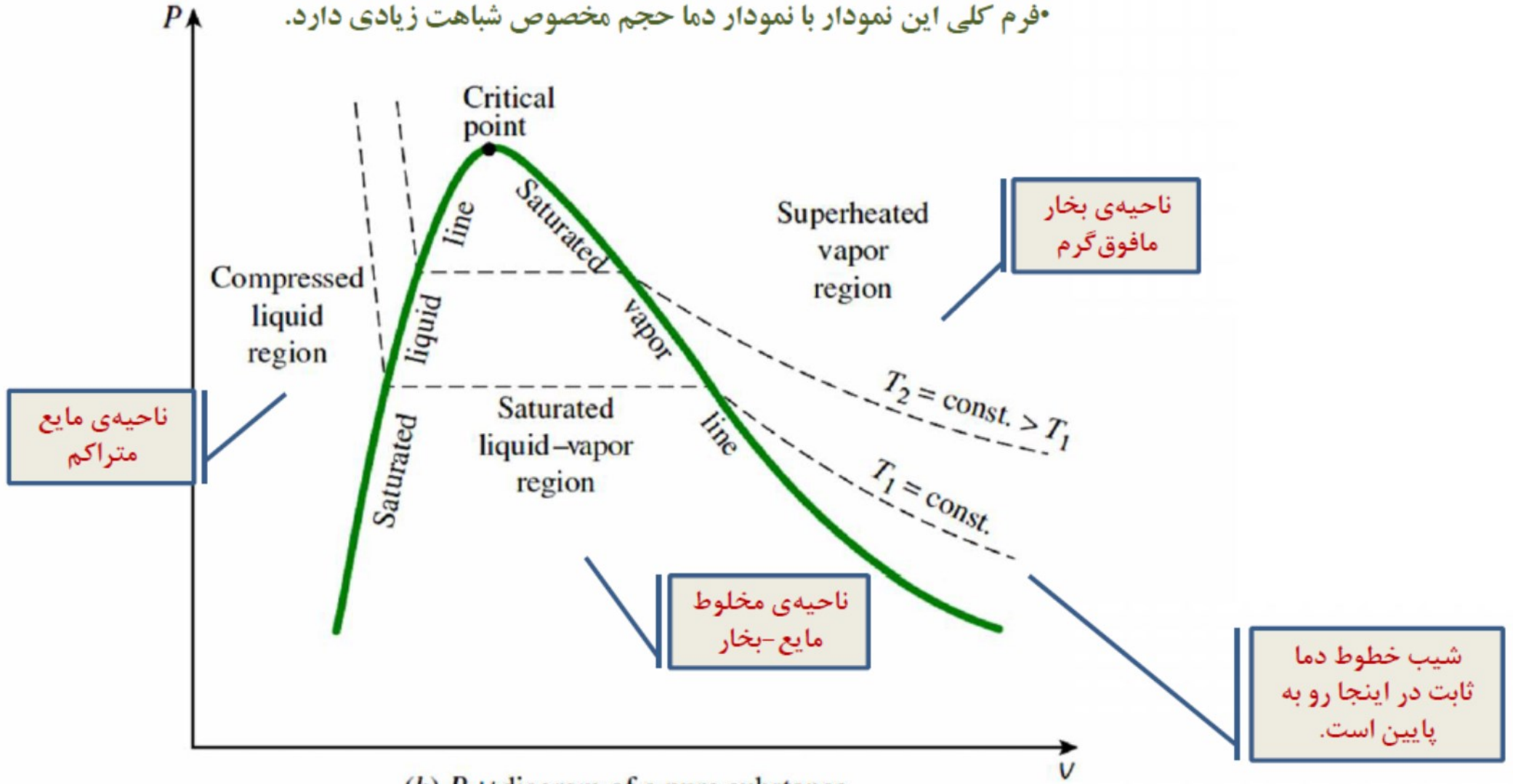
- نمودار دما-حجم مخصوص (ادامه)
- مقادیر دما و فشار در نقطه‌ی بحرانی را فشار و دمای بحرانی می‌نامند.



