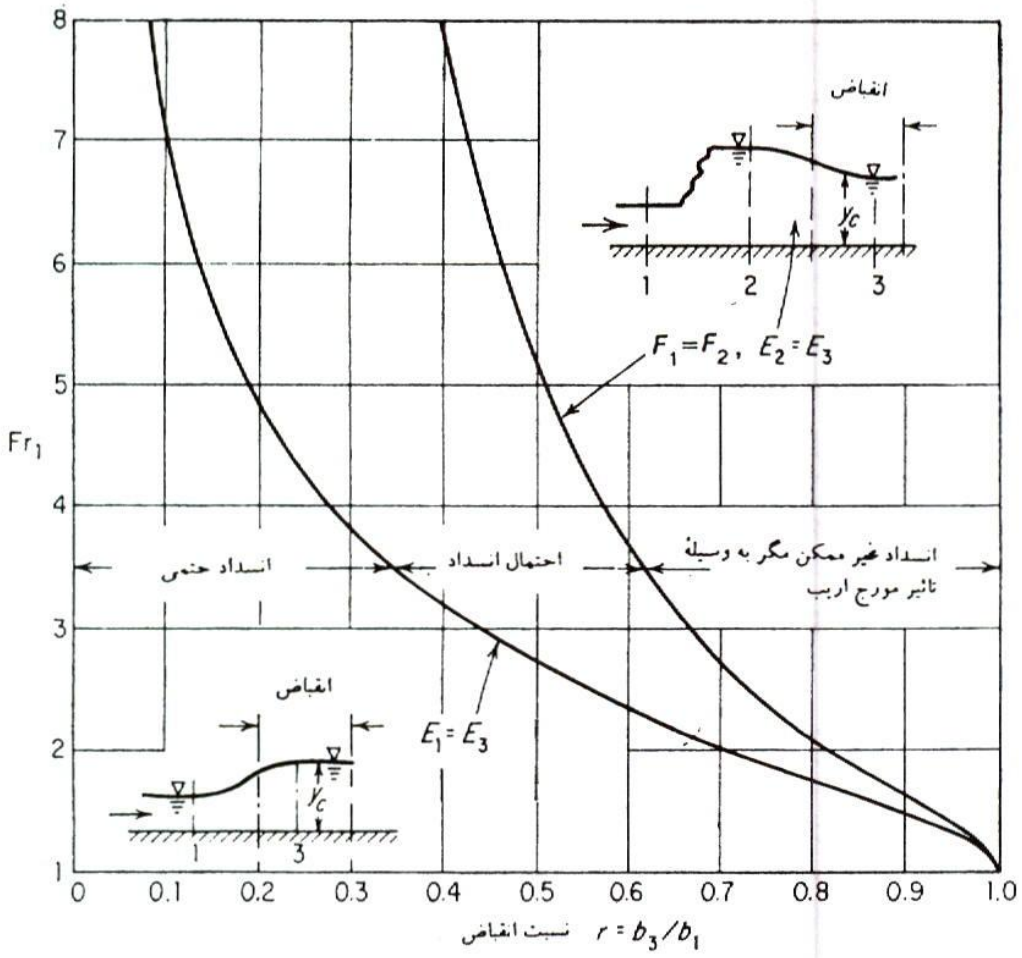
Prozhefa.com



شکل ۹-۱۲ انسداد در یک تبدیل تنگ کنندهٔ فوق بحرانی

که در آن، β_1 عبارت است از زاویهٔ انحراف امواج AB و $A'B$ نسبت به جهت اولیهٔ جریان. به‌روش مشابه، برای امواج BC و BC' داریم:

$$\frac{y_3}{y_2}=\frac{1}{2}\left(\sqrt{1+8Fr_2^2\sin^2\beta_2}-1\right) \qquad (۹-۱۹)$$

که β_2 زاویهٔ موج BC نسبت به دیوار منحرف شده است. از طرفی برای این حالت تبدیل، رابطهٔ ۹-۱۴ و همچنین مشابه آن برای $\frac{y_3}{y_2}$ به‌صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{y_2}{y_1}=\frac{\tan\beta_1}{\tan(\beta_1-\theta)} \qquad (۹-۲۰)$$

