حال می توانیم کلیه مراحل محاسبات را (مرحله 3 الی 12) با تغییر در فاصله بین سینی ها تکرار نماییم و نهایتا فاصله سینی و قطر سینی کمتر ومطلوب را بدست آوریم در مرحله نهایی (مرحله 14) جزئیات محاسبات انجام شده برای سینی خاص را می توان با شکل نشان داد.

محاسبات سر انگشتی قطر ستون

محاسبات سر انگشتی قطر ستون:

رابطه تجربی زیر برایر دستیابی به ماکزیمم سرعت پیستونی فاز بخار ارائه شده است در این رابطه فقط فاصله بین دو سینی ودانستیته بخار ومایع مورد نیاز می باشد.

$$\hat{U} = \left(-0.71\ell_t^2 + 0.27\ell_t - 0.047\right)\left[\left(\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4\hat{V}_w}{\pi\rho_V.\hat{U}_V}}$$

$\hat{V_W} = (\frac{kg}{s})$ دبی جرمی بخار

واضح است که قطر ستون بدست آمده در مقایسه با قطر ستون محاسبه شده بر اساس طغیان ترتیبی است. همینطور اشاره شده است که طراحی قابل قبول ستون با الگوی جریان از نوع Single Pass می تواند حداکثر $0.015\ m^2/s$ مایع را به ازاء یک متر قطر ستون تحمل نماید.

در طراحی ستون با شرایط عملیاتی مشخص، دبی های مشخص شاید بتوان قطر ستون مورد نیاز را با افزایش فاصله سینی ها کاهش داد، لذا قیمت کل ستون که بستگی به ارتفاع دارد پس از عبور از یک مینیمم (که فاصله اپتیمم سینی ها ست) افزایش می یابد.

مثال: در یک ستون تقطیر و در بالای ستون فشار اتمسفر و دما $75\ ^\circ C$ ودر پایین ستون دما $106\ ^\circ C$ و فشار در پایین ستون 1.213 اتمسفر گزارش شده است. تعداد سینی های این ستون 22 عدد می باشد. دبی مایع و بخار وخصوصیات فیزیکی در بالا و پایین ستون در شرایط عملیاتی فوق الذکر به شرح زیر می باشد. مطلوب است طراحی هیدرولیکی یک سینی از بالا یا پایین.

در پایین	در بالا	
$L' = 12078$	$L = 1377$	دبی جرمی مایع $\frac{Kg}{hr}$
$V' = 3097$	$V = 2397$	دبی جرمی بخار $\frac{Kg}{hr}$
$\rho'_L = 950$	$\rho_L = 780$	دانستیته مایع $\frac{Kg}{m^3}$
$\rho'_V = 0.77$	$\rho_V = 2.14$	دانستیته بخار $\frac{Kg}{m^3}$
$\gamma' = 57 \times 10^{-3}$	$\gamma = 19 \times 10^{-3}$	کشش سطحی مایع $\frac{N}{m}$

حل:

طبق مراحل ارائه شده در طراحی هیدرولیکی مراحل 1و2 مربوط به دبی جریانات و خصوصیات فیزیکی مایع و بخار می باشد. خصوصیات فیزیکی در بالا در فشار آتمسفر بدست آمده است. فرض می شود افت فشار هر سینی (توصیه شده)100 میلی متر آب باشد.

$$100\ mmH_2O = 980.7\ \frac{N}{m^2}$$

افت فشار یک سینی × تعداد سینی ها + فشار بالا = فشارپایین $= atm + 22 \times 980.7 \times \frac{1}{101330} = 1.21 atm$

بنابر این خصوصیات فیزیکی پایین در فشار 1021 اتمسفر محاسبه شده است.

مرحله3- فاصله سینی ها – به عنوان اولین حدس فاصله بین سینی ها 50 سانتی متر فرض می شود.

