

In Name of God

Unit Operation I

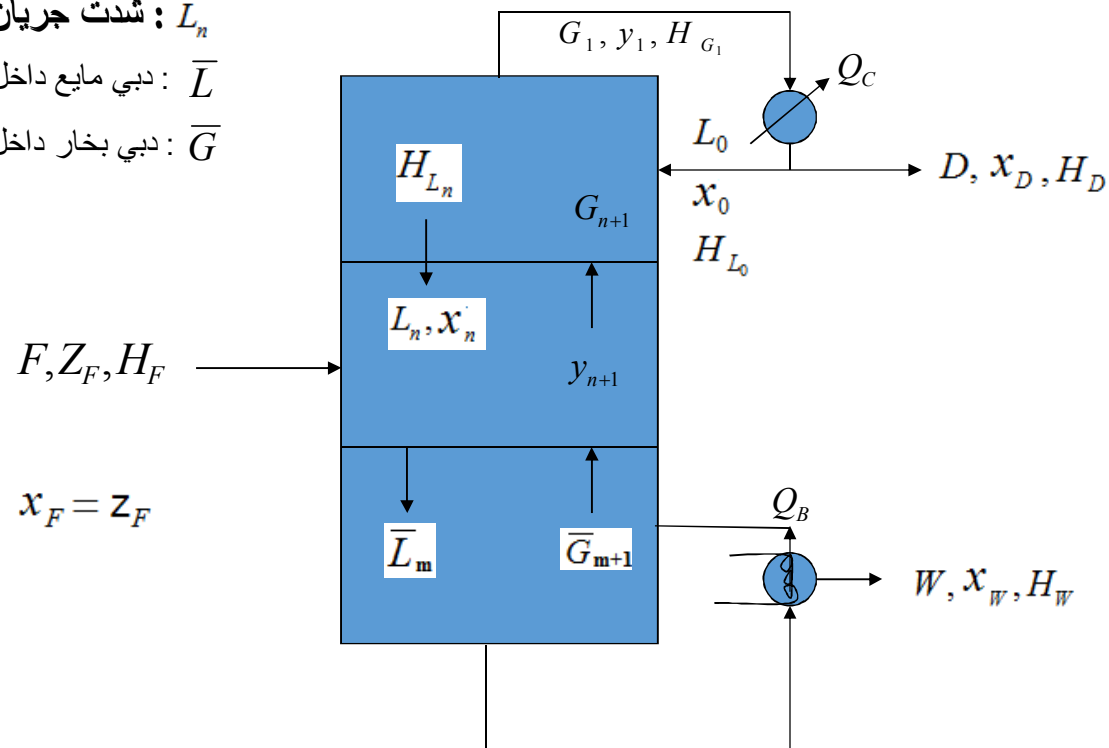
Lecture 4

نمای کلی از یک ستون تقطیر

L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n

$\bar{L}$: دبی مایع داخل برج

$\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

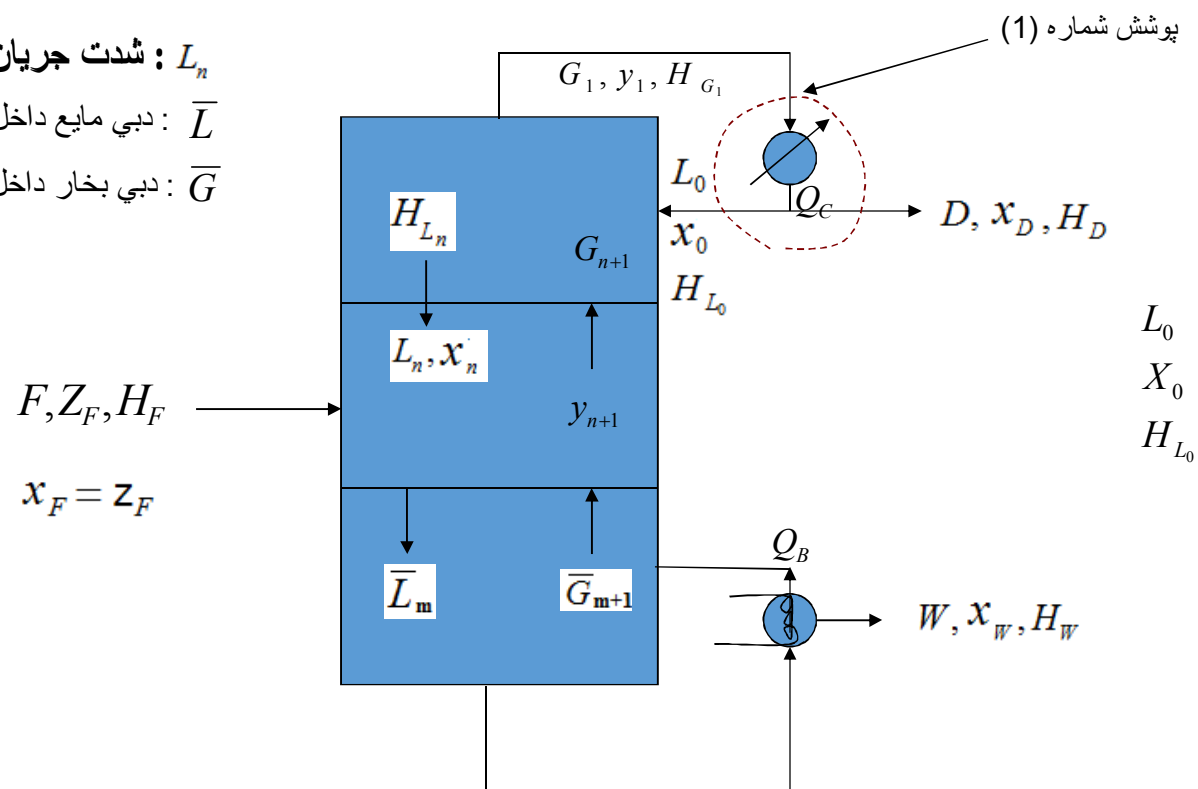


نمای کلی از یک ستون تقطیر

L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n

