

[www.Prozheha.ir](http://www.Prozheha.ir)

## بنزوه عطیات واحد II

*Unit Operations* in Chemical Engineering<sup>(II)</sup>

استاد مربوطه: مهندس صا به میان

وبسایت انجمن مهندسی دانشه ویان ایران

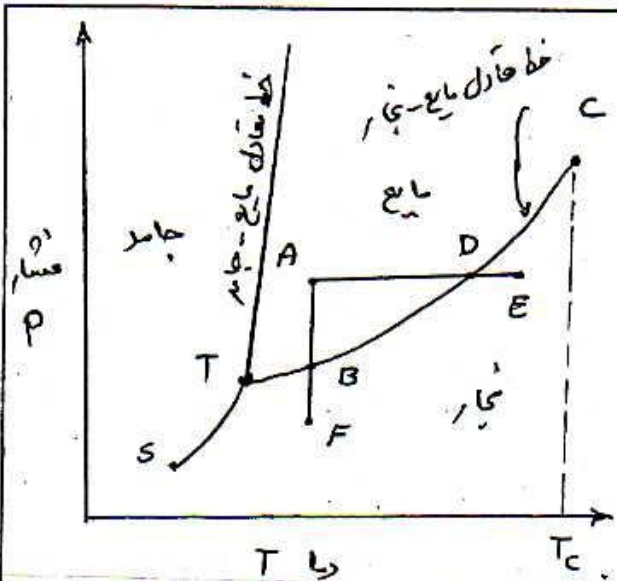
### عملیات مخلوط سازی :

در عملیات مخلوط سازی باید انتقال دیم و انرژی داریم که گاز از مرز بین دو گاز عبور می کند - در این عملیات یک انتقال بین یک گاز نامحلول و یک مایع خاص می باشد - عملیات مخلوط سازی شامل مخلوط سازی گاز ، یا عدم مخلوط سازی (خشک کردن) گاز می باشد همچنین شامل فرایند خشک کردن گاز یا اندازه گیری مقدار بخار موجود در گاز یا خشک کردن مایع در عبور از دیواره می باشد

در تمام این موارد لازم است که مشخصات تقارنی سطح را بدانشیم نکته دیگر در مورد این سطح ها این است که انتقال حرارت هم باید صورت همزمان انجام می گیرد و این دو انتقال به حدتیر وابسته اند و در صورت وجود یک انتقال حرارت خوب ، ما انتقال جرم مناسب خواهیم داشت

تبادل بخار - مایع و انتقالی برای یک ماده خاص ،  
 مایعات فسار تقارنی دارند که مقدار آن مایع در حرارت و نوع مایع است ، این فسار را فسار بخار می نامند ، نمودار فسار بخار برای هر ماده ای تبانی است ، همانطور که در نمودار نسک داده شده ، نمودار دارای دو منطقه می باشد ، منطقه ای که ماده در حالت بخار بخار و در حالت فاز مایع می باشد

یادآوری : اگر یک ماده خاص در حالت بخار باشد (نقطه F) بعد در دمای ثابت بیاییم آنرا سرد کنیم ، در نقطه B تمام بخار مایع می شود



عنی با ایجاد نیروی بربر برای مایع  
برون فشار - تنها ، ۲۶ می رود بلکه  
حجم کاهش پیدا کرده تغییر فاز اتفاق  
می افتد پس بخار مایع می گردد .

از نقطه B که مایع اشباع داریم افزایش  
فشار در دمای ثابت ما را به نقطه

A می برد . حال اگر در این فشار بمانیم ، دما را  
افزایش دهیم ، مجدداً می توانیم تغییر فاز را مشاهده کنیم (نقطه P) ، ...  
تناسب (مبانی پایه) بین دانه ها :

برای بربر مایعات فقط مقدار محدودی از دانه ها با هم متناسب هستند و صند ما  
از همین مقدار محدود دانه بزرگتر برای درون مای و بیرون مای و بدست آوردن نقطه نقاط  
استفاده می کنیم . اگر برای درون مای و بیرون مای از روش درون مای خطی استفاده کنیم  
دانه های که بدست می آید خیلی کم مرتبط خواهند شد .

به همین دلیل پیشنهاد شد که از معادله کلاپرون - کلازیوس استفاده کنیم

$$\frac{dp}{dT} = \frac{h'}{T(v_g - v_l)}$$

که  $v_g$  و  $v_l$  حجم مولی ویژه برای  
بخار و مایع اشباع می باشد و  $h'$  مقدار گرمای نهان درجه مولی

آر از حجم مایع در مقابل حجم گاز صرف نظر کنیم و فرض کنیم که قانون گازهای ایده آل در مقدار  
 آنها صادق باشد، در این صورت به توان نوشت:

$$d \ln p = \frac{dp}{p} = \frac{\lambda' dT}{T(RT)} \quad ; \quad v = v_g - v_l = \frac{P}{RT}$$

مقدار  $\lambda'$  برای تغییر کم (یا تقریباً ثابت) باشد

پس به توان نوشت  $\Rightarrow \ln p = -\frac{\lambda'}{RT} + \text{Const.}$  اندازه گیری

رسم  $\ln p$  بر حسب  $1/T$  یک خط مستقیم (برای یک بازه دما)

شکل ۲-۱

Reference - Substance plots ( رسم حجم مربع )

$$\left. \begin{aligned} d \ln p &= \frac{dp}{p} = \frac{\lambda' T}{RT^2} \\ d \ln p_r &= \frac{dp_r}{p_r} = \frac{\lambda'_r dT}{RT^2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{d \ln p}{d \ln p_r} = \frac{\lambda'}{\lambda'_r} = \frac{M \lambda}{M_r \lambda_r}$$

$$\ln p = \frac{M \lambda}{M_r \lambda_r} \ln p_r + \text{Const.}$$

شکل ۲-۲

الف) فشار بخار متیلن را در دماهای ۱۵°C تا ۱۸°C در حالی که آب جسم مرجع است را رسم

کنید. ب) فشار بخار متیلن را در دماهای ۱۵°C تا ۱۸°C در حالی که آب متیلن

را در ۲۵°C نسبت آورید.

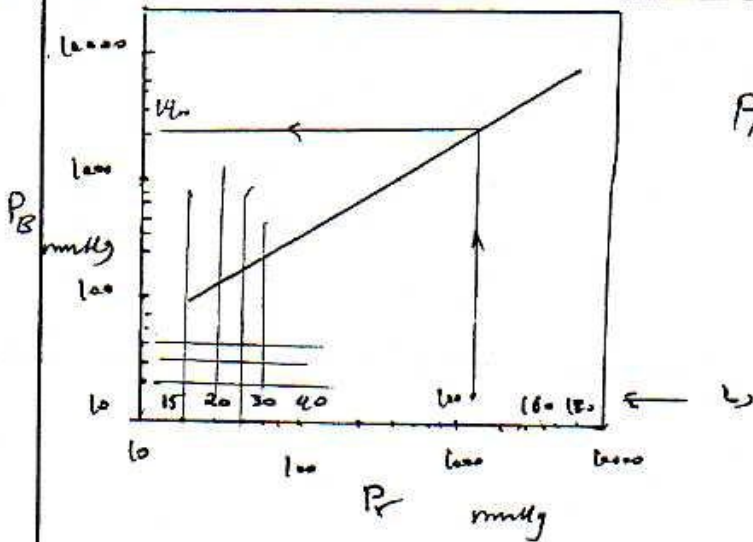
یک دایه مابین 15 تا 18 انتخاب کرده به جدول ترانسپازیشن درج کرده فشار

تجربه هر کدام را بدست می آوریم  $T = 15.4^{\circ}C \rightarrow P_B = 80 \text{ mmHg}$

$$P_r = 13.1 \text{ mmHg}$$

برای صیقل دایه در هر دم اندازه ای از جدول بدست آورده و مختار  $P - P_r$  (ط (ب))

نارسم می کنیم. در یک کاغذ  $\log - \log$



جد (ب) از روی مختار  $P_B - P_r$

دایه  $100^{\circ}C$  را که مناسب

تایید مختار است پیدا کرده و مطابق

شکل  $P_B$  (فشار برین) را

از روی مختار بدست می آوریم که

برای  $1400 \text{ mmHg}$  مناسب است.

حل قناری - در  $25^{\circ}C$  شیب خط رسم شده برابر 0.775 است

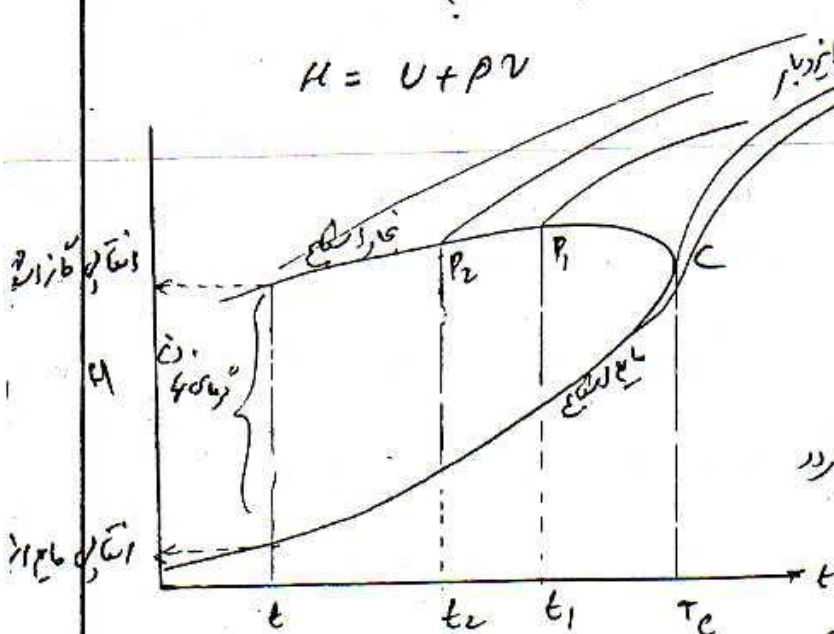
$$\text{slop} = \frac{\Delta \log P}{\Delta \log P_r} = 0.775 \quad \therefore \frac{M_A}{M_r A} = 0.775$$

$$25^{\circ}C \Rightarrow \lambda_r = 2443 \text{ Ks/Kg} \quad \therefore M = 78, \quad M_r = 18$$

$$\Rightarrow \lambda = 437 \text{ Ks/Kg} \quad :$$

آنتالپی: به مقدار کمی انرژی موجود در ماده که به خاطر وضعیت شیمی و حرکت مولکولها و اتمهای سازنده خود دارد است را انرژی داخلی گویند. چون مقدار مطلق انرژی داخلی قابل اندازه گیری نیست، که ترا نسبت به یک مبنای حرکت داخلی اندازه گیری می کنند و آنرا آنتالپی به مجموع انرژی داخلی با حاصل ضرب فشار در حجم ماده گویند

$$H = U + PV$$



حقیقتاً در این حالت برای  
آرایش پیدا می کند مدارهای بنای  
تجهیزات که حاصل می کنند  
در روی برای مقدار گرمای بنای صورتی آرد

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_p \rightarrow \text{گرمای خاص}$$

$$\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right) = C \rightarrow \text{گرمای کل}$$

سال  $v-c$  برای حالتی که مقدار  $10^4$  بزرگترین سرعت بخار فوق العاده است  
در  $94 \text{ mmHg}$  و  $100^\circ\text{C}$  ما هر دو کنیم و به سرعت  $10^\circ\text{C}$  در فشار ثابت  
در آزمون را، مقدار حرارت آزاد شده را بدست آورید، ظرفیت حرارتی متوسط بخار  $1.256$   
در  $100^\circ\text{C}$   $1.507$  است.

ابتدا بخار فوق اشباع (سوپر هیت) با از دست دادن حرارت تبدیل به بخار اشباع مایع (در دمای 94) بخار اشباع مایع تبدیل به بخار اشباع مایع می شود و پس از آن انتقال حرارت

از مایع سوپر هیت تبدیل شدن به مایع اشباع Subcooled مایع سرد

با مراجعه به دیاگرام مایع ۲-۷ در فشار ۹۴ torr در دمای اشباع مایع اشباع (دمای اشباع)

در دمای اشباع  $t_{d.p} = t_{b.p} = 25^{\circ}C$  و  $h = 434 \text{ kJ/kg}$

$H_1 - H_2 = C(t_1 - t_2) = 1.256(100 - 25) = 94.2 \text{ kJ/kg}$

$H_2 - H_3 = 434 \text{ kJ/kg}$  تغییر فاز

$H_3 - H_4 = C(t_3 - t_4) = 1.507(25 - 10) = 22.6 \text{ kJ/kg}$

$H_1 - H_4 = 550.8 \text{ kJ/kg}$  و  $Q = n \Delta H = 550.8 \text{ kJ}$

مخلوط بخار-مایع (دو فازی) Vapor-Gas mixture

بخار A ← نزدیک نقطه اشباع است (مایل آبی) } قرار دارد  
 گاز B ← به شدت سوپر هیت است و می توان فرض کرد که در این شرایط امکان

گذاشتن شدن آن وجود ندارد

رطوبت مطلق (absolute humidity) :

در یک مخلوط گاز و بخار خونی نقطه مقدار بخار تغییر کند و مقدار گاز ثابت باشد

بماند که در آن با استفاده از ولدری مویک (مشارخما، فرمولی...) غنظت را نسبت به کل بیان

کرد ولی نسبت از ولدری استفاده کرد که مقدار بخار را نسبت به مقدار نامتن گاز بیان کند.

از جمله واحدهایی که برای بیان غنقت بخار بکار می‌آورد، رطوبت مطلق  $\gamma$  است که بر مبنای

نسبت جرم بخار به جرم گاز زنی باشد. آری صورت نسبت مولی دو ماده بر هم بیاید شود، بنام رطوبت

$$\gamma = \frac{y_A}{y_B} = \frac{P_A}{P_B} = \frac{P_A}{P_t - P_A} \frac{\text{moles A}}{\text{moles B}} \quad (\gamma)$$

$$\gamma' = \gamma \frac{M_A}{M_B} = \frac{P_A}{P_t - P_A} \frac{M_A}{M_B} \frac{\text{mass A}}{\text{mass B}}$$

(- مخلوط اسیب بخار - گاز

شرط داشتن مخلوط اسیب این است که به مخلوط زمان لازم داده باشیم تا بخار با سیب

به تعادل رسیده باشد و با اینکه اگر فشار فیزیکی بخار A در مخلوط گاز بخار برابر با فشار بخار

A حاصل در دمای مخلوط باشد.

$$\gamma_s = \frac{P_A^*}{P_t - P_A^*} \quad \gamma'_s = \gamma_s \left( \frac{M_A}{M_B} \right)$$

$\gamma_s$  به ضریب بخار (A) و درجه حرارت بستگی دارد و ضریب گاز (B)

در آن اثری ندارد. ولی در  $\gamma'_s$  ضریب (نوع) B هم تاثیر دارد.

نکته: اگر در دمای مخلوط  $P_A < P_A^*$  باشد در این صورت مخلوط بخار - گاز غیر اسیب است

(- مخلوطی اسیب شده - گاز و بخار:  $P_A < P_A^*$ )

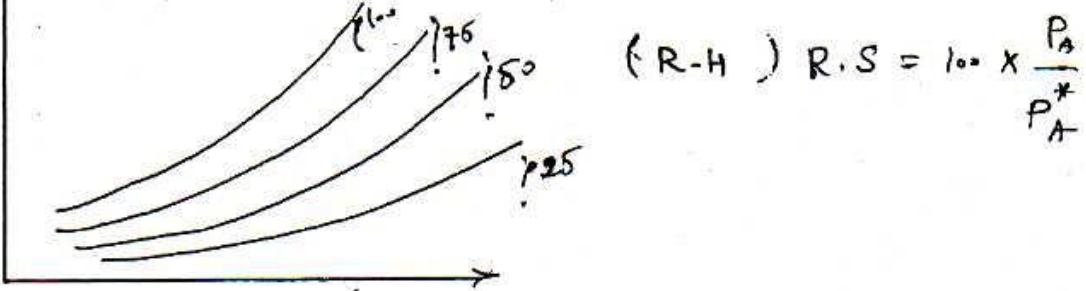
درجه حرارت خشک (Dry Bulb temp.)

درجه حرارتی که با قرار دادن یک وسیله تهویه در مخلوط بخار و گاز تعیین می‌شود درجه حرارت



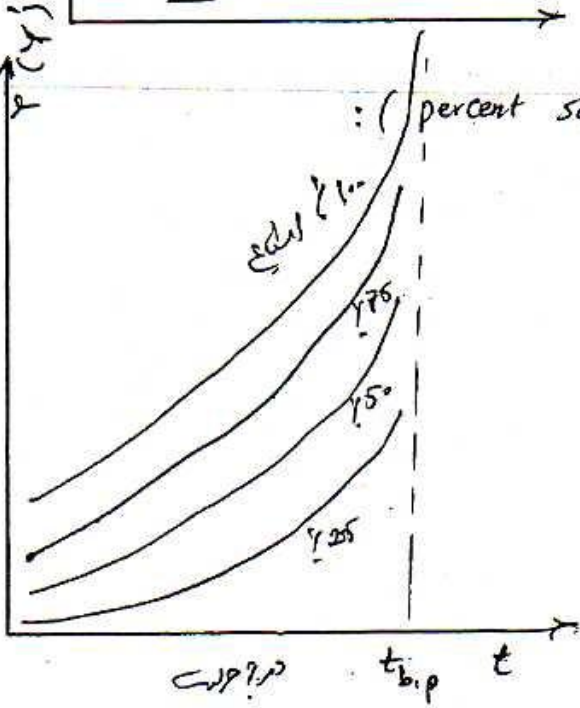
نسبت نسبی - رطوبت نسبی (relative saturation) :

به نسبت فشار جزئی بخار و فشار بخار آب در دمای مخلوط - رطوبت نسبی نوشته



درصد رطوبت (درصد رطوبت) (percent saturation) :

درصد رطوبت مطلق یا درصد رطوبت برابری است



$$P.S = 100 \times \frac{Y}{Y_s}$$

$$P.S = 100 \times \frac{Y'_s}{Y'_s}$$

که در آن  $Y_s$  و  $Y'_s$  در دمای جوش است و  $Y$  و  $Y'_s$  در دمای دیگر است

نکته: در توان مقدار بخار موجود در مخلوط را باید

مورد حساب کرد

نکته: نمودار  $Y-t$  در یک فشار ثابت رسم شده و با تغییر فشار می توان نمودار

م تغییر می کند -

نقطه شبنم: (Dew point)

فشاری مخلوط اشباع نشده گاز و بخاری را در فشار ثابت و بدون مجاورت آن با مایع نگه داریم تا آنکه به درجه حرارتی خواص رسید که مخلوط فوق به حالت اشباع درآید. این درجه حرارت را نقطه شبنم این مخلوط در فشار مربوط می نامند.

حجم مرطوب (Humid volume)  $v_H$

حجم مخلوط با زنی یک واحد حجم گاز خشک را گویند.

$$v_H = \left( \frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right) (273 - t_G) \left( \frac{t_G + 273}{273} \right) \left( \frac{1.013 \times 10^5}{P_t} \right)$$

$$= 8314 \left( \frac{1}{M_B} + \frac{Y'}{M_A} \right) \frac{t_G + 273}{P_t}$$

با فرض گاز ایده آل

که  $P_t$  بر حسب بار مطلق،  $t_G$  بر حسب سلسیوس و  $v_H$   $[m^3/kg]$

نشان از محاسبه بالا برای بدست آوردن حجم مرطوب یک مخلوط اشباع و تعیین یک گاز خشک استفاده

کرد نقطه کفیت در محاسبه به جای  $Y'$  به ترتیب  $Y'_S$  (رطوبت مطلق جوی)

اشباع) و هنوز (رطوبت به گاز خشک) را آورده اند.

$$Y' = 0, \quad v_{H_0} = f_1(t_G) \quad , \quad P_t = \text{const}$$

$$Y' = Y'_S, \quad v_{H_{100}} = f_2(t_G)$$

$$\frac{v_H - v_{H_0}}{v_{H_{100}} - v_{H_0}} = \frac{P.S.}{100}$$

گازسی

حرارت مرطوب (Humid heat):

مقدار حرارتی که لازم است تا یک واحد حجم از گاز در شرایط همراه آن از یک درجه با ۱۰۰ برود.

نقشه: (مشارکت است)  $Q = w_B C_s \Delta t$  ,  $C_s = C_B + Y C_A$

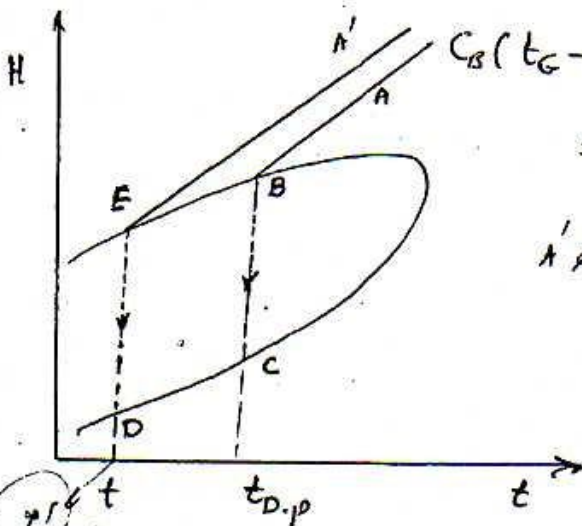
انتالی حباب مرطوب:

انتالی یک مخلوط گاز و بخار برابر است با مجموع انتالی‌های جداگانه گاز و بخارها باشد.

یک کیلوگرم از گازی را که شامل  $Y$  کیلوگرم بخار در درجه حرارت خشک  $t_0$  است را در نظر بگیرید.

اگر مخلوط در حالت اشباع نباشد، بخار در حالت سوبرهفت بوده و می‌توان انتالی مخلوط را نسبت به

سایع اشباع و گاز در  $t_0$  درم سائیداد که در عنوان حالت ساید (مشارکت شده) نامیده کرد.



انتالی گاز در درجه حرارت  $t_0$  برابر  $C_B(t_0 - t_0)$

نقشه: در فشارهای پایین که هوای درجه  $t_0$

مرطوبتری وجود دارد. نقطه A را می‌توان عملاً با نقطه A'

که برحسب مشارکت، نسبت مربوط به مشارک اشباع بخار در

در درجه حرارت  $t_0$  واقع است. به تفاوت و مقدار

خطای کمی هم ایجاد می‌کند.

$\Delta H_{ABCP} = \Delta H_{ABD} = C_A(t_0 - t_0) + \lambda$

بخار در ساید (بخار در ساید)

حرارتی  $t_0$

در صورت  $11 - C_A(t_0 - t_0) + \lambda$

نکته: انتخاب حالت مبدا برای هر کدام از دو ماده گاز در بخار کاملاً اختلاقی است. و در بعضی موارد درج حرارت مبدا برای گاز و بخار متفاوت است.

$$H' = H_B + Y' H_A \quad \text{مبدا واحد گرم گاز خشک}$$

$$H' = C_B (t_G - t_0) + Y' [C_A (t_G - t_0) + \lambda_0]$$

$$H' = (C_B + Y' C_A) (t_G - t_0) + Y' \lambda_0$$

$$H' = C_S (t_G - t_0) + Y' \lambda_0$$

$$H'_S = C_S (t_G - t_0) + Y'_S \lambda_0, \quad Y' = Y'_S \quad \text{در حالت استیجی کامل}$$

$$C_S = C_B + Y'_S C_A \quad \text{و فشار کل ثابت است}$$

مثال ۲ - ۷

یک مخلوط (B) هوا و (A) بخار آب - دارای درج حرارت خشک  $55^\circ\text{C}$  و رطوبت مطلق

$$\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg air}} = 0.03 \quad \text{در فشار } 1 \text{ atm} \quad \text{است. بدم فرضی آنرا به نسبت آورده}$$

$$(Y'_S, P, t_{b.p}, \nu_H, H', P.S)$$

در مخزن در  $Y' = 0.03$  و  $55^\circ\text{C}$  نقطه D را که مابین ممتنع

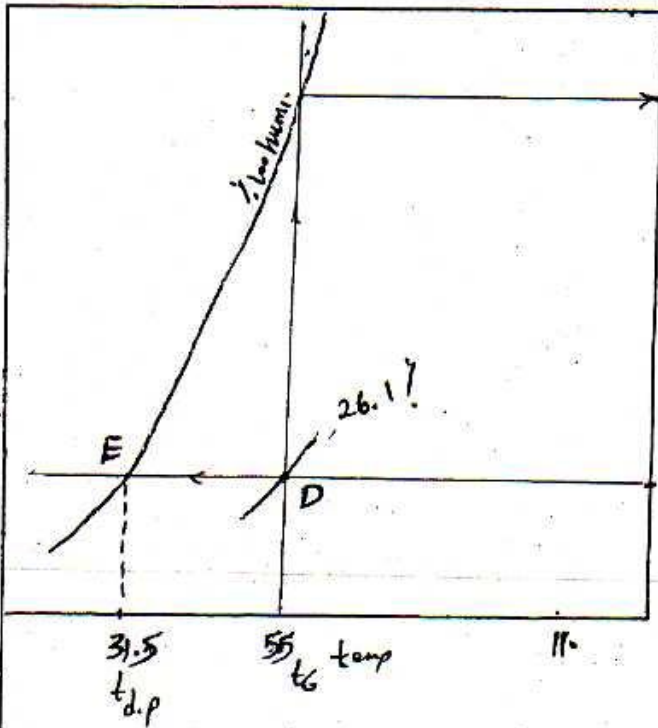
رطوبت نسبی (P.S) 20٪ است را میانه  $55^\circ\text{C}$  - مقدار رطوبت نسبی

$$x_1 = P.S = 1/30, \quad y_1 = t = 52^\circ\text{C}$$

که به فرض رطوبت نسبی است

$$x_2 = 1/20, \quad y_2 = 59.5^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow P.S = 26.1\%$$



از نقطه D اندازه می‌گیریم تا عمود بر 100 را قطع کند آنجا به عنوان مقدار  $Y'_S$  بدست می‌آید.