مرحله 4- ادامه محاسبات برای بالای ستون: قطر ستون از رابطه فاکتور جریان F_{LV} محاسبه می شود.

$$F_{LV} = \frac{1377}{2397}\sqrt{\frac{2.14}{780}} = 0.03 \quad \Rightarrow \text{شکل} \Rightarrow \quad K_1 \approx 0.088$$

فاصله سینی = 50 سانتی متر

فرض : 75 mm = (فاصله سینی ها) 0.15> ارتفاع سد ، 6.5 mm> قطر سوراخ ها

$$\frac{\text{سطح سوراخ}}{\text{سطح فعال}} > 0.1 \quad ، \quad \gamma = 0.02 \ \frac{N}{m}$$

$$K_{1\ \text{جدید}} = K_1 \left(\frac{\gamma}{0.02}\right)^{0.2} \quad \Rightarrow \quad K_1 = 0.088\left(\frac{19\times10^{-3}}{20\times10^{-3}}\right)^{0.2} = 0.087 \qquad K_1 \text{ تصحیح}$$

$$U_f = K_1\sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} \quad \Rightarrow \quad U_f = 0.087\sqrt{\frac{780 - 2.14}{2.14}} = 1.66\ \frac{m}{s}$$

طراحی بر مبنای 80 در صد طغیان انجام می شود. بنابر این:

سرعت واقعی بر مبنای سطح خالص

$$U = 0.8 \times 1.66 = 1.33 \frac{m}{s}$$

$$A_n = \frac{2397}{3600 \times 2.14 \times 1.33} = 0.234 m^2$$

سطح مقطع ناودانی : فرض می شود

$$A_d = 0.12\ A_c$$

$$A_n = A_c - A_d$$

$$A_c = \frac{A_n}{0.88} = \frac{0.234}{0.88} = 0.27$$

قطر بالای ستون

$$D_c = \left(\frac{4 A_c}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.586\ m$$

می توان دقیقا عملیات بالا برای پایین ستون انجام داد ونهایتا:

$$F_{LV} = \frac{12078}{3097}\left(\frac{0.77}{950}\right)^{\frac{1}{2}} = 0.11$$

$$K_1 = 0.07 \quad \Rightarrow \quad K_1 : 0.07\left(\frac{57}{19}\right)^{0.2} = 0.087$$

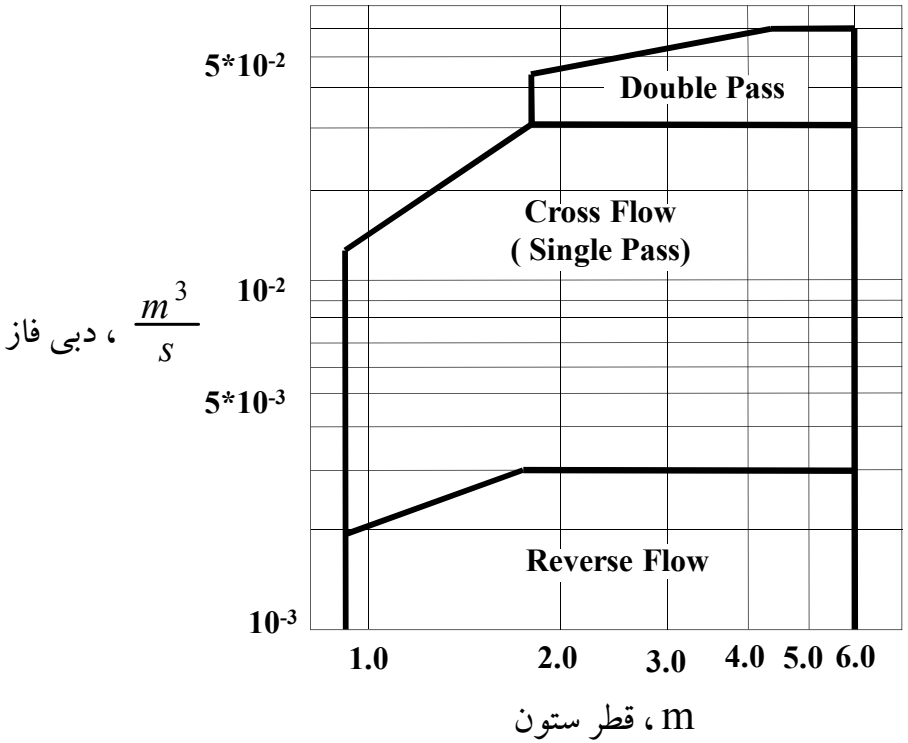
$$U_F = 0.87\left(\frac{950-0.77}{0.77}\right)^{\frac{1}{2}} = 3.05\frac{m}{s} \quad , \quad U = 0.8\times 3.05 = 2.44$$

