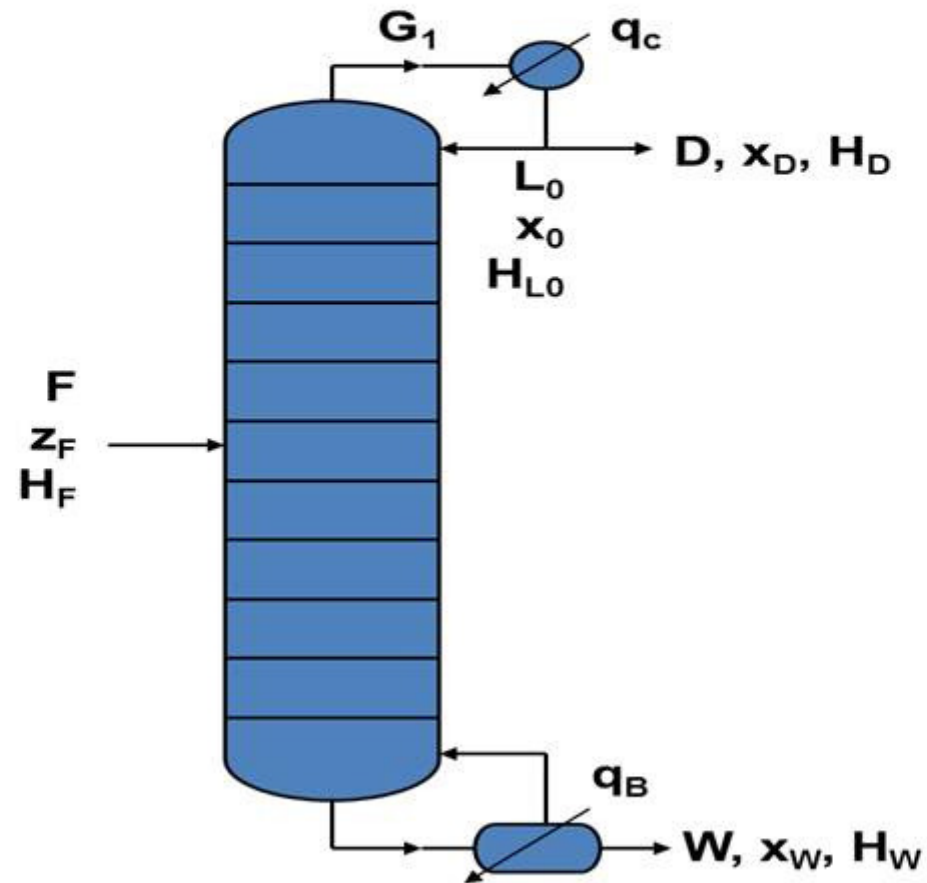
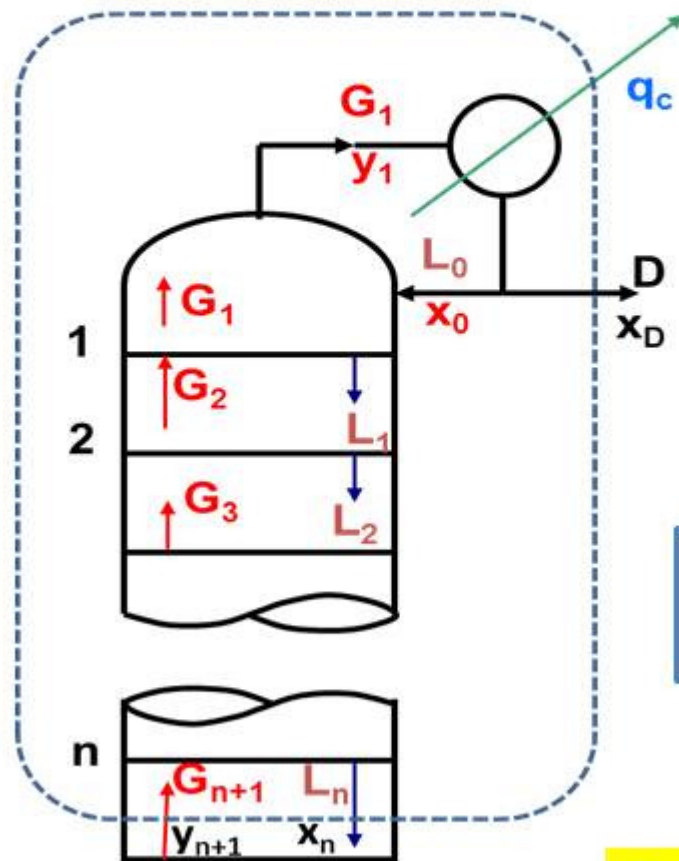


ابتدا این روش برای یک برج تقطیر ساده با یک جریان خوراک و دارای کندانسور کامل ارائه می‌شود،



Rectifying Section Operating Line

معادله خط عملیاتی بالای برج یا بخش غنی سازی (ROL)



کندانسور کامل



$$y_1 = x_D = x_0$$

➤ با توجه به اصل سرریزش و تبخیر با مول‌های مساوی و ثابت برای روش مک‌کیب - تیلی، میزان مول مایعی که در واحد زمان از هر سینی رو به پایین سرازیر می‌شود (L) و میزان مول بخاری که در واحد زمان از هر سینی رو به بالا می‌رود (G)، مقادیر ثابتی هستند:

$$L_0 = L_1 = L_2 = \dots = L_{n-1} = L_n = L$$

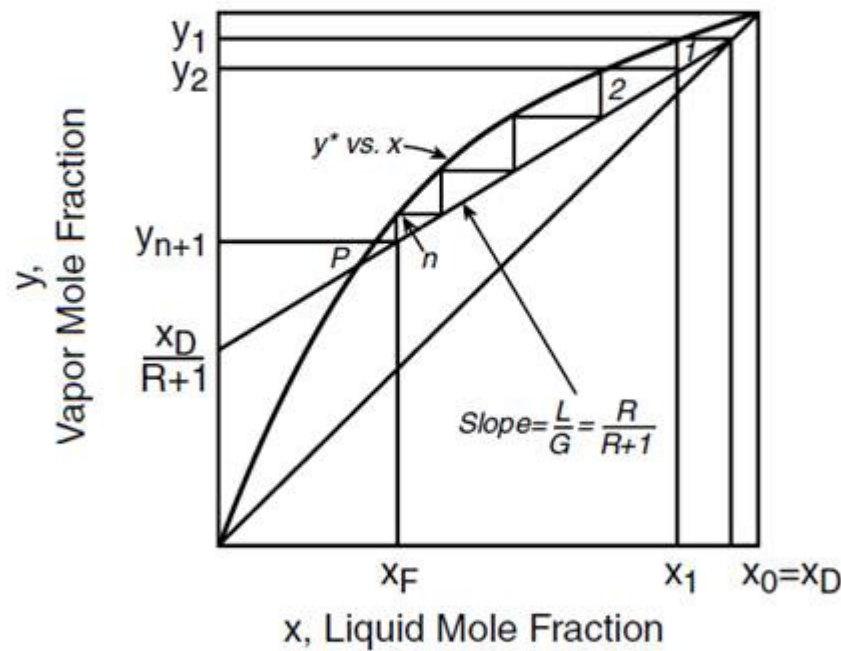
$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = G_n = G_{n+1} = G$$

➤ موازنه‌های جرم کلی و جزئی برای جزء فرار در قسمت بالای برج برای سینی n ام به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$G_{n+1} = L_n + D \Rightarrow G = L + D$$

$$G_{n+1}y_{n+1} = L_nx_n + Dx_D \Rightarrow Gy_{n+1} = Lx_n + Dx_D$$

➤ با تقسیم طرفین رابطه بر G ، معادله خط عملیاتی برای قسمت بالای برج به دست می‌آید که مکان هندسی ترکیب درصد جزء فرار در فازهای بخار و مایع در هر نقطه در بالای برج می‌باشد



$$y_{n+1} = \frac{L}{G}x_n + \frac{Dx_D}{G}$$

$$L_0 = L = RD$$

$$G_1 = G = (R+1)D$$

$$y_{n+1} = \frac{RD}{(R+1)D}x_n + \frac{Dx_D}{(R+1)D}$$

$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

شکل (۱-۲۴): خط عملیاتی مربوط به بخش بالای برج

رابطه فوق، معادله خط عملیاتی بالای برج (ROL) می‌باشد که در نمودار x - y دارای شیب $\frac{R}{R+1}$ و عرض از مبدا $\frac{x_D}{R+1}$ می‌باشد. در شکل (۱-۲۴)، خط عملیاتی ROL در نمودار x - y رسم شده است.

