

طراحی برج‌های پرشده و مسینی دار

درس طراحی دستگاه های تبادل جرمی و حرارتی



دانشگاه صنعتی
ارومیه

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

موضوع ارائه :

طراحی برج های پر شده و سینی دار

دانشجو : پگاه حبی

شماره دانشجویی: ۹۶۱۴۳۲۱۱۹

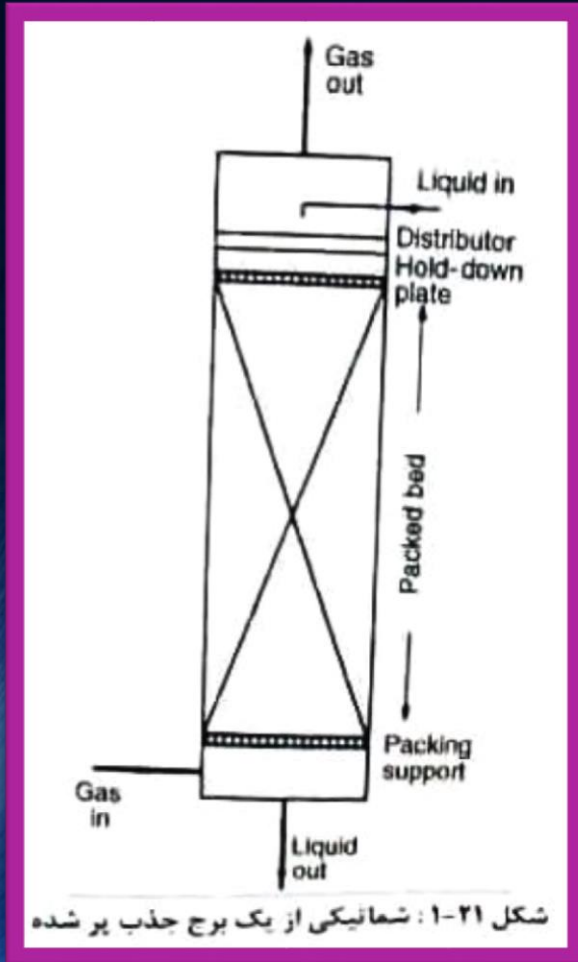
استاد : سرکار خانم دکتر حسینی

۹۹-۱۴۰۰



مقدمه

- در برج های پر شده ← تماس بخار و مایع ← پیوسته در یک بستر پر شده
- مایع ← روی آکنه ها به طرف پایین حرکت
- بخار ← به صورت جریان متقابل به سمت بالا
- در برخی از برج های جذب گاز از جریان هم جهت استفاده میشود.
- نکته مهم : توزیع مناسب گاز و مایع روی بستر آکنه ها



انتخاب برج سینی دار یا پر شده

• انتخاب بین برج پر شده و یا سینی دار فقط بر اساس **هزینه**

• **مزایا و معایب هر کدام**

1. برج سینی دار در رنج وسیع تری از دبی جریان گاز یا مایع نسبت به برج پر شده قابل استفاده میباشد.
2. برج پر شده برای دبی مایع کم مناسب نیست.
3. بازده سینی ها با دقت بیشتری نسبت به معادل آنها در برج های پر شده قابل پیش بینی میباشد.
4. برج های سینی دار را با دقت بیشتری میتوان طراحی کرد.
5. در برج سینی دار به راحتی میتوان مایع روی یک سینی را با نصب یک کولر روی سینی سرد کرد.
6. در برج های سینی دار به راحتی میتوان یک خط جریان جانبی از برج گرفت.



ادامه مزایا و معایب

7. برای سیالات دارای آلودگی در برج های سینی دار میتوان با نصب یک راه عبور اپراتور بر روی برج به سینی دسترسی داشت و آنرا تمیز کرد.
8. برای سیالات خورنده استفاده از برج های پر شده نسبت به برج سینی دار ارزاتر است.
9. ماند مایع در برج های پر شده به طور کاملا مشهودی نسبت به برج های سینی دار کمتر است.
10. استفاده از برج های پر شده برای سیستم های کف کننده بسیار مناسبتر از برج های سینی دار است.
11. افت فشار در برج های پر شده نسبت به برج های سینی دار کمتر است و در خلا بهتر عمل میکند.
12. برج های پر شده معمولا برای قطر های کمتر از ۰.۶ متر که نسبت سینی سخت و پرهزینه است و بسیار مناسب میباشد.



روند طراحی برج‌های پرشده



انواع آگنه ها

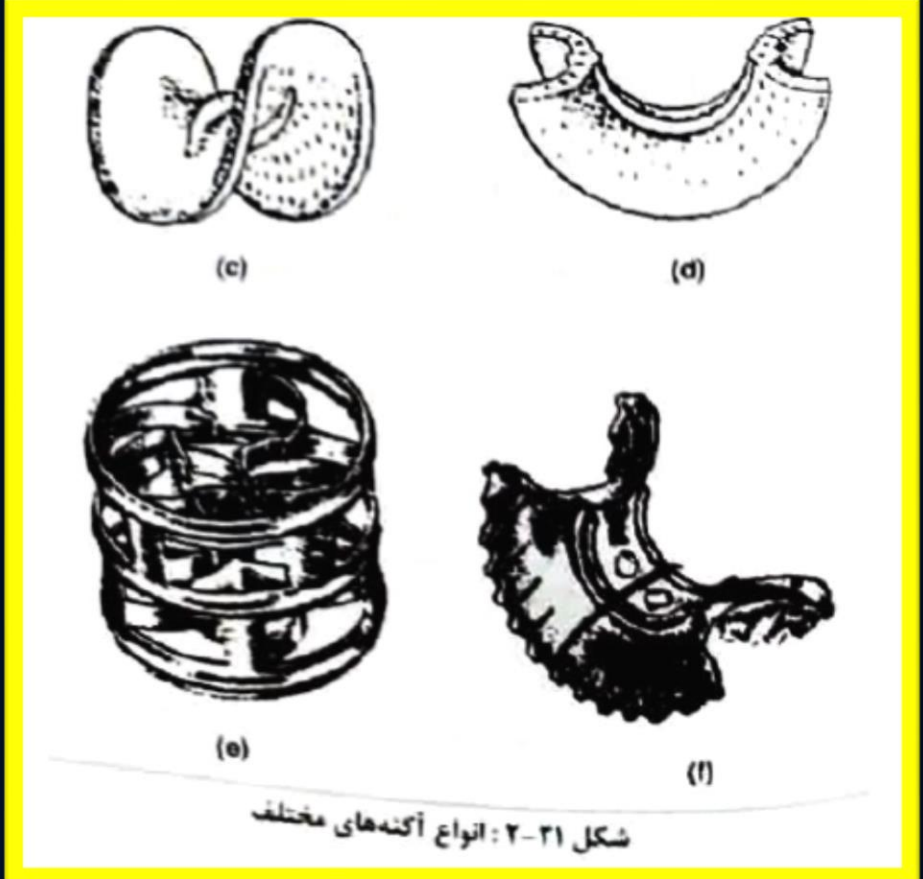
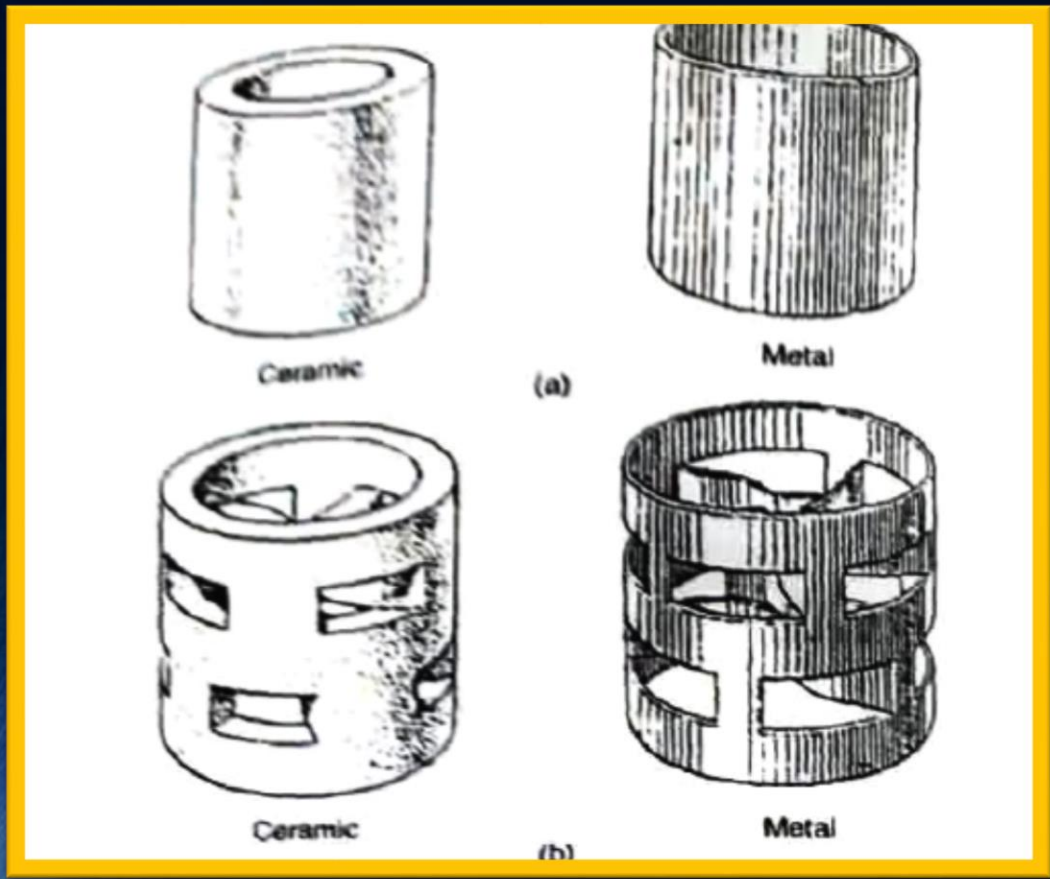
ایجاد یک سطح
زیاد بین مایع و
گاز

داشتن یک
سافتار باز

توزیع یکنوافت
مایع روی سطح
آگنه ها

توزیع یکنوافت
گاز روی آگنه ها





جدول ۲۱-۱: داده‌های مربوط به انواع مختلف آکنه‌ها

	Size		Bulk density (kg/m ³)	Surface area a (m ² /m ³)	Packing factor F _p m ⁻¹
	in.	mm			
Raschig rings ceramic	0.50	13	881	368	2100
	1.0	25	673	190	525
	1.5	38	689	128	310
	2.0	51	651	95	210
	3.0	76	561	69	120
Metal (density for carbon steel)	0.5	13	1201	417	980
	1.0	25	625	207	375
	1.5	38	785	141	270
	2.0	51	593	102	190
	3.0	76	400	72	105
Pall rings metal (density for carbon steel)	0.625	16	593	341	230
	1.0	25	481	210	160
	1.25	32	385	128	92
	2.0	51	353	102	66
	3.5	76	273	66	52
Plastics (density for polypropylene)	0.625	16	112	341	320
	1.0	25	88	207	170
	1.5	38	76	128	130
	2.0	51	68	102	82
	3.5	89	64	85	52
Intalox saddles ceramic	0.5	13	737	480	660
	1.0	25	673	253	300
	1.5	38	625	194	170
	2.0	51	609	108	130
	3.0	76	577		72



Column diameter	Use packing size
$< 0.3m (1 ft)$	$< 25 mm (1in)$
$0.3 \text{ to } 0.9 m (1 \text{ to } 3 ft)$	$25 \text{ to } 38 mm (1 \text{ to } 1.5 in)$
$> 0.9 m$	$50 \text{ to } 75 mm (2 \text{ to } 3 in)$



• آکنه های حلقوی و زینتی ← سرامیکی ، فلزی ، پلاستیکی ، کربنی

• آکنه های از جنس فلز و پلاستیک ← پلی پروپیلن

• انتخاب جنس ← نوع سیال و شرایط دمایی

• سیالات خورنده ← آکنه سرامیکی



برای سیال با خاصیت قلیایی بالا مناسب نیست.