$$A_n = \frac{3097}{3600\times 0.77\times 2.14} = 0.458m^2 \quad , \quad A_c = 0.5m^2 \quad , \quad D_c = 0.79$$

برای کاهش هزینه ساخت ستونی با دو قطر می توان از ستونی با یک قطر (قطر بزرگتر) با تغییرات لازم در طراحی سینی ها (مثلا کاهش سطح سوراخ ها A_P استفاده از ناودانی با تیغه مایل) در قسمت بالایی (بالاتر از نقطه ورودی خوراک) استفاده نمود . حال طراحی یکی از سینی های پایین (که قطر بزرگتری دارد) را ادامه می دهیم نزدیکترین قطر ستون موجود به قطر محاسبه شده فوق 749 میلی متر است.

قطر داخلی $D_i = 794\ mm$ ، قطر خارجی $D_o = 812\ mm$

مرحله 5- انتخاب الگوی جریان از روی شکل



دبی جریان مایع $= \frac{12078}{3600\times 950} = 3.5\times 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

قطرستون $= 0.79$m

الگوجریان = Single pass

مرحله 6- سطوح مختلف تعریف شده روی سینی

$$A_c = \frac{\pi D_c^2}{4} = \frac{\pi}{4}(0.79)^2 = 0.5m^2$$

$$A_d = 0.12A_c = 0.12 \times 0.5 = 0.06m^2$$

$$A_n = A_c - A_d = 0.44m^2$$

$$A_a = A_c - 2A_d = 0.38m^2$$

$$A_h = 0.1A_a = 0.038m^2$$

$d_h = 5mm$ انتخاب می شود

$h_w = 50mm$ انتخاب می شود

$\ell_w = 0.77 \times 0.79 = 0.6m$ طول سد

کربن استیل= جنس کربن

ضخامت سینی ها =5mm

مرحله 7- بررسی چکه کردن مایع

سرعت واقعی بخار از درون سوراخ ها = $\frac{\text{دبی فاز بخار}}{A_h} = \frac{3097}{0.77 \times 3600 \times 0.038} = 29.4 \frac{m}{s}$