Stripping Section Operating Line

معادله خط عملیاتی پایین برج یا بخش عاری سازی (SOL)

- فرض می‌شود که سینی‌ها ایده‌آل هستند و شدت جریان‌های بخار و مایع در تمام سینی‌های موجود در این قسمت مقداری ثابت است. ولی این مقادیر الزاماً با شدت جریان‌های بخار و مایع بخش غنی‌سازی برابر نیست.

$$\bar{L}_{m-1} = \bar{L}_m = \bar{L}_{m+1} = \dots = \bar{L}$$

$$\bar{G}_m = \bar{G}_{m+1} = \bar{G}_{m+2} = \dots = \bar{G}$$

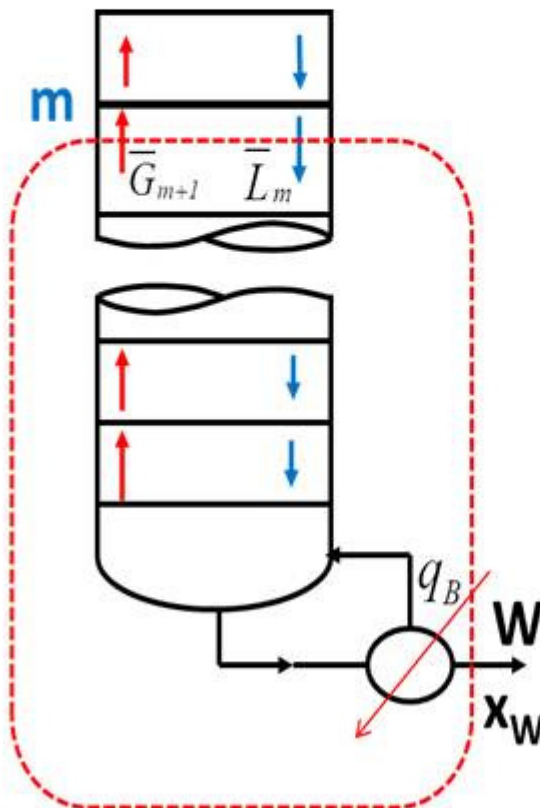
- موازنه‌های کلی و جزئی جرم برای جزء فرار در قسمت پایین برج برای سینی n ام به صورت زیر نوشته می‌شود:

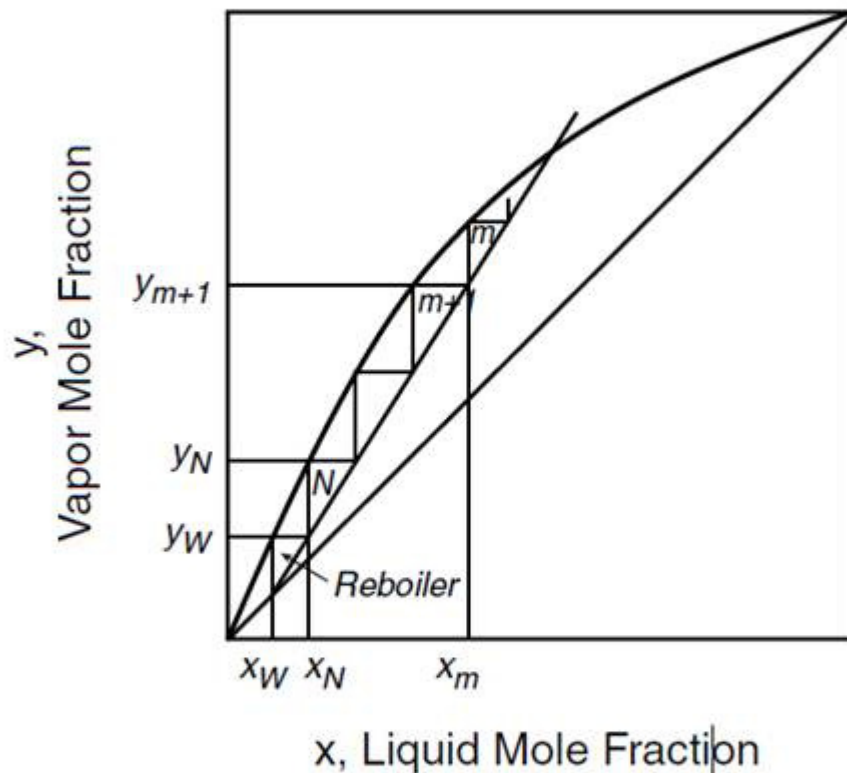
$$\bar{L}_m = \bar{G}_{m+1} + W$$

$$\bar{L}_m x_m = \bar{G}_{m+1} y_{m+1} + W x_w \Rightarrow \bar{L} x_m = \bar{G} y_{m+1} + W x_w$$

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_m - \frac{W x_w}{\bar{G}}$$

- رابطه فوق، معادله خط عملیاتی پایین برج (SOL) می‌باشد، که مکان هندسی ترکیب درصد جزء فرار در فازهای بخار و مایع در هر نقطه در پایین برج می‌باشد.





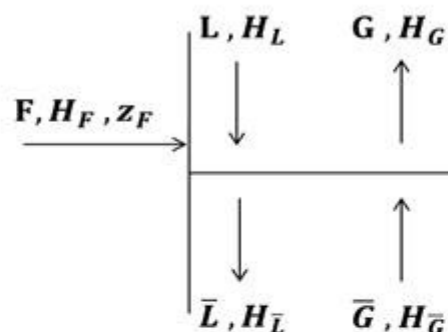
شکل (۱-۲۶): خط عملیاتی مربوط به بخش پایین برج

➤ مشاهده می‌گردد معادله خط SOL ، از نقطه $x = y = x_W$ با گذراندن نمودار قطر بر واقع استفاده از روش پلکانی بین خط عملیاتی SOL و منحنی تعادلی می‌توان تعداد مراحل تعادلی را در قسمت بالای برج بدست آورد.

➤ اگر بخار خروجی از ریبویلر با محصول پسماند در تعادل باشد اولین پله (از پایین) در ترسیمات پلکانی نشان‌دهنده ریبویلر خواهد بود.

➤ اگر خطوط عملیاتی بالا و پایین برج در روی نمودار $x-y$ رسم شوند، همدیگر را در نقطه‌ای قطع می‌کنند که محل ورود خوراک به داخل برج می‌باشد. پس برای خوراک ورودی به برج، به توجه به حالت آن (مایع، بخار یا دوفازی)، نیز یک معادله خط وجود دارد که در ادامه مورد بحث قرار می‌گیرد.

معادله خط خوراک



شکل (۱-۲۷): سینی خوراک به همراه جریان‌های ورودی به آن

کمیت q نشانگر کسری از خوراک می‌باشد که به فرم مایع اشباع است.

$$y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_F}{q-1}$$

$$\frac{(\bar{L} - L)}{F} = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_L} = \frac{H_G - H_F}{\lambda} = q$$

