بررسی روشهای کوتاه حل مسائل تقطیر مخلوطهای چندگانه[1]

نوشته : دکتر طاهره کاغذچی و دکتر مرتضی سهرابی دانشیاران
بخش مهندسی شیمی و پتروشیمی ـ پلی تکنیک تهران

چکیـــــــده :

استفاده از روشهای کوتاه[2] در حل مسائل تقطیر مخلوطهای چندگانه ، بر اثر بهره گیری روزافزون از رایانه ها[3] پیوسته افزایش می‌یابد . علت اصلی استفاده از این روشها این است که با روش معمولی روابط و معادلاتی که درحل مسئله بکار می‌روند به قدرکافی دقیق نبوده و یا در مطالعات مقدماتی مربوط به طراحی ، بدست آوردن شرایط بهینهٔ عملکرد ، مستلزم محاسبات بسیار و صرف وقت زیادی خواهد بود .لذا با بکار بردن این‌گونه روشهای کوتاه ، محاسبات اولیـــه را انجام داده وسپس به منظور بدست آوردن جزئیات طرح ، محاسبات را با استفاده از رایانه دنبال می‌کنند .

در این مقاله مفیدترین روشهای کوتاه محاسبه مورد بررسی قرار گرفته و در خاتمه یک طریقه تقریبی به منظـــور محاسبه بهینهٔ شرایط عمل ارائه گردیده است .

مقـــدمـــــه :

از زمانی که رایانه های سریع با ظرفیتهای زیاد در حل مسائل تقطیر بکار گرفته شدند ، مهندسین و آنان کـــه عملا" با مسائل تقطیر مخلوطهای چندگانه روبرو هستند با استفاده از روشهای تیل ـ جدس[4] ، لوئی ـ ماتیسون[5] ، سورل[6] و غیره به حل این قبیل مسائل پرداختند . ولی محاسبه و طرح برج تقطیر با استفاده از روشهای فوق حتی اگر از رایانه هم در حل مسئله کمک گرفته شود مستلزم وقت و هزینه بسیار خواهد بود . شاید گاهی اوقات تصور شود که هـــر نتیجه ای که از رایانه گرفته می‌شود باید دقیق ترین باشد ولی بایستی توجه نمود که دقت و صحت نتایج حاصله از هـر طریقی ، در درجه اول به قابلیت کاربردی معادلات و روابطی که از آنها در حل مسئله استفاده میگردد بستگی خواهـــد داشت . بدین لحاظ مطلوب ترین حالت آنست که بدون تغییر در دقت نتایج حاصل هزینه های محاسبه را به حداقـــل برساند ، و این عمل فقط با استفاده از روش های کوتاه امکان پذیر است .

۱ـ توضیح روشهای محاسبـــــه :

معادلات و منحنی‌هائی که در حل مسائل تقطیر از طریق روشهای کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرند درزیـــر به طور اجمال بیان می‌شوند :

۱ـ معادلهٔ فنسک[7] برای محاسبه حداقل تعداد سینی ها

۲ـ معادلهٔ اندروود[8] به منظور محاسبه حداقل نسبت مایع برگشتی

۳ـ منحنی گیلی لند[9] برای محاسبه تعداد کل سینی ها با استفاده از حداقل تعداد سینی ها و حداقل نسبـت

۱ـ تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۵۸/۹/۲۷ .

2- Shortcut
3- Computer
4- Thiele-Geddes
5- Lewis-Matheson
6- Sorel
7- Fenske
8- Underwood
9- Gilliland

مایع برگشتی .

۴ــ روش اربار ــ مادوکس[1] به منظور محاسبه تعداد کل سینی ها با استفاده‌از حداقل تعداد سینی ها و حداقل نسبت مایع برگشتی .

۵ ــ روش براون ــ مارتین[2] برای بدست آوردن تعداد کل سینی ها در نسبت مایع برگشتی‌مورد نظر .

۶ــ معادلهٔ کرکبراید[3] به منظور تعیین محل سینی خوراک

۷ ــ روش جدس[4] برای محاسبه توزیع مواد

در زیر بشرح هر یک از معادلات و یا روشهای فوق می‌پردازیم :

۱ــ۱ــ معادله فنســـــک

فنسک [۱] معادله ای به صورت‌زیر به منظور محاسبه حداقل تعداد سینی ها در تقطیر مخلوطهای چندگانـــه ارائه نمود . معادله وی در حل مسائل تقطیر مخلوط های دوگانه نیز بکار میرود .

$$N_m = \frac{\log (x_{lk}/x_{hk})_D (x_{hk}/x_{lk})_W}{\log (\alpha_{lk})_{av.}} \qquad (۱)$$

که در آن N_m حداقل تعداد سینی ها x_{lk} و x_{hk} بترتیب اجزاء مولکولی سازنده های کلید سبک[5] و سنگین[6] و D و W بـــه ترتیب محصولات فوقانی و تحتانی تقطیر و $(\alpha_{lk})_{av.}$ فراریت نسبی متوسط .