• حلال های آلی دمای متوسط ← آکنه پلاستیکی



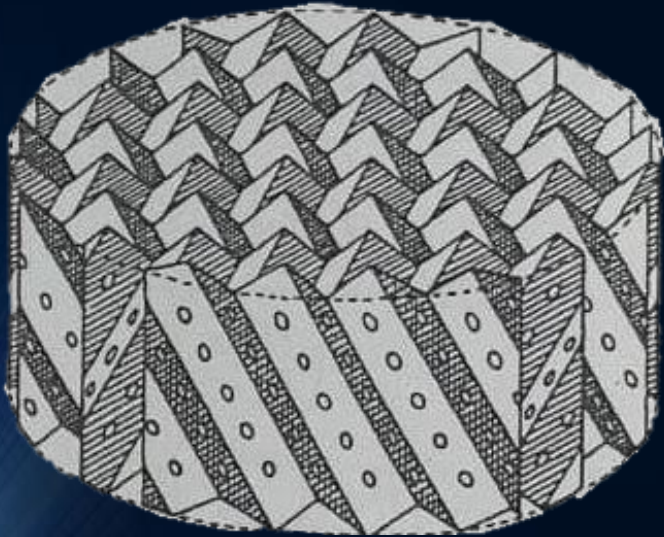
برای برج تقطیر مناسب نیست.

• آکنه ها با اندازه بزرگ (mm50) مناسب تر است.



آگنه های ساندتار یافته

- تشکیل یافته از : مشهای سیمی و ورقه های فلزی
- چیدمان : مواد کنار هم در شکل منظم جهت رسیدن به یک سطح زیاد با تخلخل بالا
- مزایا : HETP کمتر از ۰.۵ متر و افت فشار کم
- کاربرد : ۱. جداسازی ایزوتوپ ها
- ۲. برج های تحت خلا بالا
- ۳. ظرفیت افزایش جریان برگشتی کاهش
- هزینه : بسیار بالاست اما بازده بالایی دارد.
- کاربرد اصلی : در تقطیر است اما در برج های جذب هم استفاده میشود.



ارتفاع بسته‌رآکنه‌ها

• تقطیر

• در برج های تقطیر ← ارتفاع معادل یک مرحله تعادلی

تعداد مراحل تعادلی ↔ ارتفاع آکنه ها

Size mm	HETP m
25(1 in)	0.4-0.5
38 (1 ½ in)	0.6-0.75
50 (2 in)	0.75-1.0

$$HETP = \frac{H_{OG} \ln \left(\frac{mG_m}{L_m} \right)}{\left(\frac{mG_m}{L_m} - 1 \right)}$$

$$H_{OG} = H_G + \left(\frac{mG_m}{L_m} \right) H_L$$



ارتفاع بستر آکنه ها

• جذب

• برج های جذب یا دفع ← مرحله ای

• میزان ماده ای که بین دو فاز تبادل میشود ← کمتر از ۱۰٪

در محاسبات ← مقدار دبی گاز و مایع

• محاسبه ارتفاع آکنه :

$$Z = \frac{G_m}{K_G a P} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$$

K_G ضریب انتقال جرم فاز گاز



G_m : دبی مولی گاز در واحد سطح
 L_m : دبی مولی مایع در واحد سطح
 a : جز سطح در واحد حجم
 P : فشار کل
 C_t : غلظت مولی
 y_1 و y_2 : جز مولی محلول در فاز گاز
 x_1 و x_2 : جز مولی محلول در فاز مایع
 x_e : غلظت تعادلی فاز مایع
 y_e : غلظت تعادلی فاز گاز

$$Z = \frac{L_m}{K_L a C_t} \int_{x_2}^{x_1} \frac{dx}{x - x_e}$$

$$Z = H_{OG} N_{OG}$$

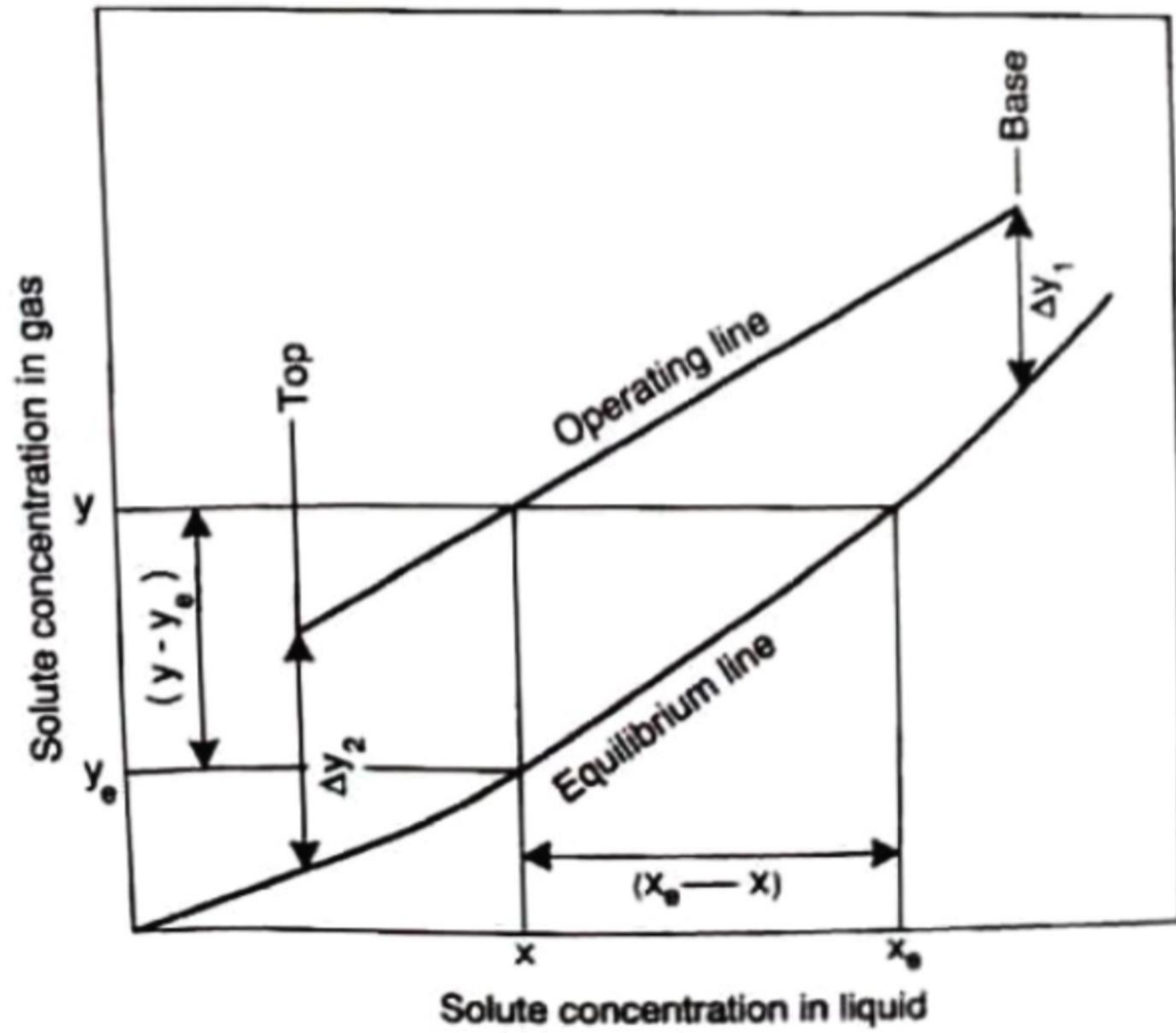
$$Z = H_{OL} N_{OL}$$

$$H_{OG} = \frac{G_m}{K_G a P}$$

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - y_e}$$

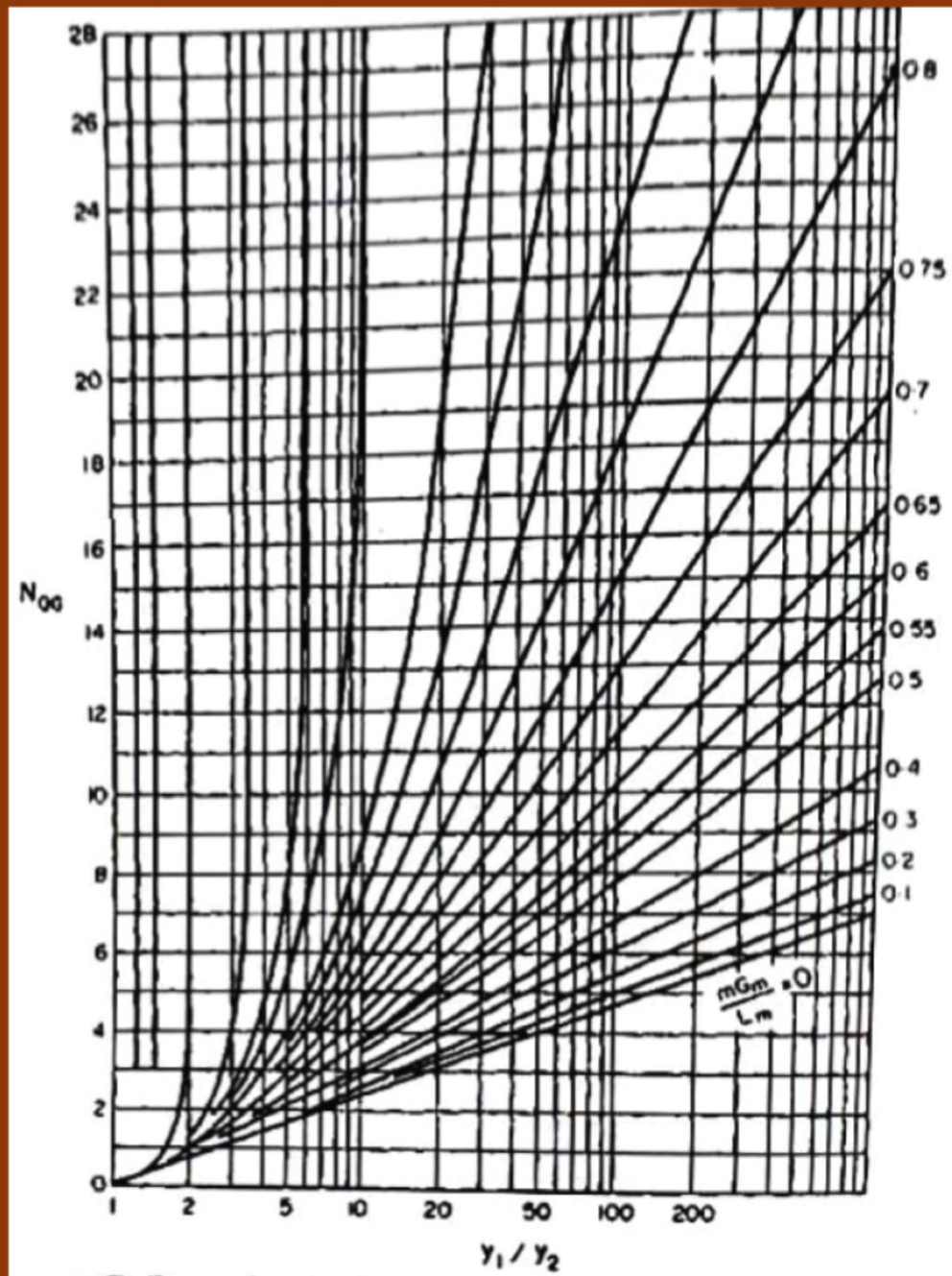
$$N_{OG} = \frac{1}{1 - \left(\frac{mG_m}{L_m}\right)} \ln \left[\left(1 - \frac{mG_m}{L_m}\right) \frac{y_1}{y_2} + \frac{mG_m}{L_m} \right]$$





شکل ۲۱-۴: ارتباط بین غلظتها در جذب گاز





شکل ۲۱-۵: تعداد مراحل انتقال به صورت تابعی از y_1/y_2 و mG_m/L_m



پیش بینی ارتفاع واحد انتقال HTU

جدول ۲۱-۲: کارایی انواع آکندھا

System	Pressure kPa	Column dia, m	Packing type	Packing size, mm	HTU m	HETP m
<i>Absorption</i>						
Hydrocarbons	6000	0.9	Pall	50		0.85
NH ₃ -Air-H ₂ O	101	—	Berl	50	0.50	
Air-water	101	—	Berl	50	0.50	
Acetone-water	101	0.6	Pall	50		0.75
<i>Distillation</i>						
Pentane-propane	101	0.46	Pall	25		0.46
IPA-water	101	0.46	Int.	25	0.75	0.50
Methanol-water	101	0.41	Pall	25	0.52	
	101	0.20	Int.	25		0.46
Acetone-water	101	0.46	Pall	25		0.37
	101	0.36	Int.	25		0.46
Formic acid-water	101	0.91	Pall	50		0.45
Acetone-water	101	0.38	Pall	38	0.55	0.45
	101	0.38	Int.	50	0.50	0.45
	101	1.07	Int.	38		1.22
MEK-toluene	101	0.38	Pall	25	0.29	0.35
	101	0.38	Int.	25	0.27	0.23
	101	0.38	Berl	25	0.31	0.31

Pall = Pall rings, Berl = Berl saddles, Int. = Intalox saddles

25 mm (1 in.) 0.3 to 0.6 m (1 to 2 ft)
 38 mm (1½ in.) 0.5 to 0.75 m (1½ to 2½ ft)
 50 mm (2 in.) 0.6 to 1.0 m (2 to 3 ft)



قطر برج (ظرفیت)

- ظرفیت برج پر شده \longleftrightarrow سطح مقطع
- بیشترین افت فشار جهت اطمینان از توزیع مناسب گاز و مایع که اقتصادی هم باشد.