$$\frac{(\bar{G} - G)}{F} = q - 1$$

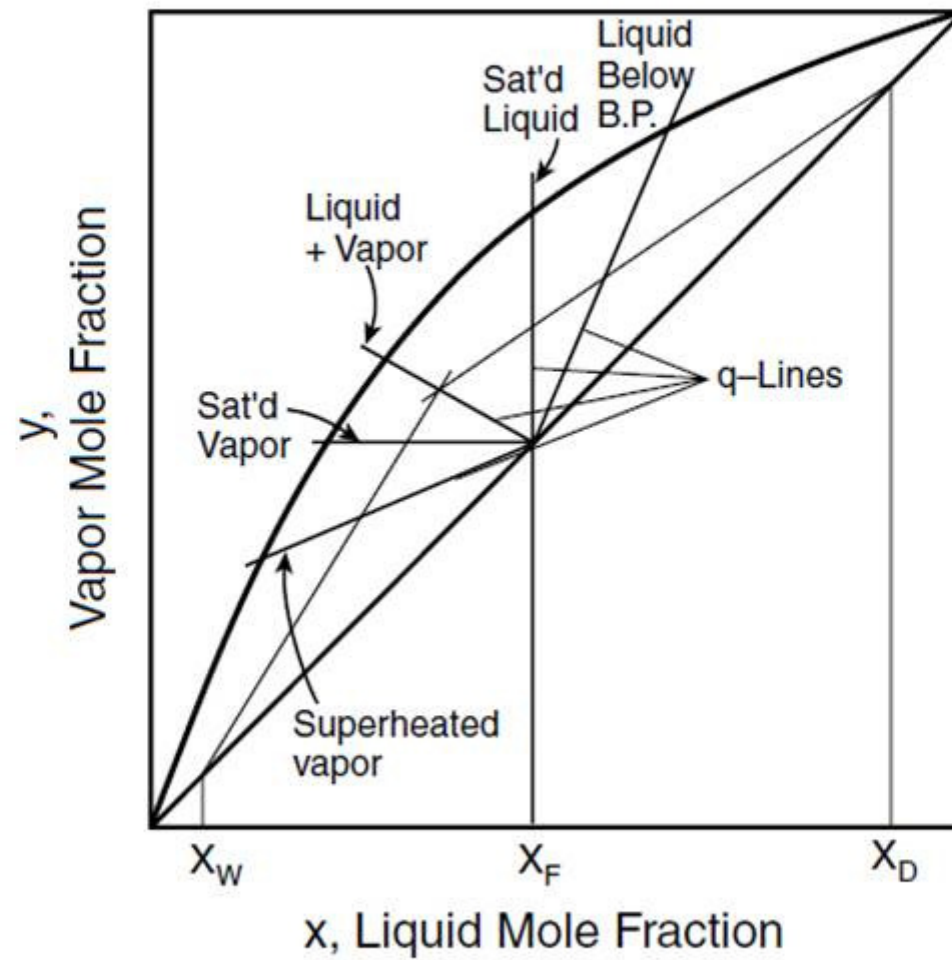
معادله فوق، معادله خط خوراک نامیده می‌شود. خط خوراک از مکان هندسی تلاقی دو خط عملیاتی ROL و SOL و نیز نقطه‌ای به مختصات $x = y = z_F$ واقع بر قطر نمودار $x-y$ می‌گذرد.

برای حالتی که برج فقط یک خوراک ورودی داشته باشد، خطوط عملیاتی بالا و پایین برج و خط خوراک همدیگر را در یک نقطه قطع می‌کنند. در حقیقت این محل تلاقی، مشخص کننده سینی خوراک می‌باشد که محل بهینه ورود خوراک به برج می‌باشد.

خوراک ممکن است در شرایط مختلفی مانند مایع سرد، مایع اشباع، بخار اشباع، دوفازی و بخار فوق داغ وارد برج گردد که مقدار q در هر مورد متفاوت است. در جدول (۱-۱)، حالت‌های مختلف خوراک با محدوده مقادیر q ارائه شده است.

جدول (۱-۱): مقادیر q و شیب خط خوراک برای حالات مختلف خوراک.

حالت خوراک	آنتالپی خوراک	q	شیب خط خوراک ($q/(q-1)$)
مایع سرد	$H_F < H_L$	$q > 1$	> 1
مایع اشباع	$H_F = H_L$	$q = 1$	∞
دوفازی	$H_L < H_F < H_G$	$0 < q < 1$	منفی (< 0)
بخار اشباع	$H_F = H_G$	$q = 0$	0
بخار فوق داغ (سوپرهیت)	$H_F > H_G$	$q < 0$	$0 < q/(q-1) < 1$



شکل (۱-۲۸): خط خوارک برای حالت‌های مختلف

الگوریتم محاسباتی تعیین تعداد سینی‌ها به روش مک‌کیب-تیلی برای ساده‌ترین حالت برج (تک خوراکی):

معلومات: R ، x_W و x_D ، z_F ، F

گام اول: نوشتن موازنه‌های کلی و جزئی برای کل برج و تعیین شدت جریان‌های مجهول (D, W) .

گام دوم: آنالیز ناحیه بالای برج و بدست آوردن معادله خط ROL

گام سوم: آنالیز سینی خوراک و تعیین حالت خوراک (q) .

گام چهارم: بدست آوردن معادله خط خوراک

گام پنجم: آنالیز بخش پایین برج و بدست آوردن معادله خط SOL

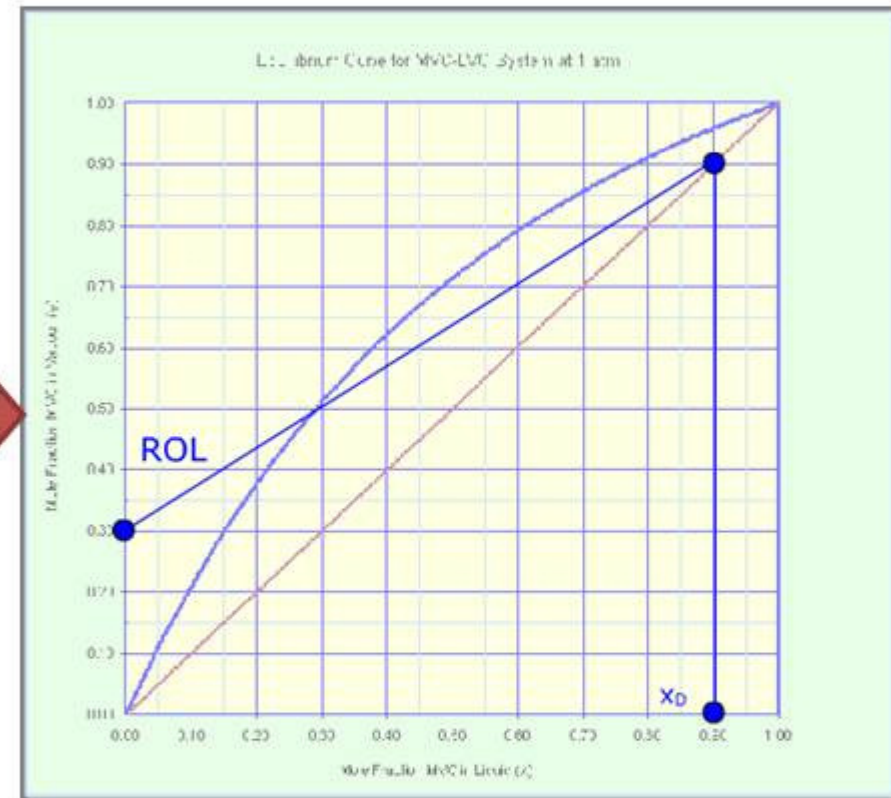
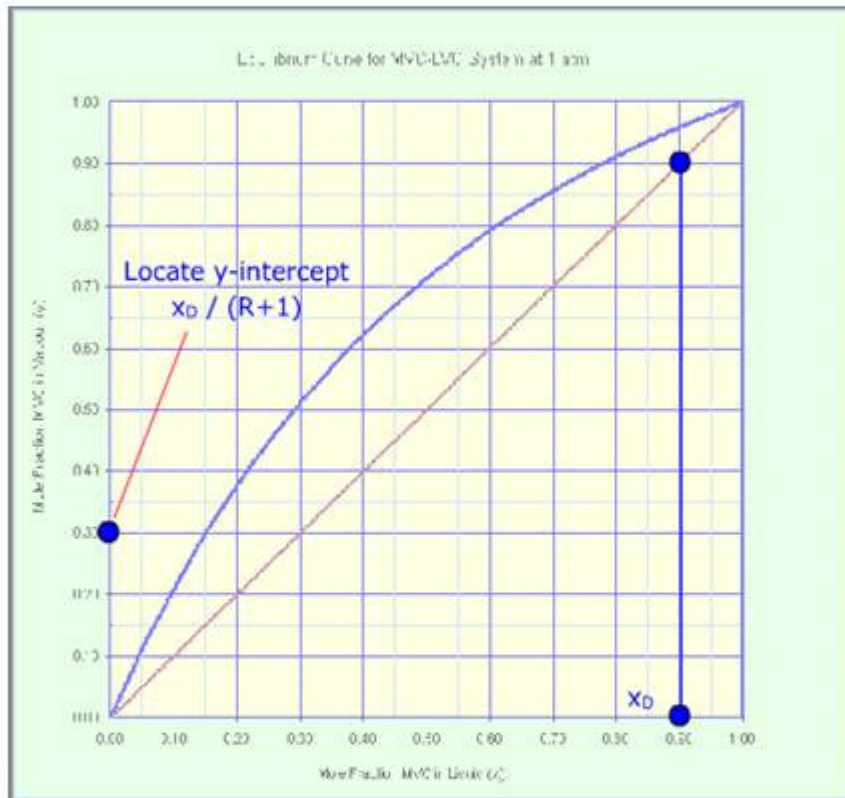
گام ششم: رسم خطوط ROL و خوراک با استفاده از معادلات مربوطه و قطع دادن دو خط با یکدیگر.

