

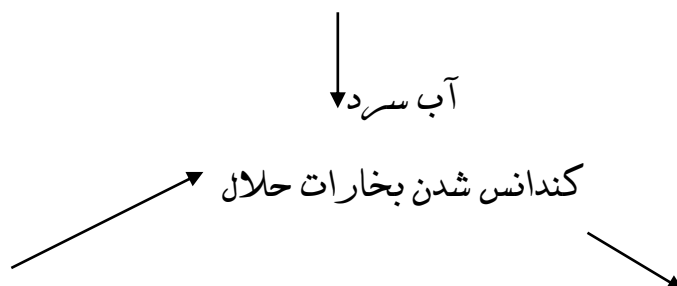
به نام خدا
استخراج جامد-مایع

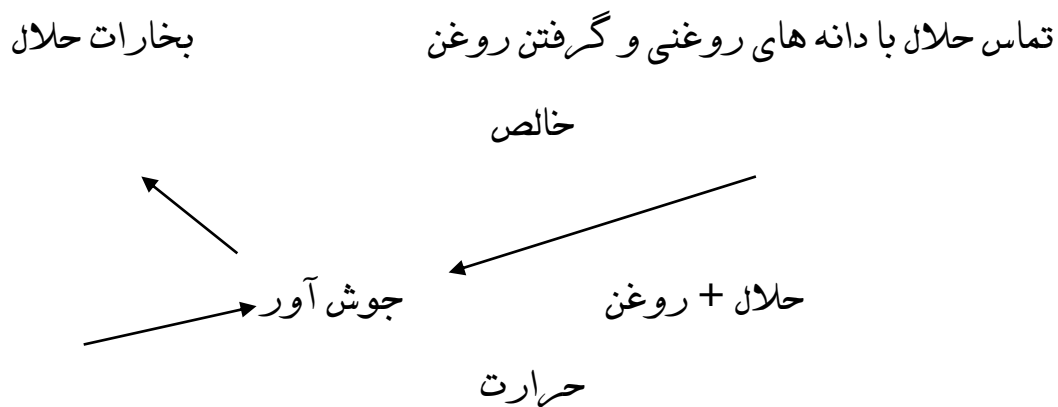
Shimiomd.blog.ir

شرح آزمایش

همانطور که می دانیم هدف از این آزمایش استخراج روغن از دانه های روغنی گیاه کلزا است. بدین منظور 2Kg از این دانه ها را وزن کرده و داخل کیسه استخراج می ریزیم، سپس کیسه را داخل یک استوانه توری قرار داده و استوانه را داخل مخزن استخراج می کنیم. در ادامه جوشاننده را حداقل تا $\frac{1}{3}$ حجم آن از حلال پر می کنیم، به این ترتیب که حلال را داخل مخزن استخراج (بر روی دانه های روغنی) می ریزیم تا از طریق لوله ها وارد جوشاننده شود. در مرحله بعد هیترا را روشن می کنیم تا حلال به جوش بیاید. با مشاهده اولین قطرات در کندانسور، شیر آب کندانسور را باز می کنیم تا بخارات حلال به مایع تبدیل شود.

اساس کار دستگاه را به طور خلاصه می توان در سیکل زیر نشان داد:





و آزمایش تازمانی که مجدداً حلال در مخزن استخراج شفاف شود ادامه می یابد. (شفاف شدن حلال در مخزن استخراج بدین معنی است که دیگر روغنی در نمونه وجود ندارد که جذب شود.)

در پایان مواد داخل جوشاننده را که حاوی روغن و حلال است خالی کرد. و مقدار $25^{C.C.}$ به عنوان نمونه بر می داریم.

از آنجائی که حلال یک ماده فرار است لذا تبخیر شده و از روغن جدا می شود، با قرار دادن بشر حاوی نمونه در محیط آزاد حلال از روغن جدا شده و می توانیم روغن به جای مانده را توزین کرده و در نهایت درصد روغن موجود در دانه روغنی را بدست آوریم.

نتایج و محاسبات

محاسبه دبی عبوری از کندانسور :

$$h_w = 132 \text{ mm}$$

$$Q_{Water} = (16.06 * 10^{-3}) h_w^{1.158} = (16.06 * 10^{-3}) (135)^{1.158}$$

$$Q_{Water} = 4.7062 \frac{Lit}{min} = 4.7062 * 10^{-3} \frac{m^3}{min} = 0.0784 * 10^{-3} \frac{m^3}{Sec}$$

$$\xrightarrow{\rho_{water} = 1000 \text{ Kg/m}^3} \dot{m}_{water} = Q_{water} * \rho = 1000 * 0.0784 * 10^{-3}$$

$$\dot{m}_{water} = 0.0784 \frac{Kg}{Sec}$$

محاسبه دبی حلال (هگزان) :

روش اول (

$$time = 25 \text{ Sec}$$

$$Q_{Hexane} = \frac{85 \text{ mLit}}{25 \text{ Sec}} = 3.4 \text{ Lit / S}$$

روش دوم (

$$q = \dot{m} \lambda$$

$$\xrightarrow{T=43.8 \text{ }^\circ\text{C}} \lambda_{Hexane} = 340.704 \frac{KJ}{Kg}$$

$$\dot{m}_{Hexane} = q / \lambda_{Hexane} = \frac{1.7 \text{ KW}}{340.704} = 4.989 * 10^{-3} \frac{Kg}{Sec}$$

$$\xrightarrow{\rho_{Hexane} = 623.26 \text{ Kg/m}^3} Q_{Hexane} = 4.989 * 10^{-3} \left(\frac{Kg}{Sec} \right) * \frac{1}{623.26} \left(\frac{m^3}{Kg} \right) = 8.0046 * 10^{-6} \frac{m^3}{Sec}$$

$$Q_{Hexane} = 8.0046 * 10^{-3} \frac{Lit}{Sec}$$

محاسبه درصد روغن موجود در نمونه :

$$\text{وزن بشر} = 31.74 \text{ gr}$$

$$\text{وزن روغن} = 31.83 - 31.74 = 0.09 \text{ gr} = 0.09 * 10^{-3} \text{ Kg}$$

روغن + حلال وزن روغن

$$0.09 * 10^{-3} \quad 25 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$X \quad 5750 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

وزن روغن استخراج شده = 0.0207 Kg

$$\text{درصد روغن موجود در نمونه} = \frac{0.0207 \text{ Kg} * 100}{2 \text{ Kg}} = 1.035\%$$

بررسی موازنه انرژی حول کندانسور :

$$(\dot{m} C_p \Delta T)_{\text{Water}} = \left[\dot{m} \lambda + \dot{m} C_p \Delta T \right]_{\text{Hexane}}$$

$$\dot{m}_{\text{water}} = 0.0784 \frac{\text{Kg}}{\text{Sec}} = 4.3507 * 10^{-3} \frac{\text{Kmol}}{\text{Sec}}$$

$$\xrightarrow{T=15.3 \text{ } ^\circ\text{C}} C_{p_{\text{water}}} = 75.4393 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol K}}$$

$$\Delta T = 289.15 - 287.75 = 1.4 \text{ K}$$

$$(\dot{m} C_p \Delta T)_{\text{Water}} = 0.4595 \frac{\text{KJ}}{\text{Sec}}$$

$$\dot{m}_{\text{Hexane}} = 4.989 * 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{Sec}} = 5.7892 * 10^{-5} \frac{\text{Kmol}}{\text{Sec}}$$

$$\lambda_{\text{Hexane}} = 340.704 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

$$\xrightarrow{T=43.8 \text{ } ^\circ\text{C}} C_{p_{\text{Hexane}}} = 197.69 \frac{\text{KJ}}{\text{Kmol K}}$$

$$\left[\dot{m} \lambda + \dot{m} C_p \Delta T \right]_{\text{Hexane}} = 1.6997 + 0.3776 = 2.0773 \frac{\text{KJ}}{\text{Sec}}$$

$$0.4595 \text{ KJ / S} = 2.0773 \text{ KJ / S}$$

آشنایی با کاربری برج های تقطیر و محاسبات مربوطه

Shimiomd.blog.ir

در این آزمایش در حالتی که برج در حالت برگشتی کامل می باشد به محاسبه موارد

زیر می پردازیم :

♦ موازنه کلی برج

♦ میزان حرارت مبادله شده در کندانسور

♦ سرعت بخار در برج

♦ محاسبه N_{min} با توجه به رابطه فنیسکی و روش ترسیمی

♦ موازنه انرژی حول کل برج و اتلاف حرارتی کل برج

♦ موازنه جرم حول کندانسور و ریویبلر

همچنین در حالتی که نسبت برگشتی معینی وجود دارد با توجه به داده ها موارد

زیر را دنبال می نمایم :

♦ بررسی صحت رابطه $\ln(\mu_i / \mu_f) = \int dx_p / (y_D - x_p)$

◆ مقایسه بین نتایج تجربی و نتایج حاصل از روش ترسیمی به طریق mc-

cabe

◆ رسم نمودار دما ها بر حسب زمان و بحث پیرامون آنها

◆ رسم منحنی غلظت بر حسب زمان برای محصول و خوراک

◆ موازنه جرم و انرژی حول کندانسور و ریویلر

تئوری آزمایش

تقطیر روشی جهت جداسازی سازندگان یک محلول است که بر اساس توزیع مواد

بین فازهای مایع و گاز استوار است و لذا در مواردی بکار می رود که کلیه

سازندگان در هر دو فاز موجود باشند. به جای وارد کردن ماده جدید به داخل

محلول جهت ایجاد فاز دوم نظیر آنچه در فرایندهای جذب و دفع صورت می گیرد

، در عمل تقطیر فاز جدید از محلول در اثر تبخیر و یا میعان حاصل می شود.

بر خلاف تبخیر، تقطیر در جداسازی محلول هایی به کار می رود که تمامی تمامی

سازندگان آن به میزان قابل توجهی فرار هستند. از جمله محلول هایی که تمامی

سازندگان آنها فرار هستند می توان محلول آمونیاک در آب را نام برد. در اثر

تماس محلول آمونیاک با هوا که در مایع غیر محلول است، آمونیاک را می توان از محلول دفع کرد. ولی به این روش آمونیاک به صورت خالص به دست نمی آید، بلکه همراه هوا و بخار آب خواهد بود. اما با اعمال گرما ممکن است قسمتی از محلول را تبخیر و یک فاز بخار به وجود آورد که فقط شامل آب و آمونیاک میباشد. چون فاز گاز نسبت به فاز مایع از آمونیاک غنی تر است پس تا حدودی جداسازی انجام شده است. با تنظیم مناسب نسبت فازها و یا تبخیر و میعان متوالی محلول، می توان جداسازی را تا حد مطلوب انجام داده و هر دو سازنده محلول را به صورت خالص به دست آورد.

مزایای چنین روشی در جداسازی کاملاً روشن است. در تقطیر تفاوت بین فاز جدید و فاز اصلی در میزان انرژی آنهاست. حرارت معمولاً به سادگی داده و یا گرفته می شود ولی نباید هزینه چنین عملیاتی را فراموش کرد. در فرآیند جذب یا دفع، در اثر افزودن یک ماده خالص به محلول اصلی محلول جدیدی حاصل می گردد. که به نوبه خود توسط یکی از فرایندهای نفوذی باید جدا سازی گردد.

البته تقطیر هم محدودیت هایی دارد . در عمل جذب و یا فرایند های مشابه که به منظور تغییر توزیع سازندگان معمولاً یک ماده خارجی به محلول افزوده می گردد تا فاز جدیدی حاصل شود . میتوان از بین حلال های موجود آن حلالی را برگزید که دارای بالاترین اثر جداسازی باشد . بعنوان مثال چون آب در جذب هیدروکربن های موجود در یک مخلوط گازی موثر نیست می توان به جای آن از یک روغن هیدروکربنی بهره جست که حلالیت هیدروکربن ها در آن زیاد است اما در تقطیر چنین انتخابی وجود ندارد .

فازگازی که در اثر گرما از فاز مایع حاصل می شود مسلماً متشکل از همان سازندگانی خواهد بود که در مایع پایین وجود دارد . چون فاز گاز از نظر شیمیایی شباهت زیادی به فاز مایع دارد لذا تغییرات حاصل در ترکیب نسبی که از توزیع سازندگان بین دو فاز ناشی می شود معمولاً چندان زیاد نیست . در واقع گاهی از اوقات تغییر در ترکیب نسبی به اندازه ای ناچیز است که فرایند غیر عملی می گردد و حتی ممکن است هیچ نوع تغییری در ترکیب نسبی به وجود نیاید .

از بحث درجات آزادی داریم :

$$F = 2 - \pi + N - r - s$$

که بنابراین در یک سیستم دو جزئی در تعادل مایع بخار درجه آزادی 2 خواهد بود .

یکی از کمیت های مهم در تعادلات مایع - بخار ضریب توزیع یک سازنده در دو فاز است که با m-value یا k-value نشان داده می شود و چنین تعریف می گردد :

$$K = y_A / x_A$$

هر چه ماده فرار تر باشد ضریب توزیع آن بالاتر است . با افزایش دما K افزایش می یابد و هر چه فشار زیاد شود K کم می شود . مقدار K برای محلول های ایده ال از رابطه ذیل به دست می آید :

$$K_A = y_A / x_A = P_A(\text{sat}) / P_t$$

علاوه بر آن ضریب فراریت نسبی طبق تعریف عبارت است از نسبت ترکیب درصد اجزاء در فاز بخار به فاز مایع یا به عبارتی :

$$\alpha_{AB} = (y_A / y_B)_{\text{vap}} / (x_A / x_B)_{\text{liq}} = K_A / K_B$$

سهولت عمل تقطیر بستگی به بزرگی α دارد . در $\alpha < 1.1$ تقطیر اماکن پذیر نیست و غیر اقتصادی می باشد . در α بین 1.1 تا 3.5 تقطیر مشکل می باشد . در

α بین ۳,۵ تا ۱۰ تقطیر آسان می باشد و در α بزرگتر از ۱۰ تبخیر خواهیم داشت

و فاز بخار عملاً تک جزئی خواهد بود. همچنین برای محلول های ایده آل داریم:

$$\alpha_{AB} = K_A / K_B = P_A(\text{sat}) / P_B(\text{sat})$$

میتوان از سه نوع تقطیر ناگهانی، دیفرانسیلی و پیوسته استفاده کرد که هر کدام

روابط خاص خود را دارند که در کتاب های مرجع به تفصیل موجود می باشد.

داشتن ظرفیت تولید بیشتر و نیز خلوص بالاتر از دلایل اصلی راه اندازی سیستم

های تقطیر پیوسته است. علت استفاده از جریان برگشتی که در واقع بخشی از

مایع خروجی از کندانسور می باشد که به درون برج برده می شود افزایش خلوص

جزء فرار در بالای ستون است. در محاسبات تقطیر از دو روش عمومی برای حل

استفاده می شود که عبارتند از (۱) روش پانچون - ساواریت (۲) روش مک کیب -

تیل

بهترین حالت ترمودینامیکی خوراک، مایع اشباع است که باعث بالاترین درجه

خلوص در بالای برج می گردد و خوراک به فرم مایع اشباع کمترین میزان جزء

فرار در پایین ستون را می دهد . به عبارتی جریان خالصی از جزء سنگین در پایین

برج داریم .

برج های سینی دار در عملیات تماس مایع و گاز کاربرد فراوانی دارند . مایع از

بالای برج وارد شده و بر روی سینی های می ریزد و گاز نیز از پایین برج وارد

شده و پس از گذر از روزنه های سینی ها به صورت حباب در فاز مایع پراکنده

شده و به طرف بالا حرکت می نماید . بازده هر سینی به شرایط عملیاتی و طراحی

برج بستگی دارد . قطر برج نیز به دبی جریان گاز و مایع بستگی دارد زیرا یک

سرعت حد برای دبی ها وجود دارد . هر چه زمان تماس بین دو فاز در یک سینی

افزایش یابد به علت اینکه نفوذ بین دو فاز به خوبی انجام می پذیرد بازده افزایش

می یابد . داشتن تلاطم و آشفتگی نیز نفوذ را افزایش می دهد . دستیابی به این

شرایط مشکلاتی را برای سیستم به وجود می آورد که عبارتند از :

Entrainment : سرعت زیاد فاز گاز سبب می شود که قطرات مایع همراه آن

به سینی های بالاتر منتقل شود . اختلاف غلظت را کم می نماید و بازده سینی

کاهش می یابد .

Flooding : در اثر اختلاف فشار زیاد بین دو سینی ، سطح مایع در سینی آتقدر

بالا می رود تا اینکه به سینی دیگر میرسد و بازده را بسیار کم می نماید .

Priming : سرعت زیاد گاز ممکن است به علت ایجاد کف در هنگام اختلاط مایع

با گاز سبب انسداد شود .

Coning : اگر سرعت جریان مایع در برج کم باشد گاز مایع را با خود به بالا

خواهد کشید

Weeping : اگر سرعت گاز کم باشد قسمت اعظم از مایع از منافذ سینی ها به

پایین می ریزند .

Dumping : اگر سرعت گاز فوق العاده کم باشد تمام مایع از منافذ تخلیه می

شود و مایعی به محل ریزش مایع نخواهد رسید .

بنابراین افزایش عمق مایع روی سینی از این نظر که زمان تماس برای انتقال جرم

افزایش می یابد مفید می باشد ولی ایجاد افت فشار زیاد در سینی ها را باعث می

گردد که مشکلاتی را به وجود می آورد .

افزایش سرعت گاز نیز سبب پراکندگی و افزایش سطح تماس می گردد که می تواند بازده را افزایش دهد ولی از طرفی می تواند باعث حمل مایع و افت اختلاف غلظت شود .

شرح دستگاه آزمایش :

در این دستگاه ریویولر مجهز به حس گرهای اندازه گیری دمای مایع و بخار ، آب نما ، گرم کن با توان متغییر ، فشار سنج ، شیر اطمینان ، محل ورودی خوراک و شیر تخلیه می باشد . همچنین این محفظه عایق کاری شده است . ستون شامل ۸ عدد sieve tray است که هر یک دارای downcomer مربوط به خود هستند . هر یک دارای یک ناودان و فنجانک آب بندی می باشند . عملیات انتقال جرم بین فاز مایع و گاز بر روی همین سینی ها انجام می پذیرد . در بالای ستون اصلی برج یک ستون شیشه ای عایق کاری شده تو خالی قرار داده شده است تا با افزایش ارتفاع برج بتوان جریان برگشتی را به کمک نیروی ثقلی به برج بازگرداند .

مخلوط بخار آب و الکل با عبور از قسمت های یاد شده وارد یک چگالنده از جنس پیرکس می گردد. آب خنک کننده از درون مجرای ماریچ و مخلوط بخار از درون پوسته عبور می نماید. به منظور افزایش زمان تماس در چگالنده و افزایش بازده این چگالنده به صورت شیب دار قرار داده شده است که آب از پایین وارد شده و پس از طی یک مسیر رو به بالا از آن خارج می شود.

در قسمت زیرین چگالنده ظرف جمع آوری محصول قرار داده شده است. با نصب یک شیر سه طرفه در زیر ظرف جمع آوری می توان عملیات متفاوتی را در سیستم جاری ساخت. چنانچه برآمدگی روی شیر سه طرفه به طرف ستون اصلی برج قرار داده شود تمامی محصول به برج بازگردانده می شود که به این حالت جریان برگشتی کامل می گویند. اگر برآمدگی روی شیر سه طرفه به سمت زمین باشد محصول وارد یک شیر برقی متصل به یک تایمر دو زمانه می گردد. با تعیین زمان باز و بسته بودن مسیرهای خروجی منشعب شده از شیر برقی می توان نسبت جریان برگشتی مورد نظر را برقرار نمود. یکی از مسیرهای خروجی از شیر برقی محصول را وارد ظرف مربوطه می نماید. این ظرف در قسمت راست دستگاه

قرار دارد جهت نمونه برداری از محصول در قسمت زیرین آن یک شیر تعبیه شده است. همچنین در سمت راست دستگاه روتامتری قرار دارد که برای کنترل دبی آب ورودی به چگالنده از آن استفاده می شود. در قسمت های مختلف تابلو فرمان کلید هایی وجود دارد که با کمک آن ها می توان دمای نقطه قسمت های مختلف سیستم را با توجه به نیاز مشاهده نمود. همچنین نمایشگر دیجیتال ولتاژ دوسر گرم کن برای اعمال ولتاژ مورد نیاز تعبیه شده است.

روش آزمایش

شیر های V1 و V2 را می بندیم و گرم کن دستگاه را روشن می نماییم و دبی آب ورودی به چگالنده را بر روی ۹۰ لیتر بر ساعت تنظیم می نماییم. مدتی صبر می نماییم تا سیستم به حالت پایدار برسد. شیر سه طرفه را در حالت برگشت کامل می گذاریم. دمای مایع برگشت داده شده به برج باید تا حد امکان به دمای سینی بالایی نزدیک باشد که با تنظیم دبی آب قابل دستیابی می باشد. در حالت برگشت کامل بعد از رسیدن به حالت یکنواخت از محصول و ریویلر نمونه برداری می

نماییم . ضریب شکست محلول distillate را بعد از اینکه با آب مقطر هم حجم خودش به حجم رساندیم توسط دستگاه Refract meter تعیین می نماییم . پس از شستن دستگاه سنجش ضریب شکست با آب مقطر و خشک نمودن آن و حصول اطمینان که صفحه آن از نمونه قبلی به طور کامل پاک گردیده است ، نمونه برداشتی لز ریویلر را که سرد نموده ایم تعیین ضریب شکست می نماییم این ضریب شکست نشان دهنده درصد الکل در نمونه می باشد .

در مرحله بعدی آزمایش از یک نسبت معین برگشتی که توسط شیر برقی تنظیم میشود استفاده می نماییم . نسبت برگشتی در این آزمایش برابر 10 / 30 در نظر می گیریم . هر 7 دقیقه از محصول جمع آوری شده و ریویلر تا 25 cc نمونه می گیریم . و مانند بالا به تعیین ضریب شکست آن می پردازیم .