(*a*) *T*-*v* diagram of a pure substance

٤- نمودارهای خواص برای فرآیندهای تغییر فاز

- نمودار فشار-حجم مخصوص (P-v)
- فرم کلی این نمودار با نمودار دما حجم مخصوص شباهت زیادی دارد.



(b) P-v diagram of a pure substance

۵- جداول خواص (Property tables)

- مقدمه

- برای بیشتر مواد، ارائه‌ی روابطی که بتوان مشخصات آنها را تعیین نمود بسیار دشوار است.
- همچنین اندازه‌گیری برخی خواص نیز به‌سادگی امکان‌پذیر نیست.
- به همین منظور خواص مواد در جداولی ارائه می‌گردد.
- نحوه‌ی تعیین یک مشخصه از روی جدول با استفاده از سایر مشخصات در اینجا آموزش داده می‌شود.
- برای هر ماده، نیاز است تا جداول برای فازهای مختلف و SI و انگلیسی ارائه گردد.

۵- جداول خواص (Property tables)

•آنتالپی-خاصیت ترکیبی (Enthalpy)

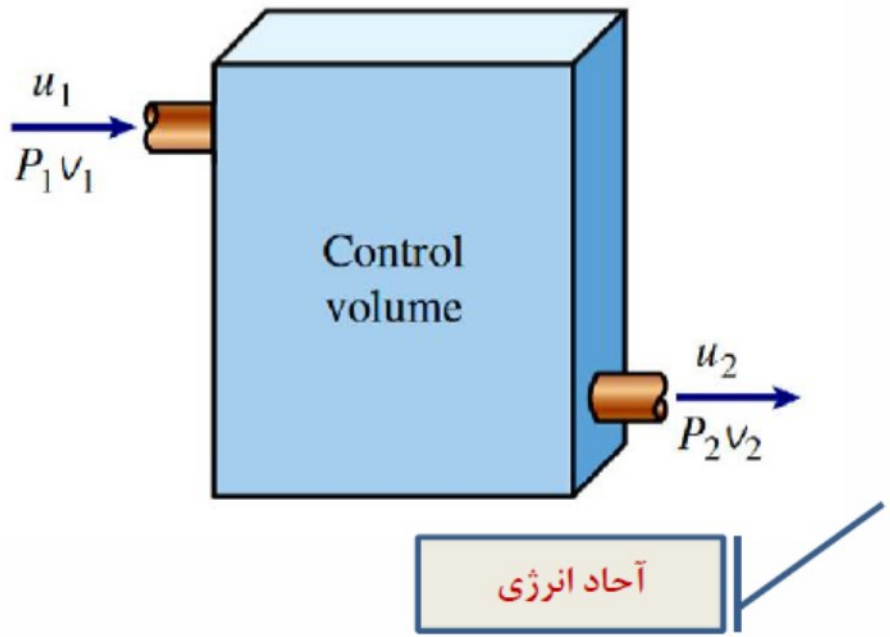
•در جداول انتهای کتاب، دو خاصیت جدید را مشاهده می‌کنید: آنتالپی و انتروپی

•انتروپی را با استفاده از قانون دوم ترمودینامیک و در آینده تعریف خواهیم نمود.

•خاصیت جدیدی به نام آنتالپی تعریف شده و آن را با H نمایش می‌دهیم.

$$h = u + Pv \quad \text{(kJ/kg)} \qquad H = U + PV \quad \text{(kJ)}$$

•با این خاصیت در تحلیل‌های حجم کنترل آشنا خواهیم شد.