۱ــ۲ــ معادلات انـــــدرود

اندرود [۲و۳] فرض کرده است که در حالت حداقل نسبت مایع برگشتی ، تعداد سینی ها بینهایت گشته و در اینجالت می‌بایستی در برج تقطیر منطقه ای بنام منطقه ثابت غلظت وجودداشته باشد که در آنجا هیچ گونه اختـــلاف غلظتی در فازهـــای مایع یا بخار بین دوسینـــی مجاور مشهود نگردد . تحـــت چنین شـــرایطـــی با تـــوجـــه بـــه توزیع معین سازنده های کلید سبک و سنگین ، نحوهٔ توزیع هر سازندهٔ دیگری مانند i بصورت زیر خواهد بود :

برای‌حداقل نسبت مایع برگشتی (R_{min}) :

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{\alpha_i x_{iD}}{\alpha_i - \theta} = R_{min} + 1 \qquad (۲)$$

که درآن : $\alpha_{hk} < \theta < \alpha_{lk}$

و برای F:

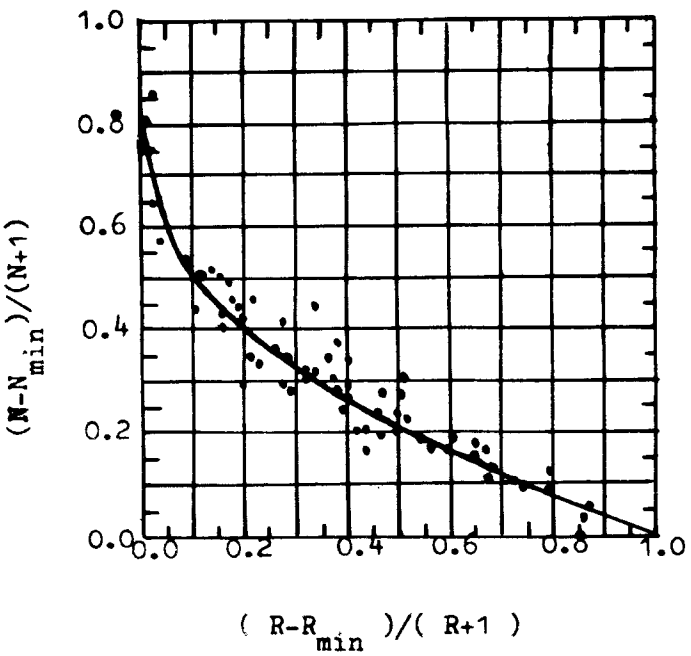
$$\sum \frac{\alpha_i x_{iF}}{\alpha_i - \theta} = 1-q \qquad (۳)$$

که در آنها α_i فراریت نسبی سازنده i ، x_{iD} جزء مولکولی سازنده i در D، x_{iF} جزء مولکولی i در F (خـــوراک) و q نسبت مقدار مایع موجوددر F برکل خوراک دردرجه حرارت و فشار سینی خوراک می‌باشند .

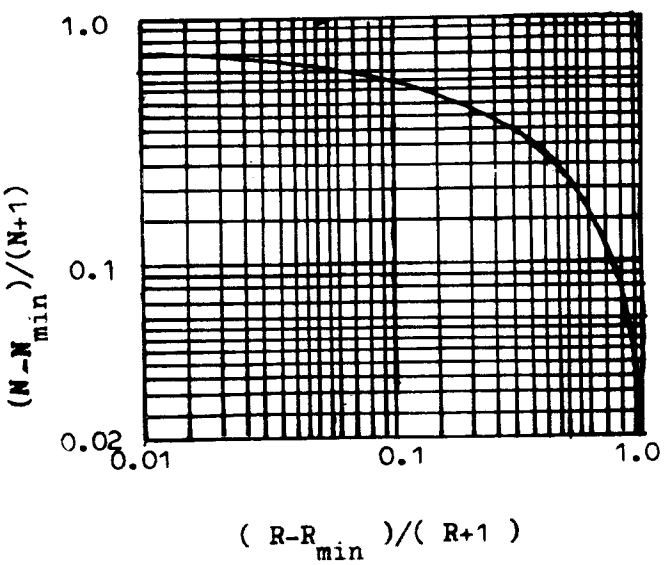
1- Erbar-Maddox
2- Brown-Martin
3- Kirkbride
4- Geddes
5- Light Key
6- Heavy Key

۱ـ۳ـ روش گیلی لند :

گیلی لند[۴]رابطهٔ مفیدی بین N_{min} ، R_{min} ، R ، N بصورت ارائه شده در شکل (۱) بدست داد . روش وی علیرغم تقریبی بودن آن به دلیل سادگی مورد توجه بسیار قرار گرفت . همانطوری که در شکل دیده می‌شود گیلی‌لند پنجاه و هشت نقطه را مبنای منحنی خود قرار داد .



(الف)



(ب)

شکل ۱ـ (الف) منحنی گیلی لند در محورهای مختصات جبری
(ب) منحنی گیلی لند در محورهای مختصات لگاریتمی

حدود آزمایشهای وی به طور خلاصه به قرار زیراند :

- مخلوطهای ۲ الی ۱۱ گانه مورد آزمایش قرار گرفت .
- خوراکهای مختلف از حالت مایع سرد تا بخار بکار گرفته شد .
- فشارهای‌مورد استفاده از خلاء تا ۶۰۰ psia بود .
- فراریت نسبی مواد بین سازنده‌های‌کلید سبک و سنگین مورد آزمایش گیلی لند حدود ۱/۲۶ الی ۴/۰۵ بودند .

مقادیر حداقل نسبت مایع برگشتی(R_{min}) از ۰/۵۳ الی ۷/۰ و حداقل تعداد سینی ها(N_{min}) از ۱/۴ الی ۴۲تغییر میکردند .

حداکثر خطای ناشی از استفاده از طریقه گیلی لند حدود ۷ درصد در کل تعداد سینی ها است ، که رقمی بسیار کوچک و قابل اغماض در صنعت می‌باشد .

۱ـ۳ـ۱ـ روابط ریاضی جدید گیلی لند

به منظور استفاده از منحنی‌گیلی لند برای محاسبه با رایانه ، درصدد برآمدند که یک یا چند معادلهٔ ریاضی را جایگزین این منحنی سازند ، بدین جهت معادلات مختلفی به صورتهای زیرا ارائه شدند[۵].

$$0 < x \leq 0.01 \qquad y = 1.0 - 18.5715\,x \qquad (۴)$$

$$0.01 < x < 0.9 \qquad y = 0.545827 - 0.591422\,x + 0.002743 / x \qquad (۵)$$

$$0.9 \leq x \leq 1.0 \qquad y = 0.16595 - 0.16595\,x \qquad (۶)$$

که عملا" معادلات ۴ و۶ به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند .