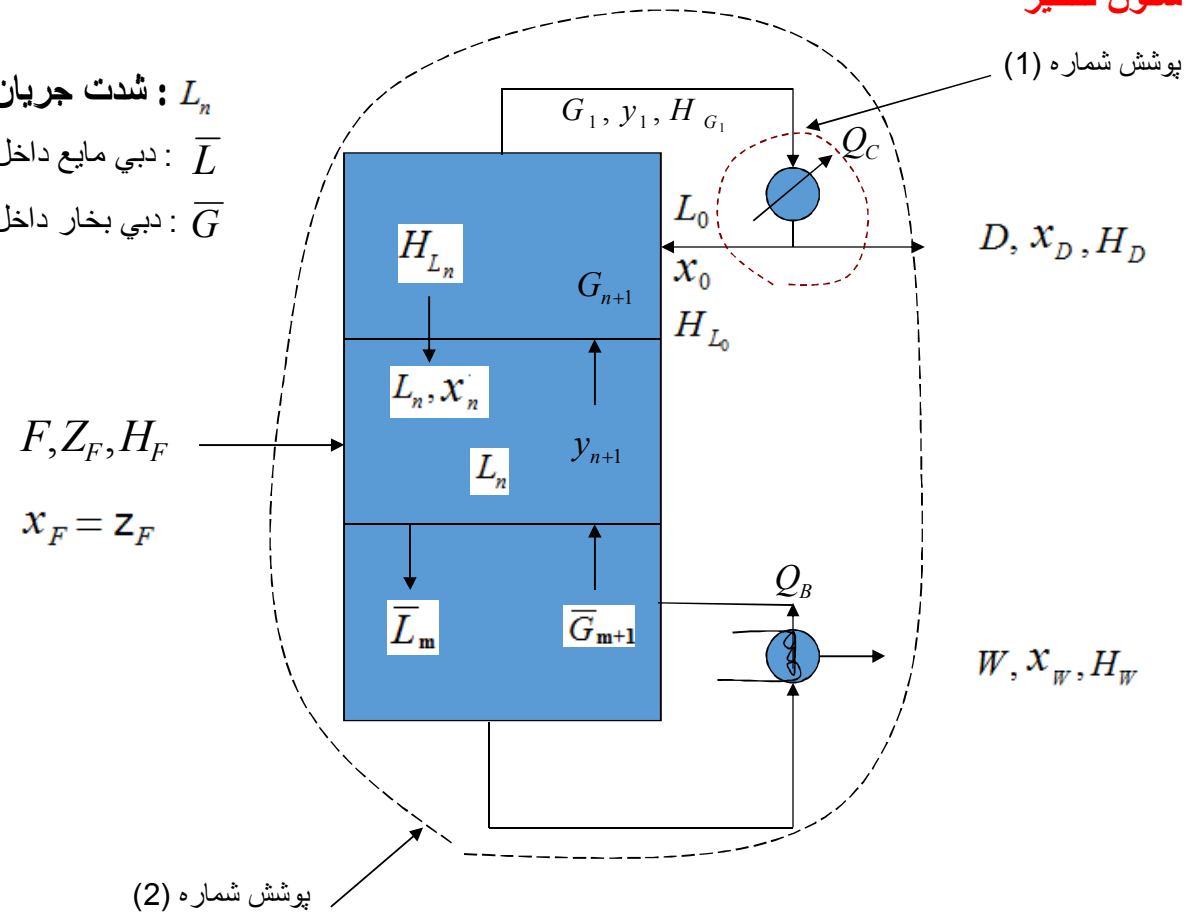
$\bar{L}$: دبی مایع داخل برج

$\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

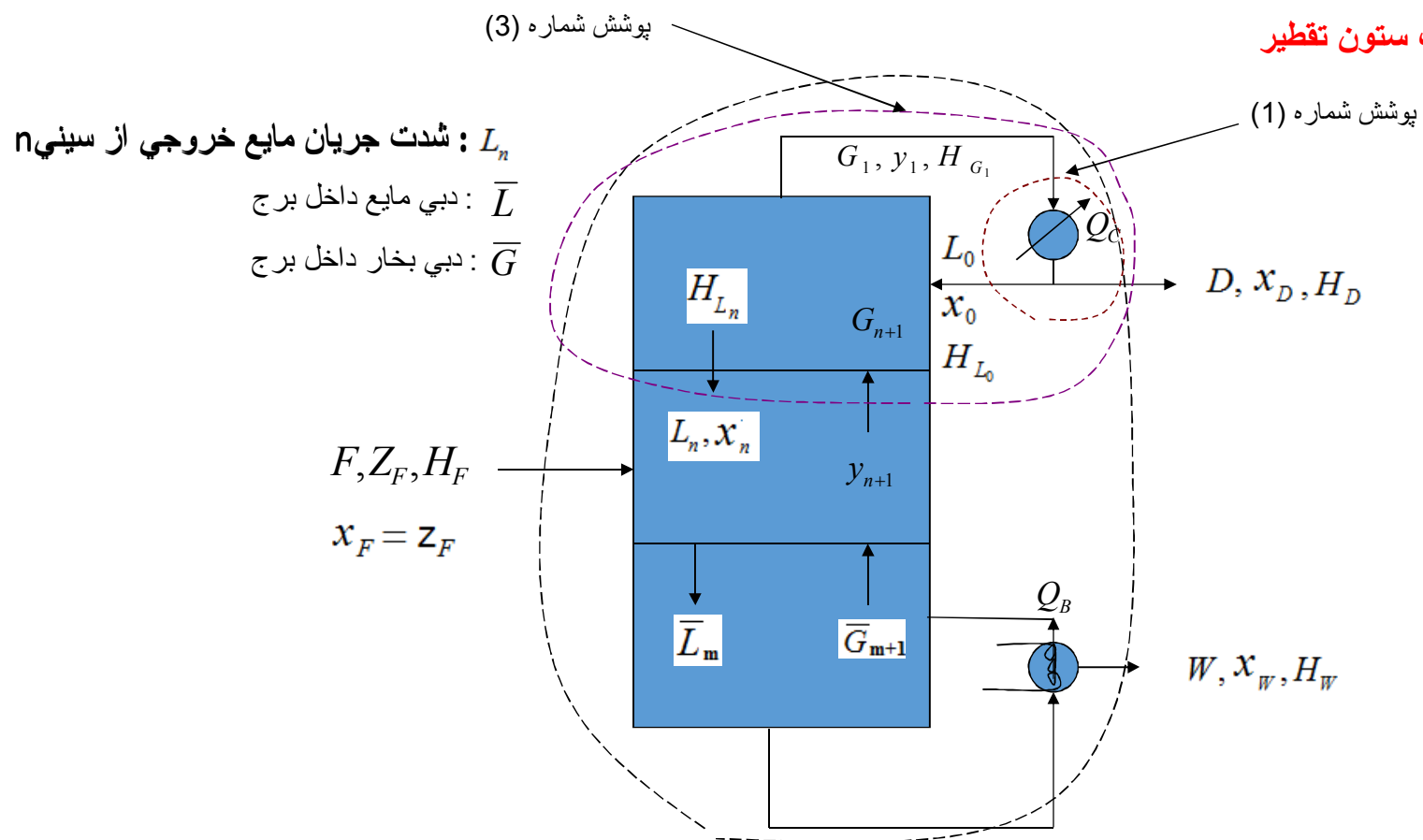


نمای کلی از یک ستون تقطیر

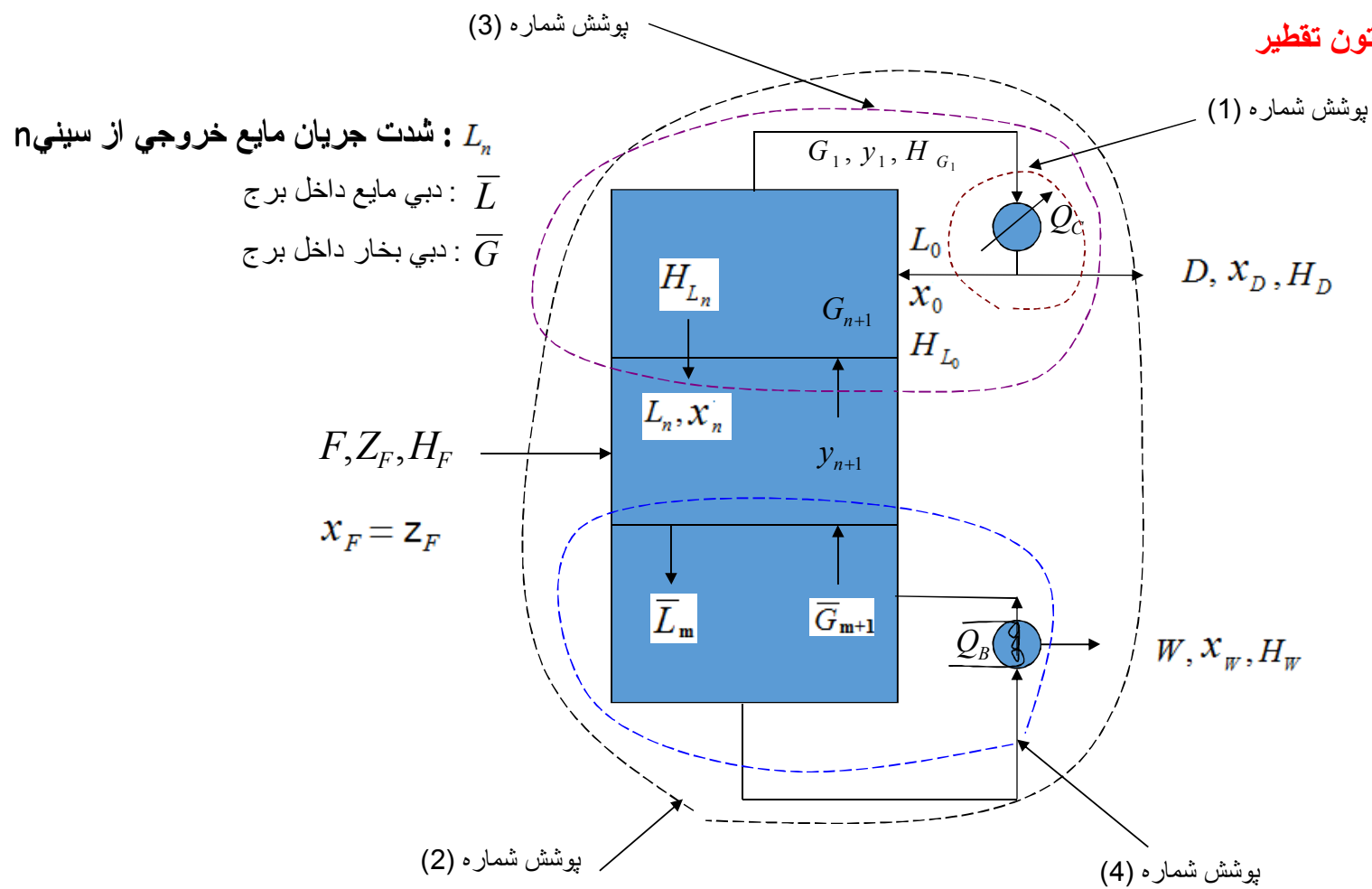
L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n
 $\bar{L}$: دبی مایع داخل برج
 $\bar{G}$: دبی بخار داخل برج