گزارش داده های آزمایش تقطیر

بویلر مرحله ۴	بویلر مرحله ۳	بویلر مرحله ۲	بویلر مرحله ۱	بویلر TOTAL	
23cc	23cc	25cc	24cc	23 cc	حجم برداشتی
1.3400	1.3388	1.3396	1.3392	1.3396	ضریب شکست

T 7	T 6	T 5	T 4	T 3	T 2	T 1	
۲۳,۷	۱۷,۳	۲۷,۰	۳۱,۷	۶۹,۰	۷۶,۳	۷۱,۵	Total
۲۴,۱	۱۷,۲	۲۳,۷	۳۵,۳	۶۷,۷	۷۶,۱	۷۱,۴	مرحله اول
۲۳,۴	۱۷,۵	۲۶,۳	۳۶,۱	۶۶,۷	۷۵,۸	۷۱,۳	مرحله دوم
۲۴,۰	۱۷,۶	۲۷,۳	۳۶,۲	۶۶,۴	۷۵,۶	۷۱,۴	مرحله سوم
۲۴,۴	۱۷,۶	۲۸,۰	۳۶,۳	۶۵,۹	۷۵,۲	۷۱,۱	مرحله چهارم

دمای جوش نرمال K	گرمای ویژه J / gmol K	دانسیته Kg / m ³	جرم مولکولی	
۳۵۱,۷	103.1 at 0 .c	۷۸۶,۲	46.07	الکل (A)
	158.8 at100.c			
۳۷۳,۱۶	۷۵,۴	۹۹۶,۵	18.02	آب (B)

کندانسور مرحله ۴	کندانسور مرحله ۳	کندانسور مرحله ۲	کندانسور مرحله ۱	کندانسور TOTAL
23cc	22cc	25cc	25cc	13cc
1.3598	1.3574	1.3594	1.3582	1.3532

نمونه محاسبات

الف) محاسبات برای حالت برگشت کامل

T7	T ۶	T ۵	T ۴	T ۳	T2	T1	
----	-----	-----	-----	-----	----	----	--

23.7	17.3	27	31.7	69.0	76.3	71.5	برگشت کامل
------	------	----	------	------	------	------	---------------

محاسبات برای distillate

$$\text{ضریب شکست} = 1.3532$$

حجم نمونه

$$13 \text{ cc} = \text{گرفته شده}$$

$$\text{ضریب شکست آب مقطر از دستگاه} = 1.3352$$

ضریب شکست

$$= \frac{1.3330}{1.3352} = \text{ضریب تصحیح دستگاه} = 1.333 \text{ صحیح آب}$$

$$0.9984$$

$$1.3510 = 0.9984 * 1.3532 = \text{ضریب شکست تصحیح شده}$$

: درصد حجمی الکل در محصول رقیق شده

$$(x - 28.8) / (38.4 - 28.8) = (1.3510 - 1.3481) / (1.3526 -$$

$$1.3481) \rightarrow x = 34.99 \%$$

$$\% \text{ 69.98} = 2 * 34.99 = \text{درصد حجمی الکل در محصول}$$

$$\% \text{ 30.2} = 100 - 69.98 = \text{درصد حجمی آب در محصول}$$

$$\text{حجم الکل} = 13 * 0.6998 = 9.0974 \text{ cc} \quad \text{جرم الکل} =$$

$$9.0974 * 0.7862 = 7.152 \text{ gr}$$

$$\text{حجم آب} = 13 - 9.0974 = 3.9026 \text{ cc} \quad \text{جرم آب} =$$

$$3.9026 * 0.9965 = 3.889 \text{ gr}$$

$$\text{جزء جرمی الکل} = 7.152 / (7.152 + 3.889) = 0.648$$

$$\text{جرمی آب} = 1 - 0.648 = 0.352$$

$$\text{مول الکل} = 7.152 / 46.07 = 0.155 \text{ mol} \quad \text{مول آب} =$$

$$3.889 / 18.02 = 0.216 \text{ mol}$$

$$\text{جزء مولی الکل} = 0.155 / (0.155 + 0.216) = 0.418$$

$$\text{آب} = 1 - 0.418 = 0.582$$

محاسبات برای پسماند reboiler

$$\text{ضریب شکست تصحیح شده} = 1.3396 \quad \text{ضریب شکست} =$$

$$1.3396 * 0.9984 = 1.3374$$

$$\text{درصد حجمی الکل در پسماند} : \quad (x - 0) / (9.6 - 0) =$$

$$(1.3374 - 1.3330) / (1.3381 - 1.3330)$$

$$\text{درصد حجمی الکل در پسماند} = 8.28 \%$$

$$\text{حجم نمونه گرفته شده} = 23 \text{ cc}$$

$$\text{حجم الکل} = 23 * 0.0828 = 1.904 \text{ cc} \quad \text{حجم آب} =$$

$$= 23 - 1.904 = 21.096 \text{ cc}$$

$$\text{جرم الکل} = 1.904 * 0.7862 = 1.497 \text{ gr} \quad \text{جرم آب} =$$

$$21.096 * 0.9965 = 21.022 \text{ gr}$$

$$\text{جزء} = 1.497 / (1.497 + 21.022) = 0.066 \quad \text{جزء جرمی الکل}$$

$$\text{جرمی آب} = 1 - 0.066 = 0.934$$

$$\text{مول آب} = 21.022 / 18.02 = 1.167 \text{ mol} \quad \text{مول الکل} = 1.497 / 46.07 = 0.032 \text{ mol}$$

$$21.022 / 18.02 = 1.167 \text{ mol}$$

$$\text{جزء} = 0.032 / (0.032 + 1.167) = 0.027 \quad \text{جزء مولی الکل}$$

$$\text{مولی آب} = 1 - 0.027 = 0.973$$

محاسبات برای خوراک

$$\text{درصد} = 9 \% \quad \text{درصد حجمی الکل در خوراک}$$

$$91 \% = \text{حجمی آب در خوراک}$$

$$\text{حجم آب} = 15000 * 0.09 = 1350 \text{ cc} \quad \text{حجم الکل} = 15000 * 0.91 = 13650 \text{ cc}$$

$$15000 * 0.91 = 13650 \text{ cc}$$

$$\text{جرم آب} = 13650 \quad \text{جرم الکل} = 1350 * 0.7862 = 1061.37 \text{ gr}$$

$$* 0.9965 = 13602.23 \text{ gr}$$

$$\text{جزء جرمی الکل} = 1061.37 / (1061.37 + 13602.2) = 0.072$$

$$\text{جزء جرمی آب} = 1 - 0.072 = 0.928$$

$$\text{مول آب} = \quad \text{مول الکل} = 1061.37 / 46.07 = 23.04 \text{ mol}$$

$$13602.23 / 18.02 = 754.84 \text{ mol}$$

$$\text{جزء} \quad \text{جزء مولی الکل} = 23.04 / (23.04 + 754.84) = 0.03$$

$$\text{مولی آب} = 1 - 0.03 = 0.97$$

گرمای مبادله شده در کندانسور:

$$Q_c = m^{\circ} (\text{آب}) * C_p (\text{آب}) * (T_7 - T_6) \quad Q$$

$$(\text{آب}) = 90 \text{ lit / hr}$$

$$m^{\circ} (\text{آب}) = \rho (\text{آب}) * Q (\text{آب}) = (996.5 * 90) / (3600 * 1000)$$

$$= 0.0249 \text{ kg / s}$$

$$Q_c = 0.0249 * 75.4 * (1/18.02) * 1000 * (23.7 - 17.3) =$$

$$666.80 \text{ J / s}$$

محاسبه سرعت بخار:

$$Q_c = m^{\circ} (\text{بخار}) * \Delta H_{\text{vap}} = m^{\circ} (\text{بخار}) * (h_i - h_o)$$

$$\text{دمای بخار ورودی به کندانسور} = 69.0 \text{ c} = 342 \text{ k} \quad p \text{ فشار}$$

$$= 15 \text{ psi}$$

$$h_i = y_A * [c_{pLA} * (T_G - T_o) * M_A + \Delta H_{vapA} * M_A]$$

$$+ (1 - y_A) * [c_{pLB} * M_B * (T_G - T_o) + \Delta H_{vapB} * M_B]$$

$$y_A = 0.418 \quad ; \quad y_B = 0.582 \quad ; \quad c_{pLA} = 3070 \text{ J / Kg k} \quad ;$$

$$c_{pLB} = 4184 \text{ J / Kg k}$$

$$\Delta H_{vapA} = 8.565 * 10^5 \text{ J / Kg} \quad ; \quad \Delta H_{vapB} =$$

$$2.350 * 10^6 \text{ J / Kg}$$

$$\rightarrow h_i = 48246802 \text{ J / kmol} = 48.2468 \text{ E } 6 \text{ J / Kmol}$$

$$C_{pav} = (0.418 * 131 * 10^3) + (0.582 * 75.4 * 10^3) = 98.6$$

$$* 10^3 \text{ J / kmol k}$$

$$h_o = 98.6 * 10^3 * 25 = 2.465 * 10^6 \text{ J / kmol}$$

$$n \text{ (بخار)} = Q_c / \Delta H_{vap} = 666.80 / (48.2468 -$$

$$2.465) * 10^6 = 14.565 * 10^{-6} \text{ kmol / s}$$

$$M_{av} = 0.418 * 46.07 + 0.582 * 18.02 = 29.74$$

$$\rho_{av} = 0.648 * 786.2 + 0.352 * 996.5 = 860.23 \text{ kg /}$$

$$m^3$$

$$m^{\circ}(\text{بخار}) = n^{\circ}(\text{بخار}) * M_{av} = 14.565 * 10^{-6} * 29.74 = 433.32 *$$

$$10^{-6} \text{ Kg / s} = 1.559 \text{ kg / hr}$$

$$Q(\text{بخار}) = m^{\circ}(\text{بخار}) / \rho_{av} = U(\text{بخار}) * A \rightarrow Q(\text{بخار}) = 433.32 *$$

$$10^{-6} / 860.23 = 5.037 \text{ E}^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$A = N * \pi * d^2 / 4 = 59 * \pi *$$

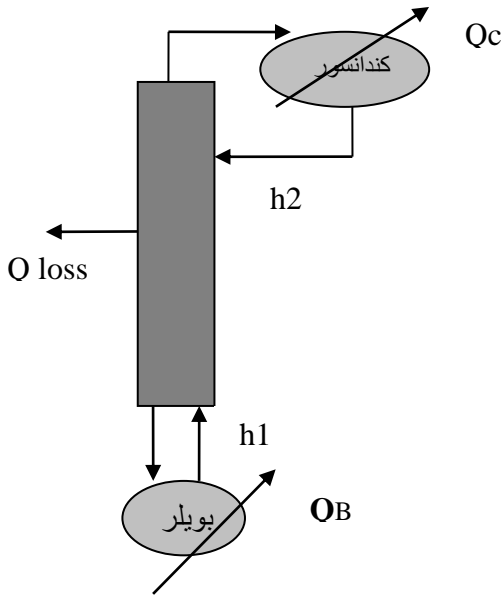
$$(1.5 \text{ E}^{-3})^2 / 4 = 1.043 * 10^{-4}$$

$$\text{m}^2$$

$$U(\text{بخار}) = 5.037 * 10^{-7} / 1.$$

$$0.43 * 10^{-4} = 4.83 * 10^{-4}$$

$$-3 \text{ m / s}$$



موازنه انرژی حول کل برج

+ reboiler = in انرژي مایع خروجی از cond + انرژي مایع ورودی از reboiler

حرارت تولیدی توسط reb

Out = حرارت مصرفی cond + Qloss

$$\text{In} - \text{out} = 0$$

$$C_p a_v = (0.03 * 131) + (0.97 * 75.4) = 77.07$$

$$\text{reboiler : } h_1 = 77.07 * 10^3 * (67.7) =$$

$$5.218 * 10^3 \text{ Kj / kmol}$$

$$\text{حرارت مایع ورودی از ریویولر} = n^{\circ} * h_1 = 14.565 * 10^{-6} * 5.218 *$$

$$10^3 * 3600 = 273.60 \text{ kj / hr}$$

$$h_2 = 93.26 * 10^3 * (27) =$$

$$2.518 * 10^3 \text{ kj / kmol}$$

$$\text{حرارت ورودی توسط جریان برگشتی} = 14.565 * 10^{-6} * 2.518 * 10^3$$

$$* 3600 = 132.03 \text{ kj / hr}$$

$$Q_B = 700 * 3600 * (1 / 1000) = 2520 \text{ Kj/ hr}$$

$$Q_c = 666.80 * (3600/1000) = 2400.48 \text{ kj/hr}$$

$$Q_{\text{loss}} = 273.60 + 132.03 + 2520 - 2400.48 = 525.15 \text{ kj / hr}$$

موازنه جرم حول کل سیستم

خروجی - ورودی = انباشتگی

جرم خروجی - جرم ورودی = جرم باقی مانده

$$\text{جرم ورودی} = 15 \text{ L} * 0.001 * (0.072 * 782.2 + 0.928 * 996.5)$$

$$) = 14.716 \text{ kg}$$

$$\text{جرم خارج شده از کندانسور} = 13 * 10^{-6} *$$

$$(0.648 * 782.2 + 0.352 * 996.5) = 0.011 \text{ kg}$$

$$\text{جرم خارج شده از بویلر} = 23 * 10^{-6} * (0.066 * 782.2 + 0.934$$

$$* 996.5) = 0.023 \text{ kg}$$

$$\text{کل جرم خارج شده} = 0.034 \text{ kg}$$

$$\text{جرم باقیمانده} = 14.716 - 0.034 = 14.688 \text{ kg}$$

محاسبه N min از رابطه فنیسکی

$$P^* = \exp [c1 + (c2 / T) + c3 * \ln T - c4 * T^{0.5}]$$

$$P^*A (@ 69) = 68986.2 \text{ kpa}$$

$$P^*A (@ 76.3) =$$

$$93015.7 \text{ kpa}$$

$$P^*B (@69) = 29515.6 \text{ kpa}$$

$$P^*B (@ 76.3) =$$

$$40254.3 \text{ kpa}$$

$$\text{فراریت بالای برج} (@ 69.0 \text{ c}): \alpha1 = P^*A / P^*B = 2.34$$

$$XD(\text{جزء مولی کندانسور}) = 0.418$$

$$\text{فراریت پایین برج} (@ 76.3 \text{ c}): \alpha2 = P^*A / P^*B = 2.31$$

$$Xw(\text{جزء مولی بویلر}) = 0.027$$

$$\alpha_{av} = (2.34 + 2.31) / 2 = 2.33$$

$$N_{m+1} = \log(x_d / x_{d-1}) * (1 - x_w / x_w) / \log \alpha_{av}$$

$$N_{m+1} = \log [(0.418 * 0.973) / (0.582 * 0.027)] / \log 2.33$$

$$= 3.85 \sim 4$$

ب) در حالت نسبت برگشتی (30 / 10 = 3)

$$\ln(\mu_i / \mu_f) = \int (dx_p / y_d - x_p) \text{ بررسی صحت رابطه}$$

با توجه به محاسبات انجام شده در total reflux برای درصد الکل و آب در حالت

نسبت برگشتی ثابت برای هر نمونه طبق جداول زیر داریم :

نمونه اول :

جزء مولی	مول در	جزء جرمی	جرم در	حجم در	جزء حجمی	جزء	Distillat
	نمونه		نمونه	نمونه			
0.577	0.320	0.777	14.737	18.795	0.815	A	

	B	0.185	4.255	4.240	0.223	0.235	0.423
--	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Reboiler	جزء	جزء حجمی	حجم در نمونه	جرم در نمونه	جزء جرمی	مول در نمونه	جزء مولی
	A	0.077	1.848	1.453	0.062	0.032	0.025
B	0.923	22.152	22.074	0.938	1.225	0.975	

نمونه دوم:

Distillation	جزء	جزء حجمی	حجم در نمونه	جرم در نمونه	جزء جرمی	مول در نمونه	جزء مولی
	A	0.831	20.775	16.333	0.795	0.354	0.602
B	0.169	4.225	4.210	0.205	0.234	0.398	

Reboiler	جزء	جزء حجمی	حجم در نمونه	جرم در نمونه	جزء جرمی	مول در نمونه	جزء مولی
	A	0.084	2.1	1.651	0.067	0.036	0.028

	B	0.916	22.9	22.819	0.933	1.266	0.972
--	---	-------	------	--------	-------	-------	-------

نمونه سوم:

Distillat	جزء	جزء حجمی	حجم در نمونه	جرم در نمونه	جزء جرمی	مول در نمونه	جزء مولی
	A	0.797	17.534	13.785	0.756	0.299	0.548
B	0.203	4.466	4.450	0.244	0.247	0.452	

Reboiler	جزء	جزء حجمی	حجم در نمونه	جرم در نمونه	جزء جرمی	مول در نمونه	جزء مولی
	A	0.069	1.587	1.248	0.055	0.027	0.022
B	0.931	21.413	21.338	0.945	1.184	0.978	

نمونه چهارم:

Distillat	جزء	جزء حجمی	حجم در نمونه	جرم در نمونه	جزء جرمی	مول در نمونه	جزء مولی

	A	0.837	19.251	15.135	0.802	0.328	0.613
	B	0.163	3.749	3.736	0.198	0.207	0.387

Reboiler	جزء	جزء حجمی	حجم در	جرم در	جزء جرمی	مول در	جزء مولی
			نمونه	نمونه		نمونه	
	A	0.081	1.863	1.465	0.065	0.032	0.027
	B	0.919	21.137	21.063	0.935	1.169	0.973

برای هر یک از این نمونه ها x_p ، y_D عبارتند از :

	x_p	y_D	$1 / (y_D - x_p)$
نمونه اول	0.025	0.577	1.812
نمونه دوم	0.028	0.602	1.742
نمونه سوم	0.022	0.548	1.901
نمونه چهارم	0.027	0.613	1.706

$$= \int (dx_p / y_d - x_p)$$

$$\ln (\mu_i / \mu_f)$$

در رابطه بالا حدود انتگرال از ۰,۰۲۷ تا ۰,۰۲۵ می باشد .

$$\int (dx_p / y_d - x_p) = 1/2 * [(1.812+1.742)*0.003 + (1.742+1.901)* 0.006 + (1.901+ 1.706)*0.005] = 0.025$$

$$\mu_i = 0.09* 15*786.2 *0.001*(1 /46.07) = 0.02304$$

$$\text{مقدار الکل باقیمانده} = [(15 * 0.09) - (0.013 * 0.6998) -$$

$$(0.023*0.815)-(0.025*0.831)-(0.022*0.797)-$$

$$(0.023*0.837)-(0.024*0.077)- (0.025*0.084)- (0.023*$$

$$0.069)- (0.023* 0.081)] * 0.7862 = 0.988 \text{ kg}$$

$$\mu_f = 0.988 / 46.07 = 0.0214$$

$$\ln (\mu_i / \mu_f) = \ln (0.02304 / 0.02144) = 0.0719$$

موازنه جرم و انرژی حول چگالنده و ریویولر :

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
مای میانگین	71.3	75.7	66.7	36.0	26.3	17.5	24.0

حرارتی که کندانسور به طور متوسط برای چهار نمونه از دست داده است

$$Q_c = m * C_p * (T_{7av} - T_{6av}) \quad T_{av} = (17.5 + 24) / 2 =$$

$$20.8 \quad C_{p \text{ av}} = 4179 \text{ J / kg c}$$

$$= \rho * Q = 996.5 * 90 * (1 / 1000) * (1 / 3600) = 0.0249 \text{ kg /}$$

s

$$Q_c = 0.0249 * 4179 * (24 - 17.5) = 676.37 \text{ J / s} \rightarrow Q_c =$$

$$2434.93 \text{ KJ / hr}$$

$$Q_c = * \Delta H = n^o * (h_i - h_o)$$

$$h_i = y_A * [c_{pLA} * (T_G - T_o) * M_A + \Delta H_{vapA} * M_A]$$

$$+ (1 - y_A) * [c_{pLB} * M_B * (T_G - T_o) + \Delta H_{vapB} * M_B$$

]

$$h_i = 0.585 * [3069.71 * (339.7 - 298) * 46.07 + 8.565E5 *$$

$$46.07] +$$

$$0.415 * [4184 * (339.7 - 298) * 18.02 + 2.350E6 * 18.02]$$

$$= 45.412 * 10^6 \text{ j / kmol}$$

$$h_o = 2.465 * 10^6 \text{ J / kmol}$$

$$n^o = 676.37 / (45.412 - 2.465) * 10^6 = 15.749 * 10^{-6} \text{ kmol}$$

$$/ \text{s} = 56.70 * 10^{-3} \text{ kmol / hr}$$

$$M_{av} = 0.585 * 46.07 + 0.415 * 18.02 = 34.43$$

$$m^o = n^o * M_{av} = 56.70 * 10^{-3} * 34.43 = 1.95 \text{ kg / hr}$$

انرژی مایع ورودی از بویلر : h_1 (@ 71.3 °c)

$$C_{p \text{ av}} = 142.8 * 0.026 + 75.4 * 0.974 = 77.15 \text{ j / gmol c}$$

$$h_1 = 77.15 * 10^3 * 71.3 = 5.500 * 10^3 \text{ kj / kmol}$$

$$\text{حرارت مایع ورودی از ریویولر} = 56.70 * 10^{-3} * 5.500 * 10^3 =$$

$$311.85 \text{ kj / hr}$$

انرژی مایع ورودی توسط جریان برگشتی : h_2 (@ 26.3)

$$C_{p \text{ av}} = 0.585 * 117.75 + 0.415 * 75.4 = 100.17$$

$$h_2 = 100.17 * 10^3 * 26.3 = 2.634 * 10^3 \text{ kj / kmol}$$

$$N_{ref} = 30 * 0.0567 / 40 = 0.043 \text{ kmol / hr}$$

$$\text{حرارت ورودی توسط جریان برگشتی} = 0.043 * 2.634 * 10^3 =$$

$$113.26 \text{ kJ / hr}$$

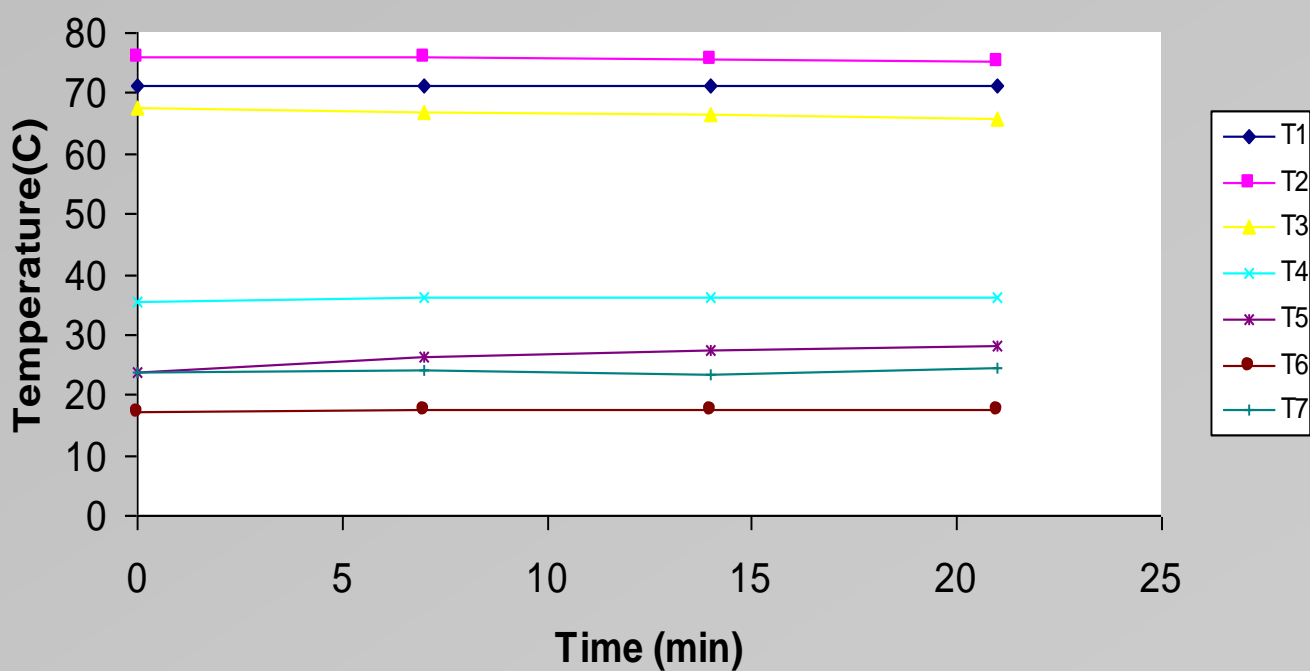
$$\text{کل انرژی ورودی به برج} = 311.85 + 113.26 + (700 * 0.001 *$$