علاوه بر روابط ریاضی فوق ، روابط زیر نیز بدست داده شده اند [۶] .

برای : $0.0078 < x < 0.125$

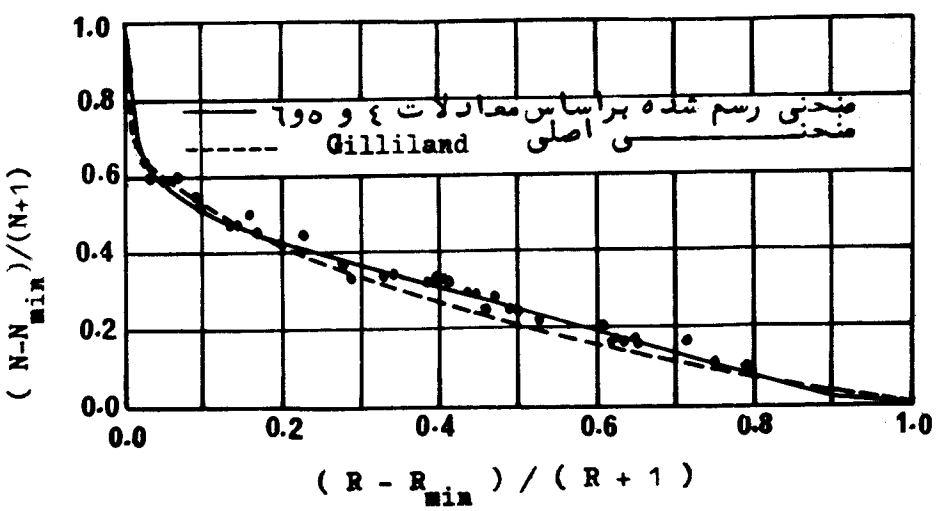
$$y = 0.5039 - 0.5968\,x - 0.0908 \log x \qquad (۷)$$

و برای : $x > 0.125$ تا $x = 1.0$

$$y = 0.6257 - 0.9868\,x + 0.5160\,x^2 - 0.1738\,x^3 \qquad (۸)$$

در کلیه روابط فوق $y = \dfrac{N - N_{min}}{N + 1}$ و $x = \dfrac{R - R_{min}}{R + 1}$ میباشند .

در شکل (۲) . منحنی اصلی گیلی لند و منحنی تصحیح شده براساس روابط ۴و۵و۶ مشاهده می‌شوند .