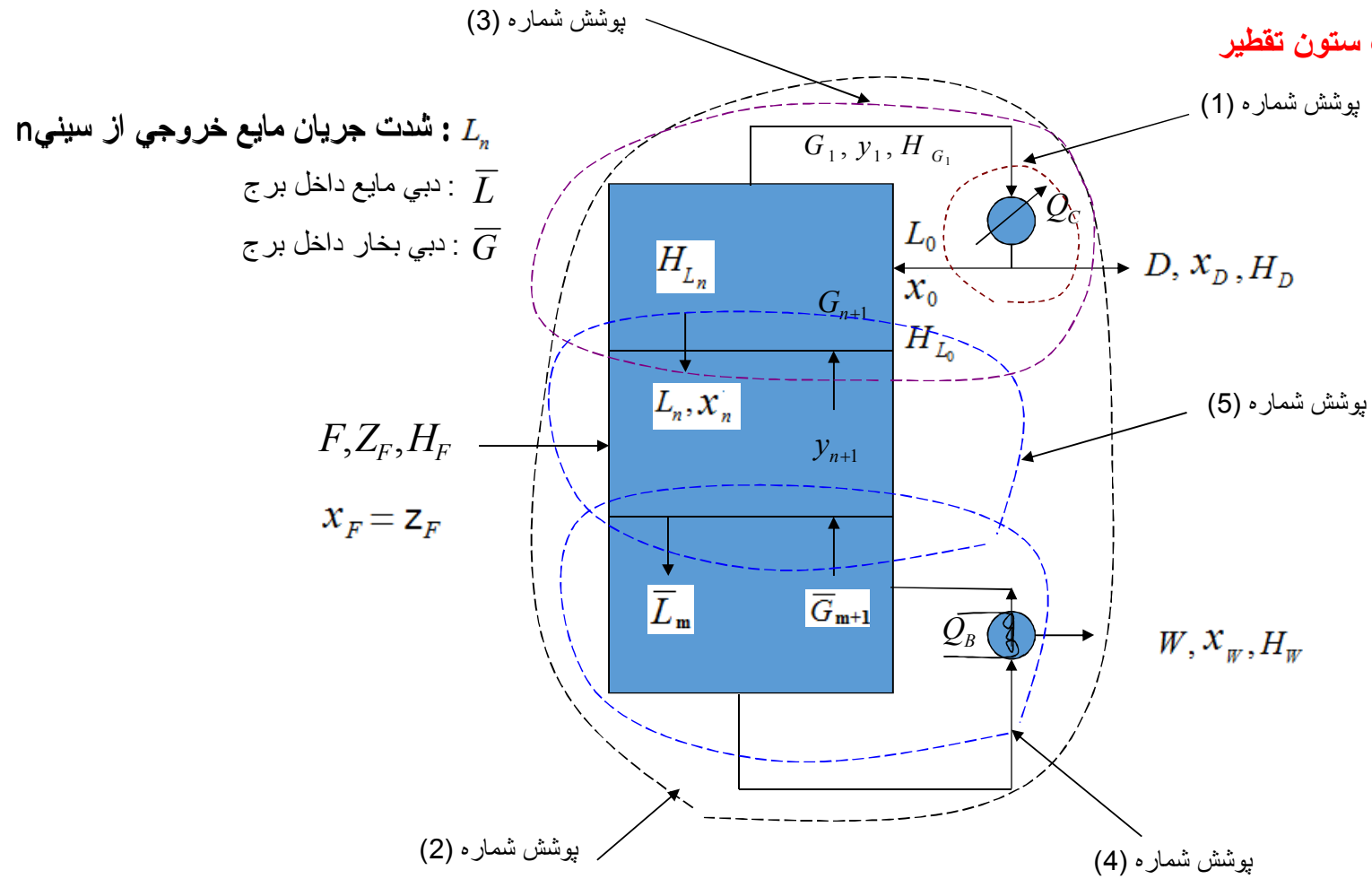
نمای کلی از یک ستون تقطیر



نمای کلی از یک ستون تقطیر



نمای کلی از یک ستون تقطیر



کلیاتی از یک ستون تقطیر

منبع تعیین انرژی برای ستونهای تقطیر بویلرها می باشند. خوراک ورودی به ستون تقطیر می توان حالت های مختلفی را داشته باشد. (مایع، بخار، دوفازی، سوپرهیت و فوق سرد) که باتوجه به حالت ورودی خوراک مقدار حرارت مورد نیاز که توسط Reboiler باید تأمین گردد متغیر است. مواد وارد شده به ستون پس اینکه از محل خوراک داخل ستون می شوند به داخل Reboiler هدایت می شوند و پس از تبادل حرارتی لازم بخشی از آن به شکل بخار درآمده و با عبور از تجهیزات داخل برج از قسمت بالایی برج خارج می شوند. بخار خروجی از داخل یک کندانسور عبور نموده و تبدیل به مایع می گردد. چنانچه همه ی بخار ورودی تبدیل به مایع شوند به آن Total condenser گویند و چنانچه بخشی از بخار تبدیل به مایع شده و بخشی به شکل بخار باقی بماند به آن Partial condenser گویند.

برای اینکه محصول با خلوص نسبتاً بالایی داشته باشیم بخشی از محصول بالای برج را به داخل ستون برمی گردانیم به نسبت $R = \frac{L_0}{D}$ (Reflux Ratio) (جریان برگشتی) گویند.

به قسمت بالای ورود خوراک درستون تقطیر (Rectifying section) به محل پایین خوراک (Stripping section) گفته می شود. گاهی اوقات درستون های تقطیر ممکن است خوراک ورودی ها چند تاباشد یعنی از چند نقطه ی برج جریانی به عنوان خوراک وارد ستون شود که آن رابه طور تفصیلی درقسمتهای بعدی مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین ممکن است ازقسمتهای مختلف برج ها جریانهایی را ازستون خارج کنیم که به آن جریانههای جانبی یا (side stream) می گویند. به طور کلی برای هرستون تقطیر می توان انواع موازنه ها رانوشت که آنها را برسه بخش می توان تقسیم بندی کرد.

$$F = D + W_{waste}$$

الف) موازنه های کلی

$$F \cdot z_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W$$

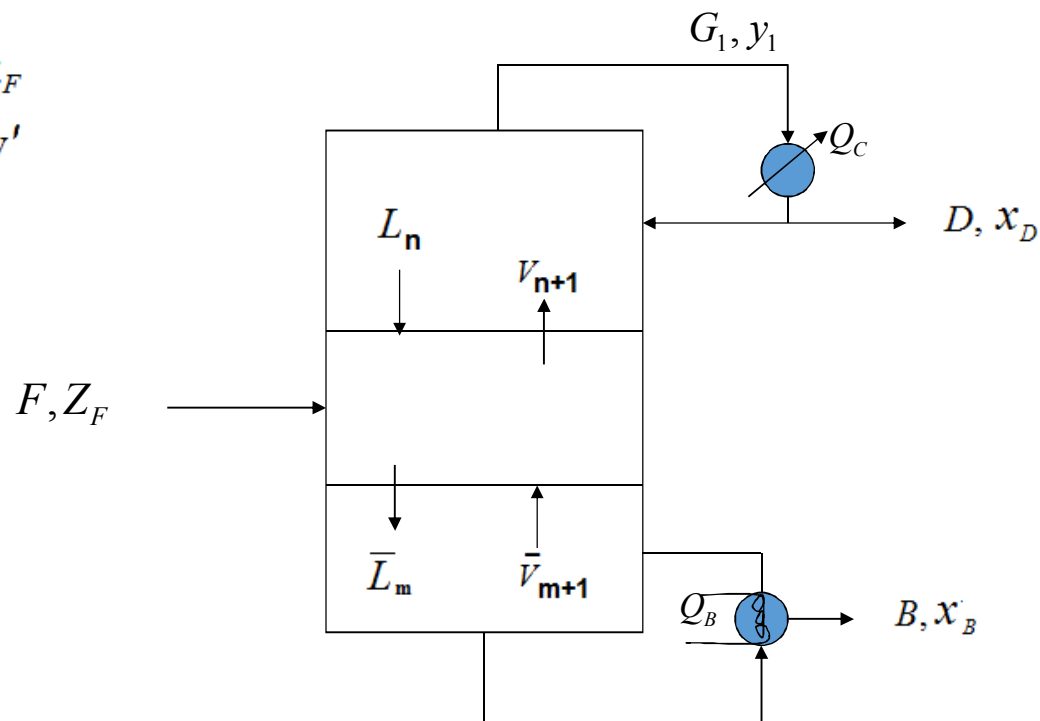
ب) موازنه های جزئی

ج) موازنه های انرژی

$$F \cdot H_F + Q_R = D \cdot H_D + W \cdot H_D + Q_C + Q_{loss}$$

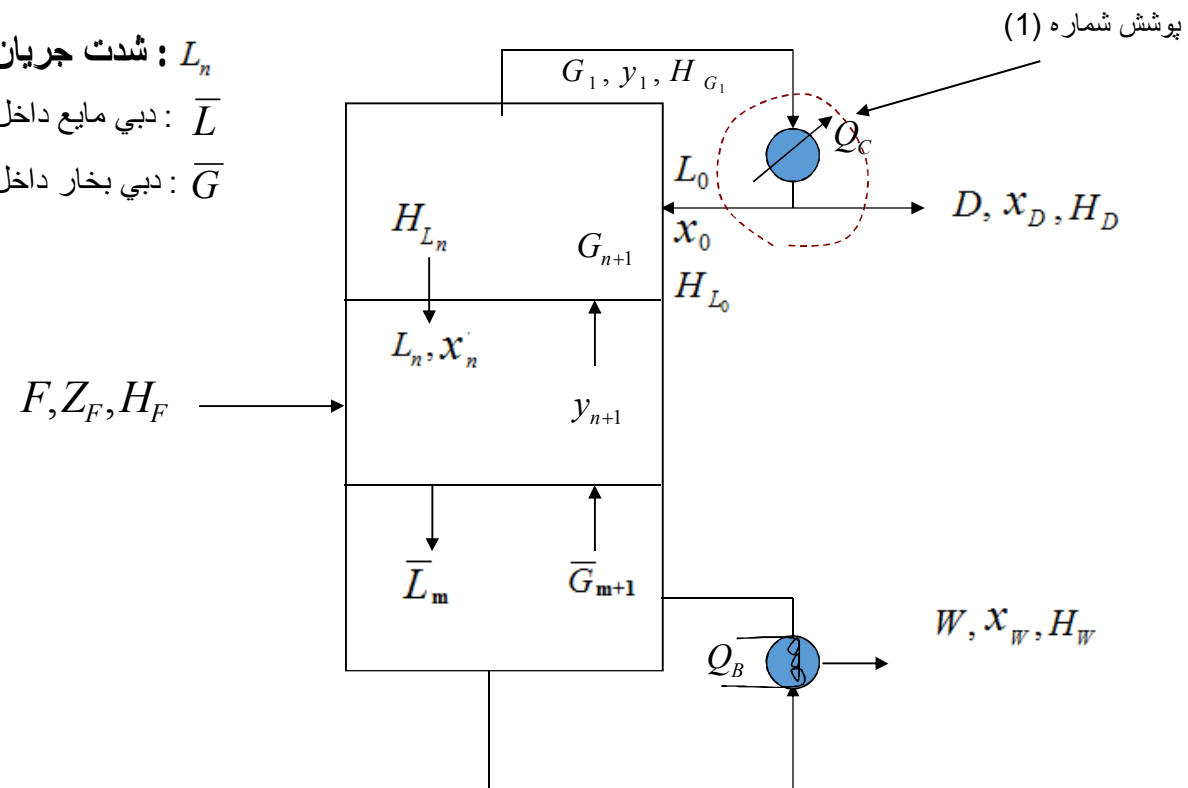
نمای کلی از یک ستون تقطیر

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$



L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n
 $\bar{L}$: دبی مایع داخل برج
 $\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$