$$3600) = 2945.11 \text{ kJ / hr}$$

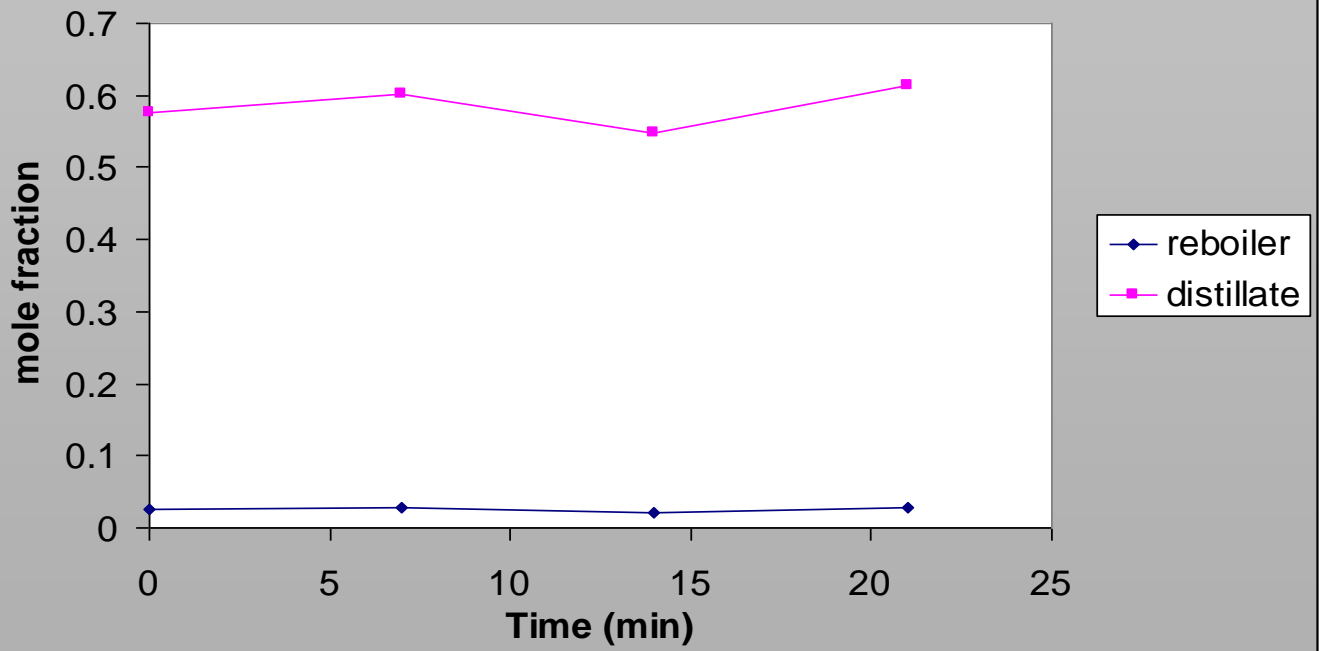
$$\text{انرژی خروجی از برج} = Q_c + Q_{loss} = 2434.93 + Q_{loss}$$

$$Q_{loss} = 2945.11 - 2434.93 = 510.18 \text{ kJ / hr}$$

تغییرات دمای برج با زمان

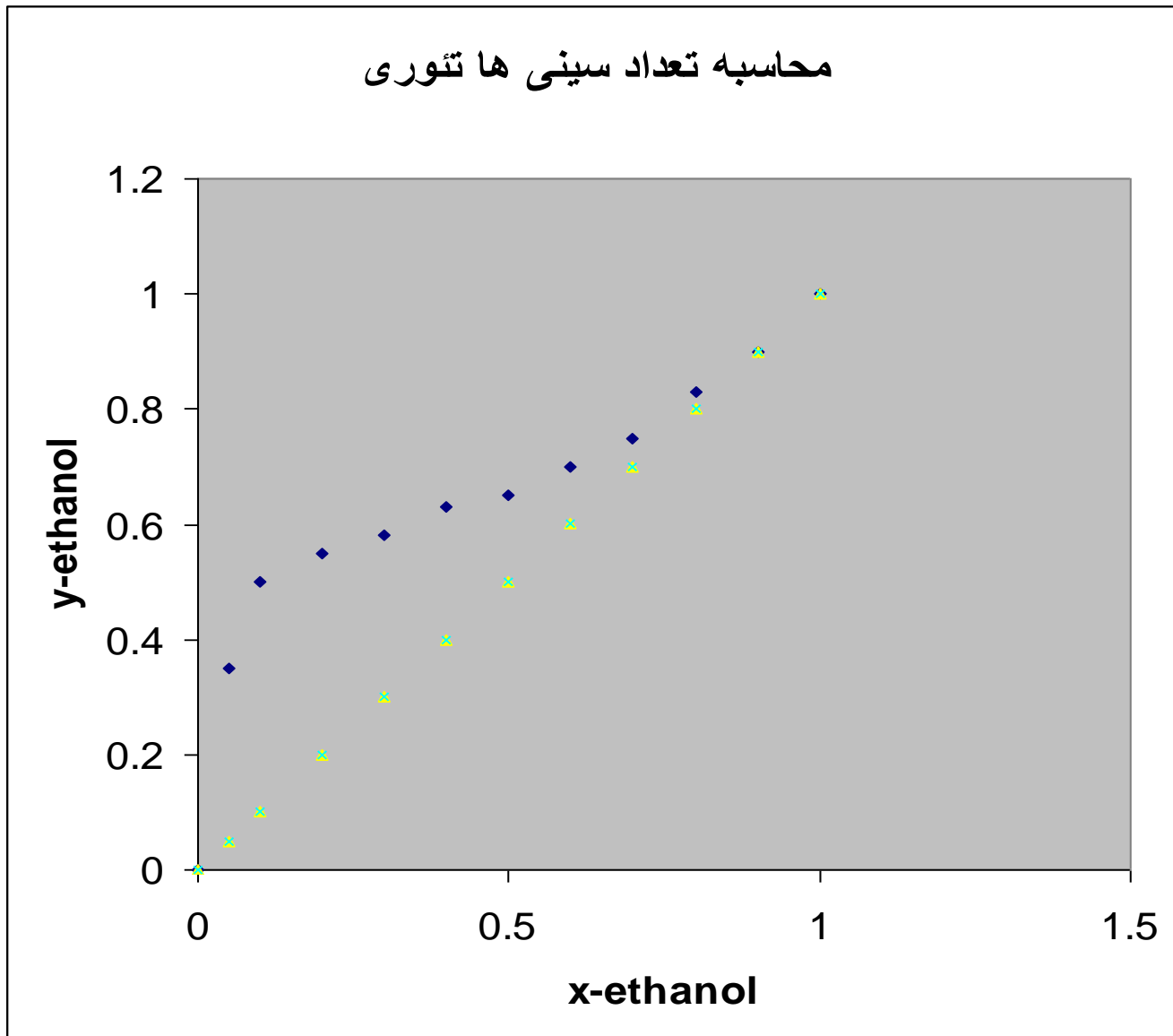


تغییر غلظت خوراک و محصول با زمان



تعداد سینی های برج تقطیر در حالت برگشت کامل (Nmin)

محاسبه تعداد سینی ها تئوری



$x_w = 0.027$

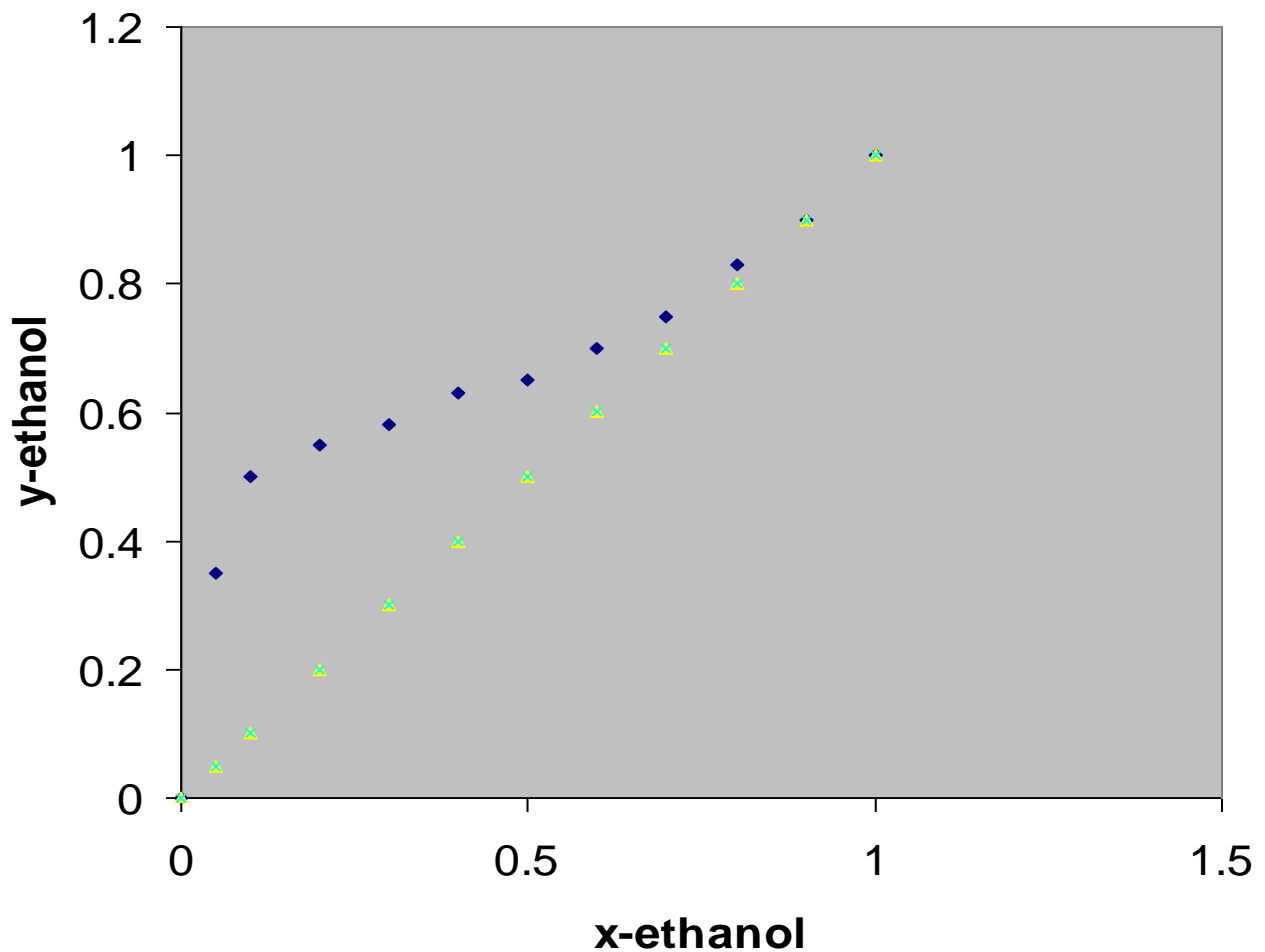
0.418

$x_D =$

حداقل تعداد سینی های لازم برای رسیدن به $x_D = 0.418$ برابر سینی خواهد بود. در حالی که تعداد سینی های مینیمم از معادله فنیکس برابر با ۳,۸۵ محاسبه شد.

mc- cabe دست آوردن تعداد سینی ها با استفاده از روش

محاسبه تعداد سینی ها تئوری



معادله خط کار : $y = *x + xD / (R+1)$

$$R / (R+1)$$

$R = 3$;;;; $x_D = 0.59$;;;;

$$Y = 0.75 * x + 0.14$$

تعداد سینی های تئوری لازم جهت رسیدن به $x_D = 0.59$ برابر خواهد بود

. در حالی که تعداد سینی های برج برابر با 8 عدد بود که این نشان دهنده پایین

بودن بازده سینی های حقیقی می باشد که بیانگر این امر می باشد که این سینی ها مانند یک سینی تعادلی عمل نکرده که می توان از علل آن به پایین بودن دبی ها و عدم تماس کافی بین مایع و گاز و نوع سینی ها اشاره نمود .

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از رسم نمودار تغییرات غلظت محصول distillate و ریویلر با

زمان

باتوجه به نتایجی که از حالت برگشتی کامل نیز به دست آمد مشخص می باشد که جزء مولی الکل در مخزن ریویلر با گذشت زمان کاهش پیدا می نماید که با توجه به واقعیت تئوری و اینکه اتانول ماده ی فرارتری نسبت به آب می باشد قابل توجیه می باشد بنابراین خروج الکل از بالای برج توسط فرایند تقطیر و میعان سبب کاهش آن در خوراک می گردد . اما آنچه که از نمودار مشخص است این روند کاهشی در نتایج به طور کامل اتفاق نیفتاده و در نمونه B2 یک افزایش اتفاق افتاده که می تواند بعلت خطای شخصی در یادداشت ضریب شکست و یا تبخیر الکل در نمونه های

قبلی در فاصله مشخص کردن ضریب شکست اتفاق افتاده باشد که با توجه به دمای نمونه دور از انتظار نمی باشد .

در مورد نمودار تغییرات غلظت محصول ابتدا با افزایش غلظت محصول روبرو هستیم ولی در انتها و به مرور زمان انتظار داریم که با افزایش تمایل آب به تبخیر میزان کسر مولی اتانول در بخار کاسته شود و در نتیجه این امر با تاثیر مستقیم بر محصول کندانسور کاهش جزء مولی الکل را سبب شود این روند در نقاط D1، D2 و D3 منطقی به نظر می رسد ولی در نمونه D4 برخلاف انتظار مقدار الکل در محصول افزایش ناگهانی یافته که می تواند ناشی از جریان برگشتی و دمای مایع برگشتی به برج باشد که با افزایش این دما الکل بیشتری وارد جریان بالای برج و به تبع آن به محصول تقطیر می شود .

نتایج حاصل از رسم نمودار دما در نقاط مختلف برج با گذشت زمان

در دمای T1 که دمای خوراک موجود در مخزن ریویبلر می باشد یک روند کاهشی مشاهده می نمایم که زیاد محسوس نمی باشد ولی می تواند به علت کاهش

مقدار ماده فرار تر الکل و افزایش تمایل آب به تبخیر می باشد که گرمای نهان

تبخیر آب بیشتر از الکل می باشد و این امر سبب کاهش دمای مخزن می شود .

کاهش دمای مخزن خوراک و افزایش تبخیر آب باعث می گردد که دمای بخار

ورودی به برج با گذشت زمان کاهش یابد که این امر در روند تغییرات T2

مشاهده می شود و به همین سبب دمای بخار خروجی از برج یعنی T3 نیز از یک

روند کاهشی برخوردار می باشد .

با گذشت زمان که تبخیر الکل کاسته شده و محصول وارد شده به کندانسور دارای

آب بیشتری می گردد این امر سبب افزایش دمای مایع برگشتی به برج می گردد

که در روند افزایشی T5 در این نمودار قابل مشاهده می باشد . این امر افزایش

دمای آب خروجی از کندانسور را نیز در بر دارد و T7 به مرور افزایش می یابد

. البته نوسانات دمایی به صورت افزایش در T6 که دمای آب ورودی به کندانسور

از آب شهری می باشد قابل مشاهده می باشد .

منابع : (۱) انتقال جرم تریبال (۲) عملیات واحد مک کیب (۳) ترمودینامیک ون

وایلن

برج خنک کن

Shimiomd.blog.ir

فرآیندهایی که در بخش مرطوب سازی بررسی می شوند، درباره انتقال جرم و انرژی بین فازهاست که در نتیجه تماس یک گاز با یک مایع خالص که گاز در آن نامحلول است روی می دهد. با وجود اینکه این فرآیند را مرطوب کردن می نامند، ولی هدف از اجرای آن فقط مرطوب کردن گاز نیست بلکه گاهی اوقات جهت رطوبت زدایی و سرد کردن گازها، اندازه گیری بخار موجود در گازها و سرد کردن کایعات نیز به کار می رود. ماده ای که در این موارد بین فازها انتقال می یابد، ماده تشکیل دهنده فاز مایع است که در طی تحول تبخیر می شود و یا میعان می یابد.

مخلوط گاز و بخار اشباع: اگر گاز خشک B که در مایع A نامحلول است در تماس با مقدار زیادی از آن مایع قرار گیرد، مایع در داخل فاز گاز تبخیر خواهد شد و این عمل تا جایی ادامه می یابد که فشار جزئی A در مخلوط گاز و بخار به فشار اشباع آن برسد. تا زمانی که بتوان گاز را غیر محلول در مایع حساب

آورد، فشار جزئی بخار در مخلوط اشباع مستقل از جنس گاز و فشار کل مخلوط است. و تنها به دما و نوع مایع بستگی دارد.

مخلوط گاز و بخار اشباع نشده: اگر به هر دلیلی فشار جزئی بخار دریم مخلوط گاز و بخار کمتر از فشار بخار تعادلی مایع در دمای مخلوط باشد، مخلوط اشباع نشده است.

۱- **رطوبت مطلق:** اگر در فرآیندی میزان بخار موجود در یک مخلوط بخار و گاز دستخوش تغییر شود بدون آنکه تغییری در میزان گاز رخ دهد مناسب تر است که از واحدی بر مبنای سازنده غیر قابل میعان (گاز) استفاده گردد. نسبت جرم بخار به جرم گاز را رطوبت مطلق می نامند و با Y' نشان می دهند. اگر کمیات بر اساس مول باشند نسبت مذکور را رطوبت مطلق مولی گویند و با Y نشان می دهند.

$$Y = y_A/y_B$$

$$Y' = Y * M_A/M_B$$

اگر گاز خشک B که در مایع A نامحلول است در تماس با مقدار زیادی از آن مایع قرار گیرد مایع در داخل گاز تبخیر خواهد شد و این عمل آنقدر ادامه خواهد یافت تا فشار جزئی A در مخلوط گاز و بخار به فشار اشباع آن یعنی فشار بخار

A در دمای مخلوط برسد . تا زمانی که بتوان گاز را غیر محلول در مایع به حساب آورد فشار جزئی بخار در مخلوط اشباع مستقل از جنس گاز و فشار کل مخلوط خواهد بود و تنها به دما و نوع مایع بستگی خواهد داشت. ولی رطوبت مطلق مولی اشباع یعنی کمیت روبرو $Y_S = P^*_A / (P_t - P^*_A)$ علاوه بر دما و نوع مایع به فشار کل و رطوبت مطلق اشباع $Y'_S = Y_S * M_A / M_B$ علاوه بر متغیرهای فوق به جنس گاز هم وابسته است . هر دو کمیت رطوبت اشباع در نقطه جوش مایع در تحت فشار کل مخلوط برابر با بینهایت می شود. خواصی که در زیر تعریف می شوند عمدتاً برای مخلوطهای اشباع نشده گاز و بخار به کار می روند.

۲- دمای حباب خشک : عبارت است از دمای مخلوط گاز و بخار که با قرار دادن دماسنج در مخلوط تعیین می شود.

۳- اشباع نسبی : اشباع نسبی که به رطوبت نسبی نیز موسوم است بصورت درصد رطوبت و مطابق رابطه زیر بیان می شود که در آن P^*_A فشار بخار در دمای حباب خشک مخلوط و P_A فشار جزئی بخار است :

$$\text{Relative Humidity} = 100 * P_A / P^*_A$$

۴- درصد اشباع : درصد اشباع یا درصد رطوبت مطلق را به صورت $100 * Y / Y'_S$ تعریف می کنند که مقادیر مربوط به حالت اشباع در دمای حباب خشک

محاسبه می شوند. منحنی های رطوبت سنجی در مورد هر بخار معین را می توان بصورت تغییرات Y بر حسب t که در این حالت فشار کل بایستی ثابت باشد ارائه کرد. برای رسم این نوع نمودار ابتدا رطوبت های اشباع با استفاده از داده های فشار بخار اشباع رسم می شود. آنگاه مثلا منحنی ۵۰ درصد اشباع را با فرض آنکه در هر دمای اختیاری فشار بخار مربوطه معادل با نصف فشار بخار اشباع در همان دما باشد رسم می کنند و بهمین ترتیب برای منحنی های دیگر ادامه می دهیم.

۵- **نقطه شبنم:** دمای که در آن مخلوطی از گاز و بخار در صورت سرد شدن در فشار کل ثابت و بدون تماس با مایع به حالت اشباع می رسد نقطه شبنم نامیده می شود. اگر بعد از رسیدن به این نقطه دما را پایین تر بیاوریم عمل میعان ادامه خواهد یافت و مخلوط همواره به حالت اشباع باقی می ماند.

۶- **حجم مرطوب:** حجم مرطوب U_H یک مخلوط گاز و بخار عبارت است از حجم واحد جرم گاز خشک و بخار همراه آن در دما و فشار کل مخلوط. برای مخلوطی که رطوبت مطلق آن در دمای t_G و فشار کل P_t برابر Y' باشد با استفاده از قانون گاز کامل می توان حجم مرطوب را به صورت زیر محاسبه کرد:

$$H = (1/M_B + Y'/M_A) * 22.41 * (t_G + 273) / 273 * 1.013 * 10^5 \\ v/P_t \\ = 8315 (1/M_B + Y'/M_A) * (t_G + 273) / P_t$$

که v_H بر حسب m^3/kg و t_G بر حسب درجه سلسیوس و P_t بر حسب

نیوتن بر متر مربع است. حجم مرطوب یک مخلوط اشباع نشده از درونیابی

خطی بین حالت اشباع و حالت خشک بدست می آید.