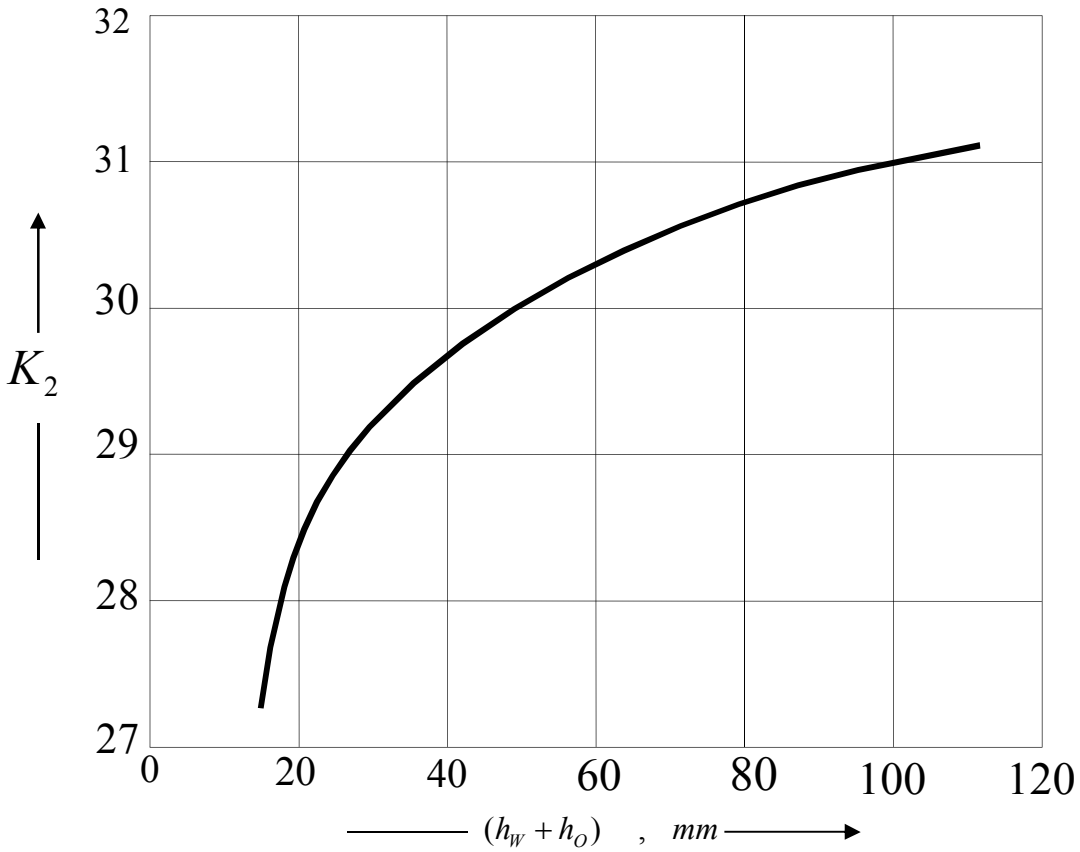
$$h_{ow} = 750\left[\frac{12078}{3600*950*0.6}\right]^{\frac{2}{3}} = 24.4 \ \ mm$$

$h_{ow} > 10mm$ قابل قبول

$$h_w + h_{ow} = 50 + 24.4 = 74.4mm$$

$K_2 = 30.6$

از روی شکل مقدار K_2 تعیین می شود.



مقدار K_2 در بررسی پدیده ی چکه کردن مایع از سوراخ ها

حداقل سرعت بخار از سوراخ ها برای اطمینان از عدم چکه کردن مایع :

$$U_{\min} = \hat{U}_n = \frac{30.6 - 0.9(25.4 - 5)}{(0.77)^{\frac{1}{2}}} \approx 14 \frac{m}{s}$$

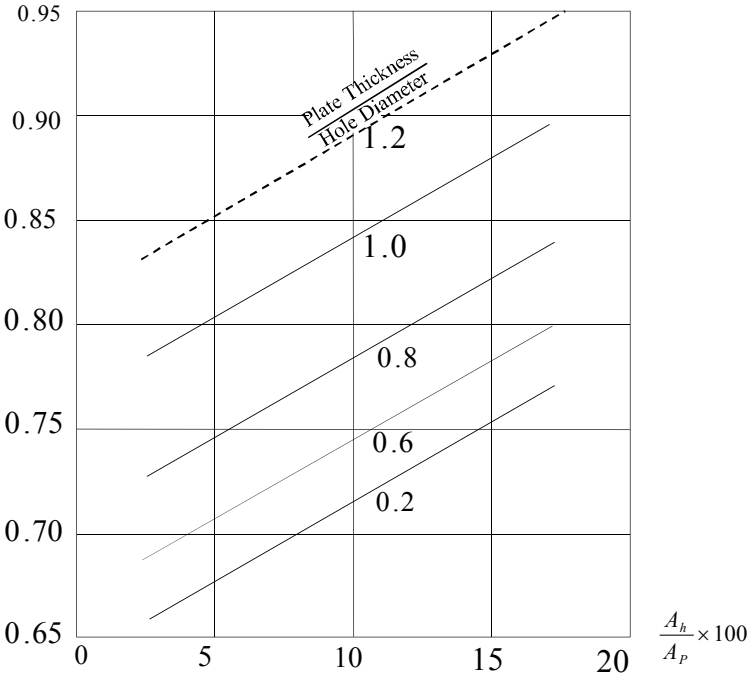
با توجه به آنکه U min<U real است لذا چکه کردن مایع صورت نمی گیرد در صورتیکه دبی جریان مایع یا بخار کم ویا زیاد شود یا به عبارتی با اعمال Turn down ratio می توان عدم چکه کردن مایع را نیز بررسی کرد