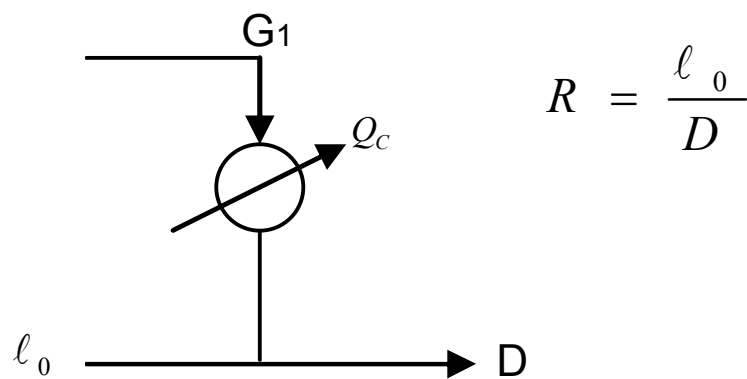
موازنه روی کندانسور، پوشش شماره 1

موازنه کلی : $G_1 = \ell_0 + D$

موازنه جزیی : $G_1 y_1 = \ell_0 x_{\ell_0} + D x_D$

$$\Rightarrow G_1 = D + R.D = D(1 + R)$$

$$G_1 y_1 = (D + \ell_0) x_D = D(R + 1) x_D$$



total condansor داشته باشیم : اگر $G_1 y_1 = (D + \ell_0) x_D = D(R + 1) x_D$

موازنه انرژی : $G_1 H_{G_1} = D H_D + \ell_0 H_{\ell_0} + Q_C$

total condansor حال اگر $\Rightarrow G_1 H_{G_1} = (D + \ell_0) H_D + Q_C$

$(H_D = H_{\ell_0})$ داشته باشیم داریم . $= G_1 H_D + Q_C$

گرمای نهان تبخیر $\Rightarrow G_1 (H_{G_1} - H_D) = Q_C$

تفاضل آنتالپی بخار از مایع $\Rightarrow Q_C = D(R + 1) H_{fg}$

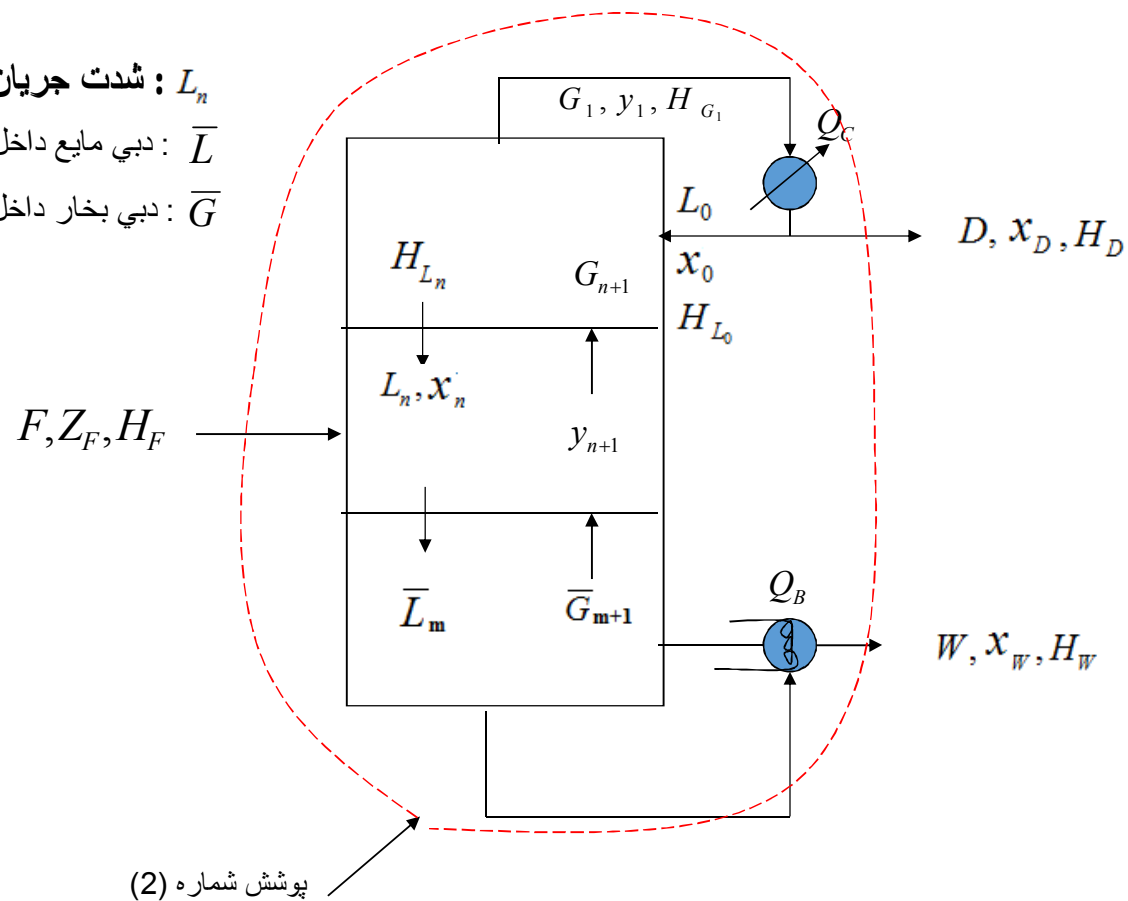
L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n

$\bar{L}$: دبی مایع داخل برج

$\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= V' \end{aligned}$$

$$Q_R = Q_B$$



موازنه روی کل برج، پوشش شماره 2 :

$$F = D + W_{waste}$$

الف) موازنه کلی

$$F.z_F = D.x_D + W.x_W$$

ب) موازنه جزئی

ج) موازنه انرژی

$$F.H_F + Q_R = D.H_D + W.H_D + Q_C + Q_{loss}$$

$$Q_R = Q_B$$

موازنه روی قسمت بالای برج، پوشش شماره 3

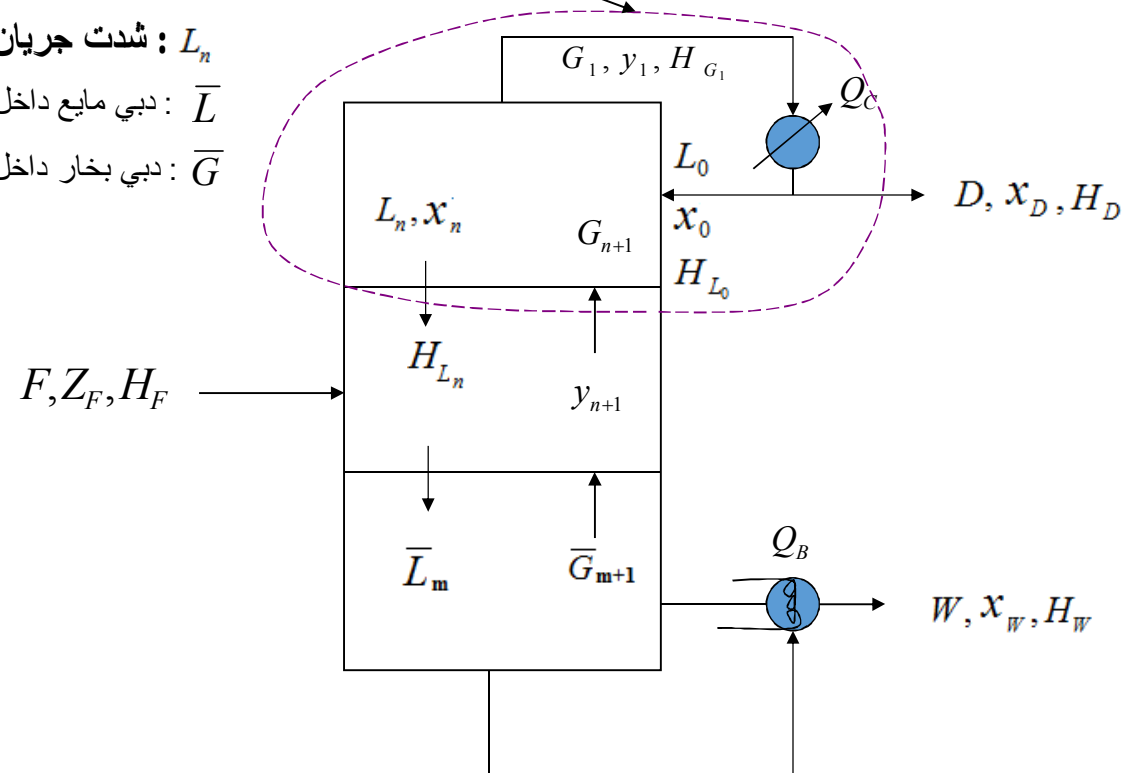
پوشش شماره (3)

L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n

$\bar{L}$: دبی مایع داخل برج

$\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$



موازنه روی قسمت بالای برج، پوشش شماره 3

$$V_{n+1} = L_n + D$$

الف) موازنه کلی

$$V_{n+1} \cdot y_{n+1} = L_n \cdot x_n + D \cdot x_D$$

ب) موازنه جزئی

$$y_{n+1} = \frac{L_n}{V_{n+1}} \cdot x_n + \frac{D \cdot x_D}{V_{n+1}}$$

$$\Rightarrow y_{n+1} = \frac{L_n}{L_n + D} \cdot x_n + \frac{D \cdot x_D}{L_n + D}$$

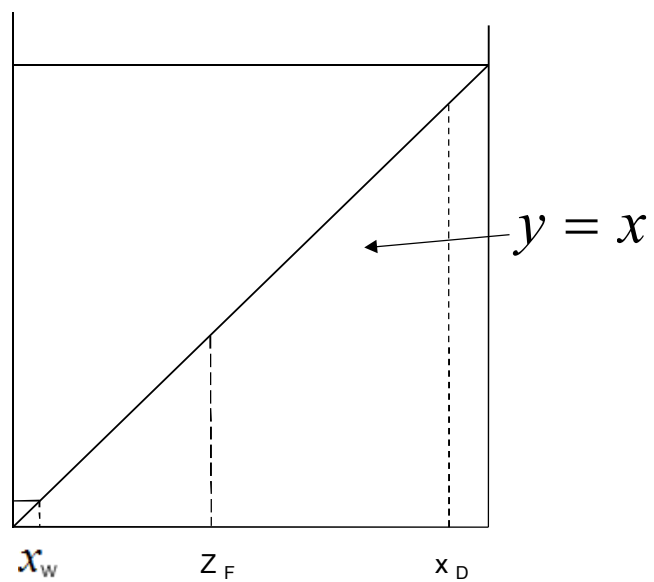
$$L_0 = L_1 = L_2 = \dots = L_n$$

$$R = \frac{L_0}{D} \Rightarrow y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \cdot x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