۷- گرمای مرطوب: عبارت است از مقدار حرارتی که جهت بالا بردن دمای واحد

جرم گاز همراه با بخار همراه به میزان یک درجه در فشار ثابت مورد نیاز است.

۸- آنتالپی: آنتالپی نسبی یک مخلوط گاز و بخار برابر با مجموع آنتالپی های

گاز و بخار موجود در آن مخلوط است. مخلوطی از یک گاز خشک به جرم واحد

و بخار همراه آن به جرم Y' را در دمای حباب خشک t_G در نظر می گیریم.

اگر مخلوط اشباع نشده باشد بخار به حالت داغ است و می توان آنتالپی ها را نسبت

به حالات مرجع گاز و مایع اشباع در دمای t_0 بدست آورد. بنابراین آنتالپی

مخلوط به ازای واحد جرم گاز خشک عبارت است از:

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

باید توجه کرد که آنتالپی یک مخلوط را می توان با افزایش دما در رطوبت ثابت یا

با افزایش رطوبت در دمای ثابت و یا افزایش هر دو کمیت بالا برد.

سیستم آب و هوا

منحنی های رطوبت سنجی را می توان برای هر مخلوط گاز و بخار رسم کرد اما

سیستم آب و هوا به دلیل وفور برخورد با آن مورد بررسی زیاد تری قرار

گرفته است. و نمودارهای کاملی از این سیستم در دست است .

منحنی های اشباع آدیباتیک : تحولی را که در شکل نشان داده شده است را در نظر

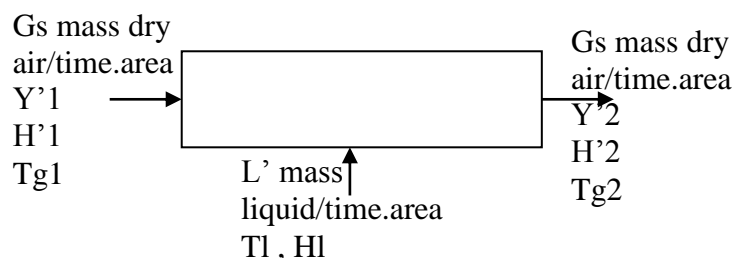
می گیریم، در این تحول گاز ورودی با مایعی که مثلاً به درون گاز پاشیده می شود

تماس حاصل می کند. در نتیجه عمل نفوذ و انتقال حرارت بین گاز و مایع، شرایط

گاز خروجی از نظر رطوبت و دما با گاز ورودی متفاوتی خواهد بود. تحول

آدیباتیک است و لذا حرارتی با محیط تبادل نمی شود. با موازنه جرم و انرژی

داریم :



$$T_{G1} - T_{as} = (Y'_{as} - Y'_1) \frac{\lambda_{as}}{C_{S1}}$$

رابطه فوق منحنی خاصی بر روی نمودار رطوبت سنجی است که به منحنی اشباع آدیاباتیک موسوم است. منحنی به صورت خط راست نبوده و دارای اندکی تقعر به سمت بالا است.

دمای حباب مرطوب: عبارت است از دمای پایایی که در نتیجه تبخیر مقدار اندکی مایع در حجم بالایی از یک مخلوط بخار و گاز اشباع نشده حاصل می شود.

تحت شرایط مناسب، ازین کمیت جهت اندازه گیری رطوبت مخلوط استفاده می شود. اگر مخلوط گاز اشباع نشده باشد، دمائی که توسط دماسنج در سیستم فوق تعیین می گردد پائین تر از دمای حباب خشک است. گرمای لازم جهت تبخیر مایع به درون فاز گاز در ابتدا از گرمای ملموس قطره مایع تامین می گردد و لذا مایع باقی مانده بر روی حباب سرد می شود. ولی به محض اینکه دمای مایع به زیر دمای حباب خشک برسد، گرما از مخلوط گاز به مایع انتقال می یابد. نهایتاً، شدت انتقال حرارت از مخلوط گاز به مایع برابر گرمای لازم برای تبخیر مایع خواهد شد و لذا دمای مایع به مقدار ثابتی می رسد و این دما همان دمای حباب مرطوب است (T_w). مکانیسم حباب مرطوب در اساس با مکانیسم فرآیند اشباع

آدیاباتیک یکسان است به جز آنکه در فرآیند حباب مرطوب، رطوبت مخلوط گاز در حین تحول تغییر نمی کند. رابطه مورد استفاده در این فرآیند به شکل

زیر می باشد :

$$T_G - T_w = \frac{\lambda_w (Y'_w - Y')}{h_G / k_Y}$$

که معمولاً به همین شکل استفاده می شود.

علاوه بر این در تعیین Y لازم است که مقادیر h_G/k_Y که به نسبت رطوبت سنجی موسوم است در دست باشد. لذا رابطه زیر که تجربی است ارائه می

گردد:

$$\frac{h_G}{K_Y C_S} = \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^{0.567} = Le^{0.567}$$

عملیات تماس بین گاز و مایع:

تماس بین یک گاز و مایع خالص را به دلائل مختلفی برقرار کنند :

۱- عملیات آدیاباتیک :

الف) سرد کردن یک مایع: عمل سرد کردن در اثر انتقال گرمای ملموس و نیز تبخیر صورت می گیرد. فرآیند بسیار مهم در این مورد سرد کردن آب در اثر تماس آن با هوای اتمسفر است.

ب) سرد کردن یک گاز داغ: تماس مستقیم سبب جلوگیری از ایجاد جرم در مبدل

های حرارتی می گردد ولی شرط استفاده از این روش قابل قبول بودن وجود

مقداری از بخار مایع در دستگاه می باشد .

ج) مرطوب کردن یک گاز: از این عمل مثلاً جهت کنترل رطوبت موجود در

هوای مصرفی خشک کن استفاده می شود.

د) رطوبت زدایی از یک گاز: تماس مستقیم مخلوط یک گاز و بخار داغ با یک

مایع سرد سبب میعان بخار در مخلوط می شود. از این تحول در تهویه هوا،

بازیابی بخار حلال از گازهای مصرفی در خشک کن و نظائر آن استفاده به عمل

می آید

۲- عملیات غیر آدیاباتیک :

الف) سرد کردن تبخیری: مایع یا گاز جاری در یک لوله را بوسیله آب که به

صورت یک لایه نازک در سطح خارجی لوله جریان می یابد و در اثر تماس

مستقیم با هوا سرد می شود، خنک می کنند .

ب) رطوبت زدایی از یک گاز: مخلوط گاز و بخار را در تماس مستقیم با لوله

های سرد شده قرار می دهند که در نتیجه بخار بر روی لوله ها میعان می یابد.

سرد کردن آب با هوا

در این تحول آب که در اثر عبور از مبدل های حرارتی و کندانسورها گرم می شود در اثر تماس با هوای اتمسفری سرد گردیده و مورد استفاده مجدد قرار می گیرد. گرمای نهان تبخیر آب به حدی زیاد است که تبخیر جرم مختصری از آن برودت قابل ملاحظه ای ایجاد می کند. نظر به اینکه شدت انتقال جرم کم است دما نسبتاً پایین بوده و رابطه لوییس در مورد سیستم های آب و هوا صادق می باشد. با فرض تبخیر اندک یعنی L' ثابت معادله خط عامل این فرآیند به صورت زیر است:

$$L' C_{A,L}(t_{L2}-t_{L1}) = G's(H'_2-H'_1)$$

اگر شدت انتقال جرم کم باشد داریم:

$$G's dH' = k_Y a (H'_i - H') dZ = h_{L,a} (t_L - t_i)$$

با فرض آنکه $k_Y a$ ثابت بماند از معادله انتگرال می گیریم و داریم:

$$\int dH' / (H'_i - H') = k_Y a / G's \int dZ = k_Y Z a / G's = N_{tG}$$

N_{tG} در حقیقت معیاری از اشکال انتقال آنتالپی بوده و به تعداد واحد های انتقال گاز

– آنتالپی موسوم است. در نتیجه:

$$Z = H_{tG} N_{tG}$$

که H_{tG} ارتفاع یک واحد انتقال گاز - آنتالپی می باشد . معمولاً استفاده از H_{tG} را به عنوان معیاری از عملکرد برج پر شده بر $k_Y a$ ترجیح می دهند زیرا که به شدت‌های جریان کمتر وابسته بوده و دارای بعد طول است.

استفاده از این معادله زمانی جایز است که منحنی آنتالپی بصورت مستقیم در آید که معمولاً چنین نمی شود و یا h_{La} بی نهایت باشد یعنی دمای سطح مشترک برابر با دمای توده مایع گردد.

اگر خط عاملی که بر روی محورهای آنتالپی - دما رسم شده است در نقطه ای با منحنی تعادل برخورد داشته باشد نیروی محرکه موجود برابر صفر شده و لذا بمنظور ایجاد تغییر دما در مایع به سطح مشترک برابر با مساحت بی نهایت و یا ارتفاع بی نهایت Z نیاز خواهد بود.

نظر به اینکه آنتالپی H' در بسیاری موارد عملی تنها تابعی از دمای اشباع آدیاباتیک (یا در مورد مخلوط آب و هوا تابعی از دمای حباب مرطوب) است دمای حباب مرطوب هوای ورودی باید کمتر از t_{L1} باشد ولی این شرط در مورد دمای حباب خشک الزامی نیست . به این دلیل امکان دارد که آب را تا دمای t_{L1} که پایین تر از دمای حباب خشک هوا یعنی t_{G1} می باشد سرد کرد . همچنین ممکن است که یک سرد کن را با هوای ورودی اشباع بشرط آنکه دمای آن کمتر از t_{L1} باشد بکار انداخت . تفاضل بین دمای مایع خروجی و دمای حباب مرطوب هوای ورودی را

$t_{L1} - t_{w1}$ نزدیکی به دمای حباب مرطوب می نامند که معیاری از نیرو و محرکه موجود جهت نفوذ در انتهای تحتانی دستگاه است. در طراحی برج های خنک کن کمیت اخیر را معمولا بین 2.5 تا 5 درجه سلسیوس و تغییرات t_{w1} را 5 درصد دمای حباب مرطوب در نظر می گیرند (یعنی دمای حباب مرطوبی که فقط 5 درصد از مقدار متوسط آن در ماه های تابستان می تواند تجاوز کند)

در سیستم هایی که گردش آب در آنها برقرار است باید بمنظور جبران آب از دست رفته در اثر خروج همراه با هوا تبخیر و عمل زدودن آب جبرانی تازه افزوده می شود. در برجهایی با جریان اجباری هوا آب تلف شده در اثر حمل در هوا بین 0.1 تا 0.3 درصد شدت جریان گردش آب تخمین زده می شود. اگر آب جبرانی نمکهای محلول همراه داشته باشد (سختی آب) بمنظور جلوگیری از تجمع املاح و حفظ غلظت مناسب قسمت کوچکی از آب در گردش را عمدا از سیستم خارج می کنند.

استفاده از ضرایب کلی انتقال جرم امکان تشخیص مکانیسم سرد شدن مایع (از طریق جابجایی و یا تبخیر) را فراهم نمی سازد و لذا محاسبه رطوبت و یا دمای حباب خشک هوای خروجی نیز میسر نخواهد شد. البته هوای خروجی معمولا نزدیک به حالت اشباع است و جهت تخمین مقدار آب جبرانی لازم می توان آنرا اشباع فرض کرد.

دستگاه های انتقال جرم

دستگاه های این بخش شامل برج های پر شده و سینی دار می باشد .

۱- برج های پر شده

با توجه به قیمت کم آب و هوا هنگامی که با حجم های زیادی از این مواد سر و کار

باشد نظیر عملیات سرد کردن آب بایستی قیمت اولیه دستگاه ها و هزینه های

عملکرد بسیار پایین در نظر گرفته شود . چارچوب و پرکن های داخلی برج

معمولا از چوب قرمز است که در مقابل تماس دائمی آب بسیار مقاوم می باشد .

همچنین از چوب هایی که در تحت فشار بتوسط مواد مختلف نظیر جوهر قطران

پنتاکلر و فنل و کرومات مس اشباع می شوند تا در مقابل قارچ ها و موجودات ذره

بینی مقاوم گردند سود می برند . جدار داخلی برج بیشتر از چوب قرمز یا سیمان

آسبست تقویت شده با شیشه و نظایر آنها ساخته می شود . فضای پر شده داخلی

معمولا به شکل پرچین درست می شود باین ترتیب که تخته های باریکی را یک در

میان بصورت ردیف های افقی و عمودی قرار می دهند . پرکن ها معمولا از جنس

پلی پروپیلن می باشند که به شکل میله و یا اشکال دیگر قالب ریزی می شوند فضای

تهی بسیار بزرگ و معمولا بیش از 90 درصد حجم داخلی برج پیش بینی می

شود تا افت فشار گاز حتی المقدور ناچیز باشد . سطح مشترک هوا و آب نه تنها

متشکل از فیلم مایع است که تخته های باریک را مرطوب می سازد بلکه سطح
قطراتی را که نظیر باران از یک ردیف پر کن به ردیف دیگر جاری می شود شامل
می گردد.

برج های با دمیدن طبیعی امکان حرکت هوا را حتی در هوای آرام امکان پذیر می
سازند زیرا در این قبیل دستگاه ها حرکت هوا در اثر جابجایی هوای گرم داخل
برج با هوای سردتر فضای خارج برج بوجود می آید . بنا براین به هواکش های
نسبتا بلند نیاز وجود دارد . هر دو نوع از برج های مذکور باید نسبتا طویل ساخته
شوند تا بتوانند در تقارب های کم دمای حباب مرطوب عمل کنند.

از دستگاه های با دمیدن طبیعی غالبا در نواحی که میزان رطوبت کم است استفاده
می شود . برج های با دمیدن مکانیکی ممکن است از نوع دمیدن اجباری باشند که در
آنها هوا توسط یک دمنده که در انتهای برج قرار دارد به داخل دمیده شود . در این
دستگاه ها بعلت کندی سرعت تخلیه امکان گردش مجدد هوای گرم و مرطوب در
برج در اثر رسیدن آن به ورودی دمنده وجود دارد که در این صورت از بازده
کلی برج کاسته می شود . با دمیدن از بالای برج می توان از پدیده مذکور

جلوگیری کرد.

۲- برج های سینی دار

این دستگاه ها بسیار مؤثر هستند ولی معمولاً بعلاوه هزینه بالا و افت فشار نسبتاً زیاد بجز در برخی موارد ویژه برای مرطوب سازی و رطوبت زدایی و یا سرد کردن بکار نمی روند.

۳- مخازن پاششی

از این برج ها که بیشتر به صورت افقی هستند در عملیات سرد کردن بوسیله مرطوب سازی بصورت آدیاباتیک با استفاده از مایع در گردش استفاده می شود. سطوح انتقال حرارت در ورودی و خروجی برج عمل پیش گرمایی و پس گرمایی هوا را میسر می سازد به نحوی که امکان انجام فرآیندهایی فراهم می گردد. اگر بخواهند بوسیله این روش تغییر قابل ملاحظه ای در رطوبت ایجاد کنند پیش گرم کردن هوا تا دماهای بسیار بالا ضروری می باشد.

یا به روش دیگر می توان آب را توسط تزریق مستقیم بخار و یا مارپیچ های گرم کننده به دمایی بالاتر از دمای اشباع آدیاباتیک رسانید. اگر شدت پاشش مایع بحد کافی باشد می شود فرض کرد که با سه ردیف فواره پشت سر هم بتوان گاز را به تعادل با مایع در حال پاشیده شدن رسانید. برای عمل تهویه هوا وسایل مناسبی با امکانات مختلف مجهز به کنترل خودکار ارائه شده است.

۴- حوضچه های پاششی

از این دستگاه ها هنگامی استفاده می شود که لزومی به نزدیک شدن به دمای حباب مرطوب هوا وجود نداشته باشد. این دستگاه ها در حقیقت فواره هایی هستند که آب از آنها به داخل هوا فوران کرده و سپس به درون یک منبع جمع آوری فرو می ریزد. میزان تلفات آب در اثر وزش هوا زیاد است.

❖ شرح دستگاه آزمایش

از این دستگاه می توان برای سرد کردن هوا توسط آب و سرد کردن آب توسط هوا استفاده کرد. دستگاه دارای مخزنی است برای تامین آب مورد نیاز دستگاه. و نیز دارای پمپی است که جریان آب پس از عبور از روتامتر و اندازه گیری دمایش وارد بستر توزیع شده و با طی مسیر برج وارد مخزن می گردد. تنظیم دبی آب به کمک شیر جریان برگشتی و روتامتر امکان پذیر است. همچنین توسط یک دمنده که در پایین دستگاه قرار دارد می توان دبی های مختلف هوا را وارد برج کرد. هوا با عبور از روی المان حرارتی و اندازه گیری دمای مرطوب و خشک آن از پایین وارد برج می شود و در تماس با آب قرار می گیرد و پس از اندازه گیری دمای خشک و حباب مرطوب آن در خروجی از برج خارج می شود. اریفیس به یک مانومتر وصل شده تا اختلاف فشار حاصل از دبی های متفاوت هوا را بتوان یادداشت کرد.

هنگامیکه هدف سرد کردن هوا می باشد توسط المان حرارتی موجود در مسیر هوا که توان آن قابل کنترل است هوا به دمای لازم می رسد و سپس با آب سرد مجاور شده تا سرد گردد.

برای سرد کردن آب ابتدا دمای آنرا توسط المان حرارتی موجود در مخزن به حد لازم می رسانیم و با ورود به برج آنرا مجاور هوای محیط می کنیم تا گرمای خود را از دست بدهد ولی در هر یک از این مراحل مقداری از آب تبخیر می شود.

سرد کردن هوا

• دبی کم هوا

۱. موازنه جرم:

مرحله	دمای خشک	دمای	دمای	دمای	دمای	دمای
-------	----------	------	------	------	------	------

آزمایش	ورودی	مرطوب ورودی	خشک خروجی	مرطوب خروجی	ورود آب	خروجی آب
دبی کم هوا	37.9	22.15	25.6	23.1	24.55	25.4
دبی متوسط هوا	37.65	22.05	25.35	23.3	25.55	25.55
دبی زیاد هوا	38.05	22.1	25.75	23.5	25.95	25.95

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.01$$

$$y'_2 = 0.016$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.87$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 42}{0.87}} = 0.00706 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 80 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$- (0.053) = \text{آب خروجی}$$

$$(10\text{cc} * 1\text{lit} / 1000\text{cc} * 1\text{m}^3 / 1000\text{lit} * 1000\text{kg} / \text{m}^3) / 180 \\ = 0.0529 \text{ kg/sec}$$

۰۲. موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری} -)$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.053 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(25.4 - 24.55) = 188.26 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884 y') T_G + 2502300 y'$$

$$H_1' = 63826.54$$

$$H_2' = 66536.49$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (66536.49 - 63826.54) * 0.00706 = 19.132$$

j/sec

$$Q_{loss} = 188.26 + 19.132 = 207.392$$

• دبی متوسط هوا

۰۱. موازنه جرم:

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.01$$

$$y'_2 = 0.017$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.867$$

$$m_{D.A} = c \cdot A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$m_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 45}{0.867}} = 0.00732 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 80 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.053) -$$

$$(5 \text{cc} * 1 \text{lit}/1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3/1000 \text{lit} * 1000 \text{kg}/\text{m}^3) / 180 \\ = 0.05297 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = \text{(انرژی هوای خروجی - انرژی هوای ورودی)} - \text{(انرژی آب تبخیری)}$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

$$= \text{تغییر انرژی آب}$$

$$m C_p \Delta T = (0.05297 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(25.55 - 25.55) = 0 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1 - H_2) m_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H'_1 = 63826.54$$

$$H'_2 = 68827.75$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (68827.75 - 63826.54) * 0.00732 = 36,609 \text{ j/sec}$$

$$Q_{loss} = 36,609 + 0 = 36,609$$

• دبی زیاد هوا

۱. موازنه جرم:

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.0105$$

$$y'_2 = 0.0175$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.869$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h . \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 46}{0.869}} = 0.00739 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 80 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.053) -$$

$$(10 \text{cc} * 1 \text{lit} / 1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3 / 1000 \text{lit} * 1000 \text{kg} / \text{m}^3) / 180$$

$$=0.05294 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

$$Q_{loss} = \text{تغییر انرژی هوا} - \text{تغییر انرژی آب}$$

$$Q_{loss} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری})$$

$$\text{انرژی آب خروجی} - \text{انرژی آب ورودی}$$

$$= \text{تغییر انرژی آب}$$

$$\dot{m}C_p\Delta T = (0.05294 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(25.55 - 25.55) = 0 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2')\dot{m}_{D.A}$$

$$H_1' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 65267.10$$

$$H_2' = 70517.98$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (70517.98 - 65267.10) * 0.00739 = 38.804$$

j/sec

$$Q_{loss} = 38.804 + 0 = 38.804$$

موازنه جرم و انرژی برای سرد کردن آب

- تغییر دبی آب از 4 به 8 در دمای 27.9 درجه سانتیگراد

• دبی کم هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.0095$$

$$y'_2 = 0.017$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.859$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h . \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 42.5}{0.859}} = 0.00715 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 80 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.053) -$$

$$\begin{aligned} & (35 \text{cc} * 1 \text{lit}/1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3/1000 \text{lit} * 1000 \text{kg}/\text{m}^3) / 180 \\ & = 0.0528 \text{ kg/sec} \end{aligned}$$

موازنه انرژی:

$$Q_{loss} = \text{تغییر انرژی هوا} - \text{تغییر انرژی آب}$$

$$Q_{loss} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری} -)$$

$$\text{انرژی آب خروجی} - \text{انرژی آب ورودی}$$

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0528 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ \text{C})(27.8 - 23.35) = 981.89 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884 y') T_G + 2502300 y'$$

$$H_1' = 47196.21$$

$$H_2' = 65820.38$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (65820.38 - 47196.21) * 0.00715 = 133.16$$

J/sec

$$Q_{\text{loss}} = 981.89 + 133.16 = 1115.05$$

• ادامه:

• دبي متوسط هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.009$$

$$y'_2 = 0.0165$$

محاسبه دبي جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.859$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 45.5}{0.859}} = 0.00739 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 80 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.053) -$$

$$(15 \text{cc} * 1 \text{lit} / 1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3 / 1000 \text{lit} * 1000 \text{kg/m}^3) / 180 \\ = 0.0529 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

$$Q_{loss} = \text{تغییر انرژی هوا} - \text{تغییر انرژی آب}$$

$Q_{loss} = -$ (انرژی هوای ورودی) - (انرژی آب تبخیری)