$Y'_S = 0.115 \text{ kg/kg}$

$P.S = \frac{Y'}{Y'_S} \times 100$

$P.S = \frac{0.03}{0.115} \times 100 = 26.1 \%$

$Y = Y' \left( \frac{M_B}{M_A} \right) = (0.03) \left( \frac{29}{18} \right) = 0.0483 \text{ kgmol H}_2\text{O} / \text{kgmol air}$

$T = \frac{P_A}{P_t - P_A} \Rightarrow P_A = \frac{Y P_t}{1 + Y} = \frac{0.0483 (101.325)}{1 + 0.0483} = 4.668 \text{ kPa}$

$P_t = 101.325 \text{ kPa}$

$t_G = 55^\circ\text{C} \xrightarrow{\text{از جدول}} P_A^* = 118 \text{ mmHg} = 15.730 \text{ kPa}$

$R-H = \frac{P_A}{P_A^*} \times 100 = \frac{4.668}{15.730} \times 100 = 29.60 \%$  (نسبت نسبی)

برای بدست آوردن نقطه اشباع با نسبت گد داشتن مقدار رطوبت نسبی

منوذر از تمام رطوبت نسبی تا جای نقطه اشباع بدست می‌آید که برابر  $t_{d.p} = 31.5^\circ\text{C}$  می‌باشد.

( حجم هوای  $V_H$  )

از روی نمودار رطوبت نسبی مقدار  $V_H$  ( حجم هوای خست ) را در  $55^\circ\text{C}$  می‌توان

مقدار  $v_{H_{max}}$  را نیز برترتبی که گفته شد از روی نمودار رطوبت نسبی برابر حجم ارجاع بدست آورده

که برابر  $v_{H_{max}} = 1.10 \frac{m^3}{kg \text{ dry air}}$  حال با استفاده از مقدار  $v_H$  برابر

رطوبت نسبی  $(p=5)$  ،  $0.261$  بدست می آوریم که برابر است با

$$v_H = 0.93 + (1.1 - 0.93)(0.261) = 0.974 \text{ m}^3 / \text{kg dry air}$$

(مقدار انشائی) ؟

از جدول ۱-۷

$$C_S = C_B + Y' C_A = 1005 + 0.030(1884) = 1061.5 \text{ J for wet air} / (\text{kg dry air})$$

مقدار انشائی هوا خشک و ارجاع را در  $55^\circ\text{C}$  با توجه به نمودار رطوبت نسبی می توان

$$t = 55^\circ\text{C} \Rightarrow H'_0 = 56 \text{ kJ/kg dry air} \quad \text{بدست آورده}$$

$$H'_{100} = 352000 \text{ J/kg dry air}$$

$$H' = H'_0 + (H'_{100} - H'_0)(p=5) = 56000 + (352000 - 56000)(0.261)$$

$$H' = 133300 \text{ J/kg dry air}$$

$$H = (1005 + 1884 Y') t_G + 2502300 Y' \quad (\text{جدول ۱-۷})$$

$$= (1005 + 1884 \times 0.030)(55 - 0) + (2502300)(0.03)$$

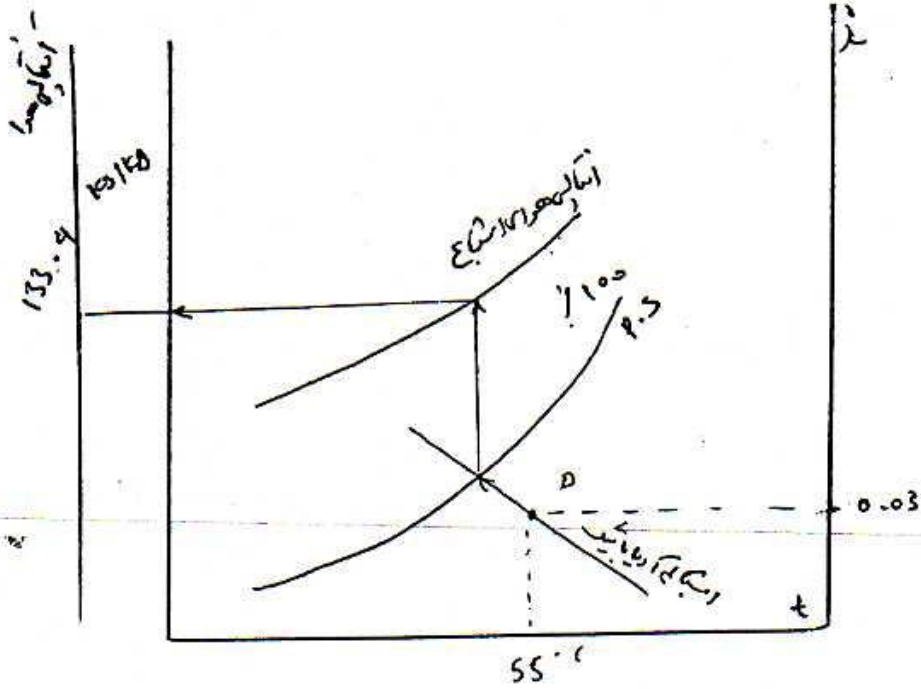
$$= 133.4 \text{ kJ/kg dry air}$$

پس نتیجه: لا تقه  $D$  (آب در  $55^\circ\text{C}$  روی خطوط ارجاع آریا با نسبت حجمی برابر با

به نمودار ۱۰۰٪ رطوبت (humidity ratio) برسم بعد از آنجا به سمت عمود (در راست)

و ... (Kataba Saku ...)

کتاب فروش رادیو کال  
برازجان - دوره ی تامین اجتماعی



adiabatic-saturation curves :

منحنی های اشباع آدیاباتی :

$G'_s$   
 $Y'_1$   
 $H'_1$   
 $t_{G_1}$



$G'_s$  (سطح) (وزن) / (حجم گاز خشک)  
 $Y'_2$  رطوبت مطلق  
 $H'_2$  آنتالپی  
 $t_{G_2}$  دمای هوای خشک

$L'$  (سطح) (وزن) / (حجم مایع)

$t_L = t_a$

$H_L = H_{a,s}$

فرآیندی را مطابق شکل با در نظر بگیرید که در این عمل مخلوطی از گاز و بخار در درجه حرارت  $t_{G_1}$  و رطوبت

مطلق  $Y'_1$  وارد دستگاه شده در تماس با مایع خالص قرار داده می شود. در اثر این تماس

اتصال حرارت و جرم بین دو فاز صورت می گیرد و در نتیجه آن درجه حرارت و رطوبت مطلق مخلوط

تغییر کرده در نقطه خروج از دستگاه به ترتیب برابر با  $t_{G_2}$  و  $Y'_2$  می گردد. چنانچه دستگاه طوری

عایق بندی شود که حرارتی بین دحل و خارج دستگاه منتقل نگردد، عمل به صورت آدیاباتی انجام

می گیرد. از معادله جرم برای ماده A نتیجه می شود

$$L' = G'_s (Y'_2 - Y'_1) \quad \text{و} \quad G'_s H'_1 + L' H_L = G'_s H'_2$$

$$H'_1 + (Y'_2 - Y'_1) H_L = H'_2$$

و با استفاده از معادله مربوط به آنتالپی ... (قرن آنتالپی)

$$C_{s1} (t_{G_1} - t_0) + Y'_1 \lambda_0 + (Y'_2 - Y'_1) C_{AL} (t_L - t_0)$$

کتاب روشی راویکال



۱۵

در حالت خاصی (به صورت فرضی) که خطوط فرضی به حالت اسباب درآید در این صورت درم حرارت

رطوبت و انبساطی به ترتیب برابر با  $\gamma'_{as} - t_{as}$  و  $H'_{as}$  شود ، در این صورت

$$C_B(t_{G_1} - t_0) + \gamma'_1 C_A(t_{G_1} - t_0) + \gamma'_1 \lambda_0 + (\gamma'_{as} - \gamma'_1) C_{AL}(t_{as} - t_0) \\ = C_B(t_{as} - t_0) + \gamma'_{as} C_A(t_{as} - t_0) + \gamma'_{as} \lambda_0$$

حال مقدار  $\gamma'_1 C_A(t_{as} - t_0)$  را به لطف اضافه می‌کنیم :

و درم حرارت آب ورودی را طوری تنظیم می‌کنیم که با دمای خروجی هوا برابر باشد

یعنی  $t_L = t_{as}$  (با حفظ رطوبت اسباب وارد)

پس از فاکتورگیری و ساده سازی

$$(C_B + \gamma'_1 C_A)(t_{G_1} - t_0) + \gamma'_1 \lambda_0 + (\gamma'_{as} - \gamma'_1) C_{AL}(t_{as} - t_0) =$$

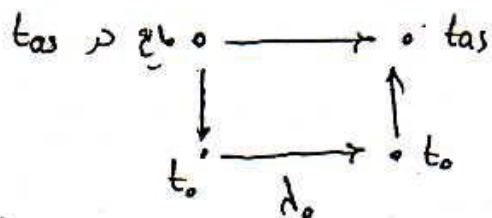
$$C_B(t_{as} - t_0) + \gamma'_{as} C_A(t_{as} - t_0) + \gamma'_{as} \lambda_0 \pm \gamma'_1 C_A(t_{as} - t_0)$$

$$C_B + \gamma'_1 C_A)(t_{G_1} - t_0 - t_{as} + t_0) = (\gamma'_{as} - \gamma'_1) \lambda_0 + (\gamma'_{as} - \gamma'_1) C_A(t_{as} - t_0)$$

$$- (\gamma'_{as} - \gamma'_1) C_{AL}(t_{as} - t_0)$$

$$= (\gamma'_{as} - \gamma'_1) \left[ C_A(t_{as} - t_0) + \lambda_0 - C_{AL}(t_{as} - t_0) \right]$$

$\lambda_{as}$



$$C_s (t_{G1} - t_{as}) = (\gamma'_{as} - \gamma'_1) h_{as} \Rightarrow \frac{t_{G1} - t_{as}}{\gamma'_{as} - \gamma'_1} = \frac{h_{as}}{C_s}$$

این رابطه به صورت یک تابع از دمای خشک و دمای اشباع ...  
 $\gamma' = f(t_G, t_{as})$   
 که می توان بصورت یک منحنی در نمودار رطوبت نسبی رسم شود، این منحنی را به نام منحنی اشباع آدیاباتی می نامند که از نقطه  $(\gamma'_{as}, t_{as})$  و روی منحنی اشباع

می گذرد. از آنجا که در محاسبه بالا خود  $C_s$  تابع  $\gamma'$  می باشد

$$C_s = C_g + C_w \gamma'$$

این محاسبه در رسم به صورت یک منحنی در می آید که تقریباً به سمت بالا دگر

گفته: برای هر مخلوط گاز و بخار در هر حرارت اشباع آدیاباتی برابر با  $t_{as}$  موجود است،

به طوری که اگر مخلوط فرور با مایعی که در این درجه حرارت است مجاور شود رطوبت مطلق آن افزایش یافته درجه حرارت آن کاهش می یابد.

نکته: خواننده زمان تماس بین مخلوط و سطح کافی باشد مخلوط به حالت اشباع  $(\gamma'_{as}, t_{as})$  خواهد رسید

در غیر اینصورت با تریا  $\gamma'_2$  و  $t_{G2}$  که واقع بر منحنی اشباع آدیاباتی یک مخلوط ورودی است از دستگاه

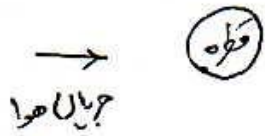
خارج می گردد.

نکته: در محاسبات مربوط به سازی آدیاباتی جریان هوای فرجه از نظر انرژی مایه های مرطوب فرجه

$$H'_{as} = H'_1 + (\gamma'_{as} - \gamma'_1) H_L \quad \text{و} \quad H'_2 = H'_1 + (\gamma'_2 - \gamma'_1) H_L$$

$$H'_{as} = H'_1 \quad \text{ذاتی}$$

درم حرارت مرطوب - wet bulb temp.



حفاظت مقدار کمی از یک مایع در درون حجم زیادی از یک

مخلوط استایم شده گاز - بخار تبخیر شود، پس از مدتی

درم حرارت آن بحالت پایا رسیده ثابت باقی می ماند. به این درم حرارت، درم حرارت مرطوب گویند.

نکته: با دانستن درم حرارت مرطوب می توان میزان رطوبت مطلق را در مخلوط تعیین نمود.

نکته: برای بدست آوردن مقدار دمای مرطوب کفایت فینکله ای آغشته به مایع را در معرض

جریان سریع مخلوط استایم شده گاز - بخار قرار داده شود پس از ثابت شدن دمای فینکله

مقدار آنرا اندازه گیری می کنند که برابر است با  $t_w$  (درم حرارت  $t_w$  که از درم حرارت خشک است)

قطره ای از یک مایع را که در معرض جریان

سریع یک مخلوط استایم شده گاز - بخار قرار

دارد در دمای  $t_w$  قرار می گیرد.

آز درم حرارت اولیه قطره مایع بالاتر از درم

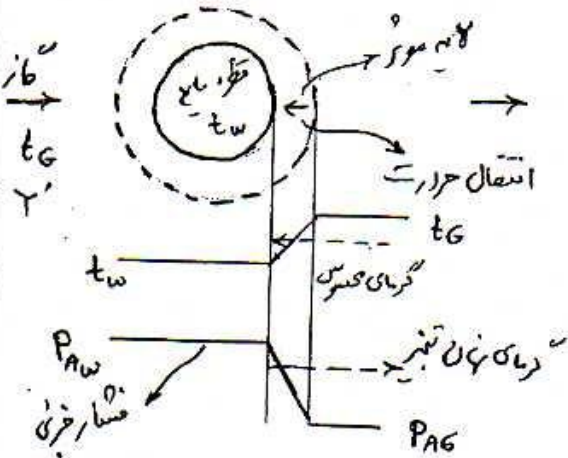
حرارت نقطه شبنم مخلوط باشد، فشار بخار

مایع در سطح قطره بیشتر از فشار جزئی بخار در گاز

خواهد بود و در نتیجه مایع تبخیر شده.

در ابتدا گرمای نهان مورد نیاز برای تبخیر مایع توسط خود گرمای موجود در مایع تأمین می شود

و در ادامه درم حرارت مرطوب کاهش می یابد، در بعضی موارد درم حرارت از گاز به فاز مایع



۱۹

آغاز سردی در دمای مقدار این انتقال بستگی به اختلاف دمای در درجه دوگانه دارد و با افزایش آن بیشتر می شود - مقدار گرمای انتقال یافته از فاز گاز به فاز مایع برابر با گرمای مورد نیاز برای تبخیر مایع است - در چنین حالتی درجه حرارت مایع کمتر تغییر کرده و در مقدار ثابتی که کمتر از درجه حرارت خشک مخلوط است باقی می ماند که همان  $t_w$  است.

- گمانیم رسیدن به درجه حرارت مرطوب معادل همان است که در عمل اسباب آبریز یا تبخیر وجود دارد یا این تفاوت که در رسیدن به درجه حرارت مرطوب فرض بر این است که رطوبت مطلق گاز تغییر نمی یابد.

شکل منفرجه قبل از مایع را که به درجه حرارت مرطوب رسیده است در بعضی جریان مخلوط اسباب شده ای از گاز و بخار نشان می دهد. فرض بر این است که نحوه تغییرات درجه حرارت و رطوبت گاز را می توان بر اساس فرضیه لایه سر نشان داد.

فرض: مقدار گازی که از مجاورت قوا عبور می کند به قدری زیاد است که تبخیر در مایع تغییر محسوسی در رطوبت مطلق ایجاد نمی کند.

۱- مقدار انتقال حرارت در فصل مشترک گاز مایع ضوابط ۲- انتقال درم از هوا به درون مایع صورت می گیرد ( $N_B = 0$ )

نمایرین طبق معادله فصل ۱۳ مارتون نوشت

$$q_s = \frac{N_A M_A C_A}{1 - e^{-N_A M_A C_A / h_G}} (t_G - t_w) = h_G (t_G - t_w)$$

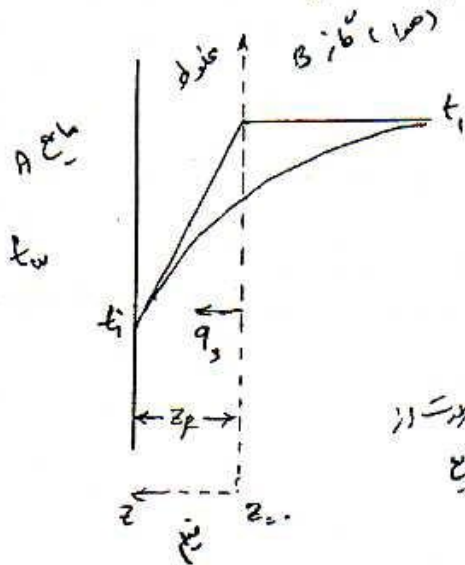
گفته: با توجه به اینکه مقدار انتقال جرم عموماً بسیار کم است می توان تقریباً  $h'_G \approx h_G$  را بکار برد - همچنین از روابط مربوط به انتقال جرم می توان نوشت

$$N_A = F \ln \left( \frac{1 - P_{Aw} / P_t}{1 - P_{AG} / P_t} \right) = k_G (P_{AG} - P_{Aw})$$

$$P_{Aw} = \text{فشار بخار ماده A در دمای } t_w$$

گفته: گویند بزرگ مقدار انتقال جرم ( $N_A$ ) موجب شد که بتوان فرض انتقال جرم را برابر  $k_G$  کرد

گفته: از معادلات صافه قبل را با نتیجه ماکسورد در صورت مثبت بودن مقدار  $q_s$  - مقدار مثبتی خواهد شد



طبق معادله مربوط به انتقال جرم در فصل ۲

$$q_t = q_s + h_A N_A + h_S N_S$$

مقدار انتقال جرم از مرز مایع

مقدار انتقال جرم حاصل از عبور از

ماده A از فیلم به طولی مشخص

تعداد

گفته: در دایره گاز مایع گسترش درجه حرارت نداریم

$$q_s + h_A N_A = 0$$

گفته: مقدار  $q_s$  و  $N_S$  برابر صفر هستند بنابراین

جایگزینی مقادیر عدد آن از بالا داریم!

$$h_G (t_G - t_w) + h_w M_A k_G (P_{AG} - P_{Aw}) = 0$$

۱۰

که  $\lambda_w$  : گرمای پتان تبخیر بازاری واحد جرم در درجه حرارت مطلق  $t_w$  است.

$$t_G - t_w = \frac{\lambda_w M_A K_G (P_{Aw} - P_{AG})}{h_G} = \frac{\lambda_w M_B P_{BM} K_G (Y'_w - Y')}{h_G}$$

که  $P_{BM}$  : مقدار متوسط فشار جزئی گاز (B) است. از آنجائی که طبق جدول فصل ۳

$$t_G - t_w = \frac{\lambda_w (Y'_w - Y')}{h_G / K_T} \quad M_B P_{BM} K_G = K_T \quad \text{است پس معادله بالا به صورت}$$

- پس کبی رابط بین رطوبت مطلق و  $t_G - t_w$  بدست آمد

که بر این تناقض جدول درجه حرارت مرطوب wet-bulb depression گویند.

- برای بدست آمدن رطوبت مطلق  $Y'$  می توان از رابط بالا استفاده کرد ولی قبل از آن لازم است که

نسبت  $h_G / K_T$  معلوم باشد (بر این نسبت، نسبت رطوبت مطلق گویند)

چون اکثر تجربی و تجربی و بدست آمدن  $t_w$  بصورت استوانه می باشد، تحقیقات

بسیاری بر روی انتقال جرم حرارت با انتقال جرم در بر روی استوانه (ظرف) شده است و این امر از جمله بدترین

تجربیات است از جهت سردی گاز - بخار بصورت متلاطم باشد نسبت  $h_G / K_G$  مستقل از عدد رینولدز می شود

عددی بر این امر این است که طبق مطالب فصل ۳ در شبیه سازیهای گازی نسبت عدد اشپیت هم عدد پراش

تقریباً برابر می باشد.

$$\frac{h_G}{K_T} = 1223 \text{ SC}^{0.567}$$

که نتایج تجربی بر روی موقعیت گاز مورد مطالعه خواهد باشد

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad \frac{h_G}{K_T} = C_s \left( \frac{k}{C_s \rho D_{AB}} \right)^{0.567} = C_s \left( \frac{Sc}{Pr} \right)^{0.567}$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha}$$

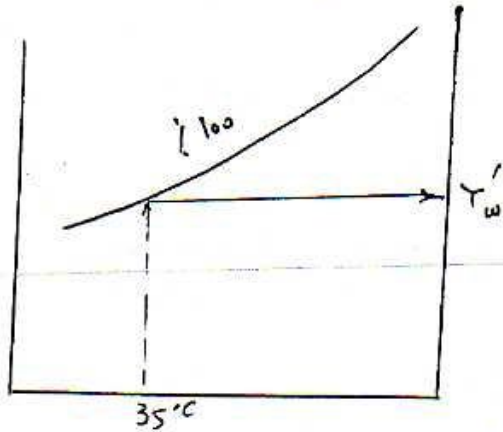
نسبت عدد اشپیت به عدد پراش را عدد لایتنر نامیده و آنرا  $Le$  نشان می دهند



۲- سرعت جریان گاز را اقراسین دهم.

$t_w = 35^\circ\text{C}$

$\rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \lambda_w = 2,419,300 \text{ J/kg} \\ \gamma'_w = 0.0365 \text{ kg/kg} \end{array} \right.$ 
 مذروقه لوز یا جدول فشار بخار



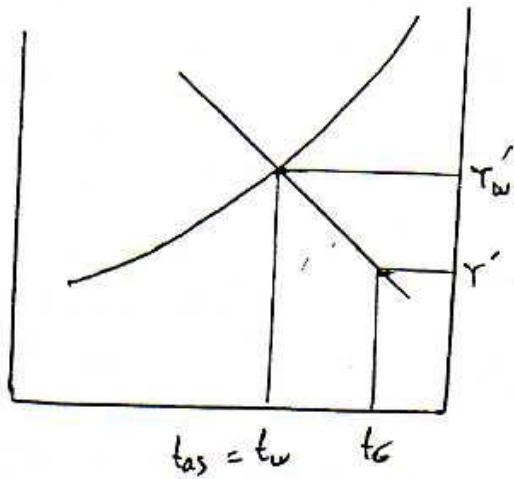
$\frac{h_g}{k_r} = 950 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$\frac{t_{g1} - t_w}{\gamma'_w - \gamma'} = \frac{\lambda_w}{h_g/k_r}$

$(65 - 35) = \frac{(2419300)(0.0365 - \gamma')}{950} \Rightarrow \gamma' = 0.0247 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg dry air}}$

می توان جواب را امتحان کرد. برای این منظور از روی اسامع آرمیترتیب می کنیم

نوعن می کنیم  $t_w$  برابر  $t_{as}$  از روی نمودار با داشتن  $t_{as}$  می توان  $\gamma'$  را بدست آورد.



$\left\{ \begin{array}{l} t_{aw} = t_{as} = 35^\circ\text{C} \\ t_g = 65^\circ\text{C} \end{array} \right. \Rightarrow \gamma' = 0.0238 \text{ kg/kg}$



۳۱

(۷.۱۰) سال ۱۰ : درجه حرارت مرطوب و همچنین درجه حرارت (سیستم آریا با تید را برای مخلوطی از هوا و بخار تولوئن که دارای درجه حرارت خشک  $60^{\circ}\text{C}$  است تعیین کنید. فشار مخلوط یک اتمسفر و رطوبت مطلق بخار در آن  $\gamma' = 0.05$  کیلوگرم بخار بر کیلوگرم هوا میباشد.  
 حل: روی حل بصورت سعی در خطا می یابند.