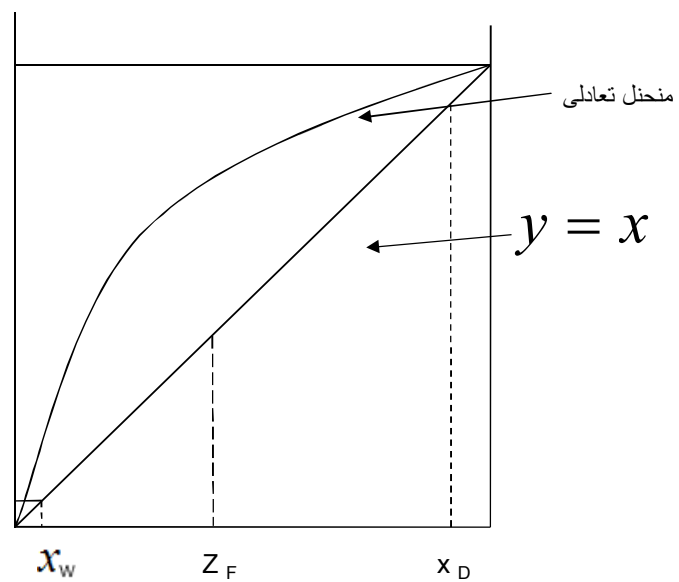
معادله خط کار بالا

$$y = mx + b$$

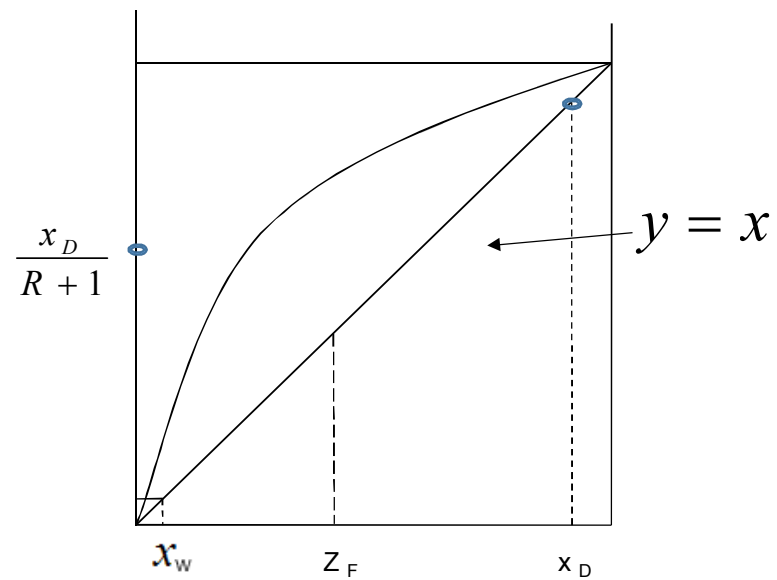
چگونگی رسم منحنی تعادلی:



چگونگی رسم منحنی تعادلی:

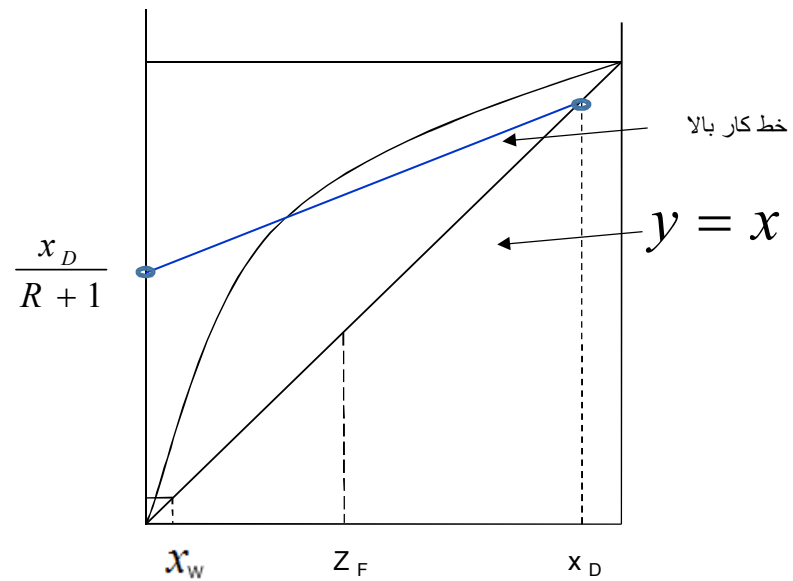


چگونگی رسم منحنی تعادلی:



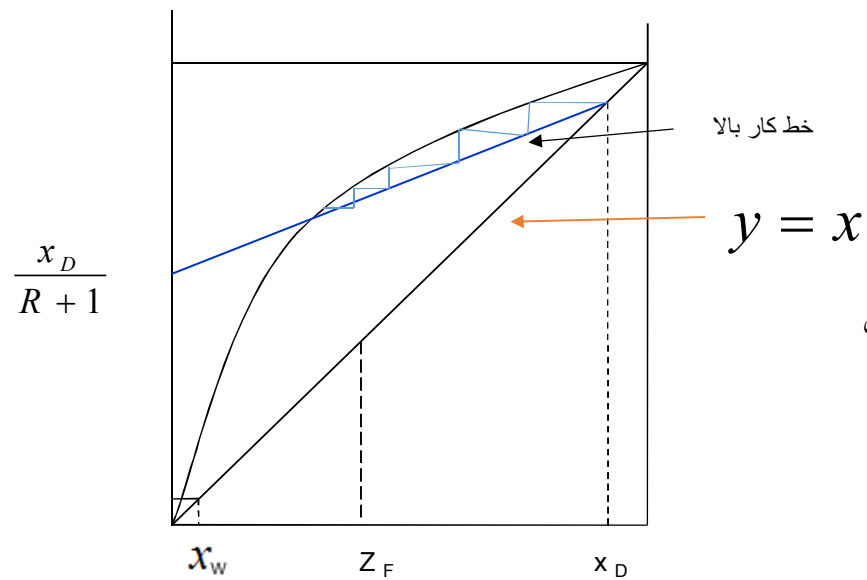
$$y_{n+1} = \frac{R}{R+1} \cdot x_n + \frac{x_D}{R+1}$$

چگونگی رسم خط کار بالای برج :



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

چگونگی رسم تعداد سینی ها:



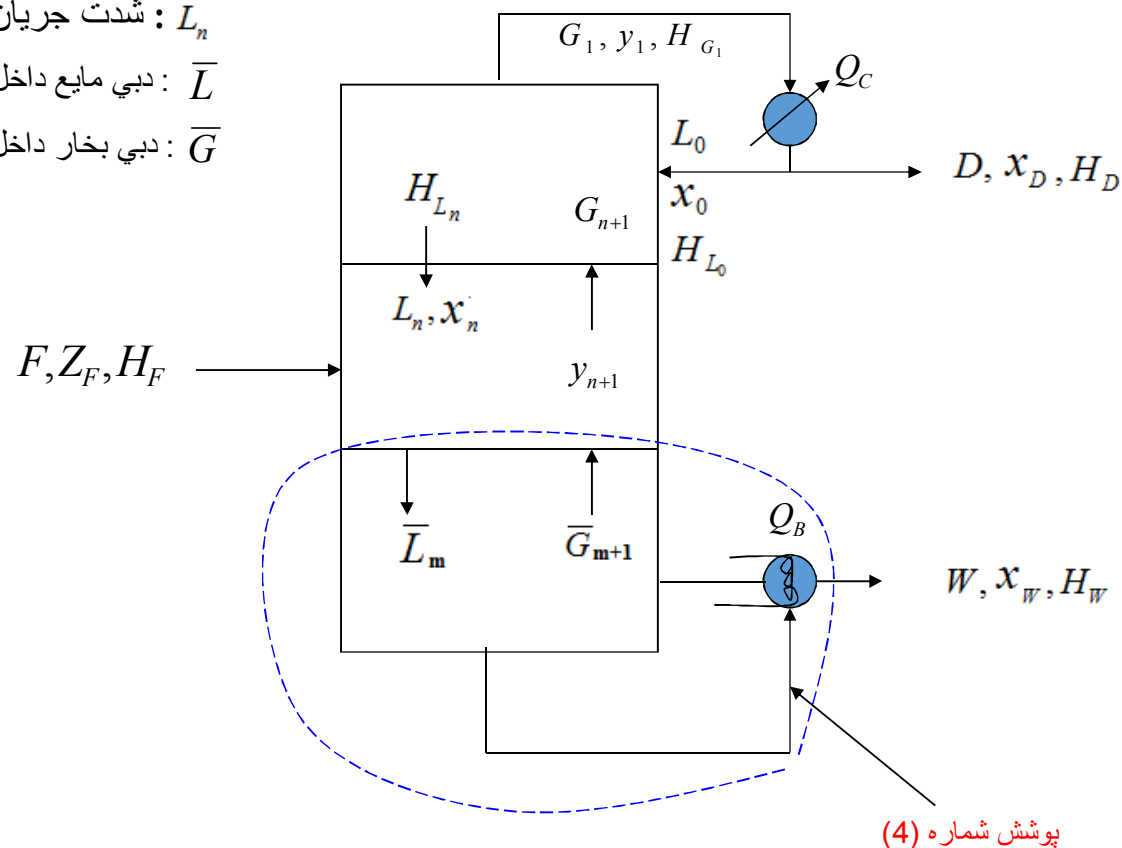
موازنه روی پوشش شماره 4 :