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0529 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(27.55 - 23.4) = 917.44 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884 y') T_G + 2502300 y'$$

$$H_1' = 46230.08$$

$$H_2' = 66027.78$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (66027.78 - 46230.08) * 0.00739 = 146.30 \text{ J/sec}$$

$$Q_{loss} = 917.44 + 146.30 = 1063.74$$

• دبی زیاد هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.009$$

$$y'_2 = 0.0175$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.861$$

$$\dot{m}_{D.A} = c A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7 (\pi/4) (0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 46.5}{0.861}} = 0.00747 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 80 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit / min} = 0.053 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.053) -$$

$$(35 \text{cc} * 1 \text{lit} / 1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3 / 1000 \text{lit} * 1000 \text{kg} / \text{m}^3) / 180 \\ = 0.0528 \text{kg} / \text{sec}$$

موازنه انرژی:

$$Q_{\text{loss}} = \text{تغییر انرژی هوا} - \text{تغییر انرژی آب}$$

$$Q_{\text{loss}} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری})$$

$$\text{انرژی آب خروجی} - \text{انرژی آب ورودی}$$

$$= \text{تغییر انرژی آب}$$

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0529 \text{kg} / \text{sec})(4179 \text{J} / \text{kg}^\circ \text{C})(27.65 - 23.15) = 994.81 \text{J} / \text{sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D,A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 46127.88$$

$$H_2' = 66677.49$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (66677.49 - 46127.88) * 0.00739 = 151.86 \text{J} / \text{sec}$$

$$Q_{\text{loss}} = 994.81 + 151.86 = 1146.67$$

• تغییر دبی آب از 4 به 12 در دمای 27.9 درجه سانتیگراد

• دبی کم هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.01$$

$$y'_2 = 0.0165$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.861$$

$$\dot{m}_{D.A} = c \cdot A_0 \sqrt{\frac{S \cdot G \cdot \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 \cdot 41.5}{0.861}} = 0.00706 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 120 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.082) -$$

$$(30 \text{cc} \cdot 1 \text{lit} / 1000 \text{cc} \cdot 1 \text{m}^3 / 1000 \text{lit} \cdot 1000 \text{kg/m}^3) / 180$$

$$= 0.0818 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری})$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m}C_p\Delta T = (0.0818\text{kg/sec})(4179\text{J/kg}^\circ\text{C})(27.5 - 24.05) = 1179.36\text{J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2')\dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 48878.47$$

$$H_2' = 65480.56$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (65480.56 - 48878.47) * 0.00706 = 117.21\text{J/sec}$$

$$Q_{loss} = 1179.36 - 117.21 = 1062.15$$

• دبی متوسط هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y_1' = 0.01$$

$$y_2' = 0.017$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y_2') (T_G + 273) = 0.862$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1*45.5}{0.862}} = 0.00738 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 120 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.082) -$$

$$(15 \text{cc} * 1 \text{lit}/1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3/1000 \text{lit} * 1000 \text{kg}/\text{m}^3) / 180$$

$$= 0.0819 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری})$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0819 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(27.6 - 23.65) = 1351.93 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 48929.66$$

$$H_2' = 66805.55$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (66805.55 - 48929.66) * 0.00738 = 131.92 \text{ J/sec}$$

$$Q_{loss} = 1351.93 - 131.92 = 1220.01$$

• دبی زیاد هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.0095$$

$$y'_2 = 0.017$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.861$$

$$\dot{m}_{D.A} = c \cdot A_0 \sqrt{\frac{S \cdot G \cdot \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 \cdot 47}{0.861}} = 0.00751 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 120 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$- (0.082) = \text{آب خروجی}$$

$$\begin{aligned} & (35 \text{cc} \cdot 1 \text{lit} / 1000 \text{cc} \cdot 1 \text{m}^3 / 1000 \text{lit} \cdot 1000 \text{kg/m}^3) / 180 \\ & = 0.0818 \text{ kg/sec} \end{aligned}$$

موازنه انرژی:

$$Q_{loss} = \text{تغییر انرژی هوا} - \text{تغییر انرژی آب}$$

$Q_{loss} = -$ (انرژی هوای ورودی) - (انرژی آب تبخیری) -

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی)

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0818 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(27.55 - 23.7) = 1316.09 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 47451.94$$

$$H_2' = 70020.34$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (70020.34 - 47451.94) * 0.00751 = 169.89 \text{ J/sec}$$

$$Q_{loss} = 1316.09 - 169.89 = 1146.2$$

• تغییر دبی آب از 4 به 12 در دمای ۳۱٫۴ درجه سانتیگراد

• دبی کم هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.0095$$

$$y'_2 = 0.018$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.871$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin\theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 \cdot 41.5}{0.871}} = 0.00702 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 120 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$- (0.082) = \text{آب خروجی}$$

$$\begin{aligned} & (25 \text{cc} \cdot 1 \text{lit}/1000 \text{cc} \cdot 1 \text{m}^3/1000 \text{lit} \cdot 1000 \text{kg}/\text{m}^3) / 180 \\ & = 0.0819 \text{ kg/sec} \end{aligned}$$

موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = - (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری})$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0819 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(31.15 - 26.75) = 1505.9 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 47963.39$$

$$H_2' = 72105.05$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (72105.05 - 47963.39) * 0.00702 = 169.5 \text{ j/sec}$$

$$Q_{loss} = 1505.9 - 169.5 = 1336.4 \text{ j/sec}$$

• دبی متوسط هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.01$$

$$y'_2 = 0.0175$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.869$$

$$m_{D.A} = c \cdot A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$m_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1 * 45.5}{0.869}} = 0.00735 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 120 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.082) -$$

$$(10 \text{cc} * 1 \text{lit} / 1000 \text{cc} * 1 \text{m}^3 / 1000 \text{lit} * 1000 \text{kg/m}^3) / 180$$

$$= 0.0819 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = (\text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی}) - (\text{انرژی آب تبخیری})$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m}C_p\Delta T = (0.0819\text{kg/sec})(4179\text{J/kg}^\circ\text{C})(31.15 - 25.95) = 1779.8\text{J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2')\dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 48980.8$$

$$H_2' = 69739.5$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (69739.5 - 48980.8) * 0.00735 = 152.6\text{J/sec}$$

$$Q_{loss} = 1779.8 - 152.6 = 1627.2\text{J/sec}$$

• دبی زیاد هوا

با توجه به منحنی رطوبت سنجی:

$$y'_1 = 0.0095$$

$$y'_2 = 0.0175$$

محاسبه دبی جرمی هوای ورودی:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 y'_2) (T_G + 273) = 0.862$$

$$\dot{m}_{D.A} = c.A_0 \sqrt{\frac{S.G * \Delta h \cdot \sin \theta}{v_{out}}}$$

$$c = 0.7$$

$$\sin \theta = 0.5$$

$$\dot{m}_{D.A} = 0.7(\pi/4)(0.043)^2 \sqrt{\frac{1*47}{0.862}} = 0.00751 \text{ kg/sec}$$

$$Q_L = -0.3191 + 0.04376y$$

$$y = 120 \text{ mm}$$

$$Q_L = 3.1817 \text{ lit/min} = 0.082 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

آب جبرانی - آب ورودی = آب خروجی

$$\text{آب خروجی} = (0.082) -$$

$$(35 \text{ cc} * 1 \text{ lit} / 1000 \text{ cc} * 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ lit} * 1000 \text{ kg/m}^3) / 180$$

$$= 0.0818 \text{ kg/sec}$$

موازنه انرژی:

تغییر انرژی هوا - تغییر انرژی آب = Q_{loss}

$$Q_{loss} = \text{انرژی هوای خروجی} - \text{انرژی هوای ورودی} - (\text{انرژی آب تبخیری} -)$$

انرژی آب خروجی - انرژی آب ورودی

= تغییر انرژی آب

$$\dot{m} C_p \Delta T = (0.0818 \text{ kg/sec})(4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C})(31.05 - 26.0) = 1726.3 \text{ J/sec}$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (H_1' - H_2') \dot{m}_{D.A}$$

$$H' = (1005 + 1884y')T_G + 2502300y'$$

$$H_1' = 47400.8$$

$$H_2' = 70829.4$$

$$\text{تغییر انرژی هوا} = (70829.4 - 47400.8) * 0.00751 = 175.9 \text{ J/sec}$$

$$Q_{loss} = 1726.3 - 175.9 = 1550.4 \text{ j/sec}$$

ج) محاسبات N_{TOG} , $K_y \cdot a$ ، شدت جریان دما و ضرایب انتقال جرم برای مراحل

مختلف :

ج-۱) سرد کردن آب (از 4 به 8 لیتر بر دقیقه):

ج-۱-۱) ادبی کم هوا :

$$T_{G1} = 22.9 \text{ C} , T_{G2} = 22.45 \text{ C} \rightarrow T_{av} = 22.67 \text{ C} \rightarrow H^* \\ = 66 \text{ kj / kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.25 \text{ C} , T_{W2} = 22.3 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.0095 \text{ kg / kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.017 \text{ kg / kg D.A}$$

$$H'_1 = 47196 \text{ j / kg D.A} , H'_2 = 65820 \text{ j / kg D.A}$$

$$N_{TOG} = \int_{65.8}^{47.2} \frac{dH'}{66 - H'} = 1.56$$

$$Z = 0.84 = N_{TOG} \cdot H_{TOG} \rightarrow H_{TOG} = 0.538$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00715 \times 0.859 = 6.14 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00715 / 0.04 = 0.179 \text{ kg / m}^2\text{s}$$

$$H_{TOG} = G'_s / K_y \cdot a \rightarrow K_y \cdot a = G'_s / H_{TOG} = 0.332$$

$$a = \frac{18 \cdot 18}{18 \cdot 18 \cdot 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.379 / 2000 = 1.66 \times 10^{-4}$$

-١- ج ادبي متوسط هوا :

$$T_{G1} = 23.2 \text{ C} , T_{G2} = 22.65 \text{ C} \rightarrow T_{av} = 22.9 \text{ C} \rightarrow H^* =$$

$$68 \text{ kj / kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.4 \text{ C} , T_{W2} = 22.5 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.009 \text{ kg / kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.0165 \text{ kg / kg D.A}$$

$$H'_1 = 46230 \text{ j / kg D.A} , H'_2 = 66027 \text{ j / kg D.A}$$

$$N_{TOG} = \int_{66.0}^{46.2} \frac{dH'}{68 - H'} = 1.76$$

$$Z = 0.84 = N_{TOG} \cdot H_{TOG} \rightarrow H_{TOG} = 0.477$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00739 \times 0.859 = 6.34 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00739 / 0.04 = 0.185 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{\text{TOG}} = G'_s / K_y.a \rightarrow K_y.a = G'_s / H_{\text{TOG}} = 0.379$$

$$a = \frac{18 \times 18}{18 \times 18 \times 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.379 / 2000 = 1.9 \times 10^{-4}$$

-1- ج ادبي زياد هوا:

$$T_{G1} = 23.1 \text{ C} , T_{G2} = 22.05 \text{ C} \rightarrow T_{\text{av}} = 22.6 \text{ C} \rightarrow H^* =$$

$$68 \text{ kj} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.4 \text{ C} , T_{W2} = 21.85 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.009 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.0175 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 46127 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 66677 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{\text{TOG}} = \int_{66.6}^{46.1} \frac{dH'}{68 - H'} = 1.94$$

$$Z = 0.84 = N_{\text{TOG}} \cdot H_{\text{TOG}} \rightarrow H_{\text{TOG}} = 0.433$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00747 \times 0.861 = 6.43 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00747 / 0.04 = 0.187 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{\text{TOG}} = G'_s / K_y \cdot a \rightarrow K_y \cdot a = G'_s / H_{\text{TOG}} = 0.432$$

$$a = \frac{18 \cdot 18}{18 \cdot 18 \cdot 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.432 / 2000 = 2.16 \times 10^{-4}$$

ج- سرد کردن آب (از 4 به 12 لیتر بر دقیقه):

ج-۱-۱) ادبی کم هوا:

$$T_{G1} = 23.3 \text{ C} , T_{G2} = 22.85 \text{ C} \rightarrow T_{\text{av}} = 22.98 \text{ C} \rightarrow H^*$$

$$= 68 \text{ kJ} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.7 \text{ C} , T_{W2} = 22.9 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.01 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.0165 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 48878 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 65480 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{\text{TOG}} = \int_{65.5}^{48.9} \frac{dH'}{68 - H'} = 2.03$$

$$Z = 0.84 = N_{\text{TOG}} \cdot H_{\text{TOG}} \rightarrow H_{\text{TOG}} = 0.414$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00706 \times 0.861 = 6.08 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00706 / 0.04 = 0.176 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{\text{TOG}} = G'_s / K_y \cdot a \rightarrow K_y \cdot a = G'_s / H_{\text{TOG}} = 0.425$$

$$a = \frac{18 \cdot 18}{18 \cdot 18 \cdot 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.425 / 2000 = 2.12 \times 10^{-4}$$

-1- ج ادبي متوسط هوا :

$$T_{G1} = 23.3 \text{ C} , T_{G2} = 23.4 \text{ C} \rightarrow T_{\text{av}} = 23.35 \text{ C} \rightarrow H^* \\ = 69 \text{ kj} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.7 \text{ C} , T_{W2} = 23 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.01 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.017 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 48929 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 66805 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{\text{TOG}} = \int_{66.8}^{48.9} \frac{dH'}{69 - H'} = 2.21$$

$$Z = 0.84 = N_{\text{TOG}} \cdot H_{\text{TOG}} \rightarrow H_{\text{TOG}} = 0.380$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00738 \times 0.862 = 6.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00738 / 0.04 = 0.184 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{\text{TOG}} = G'_s / K_y \cdot a \rightarrow K_y \cdot a = G'_s / H_{\text{TOG}} = 0.484$$

$$a = \frac{18 \cdot 18}{18 \cdot 18 \cdot 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.425 / 2000 = 2.42 \times 10^{-4}$$

-1- ج ادبي زياد هوا :

$$T_{G1} = 23.15 \text{ C} , T_{G2} = 23.2 \text{ C} \rightarrow T_{\text{av}} = 23.17 \text{ C} \rightarrow H^*$$

$$= 69 \text{ kj} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.9 \text{ C} , T_{W2} = 23 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.0095 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.017 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 47451 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 70020 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{\text{TOG}} = \int_{70.0}^{47.4} \frac{dH'}{69 - H'} = 2.32$$

$$Z = 0.84 = N_{\text{TOG}} \cdot H_{\text{TOG}} \rightarrow H_{\text{TOG}} = 0.362$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00701 \times 0.861 = 6.46 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00701 / 0.04 = 0.18 \text{ kg} / \text{m}^2 \text{s}$$

$$H_{\text{TOG}} = G'_s / K_y \cdot a \quad \rightarrow \quad K_y \cdot a = G'_s / H_{\text{TOG}} = 0.019$$

$$a = \frac{18 \cdot 18}{18 \cdot 18 \cdot 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.019 / 2000 = 2.09 \times 10^{-4}$$

-ج) سرد کردن آب (از 4 به 12 لیتر بر دقیقه، دمای ورودی آب 37,4):

1-1-ج) ادبی کم هوا:

$$T_{G1} = 23.6 \text{ C} , T_{G2} = 26.05 \text{ C} \quad \rightarrow \quad T_{\text{av}} = 24.8 \text{ C} \quad \rightarrow \quad H^* \\ = 71 \text{ kJ} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.95 \text{ C} , T_{W2} = 25.4 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.0095 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.018 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 47963 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 72105 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{\text{TOG}} = \int_{72.1}^{47.9} \frac{dH'}{71 - H'} = 2.21$$

$$Z = 0.84 = N_{\text{TOG}} \cdot H_{\text{TOG}} \rightarrow H_{\text{TOG}} = 0.381$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00702 \times 0.871 = 6.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00702 / 0.04 = 0.176 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{\text{TOG}} = G'_s / K_y \cdot a \rightarrow K_y \cdot a = G'_s / H_{\text{TOG}} = 0.462$$

$$a = \frac{18 \cdot 18}{18 \cdot 18 \cdot 0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.462 / 2000 = 2.31 \times 10^{-4}$$

-1- ج ادبي متوسط هوا :

$$T_{G1} = 23.4 \text{ C} , T_{G2} = 25.8 \text{ C} \rightarrow T_{\text{av}} = 24.6 \text{ C} \rightarrow H^* =$$

$$71 \text{ kJ} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.9 \text{ C} , T_{W2} = 25. \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.01 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.0175 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 48960 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 69739 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{\text{TOG}} = \int_{69.7}^{48.9} \frac{dH'}{71 - H'} = 2.33$$

$$Z = 0.84 = N_{\text{TOG}} \cdot H_{\text{TOG}} \rightarrow H_{\text{TOG}} = 0.360$$

$$Q = m \cdot V_H = 0.00735 \times 0.869 = 6.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00735 / 0.04 = 0.184 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{TOG} = G'_s / K_y.a \rightarrow K_y.a = G'_s / H_{TOG} = 0.511$$

$$a = \frac{18*18}{18*18*0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.511 / 2000 = 2.55 \times 10^{-4}$$

-١- ج ادبي زياد هوا:

$$T_{G1} = 23.1 \text{ C} , T_{G2} = 26.05 \text{ C} \rightarrow T_{av} = 24.6 \text{ C} \rightarrow H^* =$$

$$7 \text{ kj} / \text{kg D.A}$$

$$T_{W1} = 16.8 \text{ C} , T_{W2} = 25.6 \text{ C}$$

$$y'_1 = 0.0095 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$y'_2 = 0.0175 \text{ kg} / \text{kg D.A}$$

$$H'_1 = 47400 \text{ j} / \text{kg D.A} , H'_2 = 70829 \text{ j} / \text{kg D.A}$$

$$N_{TOG} = \int_{70.8}^{47.4} \frac{dH'}{71 - H'} = 2.41$$

$$Z = 0.84 = N_{TOG} . H_{TOG} \rightarrow H_{TOG} = 0.348$$

$$Q = m . V_H = 0.00751 \times 0.862 = 6.47 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$G'_s = m / A = 0.00751 / 0.04 = 0.188 \text{ kg} / \text{m}^2\text{s}$$

$$H_{TOG} = G'_s / K_y.a \rightarrow K_y.a = G'_s / H_{TOG} = 0.540$$

$$a = \frac{18*18}{18*18*0.05} = 2000 \text{ m}^2 / \text{m}^3$$

$$K_y = 0.540 / 2000 = 2.70 \times 10^{-4}$$

❖ منابع خطا در آزمایش

۱- رسیدن به حالت پایا بسیار در بهبود نتایج نقش دارد. ولی به علت کمبود زمان انجام

سریع آزمایش خطای زیادی را به طور نامحسوس وارد آزمایش می کند.

۲- خرابی دماسنج دیجیتال و ولوم این وسیله کاملا آشکار بود به طوری که تغییر آن

به طورت اتفاقی و در محدوده وسیعی از دما انجام می گرفت. بطوریکه دمای حباب

خشک کمتر از حباب مرطوب را نشان می داد.

۳- مقایر مصرف آب جبرانی بعضا تغییرات زیادی داشت، و روند تئوری خود را در

برخی موارد طی نمی کرد و گاهی نیز لوله اتصال بین منبع آب بطرف آب جبرانی

بسته و یا سد می شد که باعث ایجاد خطا در آزمایش می گردد.

۴- قطعا هوا مقداری ذرات آب را با خود به بیرون می برد که ما آن ها را در محاسبات

موازنه انرژی وارد می کنیم در حالی که آنها تبخیر شده اند و توسط آب جبرانی

دوباره تامین می گردد.

۵- توزیع آب روی ورقه های شیشه ای کاملا یکسان نیست در حالی که ما در

محاسبات ضریب انتقال جرم تمام این سطوح را به حساب می آوریم.

۶- خطای ناشی از تغییر دمای هوای آزمایشگاه یه دلیل باز بودن درب در برخی مواقع، وجود فن ها و هوا کش ها که باعث ایجاد تغییر در دمای هوای ورودی به دمنده و در نتیجه تغییرات عمده در دمای هوا می گردد.

۷- خطاهای دستگاه ها آشکار بود و البته خطاهای شخصی هم در این آزمایش می تواند وجود داشته باشد مثل: خطاهای قرائت اعداد، زمان های پایایی سیستم، تامین آب جبرانی و ...

❖ موارد استعمال در صنعت

برج های خنک کننده از جمله تجهیزات لاینفک صنایع نفت و گاز هستند و آب خروجی از کندانسورها در برج های خنک کننده مجدداً خنک می شوند. معمولاً در برج های خنک کننده آب توسط هوا خنک می شود. یکی از موارد مهم استفاده از این برج ها در نیروگاه هاست. در این برج ها آب خروجی از توربین را با هوا خنک می کنند.

❖ بحث و نتیجه گیری

۱- در تمامی آزمایشات با افزایش دبی هوا میزان آب جبرانی تغییر چندانی نیافته که

این مطلب روی دمای آب خروجی بسیار موثر است .

۲- برقراری موازنه جرم ممکن نیست.

۳- با افزایش دبی هوا در هر مرحله سردسازی هوا دمای هوای خروجی روند

افزایش نشان داده است .

۴- آب خروجی در هر مرحله سردسازی هوا با افزایش دبی هوا گرفته شده سان و

از آن جا که مقدار تبخیر آب بسیار ناچیز است این روند درست به نظر می رسد.

۵- با افزایش دبی هوا مقدار واحد های انتقال تتوری کاهش می یابد.