فرض اول : فرض کنیم سیستم رقیق است پس مشخصات مخلوط هوا و تولوئن را برابر هوا می گیریم  
 فرض دوم : با تقریب دمای که مشخصه را طبق آن بدست آوریم برابر دمای با یک می گیریم  
 به جای متوسط گیری بین با یک سیستم و سطح تماس

$$P_{air} = 1.060 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.95 \times 10^{-5} \text{ Kg/m.s}$$

$$D_{AB} = 0.92 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Sc = \frac{\mu}{SD_{AB}} = \dots = 2$$

$$\left(\frac{h_G}{k_f}\right) = (1223) Sc^{0.567} = (1223)(2)^{0.567} = 1812 \text{ J/Kg.K}$$

$$(60 - t_w) = \frac{\lambda_w}{1812} (\gamma'_w - 0.050)$$

درین حدس اولیه  $t_w = 35^{\circ}\text{C} \rightarrow P_{Aw}^* = 46.2 \text{ mmHg}$

$$\gamma'_w = \left(\frac{46.2}{760 - 46.2}\right) \left(\frac{92}{29}\right) = 0.2086 \text{ Kg/Kg}$$

$$\lambda_w = 96.6 \text{ Cal/g} \times 4187 = 404,460 \text{ J/Kg}$$

$$\frac{t_{c1} - t_w}{\gamma'_w - \gamma'} = \frac{\lambda_w}{(h_G/k_f)} \Rightarrow \dots \quad t_w = 25.3^{\circ}\text{C} \quad \text{مقدار نهایی}$$

پس از چندین مرتبه  $t_w = 31.8 \approx 32^{\circ}\text{C}$

$$\frac{t_{G1} - t_{as}}{Y'_{as} - Y'_i} = \frac{\lambda_{as}}{C_s} \quad t_G = 60 \quad , \quad Y'_i = 0.050 \quad \text{kg/kg}$$

معادله  $C_{s_i} = C_B + C_A Y'_i$  ,  $C_B = 1005 \quad \text{J/kg} \cdot \text{K}$

$C_{s_i} = 1005 + (1256)(0.05) = 1067.8 \quad \text{J/kg} \cdot \text{K}$

$(60 - t_{as}) = (Y'_{as} - 0.050) \left( \frac{\lambda_{as}}{1067.8} \right)$

معادله  $\rightarrow t_{as} = 25.7^\circ\text{C}$

عملیات تماس فاز مایع - Gas-liquid constant operation

- هدف طراحی دستگاه‌های جداسازی این عملیات تماس را انجام دهند

- عملیات باید صورت آریاتیک همراه با جداسازی آریاتیک

۱- عملیات آریاتیک

a- سرد کردن یک مایع - سرد کردن یک گاز طایع

c- مخلوط سازگی یک گاز (تغییر رطوبت گاز) - d- رطوبت زدایی از یک گاز

در این نوع عملیات، حریم انتقال حرارت وجود دارد بین دو فاز انجام می‌گیرد و بین

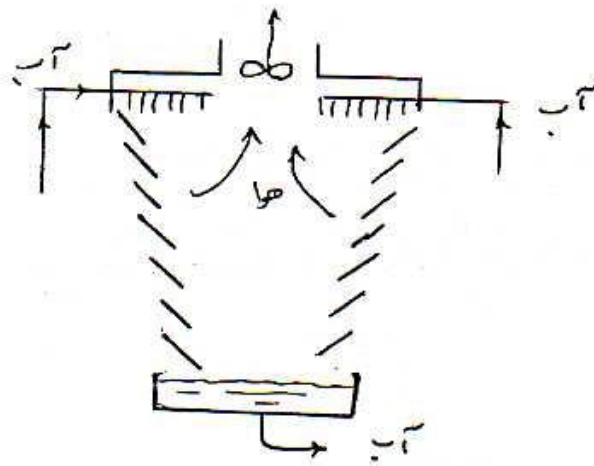
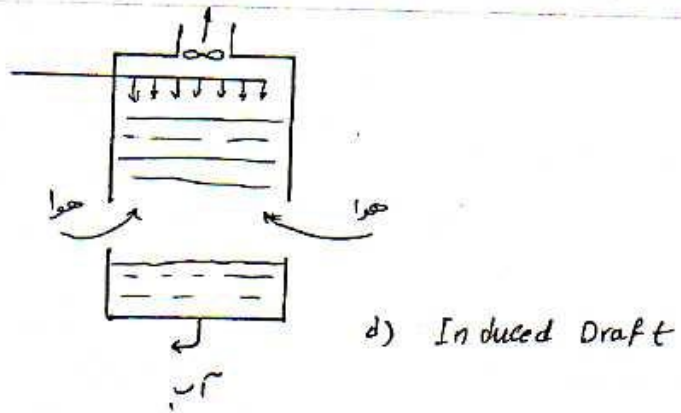
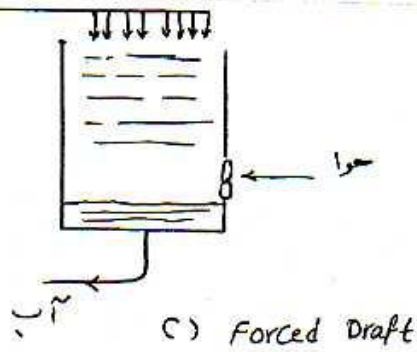
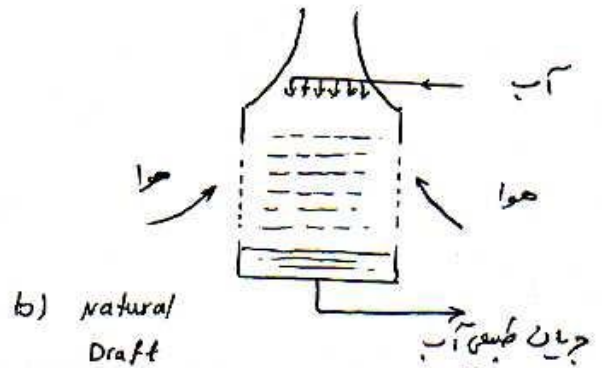
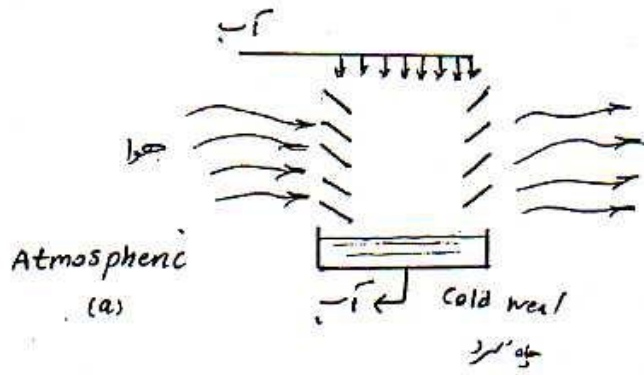
دستگاه و محیط هیچ انتقال صورت نمی‌گیرد

۲- عملیات غیر آریاتیک :

a- سرد کردن تبخیری Evaporative cooling (پاشیدن آب روی لوله‌های مایع) دانگی

Refrigerated pipes

ب- رطوبت زدای بوسله تبرید

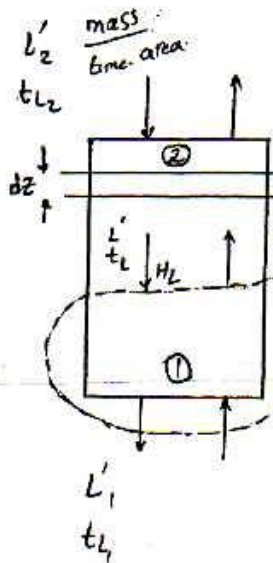


Adiabatic operation

عملیات آدیاباتی

Gas-liquid contact Equ.

کند دستگاه تماس گاز-مایع داریم



$(G'_s, t_{G2}, H'_2, Y'_2)$

برای طراحی قطر و ارتفاع برج لازم است

برای طراحی قطر و ارتفاع برج لازم است  
 معادله سرعت } انتقال جرم  
 معادله حرارت } انتقال حرارت  
 در فاز گاز }  
 در فاز مایع }

همین طور مولزده جرم، مولزده آدیاباتی

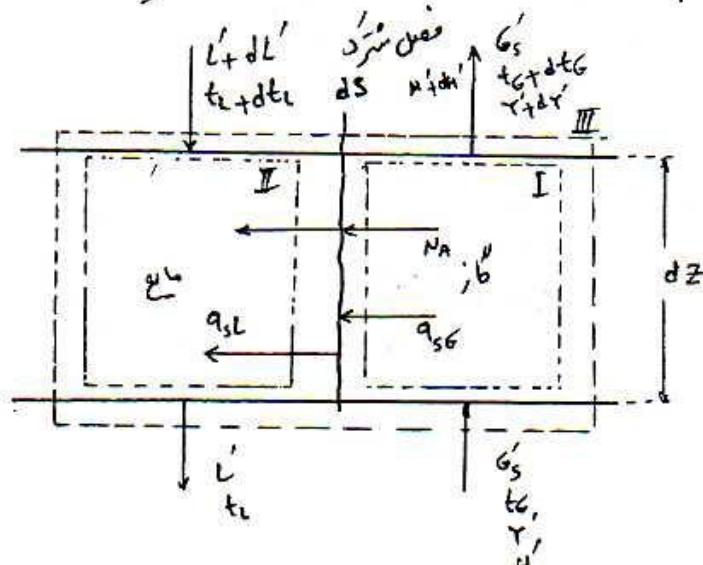
$G'_s$  mass dry gas / time area  
 $t_{G1}$   
 $H'_1$   
 $Y'_1$

مولزده جرم :  $L - L_1 = G'_s (Y_2 - Y_1)$

$\Rightarrow dL = G'_s dY$

مولزده آدیاباتی  $L'H_L + G'_s H'_1 = L_1 H_L + G'_s H'$

در ادامه یک لایه یا حجم کنترل دیفرانسیل به ارتفاع dz در نظر میگیریم.



در این حجم کنترل دینامیک دوما حجم کنترل، یکی مربوط به فاز گاز و دیگری مربوط به حجم کنترل فاز مایع در نظر می‌گیریم - مساحت مورد در فصل مشترک دوماز در حجم کنترل برابر با  $dS$  می‌باشد - چنانچه مساحت فصل مشترک دوماز بازاری هر متر مکعب حجم آکنده  $a$  متر مربع باشد، با توجه باینکه حجم آکنده بازاری واحد سطح مقطع برج در عنصر هندسی فرض برابر با  $dZ$  متر مکعب است - می‌توان نتیجه گرفت که  $dS = a dZ$  می‌باشد.

نکته: چنانچه سطح آکنده‌های داخل برج بطور کامل به مایع آکنده نگردد در اینصورت مساحت فصل مشترک بین مایع و گاز که در انتقال جرم بین آن‌ها مؤثر است برابر با  $a_M$  خواهد بود. که این مقدار از  $q_H$  یعنی مساحت مؤثر برای انتقال حرارت که چتر خواهد بود.

نکته: در حجم کنترل I و II - انتقال حرارت تحت شرایط آریاتیس و حجم کنترل III آریاتیس است.

$$\frac{N_A M_A a_M dZ}{\text{سرعت انتقال جرم}} = -G'_s dY' = M_A F_G \left( \ln \frac{1 - P_{A1}/P_T}{1 - P_{A2}/P_T} \right) a_M dZ$$

نکته: در صورتی که انتقال جرم مطابق شکل بالا از جانب به راست باشد علامت با علامت منتهی می‌شود.

$$q_{SG} a_H dZ = \frac{N_A M_A C_A}{1 - e^{-N_A M_A C_A / h_G}} (t_G - t_i) a_H dZ$$

$$= h'_G a_H (t_G - t_i) dZ$$

و برای فاز مایع:

$$q_{SL} a_H dZ = h_L a_H (t_i - t_L) dZ$$

برای حجم کنترل I :  $q_{SG} = \text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی}$

انرژی ورودی به علت اختلاف در دما  
 انتقال انرژی بواسطه حرارت

سرعت انرژی ورودی  $G'_S H'$

سرعت انرژی خروجی  $G'_S (H' + dH') - G'_S dY' [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0]$

مربوط به بخار خروجی از حجم کنترل

سرعت انتقال حرارت از I به I  $= q_{SG} ds$

سرعت انتقال حرارت = سرعت خروجی - سرعت ورودی

$G'_S H' + G'_S dY' [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0] - G'_S (H' + dH') = h'_G (t_G - t_i) a_H dz$

$H' = C_B(t_G - t_0) + Y' [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0] = C_S(t - t_0) + Y' \lambda_0$

$dH' = C_B dt_G + [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0] dY' + Y' C_A dt_G$

$G'_S H' + G'_S dY' [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0] - G'_S H' - G'_S C_B dt_G - G'_S dY' [C_A(t_G - t_0) + \lambda_0]$

$- G'_S Y' C_A dt_G = h'_G a_H (t_G - t_i) dz$

مربوط به بخار کنترل I  $- G'_S C_S dt_G = h'_G a_H (t_G - t_i) dz$  ,  $C_S = C_B + C_A Y'$

انرژی ورودی - انرژی خروجی  $= q_{SL}$

برای غبار

$$\text{سرعت انتقالی ورودی} = (L' + dL') C_{AL} (t_L + dt_L - t_0) + (-G'_s dY') C_{AL} (t_i - t_0)$$

$$\text{سرعت انتقالی خروجی} = L' C_{AL} (t_L - t_0) \quad \text{سرعت انتقالی ورودی} = \text{سرعت انتقالی خروجی}$$

$$L' C_{AL} (t_L - t_0) = (L' + dL') C_{AL} (t_L + dt_L - t_0) - (G'_s dY') C_{AL} (t_i - t_0) + h_L a_H (t_i - t_L) dz$$

از طرف  $dY'$  و  $dt_L$  صرف نظر می‌کنیم :

$$L' C_{AL} dt_L = (G'_s C_{AL} dY' - h_L a_H dz) (t_i - t_L) \quad \text{معادله II}$$

$$\text{سرعت انتقالی ورودی} = \text{سرعت انتقالی خروجی} \quad \text{معادله III}$$

$$\text{سرعت انتقالی ورودی} = G'_s H' + (L' + dL') C_{AL} (t_L + dt_L - t_0)$$

$$\text{سرعت انتقالی خروجی} = L' C_{AL} (t_L - t_0) + G'_s (H' + dH')$$

$$L' C_{AL} dt_L = G'_s \left\{ C_s dt_G + [C_A (t_G - t_0) - C_{AL} (t_L - t_0) + \lambda_0] dY' \right\}$$

نکته: از جهات معرف  $\text{sensible heat}$  در مقابل  $\text{latent heat}$

صرف نظر می‌کنیم یعنی هر جا که ضریب حرارتی دیده شد آن جابجایی را حذف می‌کنیم.

(تبخیر در مقابل انتقال حرارت بر روی اموات در صورت)

$$L' C_{AL} dt_L = G'_s C_s dt_G + G'_s \lambda_0 dY' \approx G'_s dH$$

$$C_s = C_B + C_A Y' = C_B$$

$$L' C_{AL} dt_L = G'_s \left\{ C_s dt_G + [C_A (t_G - t_0) - C_{AL} (t_L - t_0) + \lambda_0] dY' \right\}$$

$$L' C_{AL} dt_L = G'_s C_s dt_G + G'_s \left\{ C_A (t_G - t_0) - c_{AL} (t_L - t_0) + \lambda_0 f dT' \right\}$$

$$= G'_s C_s dt_G + C'_s \lambda_0 dT' \quad \text{مجموع}$$

$$H' = C_B (t_G - t_0) + [C_{AL} (t_L - t_0) + \lambda_0] T' \quad \text{مجموع}$$

$$H' = C_B (t_G - t_0) + \lambda_0 T'$$

$$C_s = C_B + T' C_A \implies C_s \approx C_B$$

$$H' = C_s (t_G - t_0) + \lambda_0 T' \implies dH' = C_s dt_G + \lambda_0 dT'$$

کاربرد: سرد کردن آب توسط هوا

فرضیات: فرض اول: برقراری رابطه لوکسین  $L_e = 1$

فرض دوم: کفایت بودن حد Sensible در برابر latent (گرمای نهان)

فرض سوم: کفایت بودن سرعت انتقال جرم

$$\text{شرایط} \implies L' C_{AL} dt_L = G'_s dH'$$

نکته: از رابطه بالا می توان کفایت ظرف بین  $t_L$  و  $H'$  را هم کرد

نکته  $L' \approx$

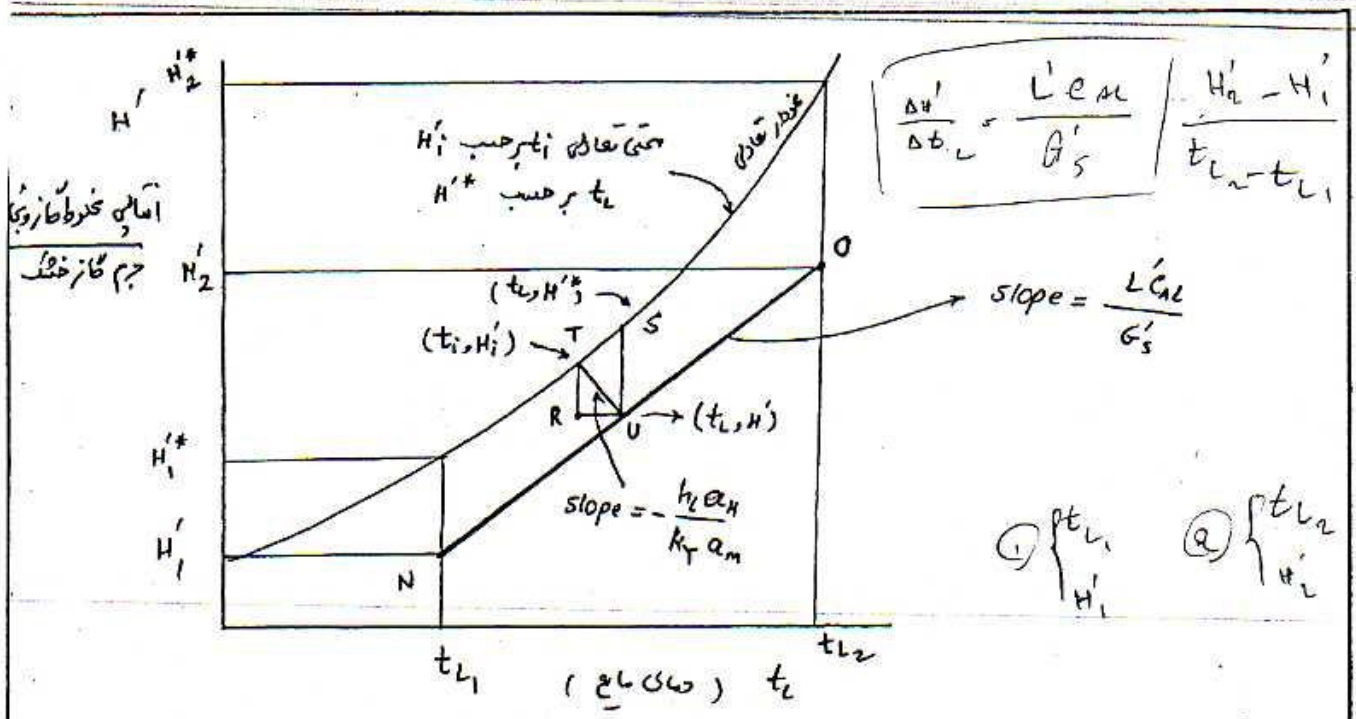
$$L' C_{AL} (t_{L2} - t_{L1}) = G'_s (H'_2 - H'_1)$$

$$\text{نقطه (۱)} \left\{ \begin{array}{l} t_{L1} \\ H'_1 \end{array} \right.$$

$$\text{نقطه (۲)} \left\{ \begin{array}{l} t_{L2} \\ H'_2 \end{array} \right.$$

$$\implies \frac{\Delta H'}{\Delta t_L} = \frac{L' C_{AL}}{G'_s}$$





نکته: همیشه انرژی فیزی مخلوط هوا و بخار پیرانت برابرین operating line خط است  
 بایست مثبت. نقاط O, N روی خط تعادلی مربوط به شرایط گاز و مایع در دو انتهای دستگاه  
 است. با توجه به این خط در نمودار بالا می‌توان شرایط عملیاتی را در نقاط مختلف دستگاه  
 دنبال کرد.

تا زمانی که تفاضل  $L_2 - L_1$  در مقایسه با  $L_1$  کوچک باشد (انتقال جرم ناچیز) ON  
 خطی راست بایست  $\frac{L'CA/L}{G'S}$  خواهد بود. و وقتی مقادیر شرایط تعادل دو فاز را در مضمون مشتق  
 دو فاز نشان می‌دهد (همچنین مقادیر، انرژی گاز و مایع را در حدود هر دو نشان می‌دهد)  
 با توجه به اینکه مقدار انتقال جرم کم می‌باشد می‌توان نوشت:

$$G'_S dY' = k_Y a_M (Y_i - Y') dz$$

مقادیر مختلف

اکتویس ۲

با توجه به کم بودن انتقال جرم می توان از اثر انتقال جرم بر فریب انتقال حرارت صرف نظر نمود. در نتیجه

$$G'_s C_s dt_G = h_G a_H (t_i - t_G) dz$$

با فرض نامیز بودن انتقال حرارت در مقابل سری های پلان می توان نوشت:

$$L' C_{AL} dt_L = h_L a_H (t_L - t_i) dz \quad \left( \begin{array}{l} \text{مبسوط با این توضیح} \\ \text{که عبور می کند} \end{array} \right)^*$$

$$G'_s dH' = h_G a_H (t_i - t_G) dz + \lambda_0 k_Y a_M (\gamma'_i - \gamma') dz$$

آر  $r = \frac{h_G a_H}{C_s k_Y a_M}$  معادله فوق بصورت زیر ساده می شود.

$$G'_s dH' = k_Y a_M [(C_s r t_i + \lambda_0 \gamma'_i) - (C_s r t_G + \lambda_0 \gamma')] dz$$

برای حالت خاص  $r=1$  جلات داخل پراکتر در این معادله برابر با آنهایی خواهد شد.

شرایط برابر ایند  $r=1$  باشد این است که عدد لوئیز برابر باشد ،  $Le = 1$  و

می تواند برقرار شود که  $a_M = a_H = a$  در مورد مخلوط آب و هوا می تواند  $Le = 1$  شود فقط وقتی شرط دوم

می تواند برقرار شود که آنده های (packing) داخل برج کاملاً به مایع آغشته شود.

نکته: در موردی که شدت جریان مایع کم باشد می تواند مخلوط آب و هوا ۲ بزرگتر از یک درصد آمالگام

یادآوری

$$(A) \quad G'_s d\gamma' = -M_A F_G \ln \left( \frac{1 - P_{A1}/P_t}{1 - P_{A2}/P_t} \right) a_M dz \approx k_Y a_M (\gamma'_i - \gamma') dz \quad *$$

$$(B) \quad G'_s C_s dt_G = h_G a_H (t_i - t_G) dz \quad h'_G = h_G$$

$$(C) \quad L' C_{AL} dt_L = h_L a_H (t_L - t_i) dz$$

کتاب روش اولیال

برازجان - روزبهان - طالبی - اجتهادی

در ادامه با فرضی

$$(D) \quad G'_s dH' = G'_s C_s dt_G + G'_s \lambda_0 dT' = LC_{AL} dt_L$$

$G'_s dT'$  و  $G'_s C_s dt_G$  از معادله A و B را در معادله (D) قرار می دهیم.

$$G'_s dH' = k_Y a_M d_0 (T'_i - T') dz + h_G a_H (t_i - t_G) dz$$

از  $k_Y a_M dz$  با تقریب نری کرده :

$$G'_s dH' = k_Y a_M \left[ (\lambda_0 T'_i + \frac{h_G a}{k_Y a_M} t_i) - (\lambda_0 T' + \frac{h_G a_H}{k_Y a_M} t_G) \right] dz$$

$$r = \frac{h_G a_H}{k_Y a_M C_s}, \quad \frac{h_G a_H}{k_Y a_M} = r C_s$$

$$G'_s dH' = k_Y a_M \left[ (\lambda_0 T'_i + r C_s t_i) - (\lambda_0 T' + r C_s t_G) \right] dz$$

$$H'_i = C_s r t_i + \lambda_0 T'_i \quad \text{از } t_0 = \infty, \quad r=1$$

$$H'_0 = C_s t_0 + \lambda_0 T'_0$$

$$\longrightarrow \text{بنابراین } H' = C_s r t_i + \lambda_0 T'_i = C_s t_i + \lambda_0 T'_i$$

$$G'_s dH' = k_Y a_M (H'_i - H') dz \quad \text{در این صورت } a_M = a_H, \quad r=1$$

$$r=1 \quad \text{بنابراین } L_e = 1, \quad a_M = a_H$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G'_s dH' = k_Y a_M (H'_i - H') dz \\ L'_{CAL} dt_L = G'_s dH' = h_L a_H (t_L - t_i) dz \end{array} \right.$$

ترکیب روابط C, D, ←

$$\Rightarrow k_Y a_M (H'_i - H') dz = h_L a_H (t_L - t_i) dz$$

$$\Rightarrow k_Y a_M (H'_i - H') = -h_L a_H (t_i - t_L)$$

۳ اکتوبر ۲۰۲۰  
کتاب مهندسی روش رابوکیال  
مراجعه - روزی لائین اجتماعی

پس خطی داریم که از دو نقطه <sup>نقطه ۲</sup>  $(t_L, H')$  و <sup>نقطه ۱</sup>  $(t_i, H'_i)$  گذرد و دندای نسبت ...

$$\text{slope} = \frac{\Delta H'}{\Delta t} = \frac{-h_L a_H}{k_Y a_m} \frac{H'_i - H'}{t_i - t_L}$$

از معادله  $G_S dH' = k_Y a (H'_i - H') dz = h_L a (t_L - t_i) dz$  می توان برای تعیین شرایط موجود

در فرض شریک دوفاز استفاده کردیم صورت که در نقطه ای مانند A در داخل دستگاه باید از نقطه U

خطی به نسبت  $-h_L a / k_Y a$  رسم شود تا وقتی تقابل را در نقطه T قطع نماید مختصات نقطه T

نشان دهنده شرایط موجود در فصل شریک دوفاز است. همچنین فاصله TR برابر است با

$H'_i - H'$  یعنی نیروی محرکه (driving force) در فاز گاز می باشد.