L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n

$\bar{L}$: دبی مایع داخل برج

$\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$



موازنه روی پوشش شماره 4 :

$$\text{موازنه کلی : } \ell' = G' + W$$

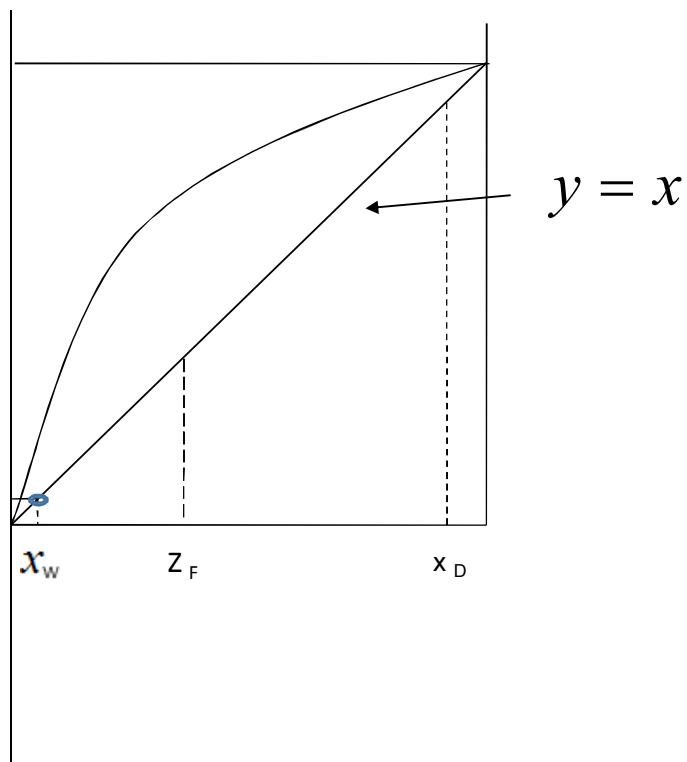
$$\text{موازنه جزئی : } \ell'.x_m = G'.y_{m+1} + W.x_w \Rightarrow G'.y_{m+1} = \ell'.x_m - W.x_w$$

$$\Rightarrow y_{m+1} = \frac{\ell'}{G'} . x_m - \frac{W.x_w}{G'} \Rightarrow y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W} . x_m - \frac{W.x_w}{\ell' - W} \Rightarrow y = mx + b$$

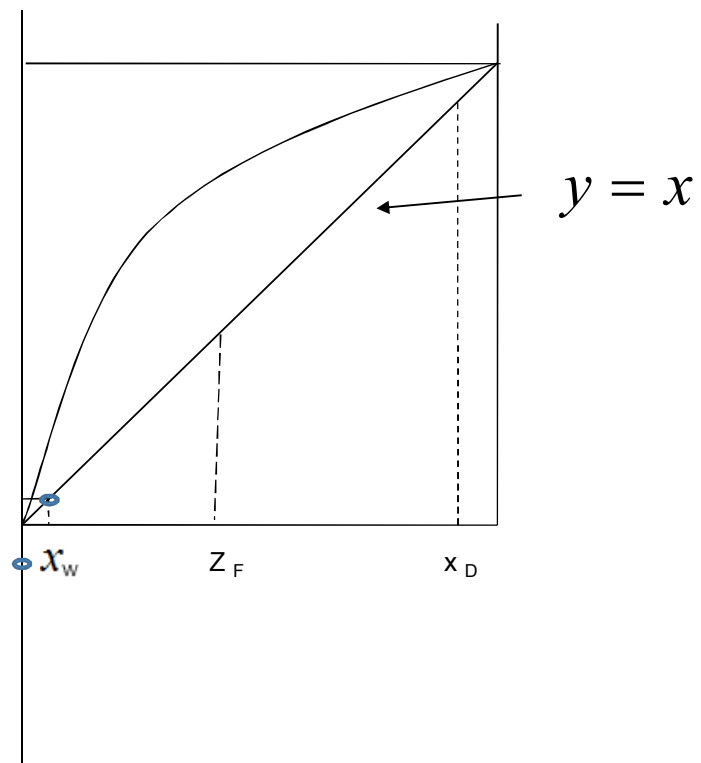
$$\text{معادله خط کار پایین برج : } y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W} . x_m - \frac{W.x_w}{\ell' - W}$$

$$y = mx + b$$

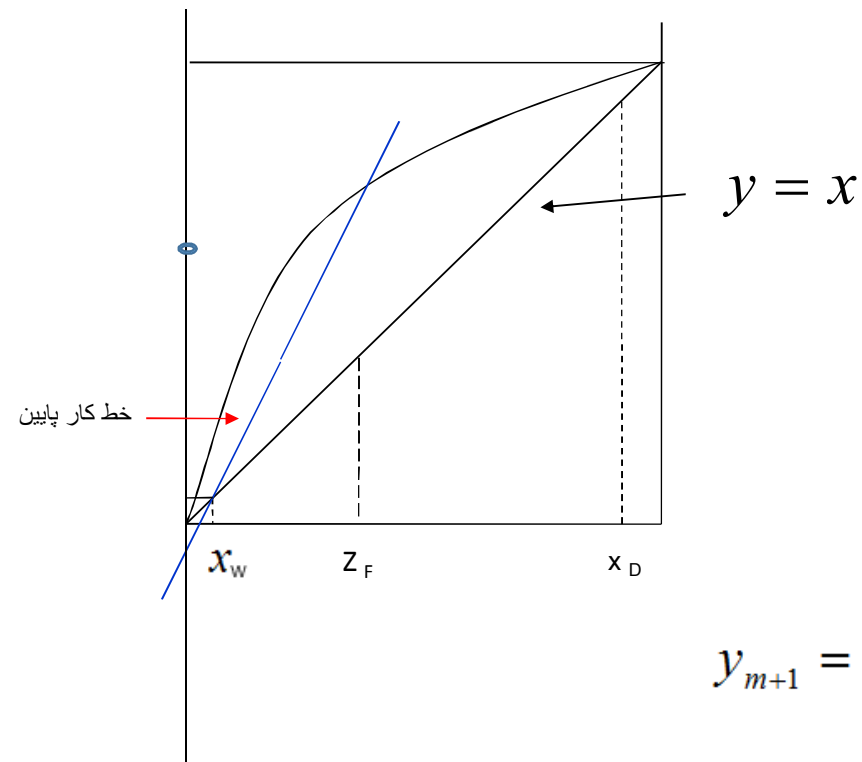
چگونگی رسم خط کار پایین برج:



چگونگی رسم خط کار پایین برج:

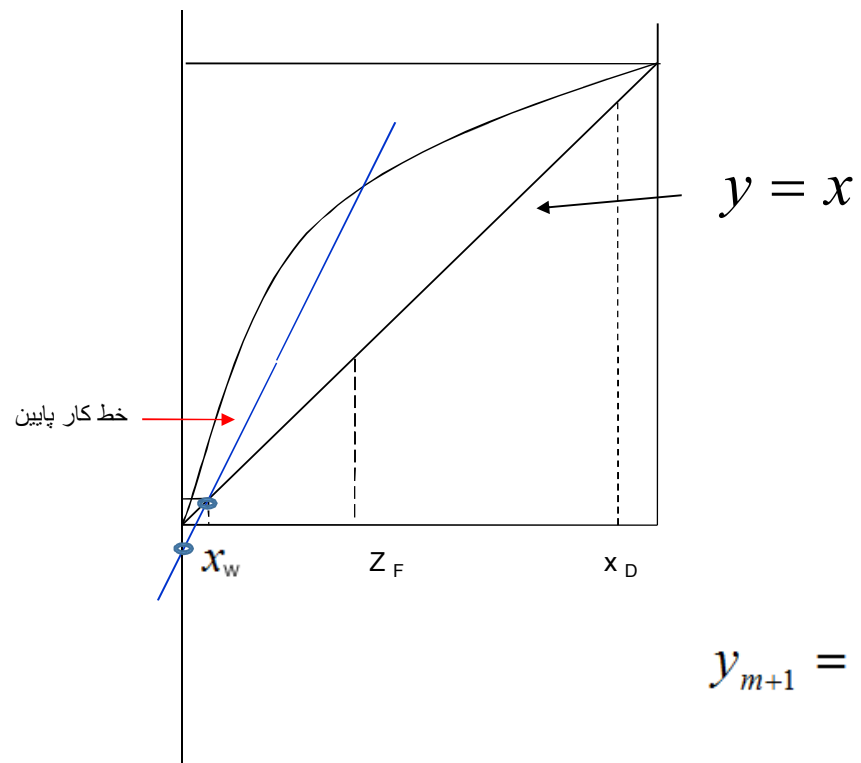


چگونگی رسم خط کار پایین برج:



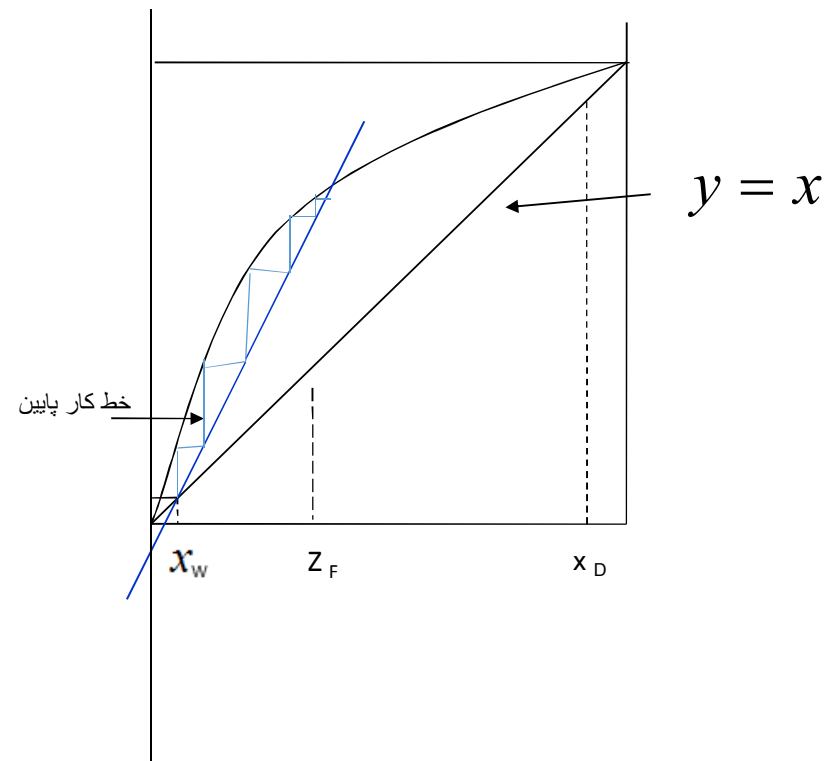
$$y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W} \cdot x_m - \frac{W \cdot x_W}{\ell' - W}$$

چگونگی رسم خط کار پایین برج:



$$y_{m+1} = \frac{\ell'}{\ell' - W} \cdot x_m - \frac{W \cdot x_W}{\ell' - W}$$

چگونگی رسم تعداد سینی ها:



تعداد پلکان ها برابر تعداد سینی ها است

نمای کلی از یک ستون تقطیر

- مایع اشباع
- بخار اشباع
- دو فازی
- سوپر هیت
- مایع سرد

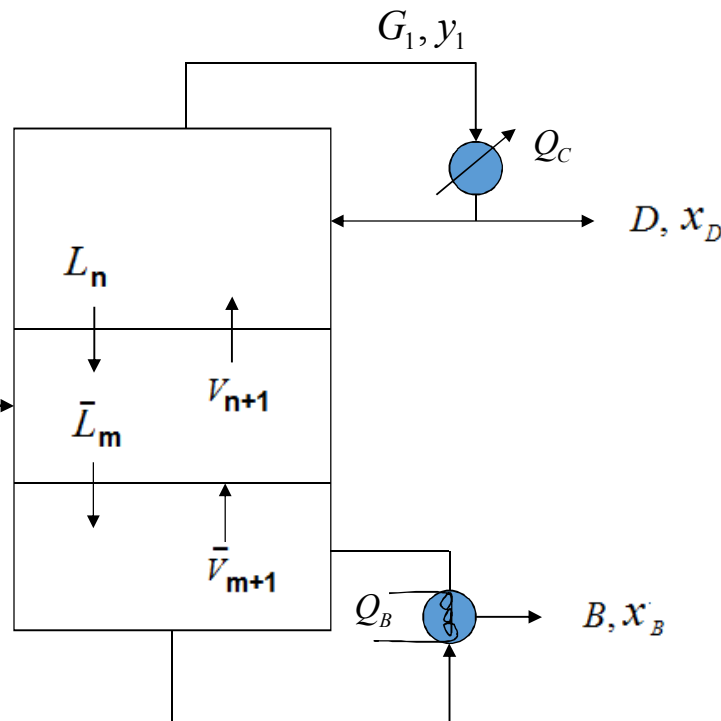
: خوراک می تواند به شکل

بخشی از خوراک که به شکل مایع برج وارد می شود: q

F, Z_F

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ell' &= \ell + qf \\ G &= G' + (1 - q)f \end{aligned}$$



- $q=1$ مایع اشباع
- $q=0$ بخار اشباع
- $0 < q < 1$ دو فازی
- $q < 0$ سوپر هیت
- $q > 1$ مایع سرد

خوراک ورودی سبب می شود که بخشی از مایع داخل برج را هم تبخیر کند $q < 0$

خوراک ورودی سبب می شود که بخشی از بخارات داخل برج را تبدیل به مایع کند $q > 1$

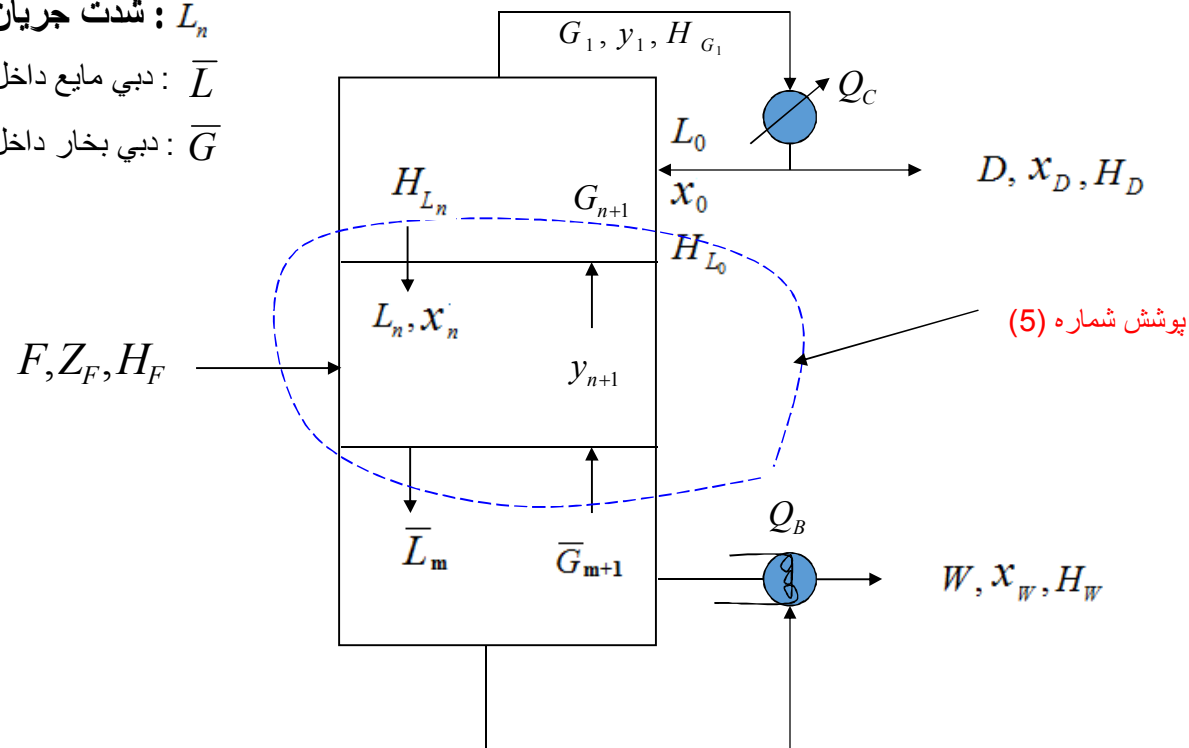
موازنه روی پوشش شماره 5 :

L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n

$\bar{L}$: دبی مایع داخل برج

$\bar{G}$: دبی بخار داخل برج

$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$



موازنه روی پوشش شماره 5 :

$$F + \ell + G' = G + \ell'$$

الف) موازنه کلی

$$F.x_F + \ell.x + G'.y = G.y + \ell'.x \quad *$$

ب) موازنه جزئی

$$\Rightarrow y(G' - G) = x(\ell' - \ell) - F.x_F$$

$$\ell' = \ell + qF \rightarrow \ell' - \ell = qF \quad **$$

$$G = G' + (1 - q)F \rightarrow G - G' = (1 - q)F \quad ***$$

$$(*), (**), (***) \Rightarrow -y(1 - q)F = x.q.F - F.x_F$$

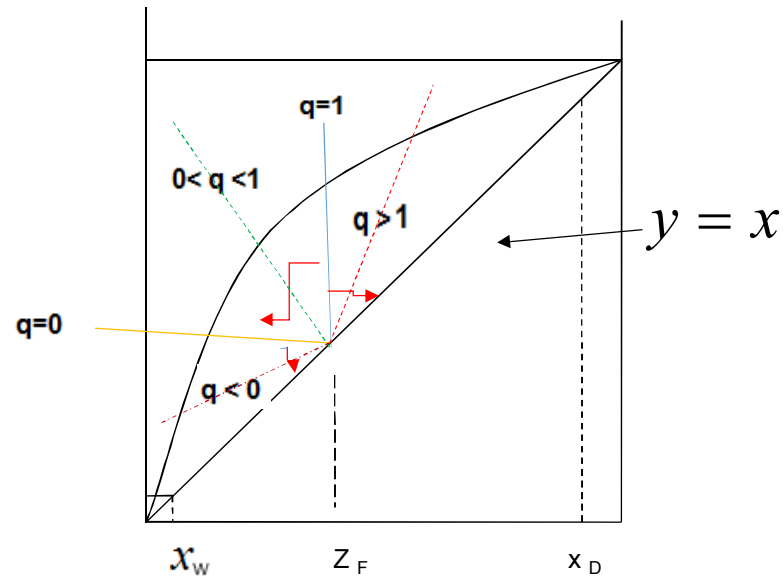
$$\Rightarrow -y(1 - q) = q.x - x_F \quad \Rightarrow y = \frac{q}{q - 1}x - \frac{x_F}{q - 1}$$

معادله خط خوراک
Feed Line

چگونگی رسم خط خوراک در برج :

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

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد $q > 1$

$$q = 1 + \frac{c_{p_l}(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-c_{p_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

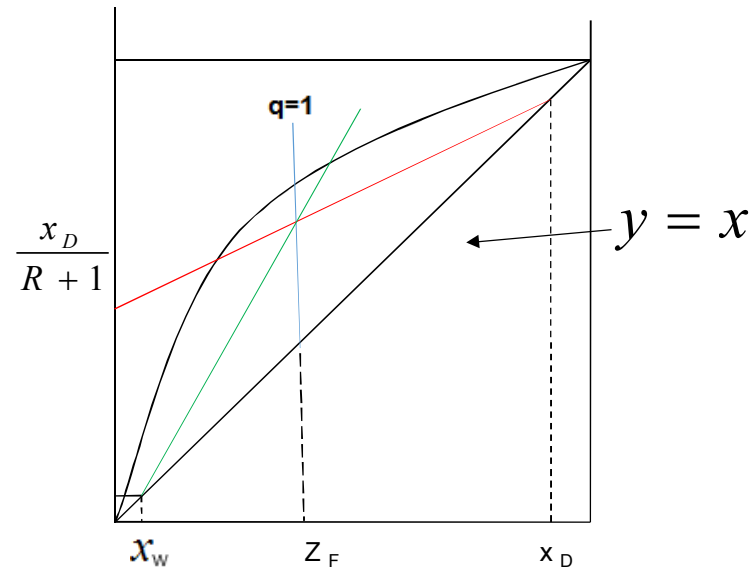
با توجه به مشخص بودن x_f درخوراک ورودی جایگاه آن را درروی محور X ها مشخص می کنیم. سپس از نقطه x_f خطی موازی با محور Y ها رسم می کنیم تا خط ۴۵ درجه را قطع نماید. از محل تقاطع این خط با خط ۴۵ درجه، خطی رسم می کنیم تا از محل خط تقاطع خط کارپایین و خط کاربالا عبور نماید. خطی که از این نقطه عبورنموده به عنوان **خط خوراک** نامیده می شود. می دانیم که مکان هندسی خط کار بالا و خط کار پایین و خط خوراک از یک نقطه عبور می کند.

برای بدست آوردن معادله خط خوراک موازنه را در قسمت میانی، پوشش شماره ۵ برج می نویسیم.