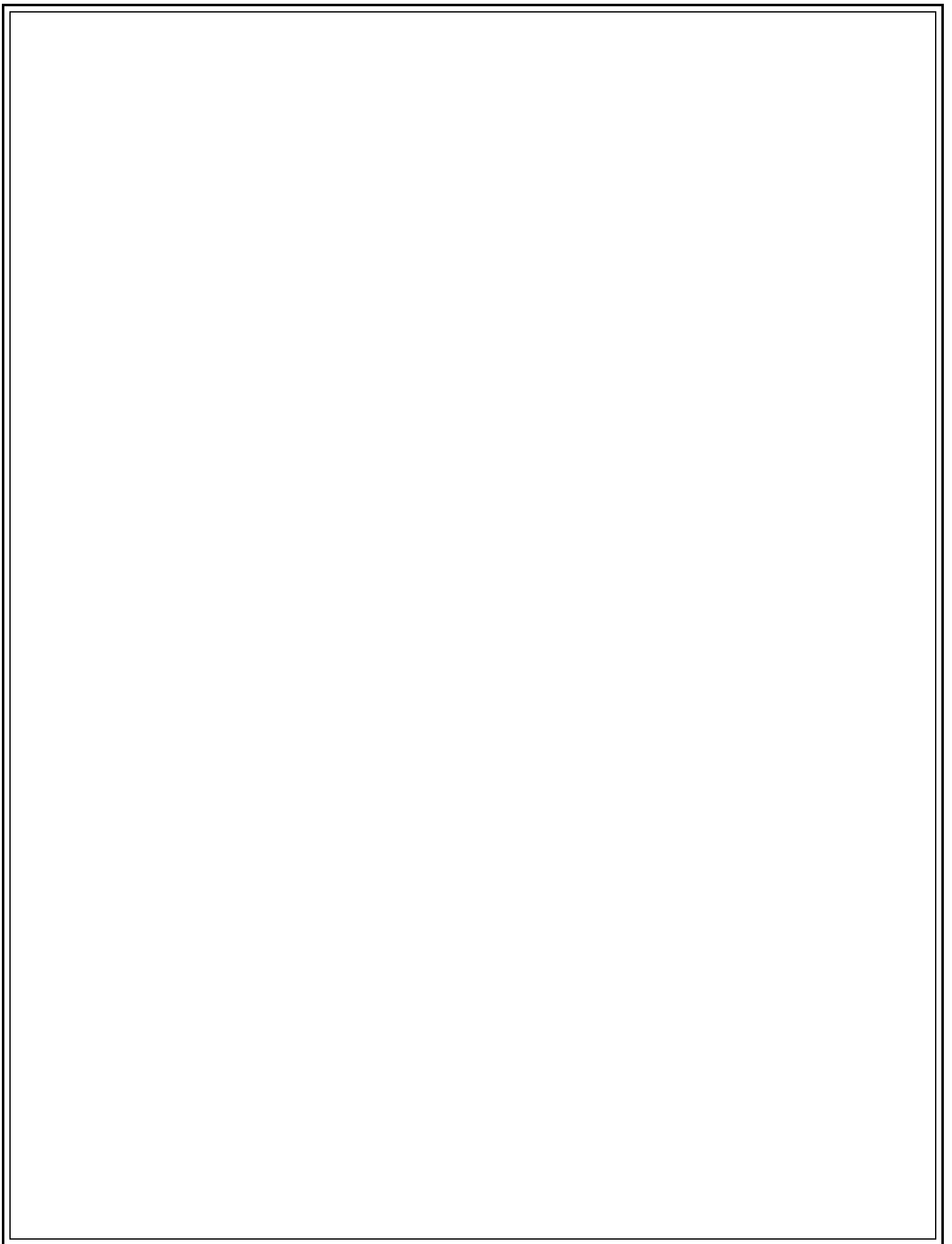
۶- با افزایش دبی هوا ضریب انتقال جرم Ky روند افزایشی داشته است .

❖ منابع

○ کتاب عملیات واحد / نویسنده : رابرت تریبال / ترجمه : دکتر مرتضی سهرابی

○ کتاب عملیات واحد مهندسی شیمی / نویسنده : مک کیب

○ هندبوک Perry



به نام خدا

تقطیر ناپیوسته

shimiomd.blog.ir

تئوری آزمایش :

برجهای سینی دار

برجهای سینی دار استوانه‌هایی عمودی هستند که در آنها مایع و گاز به صورت مرحله‌ای در سینی‌ها و یا صفحات، تماس حاصل می‌نمایند. به این صورت که گاز از پایین به بالا و از طریق روزنه‌های موجود در صفحات به صورت حباب در آمده و به درون مایع پراکنده می‌شود و ایجاد کف می‌کند.

گاز و مایع سپس از یکدیگر جدا شده و به سمت صفحات بعدی حرکت می‌کنند. نتیجه کلی، یک تماس چند مرحله‌ای متقابل است. با وجود آنکه در هر مرحله یک جریان متقاطع گاز مایع وجود خواهد داشت، هر صفحه برج به منزله یک مرحله در نظر گرفته می‌شود، زیرا تماس کافی بر روی هر صفحه انجام شده و پس از نفوذ فازها از یکدیگر دو فاز از هم جدا می‌شوند.

بروز پدیده هایی که در زیر آورده شده است سبب کاهش راندمان یک برج سینی دار خواهد شد:

(۱) ماندگی (*Entrainment*) :

سرعت بالای گاز سبب می شود تا قطرات ریزی از مایع به طرف سینی بالا حرکت کنند که در نتیجه این عمل کاهش اختلاف غلظت (عامل اصلی انتقال جرم) و در نهایت کاهش راندمان سینی خواهد بود .

(۲) پدیده طغیان (*Flooding*) :

در اثر افزایش شدت گاز افت فشار افزایش یافته و سطح مایع در محل ریزش باز هم بالاتر خواهد رفت ، تا هم سطح مایع موجود در سینی بالایی گردد ، اگر باز هم شدت گاز افزایش یابد ، مایع از بالای برج خارج می شود .

(۳) پدیده انسداد (*Priming*) :

در این حالت در اثر سرعت زیاد گاز کفی پایدار در فضای بین صفحات ایجاد شده و مقدار زیادی از مایع توسط گاز از یک سینی به سینی دیگر حمل می شود .

(۴) *Coning* :

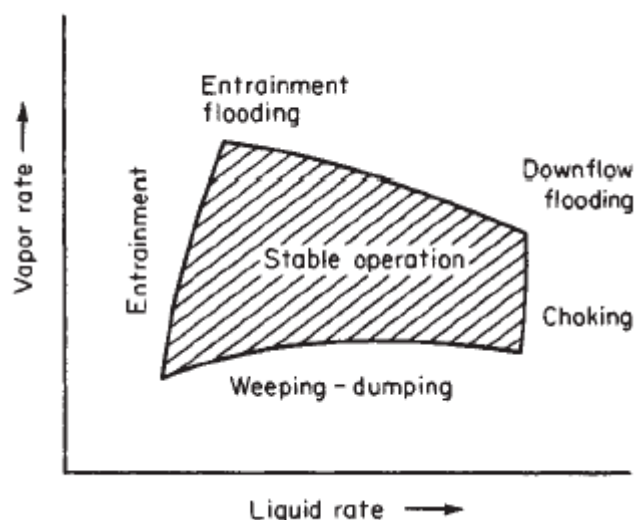
اگر شدت مایع بسیار کم باشد ، گازی که از درون منافذ صفحه به بالا می رود ، مایع را نیز با خود به سمت بالا خواهد کشید .

(۵) *Weeping* :

در صورتی که شدت گاز خیلی کم باشد ، قسمت اعظم مایع از منافذ به سمت پائین می بارد .

(۶) *Dumping* :

در صورتیکه شدت گاز فوق العاده کم باشد ، تمام مایع از منافذ به سمت پائین خواهد ریخت و اصولاً مایعی به محل ریزش نمی رسد .



مشخصات عمومی پوسته و سینی ها

در ساخت برجها، بر حسب شرایط عملیاتی و خوردگی، می توان از انواع مواد مانند، شیشه، فلزات با آستر شیشه ای، کربن نفوذ ناپذیر، پلاستیک و حتی چوب استفاده کرد. البته در اغلب موارد از فلزات استفاده می شود و برای کاهش هزینه ساخت، شکل برج عموماً به صورت استوانه ای است.

در برجهای کوچک به منظور تمیز کردن، دریچه هائی در اطراف آن نصب می کنند و در برجهای بزرگ به ازای هر ده سینی یک راه ورود (*Man way*) به برج در نظر گرفته می شود.

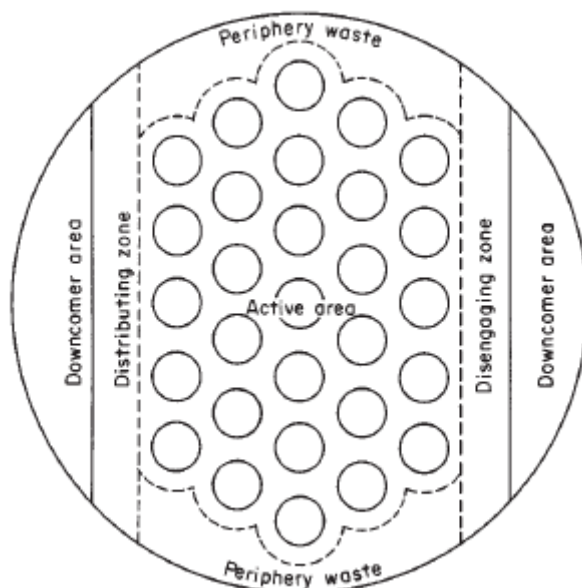
سینی ها عموماً از ورق های فلزی و در صورت لزوم از آلیاژهای بخصوص ساخته می شوند. ضخامت سینی ها با توجه به میزان خوردگی مجاز تعیین می شود. برای جلوگیری از حرکت سینی در اثر حرکت گاز سینی ها به بدنه برج وصل شده و نیز از میله های نگه دارنده در زیر آنها استفاده می شود. در نصب سینی ها فاصله کافی بین بدنه برج و سینی به منظور پیش بینی انبساط حرارتی در نظر گرفته می شود.

- سینی های کلاهکی (*Bubble - cap*):

در این سینی ها دودکش یا مجراهای گاز را وارد کلاهکها می نمایند. در اطراف این کلاهکها منافذ یا شکافهایی دیده می شود که گاز پس از عبور از آنها به صورت حبابهایی در آمده و در فاز مایع پراکنده می شود. عمق مایع بر روی این سینی ها به نحوی است که کلاهکها تقریباً در آن فرو می روند.

- سینی های مشبک (*Sieve perforated*):

قسمت عمده این سینی ها صفحه فلزی افقی و مشبک آن است که مایع از روی

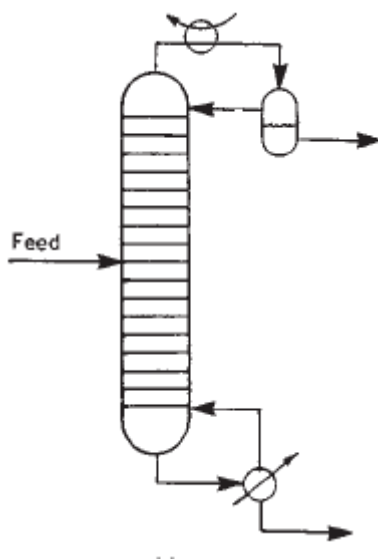


آن عبور نموده و گاز از طریق منافذ و از زیر سینی وارد مایع می شود. گازی که به این طریق پخش می شود، لایه کف آلود و متلاطمی را در روی سینی ایجاد می کند و در نتیجه سطح انتقال جرم زیادی بین دو فاز ایجاد خواهد شد.

تقطیر (*Distillation*)

تقطیر روشی جهت جداسازی اجزاء تشکیل دهنده یک محلول است که براساس توزیع مواد بین فازهای مایع و گاز استوار می باشد و لذا در مواردی بکار می رود که کلیه اجزاء در دو فاز موجود می باشند.

در حقیقت در فرایند تقطیر به جای وارد کردن ماده جدیدی به داخل محلول جهت ایجاد فاز دوم - نظیر آنچه در فرایندهای جذب و دفع صورت می گیرد - در عمل تقطیر، فاز جدید از محصول اولیه در اثر تبخیر و یا میعان حاصل می شود.



۱) فرایند تک مرحله ای - تبخیر آبی :

تبخیر آبی که گاهی تقطیر تعادلی نیز گفته می شود یک فرایند تک مرحله ای است که در آن جزئی از یک مخلوط مایع تبخیر می شود و بخارات حاصل به حالت تعادل با مایع باقی مانده می رسد و سپس فازهای بخار و مایع از یکدیگر جدا شده و از دستگاه خارج می شوند. فرایند ممکن است به صورت ناپیوسته و یا مداوم انجام گیرد.

۲) تقطیر دیفرانسیلی یا ساده :

اگر یک مایع را به دفعات بیشماری به صورت متوالی تبخیر آبی نمایند و تنها مقدار ناچیزی از مایع در هر مرحله تبخیر شود، نتیجه نهائی چنین فرایندی معادل با تقطیر دیفرانسیلی و یا تقطیر ساده آن ماده خواهد بود.

در عمل، چنین تحولی را میتوان فقط به طور تقریبی اجرا کرد. مقداری از یک مایع را داخل یک دیگ و یا برج تقطیر مجهز به یک وسیله حرارت دادن نظیر یک ژاکت بخار قرار می دهند. مایع به آرامی به جوش آمده و بخار حاصل به طور دائم از یک کندانسور عبور می کند. در کندانسور، بخار به حالت مایع در آمده و مایع (گاز مقطر) در یک انباره ذخیره می شود. این فرایند به صورت ناپیوسته است.

۳) تقطیر مداوم:

تصفیه یا تفکیک مداوم، یک فرایند تقطیر چندمرحله ای با جریان های متقابل است. که طی آن ماده مورد نظر با درجه خلوص نسبتاً بالا جداسازی می شود.

روش کار:

ابتدا دستگاه را روشن کرده و دبی آب سرد مربوط به کندانسور را به کمک شیر V_f تنظیم می کنیم. برای بهتر انجام شدن فرایند تقطیر (داشتن یک راندمان مناسب) لازم است ولتاژ مربوط به **Heater** موجود در مخزن خوراک را طوری تنظیم کنیم تا از بروز پدیده هائی چون **Entrainment, Flooding, Weeping** و... جلوگیری شود، چراکه وجود هر یک از این پدیده ها باعث کاهش راندمان برج خواهد شد.

بالا بردن ولتاژ مربوط به **Heater** به منزله بالا بردن دبی بخار و افزایش دبی آب سرد مربوط به کندانسور باعث افزایش دبی مایع (مایع برگشتی) در برج خواهد شد.

پس از تنظیم ولتاژ *Heater* و دبی آب سرد و حصول اطمینان از کارکرد مناسب برج، برای مدتی به برج زمان می دهیم تا به شرایط *Steady – State* برسد. برای درک اینکه برج به حالت *Steady – State* رسیده است، دمای نقاط مختلف برج را چک می کنیم. و در صورتیکه این دماها نسبتاً ثابت بمانند برج به حالت *Steady – State* رسیده و آماده نمونه گیری خواهد بود.

برای نمونه گیری از برج برای چند ثانیه رفلاکس را قطع کرده و نمونه برداری را انجام می دهیم، سپس بلافاصله رفلاکس را به حالت اولیه خود بازگردانده و در ادامه کلیه شیرها را بسته و دستگاه را خاموش می کنیم.

قابل توجه است که یکی از نمونه ها از مخزن *R* به عنوان *Distillate* و نمونه دیگر از سینی اول به عنوان *Bottom* گرفته می شود.

نتایج و محاسبات انجام شده :

محاسبه تعداد سینی های *min* (بروش گرافیکی) :

نتایج حاصل از رفراکتومتری نمونه ها به صورت زیر می باشد :

<i>Step</i>	<i>Mole fraction</i>
<i>Distillate</i>	0.7000
<i>Bottom</i>	0.0115

اطلاعات تعادلی آب – اتانل به صورت زیر می باشد .

<i>T (C)</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
95.5	0.0190	0.1700
89	0.0721	0.3891

86.7	0.0966	0.4375
85.3	0.1238	0.4704
84.1	0.1661	0.5089
82.7	0.2337	0.5445
82.3	0.2608	0.5580
81.5	0.3273	0.5826
80.7	0.3965	0.6122
79.8	0.5079	0.6564
79.7	0.5198	0.6599
79.3	0.5732	0.6841
78.74	0.6763	0.7385
78.41	0.7472	0.7815
78.15	0.8943	0.8943

با توجه به اینکه برج در حالت *Total Reflux* کار میکند خط کار (*operating line*)

منطبق بر خط 45° خواهد بود. که ابتدا و انتهای آن برابر با $X_w = 0.0115$ و $X_D = 0.7$ است.

همانطور که مشاهده می شود تعداد مراحل تئوری 4 مرحله و تعداد سینی های تئوری 3 عدد به دست می آید با توجه به اینکه تعداد سینی های واقعی 10 عدد می باشد محاسبه راندمان کلی سینی ها :

$$E_0 (\text{overall tray efficiency}) = \frac{\text{number of ideal tray required}}{\text{number of real tray required}}$$

$$E_0 = \frac{3}{10} = 0.3$$

محاسبه تعداد سینی های *min* (*Fenske's equation*) :

$$N_m + 1 = \frac{\log \frac{X_D}{1-X_D} \frac{1-X_w}{X_w}}{\log \alpha_{av}}$$

$$\alpha_{av.} = \sqrt{\alpha_1 \alpha_w} \quad , \quad \alpha = \frac{y^*(1-x)}{x(1-y^*)}$$

$$x_1 = 0.7 \quad \Rightarrow \quad y_1^* = 0.75 \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 = 1.2857$$

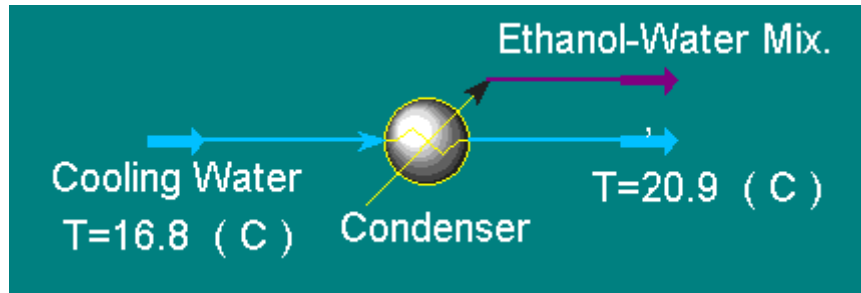
$$x_w = 0.0115 \quad \Rightarrow \quad y_w^* = 0.095 \quad \Rightarrow \quad \alpha_w = 9.0230$$

$$\alpha_{av.} = \sqrt{1.2857 * 9.0230} = 3.4060$$

$$N_m + 1 = \frac{\log \left(\frac{0.7}{1-0.7} * \frac{1-0.0115}{0.0115} \right)}{\log 3.4060}$$

$$N_m = 3.32$$

محاسبه بار حرارتی کندانسور



$$Q = (16.06 * 10^{-3}) * h^{1.185} \quad (\text{دبی آب سرد}) \quad (\text{lit / min})$$

$$h = 97.5$$

$$Q = (16.06 * 10^{-3}) * (97.5)^{1.185}$$

$$Q = 3.6535 \text{ lit / min} = 3.6535 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{min}$$

$$\xrightarrow{T=(16.8+20.9)/2=18.85\text{ }^{\circ}\text{C}} \rho_{\text{Water}} = 997.8 \text{ kg/m}^3$$

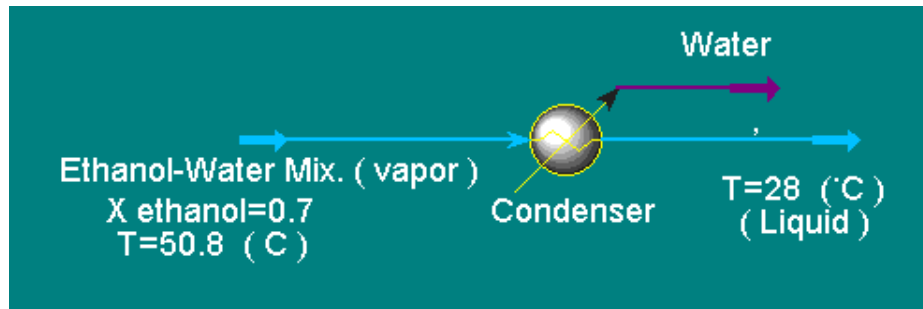
$$\dot{m}_w = 3.6536 * 10^{-3} * 997.8 * \frac{1}{60} = 0.0607 \text{ kg/s}$$

$$\xrightarrow{T=18.85} C_{p_{\text{Water}}} = 4.1818 \text{ KJ/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$Q_c = \dot{m}_w C_p \Delta T = 0.0607 * 4.1818 * (20.9 - 16.8)$$

$$Q_c = 1.0407 \text{ KJ/s}$$

محاسبة دبی بخار



$$Q_c = \dot{m}_{\text{mix.}} \lambda + \dot{m} C_p \Delta T$$

$$\xrightarrow{T=50.8\text{ }^{\circ}\text{C}} \lambda_{\text{Ethanol}} = 836.049 \text{ KJ/Kg}$$

$$\lambda_{\text{Water}} = 2361.1 \text{ KJ/Kg}$$

$$\lambda = 0.7 * 836.049 + 0.3 * 2361.1 = 1312.4643 \text{ KJ/Kg}$$

$$\xrightarrow{T=(50.8+28)/2=39.4\text{ }^{\circ}\text{C}} C_{p_{\text{Ethanol}}} = 2.5323 \text{ KJ/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_{p_{\text{Water}}} = 4.1740 \text{ KJ/Kg } ^{\circ}\text{C}$$

$$C_p = 0.7 * 2.5323 + 0.3 * 4.1740 = 3.0248 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

$$1.0407 = \dot{m} [1312.4643 + 3.0248 * (50.8 - 28)]$$

$$\dot{m} = 2.4158 \text{ Kg/hr}$$

$$\xrightarrow{T=50.8 \text{ } ^\circ\text{C}, P=101.325 \text{ KPa}} \rho_{\text{Water}} = \frac{101.325 * 18.02}{8.314 * (50.8 + 273.15)} = 0.6779 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{Ethanol}} = 1.7328 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{vapor}} = 0.7 * 1.7328 + 0.3 * 0.6779 = 1.4163 \text{ Kg/m}^3$$

$$Q = \dot{m} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \right) * \frac{1}{\rho} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \right) = 2.4158 / 1.4163 = 1.7057 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

$$A = \frac{\pi \Gamma^2}{4} = \frac{\pi * (0.09)^2}{4} = 0.0063 \text{ m}^2$$

$$v = 1.7057 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right) * \frac{1}{0.0063} \left(\frac{1}{\text{m}^2} \right)$$

$$v = 0.0752 \text{ m/s}$$

به نام خدا

جذب گاز

shimiomd.blog.ir

چکیده ای در مورد تئوری آزمایش

مقاله ای که در زیر بعنوان تئوری آزمایش آورده شده است، در رابطه با دستگاه برج پر شده مایع - گاز می باشد که تقریباً مشابه با دستگاه مورد استفاده در آزمایشگاه عملیات واحد است. مقدمه موجود در این مقاله در رابطه با دستگاه برج پر شده و اهداف استفاده از آن در آزمایشگاه می باشد که بدلیل همسوئی با عملکرد آزمایش ما بطور کامل در زیر آورده شده است :

برج پر شده، در یک جریان غیر همسو، دو جریان را قادر می سازد تا اجزای شیمیائی را از یک فاز به فاز دیگر انتقال دهند. می توان آنرا تقریباً در همه کارخانجات شیمیائی یافت. فرایند ممکن است جذب گاز، تقطیر، استخراج حلال یا واکنش شیمیائی باشد. علم در مورد مشخصه های هر دو جریان و انتقال جرم در اینگونه از برجهای برای اپراتورها و طراحان دستگاه، مورد نیاز می باشد.