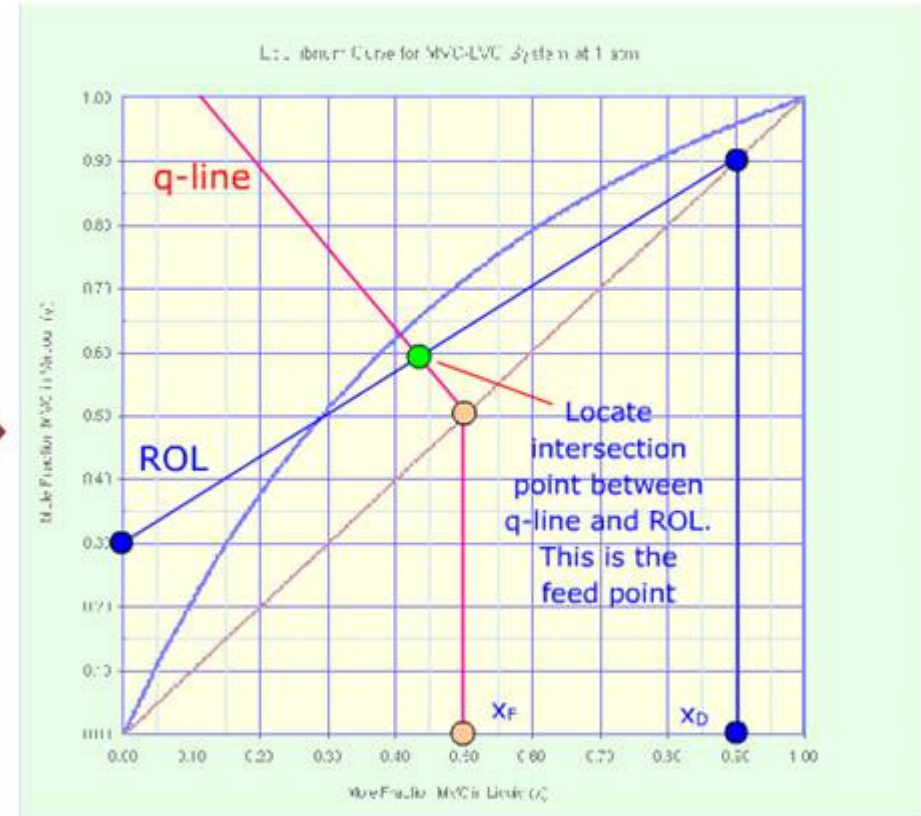
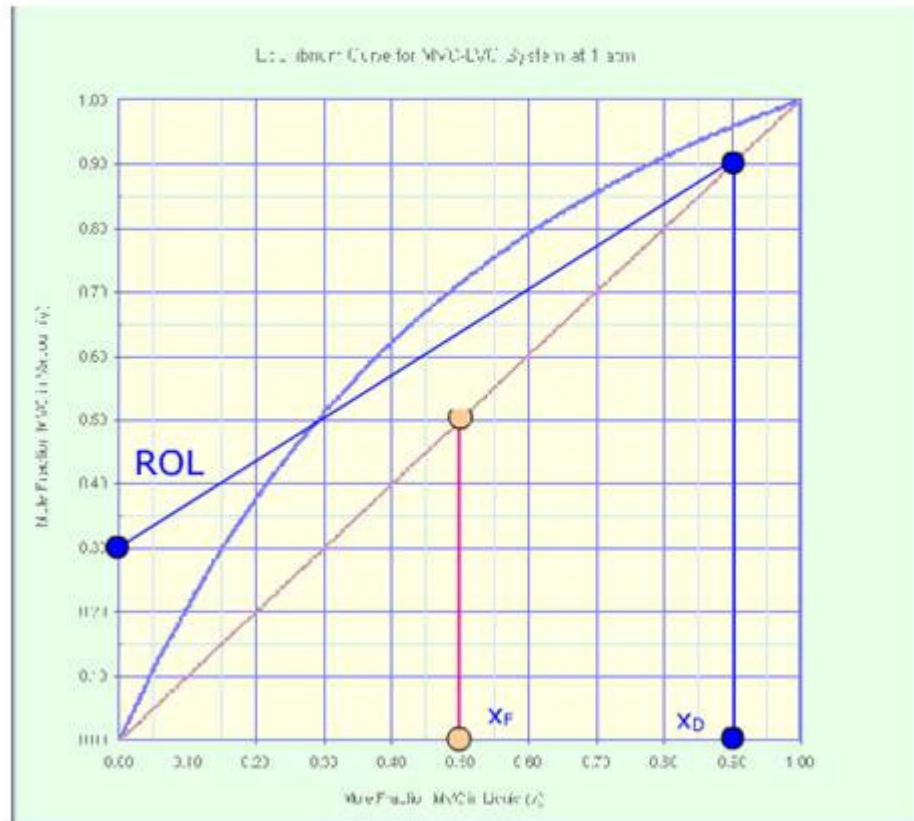
گام هفتم: رسم خط SOL از محل تقاطع دو خط ROL و خوراک و وصل آن به نقطه (x_W, x_W) .

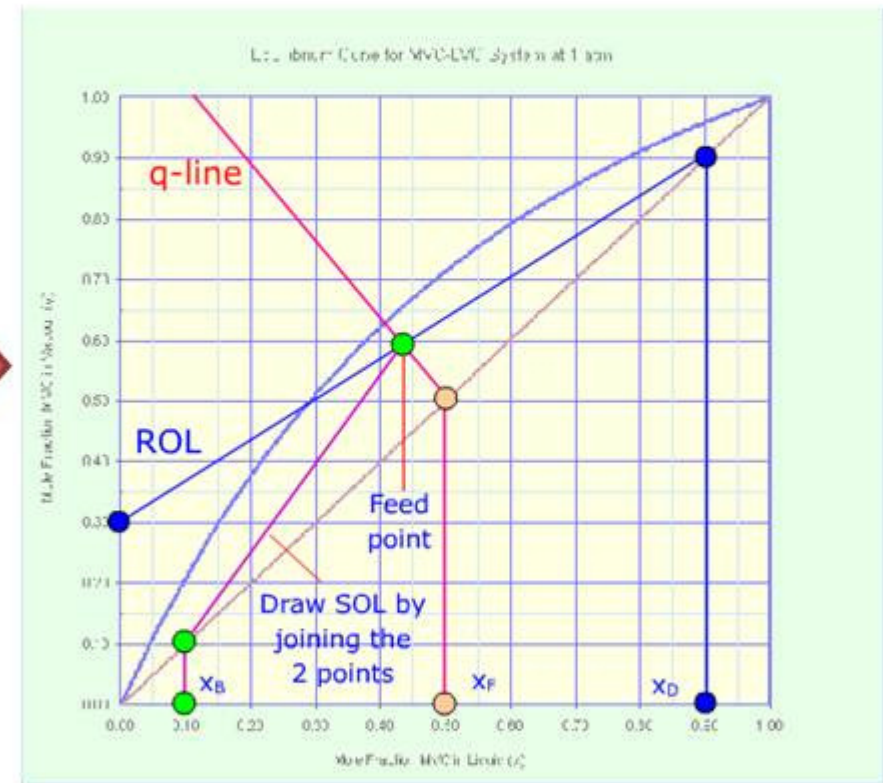
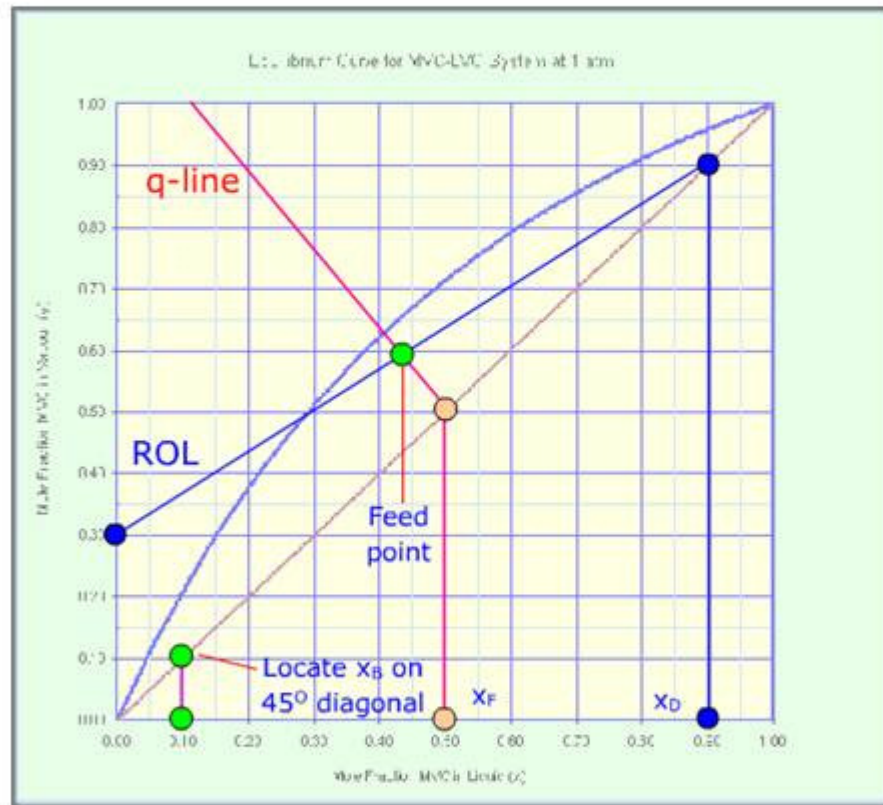
گام هشتم: رسم مراحل تئوری با استفاده از خطوط افقی-عمودی موسوم به روش پلکانی (نقطه شروع از x_D).