نکته: اگر نخواهیم از معادله بالا استفاده کنیم عددی کنیم؛ با ندانستن مقادیر  $H'_i$  این

امکان وجود ندارد و می توان متناظر با آن در نمودار از خط TR استفاده کرد به این صورت

که یک نقطه بر روی خط تقابل به دگرخواه انتخاب کرده از این نقطه یک خط با نسبت  $\frac{-h_L a_H}{k_Y a_m}$

رسم کرده تا خط تقابل را در  $(t_i, H'_i)$  قطع کند، پس از این نقطه به صورت عمود بر این می کشیم تا خط

موازی محور x ها از نقطه معدوم (خط RU) را در نقطه R قطع کند؛ طول TR برابر  $H'_i - H'$

می باشد. حالا همین نقطه دگرخواه را بر خط تقابل OM انتخاب و به همین ترتیب مثلث ها را

UTR رسم می کنیم و مقادیر TR را ثبت کرده و با این مقادیر یک جدول تشکیل می دهیم

که می توان با استفاده از آن مقادیر اشتراک را ثبت کرد.

$$G_S dH' = k_Y a (H'_i - H') dz \rightarrow \int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{(H'_i - H')} = \int_0^Z \left( \frac{k_Y a}{G_S} \right) dz$$

$$N_{tG} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dA'}{H_1' - H'} = \frac{k_p a}{G_s'} \int z dz$$

$N_{tG}$ : مقدار مراحل انتقال انتقالی گاز فاز  
 $z$ : ارتفاع عمود بر سطح برج  
 $H_1'$ : هوای ورودی از ابتدای برج  
 $H_2'$ : هوای خروجی از انتهای برج

نکته: مفهوم  $N_{tG}$  یعنی مقدار دفعاتی که می توان نیروی محرکه متوسط انتقالی را در تقسیم انتقالی حاصل در طول دستگاه جای داد.

$$Z = H_{tG} N_{tG} \quad \therefore H_{tG} = \frac{G_s'}{k_p a}$$

$H_{tG}$ : ارتفاع یک واحد انتقال مربوط به انتقالی گاز

نکته: از آنجائیکه  $H_{tG}$  تابع ضعیفی از شدت جریان می باشد و دارای بعد بسیار ساده طول

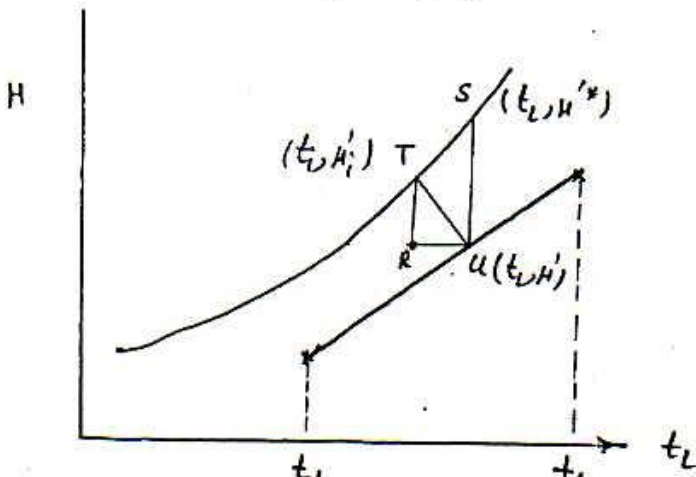
می باشد و استفاده از آن در ارزیابی و بررسی برجی آکنده غالباً بر  $k_p a$  مزیت دارد.

نکته: مایع به سطح مصلی کتاب از فرانس جمع انتقالی نیز که بر اساس نیروی محرکه آبی

معادل با اختلاف انتقالی در دو فاز تعریف شده باشد می توان استفاده کرد برای این موضوع

در نمودار پایین می توان از نقطه  $u$  محمود با  $a$  بریم تا نقطه  $s$  بر روی نمودار معادله حاصل شد

حاصل  $su$  مبین مقدار نیروی محرکه مربوط به انتقالی برای شرایط کلی گاز فاز می باشد.



نقطه  $s$  در واقع مربوط به بانک فاز مایع

در حال تعادل با درجه حرارت بانک گاز

گاز می باشد

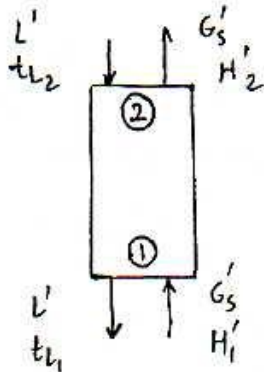
$$G'_s dH' = K_y a_M (H'^* - H') dz$$

$$N_{toG} = \int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{(H'^* - H')} \quad , \quad H_{toG} = \frac{G'_s}{K_y a}$$

نکته: wet bulb temperature approach

مسلک وجود approach برای رسیدن به یک driving force مثبت چیست؟

آیا باید دمای گاز برای سرد کردن مایع از دمای مایع کمتر باشد؟ جواب منفی است.



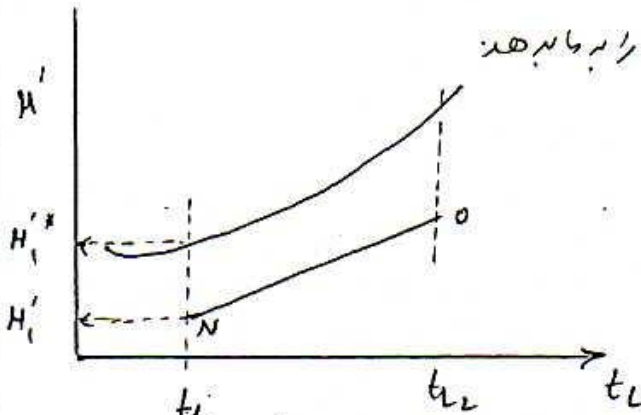
در این approach چیست؟

$$(t_{L1} - t_{w1}) > 0$$

$$(t_{L1} - t_{G1}) > 0 \quad , \quad t_{L1} > t_{G1}$$

گافیتی که driving force به صورت زنده باشد می توان صورتی

را (با ارتفاع مجدد) ساخت که مایع سرد تر را به مایع دهد



نکته: وقتی که  $(H'_1 - H'_1^*) > 0$  باشد

خط تبادلی نمودار قارگی را قطع نمی کند و طول

برج L هیچ موقع بی نهایت نمی شود

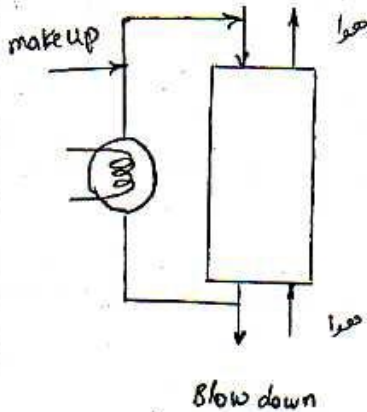
نکته: نسبت به هوای مرطوب نتیجه است از دمای مرطوب  $t_w$  و حرکت  $t_w$  به سمت چپ

مقدار نسبی هم افزایش می یابد  $t_w \uparrow \quad H' \uparrow$

نکته: پس از توقف فن  $H_1'$  با تقریب نوبی با  $t_{L1}$  و  $H'$  هم تابع  $t_w$  است و  
 $(t_{L1} - t_{w1})$  پس کافیت شرط  $t_{L1} > t_{w1}$  ،  $t_{L1} > t_{c1}$   
 برقرار باشد.

نکته: معده فاصله  $t_{L1} - t_{w1}$  را بین  $2.5 - 5^\circ C$  می گیریم

و  $t_{w1}$  را که درم حدت مرطوب  $5$  درصد می خوانند درم حدت مرطوبی انتخاب می کنند که در مامی تابستان  
 بظرف ممتوسط فقط  $5$  درصد اوقات درم حدت مرطوب هوا از آن بیشتر است. و کوی روزهای تابستان  
 ششک می آید



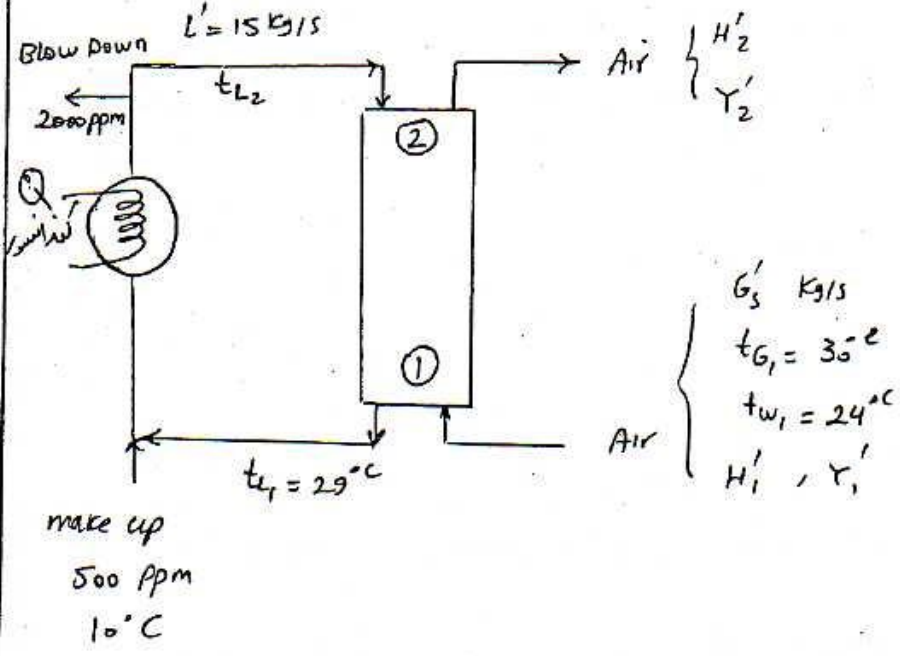
نکته: برای پیرای آب که به علت تبخیر از سیستم خارج می گردد  
 و سوید باقی مانده نهد در سیستم برج خنک کننده می شود مقداری  
 آب پیرای به سیستم اضافه می کنند و برادر خارج کردن نهد از سیستم  
 مقدری از آب را از زمین تخلیه می کنند.

مثال ۱۱ فصل ۷

یک کارخانه  $15 kg/s$  آب سرد کننده نیاز دارد. تا از کندانسورها می واحد تقطیر عبور  
 کند و  $270 w$  حرارت از کندانسورها گرفته شود آب در  $45^\circ C$  از کندانسورها  
 خارج می شود. قرار است جریان آب برسد به واس با جریان هوا در یک برج خنک کن با جریان  
 مکشی (induced draft) شرایط طراحی عبارتند از:

هوای ورودی دارای درجه حرارت خشک  $30^{\circ}\text{C}$  و درجه حرارت مرطوب  $24^{\circ}\text{C}$  است ، فرار است آب تا فاصله  $5.0^{\circ}\text{C}$  از درجه حرارت مرطوب هوای خرد می برد شود یعنی به  $29^{\circ}\text{C}$  برسد نسبت هوا به آب را ۱.۵ برابر می کنیم در نظر بگیریم ، آب جیرانی از یک چاه با دمای  $10^{\circ}\text{C}$  و سختی 500 ppm اصلاح کلرول تا همین می شود آب در گردش نباید سختی بیش از 2000 ppm داشته باشد و  $Ky a = 0.90 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s} \cdot 0.52$  مورنظ داری است . شیب آنکه سرعت جریان مایع حداقل  $2.7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  و سرعت جریان گاز حداقل  $2.0 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  باشد .

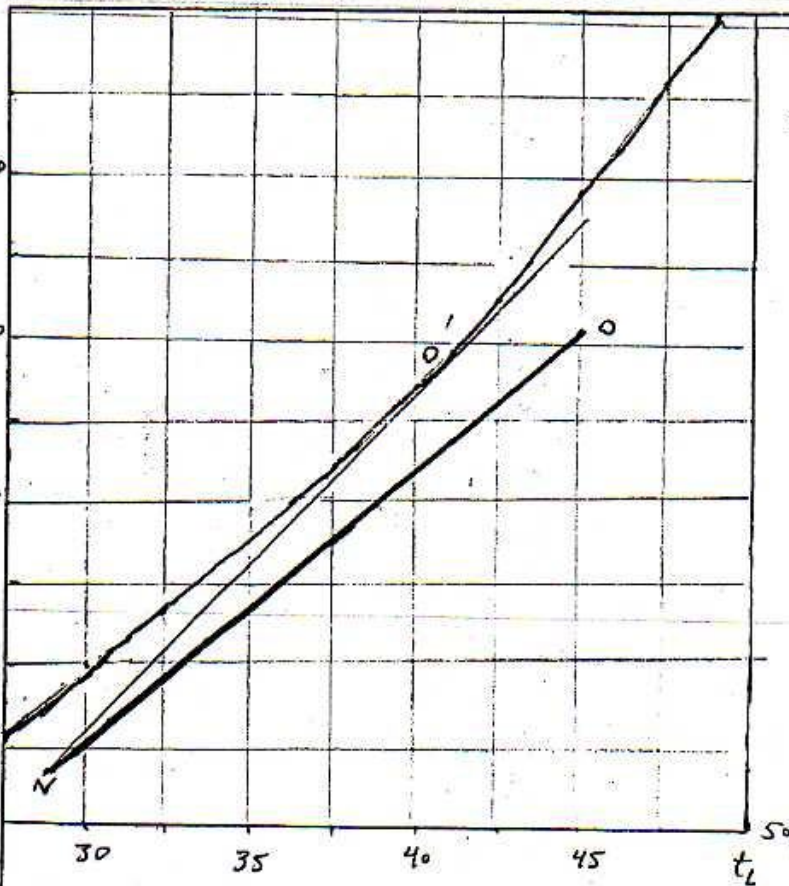
ابعاد مخمس و برنده برج (مطور در تمام) و مقدار آب جیرانی مورد نیاز را حساب کنید





پانویس ۲

260



با نقطه ای نمودار زمانی فاز گاز را بر حسب

در جدول مایع رسم می کنیم.

با نقطه ای نمودار روبرو را رسم

می کنیم.

عنی با استفاده از نمودار رطوبت نسبی

این اطلاعات که به صورت جدولی در زیر

آورده رسم می کنیم

$$H_1' = 72000 \text{ و } Y_1' = 0.016 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$t_L$ °C	J/kg $H_1'$ (با استفاده از منحنی نقاط)	J/kg $H'$ (با استفاده از خط تبارک)	$\frac{10^5}{H_1' - H'}$
29	100 000	72 000	3.571
32.5	114 000	92 000	4.545
35	129 800	106 500	4.292
37.5	147 000	121 000	3.846
40	166 800	135 500	3.195
42.5	191 000	149 500	2.410
45	216 000	163 500	1.905

نسبت نقطه تبارک را طوری انتخاب می کنیم تا خط تقاطع را بر حسب همان نقطه که خردی

از دستگاه که مقدار می کنیم نسبت به باشد و این مقدار می کنیم مقدار دی هوا را بدست ما دهد.

کنویس ۲

minimum  $G'_S = ?$  slope =  $\frac{\Delta H'}{\Delta t_L} = \frac{209500 - 72000}{45 - 29} = \frac{L' C_{AL}}{G'_S \min}$

$G'_S \min = 7.31 \text{ kg dry air/sec}$   $L' = 15 \text{ kg/s} \rightarrow C_{AL} = 4187 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

$G'_S = 1.5 \times G'_S \min = (1.5)(7.31) = 10.97 \text{ kg dry air/s}$

slope =  $\frac{L' C_{AL}}{G'_S} = \frac{H'_2 - H'_1}{t_{L2} - t_{L1}} \Rightarrow H'_2 = 163600 \text{ J/kg dry-air}$

نکته: بعد از این طرزی طبعی برج را هم باید چک کنیم

از جهت جریان مایع:  $\text{سرعت} = \frac{L'}{L} = \frac{15}{2.7} = 5.56 \text{ m}^2$

فلاکس می‌تسیم مورد نیاز (جریان)

از جهت جریان گاز:  $\text{سرعت} = \frac{G'_S}{G} = \frac{10.97}{2} = 5.5 \text{ m}^2$

پس، سطح مقطع برج برابر  $5.5 \text{ m}^2$  است.

$G'_S = \frac{10.97}{5.5} = 2 \text{ kg dry-air/m}^2\text{s}$ ,  $Z = N_{toG} \times H_{toG}$

$H_{toG} = \frac{G'_S}{K_y a} \rightarrow \text{بر حسب فلاکس} = \frac{2}{0.9} = 2.22 \text{ m}$

$t \text{ } ^\circ\text{C}$	$H'^*$ (از منحنی تعادل بخار)	$H'$ (از نقطه بخارند)	$10^5 / (H'^* - H')$
29	105	72000	3.571
...	...	...	...
45	216	163500	1.905

$N_{toG} = \int_{H'_1}^{H'_2} \frac{dH'}{(H'^* - H')} = 3.25$

$Z = (3.25)(2.22) = 7.22 \text{ m}$

کتاب روشی راویکال

مقدار آب خارج شده توسط پودر کردن به بیرون را  $L' = 0.02$   $\text{kg/h}$  میگیریم -

$E =$  سرعت تبخیر  $\text{kg/h}$

$W =$  windage loss,  $\text{kg/h}$   $\Rightarrow$  مقدار سده شدن به بیرون

$B =$  Blowdown rate,  $\text{kg/h}$

$M =$  Makeup rate,  $\text{kg/h}$

$x_c =$  weight fraction hardness in circulated water  $\Rightarrow$  خردوزی نسبی در آب در گردش

$x_m =$  خردوزی نسبی آب صیقلی

بروی سیستم دوخزنی (آب ر نسبی) دوتا مدار موازنه هم توان نوشت

موازنه آب  $M = B + E + W$

موازنه درک نسبی  $x_m M = (B + W) x_c$

$\Rightarrow (B + E + W) x_m = (B + W) x_c$

$B = E \left( \frac{x_m}{x_c - x_m} \right) - W$

تقریب (۱) : هم توان از فن کردن که هوای خردی از بریم به صورت اسبابخ خارج (در برای ما سه  $E$ )

$W = \left( \frac{0.2}{100} \right) L' = (0.002)(15) = 0.03 \text{ kg/h}$

با توجه به تقریب (۱) و حل موازنه هم و انرژی هم توان مقدار  $\gamma_2'$  را بدست آورد

$H_2' \approx H_5 = 163600 \text{ J/kg dry air}$

از رانایام مرطوب سازی  $\Rightarrow \gamma_2' = 0.0475 \text{ kg/kg}$

۵۱

پانویس ۴

$$E = G'_s (Y'_2 - Y'_1) = (2)(5.5)(0.0475 - 0.016) = 0.3465 \text{ kg/sec}$$

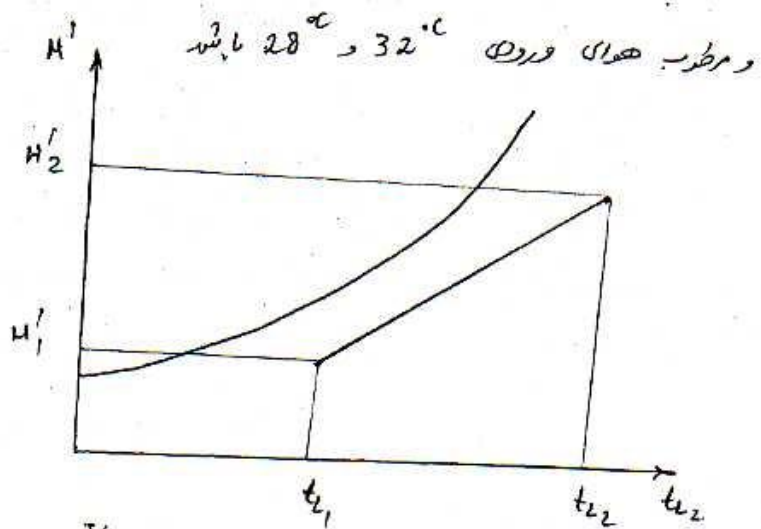
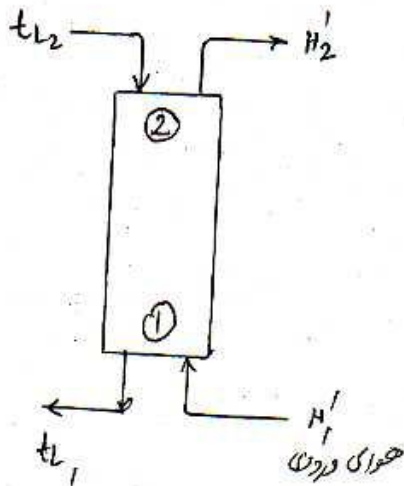
$$B = (0.3463) \left( \frac{500}{2000 - 500} \right) - 0.03 = 0.0855 \text{ kg/s}$$

$$M = B + E + W = 0.0855 + 0.3465 + 0.03 = 0.462 \text{ kg/s}$$

ماده ۱۴ فصل ۷

در سردکننده مکان ۱۱ درجه حرارت آب برده شده و خواهد شد آرمون برج خنک کن

صلبی طراحی شده و در همان مقدار قبلی کار برده شده باشد و درجه حرارتی حساس



$$\begin{cases} t_g = 32^\circ\text{C} \\ t_w = 28^\circ\text{C} \end{cases} \Rightarrow H'_1 = 90000 \text{ J/kg}$$

چون برج همان برج قبلی است - بار حرارتی کم

$$H'_2 - H'_1 = 163000 - 72000$$

منتقل می کند همان بار حرارتی برج قبل است -

$$H'_2 - 90000 = H'_2 - H'_1 = 163000 - 72000 \Rightarrow H'_2 = 181600 \text{ J/kg d.a.}$$

برای بار گرمایی همان قبل      برای بار گرمایی سیستم جدید

به علت ثابت بودن شرایط دو مکان - نسبت خط عمل م - همان مقدار قبلی خواهد شد  $\frac{L' C_{AL}}{G'_S}$

با قید این مطلب که  $N_{t06}$  تغییر نمی کند و با روش جدول و خط، این خط

را بدست می آوریم و  $t_{L1}$  بدست می آید.  $t_{L1} = 31.7^\circ C$

توضیح: یک حوض اولیه برای  $t_{L1}$  زده با دما  $t_L$  و نسبت خط عملی  $(\frac{L' C_{AL}}{G'_S})$

همه دماها معادله  $H_1$  و  $H_2$  را بدست آورده حال می بینیم چند نقطه بین  $t_{L1}$  و  $t_{L2}$

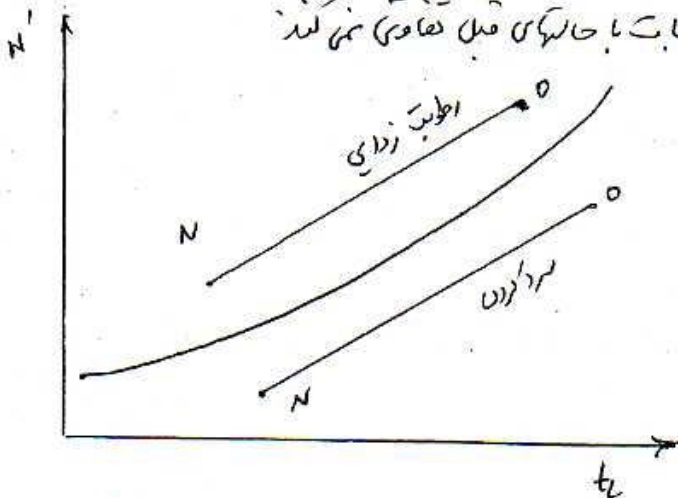
انتخاب کرده و مقدار برابر  $\frac{1}{H_1^* - H_1}$  بدست می آوریم حال مقدار انتقال عددی

را بدست آورده که برابر  $N_{t06}$  می باشد. اگر این مقدار برابر  $N_{t06}$  باشد

بود، همین عدد است می باشد در غیر این صورت مقدار  $t_{L1}$  را باید مجدداً تعیین کنیم

رطوبت زدایی از هوا - بخار آب:

نکته: چون دماهای آری با نسبت است - میسابت با حالتی قبل تفاوتی نمی کند



این فرایند عکس سرد کردن می باشد

در این حالت می خواهیم از هوا رطوبت

زدایی کنیم

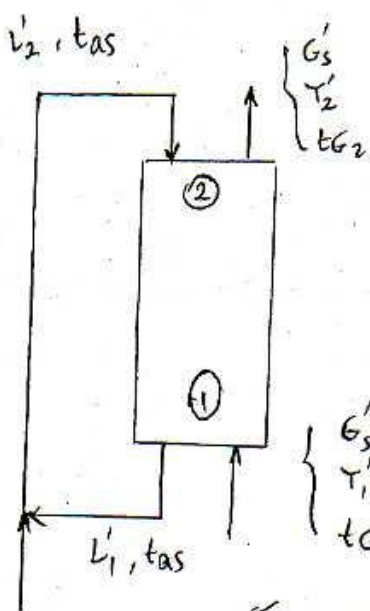
به این صورت که آب سرد را به دستگاه می فرستیم - رطوبت موجود در هوا جذب آب سرد می شود

در این نوع عملیات، فشار فزونی آب در محض ششک در فشار (حالت تقارن) کمتر از فشار فزونی

پانویس ۴

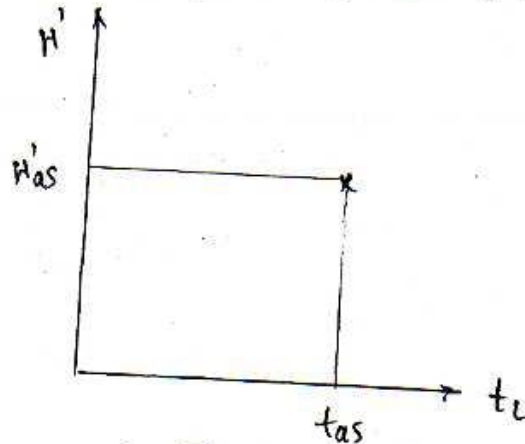
تجارت آب در گاز ساز می باشد ، به همین خاطر خط عمل با پای خود را نقاد می نماید .  
 نکته : جهت انتقال حرارت نیز عکس سرد کردن می باشد و از گاز (هوا) به سمت آب سرد می باشد  
 همچنین انتقال جرم هم از هوا به سمت آب سرد می باشد .

نکته : در اینجا driving force نیز متفاوت می باشد در سرد کردن ما داریم  $H_i' - H_i$   
 و در اینجا ما داریم  $H - H_i'$  یعنی  $H' > H_i'$



۱- کند و مربوط کردن گاز و برکت حدود گاز مایع

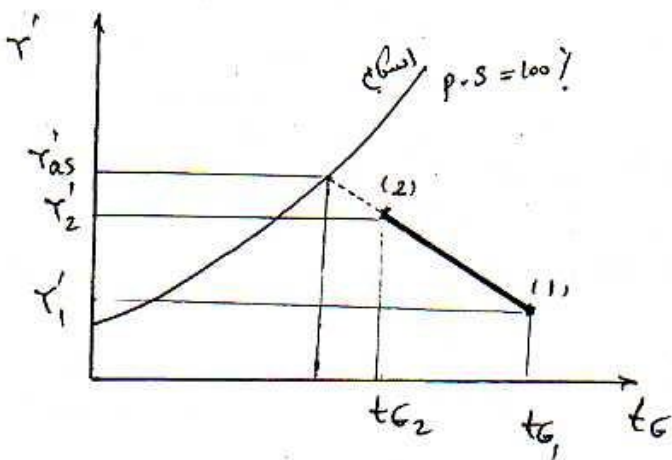
در اینجا نیز عملیات به صورت آریا باشد صورت نمی گیرد



توجه : بدون توجه به نوع سیستم و مقدار عدد لوئر این عمل وقتی میسر می گردد  
 که درجه حرارت مایع هنگام ورود به دستگاه برابر با درجه حرارت اسام آریا باشد  
 مطلقا گاز و تجار باشد ، برای اینکار کافیت که مایع خروجی از دستگاه بلافاصله بخور  
 مدام و بلافاصله وارد دستگاه گردد به طوری که فرصت جذب یا دفع حرارت را نداشته باشد

در چنین حالتی درجه حرارت مایع در تمام نقاط دستگاه برابر با درجه حرارت اشباع آریا باشد گاز  
 می باشد - درجه حرارت فاز گاز کاهش می یابد و میزان رطوبت آن افزایش می یابد  
 - تغییرات شریط در دو فاز در مسیر محلی اشباع آریا با یک پیس می رود این معنی از نقطه مربوط  
 به شریط و روی گاز عبور می کند بنابراین با استفاده از نمودار رطوبت نسبی می توان تغییرات حاصله در  
 درجه حرارت و رطوبت گاز را دنبال نمود.