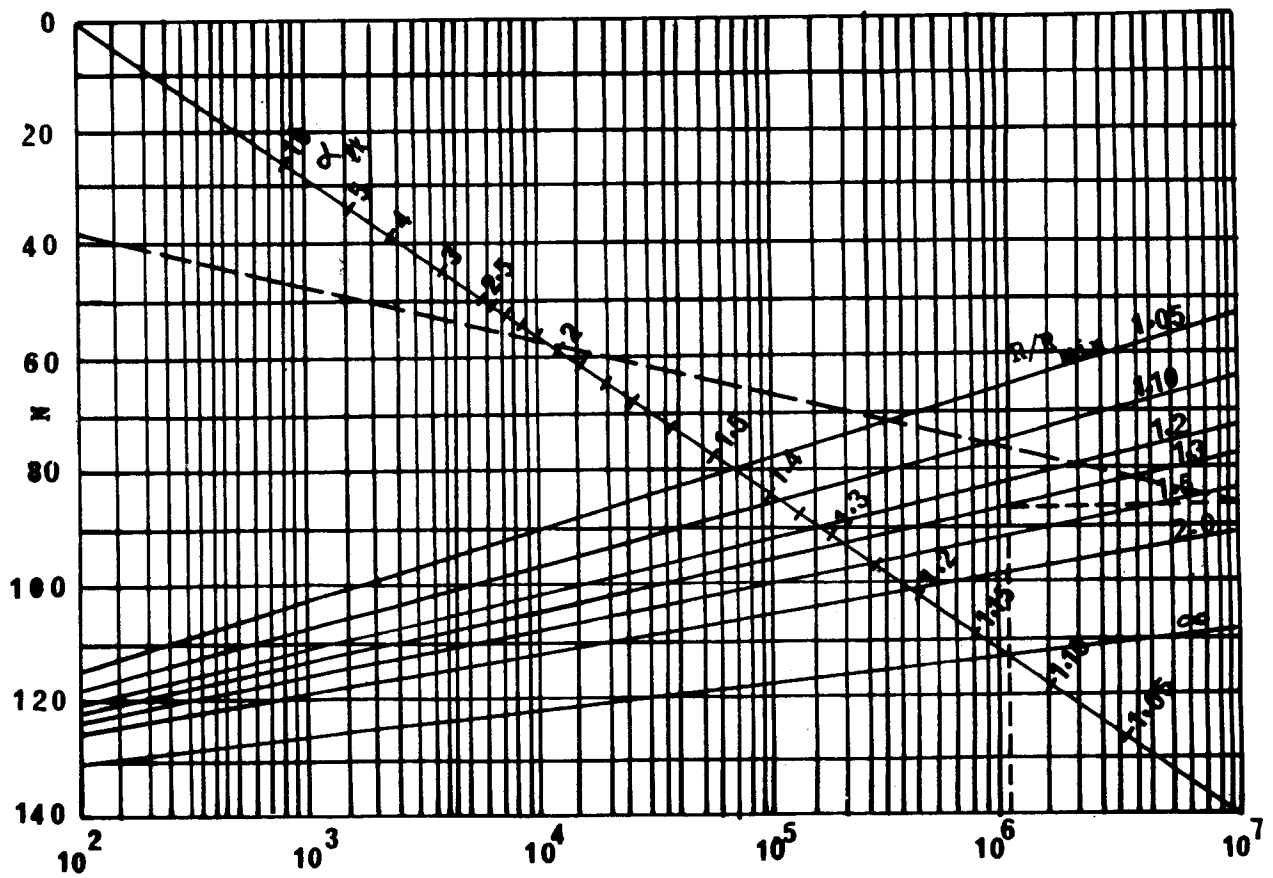


شکل ۲ــ منحنی تصحیح شده گیلی لنـد

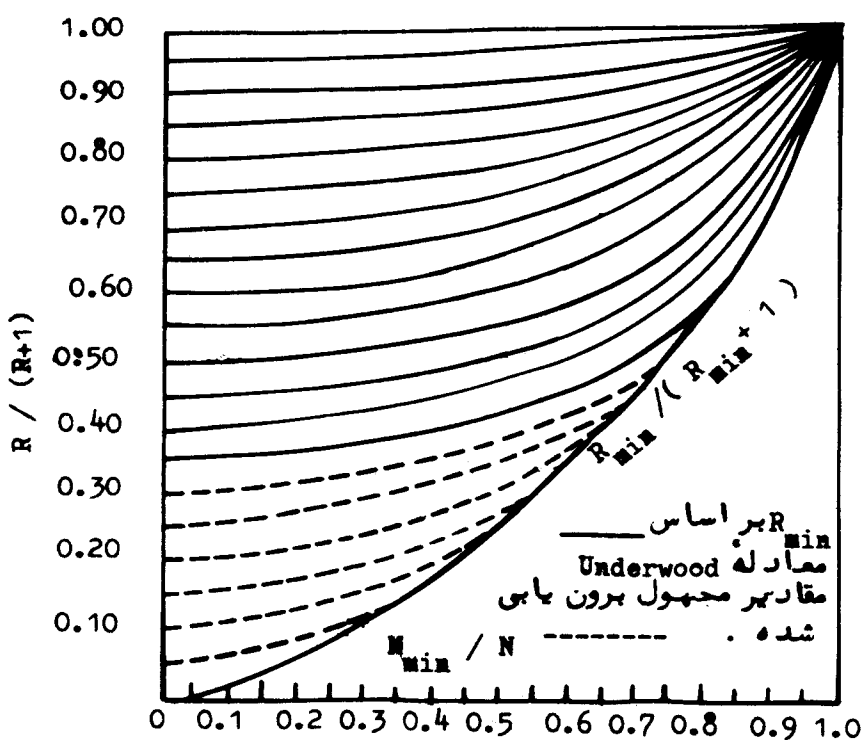
مجموعه روشهای۱-۱ (معادله فنسک) ،۱-۲ (معادلات اندرروود) و۱-۳ (روش گیلی لند) را طریقه FUG که از حـروف اول اسامی سه محقق فوق الذکر ترکیب شده است نامگذاری کرده اند .

اخیرا" نموداری برای محاسبه تعداد سینی های تئوری یک برج تقطیر توسط فرانک[1] ارائه گردیده است[۷] کـه برمبنای روشهای FUG استوار می‌باشد (به شکل ۳ توجه کنید) . دراین روش خلوص محصولات ، نسبت مایع برگشتـی و فراریت نسبی به تعداد سینی های تعادلی مربوط می‌گردد . تجربه نشان می‌دهد که خطای ناشی از استفاده از اعـداد بدست آمده از این نمودار ، با مقایسه با معادلات و اشکال اصلی اندرروود و گیلی لند کمتر از ده درصد است .

1- Frank



شکل ۳ ـ نمـــودار فـرانـــک



شکل ۴ـ منحنی اربـار ـ مادوکـس

۱ـ۴ـ روش اربار ـ مادوکس

پس از روش گیلی لند ، مادوکس و اربار محاسبات بسیاری از طریق سینی به سینی انجام داده و روش پیشرفته‌تری [۸] که در شکل۴ نشان داده شده است ارائه نمودند . نتایج حاصل از این طریق به دلیل نزدیکی بسیار با نتایجی که از طریق محاسبات رایانه ای بدست آمده بر روش گیلی لند ارجحیت دارند .

برنامه رایانه ای DSHORT [۹] روش کوتاهی است که براساس مجموعه مدلهای فنسک ، اندروودو اربار ـ مادوکس بنا گردیده است . درونداد[1] این برنامه از پارامترهای فشار بخار (یا مقادیر متوسط k) و نوع عمل جداسازی مورد نظر متشکل خواهد بود .