Absorbers and strippers	15 to 50
Distillation , atmospheric and moderate pressure	40 to 80



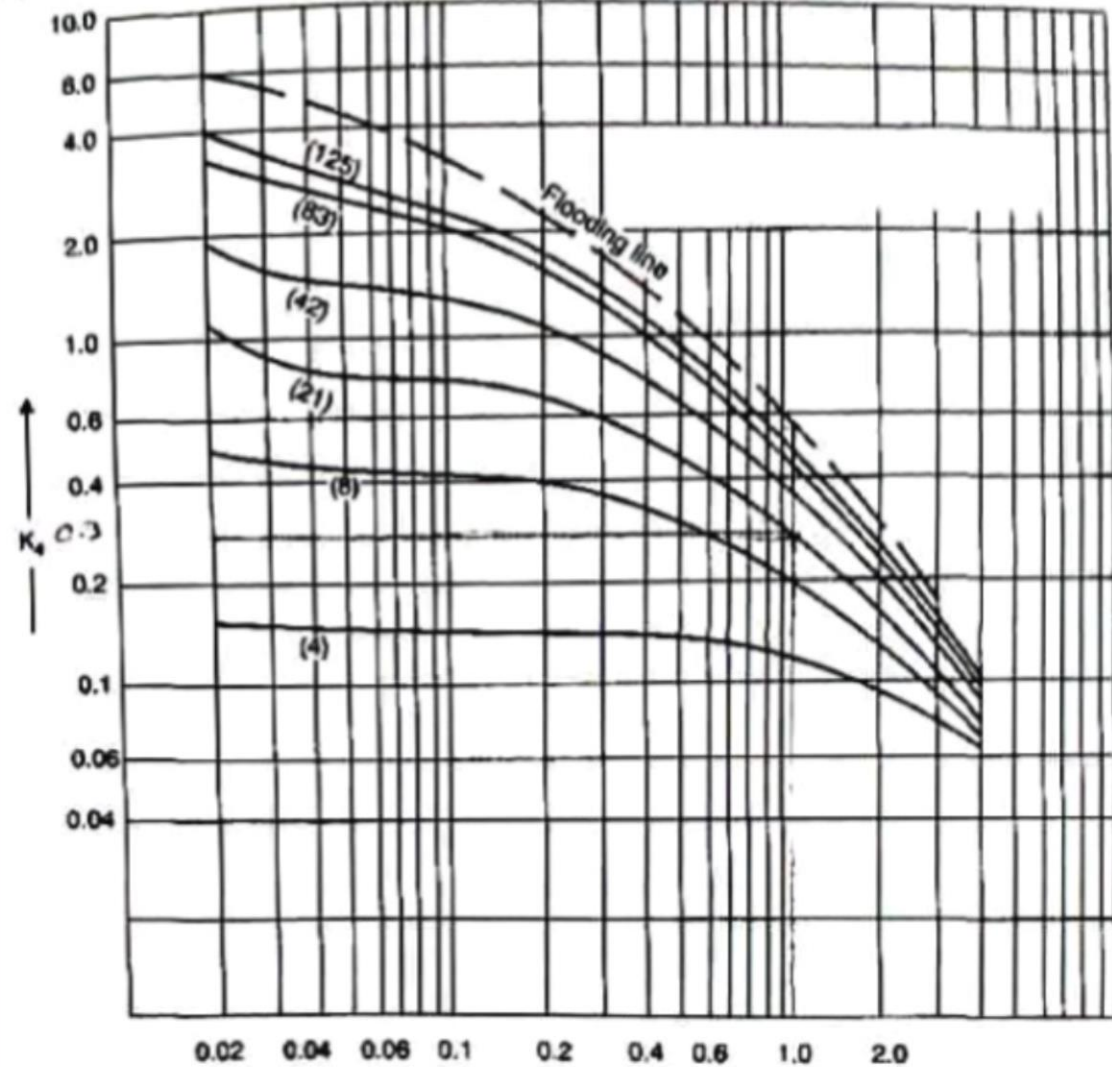
$$K_4 = \frac{13.1(V_w^*)^2 F_P \left(\frac{\mu_L}{\rho_L}\right)}{\rho_v(\rho_L - \rho_v)}$$

V_w^* : دبی جرمی گاز در واحد سطح
مقطع برج $\text{kg/m}^2\text{s}$

F_P : ضریب آکنه جدول 1-21

μ_L : ویسکوزیته مایع ns/m^2

ρ_L و ρ_v : دانسیته مایع و بخار kg/m^3



→ F_{LV} →

$$F_{LV} = \frac{L_w}{V_w} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}}$$

شکل ۶-۲۱: هستگی افت فشار تعیین یافته



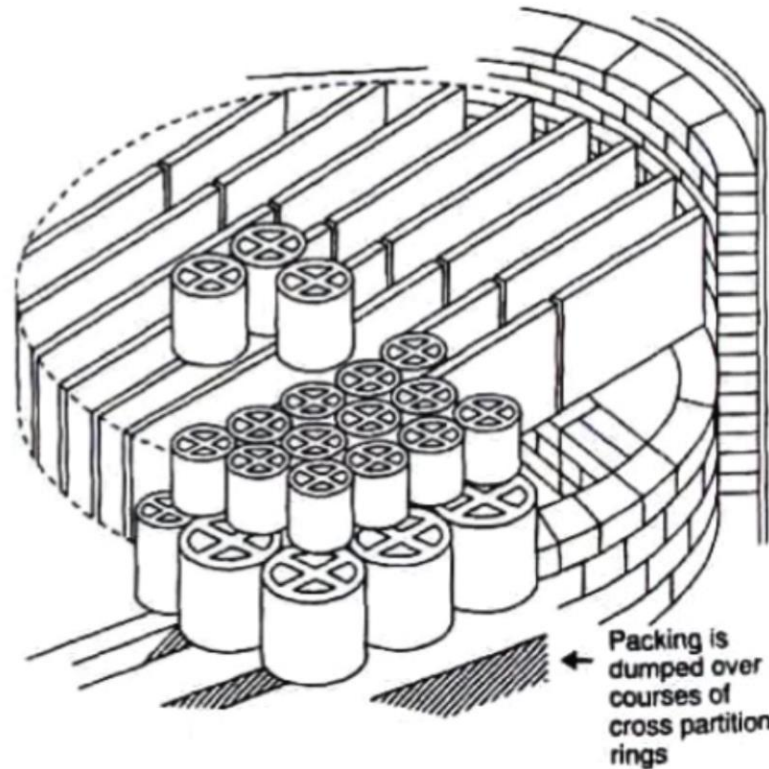
جدول ۲۱-۱: داده‌های مربوط به انواع مختلف آکنه‌ها

	Size		Bulk density (kg/m ³)	Surface area a (m ² /m ³)	Packing factor F_p m ⁻¹
	in.	mm			
Raschig rings ceramic	0.50	13	881	368	2100
	1.0	25	673	190	525
	1.5	38	689	128	310
	2.0	51	651	95	210
	3.0	76	561	69	120
Metal (density for carbon steel)	0.5	13	1201	417	980
	1.0	25	625	207	375
	1.5	38	785	141	270
	2.0	51	593	102	190
	3.0	76	400	72	105
Pall rings metal (density for carbon steel)	0.625	16	593	341	230
	1.0	25	481	210	160
	1.25	32	385	128	92
	2.0	51	353	102	66
	3.5	76	273	66	52
Plastics (density for polypropylene)	0.625	16	112	341	320
	1.0	25	88	207	170
	1.5	38	76	128	130
	2.0	51	68	102	82
	3.5	89	64	85	52
Intalox saddles ceramic	0.5	13	737	480	660
	1.0	25	673	253	300
	1.5	38	625	194	170
	2.0	51	609	108	130
	3.0	76	577		72



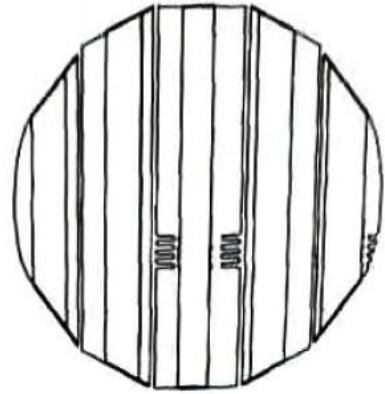
اجزای داخلی برج

• نگهدارنده‌های آکنه‌ها

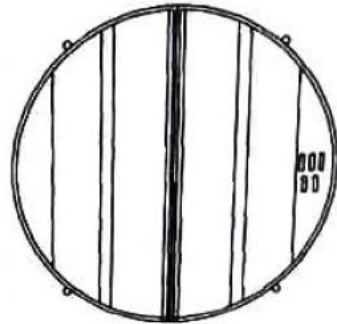


شکل ۷-۲۱: استفاده از آکنه‌های بزرگ برای نگهداری آکنه‌های کوچک در نگهدارنده‌های شبکه‌ای





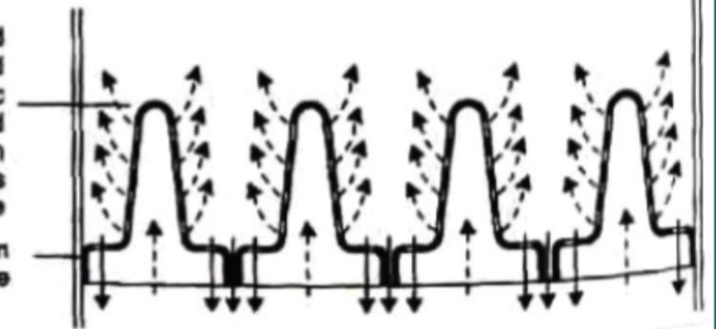
(a)



(b)

شکل ۲۱-۹: نوعی طراحی نگهدارنده Gas-Injection (a) برج با قطر کوچک (b) برج با قطر بزرگ

Gas is distributed
directly into packed
bed—no hydrostatic
head—gas and liquid
flow through
separate openings
in plate
Gas-injection
support plate