- درجه حرارت آب سردی نیز برابر با درجه حرارت اشباع آریا باشد می باشد  
 - با توجه به اینکه آنتالپی محلول گاز در بخار فقط تابع درجه حرارت اشباع آریا باشد و این در  
 در طول این عملیات ثابت باقی می ماند و از طرف دیگر درجه حرارت مایع و در نتیجه آنتالپی آن نیز ثابت  
 است خط تعادل این عمل تبدیل به نقطه ای در روی محلی تعادل می گردد.  
 - با توجه به نقطه بودن نمودار تعادل - دنبال کردن شریط گاز در داخل دستگاه توسط نمودار دیگر  
 دنبال می گردد - که در این نمودار رطوبت مطلق گاز بر حسب درجه حرارت رسم می شود



برای بدست آوردن روابط مربوط  
 به پیس بینی رفتار دستگاه  
 در آن فرض می شود انجام داد.  
 ۱ - فرض کنیم عامل انتقال جرم کنترل کننده  
 فرآیند است - و یا

۲ - فرض کنیم عامل انتقال حرارت کنترل کننده فرایند است.

$$G'_s dY' = k_y a_m (Y'_{as} - Y') dz$$

فرض کنید همین معادله حاکم بر کار دستگاه

$$\left( \frac{k_y a}{G'_s} \right) dz = \frac{dY'}{Y'_{as} - Y'}$$

باشد. انتقال لایه‌ای می‌کنیم

دلیل این است که  $Y'_{as}$  فرض کنیم این است که انتقالی کار ثابت است

- مقدار driving force در هر نقطه برابر است با اختلاف  $Y'_{as}$  با  $Y'$  در آن نقطه

$$\left( \frac{k_y a}{G'_s} \right) z = \ln \left( \frac{Y'_{as} - Y'_1}{Y'_{as} - Y'_2} \right)$$

$$\frac{G'_s (Y'_2 - Y'_1)}{(k_y a) z} = \frac{(Y'_{as} - Y'_1) - (Y'_{as} - Y'_2)}{\ln \left( \frac{Y'_{as} - Y'_1}{Y'_{as} - Y'_2} \right)} = (\Delta Y')_{ave}$$

$$z = \frac{Y'_2 - Y'_1}{(\Delta Y')_{ave}} \times \left( \frac{G'_s}{k_y a} \right) \quad ; \quad N_{tG} = \frac{Y'_2 - Y'_1}{(\Delta Y')_{ave}} \quad , \quad H_{tG} = \left( \frac{G'_s}{k_y a} \right)$$

$N_{tG}$  : تعداد واحد های انتقال برای گاز کار

$H_{tG}$  : ارتفاع یک واحد انتقال

نکته: در این نوع عملیات که با ثابت بودن شرایط یک گاز - فاز دیگر به حالت تعادل نزدیک می‌شود، یک حالت رسیده‌ای که حد اکثر تغییرات حاصله در شرایط این گاز اتفاق می‌افتد به دست می‌آید. بازده موثری تعریف می‌کنیم

$$E_{MG} = \frac{Y'_2 - Y'_1}{Y'_{as} - Y'_1} = 1 - \frac{Y'_{as} - Y'_2}{Y'_{as} - Y'_1} = 1 - \exp(-k_y a z / G'_s) = 1 - \exp(-N_{tG})$$

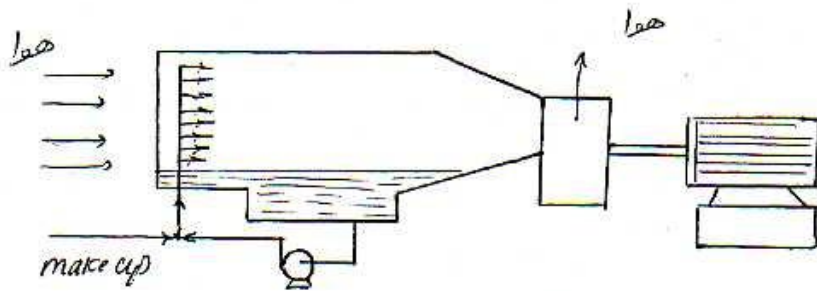


نکته: چنانچه عامل انتقال حرارت کنترل کننده فرایند باشد:

$$G'_s C_{s1} (t_{G1} - t_{G2}) = \frac{h_g a z [(t_{G1} - t_{as}) - (t_{G2} - t_{as})]}{\ln [(t_{G1} - t_{as}) / (t_{G2} - t_{as})]} = h_g a z (\Delta t)_{av}$$

سوال ۱۳ فصل ۷

یک اتاقک پاشنده (spray chamber) افقی با جریان آب پاششی برای مه‌طوب و سرد کردن هوا در شرایط آدنایاتیک به کار می‌رود. بخش انتقال دستگاه دارای طول ۲ متر و سطح مقطع  $2\text{ m}^2$  است. هوا با سرعت  $3.5\text{ m}^3/\text{sec}$  - دمای خشک  $65^\circ\text{C}$  و رطوبت  $0.017\text{ kg/kg}$  وارد شده و به درجه حرارت خشک  $42^\circ\text{C}$  می‌رسد. آرایش واحد رطوبت مشابه دستگاه اول به این دستگاه به صورت پیری متصل گردد (به سیر جریان گاز اضافه گردد) شرایط هوای خروجی چه خواهد شد.



حل: موقعی که دو دستگاه به طور سری به هم متصل کنیم مثل این است که یک دستگاه با طول مورد

دو برابر استفاده شده است.

$$Z = H_{tG} \times N_{tG} \quad \text{و} \quad N_{tG} = \ln \frac{Y_{as} - Y_1}{Y_{as} - Y_2}$$

$$H_{tG} = \frac{G'_s}{k_y a}$$

نقطه (۱)  $\left\{ \begin{array}{l} t_G = 65^\circ\text{C} \\ Y_1 = 0.017 \text{ kg/kg} \end{array} \right.$

با استفاده از معنی رطوبت نسبی

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{as} = 32^\circ\text{C} (\approx t_w) \\ Y_{as} = 0.0309 \\ Y_2 = 0.0265 \end{array} \right.$$

سعی رطوبت نسبی

پانویس ۴

$$\frac{Z}{K_{LG}} = N_{LG} = \ln \frac{Y_{as}' - Y_1'}{Y_{as}' - Y_2'} \Rightarrow Z \left( \frac{k_{ya}}{G_s'} \right) = \ln \frac{0.0309 - 0.017}{0.0309 - 0.0265} \quad , Z = 2m$$

$$\Rightarrow \frac{k_{ya}}{G_s'} = (0.575) m^{-1}$$

در سیستم جدید  $\left( \frac{k_{ya}}{G_s'} \right) = 0.575 m^{-1}, Z = 4m$

$$\ln \frac{Y_{as}' - Y_1'}{Y_{as}' - Y_2'} = (0.575)(4) \Rightarrow \ln \frac{0.0309 - 0.017}{0.0309 - Y_2'} = (0.575)(4) \Rightarrow$$

$$Y_2' = 0.0295 \text{ kg/kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Y_2' = 0.0295 \\ t_{as} = 32^\circ C \end{array} \right.$$

مستوی  
رطوبت نسبی

$$t_{G2} = 34^\circ C$$

حرفی به تقابل نزدیک تره نسوم به بعد

کم شدن driving force مقدار کم کردن درجه حرارت

کو طبقه شده است -

General methods

روشهای عمومی

$$Le \neq 1$$

عدد لوئیس مخالف یک

برای تمام عملیات مختلف جهت مداوم ، حتی آنهایی که در این بخش مورد بحث قرار گرفتند ، چنین فرضیات آسان نسوده ای که قبلاً بکار رفته است صدق نماید و با عدد لوئیز مخالف یک باشد معادله موازنه انشالی برای حجم کنترل II :

$$L C_{AL} dt_L = (G_s' C_{AL} dY' - h_L a_H dZ) (t_i - t_L)$$

معادله موازنه انشالی برای حجم کنترل III :

$$L' C_{AL} dt_L = G_s' \left\{ C_s dt_G + [C_A (t_G - t_0) - C_{AL} (t_L - t_0) + \lambda_0] dY' \right\}$$

$$t_i = t_l + \frac{G'_s \{ c_s dt_G dz + (c_{ATG} - c_{ALT}) t_o + (c_{AL} - c_A) t_o + h_o \} \frac{dy'}{dz}}{G'_s c_{AL} \left( \frac{dy'}{dz} \right) - h_L a_H}$$

هدف رسیدن از نقطه ورودی ① به ② است و این راه را با آنکترال گیری عددی طی چند مرحله انجام می دهیم.



معادله موازنه جرم در آنکترال III

$$-G'_s dy' = M_A F_G \ln \frac{1 - P_{Ai}/P_t}{1 - P_{Ag}/P_t} a_m dz$$

لازمه رفتن باشد یعنی  $P_{Ai}$  به  $P_{Ag}$  نزدیک باشد...

$$\frac{dy'}{dz} = - \frac{M_A F_G a_m}{G'_s} \ln \left( \frac{1 - P_{Ai}/P_t}{1 - P_{Ag}/P_t} \right) \approx - \left( \frac{k_y a_m}{G'_s} \right) (y' - y'_i) = \frac{dy'}{dz}$$

موازنه انتقالی در حجم کنترل I :

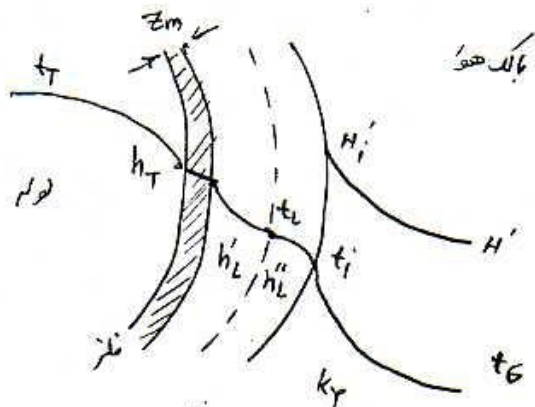
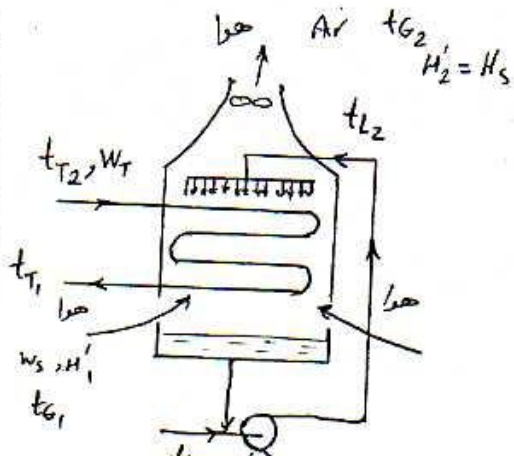
$$\frac{dt_G}{dz} = \frac{h_G a_H (t_G - t_i)}{-G'_s c_s} \approx - \frac{h_G a_H (t_G - t_i)}{G'_s c_s}$$

با حل همزمان این سه معادله تفاضلی

در 14 محورهای مطالعه کنید.

عملیات غیر آریباتیک non adiabatic operation

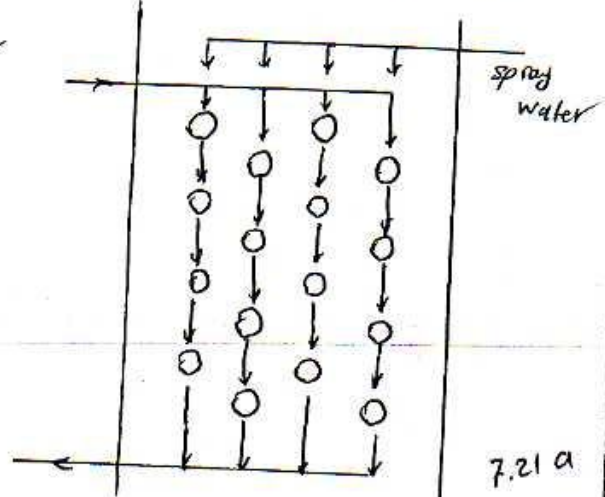
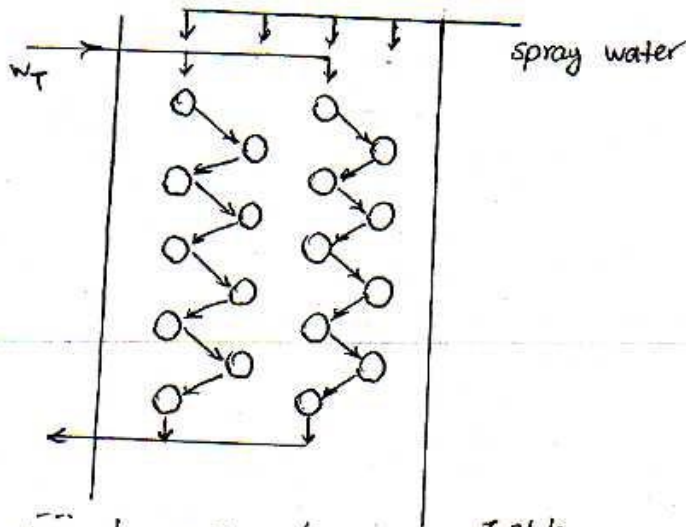
Evaporative Cooling



در حالت پایا ، انتقال حرارت درون لوله برابر انتقال حرارت درون لایه فیلم و برابر است با

$$t_{L1} \cong t_{L2}$$

انتقال حرارتی که توسط تغییر می شود



7.21 b

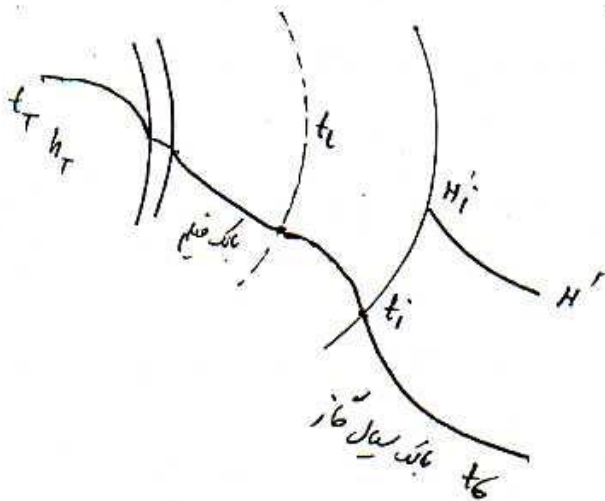
7.21 a

برای حالتی که احتیاج به سطح انتقال زیاد (طول سر زار) برابر است نخواهم  $\Delta T_T$  زیادی ایجاد کنم (درین حالتی می به در وقت تقسیم شده)

نسبت به حالت قبل دارای می میر مقدار سطح انتقال حرارت کمتر بوده و درای  $\Delta T_T$  کمتر مقدار استفاده قرار می آید (می به در وقت تقسیم شده)

$$Q = w_T C \Delta T_T$$

بار حرارتی جذب شده



مقاومتی که انتقال حرارت = مقاومت

انتقال حرارت از بانک مایع درون

لوله به سطح لوله - مقاومت بین سطح

لوله - مقاومت از سطح لوله به بانک سیال

بیرون - مقاومت بانک گاز

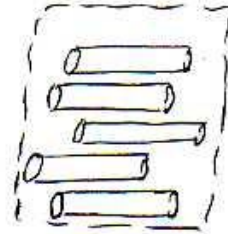
۵)

با نویس ۳

$A_0 =$  کل سطح موجود لوله ها (سطح های هر لوله در مقدار اول)

$A_0 x =$  سطح موجود لوله ها در حجم کنترل

$A_0 dx =$  سطح دیفرانسیلی برابر حجم کنترل دیفرانسیلی



$1 \leq x \leq 0$

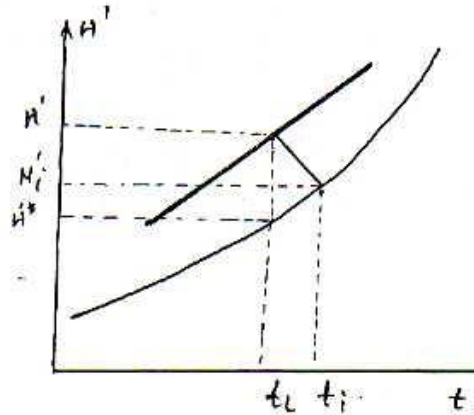
$x = 0$  : سطح برچ  $x = 1$  : سطح باغی برچ

$$\frac{1}{U_0} = \frac{d_0}{d_i (h_r)} + \frac{d_0}{d_{ave}} \frac{z_m}{k_m} + \frac{1}{h_L}$$

$d_0 =$  قطر خارجی لوله  $d_i =$  قطر داخلی لوله

$K_r =$  ضریب انتقال جرم از باکت به فیلم به باکت باز

$$\frac{1}{K_r} = \frac{1}{k_r} + \frac{m}{k_x}$$



$$(H' - H''^*) = (H' - H_i') + (H_i' - H''^*) = m(t_i - t_L)$$

$G'_s dH' = h_L a_H (t_i - t_L) dz$  ← درجه‌ای که با درجه‌ای برابر driving force در نظر می‌گیرد

$$G'_s dH' = k_r a_m (H' - H_i') dz$$

$$G'_s dH' = K_r a_m (H' - H''^*) dz$$

$W_T C_T dt_T = U_0 A_0 dx (t_T - t_L)$  مقدار حرارت تبادل شده از جریان درون لوله برابر

که  $t_T$  دمای سیال درون لوله (باکت باغی) و  $t_L$  دمای سیال که به ورودی سطح برچ می‌رسد

در این حالت رانندگی در هر دو طرف به سمت چپ و راست است

آن صفحه را با دقت بیشتری نگاه کنید - مقدار باک آن صفحه را بنویسید.

$$\frac{dt_T}{dx} = \frac{U_o A_o}{W_T C_T} (t_T - t_L) \quad 7.70 \quad \text{driving force}$$

$$W_{AL} C_{AL} dt_L = K_Y A_o dx (H'^* - H') - U_o A_o dx (t_T - t_L)$$

$\downarrow$  Sensible heat آب  
 $\downarrow$  عرض حرارت منتقل شده به هوا  
 $\downarrow$  عرض حرارت منتقل شده به آب

$$\frac{dt_L}{dx} = \left( \frac{K_Y A_o}{W_{AL} C_{AL}} \right) (H'^* - H') - \left( \frac{U_o A_o}{W_{AL} C_{AL}} \right) (t_T - t_L) \quad 7.71$$

$$W_S dH' = K_Y A_o dx (H'^* - H')$$

$$\frac{dH'}{dx} = \left( \frac{K_Y A_o}{W_S} \right) (H'^* - H') \quad 7.72$$

$$7.70, 7.71 \Rightarrow \frac{d(t_T - t_L)}{dx} + \alpha_1 (t_T - t_L) + \beta_1 (H'^* - H') = 0$$

$$\alpha_1 = - \left( \frac{U_o A_o}{W_T C_T} + \frac{U_o A_o}{W_{AL} C_{AL}} \right), \quad \beta_1 = \frac{K_Y A_o}{W_{AL} C_{AL}}$$

$$: \text{مورد } m \text{ ضرب در } 7.71 \quad m = \frac{H'^* - H'}{t_L - t_i} = \frac{dH'^*}{dt_L}$$

$$m \frac{dt_L}{dx} = \left( \frac{dH'^*}{dt_L} \right) \left( \frac{dt_L}{dx} \right) = \frac{dH'^*}{dx} \quad 7.71 \text{ مورد } m$$

$$= \left( \frac{m K_Y A_o}{W_{AL} C_{AL}} \right) (H'^* - H') - \left( \frac{m U_o A_o}{W_{AL} C_{AL}} \right) (t_T - t_L) \quad 7.71 \text{ مورد } m$$

$$\frac{dH'^*}{dx} - \frac{dH'}{dx} = \dots \Rightarrow \frac{d(H'^* - H')}{dx} + \alpha_2 (t_T - t_L) + \beta_2 (H'^* - H') = 0 \quad 7.72 \text{ مورد } m$$

$$\alpha_2 = \frac{m U_o A_o}{W_{AL} C_{AL}}, \quad \beta_2 = - \left( \frac{m K_Y A_o}{W_{AL} C_{AL}} - \frac{K_Y A_o}{W_S} \right) \quad T = t_T - t_L$$

$$H = H'^* - H'$$

فرض کنیم دمای سطح و دمای مایع در هر دو طرف برابر باشد

$$\begin{cases} \frac{dT}{dx} + \alpha_1 T + \beta_1 H = 0 \\ \frac{dH}{dx} + \alpha_2 T + \beta_2 H = 0 \end{cases}$$

$$H = -\frac{1}{\beta_1} \left( \frac{dT}{dx} + \alpha_1 T \right) \Rightarrow$$

$$\frac{dH}{dx} = -\frac{1}{\beta_1} \left( \frac{d^2 T}{dx^2} + \alpha_1 \frac{dT}{dx} \right) \Rightarrow \frac{d^2 T}{dx^2} + (\alpha_1 + \beta_1) \frac{dT}{dx} + (\alpha_1 \beta_2 - \alpha_2 \beta_1) T = 0$$

این معادله دیفرانسیل درجه دوم با شرایط

$$x=0 \quad T = t_{T1} - t_{L1}$$

$$x=1 \quad T = t_{T2} - t_{L2}$$

$$r^2 + (\alpha_1 + \beta_2)r + (\alpha_1 \beta_2 - \alpha_2 \beta_1) = 0 \quad \begin{matrix} \nearrow r_1 \\ \rightarrow r_2 \end{matrix}$$

$$T = M_1 e^{r_1 x} + M_2 e^{r_2 x}, \quad H = N_1 e^{r_1 x} + N_2 e^{r_2 x}$$

$M_j = \frac{M_j (r_j + \alpha_1)}{\beta_1}$  ,  $j=1,2$       مستقل نسبت  $M_2$  از  $N_2$  و  $M_1$  از  $N_1$

$$T_{ave} = (t_T - t_L)_{ave} = \frac{M_1}{r_1} (e^{r_1} - 1) + \frac{M_2}{r_2} (e^{r_2} - 1)$$

$$H_{ave} = (H'^* - H')_{ave} = \frac{N_1}{r_1} (e^{r_1} - 1) + \frac{N_2}{r_2} (e^{r_2} - 1)$$

برای سطح داخلی  $Q = W_T C_T (t_{T2} - t_{T1}) = W_S (H'_2 - H'_1) = U_o A_o (t_T - t_L)_{ave}$

$$= K_Y A_o (H'^* - H')_{ave}$$

بین لوله ها بصورت مثلثی است      triangular pitch

برای لوله های با قطر خارجی  $d_o = 19.05 \text{ mm} - 38 \text{ mm} \quad (3/4 \text{ in} - 1.5 \text{ in})$

$$(F/d_o) = 1.36 - 3.0 \quad \text{kg H}_2\text{O}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \quad (1000 - 2200 \text{ lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{h})$$

$$G'_{3 \text{ mi}} = 0.68 - 5 \quad \text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \quad (500 - 3700 \text{ lb}/\text{ft}^2 \cdot \text{h})$$

باکتویس ۳

$$h_L' = (982 + 15.58 t_L) (\Gamma / d_o)^{1/3} \quad w/m^2 \cdot K \quad t_L = 15 - 70^\circ C$$

$\Gamma$  (یا  $\Gamma'$ ) = mass rate of spray water per tube length

نکته: برای شکل 7.21 b باید طول لوله را دو برابر کنیم

$$h_L'' = 11360 \quad w/m^2 \cdot K, \quad k_r = (0.0493) [G_{s, min} (1 + Y_{ave})] \quad \frac{kg}{m^2 \cdot s \cdot \Delta T}$$

سرعت جریان انتقال جرم در فاز گاز  $v$  باشد ۱۵ - نصف  $v$

یک شک کشته تجربی از نوع نسان دانه شده در شکل 7.21 b را برای سرد کردن جریان

روغن بکار می‌بریم جریان روغن که با سرعت 4 kg/s در داخل لوله جریان دارد در 95°C

دارد می‌شود خواص متوسط روغن عبارتند از  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu = 0.005 \text{ kg/m.s}$

برج خنک کننده از یک پوسته قائم با قاعده مستطیلی  $C = 2010 \text{ J/kg} \cdot K$  و  $K = 0.1436 \frac{w}{mK}$

ساخته شده است. که عرض آن 0.75 m (عرض در جهت عمود بر محور لوله‌ها) و دارای

400 قطعه لوله ماری به قطر خارج 19.05 mm و ضخامت دیواره 1.65 mm و طول 3.75 m

است. به طوری که فاصله افقی بین مراکز لوله‌های مجاری برابر 38 mm است لوله‌ها در

ردیفی افقی 20 تایی قرار دارند و نوعاً به صورت مجاری بین لوله‌های افقی ردیف اول توزیع

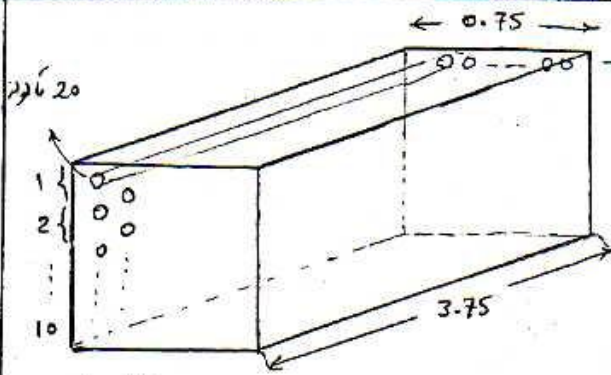
می‌شوند پس طبق طرح 7.21 b در استاندارد مستوفی لوله ده تایی جریان می‌یابد، آب سرد

گنده با سرعت 10 kg/sec جریان می‌یابد شدت جریان هوا قرار است 2.3 kg d.air/s باشد

که در شرایط اتمسفری درم‌جودت خنک 3°C در رطوبت 0.01 و دالر خواهد شد درم‌جودت



پایه نویسی ۲



20 تاوله  
 $t_{T1} =$  درجه حرارت روغن خروجی از تاوله که محمول است

طریقه حل ساده: در ابتدا فرضیات استعلا

را محاسبه می کنیم در طول حل ساده باید  $t_1$  و  $t_2$

را حدس بزنیم. پس حدس خرابی را باید می کنیم

پس در هر طبقه 40 تاوله  
 وجود دارد.