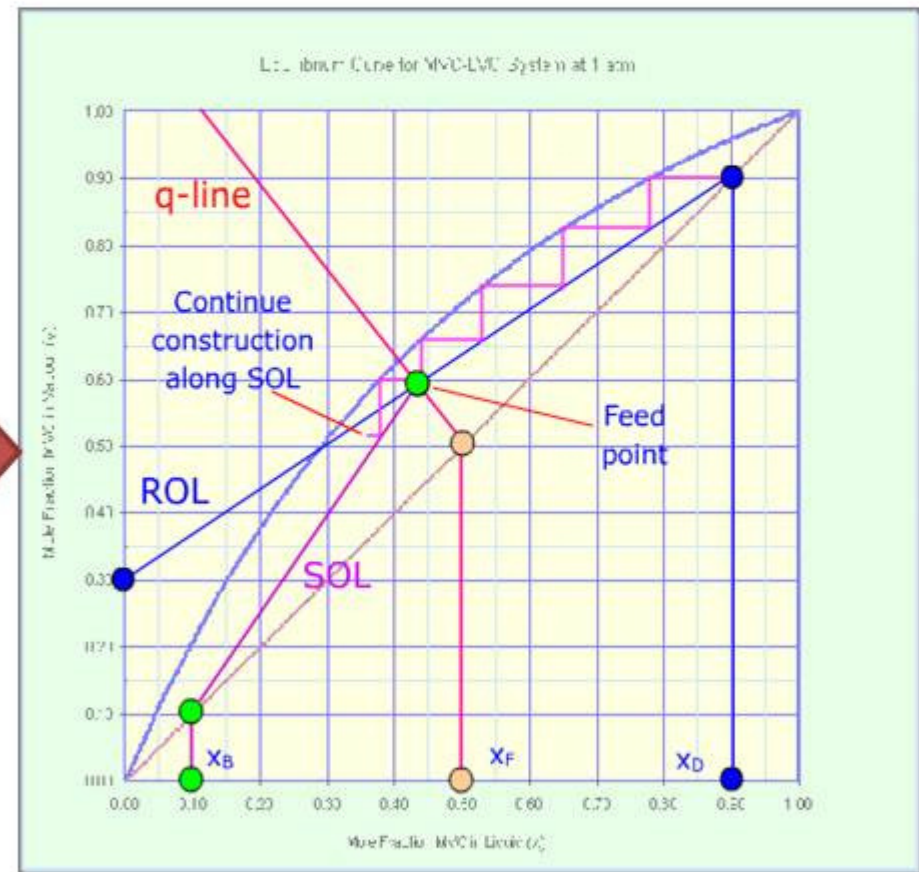
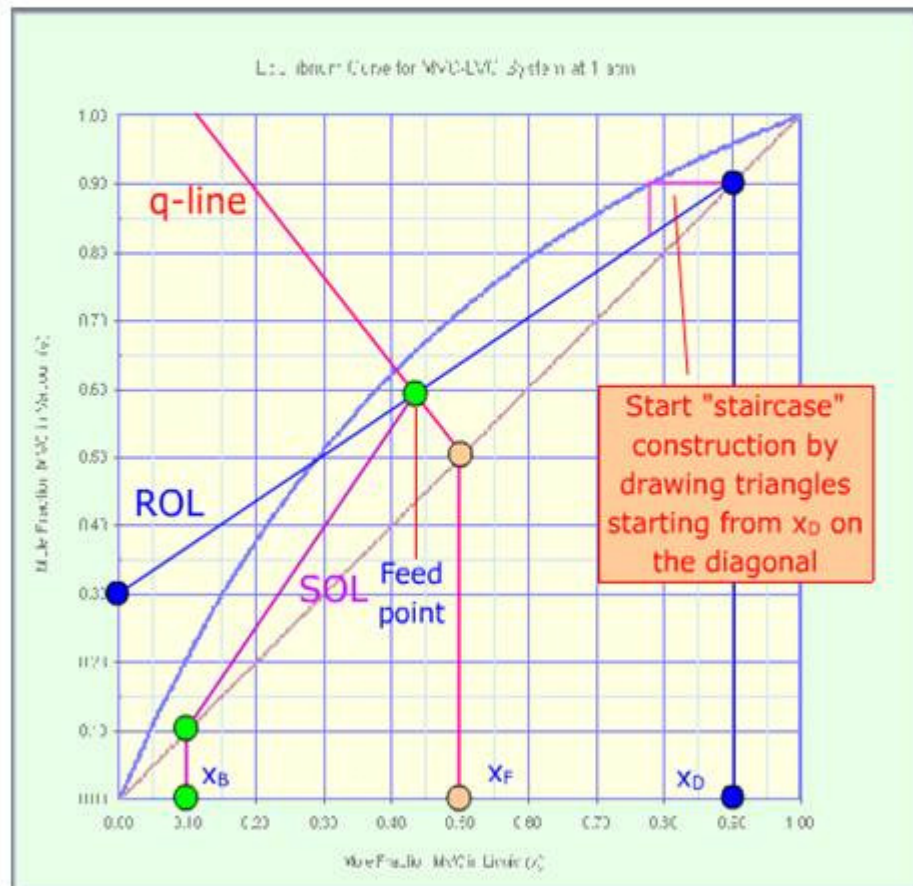
گام نهم: شمردن تعداد پله‌ها (مراحل) و به دست آوردن تعداد سینی‌های ایده‌آل.