$kPa \cdot m^3 \equiv kJ$

$kPa \cdot m^3/kg \equiv kJ/kg$

$bar \cdot m^3 \equiv 100\ kJ$

$MPa \cdot m^3 \equiv 1000\ kJ$

$psi \cdot ft^3 \equiv 0.18505\ Btu$

۵- جداول خواص (Property tables)

•حالت مایع اشباع و حالت بخار اشباع

- •خواص آب بعنوان یک ماده‌ی خالص در دو حالت مایع اشباع و بخار اشباع در جداول A-4 و A-5 ارائه شده است.
- •اولی بر حسب دما و دومی بر حسب فشار مرتب شده‌اند.
- •اندیس f برای فاز مایع اشباع و اندیس g برای فاز بخار اشباع بکار می‌رود.
- •اندیس fg نیز نشان دهنده‌ی اختلاف بین مقادیر یک خاصیت در دو فاز مایع اشباع و بخار اشباع است.
- •بعنوان مثال:

v_f = specific volume of saturated liquid

v_g = specific volume of saturated vapor

v_{fg} = difference between v_g and v_f (that is $v_{fg} = v_g - v_f$)

۵- جداول خواص (Property tables)

- حالت مایع اشباع و حالت بخار اشباع (ادامه)
- نحوه‌ی استفاده از جداول:

Temp. °C T	Sat. press. kPa P_{sat}	Specific volume m^3/kg Sat. liquid v_f	Sat. vapor v_g
85	57.868	0.001032	2.8261
90	70.183	0.001036	2.3593
95	84.609	0.001040	1.9808

Specific temperature

Corresponding saturation pressure

Specific volume of saturated liquid

Specific volume of saturated vapor

۵- جداول خواص (Property tables)

- مثال (تعیین فشار مایع اشباع)
  - یک تانک صلب حاوی ۵۰ کیلوگرم آب مایع اشباع در دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است. فشار داخل تانک و حجم تانک را تعیین کنید.
- حل:
  - با استفاده از جدول A-4، فشار اشباع متناظر با دمای داده شده را تعیین می کنیم.

$$P = P_{\text{sat @ 90°C}} = \mathbf{70.183\ kPa}$$

  - حجم مخصوص آب مایع اشباع در دمای ۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد عبارت است از:

$$v = v_{f\ @\ 90°C} = 0.001036\ \text{m}^3/\text{kg} \quad \text{(Table A-4)}$$

  - بنابراین حجم کل تانک برابر است با:

$$V = mv = (50\ \text{kg})(0.001036\ \text{m}^3/\text{kg}) = \mathbf{0.0518\ m^3}$$

۵- جداول خواص (Property tables)

•مخلوط اشباع مایع-بخار (Saturated liquid-vapor mixture)

•در فرآیند تبخیر، قسمتی از ماده بصورت مایع و قسمتی از آن بصورت بخار وجود خواهد داشت.

•برای تحلیل پنین مسائلی نیاز است تا نسبت دقیق این دو فاز را در حالت مخلوط بدانیم.

•به همین دلیل یک خاصیت جدید به نام کیفیت (quality) معرفی می‌گردد.

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

جرم بخار

جرم کل

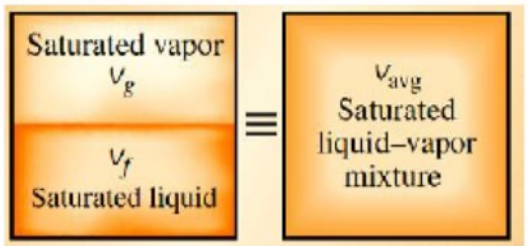
•که در آن:

$$m_{\text{total}} = m_{\text{liquid}} + m_{\text{vapor}} = m_f + m_g$$

•مقدار x همواره بین صفر و یک است. (آن را با درصد هم نشان می‌دهند.)

•این مقدار برای مایع اشباع صفر و برای بخار اشباع یک می‌باشد.

•بر اساس تعاریف فصل گذشته، فرض می‌کنیم که مخلوط مایع و بخار اشباع بصورت همگن وجود دارد.



۵- جداول خواص (Property tables)

•مخلوط اشباع مایع-بخار (ادامه)

•تانکی را که حاوی مخلوط مایع-بخار در حالت اشباع است در نظر بگیرید.