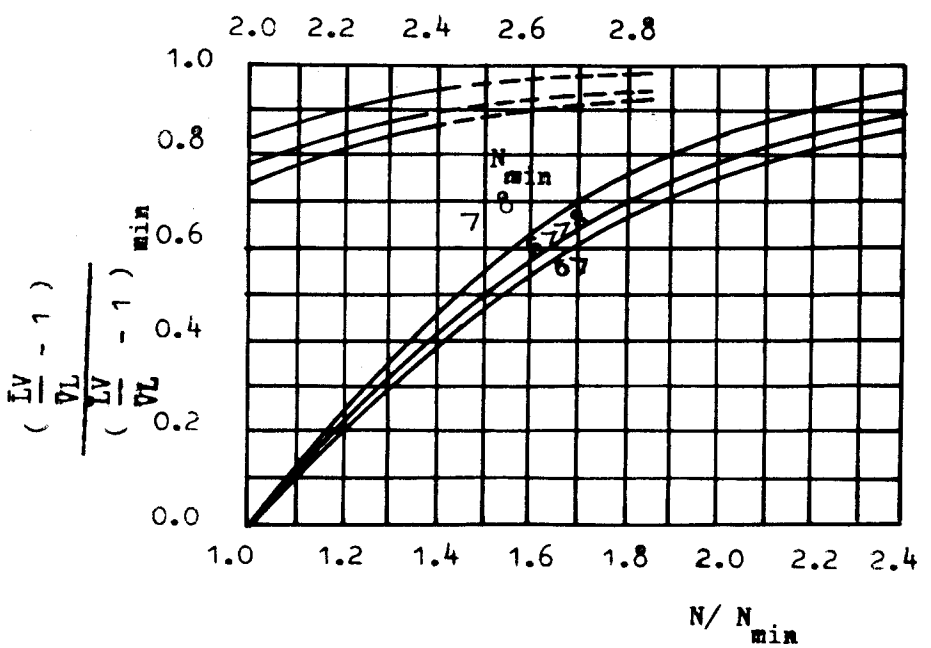
برونداد[2] شامل حداقل تعداد سینی ها ، حداقل نسبت مایع برگشتی و در نسبت مایع برگشتی معین ، تعداد کل سینی ها خواهد بود .از مزایای روش DSHORT آنست که نیاز به مقادیر خواص فیزیکی مواد درونداد حداقل بوده و زمان محاسبه بسیار کوتاه است (معمولا " کمتر از یک‌ثانیه بازاء هر موردی) .

۱ـ ۵ ـ روش براون ـ مارتین

در این طریقه [۱۰] که اغلب در مورد مخلوط ئیدورکربورها بکار برده میشود کسر :

$$\frac{\left[\left(\frac{\bar{L}}{\bar{V}} \times \frac{V}{L}\right) - 1\right]_R}{\left[\left(\frac{\bar{L}}{\bar{V}} \times \frac{V}{L}\right) - 1\right]_{R_{min}}}$$

را نسبت به $\frac{N}{N_{min}}$ به صورت نمایش داده شده در شکل (۵) بدست می‌دهد که در آن N تعداد کل سینی ها را در حالت نسبت مایع برگشتی R و $\frac{L}{V}$ و $\frac{\bar{L}}{\bar{V}}$ بترتیب نسبت شدتهای مایع بر بخار در قسمتهای فوقانی و تحتانی سینی خوراک میباشد .



شکل ۵ـ منحنی براون ـ مارتین

1- Input
2- Output

۱ـ۶ـ معادله کرکبراید

کرکبراید [۱۱] مطابق فرمول زیر رابطه ای بین تعداد سینی های قسمت فوقانی وتحتانی سینی خوراک ارائه نموده استو در نتیجه در صورتی که تعداد کل سینی ها معلوم باشد ، محل سینی خوراکبا استفاده از این روش مشخص می‌شود .

$$\frac{N_U}{N_L} = \left[(x_{hk}/x_{lk})_F (x_{hkW}/x_{hkD})^2 . (W / D) \right]^{0.206} \qquad (۹)$$

که درآن : N_U و N_L بترتیب تعداد سینی های قسمت فوقانی و تحتانی سینی خوراک میباشند .

۱ـ۷ـ روش جدس

جدس [۱۲] توزیع مواد را با فراریت نسبی توسط رابطه (۱۰) بیان می‌نماید .

$$\log (x_{iD} / x_{iW}) = C + M \log \alpha_{ir} \qquad (۱۰)$$

که درآن x_{iD} / x_{iW} نسبت توزیع جسم i در دو محصول D و W و α_{ir} فراریت جسم i نسبت به مبناست (مبنا عموما " سازنده کلید سنگین در نظر گرفته می‌شود) . C و M مقادیر ثابت معادله می‌باشند .

مثال : فرض می‌کنیم خوراکی با مشخصات داده شده در جدول شماره ۱ تحت شرایط مندرج تقطیر گردد .

جدول شماره ۱ـ مشخصات سازنده های‌خوراک

درصد مولکولی	سازنده های خوراک
5.0	متان
35.0	اتان
15.0	پروپیلن
20.0	پروپان
10.0	ایزوبوتان
15.0	نرمال بوتان

می‌خواهند مقدار پروپیلن در محصول مقطر D برابر 6.34 درصد مقدار اولیه آن در خوراک بوده و مقدار اتان درمحصول تحتانی W ، 8.89 درصدمقدار اولیه آن درخوراک باشد (مواد سبکتر از اتان وارد W نشده و مواد سنگینتر از پروپیلن وارد محصول Dنگردد) .

شرایط عمل به قرار زیراند :

- فشار سردکننده[1] 400 psia
- فشار سینی فوقانی " 401
- افت فشار بازاء هر سینی 0.1 psi
- خوراک به صورت مایع در نقطه حباب خود وارد برج تقطیر می‌گردد .
- محصول مقطر D و مایع برگشتی به صورت مایع در نقطه حباب[2] می‌باشند .

1- Condenser

2- Bubble point

مطلوبست تعیین تعداد سینی های تئوری در حالت : $R = 1.25\ R_{min}$

حل : با توجه به داده ها ، اتان به عنوان سازنده کلید سبک و پروپیلن بعنوان سازنده کلید سنگین در نظر گرفته می‌شوند ، در شرایط متوسط برج تقطیر ابتدا α (فراریت نسبی مواد نسبت به سازنده کلید سنگین) بدست آمده و در جدول زیر تنظیم می‌گردد . پس از نوشتن موازنهٔ مواد می‌توان توزیع مواد در دو محصول D و W را نیز مطابق جدول شمارهٔ ۲ بدست آورد :

جدول شماره ۲ــ توزیع مواد در دو محصول Dو W

مواد	درصد مولکولی در خوراک	α	درصد مولکولی در محصول مقطر D	درصد مولکولی در محصول تحتانی W
متان	5.0	7.356	5.00	---------
(lk) اتان	35.0	2.091	31.89	3.11
(hk) پروپیلن	15.0	1.000	0.95	14.05
پروپان	20.0	0.901	------	20.00
ایزوبوتان	10.0	0.507	------	10.00
نرمال بوتان	15.0	0.408	------	15.00
جمع	100.0		37.84	62.16

الف ــ ابتدا با استفاده از معادله (۱) حداقل تعداد سینی‌های تئوری بدست می‌آید :

$$N_{min} = \frac{\log\left[\frac{31.89}{0.95} \times \frac{14.05}{3.11}\right]}{\log\ 2.091} = 6.79$$

ب ــ با استفاده از معادله (۳) برای این‌خوراک که در مورد آن q=1.0(مایع اشباع) خواهد گردید ، θ را یافته و در معادله (۲) قرار می‌دهیم تا R_{min} بدست آید .