مرحله 8- افت فشار در هر سینی

$$h_r = \frac{12.5*10^3}{\rho_L} = \frac{12.5\times10^3}{950} = 13.2mm$$

$$\frac{\text{ضخامت سینی}}{\text{قطر سوراخ}} = 1 \quad , \quad \frac{A_h}{A_P} \approx \frac{A_h}{A_\alpha} = 0.1 \xrightarrow{fig} C_o = 0.84$$

ثابت اریفیس ، C_O



$$U_h = \frac{\text{دبی حجمی بخار}}{\text{سطح مقطع سوراخ ها}} = \frac{3097/(3600\times 0.77)}{0.038} = 29.4\frac{m}{s}$$

$$h_d = 51\left(\frac{U_h}{C_o}\right)^2\left(\frac{\rho_V}{\rho_L}\right) = 51\left(\frac{29.4}{0.84}\right)^2\left(\frac{0.77}{950}\right) = 50.6mm$$

$$h_t = h_d + \left(h_w + h_{ow} + \frac{\Delta}{2}\right) + h_r = 50.6 + (50 + 24.4 + 0) + 13.2 = 138.2mm$$

$$\Delta P_t = 9.81*10^3 * \rho_L * h_t = 9.81\times 10^{-3}\times 950\times 138.2 = 1287.9\frac{N}{m^2}$$

$$\Delta p_t = 131.3mmH_2O$$

افت فشار هر سینی 131 میلی متر آب محاسبه شده است. مقدار فرض شده 100 میلی متر آب است. می توان محاسبات را تکرار نمود مقدار h_w را کاهش داد یا قطر سوراخ را کمی بزرگتر در نظر گرفت لیکن مقدار افت فشار خیلی زیاد نمی باشد واثر آن روی خصوصیات فیزیکی قابل اغماض می باشد.

افت فشار کل ستون $1278 .9 \times 22 = 28334 \ \frac{N}{m^2} = 0.28 \, atm$

که قابل قبول می باشد.

مرحله 9- ارتفاع مایع درون ناودانی – محاسبه A_m

$$A_d = 0.06m^2$$

$$A_{ap} = 0.6 \times h_{ap} \quad , \quad h_{ap} = h_w - (5-10) = 40mm$$

$$A_{ap} = 0.6 \times 0.04 = 0.024m^2$$

$$A_m = 0.024$$

$$h_{dc} = 166 \left(\frac{L_{wd}}{\rho_L . A_m} \right)^2 = 166 \left[\frac{12078 \quad / 3600}{950 \quad \times 0.024} \right]^2 = 3.6\, mm$$

$$h_d = h_t + h_w + h_{ow} + h_{dc} = 138.2 + 50 + 24.4 + 3.6 = 216.2mm \quad \Rightarrow \quad h_d \approx 0.22m$$

$$h_d < \frac{1}{2}(0.5 + 0.05) = 0.275 \qquad \text{قابل قبول}$$

ارتفاع مایع درون ناودانی از نصف مجموع فاصله سینی و h_w کمتر است.

زمان توقف مایع درون ناودانی:

$$t_r = \frac{A_d . h_d . \rho_L}{L_{wd}} = \frac{0.06 \times 0.22 \times 950}{12078 / 3600} = 3.74 \sec > 3$$