شکل ۲۱-۸: اصول نگهدارنده‌های نوع Gas-Injection

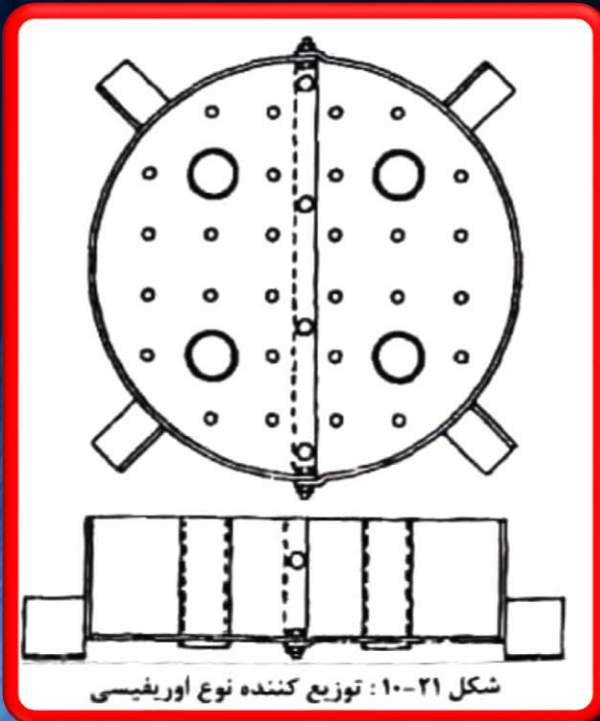


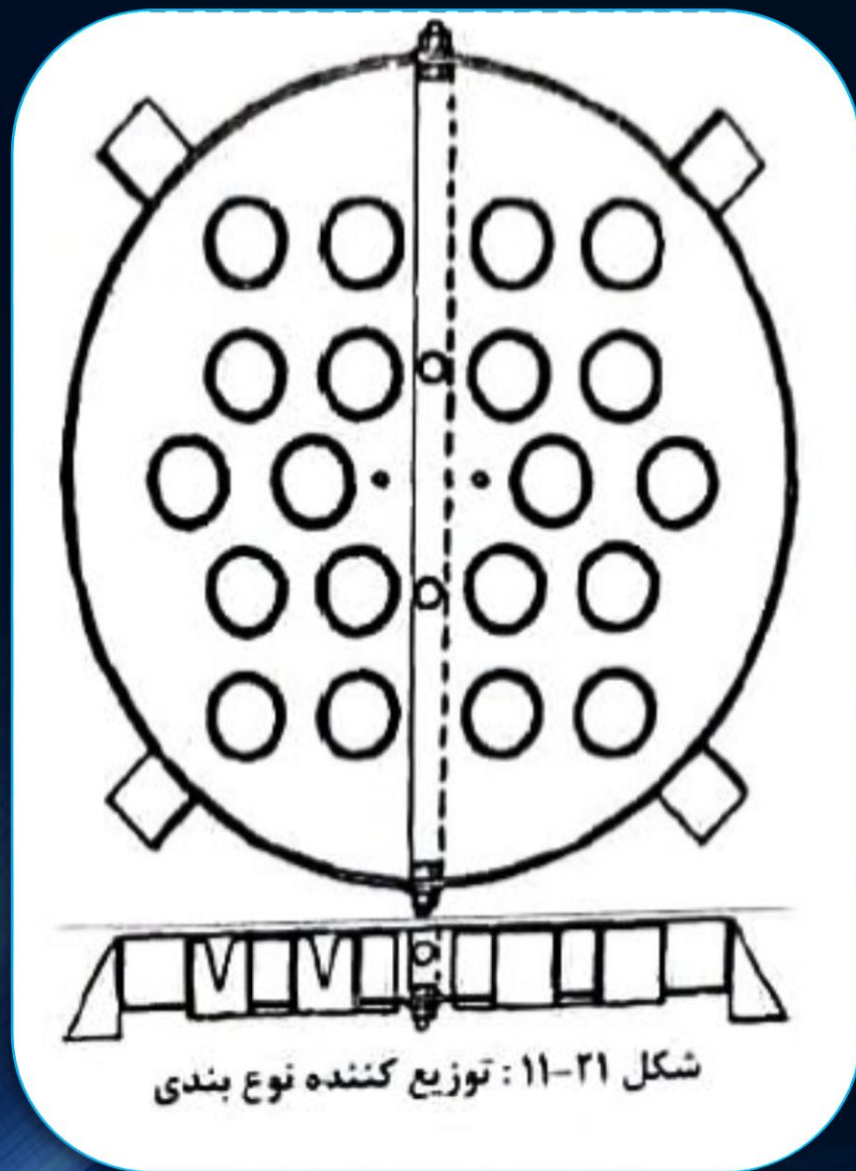
توزیع کننده مایع

- عملکرد مناسب وابسته به ← نگهداری یکنواخت جریان مایع در طول برج توزیع اولیه مناسب مایع ضروری

- انواع مختلفی توزیع کننده مایع وجود دارد.

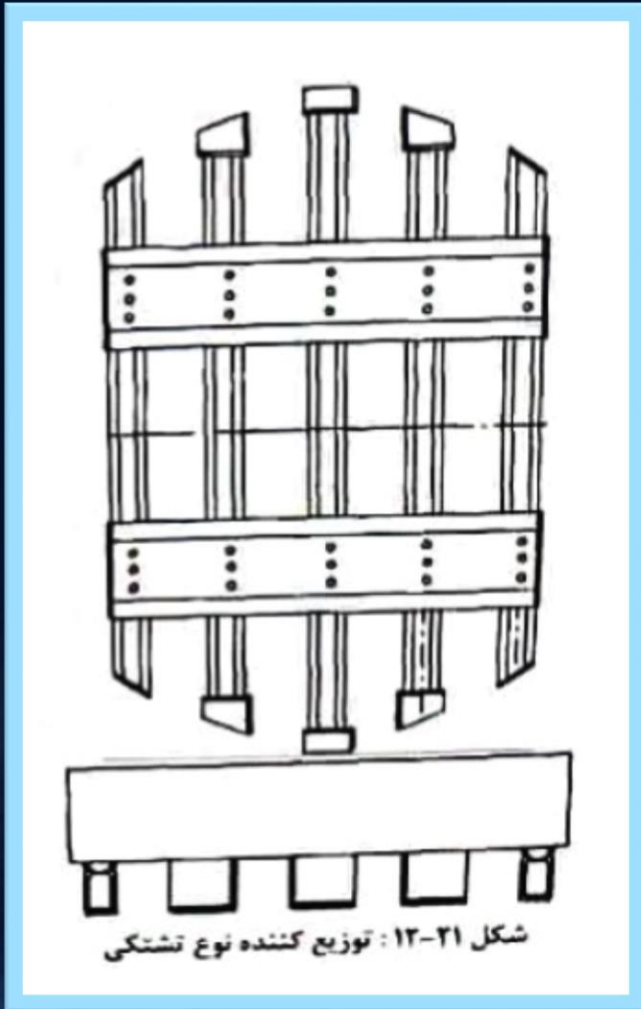
- برج ها با قطر کوچک از لوله خوراک در مرکز برج و یا از یک نازل پاشنده





لوله های عبور گاز باید طوری طراحی شوند که سطح کافی برای عبور جریان گاز بدون ایجاد افت فشار مشهود ایجاد کنند.

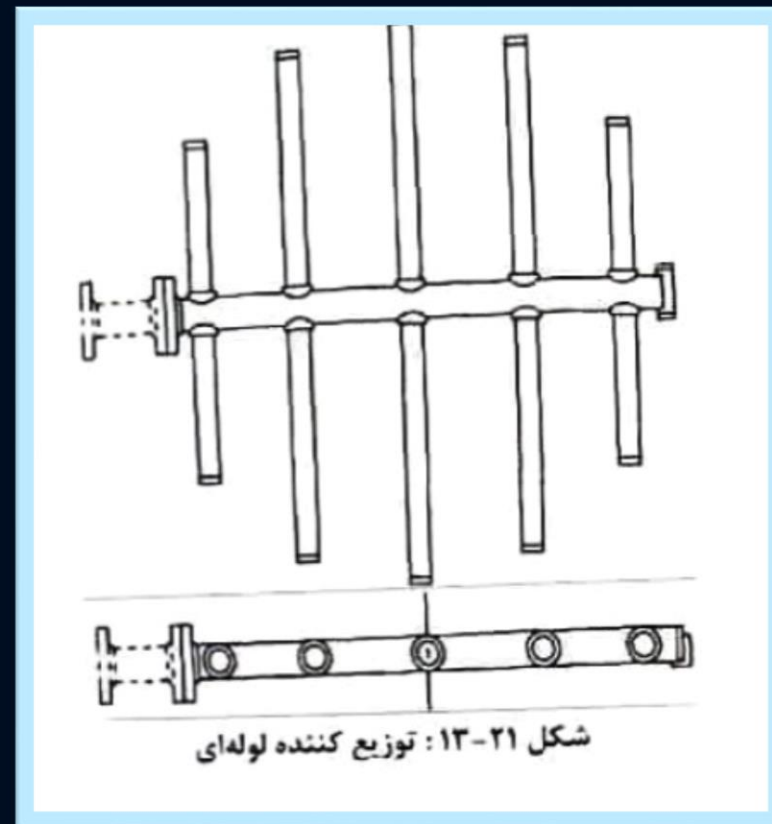




برای برج ها با قطر زیاد
مایع را خوب توزیع میکند و سطح وسیعی را
برای عبور جریان گاز ایجاد میکند.

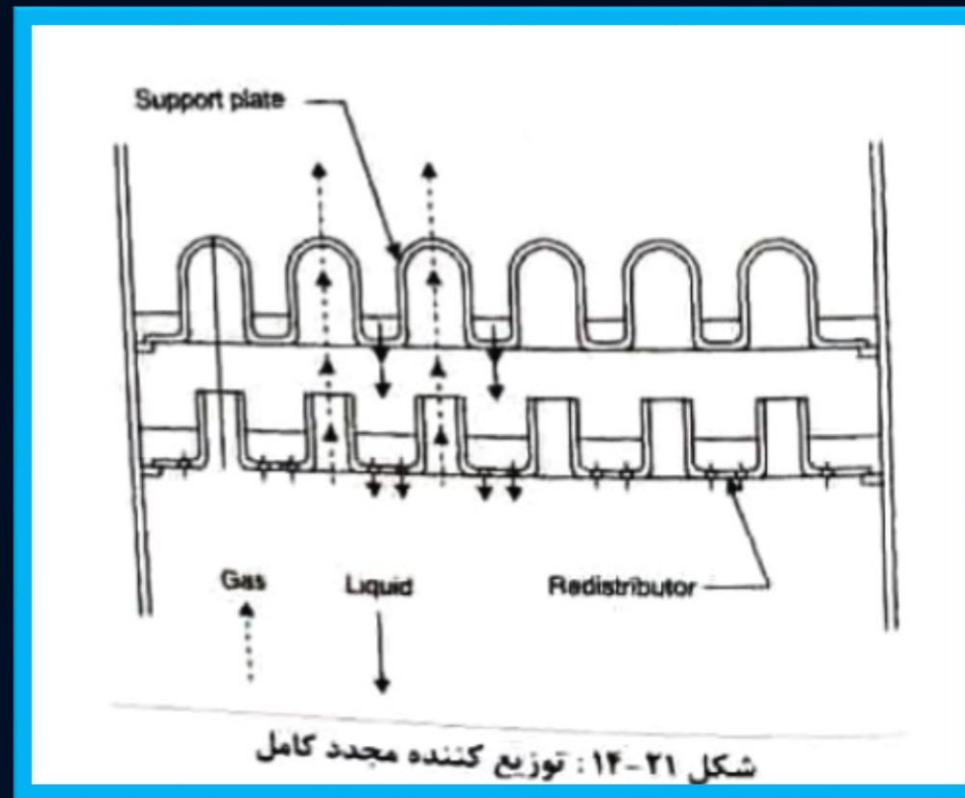


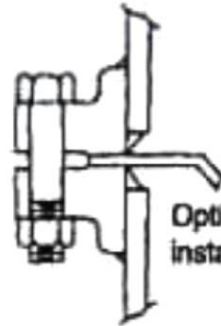
خوراک در فشاری پایینتر از فشار برج وارد شود و
دبی ثابت باشد.



توزیع کننده مجدد

- هدف از توزیع کننده مجدد جمع آوری و توزیع مجدد مایعاتی است که روی دیواره جریان دارد.





Optional installation
installed between tower flanges

شكل ٢١-١٥ : توزيع كتنده مجدد Wall-Wiper



نصب آکنه ها

- آکنه های سرامیکی و فلزی را عموماً داخل برج که از مایع پر شده میریزند .
- روش مرطوب
- ارتفاع آب بالاتر از سطح آکنه ها
- آکنه های سرامیکی را نباید از ارتفاع بیش از یک متر رها کرد.