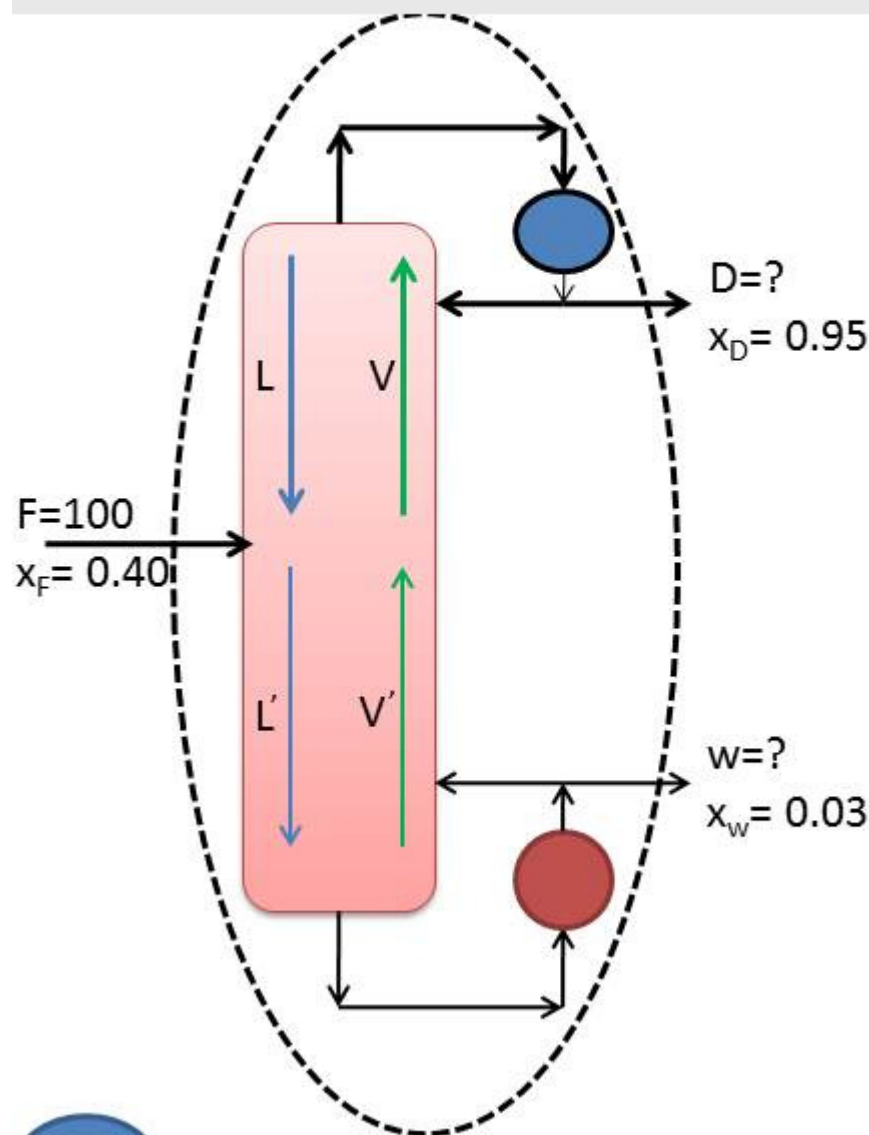
توجه: همه ریبویلرها بجز ترموسیفون‌ها به عنوان یک مرحله تعادلی محسوب می‌شوند و در محاسبه تعداد سینی‌ها باید یک مرحله (پله آخر) را برای آن در نظر گرفت. در صورتی که کندانسور به صورت جزئی باشد، سینی اول (از سمت بالا) برای کندانسور در نظر گرفته می‌شود. در این حالت برای بدست آوردن تعداد سینی‌های برج، عدد ۲ از تعداد کل مراحل تعادلی به دست آمده از روی نمودار کم می‌شود (یکی برای ریبویلر و یکی برای کندانسور جزئی).











مثال: خوراکی شامل آب و الکل با حالت مایع اشباع وارد یک برج تقطیر

پیوسته می شود، خوراک ورودی در نقطه حباب وارد برج می شود. شدت جریان خوراک ورودی به برج ۱۰۰ کیلومول بر ساعت باشد و کسر مولی الکل در آن برابر با ۰.۴ می باشد. خلوص الکل در محصول بالای برج، ۹۵ درصد مولی و در پایین برج ۳ درصد مول می باشد. با فرض اینکه کندانسور به صورت کامل باشد و ضریب فرارایت برابر با ۲/۵ و نسبت جریان برگشتی برابر با ۴ باشد. موارد زیر را محاسبه نمایید:

الف) شدت جریانهای محصول مقطر و محصول باقیمانده

ب) تعداد سینی های مورد نیاز

ج) محل ورود خوراک

حل:

الف) با نوشتن موازنه جرم کلی و جزئی برای کل برج خواهیم داشت:

$$F = D + W$$

$$Fx_F = Dx_D + Wx_W$$

$$100 = D + W$$

$$100 \times 0.4 = D \times 0.95 + W \times 0.03$$



$$D = 40.217$$

$$W = 59.783$$

معادله خط عملیاتی بالای برج ROL

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y = \frac{4}{5}x + \frac{0.95}{5}$$

$$y = 0.8x + 0.19 \longrightarrow \text{ROL}$$

چون خوراک ورودی به برج در دمای نقطه حباب قرار دارد، در نتیجه به صورت مایع اشباع می باشد و مقدار q برای آن برابر با یک می باشد، در نتیجه خط خوراک به صورت یک خط قائم می باشد که از نقطه $(0.4, 0.4)$ می گذرد.

معادله خط عملیاتی پایین برج SOL

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_m - \frac{Wx_W}{\bar{G}}$$

برای به دست آوردن معادله خط SOL، می بایست شدت جریان فاز مایع و بخار را در هر قسمت از برج داشته باشیم.

$$L = RD$$

$$L = 4 \times 40.217 = 160.868$$

$$G = D(R+1) = 40.217 \times (4+1) = 201.085$$

$$q = 1$$

$$L' = L + Fq$$

$$L' = 160.868 + 100 \times 1 = 260.868$$

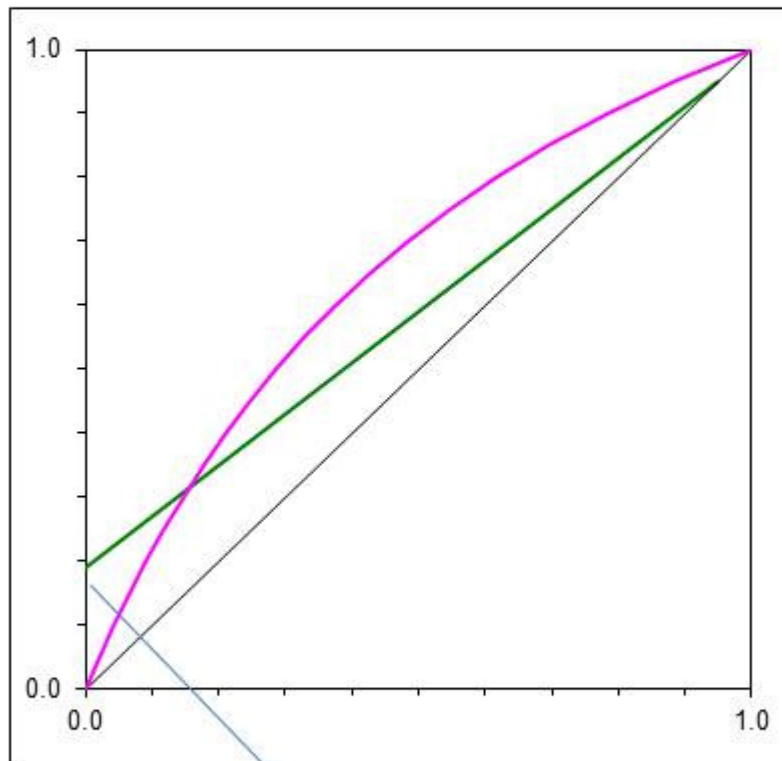
$$G' = V + (q-1)F$$

$$G' = 201.085 + (1-1) \times 100 = 201.085$$

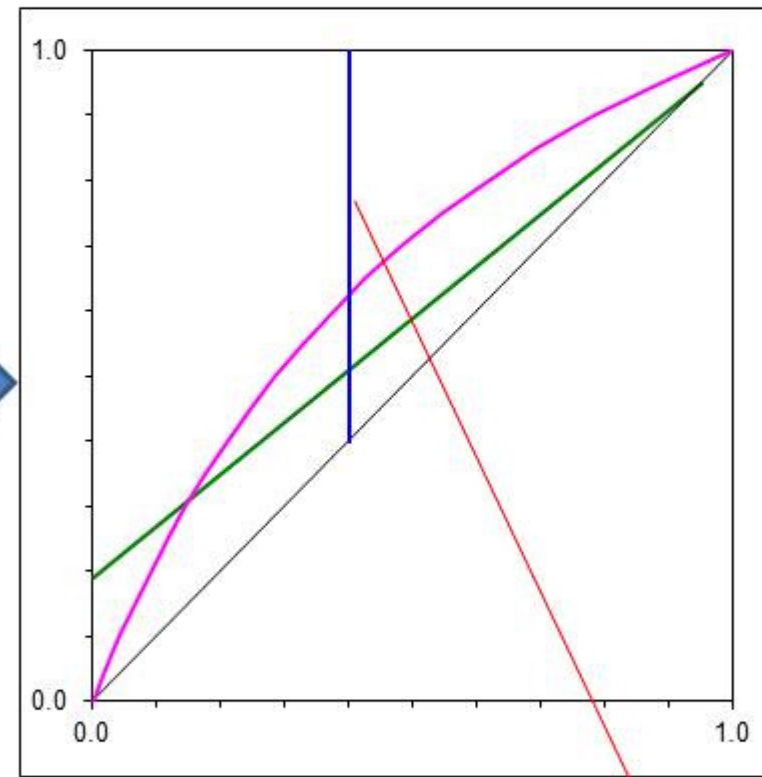
$$y = \frac{L'}{G'} x - \frac{Wx_W}{G'}$$