این دستگاه در حال حاضر برای رسیدن به اهداف زیرمورد استفاده قرار می گیرد:

۱- افت فشار ستون خشک

۲- فشار هوای خارج شده از جریان آب

۳- جذب CO_2 در آب

قسمت بعدی مقاله در رابطه با تشریح عملکرد آزمایشی می باشد که در آن مشخصات دستگاه از قبیل قطر ستون، جنس ماده پر شده و نقاط نمونه برداری، با توجه به اینکه مرکز و بالای برج تعیین کننده افت فشار ستون می باشد، آورده شده است.

بخشهای بعدی شامل دیاگرام کلی دستگاه، روش انجام آزمایش، نتایج آزمایشگاهی و محاسبات بر پایه ستون خشک و مرطوب، همچنین آزمایشات انتقال جرم ستون جذب گاز که شامل اندازه گیری جذب CO_2 در آب در طول برج می باشد. که در نتیجه آن می توانیم به موارد زیر دست یابیم:

۱- آنالیز جریان ورودی و خروجی گاز

۲- آنالیز جریان ورودی و خروجی مایع

در قسمت آنالیز CO_2 حل شده در آب نکات قابل توجهی در این مقاله آورده شده است که بعضی از این نکات در زیر آورده شده است:

۱- میزان یونهای فلزی آب مورد استفاده نباید بیشتر از $1 \frac{mgr}{lit}$ باشد.

۲- محدوده pH می باید بین 7.1-7.8 باشد.

۳- محاسبات بر اساس میزان CO_2 آزاد در نمونه آب که از فرمول زیر حاصل میشود، انجام گردد.

$$C_{Co_2} = \frac{V_{NaOH} * 0.1}{V_{Sample}}$$

۴- اگر غلظت CO_2 از 8% بیشتر شود امکان مکیدن مایع در داخل سیلندر بوجود می آید که باعث خرابی آزمایش و از بین رفتن زمان صحیح می شود.

شرح آزمایش

قسمت اول (بررسی هیدرولیکی برج آکنده در حالت خشک و تر (با جریان مایع)
:

این قسمت آزمایش را در پنج مرحله انجام می دهیم ، به این ترتیب که ارتفاع روتامتر مربوط به آب را بر روی اعداد 0, 20, 40, 60 و 80 تنظیم کرده و در هر مرحله اختلاف ارتفاع مانومترهای بالا و پایین برج را در پنج دبی مختلف برای هوا (20, 40, 60, 80, 100) یادداشت می کنیم .

نتایج حاصل را به صورت منحنی $\Delta P/Z$ بر حسب G رسم کرده و مورد بررسی قرار می دهیم .

قسمت دوم (جذب فیزیکی گاز CO_2 از هوا توسط آب :

در این قسمت دبی آب ، هوا و CO_2 بر روی مقادیری معلوم تنظیم کرده و منتظر می مانیم تا دستگاه به حالت *Steady* برسد .

40 mm = ارتفاع روتامتر برای آب

80 mm = ارتفاع روتامتر برای هوا

4 mm = ارتفاع روتامتر برای CO_2

سپس به کمک سرنگ نمونه گیر از بالا ، وسط و پایین برج نمونه هوا گرفته و میزان گاز CO_2 موجود در آن را بوسیله تغییر ارتفاع سود در حباب سود متصل بر روی دستگاه بدست می آوریم .

در پایان $25^{\circ}C$ نمونه از مایع خروجی از برج گرفته و توسط سود $0.1N$ تیترو می کنیم .

نتایج و محاسبات انجام شده

۱) رسم منحنی $\Delta P/Z$ بر حسب G :

ارتفاع روتامتر هوا = 20

$$Q_{Air} = \exp [0.1694 + (0.9304) * \ln h_{Air}]$$

$$Q_{Air} = 19.2330 \text{ Lit / min}$$

ارتفاع روتامتر آب = 20

$$Q_w = -6.967 + 5.505 * \ln(\ln h_w)$$

$$Q_w = 0.3957 \text{ Lit / min}$$

$$\Delta P = \rho gh = 9.8h$$

$$h_{top} = 1 \text{ mm} \Rightarrow \Delta P_{top} = 9.8 \text{ Pa}$$

$$h_{down} = 0.3 \text{ mm} \Rightarrow \Delta P_{down} = 2.94 \text{ Pa}$$

$$\Delta P / Z = \frac{(\Delta P_{top} + \Delta P_{down})}{180} = \frac{9.8 + 2.94}{180} = 0.0707 \text{ Pa / Cm}$$

کلیه نتایج محاسبات در جداول زیر آمده است :

Water flow rate <i>Lit / min</i>	Air flow rate <i>Lit / min</i>	اختلاف مانومتر ک بستر پایین <i>mm</i>	اختلاف مانومتر ک بستر بالا <i>mm</i>	ΔP_{top} (Pa)	ΔP_{down} (Pa)	$\Delta P / Z$ (Pa / Cm)
L=0	19.23 30	1.0	0.3	9.8	2.94	0.070 7

	36.65 44	0.9	0.9	8.82	8.82	0.098
	53.45 17	0.7	1.5	6.86	14.7	0.119 7
	69.85 61	0.5	1.6	4.9	15.68	0.114 3
	85.97 44	0.5	3.8	4.9	37.24	0.234 1

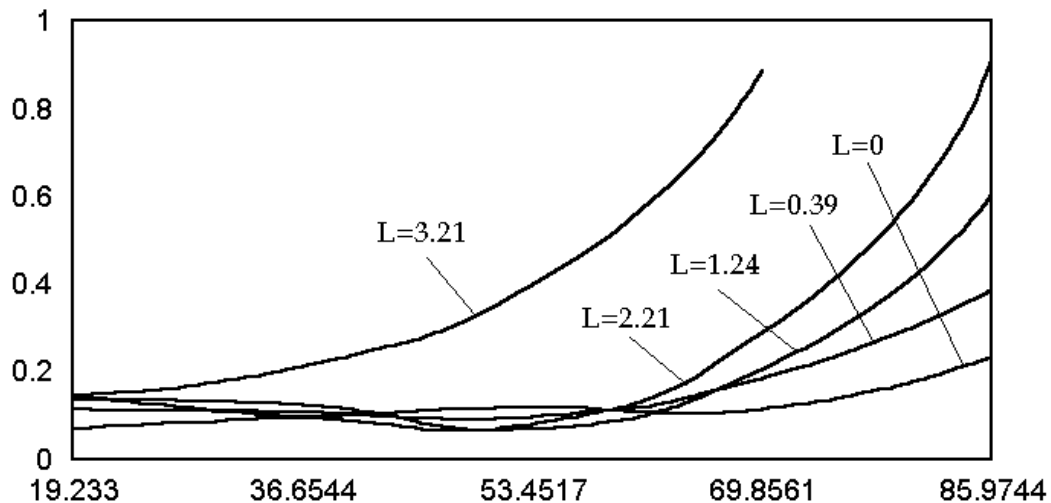
Water flow rate <i>Lit / min</i>	Air flow rate <i>Lit / min</i>	اختلاف مانومترید ک بستر پایین <i>mm</i>	اختلاف مانومترید ک بستر بالا <i>mm</i>	ΔP_{top} (Pa)	ΔP_{down} (Pa)	$\Delta P / Z$ (Pa / Cm)
L=0.395 7	19.23 30	1.0	1.1	9.8	10.78	0.114 3
	36.65 44	0.6	1.4	5.88	13.72	0.108 8
	53.45 17	0.2	1.6	1.96	15.68	0.098
	69.85 61	0.7	2.7	6.86	26.46	0.185 1
	85.97 44	1.5	5.6	14.7	54.88	0.386 5

Water flow rate <i>Lit / min</i>	Air flow rate <i>Lit / min</i>	اختلاف مانومترید ک بستر پایین <i>mm</i>	اختلاف مانومترید ک بستر بالا <i>mm</i>	ΔP_{top} (Pa)	ΔP_{down} (Pa)	$\Delta P / Z$ (Pa / Cm)
L=1.244 6	19.23 30	1.1	1.4	10.78	13.72	0.136 1
	36.65 44	1.1	1.2	10.78	11.76	0.125 2
	53.45 17	0.6	0.7	5.88	6.86	0.070 7
	69.85 61	1.0	2.8	9.8	27.44	0.206 8
	85.97 44	2.2	8.9	21.56	87.22	0.604 3

Water flow rate <i>Lit / min</i>	Air flow rate <i>Lit / min</i>	اختلاف مانومترید ک بستر پایین <i>mm</i>	اختلاف مانومترید ک بستر بالا <i>mm</i>	ΔP_{top} (Pa)	ΔP_{down} (Pa)	$\Delta P / Z$ (Pa / Cm)
L=2.209 7	19.23 30	1.2	1.5	11.76	14.7	0.147
	36.65 44	0.9	0.9	8.82	8.82	0.098
	53.45 17	0.7	0.8	6.86	7.84	0.081 6

	69.85 61	2.5	2.8	24.5	27.44	0.288 5
	85.97 44	6	10.8	58.8	105.8 4	0.914 6
Water flow rate <i>Lit / min</i>	Air flow rate <i>Lit / min</i>	اختلاف مانومتر ک بستر پایین <i>mm</i>	اختلاف مانومتر ک بستر بالا <i>mm</i>	ΔP_{top} (Pa)	ΔP_{down} (Pa)	$\Delta P / Z$ (Pa / Cm)
L=3.211 4	19.23 30	1.0	1.7	9.8	16.66	0.147
	36.65 44	1.2	2.4	14.7	23.52	0.212 3
	53.45 17	3.5	3.8	34.3	37.24	0.397 4
	69.85 61	9.1	7.2	89.18	70.56	0.887 4
	85.97 44	----	----	----	----	----

نمودار $\Delta P / Z$ به صورت زیر بدست خواهد آمد :



همانطور که در نمودار مشاهده می شود، با افزایش دبی گاز افت فشار در ارتفاع بستر برجهای پر شده افزایش می یابد. نکته قابل توجه اینست که این افزایش افت در دبی های پایین مایع کمتر می باشد و این بدان معنی است که دبی مایع اثر بیشتری بر روی افت فشار دارد.

۲) محاسبه تعداد واحد های کلی انتقال در برج :

۱-۲) محاسبه غلظت CO_2 در گاز، در مقاطع مختلف برج

مقاطع	بالای برج	وسط برج	پایین برج
اختلاف ارتفاع	8.0	10.0	11.0
سود			

جزء مولی CO_2	0.08	0.10	0.11
-----------------	------	------	------

مولی CO_2 کافیت تغییرات ارتفاع سود را بر عدد 100 تقسیم کنیم تا جزء با توجه به اینکه حجم نمونه گیری شده در هر مقطع $100^{c.c.}$ می باشد، لذا برای محاسبه جزء مولی CO_2 حاصل شود.

۲-۲) محاسبه غلظت CO_2 در آب خروجی از برج

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$V_{Sample} = 25^{c.c.}$$

$$V_{NaOH} = 4.8^{c.c.}$$

$$N_{NaOH} = 0.1$$

$$25 * N_{CO_2} = 4.8 * 0.1$$

$$N_{CO_2} = 0.0192$$

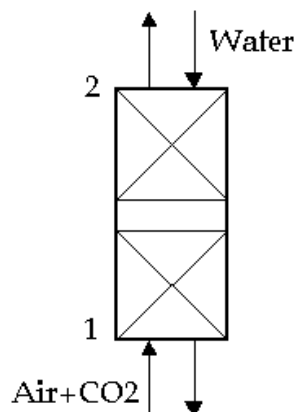
$$M_{CO_2} = 0.0192 \frac{mol}{Lit}$$

دانسیته محلول را $1 \frac{gr}{cm^3}$ فرض می کنیم (محلول رقیق است) :

$$m_{CO_2} = 0.0192 \left(\frac{mol}{Lit} \right) * \frac{1}{1000} \left(\frac{Lit}{gr} \right) = 1.92 * 10^{-5} \frac{mol}{gr}$$

$$x_{CO_2} = 1.92 * 10^{-5} * 18 = 0.0003456$$

۳-۲) محاسبه تعداد واحد های کلی انتقال در برج



$$y_1 = 0.11 \Rightarrow Y_1 = 0.1236$$

$$x_1 = 0.0003456 \Rightarrow X_1 = 0.0003457$$

$$y_2 = 0.08 \Rightarrow Y_2 = 0.0869$$

$$x_2 = 0 \Rightarrow X_2 = 0$$

با توجه به رقیق بودن محلول از قانون هنری استفاده می کنیم :

Carbon Dioxide (CO₂)

Partial pressure of CO ₂ , mm Hg	10 ⁻⁴ × H	
	20 °C	25 °C
900	4.77	4.88
2000	4.77	4.91
3000	4.77	4.93
4000	4.78	4.95
5000	4.80	4.97
6000	4.82	4.98
7000	4.86	5.02
8000	4.88	5.08

به دلیل نبودن اطلاعات در فشار 1 atm از ثابت هنری در فشار 760mmHg استفاده می کنیم :

at $P = 760 \text{ mmHg}$ & $T = 25^{\circ}C$

$$P_{CO_2} = H^* x = 4.88 * 10^4 x$$

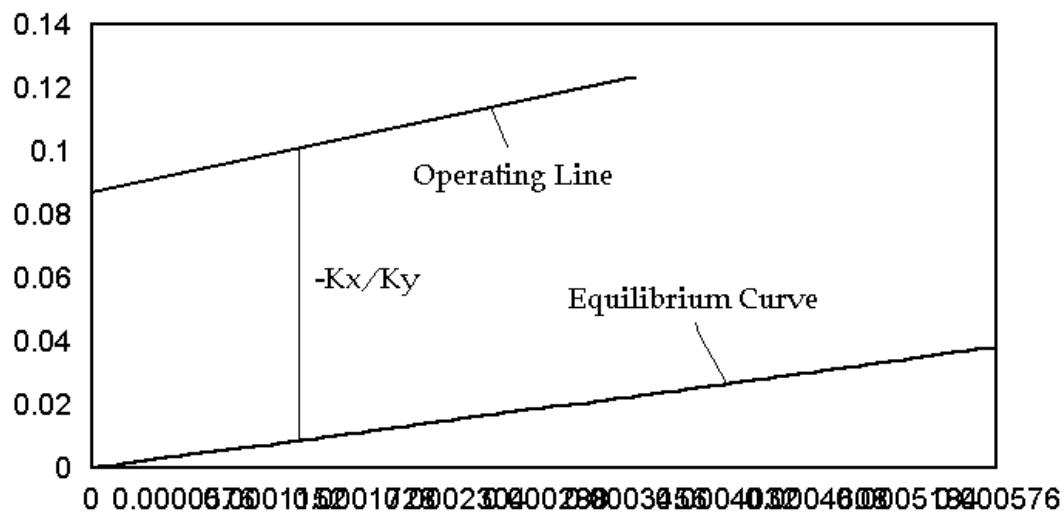
$$y^* = \frac{4.88 * 10^4}{760} * x = 64.2105x$$

$$\text{Equilibrium Curve Eq. : } \frac{Y}{1+Y} = 64.2105 \frac{X}{1+X}$$

حال با توجه به اطلاعات بدست آمده منحنی تعادل و خط کار را رسم می کنیم :
فرض :

قسمت عمده مقاومت انتقال جرم در فاز گاز باشد :

$$K_x \gg K_y$$



نتایج زیر از منحنی قابل محاسبه است :

X	Y	Y*	y	y*	1/ y-y*
0	0.0869	0	0.0799	0	12.5156
5.76*10 ⁻⁵	0.09301	0.00371	0.08509	0.00369	12.2850
1.15*10 ⁻⁴	0.09913	0.00746	0.09019	0.00750	12.0793
1.73*10 ⁻⁴	0.10524	0.01122	0.09522	0.01109	11.8868
2.30*10 ⁻⁴	0.11136	0.01501	0.1002	0.01478	11.7068
2.88*10 ⁻⁴	0.11747	0.01888	0.10512	0.01853	11.5486
3.45*10 ⁻⁴	0.1236	0.0226	0.1100	0.0221	11.3765

روش اول (

$$N_{toG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*}$$

با استفاده از روش سیمپسون جواب انتگرال فوق به صورت زیر محاسبه می شود

$$\int_a^b f(y) = \frac{b-a}{2} \left[f\left(\frac{(b-a)*t_0 + b+a}{2}\right) + f\left(\frac{(b-a)*t_1 + b+a}{2}\right) \right]$$

$$t_1 = -t_0 = -\sqrt{1/3}$$

$$f(0.0862) = 12.2402$$

$$f(0.10364) = 11.5962$$

$$N_{toG} = \frac{0.11 + 0.0799}{2} (12.2402 + 11.5962)$$

$$N_{toG} = 0.3587$$

روش دوم (

$$N_{toG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y^*} \quad (eq.1)$$

چون منحنی تعادل بر حسب اجزاء مولی بین دو حد x_1, x_2 خطی می باشد، داریم

$$y^* = mx + r$$

در مورد محلولهای رقیق، منحنی عامل را نیز می توان یک خط راست در نظر

گرفت:

$$y = \frac{L}{G}(x - x_2) + y_2$$

بنابراین نیروی محرکه $y - y^*$ بر حسب x خطی خواهد شد :

$$y - y^* = qx + s$$

که s, r, q مقادیر ثابت هستند، با استفاده از معادله (۱) ضریب کلی انتقال جرم (در محلولهای رقیق) بدست می آید :

$$N_{toG} = \frac{L}{G} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{qx + s} = \frac{L}{Gq} \operatorname{Ln} \frac{(y - y^*)_1}{(y - y^*)_2}$$

$$N_{toG} = \frac{y_1 - y_2}{\frac{(y - y^*)_1 - (y - y^*)_2}{\operatorname{Ln}[(y - y^*)_1 / (y - y^*)_2]}}$$

$$N_{toG} = 0.359$$

بعلت در دسترس نبودن ضریب انتقال جرم جابجایی برای فاز گاز از محاسبه ارتفاع واحد انتقال صرف نظر می کنیم.

خشک کن دوار

shimiomd.blog.ir

تئوری آزمایش

خشک کردن

عبارت خشک کردن معمولاً به خارج کردن رطوبت از یک جسم اطلاق می گردد. البته باید این بحث به صورت کامل گفته شود و تصحیح گردد. برای مثال، یک جامد مرطوب مثل چوب و پارچه را می توان با تبخیر رطوبت به وسیله جریان گاز یا حتی بدون وجود گاز، که حامل بخار است، خشک کرد. ولی همین جداسازی به روش مکانیکی مثل فشردن یا سانتریفوژ را نمی توان خشک کردن به حساب آورد. یک محلول را می توان با پخش آن به صورت ذرات ریز در گاز داغ و خشک، خشک و مایع آنرا تبخیر کرد. ولی تبخیر یک محلول با جوشاندن آن در محیطی که فاقد گاز حامل رطوبت است، جزء عملیات خشک کردن محسوب نمی گردد.

رطوبت موجود در یک محلول مایع یا جامد مرطوب فشار بخاری اعمال می کند که به طبیعت رطوبت، جسم جامد و درجه حرارت بستگی دارد. بنابراین اگر یک جامد مرطوب در معرض یک جریان تازه گاز، که حاوی بخار با فشار جزئی P است قرار بگیرد، جسم تا جایی رطوبت خود را با تبخیر از دست می دهد و یا رطوبت می گیرد که فشار بخار رطوبت جسم به P برسد. بعد از آن گاز و جامد در حال تعادل خواهند بود و به مقدار رطوبت جسم در آن حالت رطوبت تعادلی می گویند.

عملیات خشک کردن

عملیات خشک کردن را می توان بر حسب اینکه عملکرد به صورت مداوم یا ناپیوسته باشد دسته بندی کرد. این عبارات از نقطه نظر ماده ایست که باید خشک گردد. بنابراین این عملیاتی که در آن خشک کردن ناپیوسته اطلاق می گردد در حقیقت یک فرآیند نیمه پیوسته است که در آن مقدار ماده ای که باید خشک گردد در مسیر جریان مداومی از هوا قرار می گیرد تا رطوبت تبخیر گردد.

در عملیات مداوم، ماده خشک شونده هم مانند جریان گاز به طور مداوم از دستگاه عبور می کند. اکثر عملیات ها بر اساس تماس مداوم گاز و جسم خشک شونده اند و معمولا روشهای مرحله ای به کار نمی روند.

دستگاههای استفاده شده در عملیات خشک کردن را می توان بر اساس نوع دستگاه و چگونگی فرآیند خشک کردن تقسیم بندی کرد. تقسیم بندی زیر برای تئوری های موجود مربوط به خشک کردن و روش های طراحی مناسب است.

۱- روش عملکرد یا به عبارتی ناپیوسته و مداوم: در روش ناپیوسته، یا نیمه پیوسته، دستگاه مربوطه به صورت یک چرخه و در شرایط ناپایدار عمل می کند. خشک کن های مداوم معمولا در شرایط پایدار کار می کنند.

۲- روش اعمال حرارت لازم برای تبخیر رطوبت: در خشک کن های مستقیم، حرارت از طریق تماس با ماده خشک شونده تامین می گردد تا عمل تبخیر صورت بگیرد. در خشک کن های غیر مستقیم، حرارت مستقل از گاز حامل برای خشک کردن اعمال می گردد

۳- طبیعت ماده خشک شونده: ماده ممکن است یک جامد سخت مثل چوب یا فیبر، یک ماده منعطف و نرم مثل پارچه، یک جامد دانه ای مثل جرمی از کریستال، یک خمیر غلیظ و یا دوغاب رقیق و یا یم کحلول باشد.

خشک کردن به صورت ناپیوسته:

این روش نسبتاً پرهزینه است و به مواردی همچون عملیات در مقیاس های کوچک، واحد های آزمایشی، کار تحقیقی و خشک کردن مواد با ارزش که هزینه کلی آنها با افزایش هزینه عملیات خشک کردن تغییر زیادی نمی کند محدود می گردد.

خشک کن مستقیم:

ساختار این خشک کن ها تا حدود زیادی به طبیعت ماده خشک شونده بستگی دارد. خشک کن های سینی دار، که به آنها خشک کن های اطاقکی یا قفسه ای هم گفته می شود، برای خشک کردن جامداتی به کار می روند که باید روی سینی نگهداری شوند. برای مثال می توان مواد خمیری را نام برد. از انواع دیگر می توان به خشک کن دو واگنی و خشک کن با جریان سراسری اشاره کرد. که شامل تغییراتی نسبت به سینی دار ساده به منظور ایجاد رطوبتی یکنواخت تر و خشک کردنی بهتر می باشد.