در صورت درست بودن حدس اولیه ساده را از ابتدا می دهیم. در غیر اینصورت حدس اولیه را اصلاح کرده ر...

$$\text{مساحت مقطع آبراز چکان هوا} = (0.75 - (20)(0.01905))(3.75) = 1.384 \text{ m}^2$$

$$t_{G1} = 30^\circ\text{C}, \gamma_1 = 0.01 \Rightarrow H_1 = 56 \text{ kJ/kg}$$

$$w_s = 2.3 \text{ kg/s}, G_s = \frac{2.3}{1.384} = 1.662 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s} \quad G_s \text{ فرض می کنیم که این } G_s$$

$$G_{s \text{ min}} = 1.662 \text{ مقدار } G_{s \text{ min}} \text{ می باشد}$$

$$\gamma_{\text{ave}} = 0.035 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{ پس } \gamma_1 = 0.01 \quad \gamma_2 = 0.06 \text{ kg/kg} \quad \gamma_2 \text{ حدس مقدار } \gamma_2$$

$$k_T = 0.0493 [G_{s \text{ min}} (1 + \gamma_{\text{ave}})]^{0.905} = 0.0493 [1.662 (1 + 0.035)]^{0.905} = 0.05826$$

$$\Gamma = \frac{10}{(40 \times 2)(3.75)} = 0.0333 \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

kg/m<sup>2</sup>·s or  
 0.0805 مقدار دانسیته در تاوله

$$\frac{\Gamma}{d_0} = \frac{0.0333}{0.01905} = 1.75 \text{ kg/m}^2\cdot\text{s}$$

$$t_L = 28^\circ\text{C} \quad t_L \text{ حدس اولیه مقدار } t_L$$

$$h_L' = (982 + 15.58 t_L) \left( \frac{\Gamma}{d_0} \right)^{1/3} = (982 + 15.58(28)) (1.75)^{1/3} = 1709 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$h_L'' = 11360 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}, \quad m = \left( \frac{dh_L''}{dt_L} \right) \Big|_{t_L=28^\circ\text{C}} = 5000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

در تاوله (در هر تاوله) ...

نقطه: برای بدست آوردن  $m$  از روی نمودار رطوبت نسبی در نقطه  $t_1 = 28$  کی بی هم رسم کردیم  
و مقدار نسبت  $m$  را بدست می آوریم.

$$\frac{1}{K_T} = \frac{1}{k_T} + \frac{m}{k_X} = \dots \Rightarrow K_T = 0.0568 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{C} \quad 0.077$$

مقدار  $h_T$  ضریب انتقال حرارت لوله را با استفاده از هندسکهای موجود می توان بدست آورد (p 10-14 5th Ed. Perry)

$$d_i = [19.05 - 2(1.65)] / 1000 = 0.01575 \text{ m}$$

$$A_i = \frac{\pi}{4} d_i^2 = \dots = 1948 \times 10^{-4} \text{ m}^2, \quad G'_T = \frac{W_T}{A_i} = \frac{4}{1.948 \times 10^{-4}} = 1026.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$Re = \frac{d_i G'_T}{\mu_T} = \frac{(0.01575)(1026.7)}{0.005 \text{ kg/m} \cdot \text{s}} = 3234$$

$$Pr = \frac{\mu C}{k} = \frac{(0.005)(2010)}{0.1436} = 70.0$$

برای تعیین  $h_T$  به شکل موجود در هندسک

$$Nu = \dots \Rightarrow h_T = 364 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad \text{و} \quad k_m = 112.5 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\frac{1}{U_o} = \frac{d_o}{d_i h_T} + \frac{d_o}{d_{ave} k_m} + \frac{1}{h'_2} \quad \text{و} \quad d_{ave} = \frac{d_o + d_i}{2} = \frac{0.01905 + 0.01575}{2}$$

$$\Rightarrow U_o = 255 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$W_T = 4 \text{ kg/s} \quad W_{AL} = 10 \text{ kg/s} \quad \text{و} \quad W_S = 2.3 \text{ kg/sec} \quad - C_T = 2010 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$C_{AL} = 4187 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \quad \beta_1 = - \left( \frac{U_o A_o}{W_T C_T} + \frac{U_o A_o}{W_{AL} C_{AL}} \right) = -3.393$$

$$\alpha_2 = \frac{m U_o A_o}{W_T C_T C_{AL}} = \frac{14 \times 41}{2734} \quad \beta_2 = \frac{K_T A_o}{W_{AL} C_{AL}} = \dots = 12.2 \times 10^{-5} \quad 1.65 \times 10^{-4}$$

$$\beta_2 = - \left( \frac{m K_T A_o}{W_{AL} C_{AL}} - \frac{K_T A_o}{W_C} \right) = 1.609 \quad 2.18$$

۵۷

①

کنویس ۳

$$K_T = 0.0568 \quad (k_T = 0.0805)$$

$$\alpha_1 = -3.393 \quad , \quad \alpha_2 = 2735.5$$

$$\beta_1 = 12.2 \times 10^{-5} \quad 16.8 \times 10^{-5}$$

$$\beta_2 = 1.609 \quad 2.18$$

$$r^2 + (\alpha_1 + \beta_2)r + (\alpha_1\beta_2 - \beta_1\alpha_2) = 0$$

$$r^2 + (-1.784)r + (-5.793) = 0 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} r_1 = 3.459 & 3.473 \\ r_2 = -1.675 & -2.26 \end{cases}$$

$$r^2 + (-1.203)r + (-7.848) = 0$$

$$N_j' = \frac{M_j'(r_j + \alpha_j)}{\beta_j} \Rightarrow \quad \begin{aligned} N_1 &= 541 \text{ M}_1 & N_1 &= 485 \text{ M}_1 \\ N_2 &= -41541 \text{ M}_2 & N_2 &= -39260 \text{ M}_2 \end{aligned}$$

$$x=1 \quad t_T = t_{T_2} = 95^\circ\text{C}$$

$$(95 - t_L) = M_1 e^{r_1} + M_2 e^{r_2} = (31.785)M_1 + (0.1873)M_2$$

$$x=0 \quad H_1' = 56 \text{ kJ/kg} \quad , \quad (H_1'^* - 56000) = N_1 e^0 + N_2 e^0 = N_1 + N_2$$

$$(H_1'^* - H_1')_{ave} = \frac{M_1}{r_1}(e^{r_1} - 1) + \frac{N_2}{r_2}(e^{r_2} - 1) \quad , \quad (t_T - t_L)_{ave} = \frac{M_1}{r_1}(e^{r_1} - 1) + \frac{M_2}{r_2}(e^{r_2} - 1) \quad \text{use}$$

$$(t_T - t_L)_{ave} = (8.9)M_1 + (0.485)M_2$$

$$(H_1'^* - H_1')_{ave} = (8.9)M_1 + (0.485)M_2$$

$$Q = U_o A_o (t_T - t_L)_{ave} = K_T A_o (H_1'^* - H_1')_{ave}$$

$$(255) [ 8.9 M_1 + 0.485 M_2 ] = (0.0568) ( 8.9 M_1 + 0.485 M_2 )$$

$$[ (8.9)(541 M_1) + (0.485)(-41541 M_2) ]$$

$$M_2 = -1.574 M_1$$

با داشتن رابطه  $M_1$  و  $M_2$  سمت راست معادله را بر حسب  $M_2$  می نویسیم

$$(95 - t_L) = (31.875) M_1 + (0.1273) (-1.574) M_1 = (31.49) M_1$$

$$(H_1^* - 56000) = M_1 + M_2 = \dots = (65926.5) M_1$$

$$\frac{H_1^* - 56000}{95 - t_L} = 2093.6 \Rightarrow H_1^* = 254890 - (2093.6) t_L$$

از معادله خط ۱ را با معادله خط ۲ قطع می کنیم

$$\Rightarrow t_L = 40^\circ C$$

پس در این دما،  $H_1^*$  مقدار  $H_1^*$  شود و

ما به طور کلی شدیم که با استفاده از این روش می توانیم مسائل مشابه را حل کنیم.

$$\Rightarrow H_1^* = 171.1 \text{ kg d.a}$$

$$H_1^* - 56000 = (65926.5) M_1 \Rightarrow M_1 = 1.746, M_2 = -2.748$$

$$(t_T - t_L)_{ave} = (8.9) M_1 + (0.485) M_2 = 14.2^\circ C$$

$$Q = U_o A_o (t_T - t_L)_{ave} = (255)(89.8)(14.2) = 325165.8 \text{ w}$$

$$Q = W_T C_T (t_{T2} - t_{T1}) \quad 325165.8 = (4 \times 2010)(95 - t_{T1})$$

$$\Rightarrow t_{T1} = 54.5^\circ C$$

پاکتویس ۲

اجتناب به کپی کردن مقدار  $T_2'$  هم هست.

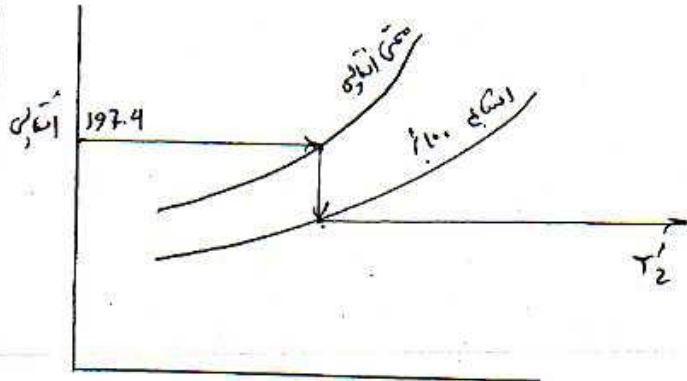
$$Q = W_s (H_2' - H_1')$$

$$325165.8 = (2.3)(H_2' - 56000)$$

$$\Rightarrow H_2' = 197380 \text{ کج/کج} \approx 197.4 \text{ کج/کج}$$

فرض کنیم هوای خورشید را بیاییم با باند:

$$T_2' = 0.059 \text{ کج/کج}$$



## EVAPORATION

مصل ۱۴ کتاب Mallabe (جای ۲۶)

هدف - حذف حلال از یک محلول می باشد - برای تغلیظ یک محلول مورد استفاده قرار می گیرد

موضوع می کنیم: که بخار فقط از حلال خالص تشکیل شده است - در سایر مواقع حلال از زمین بازمی آید

نظارت و از سیستم خارج می گردد (استفاده از آب مقطر)

مقدار: یک مقاله مولد نه انالیمی برای سیستم نوشته

تعدادی از مشخصات مایعی که تبخیر می کنند در زیر آورده شده

مشخصات مایع: غلظت: اگر برای محلولی در رقیق مشخصات محلول نسبت به آب

می باشد ولی با تبخیر حلال (آب) غلظت افزایش یافته و به همین ترتیب نقطه جوش، دانسیته و

ویسکوزیته نیز افزایش می یابد و انتقال حرارت نیز مشکل تر می گردد

کف ساز بودن (Foaming) بعضی از مواد مخصوص مواد آلی در طول تبخیر تشکیل کف می دهند

این کف تولید می شود و حل مواد درون تبخیر کننده به بیرون می کشند

حساسیت مواد (فولاد) به رما:

باید توجه داشت که بعضی از فولاد مثل فولاد قدار نسبت به رما حساس می باشد در این

صورت باید زمان اقامت را درون برج کاهش داد، این کار را می توان با کاهش فشار، کاهش نقطه

جوش انجام شود.

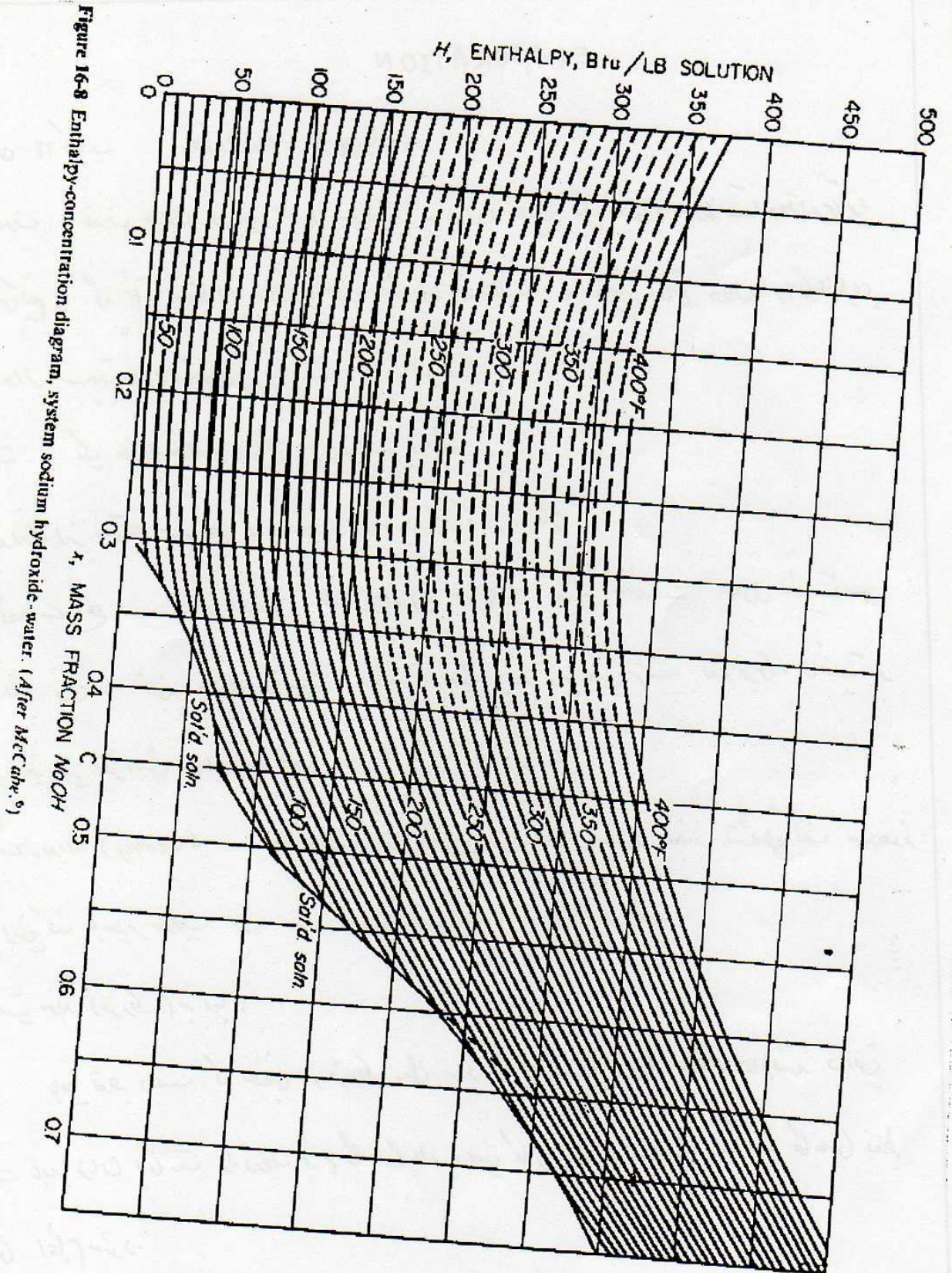
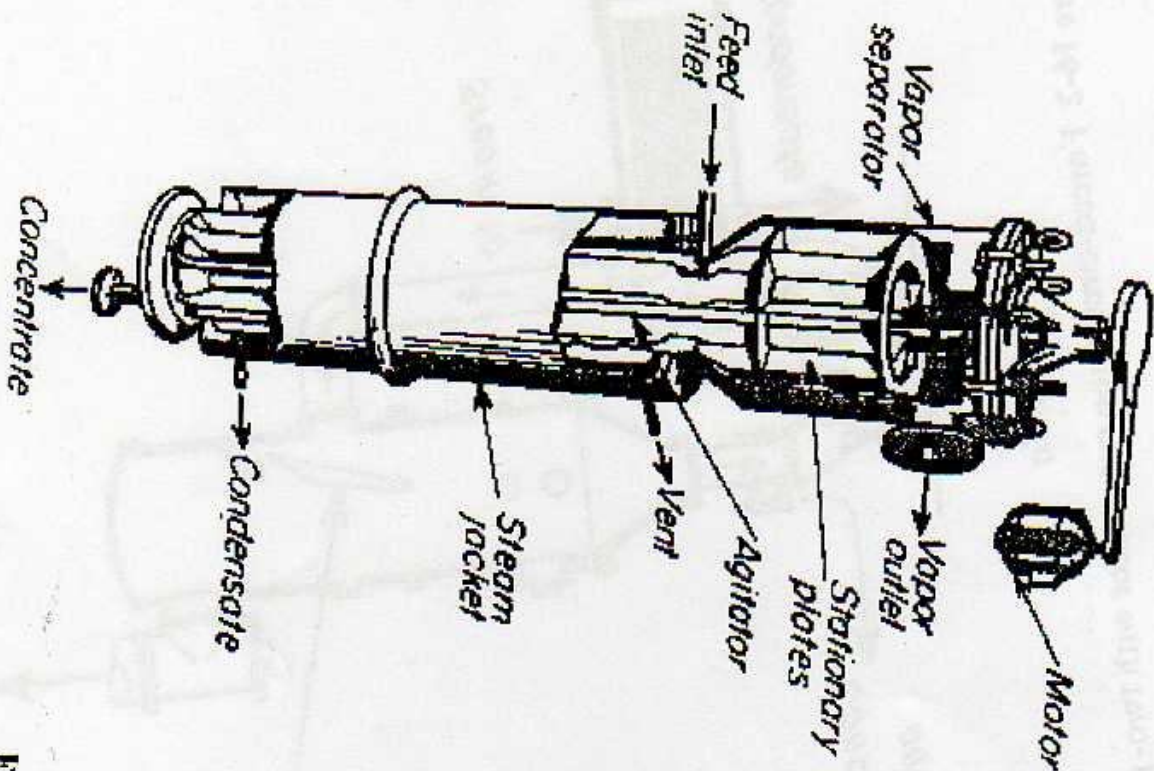


Figure 16-8 Enthalpy-concentration diagram, system sodium hydroxide-water. (After McCabe, 9)



... may be estimated from Eq. (15-21). As in other eva

... of ungenerally viscous liquids

Figure 16-3 Agitated-film evaporator.



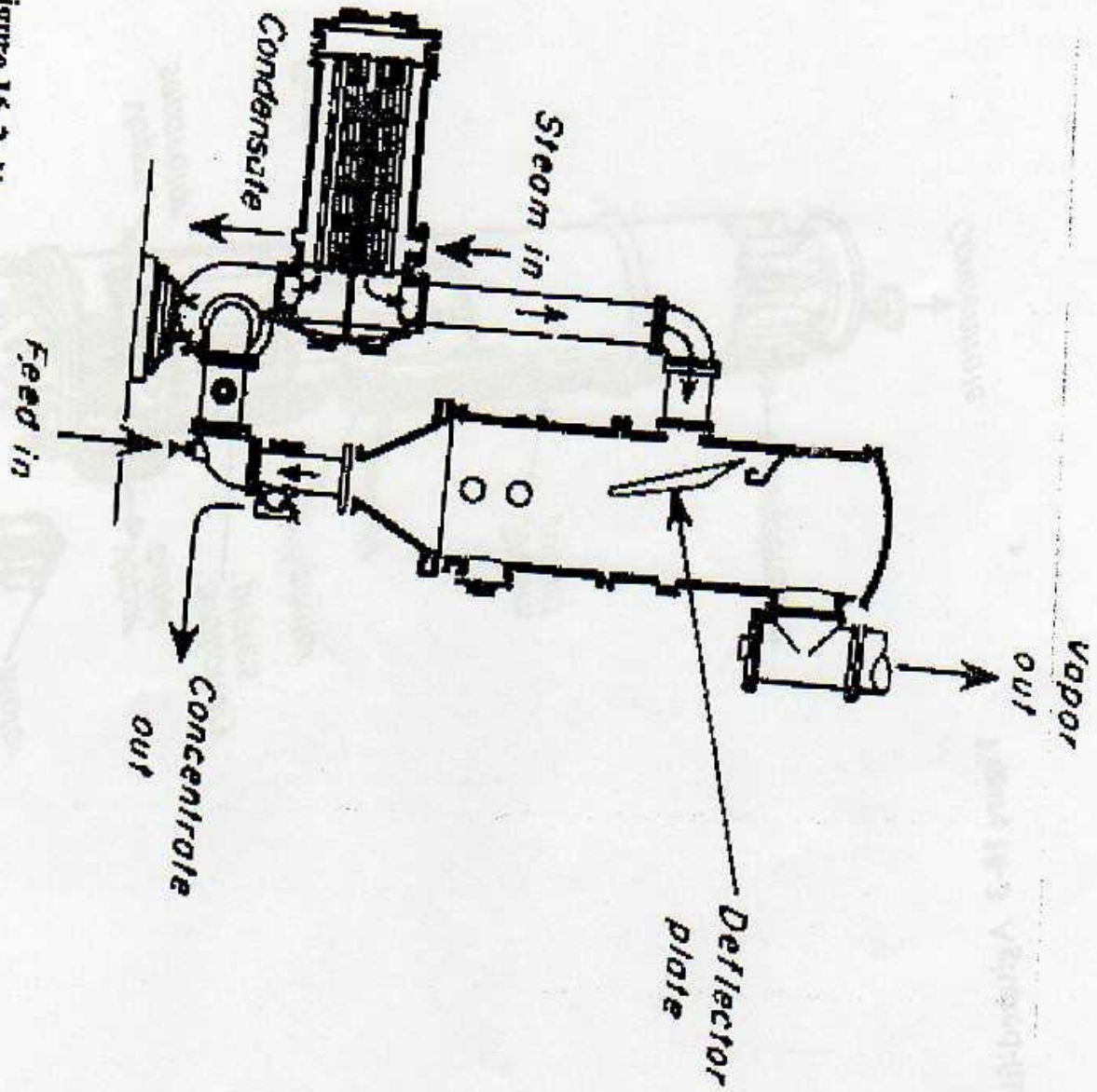
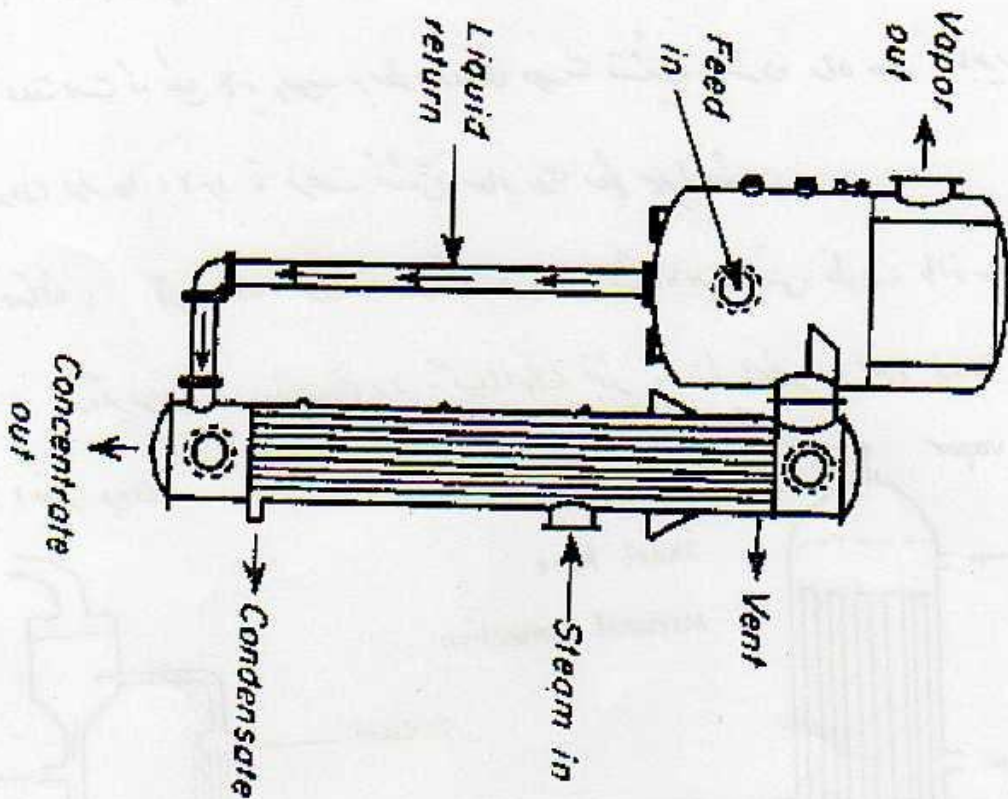


Figure 16-2 Forced-circulation evaporator with two-pass horizontal separate heating elements



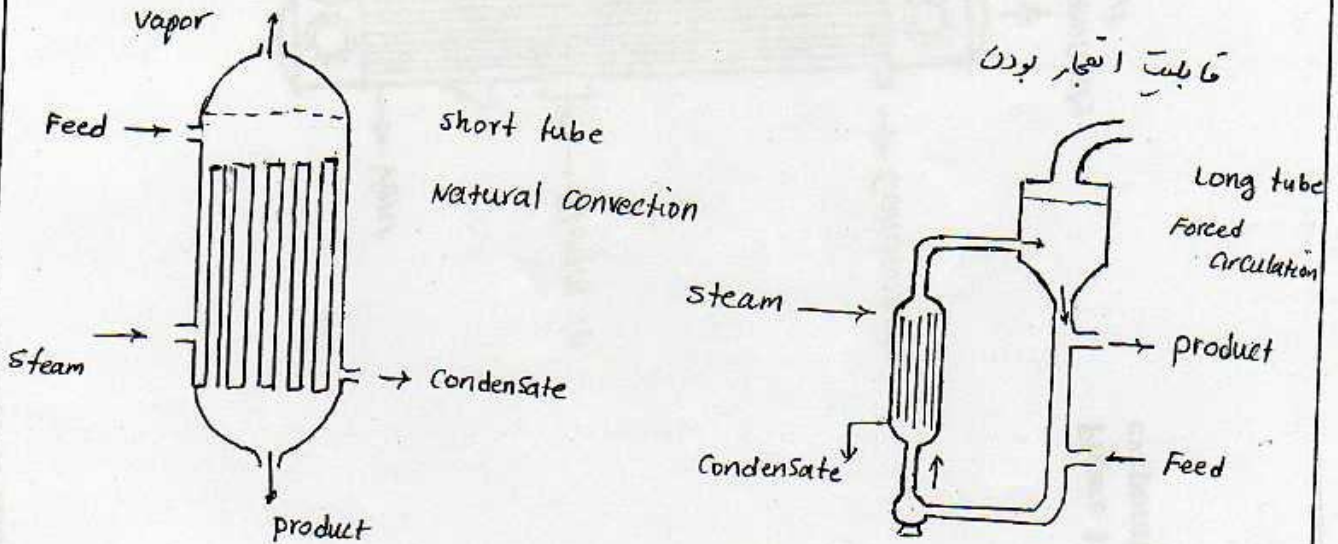
..... pressure inside the tubes as a result of the boiling action; separated liq

Figure 16-1 Climbing film, long-tube vertical evaporator.