$\theta = 1.325$

$R_{min} = 1.378$

ج ــ مقدار x مربوط به منحنی گیلی لند را به ترتیب زیر یافته وبا استفاده از نمودار و یا معادله (۵) y و در نتیجه N را بدست می‌آوریم .

$$R = 1.25\ R_{min} = 1.25 \times 1.378 = 1.722$$

$$x = \frac{R - R_{min}}{R + 1} \quad \frac{1.722 - 1.378}{1.722 + 1} = 0.1265$$

$y = 0.4926$

با استفاده ازمعادله (۵) :

$$y = \frac{N - 6.79}{N + 1} = 0.4926, \qquad N = 14.35$$

در صورت استفاده از نمودار فرانک (شکل ۳) تعداد سینی ها حدود 15~14 می‌گردد .

د ــ مقادیر $\frac{R}{R+1}$ و $\frac{R_{min}}{R_{min}+1}$ را جهت استفاده در شکل (۴) مربوط به روش اربار ــ مادوکس بدست می‌آوریم :

$$\frac{R}{R+1} = \frac{1.722}{2.722} = 0.63, \quad \frac{R_{min}}{R_{min}+1} = \frac{1.378}{2.378} = 0.58$$

با توجه به شکل $\frac{N_{min}}{N} = 0.47$ ، و از آنجا $N = 14.44$ می‌شود .

هـ ــ برای استفاده از روش براون ــ مارتین نسبت :

$$\frac{\left[\left(\frac{\bar{L}}{\bar{V}} \times \frac{V}{L}\right) - 1\right]_R}{\left[\left(\frac{\bar{L}}{\bar{V}} \times \frac{V}{L}\right) - 1\right]_{R_{min}}}$$

را محاسبه می‌کنیم . چون خوراک به صورت مایع اشباع است :

$$V = \bar{V} \ , \quad \frac{\bar{L}}{L} - 1 = \frac{\bar{L} - L}{L} = \frac{F}{L}$$

و نسبت فوق به صورت زیر خلاصه می‌گردد :

$$\frac{\left(\frac{F}{L}\right)_R}{\left(\frac{F}{L}\right)_{R_{min}}} = \frac{(L)_{R_{min}}}{(L)_R} = \frac{D.R_{min}}{D.R} = \frac{R_{min}}{R} = 0.8$$

و با توجه به شکل (۴) $\frac{N}{N_{min}} = 2.08$ و از آنجا $N = 14.12$

ملاحظه می‌شود که در صورت استفاده از هر یک از روشهای مذکور در حدود 14.5 سینی تئوری بدست می‌آید .

و ــ برای بدست آوردن تعداد سینی های بالا و پائین سینی خوراک از رابطهٔ (۹) استفاده می‌شود :

$$\frac{N_U}{N_L} = \left[\left(\frac{15}{35}\right)\left(\frac{14.05}{0.95}\right)^2\left(\frac{62.16}{37.84}\right)\right]^{0.206} = 2.82$$

و چون :

$$N_U + N_L = 14.5$$

پس:

$$N_L = 3.79 \simeq 4, \quad N_U = 10.5$$

ز ــ ازاین طریق وقتی توزیع دو جسم در مخلوط (غالبا " سازنده های کلید سبک و سنگین) معلوم باشدمی‌توان توزیع سایر مواد را بدست آورد و این رابطه در مورد مخلوطهائی که بین سازنده های کلید سبک وسنگین مواد دیگری وجود داشته باشند مفیدتر خواهد بود .

۲ــ بهینه سازی طرح برجهای تقطیر

بدیهی است که به دنبال کاربرد روشهای کوتاه در حل مسائل تقطیر مخلوطهای چندگانه ، مسئله بهینه سازی برجها مطرح خواهد گردید . می‌دانیم که اگر شدت بخار V، شدت محصول مقطر D و نسبت مایع برگشتی R باشدخواهیم داشت :

$$V = D\ (R + 1) \qquad (۱۱)$$

در اینجا فرض میکنیم که مایع برگشتی در دمای نقطه حباب به بالای برج برگردانده میشود ، لذا اگر مساحت مقطع برج aft^2 باشد :

$$a = \frac{D}{v}(R + 1) \qquad (۱۲)$$

که در آن v برابر با $\frac{V}{a}$ شدت عبور بخار به ازاء واحد سطح برج است .

با تقریب اولیه می‌توان فرض نمود که برای برجهائی با بدنه‌های همجنس و خوراکهای مشابه هزینه C مربوط به واحدسطح‌هر سینی تقریبا" ثابت می‌ماند . بنابراین اگر A کل افزایش سالیانه هزینه ها باشد که شامل استهلاک‌ونگهداری نیز هست مخارج کل سالانه وسائل برابر A C D N' (R+1)/v خواهد گردید که در آن N' تعداد کل سینی های حقیقی برج و برابر η/(N-1) است در صورتی که سرد کننده کامل بکار برده شده باشد و برابر η/(N-2) است در حالت وجود یک سرد کننده‌ٔ جزئی است . η بهره هر سینی است .