خشک کن های غیر مستقیم :

خشک کن های با محفظه خلاء: خشک کن های سینی داری هستند که اتاقک آنها چدنی

یا فولادی هستند که با درهای محکم بسته می شوند. و ازین رو در فشارهای زیر

اتمسفر می توانند کار کنند. هوایی در آنها دمیده نمی شود و گردشی هم انجام نمی

گردد. برای خشک کردن خمیرها یا دوغ آنها به کار میرود.

این خشک کن ها از نظر ساخت و کار کرد گران هستند و در نتیجه فقط در مواقع

خاص استفاده می شوند.

خشک کردن انجمادی (خشک کردن تصعیدی): موادی مانند مواد غذایی و دارویی،

که حتی در درجه حرارت های معمولی نیز خشک نمی شوند باید ازین روش خشک

شوند.

خشک کردن بصورت مداوم :

این روش دارای مزایایی است : دستگاه لازم نسبت به مقدار محصول کوچک است

، عملیات به راحتی مطابق روشهای تولید مواد شیمیایی مداوم و بدون نیاز به توقف

انجام می‌گیرد، رطوبت یکنواختی بیشتری دارد و هزینه خشک کردن بر واحد محصول کم است. نوع دستگاه، مانند خشک کردن به صورت ناپیوسته، تا حد زیادی به نوع ماده خشک شونده بستگی دارد.

گاز و جامد ممکن است جریان‌های موازی یا معکوس داشته باشند و یا گاز از درون مسیر عبور جامد بگذرد.

در عملیات آدیاباتیک معکوس داغ‌ترین گاز با خشک‌ترین جامد در تماس است. این سریع‌ترین روش خشک کردن است. مخصوصاً در حالی که رطوبت پیوندی وجود دارد.

در عملیات آدیاباتیک موازی جامد مرطوب با داغ‌ترین گاز در تماس است. امکان کنترل رطوبت جامد خروجی در جریان موازی بیشتر است.

خشک کن‌ها با جریان سراسری :

جامدات دانه‌ای را می‌توان در بسترهای باریکی قرار داد تا گاز از میان آنها عبور کند و حتی اگر لازم باشد، خمیرها و کیک فیلترها را در ابتدا به صورت دانه، حب، یا رشته در آورد. در خشک کن سراسری جامد به سربیک تقاله بی انتهای

متحرک که داخل خشک کن حرکت می کند تزریق می شود. مقاله از صفحات
سوراخدار یا غربال های سیمی متحرک ساخته شده که برای جلوگیری از شکستگی
ناشی از پیچش غربال ها به صورت بخش های جداگانه که به یکدیگر لولا شده اند
خواهد بود. خشک شدن سریع تر از خشک کن های سینی دار انجام می گیرد.

خشک کن های دوار :

اینها مهمترین گروه از خشک کن ها هستند که برای مواد دانه ای شکل جاری شونده ،
که بتوانند بدون ریزش بغلتند ، مناسبند.
شکل یک نوع ازین خشک کن ها را از نوع مستقیم با جریان معکوس و هوای داغ را
نشان می دهد. جامد خشک شونده بطور مداوم به یک انتهای استوانه دوار تزریق می
گردد و هوای گرم نیز از انتهای دیگر وارد می گردد. استوانه زاویه کوچکی با افق
می سازد و در نتیجه جامد به آرامی در سیستم حرکت می کند . داخل خشک کن ، روی
دیواره استوانه ، پره هایی نصب شده که جامد را بالا و پایین ببرد و حرکت می دهد و
هوا نیز از میان آنها عبور می کند در نتیجه جامد مستقیماً با گاز خشک کننده در
تماس است.

این عمل بالا و پایین بردن برای حرکت جسم به جلو نیز موثر است و به آن کمک می کند. در بخش تزریق خوراک به خشک کن، یک مارپیچ کوتاه داخل خشک کن، قبل از مسیر اطلی برای ایجاد حرکت اولیه تعبیه شده است. جامد نباید چسبیده یا صمغی شکل باشد زیرا به کناره های خشک کن می چسبد و یا به صورت گلوله در می آید. در چنین حالاتی ایجاد جریان برگشتی برای بخشی از محصول خشک شده اجازه استفاده از خشک کن دوار را می دهد. ممکن است در خشک کن به جای هوا از سوخت استفاده شود و اگر گاز خروجی دمای بالای لازم را داشته باشد، خروج آن از دودکش جریان گاز طبیعی و کافی برای خشک کردن را ایجاد می کند. ولی معمولاً از یک پنکه خارجی برای مکش گاز از خشک کن استفاده می شود.

خشک کن های دوار برای کاربردهای مختلفی ساخته می شوند. تقسیم بندی زیر شامل انواع اصلی این خشک کن است:

۱- حرارت مستقیم، جریان معکوس: برای موادی که قابلیت گرم شدن تا درجه حرارت های بالا را دارند، مثل مواد معدنی، شن، سنگ آهک، خاک رس و... از گاز سوخت داغ برای خشک کردن استفاده می شود.

۲- حرارت مستقیم، جریان موازی: جامداتی که می توانند بدون نگرانی از خطر

آلودگی با گاز سوخت خشک شوند و در عین حال به علت از بین رفتن در درجه

حرارت های بالا نباید زیاد گرم شوند مثل سنگ گچ، سولفید آهن و ...

۳- خشک کن غیر مستقیم، جریان معکوس: جامداتی مثل رنگدانه های سفید و مشابه

آنها که می توانند درجه حرارت های بالا گرم شوند نباید با گاز سوخت در تماس

باشند. این خشک کن ها برای مواقعی که بازیابی مایع تبخیر شده لازم باشد به کار می

رود.

۴- مستقیم - غیر مستقیم: از نظر اقتصادی از خشک کن های مستقیم با صرفه تر

هستند و برای جامداتی که می توانند با گاز سوخت به درجه حرارت های بالا برسند

به ویژه وقتی هزینه سوخت بالاست و یا وقتی رطوبت زیادی باید از جسم گرفته

شود به کار می روند.

نوعی دیگر از خشک کن های دوار، خشک کن های دوار با جریان سراسری

هستند. در اینجا پاشیدگی جامد به جریان گاز وجود ندارد و در نتیجه حداقل آشفته

را دارد. این سیستم برای خشک کردن در درجه حرارت بالا و پایین، برای موادی که معمولاً در خشک کن دوار خشک می شوند مناسب است.

روش انجام آزمایش

مقدار مشخصی از ارزن را (در حدود ۲۰۰۰ گرم) وزن کرده و با آب شست و شو می دهیم تا مرطوب گردد. سپس آنرا در کناری گذاشته تا آب همراه آن خارج گردد. دستگاه را روشن کرده، پس از تنظیم شیب و دور مشخص برای دستگاه و دادن ولتاژ معین منتظر می مانیم تا سیستم به حالت پایدار برسد. پس از آن ارزن را برداشته و وزن می کنیم و به عنوان خوراک در دستگاه می ریزیم. در بازه زمانی های ۴ دقیقه ای دماها، اختلاف فشار، ولتاژ، دور بر دقیقه را می خوانیم و ثبت اطلاعات به اینصورت تا زمانی که ارزن ها از دهانه مخزن خوراک توسط جریان هوا برگشت بخورد ادامه می دهیم. ارزن جمع آوری شده در مخازن را وزن می کنیم. میزان رطوبت خروجی و ورودی را به دست آورده و نسبت آنها بازده دستگاه را می دهد.

شرح دستگاه :

این دستگاه شامل یک استوانه شیب دار با شیب قابل تنظیم می باشد. ورودی خوراک، جمع کننده محصول، یک سیکلون باری جمع آوری گرد و غبار همراه محصول، یک

دمنده، و صفحه کنترل از دیگر اجزای این دستگاه می باشد. دماهای خشک و مرطوب گاز ورودی و خروجی، اختلاف فشار، درو بر دقیقه، ولتاژ گرم کن و دمای خوراک ازین صفحه خوانده می شود. درون استوانه لبه هایی بر روی دیواره وجود دارد که عمل اختلاط بهتر خوراک و جریان گاز را فراهم می کند. خوراک در طی عبور از دستگاه به تدریج به نسبت دور دستگاه، طول آن، سرعت جریان های گاز و خوراک خشک می گردد. دستگاه از دقت بسیار بالایی برخوردار است و حتی برای کارهای پژوهشی مناسب است.

محاسبات

Time	Tsi	Tdi	Twi	Two	Tdo	Round	Power	ΔP
0	33.5	89.9	38.6	47.9	72.9	11	0.99	6.1
4	32.9	91.3	39.7	49.0	67.8	11	0.99	6.05
8	29.3	91.6	39.3	43.6	64.9	11	0.99	6.1
12	26.2	91.9	39.8	41.6	63.8	11	0.99	6.2
16	24.7	92.0	39.6	42.3	62.8	11	0.99	6.3

20	25.0	91.1	38.8	46.3	65.5	11	0.99	6.8
Average	28.6	91.3	38.8	45.17	66.28	11	0.99	6.26

وزن ارزن خشک : ۲۰۰۰ گرم وزن ارزن خشک شده توسط دستگاه :

۲۲۲۸ گرم

وزن ارزن مرطوب : ۲۴۲۶ گرم وزن ارزن جمع آوری شده در مخزن

خوراک : ۲۲ گرم

رطوبت خوراک : $(2426-2000)/2000= 21.3\%$

2426 gr 426 gr

22 gr x=18.14

ارزن خشک : $2000-18.14=1981.6$

رطوبت ارزن محصول : $(2228-1981.6)/1981.6=12.4\%$

بازده = $12.4/21.3=58.23\%$

۱- موازنه جرم

$$S_s(X_1-X_2) = G_s(Y_2-Y_1)$$

$$S_s = 2000/(20*60)=1.67 \text{ gr/sec}$$

$$G_s(Y_2-Y_1)=1.67(0.213-0.124) = 0.15 \text{ gr/sec}$$

۲- موازنه انرژی

$$SsH'_{s1} + GsH'_{G1} = SsH'_{s2} + GsH'_{G2} + Qs \quad \text{Adiabatic}$$

$$\text{Dryer then } Qs = 0$$

$$H'_G = C_B(t_G - T_0) + Y'[C_A(t_G - T_0) + \lambda_0] \quad T_0 = 0$$

$$H'_{G2} = 58209.6 + 2611421.28Y_2$$

$$H'_S = C_S(t_S - t_0) + X_A C_A(t_S - t_0) + \Delta H_{A0} = C_A X_A + C_S)t_S$$

$$C_S = 32 \text{ cal/gr}$$

اگر دمای جامد و گاز خروجی برابر باشند داریم :

$$T_{si} = 28.6 \quad T_{so} = T_{GO} = 45.17 \quad CA = 4714 \text{ j/kg.k}$$

$$H'_{s1} |_{t_{si}} = 40665061.74$$

$$H'_{s2} |_{t_{do}} = 45580414.17$$

برای سیستم آب و هوا داریم :

$$Le = 1 = H_G / K_Y \cdot C_S$$

$$\frac{T_G - T_W}{Y_W - Y} = \frac{\lambda_w}{1005 + 1884Y}$$

$$@ T_{wi} = T_{Wav} = 39.3 \rightarrow \lambda_w = 2212 * 10^3 \quad Y_{w1} = 0.05$$

$$@ T_{G1} = T_{di(av)} = 91.3 \rightarrow Y_1 = 0.0253$$

$$@ T_{w2} = T_{wo(av)} = 45.17 \rightarrow \lambda_w = 2234.5 \quad Y_{w2} = 0.065$$

$$Y_2 = 0.0545$$

$$\Rightarrow H'_{G1} = 214875.67$$

$$\Rightarrow H'_{G2} = 226828.33$$

$$S_s(H'_{s2} - H'_{s1}) = G_s(H'_{g1} - H'_{g2})$$

$$\rightarrow 1.67(45580414.17 - 40665061.74) = G_s(226828.34 - 214875.67)$$

$$\rightarrow G_s = 258 \text{ gr / sec} = 0.258 \text{ kg / sec}$$

۳- درصد کاهش رطوبت

$$\text{درصد کاهش رطوبت} : \frac{X_1 - X_2}{X_1} = \frac{21.3 - 12.4}{21.3} = 42\%$$

۴- زمان تئوری

$$\theta = \frac{\phi_D \cdot z \cdot \pi \cdot T_b^2 / 4}{(S_s / \rho_s) (\pi T_D^2 / 4)} = \frac{z \cdot \phi_0 \rho_s}{S_s}$$

$$\phi_0 = \phi_{D0} \pm KG$$

TD قطر خشک کن، θ زمان تئوری، z طول خشک کن، KG تصحیح برای اثر

شدت گاز که علامت مثبت برای جریان ناهمسو و علامت منفی برای جریان همسو

است.

$$K = \frac{0.6085}{\rho_s \cdot d_p^{0.5}}$$

$$\phi_{D0} = \frac{0.3344 S_s}{\rho_s \cdot N^{0.9} \cdot T_D \cdot S}$$

$$z = 0.6 \text{ m}$$

$$\rho_s = 760 \text{ kg / m}^3$$

$$TD = 0.16 \text{ m}$$

$$N = 11 \text{ round/min} = 0.183 \text{ Round/sec} = 1.15 \text{ Rad/sec}$$

$$d_p = 0.9 \text{ m} \quad S = \tan(2.5^\circ) = 0.0392$$

$$K = \frac{0.6085}{760 * (0.9 * 10^{-3})^{0.5}} = 0.0267$$

$$\text{قطر لوله} = 2 \text{ in} = 0.0508 \text{ m} \quad A = 2.027 * 10^{-3}$$

$$\frac{S_s}{A} = \frac{1.67 * 10^{-3}}{2.027 * 10^{-3}} = 0.824 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$$

$$\phi_{D0} = \frac{0.3344 * 0.824}{760 * 0.0392 * 0.16 * 0.183^{0.9}} = 0.2665$$

$$\phi_0 = \phi_{D0} - KG = 0.2595$$

$$\theta = \frac{0.6 * 0.2595 * 760}{0.824} = 1436.308 \text{ sec} = 23.93 \text{ min}$$

۵- محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی حجمی :

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi * 0.16^2}{4} = 0.02 \text{ m}^2$$

$$u_a = \frac{237G^{0.67}}{T_d} = \frac{243 \left(\frac{0.258}{0.02} \right)^{0.67}}{0.16} = 8217.19$$

۶- محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی سطحی

$$U = \frac{u_a}{a}$$

$$a = \frac{6(1-\varepsilon)}{d_p} = \frac{6*0.6}{9*10^{-4}} = 4000 m^2 / m^3$$

$$U = \frac{8217.19}{4000} = 2.05 w / m^2 k$$

۷- محاسبه میزان حرارت مبادله شده

$$q = u_a \cdot v \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = T_{wi} - T_{si} = 39.3 - 28.6 = 10.7$$

$$v = \frac{\pi(0.16)^2}{4} * 0.6 = 0.012 m^3$$

$$\rightarrow q = (8217.19)(0.012)(10.7) = 1055.08 w$$

۸- تعداد واحدهای انتقال

$$N_t = \frac{T_{hb} - T_{ha}}{\Delta T}$$

$$T_{hb} = T_{wo} \dots \dots \dots T_{ha} = T_{si}$$

$$N_{tG} = \frac{45.17 - 28.6}{10.7} = 1.5$$

مختصری درباره ارفیس ها

این وسیله برای اندازه گیری دبی جریان داخل لوله بوسیله اندازه گیری افت فشار

مورد استفاده قرار می گیرند.

اصول کارکرد جریان سنج ارفیس و ونتوری ها مانند هم است ، کاهش مقطع عرضی جریان در این جریان سنج ها باعث افزایش هد سرعت و کاهش هد فشار می گردد. و کاهش فشار بین انشعاب های فشار سنج با مانومتر اندازه گیری می شود معادله برنولی رابطه بنیادی بین افزایش هد سرعت و کاهش فشار است .

این جریان سنج پیچیدگی مهمی دارد که ونتوری ها فاقد آن می باشند ، جت سیال تحت تاثیر دیواره جامد قرار نمی گیرد و مساحت جت از مقدار متناظر با روزنه تا مساحت انقباض و نا تغییر می کند. مساحت را در هر نقطه مثل انصبابات در فشار سنج فرودست ، نمی توان به سهولت تعیین کرد. سرعت جت در انشعاب فشار سنج فرودست را نمی توان به سهولت به قطر رورنه مربوط کرد. ضرائب جریان سنج ارفیس از ونتوری تجربی ترند و بنابراین بررسی کمی این دو جریان سنج با هم متفاوت است .
برای یک طرح تقریبی می توان از معادله زیر کمک گرفت :

$$V_o = \frac{C_0}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{\frac{2(p_a - p_b)}{\rho}}$$

V_o : سرعت در روزنه

β : نسبت قطر روزنه به قطر لوله

P_a, P_b : فشار در نقاط a و b در ۲ نقطه مختلف

در معادله فوق C_0 را ضریب روزه گویند. در این صورت سرعت نزدیکی در نظر گرفته نمی شود. این ضریب همیشه به طور آزمایشی تعیین می گردد. بر حسب عدد بتا و یا رینولدز تغییر می کند.

محاسبات ارفیس

$$V_0 = C \sqrt{\frac{2(Pa - Pb)}{\rho}}$$

$$\rho_G = 0.998 \text{ kg/m}^3 \dots\dots\dots G_s = 0.258$$

$$\dot{Q}_G = 0.258 / 0.998 = 0.258$$

$$\dot{Q} = CA_0 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

$$D_o = 14 \text{ mm} \dots \rightarrow A_o = 1.54 * 10^{-4}$$

$$\Delta P_{av} = 6.26 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.0626 \text{ mH}_2\text{O} * \frac{101325}{10.83} = 585.68$$

$$0.258 = C \sqrt{\frac{2 * 585368}{1000}} \rightarrow C = 1379.9$$

پاسخ سوالات

- ۱- خشک کن ها بر اساس چگونگی رساندن حرارت به جسم جامد در دو نوع دسته بندی می شوند. خشک کن های مستقیم و غیر مستقیم. در نوع مستقیم جامد مرطوب

در تماس با هوای داغ قرار می گیرد. ازین خشک کن ها می توان به خشک کن سینی

دار که برای جامدات خمیری استفاده می شود نام برد.

در نوع غیر مستقیم گرما از محیطی خارجی مثل بخار آب در حال میعان از طریق یک

سطح رابط فلزی به جامد انتقال می یابد.

شرح نسبتا کاملی از خشک کن ها در بخش تئوری آمده است.

۲- عوامل موثر بر سرعت هوای داغ در محفظه خشک کن عبارتند از: سرعت

چرخش خشک کن، دبی گاز، دبی جامد.

سرعت چرخش سریع خشک کن باعث آشفته‌گی بیشتر در جامد و هوا می شود و هرچه

دبی هم بالا برود سرعت حرکت هوای داغ بیشتر می شود.

۳- بهره وری در حالت ناهمسو بیشتر است نسبت به حالت همسو. مزیت روش غیر

همسو این است که در این روش اختلاف دمای میانگین جامد و گاز از حالت همسو

بیشتر است، پس سرعت انتقال گرما بیشتر است.

از معایب روش غیر همسو این است که این روش برای مواردی که قابلیت گرم شدن تا

دماهای بالا را ندارند مناسب نیست. و باید از خشک کن همسو استفاده شود.

بحث و نتیجه گیری

۱- باید توجه داشت که در مورد استفاده از نوع خشک کن ها به مورد استفاده از آنها توجه گردد، یعنی اگر با جامدات خمیری کار می کنیم سعی شود از جامد سینی دار استفاده شود و هم چنین اگر با یک دوغاب کار می کنیم از یک خشک کن پاششی استفاده شود و ...

۲- اگر سیستم را به حالت ناهمسو استفاده کنیم بهره وری بالاتر می رود و اختلاف دمای میانگین بیشتر از اختلاف دمای میانگین در حالت همسو می شود اما قابل توجه است که در سیستمهای صنایع غذایی به هیچ وجه اختلاف دمای زیاد همواره مطلوب نیست .

۳- اگر سرعت چرخش زیادتر شود به دلیل افزایش پدیده تلاطم و افزایش در نرخ خشک کردن می شود . هم چنین اگر دبی گاز را زیاد کنیم سرعت هوای داغ در محفظه بالاتر میرود و افزایش در نرخ خشک کردن داریم و هم چنین افزایش دبی جامد همین نتیجه را دارد .

منابع خطا

۱- یکی از منابع خطا در بدست آوردن جرم جامد خروجی می باشد. چون معمولاً مقداری جامد به دیواره ظرف محلول و دیواره سیکلون می چسبد و هم چنین مقداری در ورودی به دستگاه در مبدا ورودی به جای می ماند. که در محاسبات جرم خروجی جامد، محاسبات دچار اشکال می گردد. البته می توان ظرف محصولات به گونه ای باشد که قابلیت جابجایی داشته باشد تا با وزن کردن مقدار خالی آن به وزن مطلوب دست یابیم.

۲- از دیگر منابع خطا از بین رفتن و هدر رفتن مقداری ارزن به صورت گرد و غبار می باشد که برای رفع این مشکل می توان از فیلتر یا توری استفاده کرد.

۳- از دیگر منابع خطا می توان به اندازه گیری غیر دقیق دما در کار اشاره کرد. چون برای خوانن همه دماها یک نمایشگر وجود دارد و آنهم باید با سرعت قرائت گردد و لذا زمان لازم برای پایا شدن را ندارد.

۴- اشتباهات و خطاهای فردی در آزمایش از جمله اشتباه خواندن وزن ها یا آبگیری از محلول مرطوب

۵- تغییر در دمای هوای ورودی به دمنده به دلیل تغییر دمای هوای آزمایشگاه توسط درب ها و هواکش ها که باعث عدم یکنواخت شدن دمای هوای ورودی به دستگاه می شود.

موارد کاربرد در صنعت

به طور کلی این خشک کن ها در صنایع غذایی و به طور خاص می توان به کاربرد آن در خشک کردن غلات مانند ذرت، برنج و هم چنین سویا را نام برد.

هم چنین این خشک کن ها را می توان برای خشک کردن تفاله های مرطوب مثل تفاله چغندر قند به کار برد.

❖ منابع

○ کتاب عملیات واحد / نویسنده : رابرت تریبال / ترجمه : دکتر مرتضی سهرابی

○ کتاب عملیات واحد مهندسی شیمی / نویسنده : مک کیب

○ هندبوک Perry