•حجم کل تانک برابر است با مجموع حجم مایع اشباع و بخار اشباع:

$$V = V_f + V_g$$

$$V = mv \longrightarrow m_t v_{avg} = m_f v_f + m_g v_g$$

$$m_f = m_t - m_g \longrightarrow m_t v_{avg} = (m_t - m_g) v_f + m_g v_g$$

•با تقسیم کردن بر m_t خواهیم داشت:

$$v_{avg} = (1 - x) v_f + x v_g$$

$$v_{avg} = v_f + x v_{fg} \quad (m^3/kg)$$

•و یا:

•در حالی که: $v_{fg} = v_g - v_f$

•بنابراین:

$$x = \frac{v_{avg} - v_f}{v_{fg}}$$

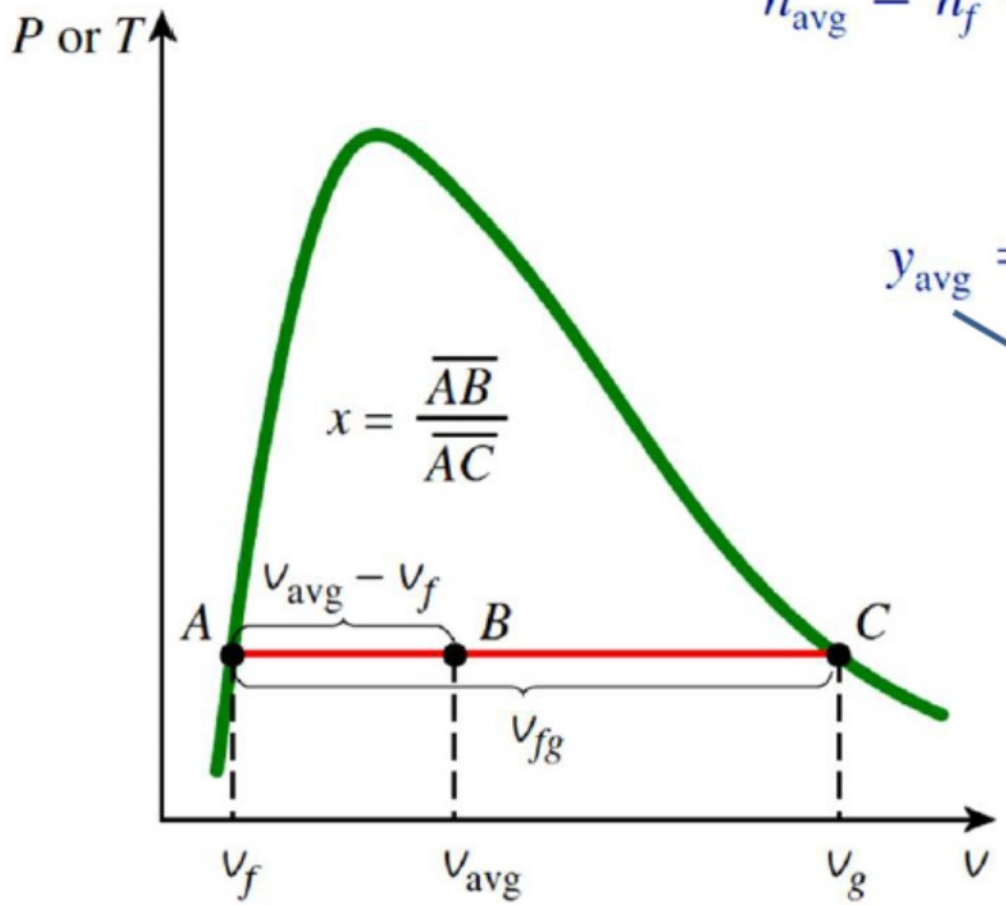
•یعنی می‌توان کیفیت را بر مبنای فاصله‌ی افقی روی نمودار P-υ و T-υ تعیین نمود.