مرحله 10 – جزئیات طراحی سینی

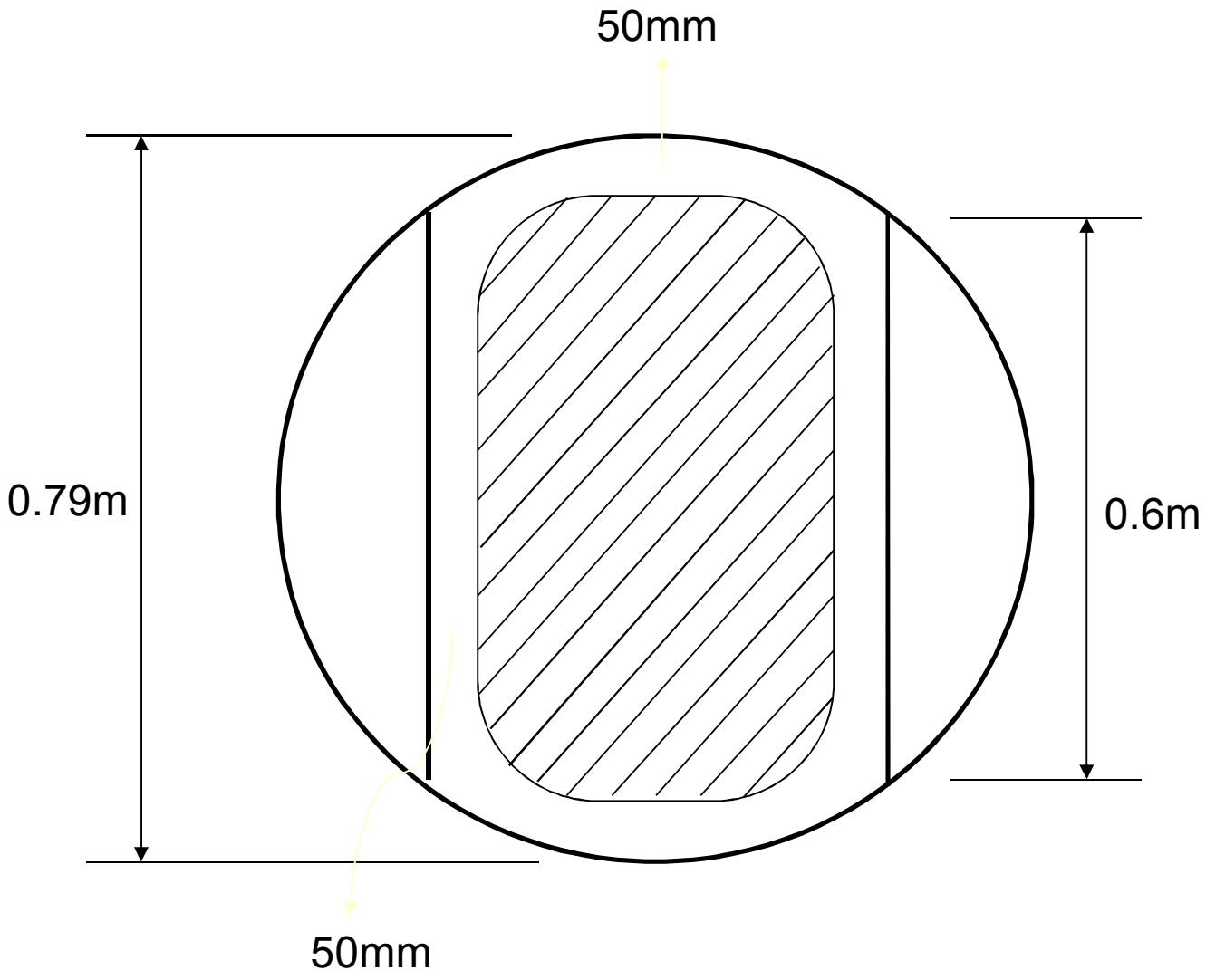
سطح سوراخ ها $= 0.038 m^2$

سطح یک سوراخ $= \frac{\pi}{4}\left(5 \times 10^{-3}\right)^2 = 1.96 \times 10^{-5}\, m^2$

تعداد سوراخ ها $= \frac{0.038}{1.96 \times 10^{-5}} = 1935$

سایر اطلاعات مربوط به سینی در مرحله 6 آمده است.

عرض نگه دارنده ونیز منطقه آرامش در حدود 50 میلی متر در نظر گرفته می شود. جزئیات طراحی در شکل آمده است.