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

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

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد $q > 1$

$$q = 1 + \frac{c_{p_l}(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-c_{p_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$

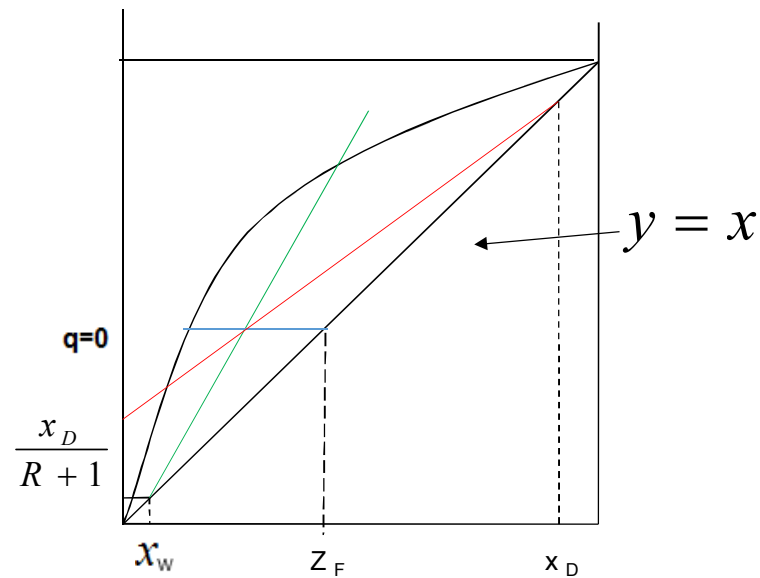
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

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

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد $q > 1$

$$q = 1 + \frac{c_{p_l}(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-c_{p_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$

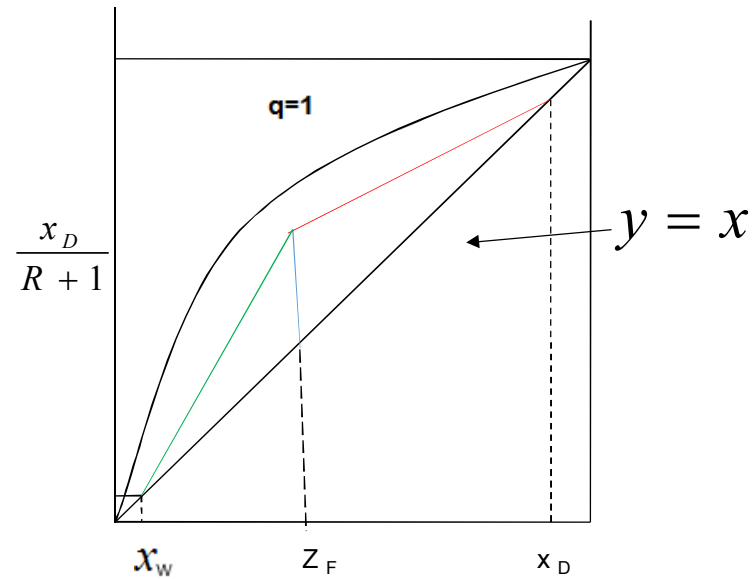
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

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

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد $q > 1$

$$q = 1 + \frac{c_{p_l}(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

$$q = \frac{-c_{p_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$

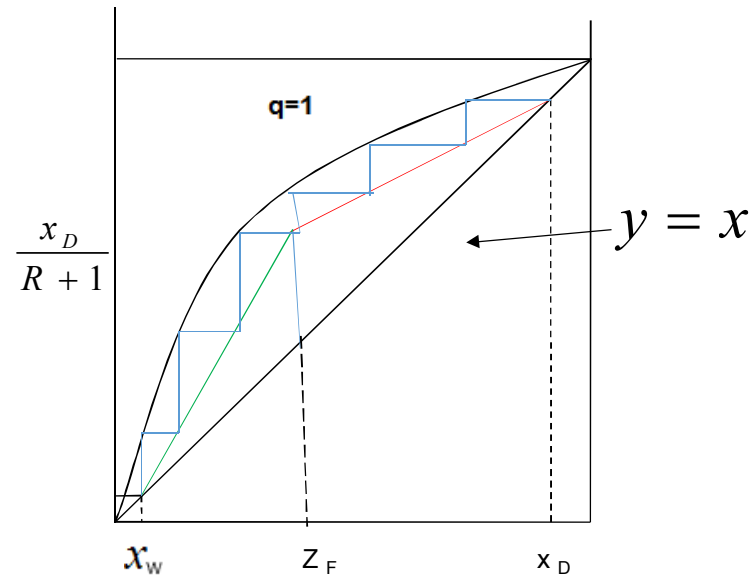
اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی رسم خطوط کاردر برج :

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

$$x_F = z_F$$



برای مایعات سرد $q > 1$

$$q = 1 + \frac{c_{p_l}(T_b - T_F)}{\lambda}$$

برای حالت سوپرهیت $q < 0$

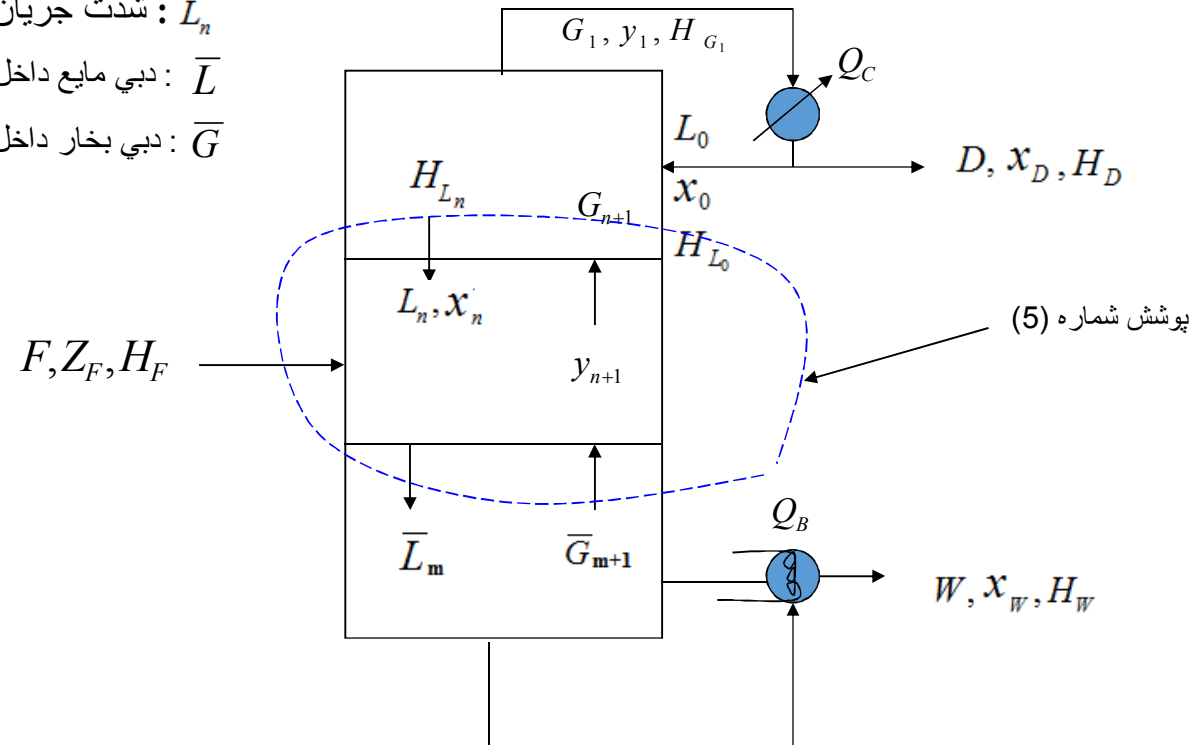
$$q = \frac{-c_{p_v}(T_F - T_d)}{\lambda}$$

اگر خوراک به صورت مایع اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت قائم خواهد بود

اگر خوراک به صورت بخار اشباع وارد سیستم شود (خط خوراک) به صورت افقی خواهد بود

چگونگی محاسبه q در برج :

L_n : شدت جریان مایع خروجی از سینی n
 $\bar{L}$: دبی مایع داخل برج
 $\bar{G}$: دبی بخار داخل برج



$$\begin{aligned} \ell' &= \bar{L} & x_F &= z_F \\ \bar{G} &= G' & \text{or } \bar{V} &= v' \end{aligned}$$

چگونگی محاسبه q در برج :

$$F + G' + \ell = G + \ell' \quad \text{موازنه کلی}$$

$$FH_F + G'H_{G'_{K+1}} + \ell H_{\ell_{K+1}} = GH_{GK} + \ell' H_{\ell'K}$$

$$H_{G'_{K+1}} = H_{G_K} = H_G$$

$$FH_F + G'H_G + \ell H_\ell = GH_G + \ell' H_\ell$$

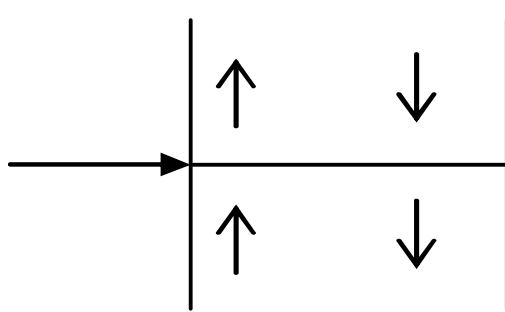
از طرفی می دانیم

$$(G' - G) = (\ell' - \ell) - F$$

$$FH_F + [(\ell' - \ell) - F]H_G = (\ell' - \ell)H_\ell \Rightarrow$$

$$FH_F - FH_G + (\ell' - \ell)H_G = (\ell' - \ell)H_\ell$$

$$\Rightarrow F(H_F - H_G) = (\ell' - \ell)(H_\ell - H_G)$$



$$\left. \begin{array}{l} \frac{\ell' - \ell}{F} = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_\ell} \\ \frac{\ell' - \ell}{F} = q \end{array} \right\} \Rightarrow q = \frac{H_G - H_F}{H_G - H_\ell}$$