تجمع مایع و کمکی های برج

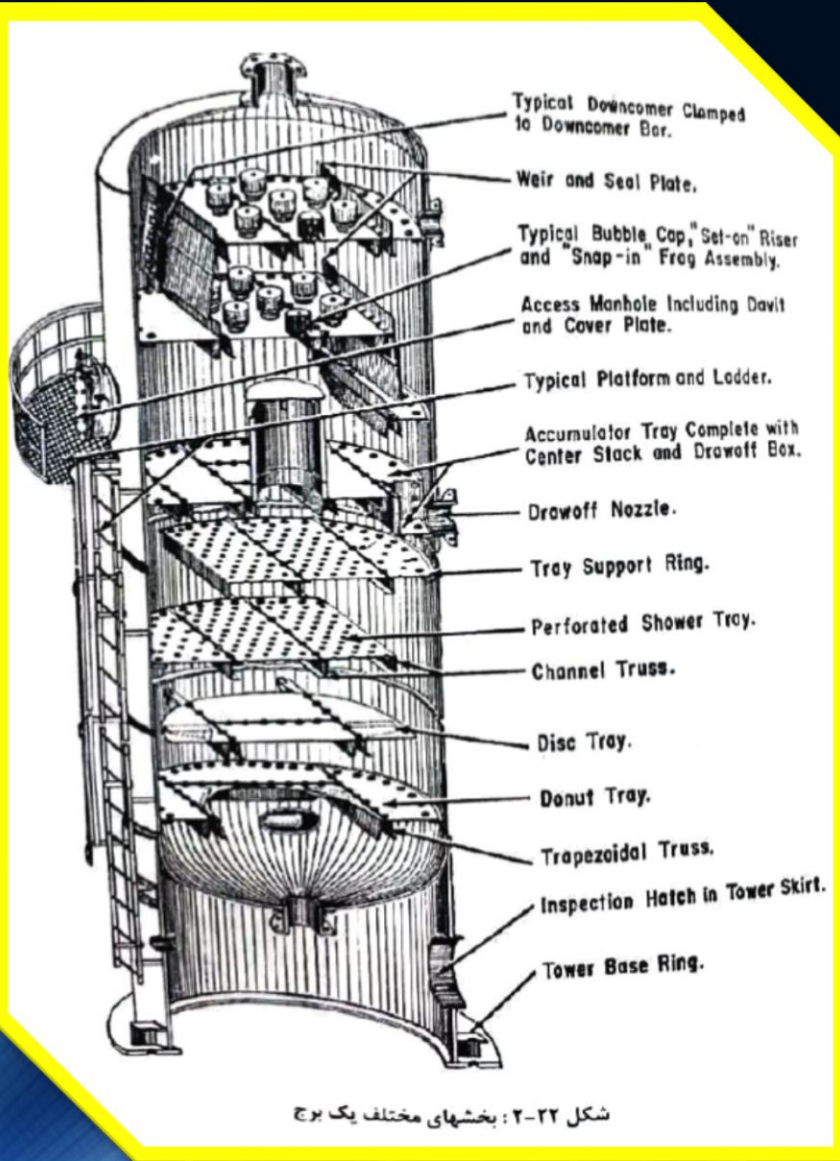
operation	Time minutes
Feed to a train of columns	10-20
Between columns	5-10
Feed to a column from storage	2-5
Reflux drum	5-15

میزان تجمع ← ۲۵٪ وزن آکنه ← آکنه سرامیکی



برج‌های تقطیر

• انواع سینی‌های برجها



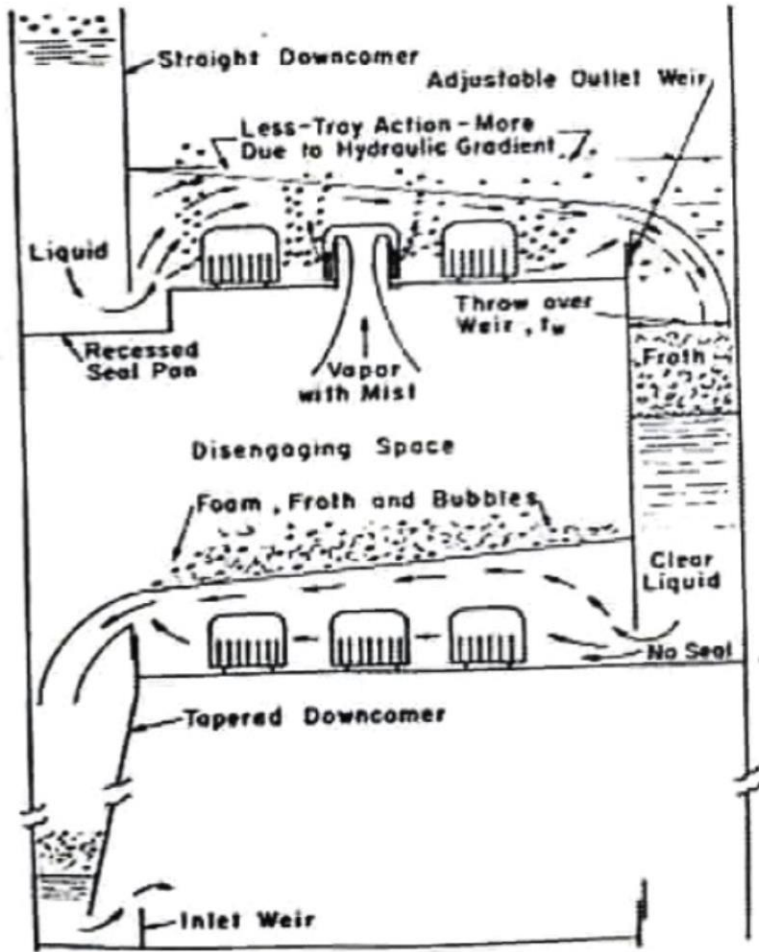
دریچه ای

کلاهکی

سوراخ دار



سینی های کلاهکی



شکل ۲۲-۱: بخشهای مختلف سینی کلاهکی

✓ کاربرد: دارای چند کلاهک و نوع کلاهک در نحوه توزیع حباب ها تاثیر زیادی دارد.

✓ بازده: بازده بیشتری نسبت به انواع دیگر دارد. افت فشار بالا، قیمت بالا، کمتر مورد استفاده قرار میگیرد.

✓ فاصله بین سینی ها: در حالت معمول ۱۸ اینچ، در خلا فاصله آنها ۲۴-۳۶ اینچ



سینی های سوراخدار

✓ **عملکرد** : به دو صورت با ناودانی و بدون ناودانی . در حالت با ناودانی : مایع از طریق ناودان به سینی پایین . در حالت بدون ناودان : مایع از طریق سوراخ به سینی پایین

✓ **بازدهی** : بازده کمتری دارند . به خاطر ساده بودن سیستم کارکرد ، طراحی ، قیمت پایین و افت فشار کم اکثرا استفاده میشوند.

✓ **کاربرد** : در سیستم ها با دبی بالا و پیوسته

✓ **فاصله بین سینی ها** : ۱۵ اینچ در خلا بین ۲۰-۳۰ اینچ

سینی های درپیه ای

از لحاظ قیمت و افت فشار بین دو نوع قبل است.

معمولا بهترین گزینه برای تقطیر است .



فراريت نسبي

$$K_i = \frac{Y_i}{X_i}$$

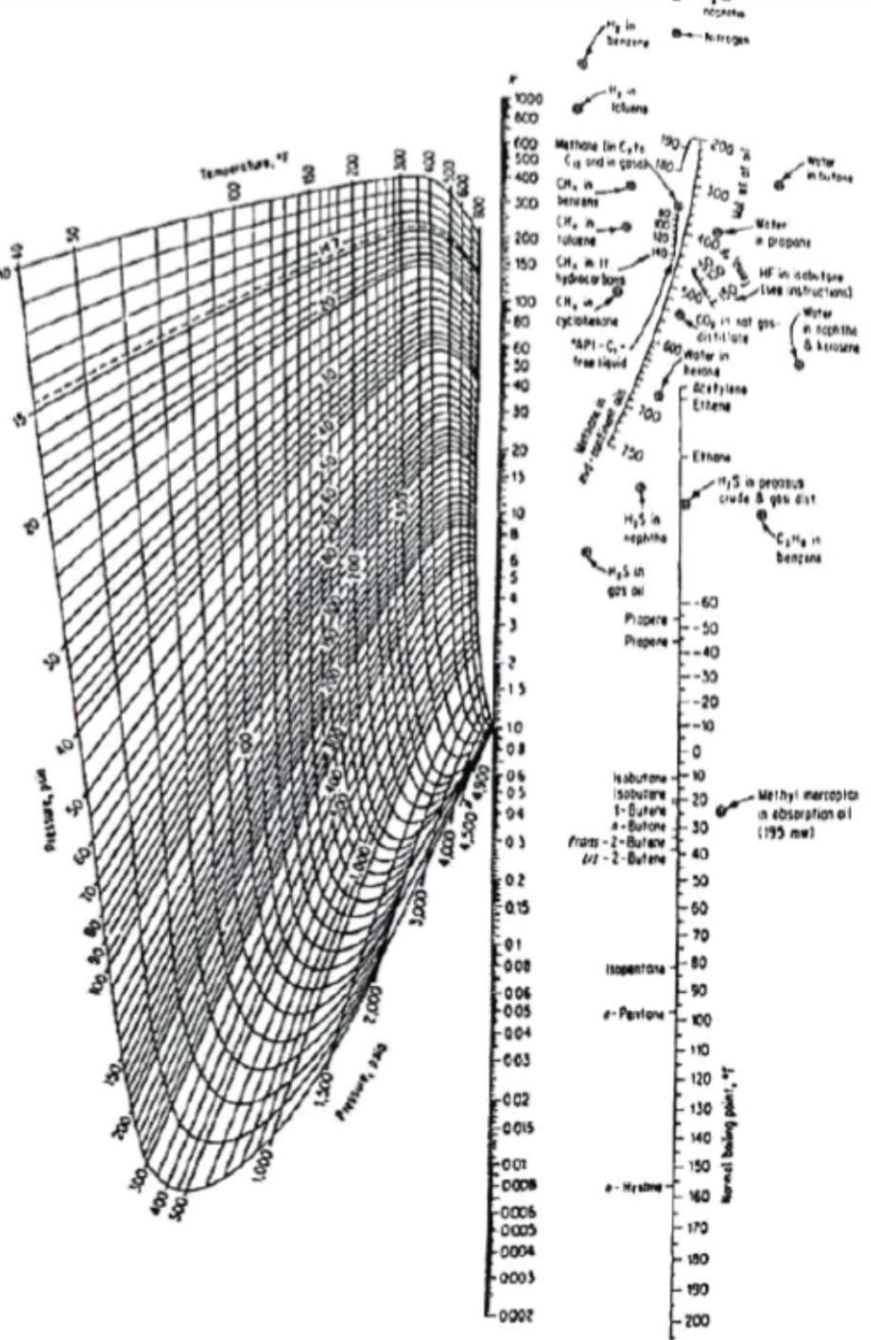
$$\alpha_y = \frac{K_i}{K_j} = \frac{y_i(1 - x_i)}{x_j(1 - y_j)} \Rightarrow \frac{y_i}{1 - y_j} = K_i \left(\frac{x_i}{1 - x_j} \right)$$

$$P_i \times X_i = P_j \times Y_j$$

$$\frac{P_i}{P_j} = \frac{Y_j}{X_i}$$

$$\alpha = \frac{P_i}{P_j}$$

Y_i : درصد مولی جز، در فاز بخار
 X_i : درصد مولی جز، در فاز مایع
 P_i : فشار جزئی جز،
 P_j : فشار بخار جز