$$y = \frac{260.868}{201.085} x - \frac{59.783 \times 0.03}{201.085}$$

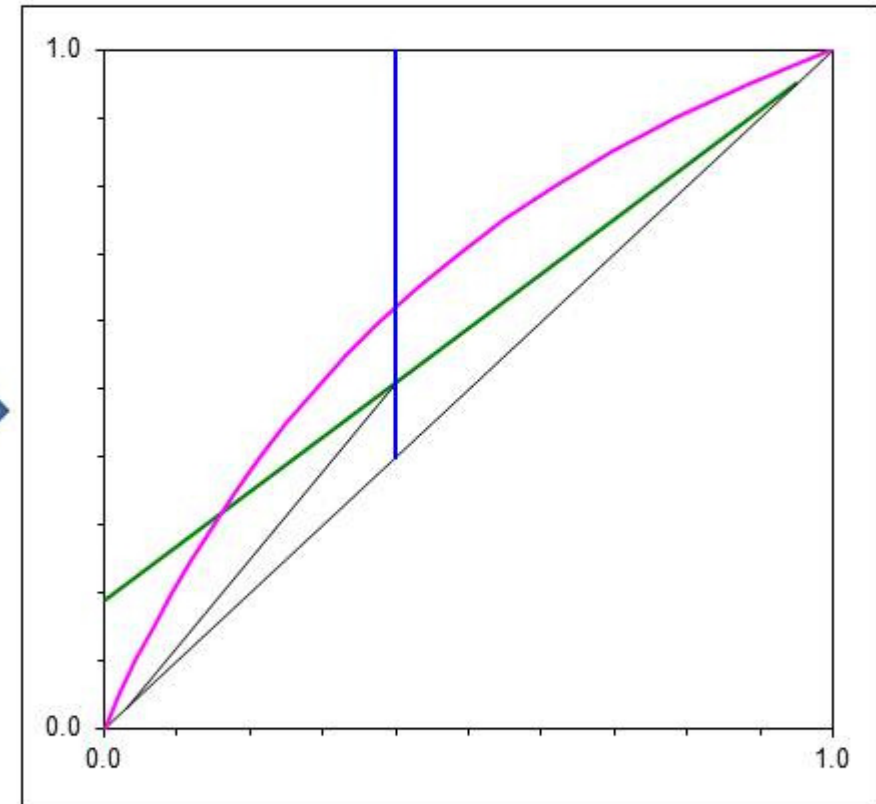
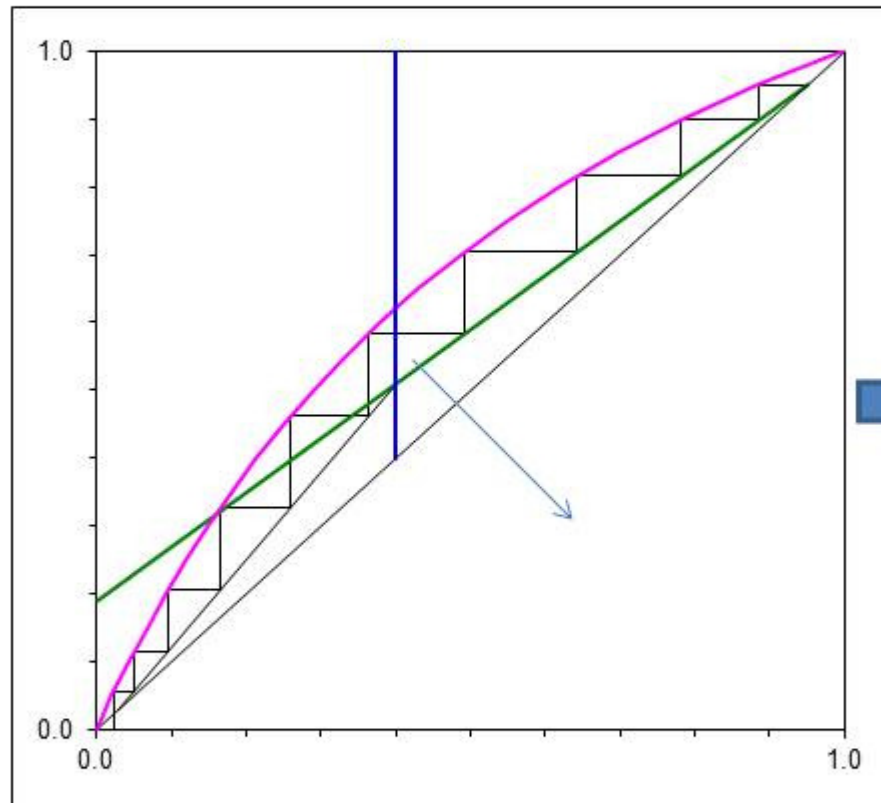
$$y = 1.297x - 0.0089 \longrightarrow \text{SOL}$$



عرض از مبدا: ۰.۱۹



خط خوراک به صورت قائم، چون خوراک مایع اشباع است



مثلت ها را رسم نموده، در شکل بالا، ۱۰ مثلث وجود دارد.
در نتیجه برج شامل ۹ سینی ایده آل می باشد و محل ورود
خوراک به برج، سینی ۵ می باشد

مختصات محصول پایین برج را روی خط ۴۵ درجه
تعیین کرده و از این نقطه به محل تقاطع خط SOL
و خط خوراک وصل می کنیم .

مثال: مثال قبل را برای حالتی حل کنید که خوراک به صورت خوراک به صورت بخار اشباع باشد.

حل: قسمت الف مانند مثال قبل خواهد بود.

(ب) معادله خط عملیاتی بالای برج

$$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$$

$$y = \frac{4}{5}x + \frac{0.95}{5}$$

$$y = 0.8x + 0.19 \longrightarrow \text{ROL}$$

برای آن برابر با صفر می باشد، در نتیجه خط q چون خوراک ورودی به برج به صورت بخار اشباع می باشد و مقدار خوراک به صورت یک خط افقی می باشد که از نقطه $(0.4, 0.4)$ می گذرد.

➤ **معادله خط عملیاتی پایین برج SOL**

$$y_{m+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{G}} x_m - \frac{Wx_W}{\bar{G}}$$