۵- جداول خواص (Property tables)

- مخلوط اشباع مایع-بخار (ادامه)
- چنین تحلیلی را می‌توان برای انرژی داخلی و آنتالپی نیز بیان نمود:

$$u_{\text{avg}} = u_f + xu_{fg} \quad \text{(kJ/kg)}$$

$$h_{\text{avg}} = h_f + xh_{fg} \quad \text{(kJ/kg)}$$



$$y_{\text{avg}} = y_f + xy_{fg}$$

شکل کلی معادله

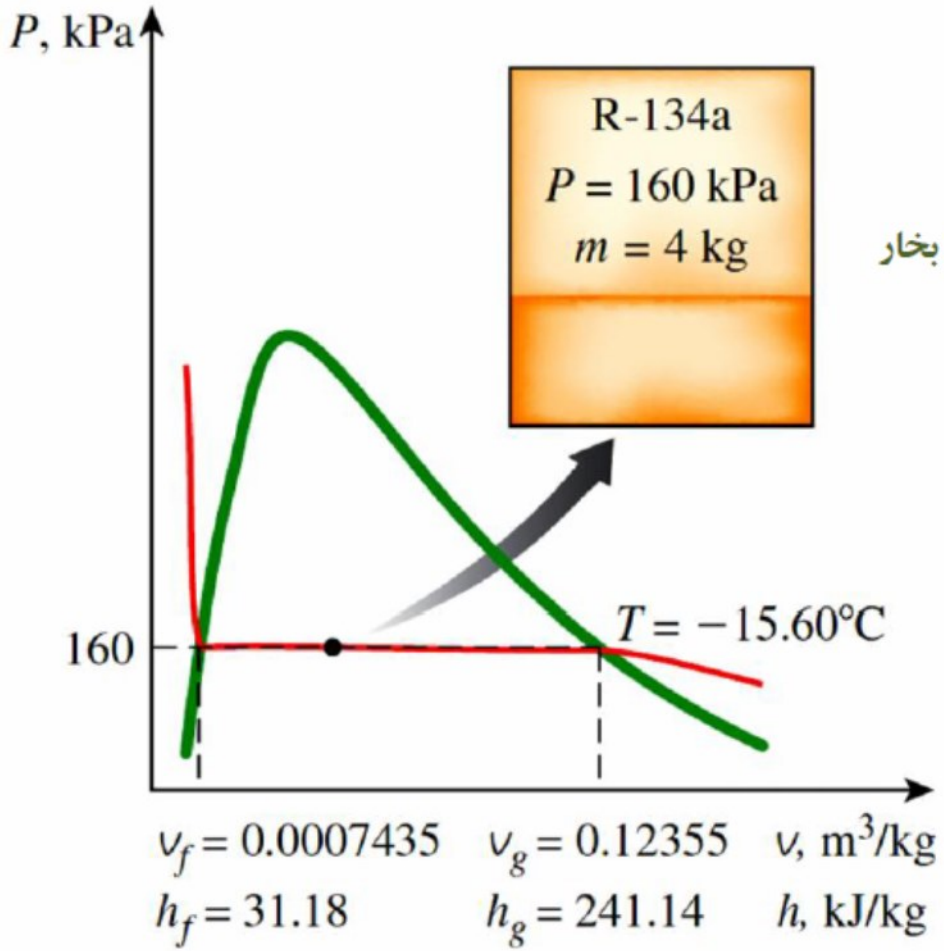
۵- جداول خواص (Property tables)

- مثال(خواص مخلوط اشباع مایع-بخار)
  - محفظه‌ای به حجم ۸۰ لیتر حاوی ٤ کیلوگرم مبرد 134a در فشار ۱٦۰ کیلوپاسکال است.