شکل ۲۲-۴: منحنی نسبت تبخیر



مراقله جریان برگشتی

• مخلوط چند تایی ← روش Underwood

$$\sum_1^n \frac{X_{iF} \times \alpha_i}{\alpha_i - \theta} = 1 - q = \frac{X_{1F} \times \alpha_1}{\alpha_1 - \theta} + \frac{X_{2F} \times \alpha_2}{\alpha_2 - \theta} + \dots \quad 1$$

$$R_m + 1 = \sum_1^n \frac{\alpha_i \times X_{iD}}{\alpha_i - \theta} \quad 2$$

$$\frac{\alpha \times X_F}{\alpha - \theta} + \frac{1 - X_F}{1 - \theta} = 1 - q \quad 3$$
$$(1 - q) \times \theta^2 + [(\alpha - 1) \times X_F + q \times (\alpha + 1) - \alpha] \times \theta - \alpha \times q = 0$$

$$4 \quad q = 1 \rightarrow \theta = \alpha - (\alpha - 1) \times X_F$$

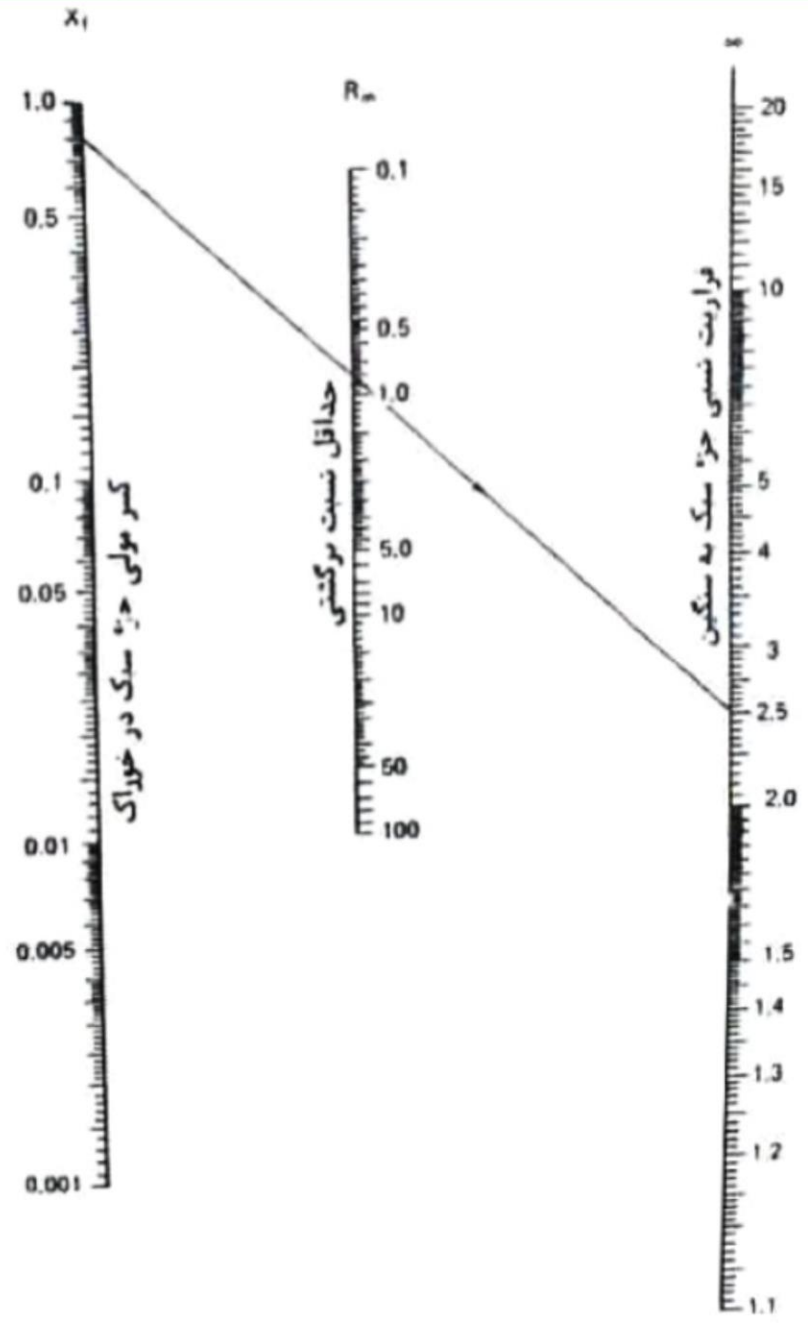
$$5 \quad q = 0 \rightarrow \theta = \frac{\alpha}{(\alpha - 1) \times X_F + 1}$$

$$6 \quad R_m = -1 + \frac{\alpha \times X_D}{\alpha - \theta} + \frac{1 - X_D}{1 - \theta}$$

$$7 \quad R_m = \frac{1}{(\alpha - 1) \times X_F}$$

α_i : فرایت نسبی جز i
 θ : مینیمم ثابت برگشتی Underwood
 X_{iF} : جز مولی i در خوراک
 X_{iD} : جز مولی i در ماده تقطیر شده
 q : شرایط گرمایی خوراک





شکل ۲۲-۵: محاسبه حداقل جریان برگشتی

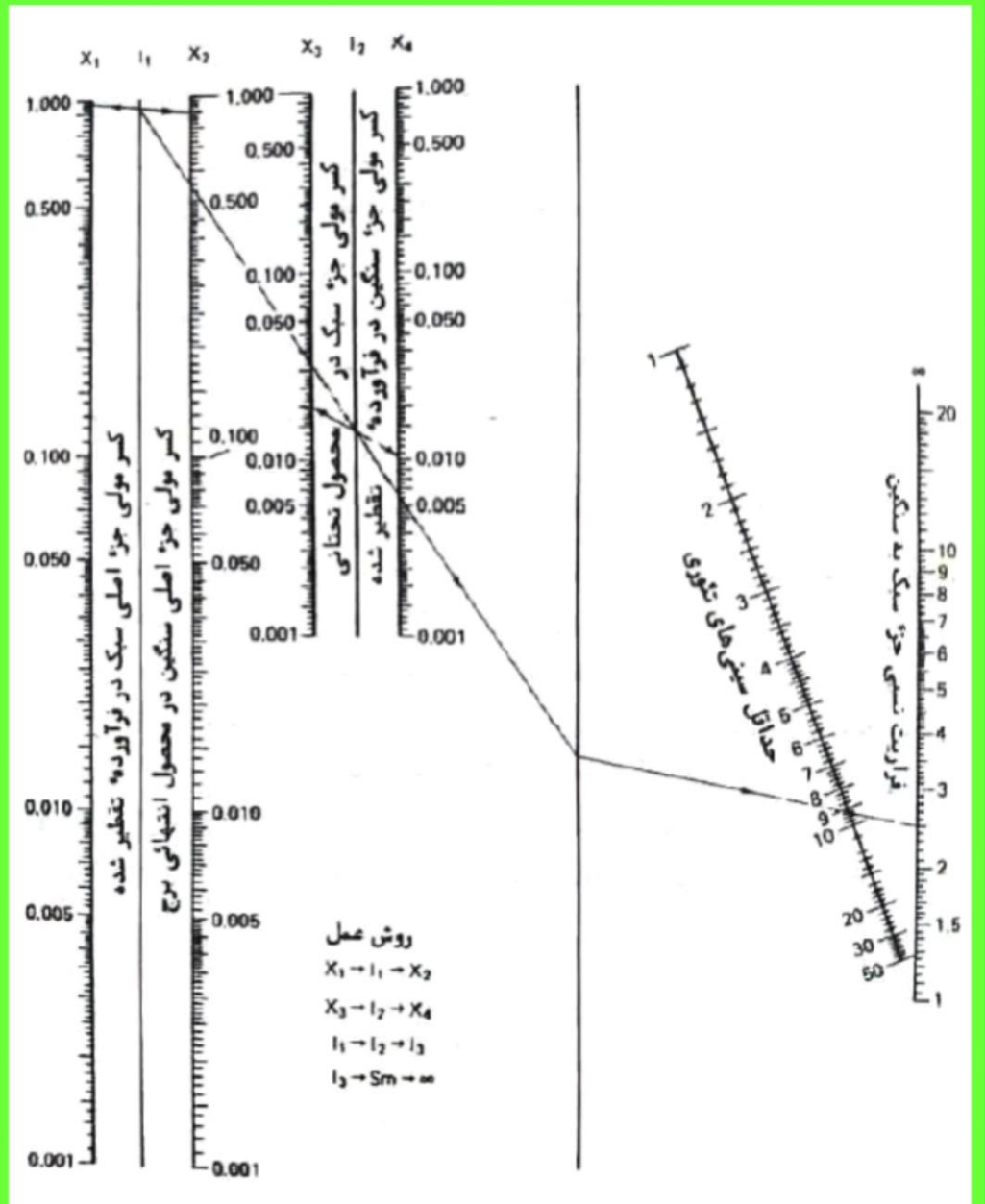


تعداد مراحل انتقال جرم

$$N_m = \frac{\ln[(X_D/X_B) a / (X_D/X_B)_{hk}]}{\ln(\alpha_{lk} / \alpha_{th})} = \frac{\ln[(d/b)_{1k} / (d/b)_{ht}]}{\ln(\alpha_k / \alpha_{th})}$$

$$N_t = 2 \times (N_m - 2)$$

- B : نشانگر BOTTOM
- D : نشانگر distillation
- Hk : نشانگر جز کلیدی سنگین
- Lk : نشانگر جز کلیدی سبک
- N_m : مینیمم مراحل تئوری در رفلکس کامل
- X_B : جز مولی جز کلیدی سنگین
- X_D : جز مولی جز سبک



شکل ۲۲-۶: محاسبه تعداد حداقل سینی های تئوری در ستون تقطیر



جریان برگشتی و تعداد مراحل واقعی

$$R = (1.2 - 1.5) \times R_m$$

$$R = 1.35 \times R_m$$

$$X = \frac{N_m}{N}$$

$$Y = \frac{R}{R + 1}$$

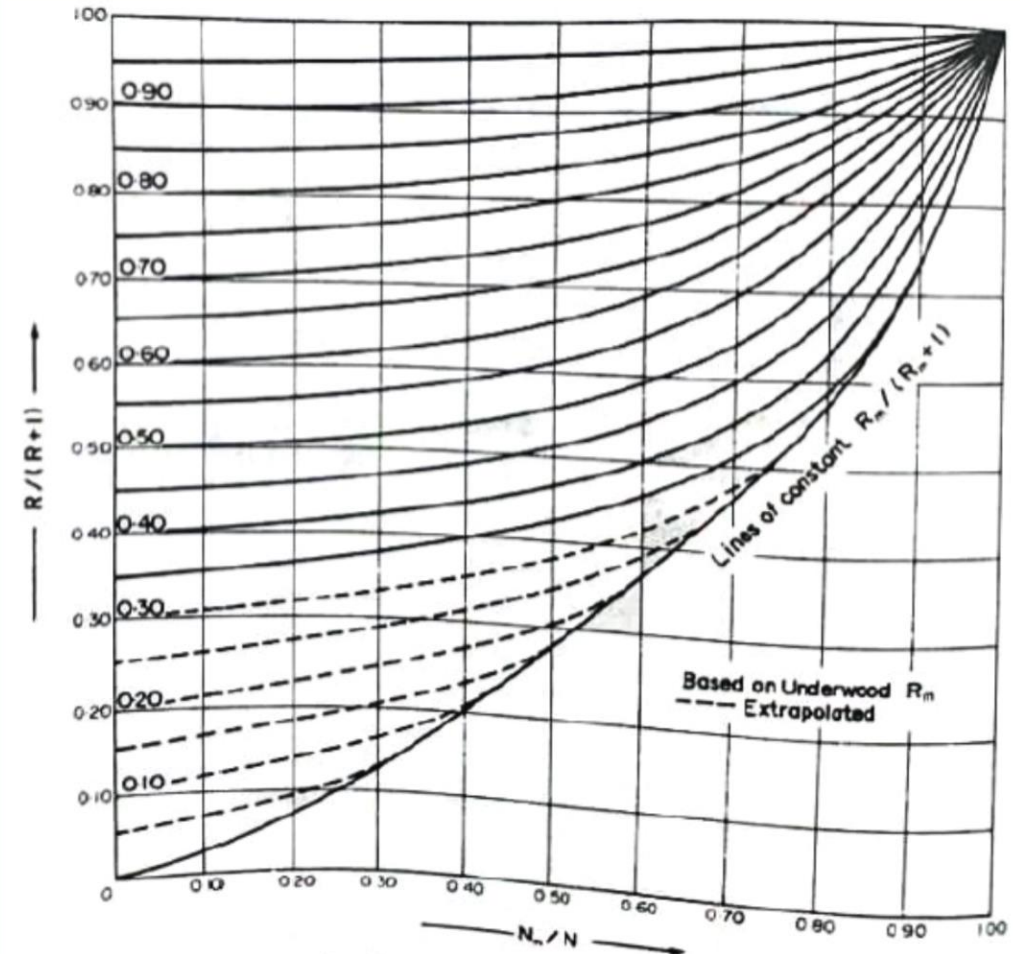
$$Z = \frac{R_m}{R_m + 1}$$

$$Y = A + B \times X + C \times X^2 + D \times X^3 + E \times X^4 + F \times X^5$$