همچنین می‌توان با تقریب اولیه بار حرارتی سرد کننده را مساوی بار حرارتی جوش‌آور دانست . بنابراین بار حرارتی جوش آور، برابر Vλ و یا D(R+1)λ شود که در آن λ حرارت نهانی تبخیر محصول مقطر است . لذا با در نظر گرفتن C_B به عنوان هزینه مربوط به حرارت (به صورت بخار) و H ساعات عملکرد در سال ، هزینه عملکرد سالیانه واحد به صورت زیر در خواهد آمد :

$$C_B DH\lambda (R + 1)$$

و هزینه کل سالیانه C_T با افزودن دو هزینه به یکدیگر برابر :

$$C_T = D\ (\ R + 1)\ \left[\frac{AC\ (\ N - 1)}{v\eta} + \lambda H C_B \right] \qquad (۱۳)$$

خواهد گردید .

به منظور یافتن عبارتی برای v، فرض می‌کنیم سرعت بخار ۷۵ درصد سرعت سرریز[1] آن V_F بوده و سطح‌مجرا[2] ۱۲ درصد سطح مقطع کل سینی باشد . در این صورت :

$$v = \frac{V}{a} = V\ (0.88 \times 0.75 \times V_F \times \frac{\rho_G}{V}) = 0.88 \times 0.75\ V_F\ \rho_G \qquad (۱۴)$$

که در آن ρ_G چگالی بخار است .

مقدار V_F سرعت سرریز برحسب $\frac{\text{فوت}}{\text{ساعت}}$ از رابطه زیر بدست می‌آید .

$$V_F = C' \sqrt{(\rho_L - \rho_G)/\rho_G} \qquad (۱۵)$$

که درآن C' پارامتر ظرفیت[3] برج تقطیر بوده و برای انواع برجهای سینی دار مثلا" کلاهک دار ویا مشبک [۱۴ و۱۳] قابل محاسبه است .

از تلفیق دو رابطه ۱۴ و ۱۵ دبی بخار برحسب $\frac{\text{فوت}}{(\text{فوت})^2 \times \text{ساعت}}$ بدست می‌آید .

$$v = 0.88 \times 0.75\ C' \left[\rho_G / (\rho_L - \rho_G) \right]^{1/2} \qquad (۱۶)$$

و با قرار دادن $K = \frac{1}{v}$ خواهیم داشت :

$$C_T = D\ (R + 1)\ \left[\frac{ACK\ (N-1)}{\eta} + \lambda H C_B \right] \qquad (۱۷)$$

1- Flooding 2- Downspout 3- Capacity Parameter

با استفاده از رابطه اخیر می‌توان هزینه کلی یک برج تقطیر را تخمین زد ، و با توجه به رابطه (۱۷) اهمیت نسبی هر یک از متغیرها در بهینه سازی یک فرآیند تقطیر مشهود می‌گردد .

به عنوان مثال فرض می‌کنیم که مقادیر زیر را داشته باشیم :

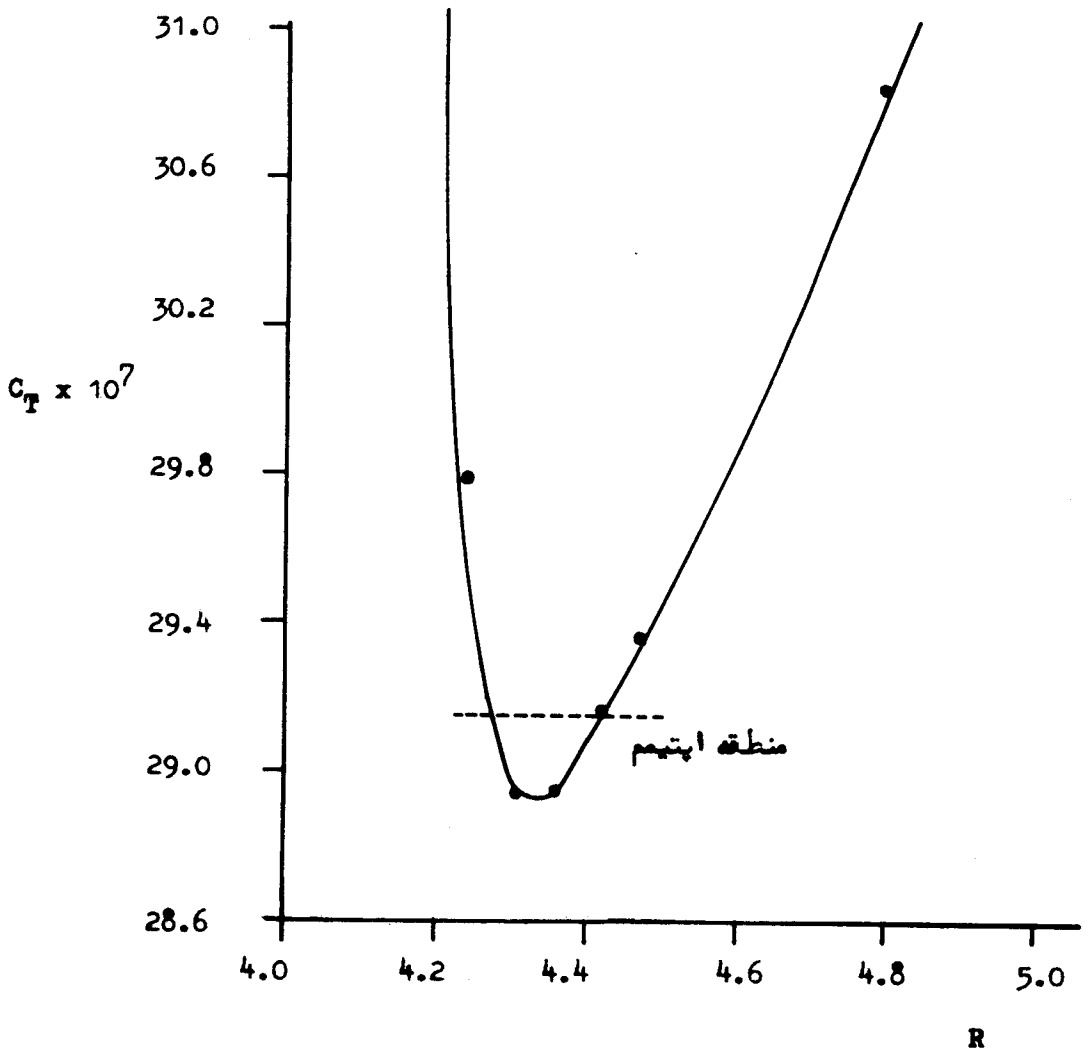
به ازاء هر سال	$A = 30\ \%$
ریال به ازاء هر فوت مربع	$C = 15600$
ریال بازاء هر میلیون Btu	$C_B = 200$
پوند در ساعت	$D = 40{,}000$
$\frac{\text{(ساعت)}^3\text{(فوت)}}{\text{پوند}}$	$K = 4.2 \times 10^{-4}$
ساعت در سال	$H = 8000$
Btu بازاء هر پوند	$\lambda = 800$
	$R_{min} = 4.2$
	$N_{min} = 8.0$
	$\eta = 60.0\ \%$