باکتویس ۳

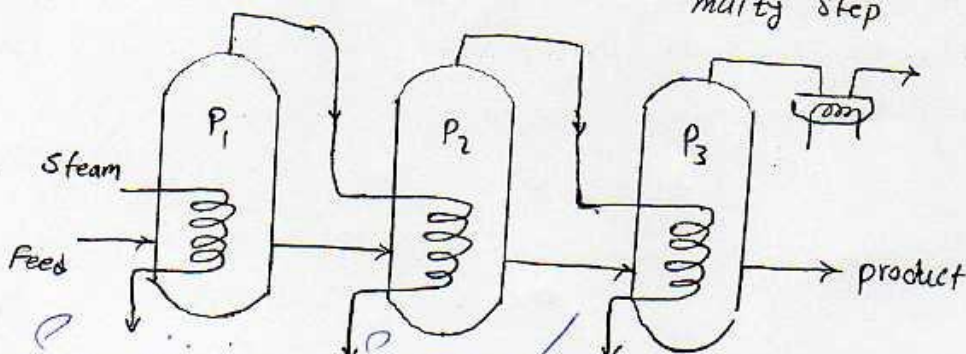
لازم رسوبی؛ گاهی مواقع حلالیت معکوس بوجود می آید - یعنی با بالا بردن دما حلالیت کاهش می یابد  
 این پدیده علت است که در لایه رسوب بر سطوح انتقال حرارت تشکیل می شود، راه حل: مبادله حرارت  
 جریان را درون لوله ها با پرده یا فرصت نشستی مواد ریز سطح پیدا نشود.

مواد ساختمانی؛ اگر ماده مورد استفاده خورنده باشد باید جنس ظروف را از مواد مخصوص  
 ساخت؛ از دیگر خواص که در آن نام برد، ترکیب آن تیمر، نقطه انجماد، سمی بودن.



قابلیت انجماد بودن

درجه حرارت ورودی



$P_3 < P_2 < P_1$

در همان جهت که  
 فشار کاهش پیدا می کند  
 طول آن هم جریان دارد.

بر این روش Forward Feed گویند.

نکته: نقطه جوش یا انجماد خلط - انجماد پیدا  
 می کنند  
 در روش back ward f.  
 انت فشار جریان دارد.  
 خوردن در جهت خلط

### عملکرد تبخیرکننده :

ظرفیت ( Capacity ) : مقدار بار حرارتی ( q ) که یک تبخیرکننده می تواند تحمل کند

مقدار Capacity را بر حسب مقدار تبخیر آب بیان می کنند .

ضریب صرفه ( Economy ) :

$$Economy = \frac{\text{ریعت تبخیر آب}}{\text{ریعت مصرف بخار}}$$

حالت ایده آل وقتی است که بارای مصرف هر مقدار

$$Economy = 1 \quad \text{بخار صحت مقدار آب تبخیر کند}$$

در عملیات چند مرحله ای صرفه جلوگیری ضریب صرفه بیشتر می شود ( می تواند دو سه هم شود )

در حالت سری از نظر اقتصادی می تواند تا پنج و شش مرحله هم شود

تعیین نقطه جوش مطلق : برای تعیین نقطه جوش مطلق احتیاج به اطلاعات ترمودینامیکی حلال

دست شوند و میباشد .

افزایش نقطه جوش Boiling point Elevation ( BPE )

مشارکت بخار بیشتر محلول کمتر از مشارکت بخار آب در همان زمان میباشد و به همان ترتیب در یک فشار یکسان دمای

نقطه جوش یک محلول بیشتر از نقطه جوش آب میباشد .

برای محلولهای رقیق یا محلولهای از نپهای آن این افزایش نقطه جوش را کم میباشد .

$$BPE = T_{soln} - T_{solv}$$

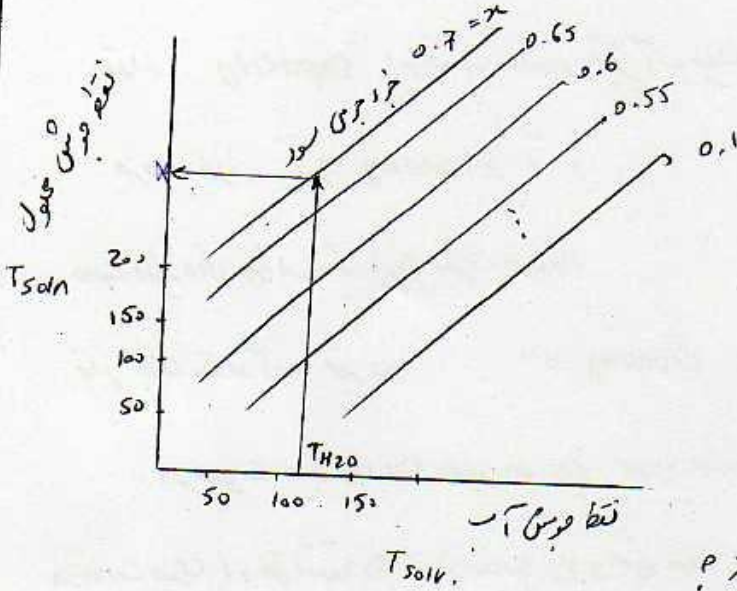
محلول                  حلال

برای محلولهای غلیظ افزایش نقطه جوش را نسبت از روش توانس تجربی مثل روش دورنند

۴۳

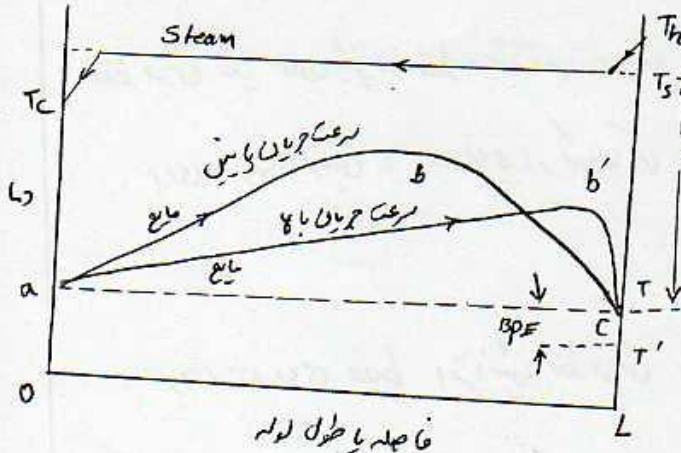
پاکتویس ۲

در این روش نقطه جوش مخلوط را در فشار معین بر حسب نقطه جوش مطلق بدست می آورند که بصورت یک خط راست خواهد بود. نمونه ای از این نمودار در کتاب رسم شده ۱۴-۴



موانعی که بر روی BPE تأثیر دارند؟

یکی از موانعی که بر روی BPE تأثیر می‌گذارد، اختلاف تبخیر محلی است که BPE را افزایش می‌دهد. عامل دوم که بر روی BPE تأثیر می‌گذارد، فشار مایع (هد مایع) است که با افزایش ارتفاع ستون مایع بر روی BPE تأثیر می‌گذارد. همچنین خالص BPE یک مخلوط در یک ستون سیال در نقاط مختلف متفاوت است و مقدار آن در بالای ستون با پایین ستون فرق می‌کند.



ماترکان بر روی دیواره در گاز بخار مایع بر روی کرد.

T های مخلوط درجه حرارت حلال خالص در فشار سیستم

فاصله یا طول لوله

این اضداد را  $UA$  BPF است که مقدار ثابتی نسبت به در طول لوله (عمودی) فرق می‌کند تقصیرات  
 و با به صورت یک معنی در می‌آید که در این جا بصورت مابزیم در می‌آید

فرایند انتقال حرارت : Heat Transfer Equation

$$Q = UA \Delta T \quad (\text{Heat capacity})$$

A : با توجه به مقدار بار حرارتی دستگاه بتوان مقدار سطح حرارتی مورد نیاز را می‌توانیم کرد

$\Delta T$  : اختلاف درجه حرارت محمول درون لوله و وسیله خارج لوله -  $\Delta T$  به مقدار اثر ساده

حل ساده بر روی فشار بخار و به شکل دستگاه سبکی دلدرد  $\Delta T = T_s - T$

U : مقدار ضریب انتقال حرارت که به نوعی دستگاه و نوع عملکرد سبکی دلدرد

مقاومتی که در U تأثیر دارند عبارتند از :

۱ - مقاومت سیال یک طرف ۲ - لایه رسوبی یک طرف

۳ - فیلم سیال ۴ - لایه رسوبی مربوط به طرف دیگر

فیلم مربوط به طرف دیگر که با فیلم طرف قبل با هم ترکیب می‌شوند

۵ - مقاومت مربوط به جوش و مقاومت دیواره لوله

مغزی از این مقاومتها بیشتر هستند و کنترل کننده فرایند انتقال حرارت خواهند شد مگر مقاومت

سیال مایع زیتر (کنترل کننده) است .

نوع سیال عبوری از درون لوله هم مهم است زیرا ممکن است درون لوله یک فشارت رسوبی تشکیل شود که موجب مقاومت رسوبی شود.  
 فایده مایع دلداری مقاومتی برابر از هم است. که از معادلات تجربی فرانت انتقال حرارت استفاده می‌کنند.

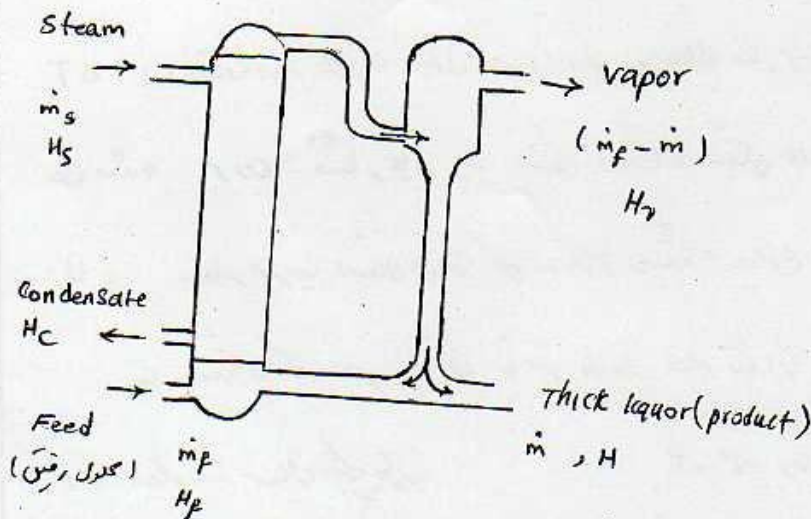
مقدار  $q$  از معادله انتقال حرارت درون سیستم بدست می‌آید.

برای تغییر کننده یک بردهای:

در خارج لوله ها بخار

جریان دلداری در داخل لوله ها

خوراک جریان دلداری



محصولات تغییر در حرارت درون سیستم وجود دارد و می‌توانیم که حالت تکفازت باشد و سطح

تغییر در حرارتی وجود نداشته باشد.

برگشت انتقال حرارت Steam

$$q_s = m_s (H_c - H_s) = -m_s \Delta_s$$

نکته: ممکن است لغزش فرجه بردهای subcool (نوی سرد) باشد یا بخار ورودی چند درجه ای

سردی است باشد و در می‌تواند ما زین می‌کنیم که بخار ورودی را هم فرجه در حالت اسباب می‌باشد.

۱۱

$$q = (m_p - m) H_v + m H - m_p H_p$$

در حالتی که فرآیند سرد کننده (تولید کننده بخار)

$$q + q_s = 0$$

$$q = -q_s = m_s \lambda_s = (m_p - m) H_v + m H - m_p H_p$$

در ادامه دو حالت را بررسی می‌کنیم.

۱) گرمای انجماد فرود حل شونده زیاده قابل توجه باشد

۲) گرمای انجماد فرود حل شونده ناچیز باشد و قابل صرف نظر کردن

گرمای انجماد ناچیز باشد!

$$q = q_p + q_v$$

برای حالتی که گرمای انجماد ناچیز باشد  $BPE \approx 0$

از روی فشار تبخیر و پس از جدول

$$q = m_p C_{pp} (T - T_p) + (m_p - m) \lambda_v = q_v$$

فشار و بخار دمای  $T_s$  را بدست می‌آوریم.

نکته: اگر انشالی جریان محصول را reference بگیریم - در این صورت این ترم صفر شده و وقت می‌آورد

و می‌توان از معادله بالا فرم ساده‌تری را بدست آورد.

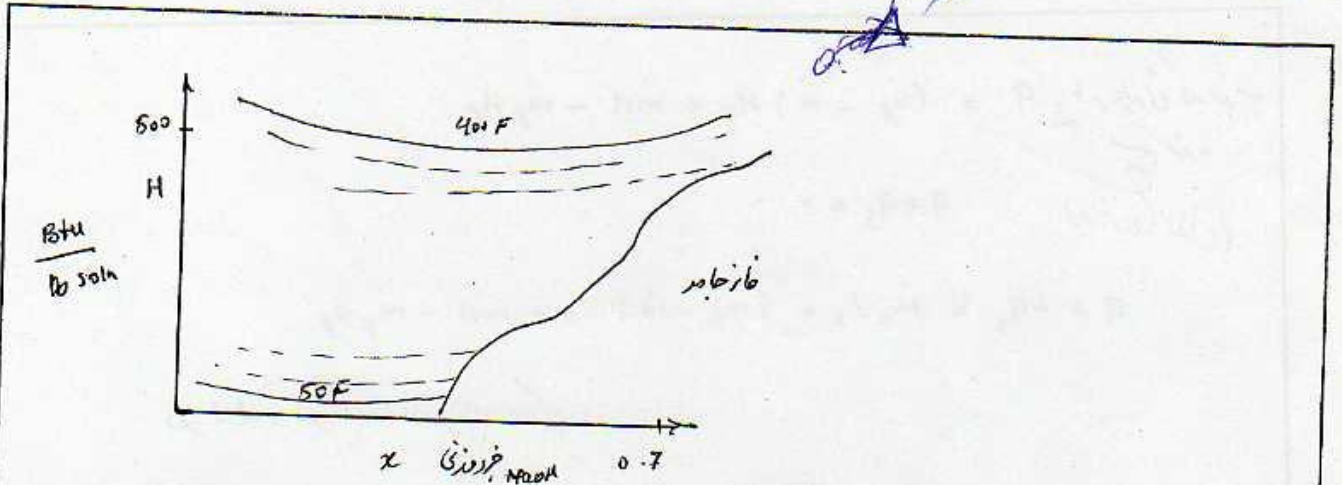
حالت دوم: گرمای انجماد زیاده باشد.

در این حالت تصفیهات انشالی برصفت فغلی خواهد بود نسبت به غلظت و از معادله

$$q = m_s \lambda_s = (m_p - m) H_v - m_p H_p + m H$$

به عنوان مثال تصفیهات انشالی نسبت به غلظت برای انجماد سود در آب  $NaOH/H_2O$  در شکل 8-16





مسئله :

می خواهیم یک محلول مورد کلوئیدی آبی در آب را از ۱۰ تا ۵۰ درجی تبخیر کنیم. یک مرفله ای  
 تعبیه کنیم. بخار با فشار ۱۵ psia موجود است می خواهیم فشار بخار در دستگاه برابر با (122 mm)  
 ۱۴ اینچ جیوه مطلق باشد که در این فشار نقطه جوش آب برابر ۱۲۵ °F است سرعت فوران  
 ۵۵۰۰۰ lb/hr ضرب کنیم (انتقال حرارت را می توان برابر ۵۰۰ Btu/h ft<sup>2</sup> F  
 فرض کرد. اترانس نقطه جوش و گرمای رقیق شده محلول نا همزیست.

سرعت مصرف بخار آب؟ ضربیم صرفه. سطح حرارتی لازم را حساب کنیم اگر درجه حرارت فوران برابر  
 باشد با (الف) ۱۲۵ °F (ب) ۷۰ °F (ج) ۲۰۰ °F  
 کمترین حرارتی محلول خوراک برابر است با ۰.۹ Btu/lb °F و اندازهای حرارتی نا همزیست -

حل :

فوران ۱۰ lb مقدار :  $M_F = 5.5 \times 10^4 \text{ lb/hr}$

مقدار مواد جامد =  $10(0.1) = 1 \text{ lb}$

مقدار محلول = ۱ lb

۹۸

پاکتویس ۲

مقدار آب ورودی =  $10(0.9) = 9.0 \text{ lb}$

آب تبخیر شده =  $9 - 1 = 8.0 \text{ lb}$

$m = 55000 - 44000 = 11000 \text{ lb/h}$  ,  $\dot{m} = (55000) \left( \frac{B}{10} \right) = 44000 \text{ lb/h}$

$T_s, P_s \rightarrow \lambda_s = 946 \text{ Btu/lb}$       $T_F, P \rightarrow \lambda = 1023 \text{ Btu/lb}$   
 $P_s = 10 \text{ psig}$       $T = 125^\circ \text{F}$  ,  $T_F = 125 - 70 = 200$

$m_s \lambda_s = (m_F - m) \lambda + m_F C_{pF} (T - T_F) \Rightarrow m_s = 47580 \text{ lb/hr}$

$e = \frac{(m_F - m)}{m_s} = \dots = 0.925$

$A = \frac{m_s \lambda_s}{U(T_s - T)} = \dots = 725 \text{ ft}^2$

$T_F$	$m_s$	$e$	$A$
125	47580	0.925	725
70	50460	0.872	770
200	43600	1.008	665

برای دماهای تبخیر نزدیک به جبهه  
 و نمی توان از آن صرفه جویی کرد  
 ضریب انتقال حرارت به سطح زیادی  
 اصحاب است و افزایش سطح موجب افزایش  
 ضریب جریه می گردد

سال : یک تقطیر کننده یک مرصدهای برای تقطیر 20000 lb/h از یک محلول 20%  
 تبخیر کننده در 50% به کار می رود فشار بخار مطلق 20 psig و فشار بخار  
 در دستگاه 100 mm Hg. ضریب انتقال حرارت 250 Btu/ft<sup>2</sup> است در هر جهت

یاکتویس ۳

خوراک  $100^{\circ}\text{F}$  است ، میزان فوراک مصرفی ، هزینه صرفه و سطح سردی لازم را حساب کنید.  
 حل : نیترواکسید سدیم سردی برای انکخال سردی است -

$$m_p = 20000 \text{ lb/h} , x_p = 0.20 , x_{\text{خورد}} = 0.5$$

فوندک  $10 \text{ lb}$  = مقدار مواد  $\rightarrow$  مولد سردی

$$\text{محدود خوردی} = \frac{2}{0.5} = 4 \text{ lb} \quad \text{مقدار مواد} = (10)(0.2) = 2 \text{ lb}$$

$$\text{آب تبخیر شده} = 10 - 4 = 6 \text{ lb}$$

مقدار راز  $10 \text{ lb}$  به  $20000 \text{ lb}$  تقسیم می شود

$$\left\{ \begin{aligned} (m_p - m_i) &= \text{بخار آب تبخیر شده} = \left(\frac{6}{10}\right)(20000) = 12000 \text{ lb/h} \\ m_i &= m_p - (m_p - m_i) = 8000 \text{ lb/h} \end{aligned} \right.$$

$$Q = UA \Delta T \quad ; \quad A = ? \quad \Delta T = T_s - T$$

$$P = 100 \text{ torr} \quad \text{از جدول فشاری} \rightarrow T' = 124^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Duhning (تقریب) } (T_v = 124^{\circ}\text{F}, x = 0.5) \Rightarrow T = 197^{\circ}\text{F}$$

$$\text{از جدول بخار} \quad P_s = 20 \text{ psi} \Rightarrow T_s = 259^{\circ}\text{F} \quad ; \quad h_s = 939 \text{ Btu/lb}$$

$$Q = (m_p - m_i) H_v + m_i H - m_p H_p \rightarrow \text{برای جدول 20 درجه را با T فرض کرد}$$

$$(T = 197^{\circ}\text{F}, P = 100 \text{ mmHg}) \Rightarrow H_v = 1149 \text{ Btu/lb}$$

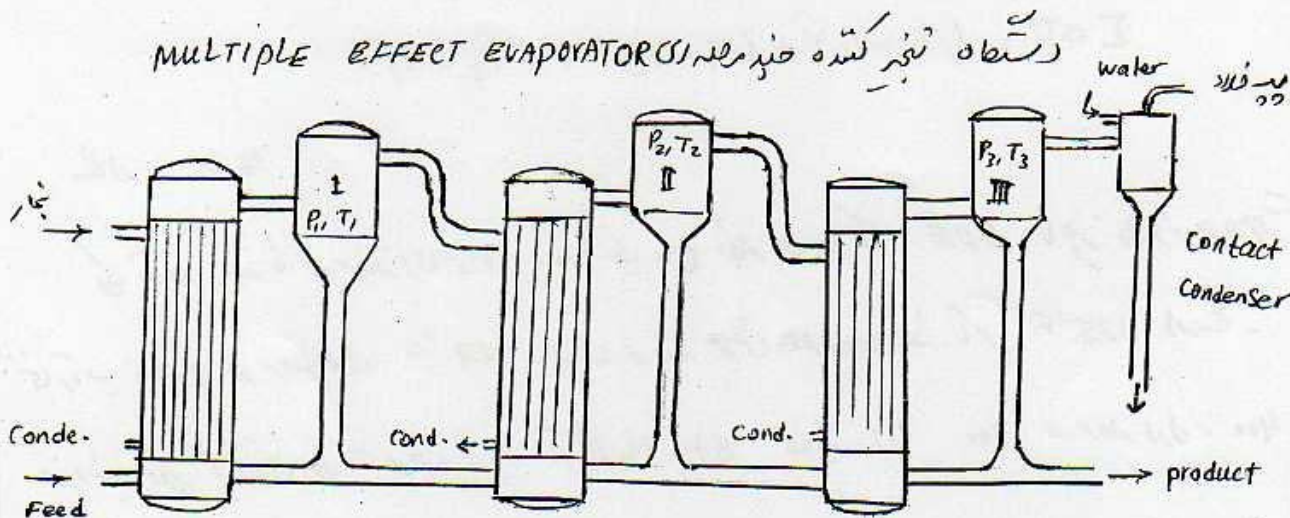
بخار خورد

$$\text{از جدول} \quad (50^{\circ}\text{C}, T = 197^{\circ}\text{F}) \Rightarrow H = 221 \text{ Btu/lb}$$

$(20\% \text{ از آب}) \rightarrow H_p = 55 \text{ BTU/lb}$

$q = \dots = 14,456,000 \text{ BTU/h}$  ,  $q = m_{is} \Delta T$  ,  $m_s = \frac{14456000}{939} = 15400 \text{ lb/h}$

$e = \frac{(m_p - m)}{m_s} = 0.78$  ;  $A = \frac{q}{U(T_s - T)} = \dots = 930 \text{ ft}^2$



این ستون مایع (Barometric leg) احتیاج است تا این خلاء را برکنند و یک خلاء همیشگی وجود داشته باشد. پد فولاد به این علت است که همیشه در سیستم های خلاء هوا نفوذ خواهد کرد این برای جریان این نفوذ است.

تمام این تجهیزات برای اتماسی ضربی صورت است.