جدول ۲۲-۱: جدول ضرایب معادله Erbar/Maddox

Z	A	B	C	D	E	F
0	0.00035	0.16287	-0.23193	5.09032	-8.50815	4.48718
0.1	0.09881	0.32725	-2.57575	10.20104	-12.82050	5.76923
0.2	0.19970	0.14236	-0.58646	2.60561	-3.12499	1.76282
0.3	0.29984	0.09393	-0.23913	1.49008	-2.43880	1.79486
0.4	0.40026	0.12494	-0.49585	2.18536	-3.27068	2.08333
0.5	0.50049	-0.03058	0.81585	-2.61655	3.61305	-1.28205
0.6	0.60063	-0.00792	0.60063	-2.06912	3.39816	-1.52243
0.7	0.70023	-0.01109	0.45388	-1.25263	1.94348	-0.83334
0.8	0.80013	-0.1248	0.76154	-2.72399	3.85707	-1.68269
0.9	0.89947	0.00420	0.38713	-1.14962	1.40197	-0.54487
1.0	1.0	0	0	0	0	0



شکل ۲۲-۷: منحنی معادله Erbar/Maddox

تعداد مرادف واقعی

1. erbar /Maddox

2. بعد از محاسبه تعداد سینی های تئوری تعداد واقعی سینی ها محاسبه میشود با تقسیم کردن تعداد سینی های تئوری به میانگین بازدهی کل سینی ها محاسبه میشود .

$$N_R = \frac{N_t}{E}$$

جدول ۲۲-۲: بازده کلی سینی % برای تفکیک گرها

ویسکوزیته cP	Maxwell متوسط ویسکوزیته روی هر سینی	Ludwig متوسط ویسکوزیته خوراک
0.05	98
0.10	104	79
0.15	86	70
0.20	76	60
0.30	63	50
0.40	56	42
0.50	50	36
0.60	46	31
0.70	43	27
0.80	40	23
0.90	38	19
1.00	36	17
1.50	30	7
1.70	28	5



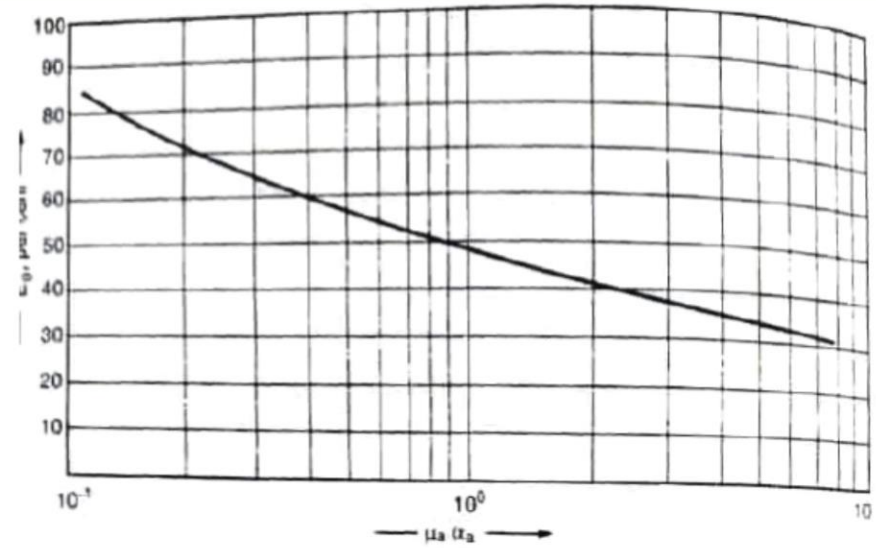
$$E_a = 51 - 32.5 \times \log (\mu_a \times \alpha_a)$$

μ_a : ویسکوزیته موی متوسط مایع cp
 α_a : فرایت متوسط جز سبک

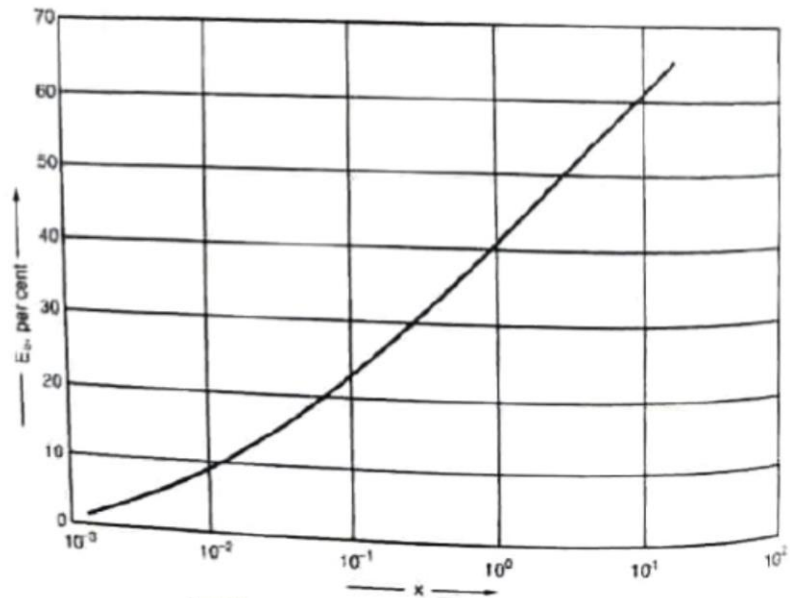
جدول ۲۲-۳: بازده کلی سینی % (O'Connell)

فاکتور همبستگی	تفکیک گر	جذب $\frac{HP}{\mu} = \frac{\rho}{K.M.\mu}$
0.01	--	8
0.05	--	17
0.10	87	22
0.15	80	23
0.20	74	26
0.30	67	29
0.40	62	32
0.50	57	33
0.60	55	35
0.70	52	36
0.80	51	37
0.90	49	38
1	48	39
1.5	44	42
2	41	45
3	37	48
4	35	52
5	33	53
6	32	56
7	32	57
8	31	58
9	--	60
10	--	61

H: ثابت هنری
 μ : ویسکوزیته cP
K: معادله K از اجزاء کلیدی
P: فشار بر حسب اتمسفر
 ρ : دانسیته lbs/ft³
M: وزن مولکولی مایع



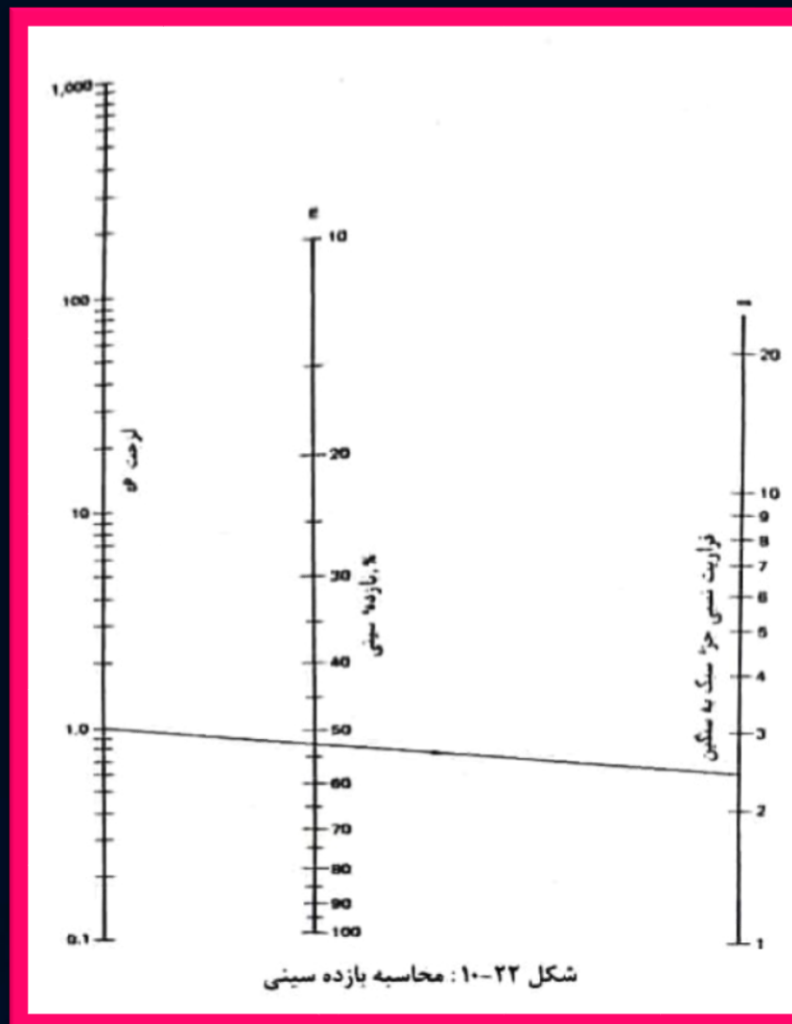
شکل ۸-۲۲: بازده برج تقطیر با سینی Bubble-Cap



شکل ۹-۲۲: بازده برج جذب با سینی bubble-cap

3. در صورت موجود بودن مقادیر μ

$$E = 63 \times (\alpha \times \mu)^{-0.212}$$



$$Y = \frac{N - N_m}{N + 1} = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54.4 \times X}{11 + 117.2 \times X} \right) \times \left(\frac{X - 1}{X^{0.5}} \right) \right]$$

$$X = \frac{R - R_m}{R + 1}$$

$$N = \frac{N_m + Y}{1 - Y}$$



تعیین مدل سینی خوراک

$$\frac{N_R}{N_S} \approx \frac{(N_R)_{Min}}{(N_S)_{Min}} = \frac{\log[(x_{LK,D}/z_{LK,F})(z_{HK,F}/x_{HK,D})]}{\log[(z_{LK,F}/x_{LK,B})(x_{HK,B}/z_{HK,F})]} \frac{\log[(\alpha_B \alpha_F)^{1/2}]}{\log[(\alpha_D \alpha_F)^{1/2}]}$$

$$\frac{N_r}{N_s} \approx \frac{\log(x_l/x_h)_D (x_h/x_l)_F}{\log(x_l/x_h)_F (x_h/x_l)_B}$$

اندیس‌ها نیز به صورت زیر می‌باشند.

h : جزء کلیدی سنگین

l : جزء کلیدی سبک

F : خوراک

D : محصول بالای برج

B : محصول پایین برج

N_r : تعداد سینیهای تئوری بخش بالای برج

N_s : تعداد سینیهای تئوری بخش پایین برج

α : ضریب فراریت

X و Z : کسر مولی اجزا



تعداد سینی‌های واقعی بالای برج در صورتی که کندانسور کلی باشد به صورت زیر بدست می‌آید.

$$(N_{act})_r = N_r / E_0$$

تعداد سینی‌های واقعی بالای برج در صورتی که کندانسور جزئی باشد به صورت زیر بدست می‌آید.