مطلوب است:

- الف) دمای مبرد
- ب) کیفیت
- ج) آنتالپی مبرد
- د) حجم اشغال شده توسط فاز بخار

- حل
  - الف)



۵- جداول خواص (Property tables)

•حل

•الف) هنوز نمی‌دانیم فاز مبرد چیست. بنابراین ابتدا حجم مخصوص را محاسبه می کنیم:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.080\ \text{m}^3}{4\ \text{kg}} = 0.02\ \text{m}^3/\text{kg}$$

•در فشار ۱۶۰ کیلوپاسکال از جدول A-12 داریم:

$$v_f = 0.0007435\ \text{m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 0.12355\ \text{m}^3/\text{kg}$$

•مقدار حجم مخصوص بدست آمده در این مسئله بین حجم مخصوص مایع اشباع و بخار اشباع است. بنابراین حالت ماده‌ی خالص بصورت مخلوط اشباع می‌باشد.

$$T = T_{\text{sat @ 160 kPa}} = -15.60°\text{C}$$

•ب) کیفیت نیز برابر است با:

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.02 - 0.0007435}{0.12355 - 0.0007435} = 0.157$$

۵- جداول خواص (Property tables)

•حل (ادامه)

•ج) آنتالپی مبرد:

•در جدول A-12 مقادیر h_f و h_{fg} برابر است با:

$$h_f = 31.18 \text{ kJ/kg} \quad h_{fg} = 209.96 \text{ kJ/kg}$$

•بنابراین:

$$\begin{aligned} h &= h_f + xh_{fg} \\ &= 31.18 \text{ kJ/kg} + (0.157)(209.96 \text{ kJ/kg}) \\ &= \mathbf{64.1 \text{ kJ/kg}} \end{aligned}$$

•د) حجم اشغال شده توسط فاز بخار:

•جرم بخار

$$m_g = xm_t = (0.157)(4 \text{ kg}) = 0.628 \text{ kg}$$

•بنابراین حجم اشغال شده توسط فاز بخار برابر است با:

$$V_g = m_g v_g = (0.628 \text{ kg})(0.12355 \text{ m}^3/\text{kg}) = \mathbf{0.0776 \text{ m}^3} \text{ (or 77.6 L)}$$

•و بقیه‌ی حجم که ۲/٤ لیتر است توسط آب مایع اشغال شده است.

۵- جداول خواص (Property tables)

•بخار فوق گرم (Superheated vapor)

•در ناحیه‌ی سمت راست خط بخار اشباع، ماده بصورت بخار فوق گرم است.

•در این ناحیه ماده بصورت تک‌فاز وجود داشته و از دما وفشار می‌توان بعنوان دو خاصیت مستقل استفاده نمود.

T,°C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg
	P = 0.1 MPa (99.61°C)		
Sat.	1.6941	2505.6	2675.0
100	1.6959	2506.2	2675.8
150	1.9367	2582.9	2776.6
⋮	⋮	⋮	⋮
1300	7.2605	4687.2	5413.3
	P = 0.5 MPa (151.83°C)		
Sat.	0.37483	2560.7	2748.1
200	0.42503	2643.3	2855.8
250	0.47443	2723.8	2961.0

دمای اشباع متناظر با هر فشار در داخل پرانتز ارائه شده است.

بخار فوق گرم به‌صورت زیر مشخص می‌گردد:

Lower pressures ($P < P_{sat}$ at a given T)

Higher tempreatures ($T > T_{sat}$ at a given P)

Higher specific volumes ($v > v_g$ at a given P or T)

Higher internal energies ($u > u_g$ at a given P or T)

Higher enthalpies ($h > h_g$ at a given P or T)

۵- جداول خواص (Property tables)

- مثال (تعیین دمای بخار فوق گرم)
  - دمای آب را در حالتی که فشار آن برابر ۰/۵ مگاپاسکال و آنتالپی آن معادل ۲۷۴۸/۷ کیلوژول بر کیلوگرم است را تعیین کنید.
- حل:
  - در فشار نیم مگاپاسکال، آنتالپی بخار آب اشباع برابر است با: $h_g = 2748.1\ \text{kJ/kg}$
  - که این آنتالپی از h_g بزرگتر است.
  - بنابراین بخار فوق گرم داریم.با استفاده از جدول A-6:

T, °C	h, kJ/kg
200	2855.8
250	2961.0

- پس دمای نهایی می‌بایست بین ۲۰۰ و ۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد.
- با استفاده از درون‌یابی خطی (Linear interpolation) خواهیم داشت:

$$T = 216.3°\text{C}$$