نکته: در تعلیق کننده های چند مرحله ای به طور تقریبی می توان گفت مقدار انتقال حرارت

در تمام مراحل برابر باشد  $q_1 \approx q_2 \approx q_3$

کتبیس ۲

$$U_1 A_1 \Delta T_1 = U_2 A_2 \Delta T_2 = U_3 A_3 \Delta T_3$$

در اکثر موارد  $A_1 = A_2 = A_3$

$$\Rightarrow U_i \Delta T_i = U_2 \Delta T_2 = U_3 \Delta T_3$$

$$U_i \Delta T_i = \text{Const.}$$

اگر از BPF صرفاً کنیم  $\Delta T = T_5 - T_3$  برای کل دستگاه

$$\sum \Delta T_i = (T_5 - T_1) + (T_1 - T_2) + (T_2 - T_3)$$

مسئله 16.2

یک تبخیر کننده سه مرحله‌ای برای تقطیر یک مایع بکار می‌رود که BPF نامزد دارد. در مرحله اول آب مصرفی در مرحله اول  $227^\circ F$  است و نقطه جوش مطلق در مرحله آخر  $125^\circ F$  است. ضریب انتقال حرارت بر حسب  $BTU/hr ft^2 F$  عبارتند از 500 در مرحله اول، 400 در مرحله دوم و 200 در مرحله سوم. در هر مرحله جویس مایع در مرحله اول و دوم جود است

حل :

$$\Delta T = T_5 - T_3 = 227 - 125 = 102^\circ F$$

$$\Delta T = \frac{d}{U_i} \quad , \quad \sum \Delta T_i = \Delta T = \sum \frac{d}{U_i} = d \sum \frac{1}{U_i}$$

$$\frac{\Delta T_i}{\Delta T} = \frac{\frac{1}{U_i}}{\sum \frac{1}{U_i}} \quad , \quad \Delta T_1 = \frac{1/500}{1/200 + 1/400 + 1/500} (102) = 21.5^\circ F$$

$$\Delta T_i = \frac{1/U_i}{\sum 1/U_i} (\Delta T) \quad , \quad \Delta T_2 = \frac{1/400}{1/200 + 1/400 + 1/500} (102) = 26.8^\circ F$$

$$\Delta T_1 = T_3 - T_1 \Rightarrow T_1 = 227 - 21.5 = 205.5^\circ F$$

$$\Delta T_2 = T_1 - T_2 \Rightarrow T_2 = 205.5 - 26.8 = 178.7^\circ F$$

نکته: این روش برای مینیمم کردن طول فرآیند است

روشهای تغذیه: (شکل ۱۰-۱۶)

Mixed Feed / Backward Feed / Forward Feed  
Parallel Feed

نکته: شماره گذاری مراحل از روی کاهش فشار است.  $P_1 > P_2 > P_3$  مرحله اول

نکته: چون فشار هر مرحله نسبت به مرحله بعد بیشتر است، انتقال مایع از یک مرحله به مرحله بعد احتیاج به پمپ ندارد

نکته: ورود فوراگ مهم نسبت به درجه مرحله اول باشد

در این فرآیند چون با جلوگیری از انتقال و افزایش غلظت و سیکلوزیت با کاهش درجه، انتقال حرارت

مشکلتر می‌گردد و حجم بخار تولید شده کاهش می‌گردد - تا کم می‌گردد - امکان کرسپانزاسیون بوجود می‌آید.

راه حل: برای جلوگیری از این عمل می‌توان فوراگ ورودی را در خلاف جهت وارد کرد یعنی فوراگ

استدای را از مرحله آخر وارد کرد و برای ایجاد جریان طبیعی در هر مرحله احتیاج به پمپ نیست ولی در حالت

اول فقط در ابتدا احتیاج به پمپ برای مرحله اول بود.

ظرفیت و هزینه صرفه در دستگاه خنجره‌ها:

در تغذیه خنجره‌ها مقدار ظرفیت افزایش پیدا نمی‌کند. شاید کم هم شود فقط در این تغذیه صرفه

می خواهیم نشان دهیم بازی همان  $\Delta T$  یک دستگاه ظرفیت یک دستگاه n مرحله ای که با مساوی یک

$$Q = UA \Delta T$$

مرحله ای است

با توجه به اینکه فرض کنیم سطح انتقال حرارت بین تمام مراحل با هم مساوی است :

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 = UA(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3) \Rightarrow Q = UA(\sum \Delta T_i) = UA \Delta T$$

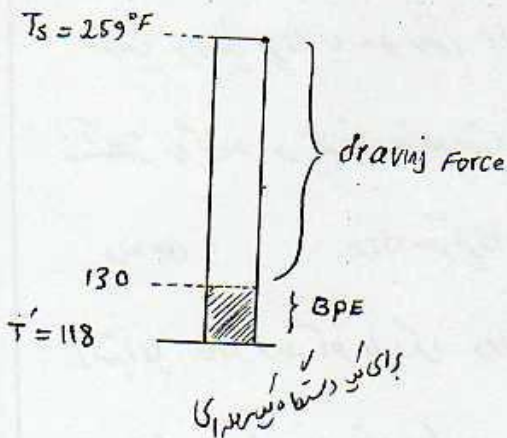
نکته : وقتی که با هر مرحله  $q$  یک دستگاه یک مرحله ای برابر  $\sum q_i$  یک دستگاه چند مرحله ای

باشد : جمع بخارهای تولیدی یک دستگاه چند مرحله ای برابر بخار خروجی از دستگاه یک مرحله ای است -

$$\sum m_{v_i} = m_v$$

دردردی بخار تولیدی برابر می گردد که دریا از یک مرحله به مرحله دیگر تغییر کند در کمتر انبساط

$$\Delta T > \sum \Delta T_i$$



تأثیر BPE :

اگر در اثر این نقطه جوش (BPE) صرف نظر کنیم

driving force برابر اختلاف نقطه جوش (تغییر ادرهای بخار

خواهد شد  $T_s - T'$  ولی اگر صرف نظر نکنیم برابر

$T_s - 130$  خواهد شد .

نکته : بخاری که از مرحله اول خارج می شود هیچ موقع در صحن دریا در مرحله دوم مصرف نمی شود . زیرا

بخار خروجی از مرحله اول Super heat است و با گذشت از لوله ها به اندازه چند درجه

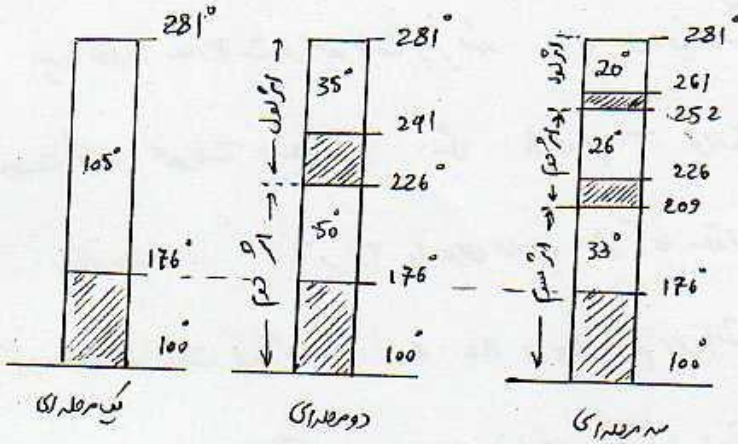
پاکنویس ۴

۷۷

با کاهش پدیده می‌کند و بخار آب باقیمانده خواهد شد این مقدار افت درجات حرارت برابر BPE مرحله اول

است که در مرحله دوم این مقدار BPE کمی بیشتر است

شکل ۱۶



$$\sum \Delta T_i \neq \Delta T$$

پس چون  $\sum \Delta T_i < \Delta T$  است

ظرفیت کمتر را مساوی می‌کنیم

است

$$\Delta T = T_s - T' + \sum (BPE)_i$$

$$e = \frac{\text{Capacity}}{m_s}$$

ضریب صرفه بیشتر خواهد شد

محاسبات مربوط به دستگاه چندمرحله‌ای :

معمداً داده‌های مدل مشخصات فوراگ - محصول نهایی و مقدار بخار مصرفی در مرحله اول را داریم

و به دنبال سطح (A) ،  $m_s$  ،  $(m_p - m)_i$  و  $T_1, T_2, \dots, T_n$  هستیم

مثلاً برای یک دستگاه سه مرحله‌ای ...

مجموعه‌ای خواهند آمد ۱- سرعت جریان بخار در مرحله اول  $m_s$

دی جریان فوراگ هر مرحله ۲-  $(m_p - m)_1$  ۳-  $(m_1 - m_2)$

۴-  $(m_2 - m_3)$  ۵-  $T_1$  ۶-  $T_2$  ۷- سطح A



برای حل به مرحله ای  $q_i = UA \Delta T = m_i \lambda = \dots$  معادله مولد نه استایی

معادله طرح - معادله مولد انجم کلی

بین مقدار معادلات و مجموعهات برابر شد و می حل این دستگاه به عدد اندید در معادلات پارامترهای هست که به مجموعهات شبیه دند سل  $A$  که به  $T$  وابسته است به روشی سعی در خطا قابل حل است. روشی حل :  $T_2$  را حوض ما زینم از آنجا مقدار  $A_1, A_2, A_3$  را بدست می آوریم اگر حوض ما درست بود باید  $A_2, A_3$  با هم برابر باشند در غیر این صورت از ررر  $A_i$  ها مقدار  $\bar{A}$  را بدست می آوریم و با  $A_i$  ها مقایسه می کنیم با اختلاف مقدار  $\bar{A}$  را  $A_i$  ها مقایسه  $T$  را اصلاح می کنیم برای دوس بعدی ...

سوال ۱

می خواهیم یک کلون با اترانس نقطه جوش نامبر را از ده درصد تا ۵۰ در یک تبخیر کننده به مرحله ای با جویا مستقیم خوراک  $Feed Forward$  تغذیه کنیم فشار بخار آب با  $15 \text{ psig} (249^\circ F)$  موجود است فشار مطلق در مرحله نسیم باید  $4 \text{ inHg}$  باشد نقطه جوش در این فشار  $125^\circ F$  خواهد بود. خوراک با بروت  $55000 \text{ lb/h}$  و دمای  $70^\circ F$  وارد می شود ظرفیت حرارتی کلون را در حد غلطی ۵٪ توان  $1 \text{ Btu/lb}^\circ F$  گرفت ضرر آب کلی انتقال حرارت در مراحل اول تا نسیم به ترتیب  $550, 350, 200 \text{ Btu/hr ft}^2 F$  است سطح حرارتی هر لای با هم برابرند سطح حرارتی لازم، معرفت بخار، توزیع درم حرارت، ضرر بهر هر مرحله و ضرر بهر لای را حساب کنید

پاکنویس ۴

$u_1 = 550 - u_2 = 350, u_3 = 200$

$\dot{m}_p = 55000 \text{ lb/hr} \quad x_F = 0.1 \rightarrow x_3 = 0.5$

$T_S = 249^\circ\text{F}$

$T_3 = 125^\circ\text{F}$

$T_F = 70^\circ\text{F}$

حل:

$$\begin{cases} q_1 = \dot{m}_s \lambda_s = (\dot{m}_p - \dot{m}_1) \lambda_1 + \dot{m}_p c_{pF} (T_i - T_F) = U_1 A_1 \Delta T_1 \\ q_2 = (\dot{m}_p - \dot{m}_1) \lambda_1 = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \lambda_2 + \dot{m}_1 c_{pF} (T_2 - T_1) = U_2 A_2 \Delta T_2 \\ q_3 = (\dot{m}_1 - \dot{m}_2) \lambda_2 = (\dot{m}_2 - \dot{m}_3) \lambda_3 + \dot{m}_2 c_{pF} (T_3 - T_2) = U_3 A_3 \Delta T_3 \end{cases}$$

مردن  $T_2, T_1$

باید در محاسبات مقدار شیرگی از  $\Delta T$  را به هر مرحله بدون اخصاص دیم

$\Delta T_1 = 38^\circ\text{F}$

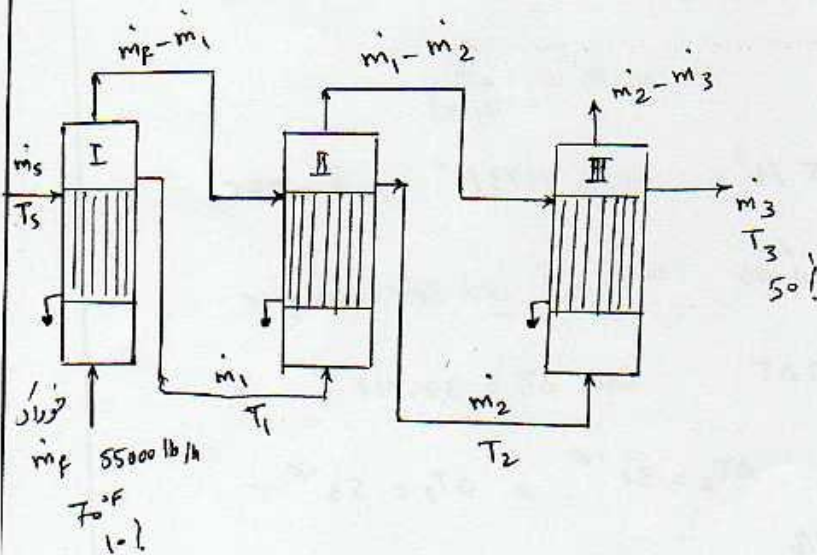
$\Delta T_2 = 33^\circ\text{F}$

$\Delta T_1 = T_S - T_1 \Rightarrow T_1 = 211^\circ\text{F}$

$\Delta T_2 = T_1 - T_2 \Rightarrow T_2 = 178^\circ\text{F}$

$\Delta T = T_S - T_3 = 249 - 125 = 124^\circ\text{F}$

$A_1, T_1, T_2, e_1, e = ?$



$c_{pF} = 1 \text{ Btu/lbF}$

$\dot{m}_p = 55000 \text{ lb/hr}$

$\dot{m}_3 = 11000 \text{ lb/h}$

جریان	T °F	λ Btu/lb
Steam	249	946
خوراک	70	
مایع خروبی مرحله اول	T <sub>1</sub> = 211	λ <sub>1</sub> = 971
مایع خروبی مرحله دوم	T <sub>2</sub> = 178	λ <sub>2</sub> = 991
مایع خروبی مرحله سوم	T <sub>3</sub> = 125	λ <sub>3</sub> = 1022

$m_1 = 41380 \text{ lb/h}$   
 از محل جریان بخارات  $\Rightarrow m_2 = 26600 \text{ "}$   
 (عمده‌داری در حل)  $m_3 = 22180 \text{ "}$

$q_1 = \dots = 20980000 \text{ Btu/h}$        $q_2 = \dots = 13225000 \text{ Btu/h}$

$q_3 = \dots = 14588000 \text{ Btu/h}$       ,  $A_i = \frac{q_i}{U_i \Delta T}$

$A_1 = 1004 \text{ ft}^2$  ,  $A_2 = 1145 \text{ ft}^2$  ,  $A_3 = 1375 \text{ ft}^2$  ,  $\bar{A} = 1175$

برای اختلاف سطوح (بین  $\bar{A}$  و  $A_i$  ها) راضی کننده نیست پس یک تصحیح انجام می‌دهیم

$U \bar{A} (\Delta T) = q$  ,  $\bar{A} (\Delta T) = A \Delta T$        $\Rightarrow \Delta T_1 = 32.47 \text{ }^\circ\text{F}$

$\Delta T_2 = 31 \text{ }^\circ\text{F}$  ,  $\Delta T_3 = 53 \text{ }^\circ\text{F}$

جریان	T °F	λ Btu/lb
Steam	249	946
خوراک	70 °F	

مایع خروجی مرحله اول	$T_1 = 217$	$\lambda_1 = 967$	$\dot{m}_1 = 41380$
II مایع فروری	$T_2 = 186$	$\lambda_2 = 987$	$\dot{m}_2 = 26720$
III مایع فروری	$T_3 = 125$	$\lambda_3 = 1022$	$\dot{m}_3 = 22470$

$A_1 = 1200$  ,  $A_2 = 1214$  ,  $A_3 = 1185$  ,  $\bar{A} = 1202$

$e_1 = \frac{\dot{m}_p - \dot{m}_1}{\dot{m}_s} = \frac{55000 - 41380}{22470} = 0.606$  ,  $e_2 = \frac{\dot{m}_1 - \dot{m}_2}{\dot{m}_p - \dot{m}_1} = \dots = 1.076$

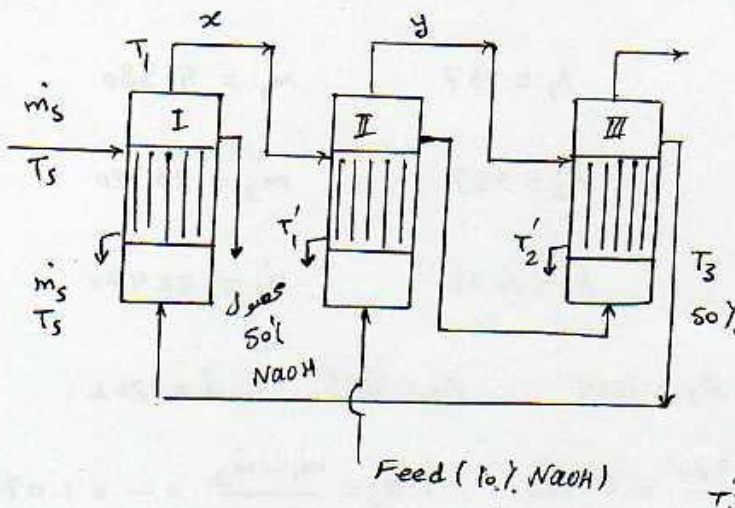
$e_3 = \frac{\dot{m}_2 - \dot{m}_3}{\dot{m}_1 - \dot{m}_2} = 1.072$  ,  $e = \frac{55000 - 11000}{22470} = 1.96$   
 ماله! (چاپ ست)

یک تغییر کننده سه مرحله ای با گردش ایداری برای تقطیر 60000 lb از سکلون (10% NaOH) در دمای 180°F بکار می رود. قرار است غلظت محصول بنی 50% باشد. بکار استیام در فشار 50 psia بکار می رود و درجه حرارت گذاسی خروجی از مرحله سوم 100°F خواهد بود. ترتیب جریان خوراک از 2 (دو سه و یک) است. از تاثیرات توسعه و سرد شدن گذاسی من تران صرف نظر

کرد مقادیر ضرایب برای انتقال حرارت طبق جدول زیر است.

NO.	Btu/h ft <sup>2</sup> °F
I	700
II	1000
III	800

الف) سطح حرارتی هر مرحله را حساب کنید در حالی که سطوح با هم برابر باشند.  
 ب) مصرف خوراک  
 ج) ضریب صرفه کلی



$q_i =$  حرارت انتقال حرارت در مرحله  $i$  ام  
 در  $i$  حرارت محلول جو مای در مرحله  
 $T_i =$   $i$  ام  
 $C_i =$  ظرف وزنی محلول در هر مرحله  
 $T'_i =$  درجه حرارت نگذاشته حاصله از هر مرحله

بخار خروجی از مرحله اول در دمای  $T_1$  قرار دارد که فشار در مرحله اول ایجاد می کند و آب به مرحله دوم وارد شود مقداری دمای آن کاهش می شود و مقدار از نگذاشتن شدن  $T'_1$  خارج می شود که این همان دمای ورودی بخار به مرحله دوم است این مقدار کاهش را برابر همان BPE در مرحله اول است. حل!

میخواهیم یک حدس اولیه برای  $C_2$  و  $C_3$  داشته باشیم (  $C_1$  را داریم )

$$\text{میزان کل تبخیر} = 60000 - \frac{60000}{0.5} (0.1) = 48000 \text{ lb/hr}$$

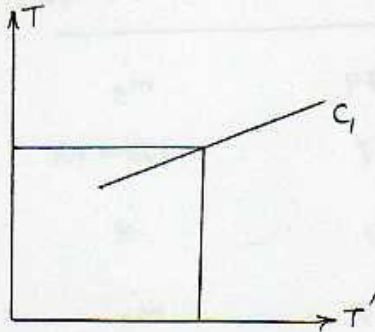
نکته: هر تاول هرگز زد میزان تبخیر در هر مرحله برابر 1/3 کل تبخیر است.

$$\text{میزان تبخیر در هر مرحله} = (1/3)(48000) = 16000 \text{ lb/hr}$$

$$C_2 = \frac{(60000)(0.1)}{60000 - 16000} = 0.136, \quad C_3 = \frac{(60000)(0.1)}{60000 - 2(16000)} = 0.214$$

با توجه به نمودار تعریف نمودار  $T$  و  $T_R$  یک خط است با شیب 1 پس می توان بدون داشتن فشار نسبی (رای مربوط) می توان BPE هر سه مرحله را بدست آورد.

می توان BPE حومه مرحله را بدست آورد (از روی خط  $T$  بر حسب  $T'$ )



$$T = \alpha T' + b = T' + b \quad \text{خط } T-T'$$

$$\Rightarrow BPE = (T - T') = b$$

با توجه به غلظت که مختلف می شود در مرحله نمود

	I	II	III
$C_i$	0.5	0.136	0.214
$BPE_i, ^\circ F$	76	7	13

$$(\Delta T)_{net} = \Delta T - \sum BPE$$

$$\Delta T = 281 - 100 = 181 ^\circ F$$

$$50 \text{ psia} \longrightarrow T_5 = 281 ^\circ F, \quad T'_2 = 100 ^\circ F$$

$$\text{واقع} (\Delta T)_{net} = 181 - (76 + 7 + 13) = 85 ^\circ F, \quad \Delta T_i = \frac{\frac{1}{U_i}}{\sum \frac{1}{U_i}} (\Delta T)_{85 ^\circ F}$$

$$\Delta T_1 = \dots = 33 ^\circ F, \quad \Delta T_2 = \dots = 23 ^\circ F, \quad \Delta T_3 = 29 ^\circ F$$

$$\Delta T_1 = T_5 - T_1 \Rightarrow T_1 = T_5 - \Delta T_1 = 281 - 33 = 248 ^\circ F$$

$$\Delta T_2 = T'_1 - T_2 \quad T_2 = T'_1 - \Delta T_2 = 172 - 23 = 149 ^\circ F$$

$$\text{دما بخار گرم کننده مرحله ۱: } T'_1 = T_1 - BPE_1 = 248 - 76 = 172 ^\circ F$$

$$\Delta T_3 = T'_2 - T_3$$

در مرحله سرد کردن خردی مرحله از مقدار قطعی  $T_3 = 100 ^\circ F$  است

$$T_3 = T'_2 - \Delta T_3 = \dots$$

$$T'_2 = T_2 - (BPE)_2 = 149 - 7 = 142 ^\circ F$$

$$T_3 = 142 ^\circ F - 29 = 113 ^\circ F$$

$$T'_3 = T_3 - (BPE)_3 = 113 - 13 = 100 ^\circ F$$

جرم	$T (^{\circ}F)$	$T' (^{\circ}F)$	$e$ غلظت	$H (Btu/lb)$	$\dot{m}_i (lb/h)$
Steam	281	281	-	1174	$\dot{m}_s$
خوراک I	113	-	0.214	67	$12000 + x$
بخار خورجی I	248	172	-	1171	$x$
کندانس I	281	-	-	249	$\dot{m}_s$
مایع خورجی I	248	-	0.5	250	12000
خوراک II	180	-	0.10	135	60000
بخار خورجی II	149	142	-	1126	$y$
مایع خورجی II	149	-	0.136	102	$60000 - y$
کندانس II	172	-	-	140	$x$
بخار خورجی از III	113	100	-	1411	$48000 - x - y$
کندانس III	142	-	-	110	$y$

$$\text{در واحد I} \quad (1171)x + (60000)(135) = (1126)y + (102)(60000 - y) + 140x$$

$$\text{در واحد II} \quad (1126)y + 102(60000 - y) = (1411)(48000 - x - y) + (12000 + x)67 + 110y$$

$$\Rightarrow x = 14300 \text{ lb/h} \quad , \quad y = 16340 \text{ lb/h}$$

$$q_1 = \text{مولزین آبی} = (14300)(1171) + (250)(12000) - 67(12000 + 14300) = 17983300 \text{ Btu/h}$$

$$q_2 = \dots = 14743000 \text{ Btu/h} \quad q_3 = \dots = 16601000 \text{ Btu/h}$$

$$A_i = \frac{q_i}{u_i \Delta T_i} \quad A_1 = 778 \text{ ft}^2 \quad A_2 = 640 \quad , \quad A_3 = 720$$

می بینیم که سطح برابر نیستند و طولای پراکندهای زیادی میباشند - پس یک سطح دیگر با توجه به حل سال قبل ...

حل کامل و جدول مربوط در صفحه ۴۴۱ آید

$$(DT)_i = \frac{(A) \text{ قطر}}{\bar{A}}$$

$$\bar{A} = 719 \text{ Ft}^2$$

$$m_s = 19370 \text{ lb/h} \quad E = \frac{48000}{19370} = 2.48$$

نکته: در لغو تقویم به علت تغییر  $x_1$  -  $C_1$  نیز تغییر کرده در نتیجه مقدار  $BPE_1$  تغییر کرده ... این تغییرات باید منظور گردد

۱۶.۷ می خواهیم یک محلول با  $BPE$  ناچیز را از (۱۰ تا ۵۰) غلظت مواد جامد طراحی کنیم

این عمل را در یک تغییر کننده سه مرحله ای با جریان خوراک مستقیم انجام می دهیم بخار آب با فشار ۲atm مطلق

موجود است و فشار مطلق در مرحله سوم ۰.۱۳ at است. خوراک با سرعت ۲۰۰۰۰ Kg/h وارد

می شود و درجه حرارت آن ۱۵°C ظرفیت حرارتی محلول در تمام غلظتها می توان ظرفیت حرارتی

آب فرض نمود. ضرایب انتقال حرارت را در مرحله یک ۳۰۰۰ - مرحله دوم ۲۰۰۰ در مرحله سوم ۱۱۰۰

وحد آن  $W/m^2 C$  سطح حرارتی بر اقل با عدد برابر است - سطح حرارتی لازم - سرعت معروف بخار

توزیع درجه حرارت ، مزین صرف هر مرحله ، و مزین هزینه کلی را حساب کنید.

تمرین ۱۶.۱ - ۱۶.۲