$$L = RD$$

$$L = 4 \times 40.217 = 160.868$$

$$G = D(R+1) = 40.217 \times (4+1) = 201.085$$

$$q = 0$$

$$L' = L + Fq$$

$$L' = 160.868 + 100 \times 0 = 160.868$$

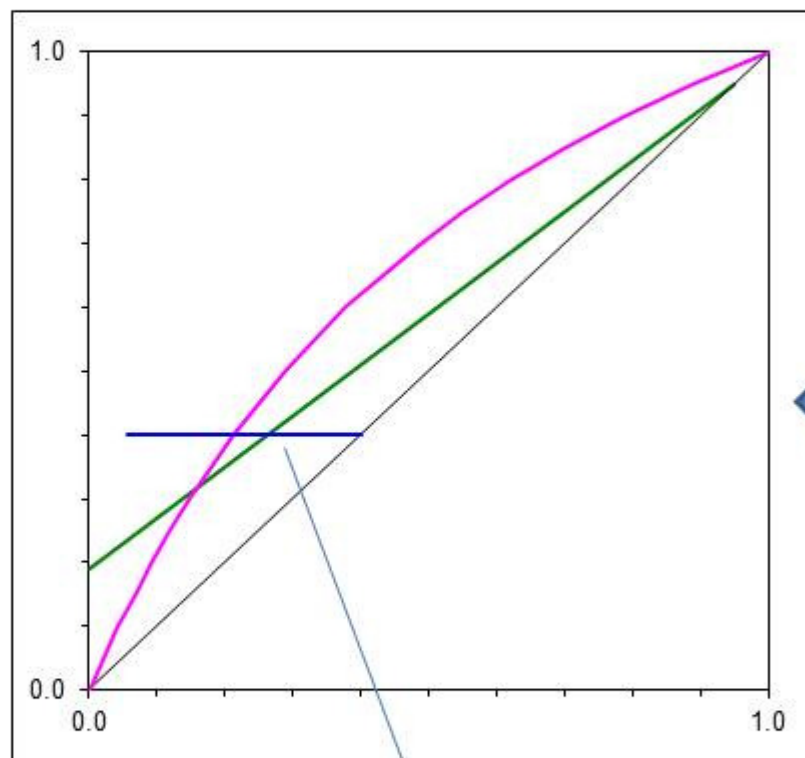
$$G' = V + (q-1)F$$

$$G' = 201.085 + (0-1) \times 100 = 101.085$$

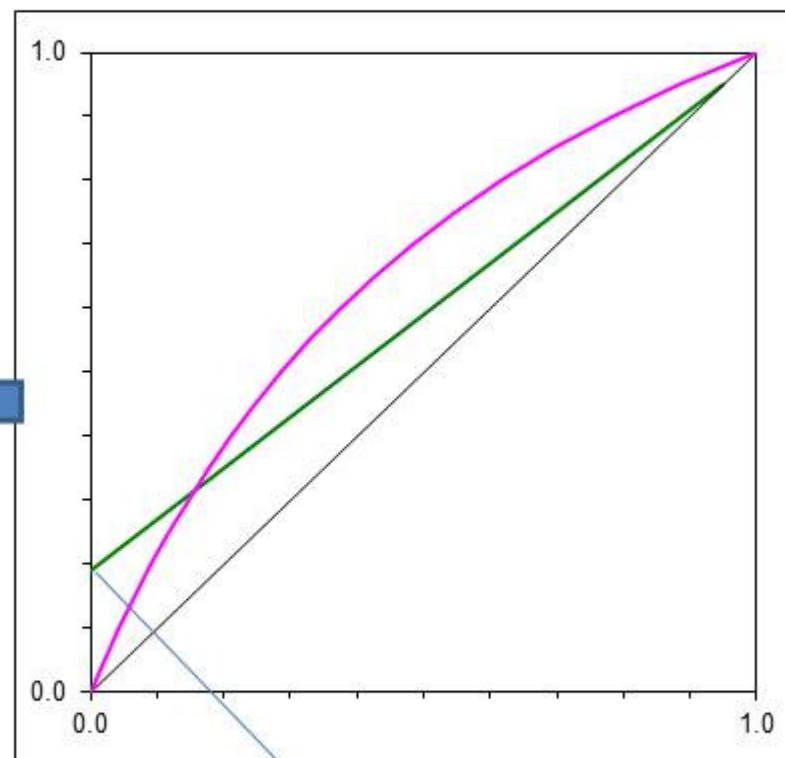
$$y = \frac{L'}{G'} x - \frac{Wx_W}{G'}$$

$$y = \frac{160.868}{101.085} x - \frac{59.783 \times 0.03}{101.085}$$

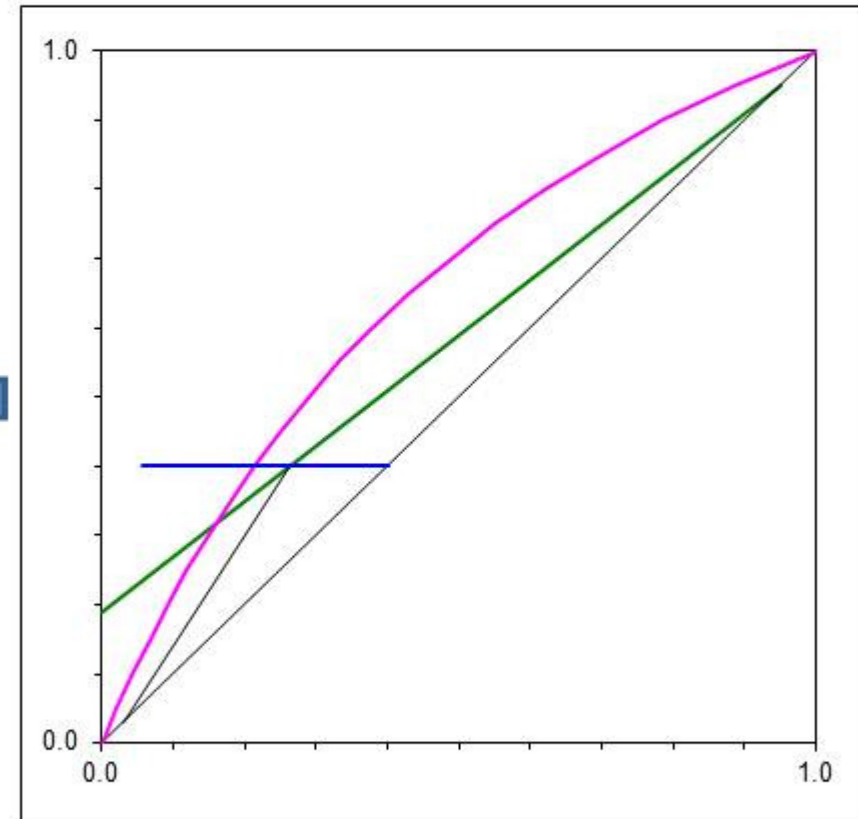
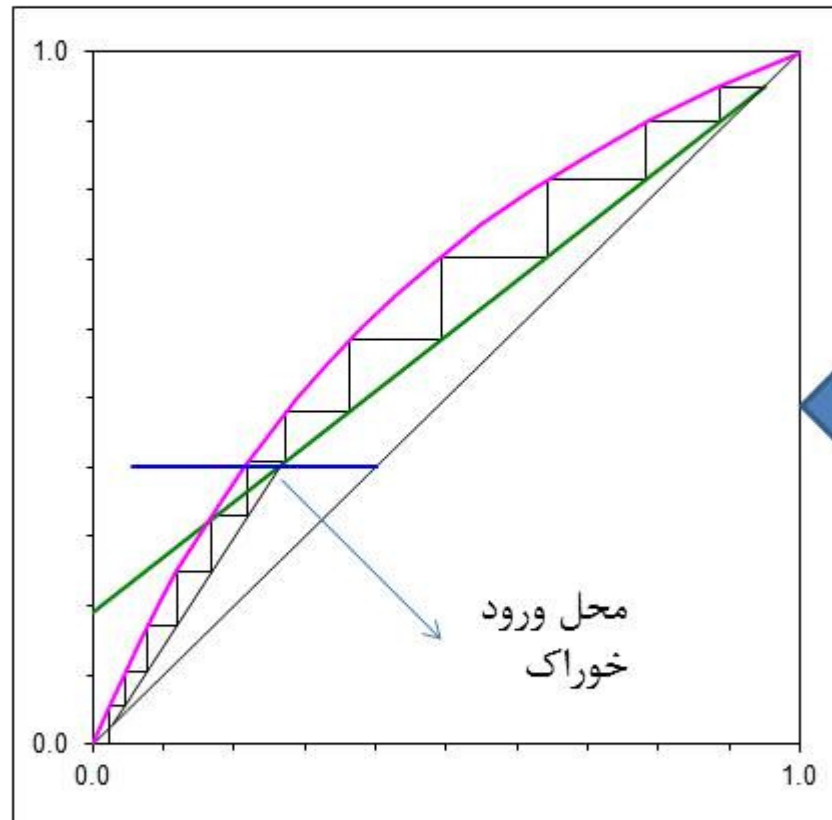
$$y = 1.591x - 0.0177 \longrightarrow \text{SOL}$$



خط خوراک به صورت افقی، چون خوراک بخار اشباع است



عرض از مبدا : ۰.۱۹



مثلت ها را رسم نموده، در شکل بالا، ۱۲ مثلث وجود دارد. در نتیجه برج شامل ۱۱ سینی ایده آل می باشد و محل ورود خوراک به برج، سینی ۷ می باشد

مختصات محصول پایین برج را روی خط ۴۵ درجه تعیین کرده و از این نقطه به محل تقاطع خط SOL و خط خوراک وصل می کنیم .