50mm
0.79m
0.6m
50mm

مرحله 11 – محاسبه در صد طغیان

$$U = \frac{3097}{3600 \times 0.44 \times 0.77} = 2.54 \frac{m}{s}$$

$$\text{در صد طغیان} = \frac{2.54}{3.02} = 0.84$$

قابل قبول

مرحله 12 – محاسبه مقدار Entrainment

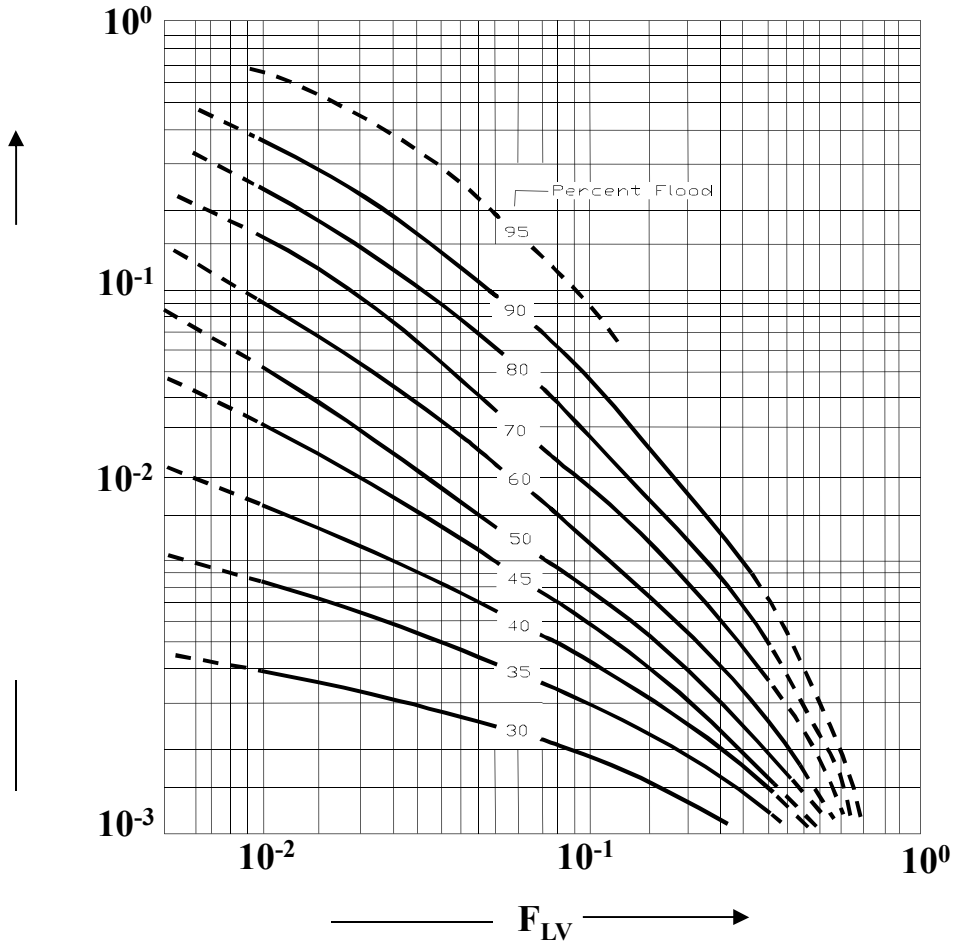
$$F_{LV} = \frac{12078}{3097}\sqrt{\frac{0.77}{950}} = 0.11$$

از روی شکلی که در ادامه آمده است مقدار Ψ مشخص می شود.

$$\Psi = 0.045 < 0.1$$

قابل قبول

بنابر این مقدار Entrainment نیز در حد قابل قبول است .



مقدار Entrainment در سینی های مشبک

حال می توان کلیه محاسبات را با تغییر در فاصله سینی ها تکرار نمود (مرحله 13)ونهایتا طراحی سینی مطلوب را با حداقل فاصله سینی ها و کمترین هزینه بدست آورد (مرحله 14)

پایان فصل ۶