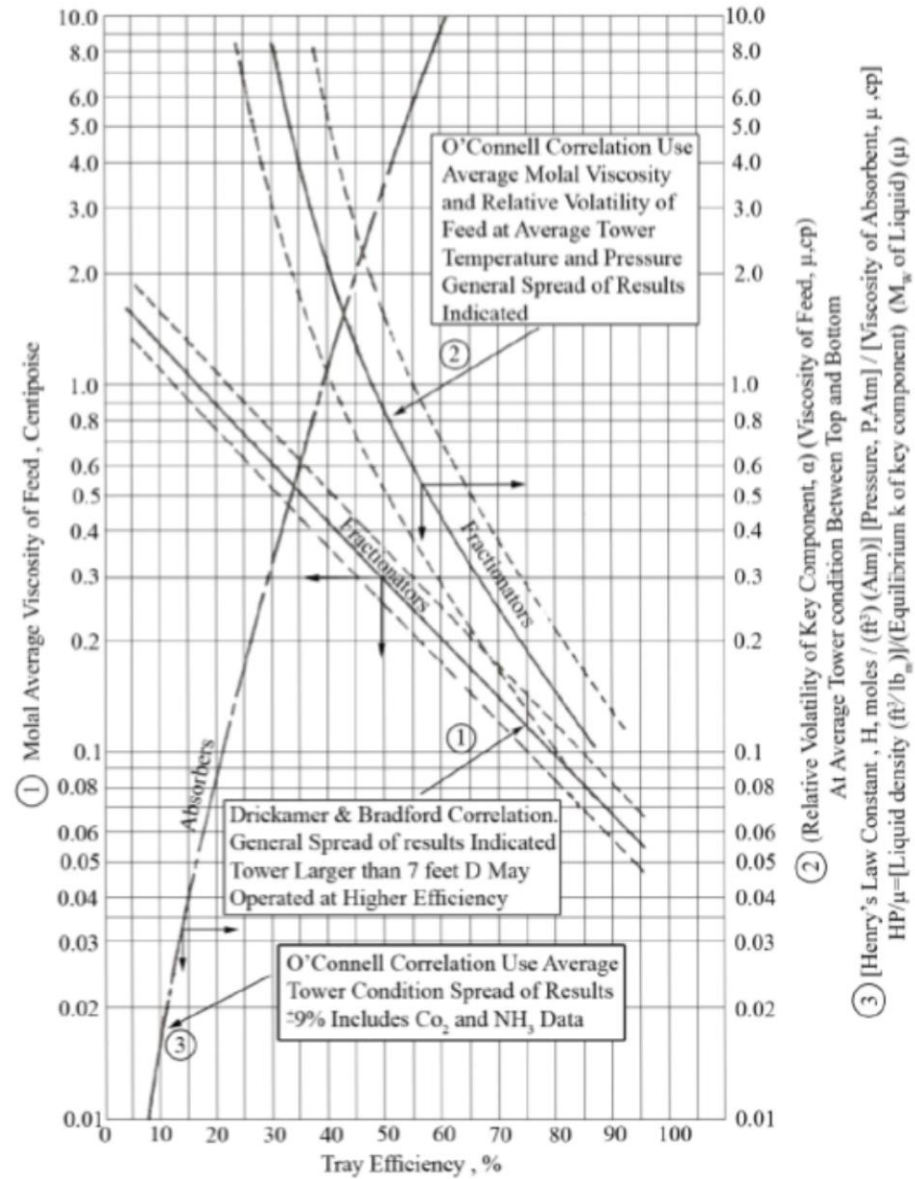
$$(N_{act})_r = (N_r - 1) / E_0$$

تعداد سینی‌های واقعی پایین برج نیز در صورتی که جوش‌آور جزئی باشد به صورت زیر بدست می‌آید.

$$(N_{act})_s = (N_s - 1) / E_0$$

E_0 : راندمان کلی برج





شکل ۴-۲۴: داده‌های تجربی راندمان کلی برای برج‌ها تقطیر و جذب



روش کرکبرایه

$$\log \frac{(N_r)}{(N_s)} = 0.206 \log \left[\frac{B}{D} \left(\frac{x_{hF}}{x_{lF}} \right) \left(\frac{x_{lB}}{x_{hD}} \right)^2 \right]$$

N_r : تعداد سینی‌های بالای سینی خوراک

N_s : تعداد سینی‌های پایین سینی خوراک

D : دبی محصول بالای برج $mole/hr$

B : دبی محصول پایین برج $mole/hr$

اندیس‌ها نیز به صورت زیر می‌باشند.

h : جزء کلیدی سنگین

l : جزء کلیدی سبک

F : خوراک

D : محصول بالای برج

B : محصول پایین برج



- یک مخلوط در شرایط $q=0.8$ و $P=10$ bar موجود است. میخواهیم که ۹۸٪ از جز C و ۱٪ از جز E در بالای برج جدا شود. نسبت جریان برگشتی و تعداد مراحل مورد نیاز را پیدا کنید در جدول زیر اطلاعات مورد نیاز آورده شده است.

جدول ۲۲-۴: ضرایب معادلات

	α	f	d	b
<i>A</i>	3.1	0.03	0.0300	$[1.5(E-5)]$
<i>B</i>	2.6	0.07	0.0698	0.0002
<i>C_{lk}</i>	2.2	0.15	0.147	0.003
<i>D</i>	1.3	0.33	0.0481*	$[0.2819]^*$
<i>D_{lk}</i>	1.0	0.30	0.003	0.297
<i>F</i>	0.8	0.12	0.000	0.1200

* این مقادیر در حداکثر جریان برگشتی رخ می‌دهد.



حداقل تعداد مراحل :

$$N_m = \frac{\text{Ln}[(0.147/0.003)/(0.003/0.297)]}{\text{Ln}(2.2/1.0)} = 10.76$$

جدول ۲۲-۴ : ضرایب معادلات

	α	f	d	b
A	3.1	0.03	0.0300	[1.5(E-5)]
B	2.6	0.07	0.0698	0.0002
C _{lk}	2.2	0.15	0.147	0.003
D	1.3	0.33	0.0481*	[0.2819]*
D _{lk}	1.0	0.30	0.003	0.297
F	0.8	0.12	0.000	0.1200

* این مقادیر در حداکثر جریان برگشتی رخ می‌دهد

توزیع جز A

$$\left(\frac{d}{b}\right)_i = \left(\frac{f-b}{b}\right) = \left(\frac{d}{b}\right)_{lk} \times \left(\frac{\alpha_i}{\alpha_{lk}}\right)^{N_m}$$

$$= \left(\frac{0.147}{0.003}\right) \times \left(\frac{3.1}{2.2}\right)^{10.76} = 1962$$

$$b_i = \frac{f_1}{1 + (d/b)_1} = \frac{0.03}{1 + 1962} = 1.5 \times (E - 5)$$

$$d_i = f_2 - b_i = 0.03 - 1.5(E - 5) = 0.300$$



- نوع دیگر اجزا نیز به روش مشابه قابل محاسبه است. حال نوبت محاسبه مینیمم ثابت برگشتی **underwood** میباشد.

$$1 - 0.8 = \frac{3.1 \times 0.03}{3.1 - \theta} + \frac{2.6 \times 0.07}{2.6 - \theta} + \frac{2.2 \times 0.15}{2.2 - \theta} + \frac{1.3 \times 0.33}{1.3 - \theta} + \frac{1 \times 0.3}{1 - \theta} + \frac{0.8 \times 0.12}{0.8 - \theta}$$

$$\theta_1 = 1.8817, \theta_2 = 1.124023$$

- مقدار d_D و حداقل جریان برگشتی به روش زیر محاسبه میشود:

$$\begin{aligned} (R_m + 1) \times D &= (R_m + 1)(0.2498 + d_D) \\ &= \frac{3.1 \times 0.03}{3.1 - \theta_1} + \frac{2.6 \times 0.07}{2.6 - \theta_1} + \frac{2.2 \times 0.147}{2.2 - \theta_1} + \frac{1.3 \times d_D}{1.3 - \theta_1} + \frac{0.003}{1 - \theta_1} \\ &= \frac{3.1 \times 0.03}{3.1 - \theta_2} + \frac{2.6 \times 0.07}{2.6 - \theta_2} + \frac{2.2 \times 0.147}{2.2 - \theta_2} + \frac{1.3 \times d_D}{1.3 - \theta_2} + \frac{0.003}{1 - \theta_2} \end{aligned}$$

جدول ۲۲-۴: ضرایب معادلات

	α	f	d	b
A	3.1	0.03	0.0300	[1.5(E-5)]
B	2.6	0.07	0.0698	0.0002
C _{jk}	2.2	0.15	0.147	0.003
D	1.3	0.33	0.0481*	[0.2819]*
D _{jk}	1.0	0.30	0.003	0.297
F	0.8	0.12	0.000	0.1200

* این مقادیر در حداقل جریان برگشتی رخ می‌دهد

- با قرار دادن $\theta_1 = 1.8817, \theta_2 = 1.124023$ در رابطه بالا داریم:

$$d_D = 0.09311$$

$$D = 0.2498 + 0.09311,$$

$$(R_m + 1) \times D = 1.1342$$

$$R_m = 2.3077$$

$$R = 1.2 * R_m = 1.2 * 2.3077 = 2.7692$$



روش erbar / maddox جهت محاسبه تعداد مراحل واقعی :

$$X = \frac{N_m}{N} = \frac{10.76}{N}$$

$$Y = \frac{R}{R + 1} = \frac{2.7692}{2.7692 + 1} = 0.7347$$

$$Z = \frac{R_m}{R_m + 1} = \frac{2.3077}{2.3077 + 1} = 0.6977$$

با استفاده از نمودار تقریبا $0.45=X$ به دست می آید که در نتیجه $N=10.76/0.45=23.9$ به دست می آید.





روش Gilliland جهت محاسبه تعداد مراحل واقعی :

$$X = \frac{R - R_w}{R + 1} = \frac{2.7692 - 2.3077}{2.7692 + 1} = 0.1225$$

$$Y = 1 - \exp \left[\left(\frac{1 + 54.4 \times 0.1225}{11 + 117.2 \times 0.1225} \right) \times \left(\frac{0.1225 - 1}{0.1225^{0.5}} \right) \right] = 0.5313$$

$$N = \frac{N_m + Y}{1 - Y} = \frac{10.76 + 0.5313}{1 - 0.5313} = 24.1$$

همانطور که میبینید روش Gilliland سریعتر شما را به جواب رساند . باید دقت کرد که با توجه به اطلاعات موجود ساده ترین روش را انتخاب کنید . برای محاسبه سینی خوراک از روش UNDERWOOD-FENSKE استفاده میکنیم .

$$\frac{N_r}{N_s} = \frac{\ln[(d/f)_{lk}/(d/f)_{hk}]}{\ln[(f/b)_{lk}/(f/b)_{hk}]} = \frac{\ln[(X_d/X_f)_{lk}/(X_d/X_f)_{hk}]}{\ln[(X_f/X_b)_{lk}/(X_f/X_b)_{hk}]}$$

$$\frac{N_{dom}}{N_{idin}} = \frac{\ln[(0.147/0.15)/(0.003/0.300)]}{\ln[(0.15/0.003)/(0.3/0.297)]} = 1.175$$

داریم که $N_a + N_b = 24.1$ در نتیجه برای خط خوراک داریم :

$$\text{feed_tray} = \frac{24.1}{1 + 1/1.175} = 13$$



- حال برای مقایسه از روش KIRKBRIDE برای محاسبه سینی خوراک استفاده میکنیم .

$$\frac{N_r^*}{24 - N_r^*} = \left[\frac{0.6572}{0.3428} \times \left(\frac{0.30}{0.15} \right) \times \left(\frac{0.003/0.6572}{0.003/0.3428} \right)^2 \right]^{0.206} = 1.0088$$

$$N_r^* = 12.05$$

$$N_r = 12.05 - 0.5 \times \log(24) = 10.46$$

- در نتیجه تعداد مراحل بالای برج حدود ۱۰.۴۶ بدست می آید . البته این مقدار دقیقتر از ۱۳ است .

$$\frac{N_r^*}{N_t - N_r^*} = \left[\frac{B}{D} \left(\frac{X_{lk}}{X_{hk}} \right)_f \left(\frac{X_{Blk}}{X_{Dhk}} \right)^2 \right]^{0.206}$$

$$\log \frac{(N_r)}{(N_s)} = 0.206 \log \left[\frac{B}{D} \left(\frac{x_{hF}}{x_{lF}} \right) \left(\frac{x_{lB}}{x_{hD}} \right)^2 \right]$$



با تشکر از توجه شما
خدمتگزاران