میتوان با استفاده از معادلهٔ (۱۷) C_Tرا به ازاء مقادیر مختلف R و Nحساب کرده و در جدول شماره ۳ نوشت . از رسم مقادیر C_Tبرحسب R منطقه بهینه بدست می‌آید . (شکل ۶)

جدول شمارهٔ ۳ــ تغییرات هزینه کلی برج تقطیربرحسب R و N

R	N	$C_T \times 10^7$ ریال در سال
4.20	∞	∞
4.25	47.5	29.79
4.31	26.4	28.95
4.36	22.7	28.96
4.42	21.0	29.17
4.47	20.0	29.36
4.78	17.5	30.84
∞	8.0	∞

توضیح : مقادیرN به ازاء $R_{min} < R < R = \infty$ از طریق روش گیلی لند بدست آمده است .



شکل ۶ ـ نمودار مربوط به مثال بهینه سازی

علائم اختصاری

a سطح مقطع برج

A افزایش سالیانه هزینه ها

C هزینه مربوط به واحد سطح هر سینی

C' پارامتر ظرفیت

C_B هزینه مربوط به حرارت

C_T هزینه‌کل سالیانه

D شدت محصول مقطر

F شدت خوراک

H ساعات عملکرد واحد در سال

k نسبت y/x برای هر سازنده در فشار و دمای معین

K برابر l/v

شدت مولکولی مایع در بالای سینی خوراک	L
شدت مولکولی مایع زیر سینی خوراک	$\bar{L}$
تعداد سینی های تئوری	N
تعداد سینی های حقیقی	N'
تعداد سینی های بالای خوراک	N_U
تعداد سینی های زیر خوراک	N_L
حداقل تعداد سینی ها	N_{min}
نسبت مولهای مایع موجود در خوراک برکل مولهای خوراک	q
نسبت مایع برگشتی	R
حداقل نسبت مایع برگشتی	R_{min}
شدت عبور بخار به ازاء واحد سطح	v
شدت مولکولی بخار در بالای خوراک	V
شدت مولکولی بخار زیر سینی خوراک	$\bar{V}$
سرعت سرریز	V_F
شدت محصول تحتانی	W
جزء مولکولی در فاز مایع (مگر در مورد معادله گیلی لند)	x
جزء مولکولی در فاز بخار (مگر در مورد معادله گیلی لند)	y
فراریت نسبی نسبت به سازنده کلید سنگین	α
پارامتر اندروود	θ
حرارت نهانی تبخیرمحصول مقطر	λ
چگالی گاز	ρ_G
چگالی مایع	ρ_L
راندمان هر سینی	η

نمایند های زیرین

متوســـــط	av.
هر سازنده مخلوط	i
سازنده کلید سبـــک	lk
سازنده کلید سنگیـــن	hk
مبنا که عموما " سازنده کلید سنگین‌در نظر گرفته می‌شود .	r

فهرست منابع

[1]- Fenske, M.R. Ind. Eng.Chem. 24,482,(1932)

[2]- Underwood, A.J.V. Chem.Eng.Progr. 44,603,(1948)

[3]- Underwood, A.J.V. J.Inst.Petrol. 31,111,(1952)& 32,598,(1946)& 32,614, (1946)

[4]- Gilliland,E.R. Ind.Eng. Chem. 32,1220,(1940)

[5]- Liddle,C.J. Chem.Eng. 21,137(1968)

[6]- Van Winkle, M. and Todd,W.G. Chem.Eng. 20,136,(1971)

[7]- Frank,O. Chem.Eng. 14,111,(1971)

[8]- Erbar,J.M. and Maddox,R.N. Petrol Refiner 40, No.5,183(1961)

[9]- Fair,J.R. and Bolles,W.L. Chem.Eng. 22,156(1968)

[10]-Martin,M.Z. and Brown,G.G. Trans.A.I.Ch.E. 35,679,(1938)

[11]-Kirkbride,C.G. Petrol Refiner 23,32,(1945)

[12]-Geddes,R.L.A.I.Ch.E.J. 4,389,(1958)

[13]-Fair,J.R. and Matthews,R.L. Petrol Refiner 37,153,(1958)

[14]-Fair,J.R. Petro.Chem.Eng. 33,45,(1961)