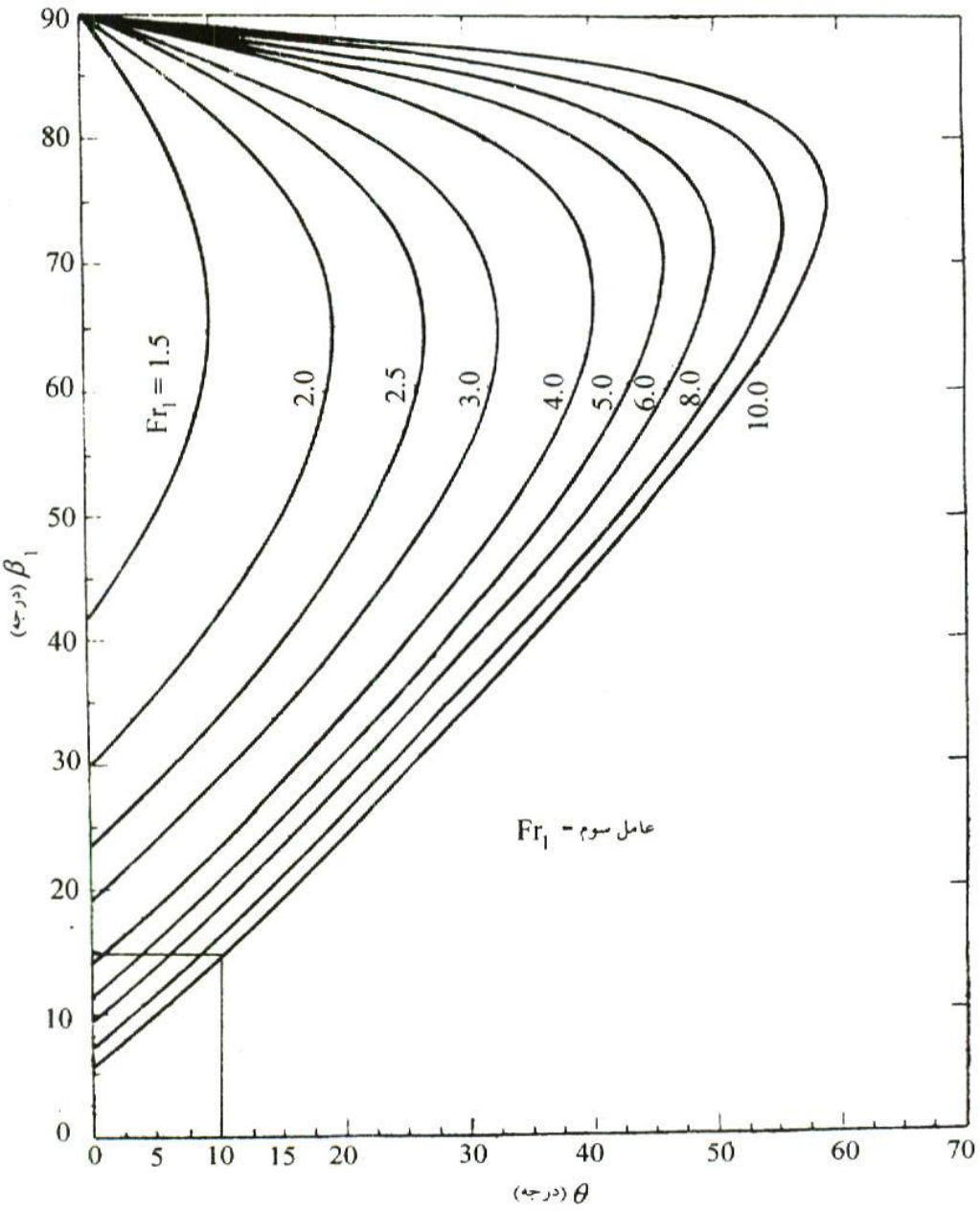
$$\frac{y_3}{y_2}=\frac{\tan\beta_2}{\tan(\beta_2-\theta)} \qquad (۹-۲۱)$$

با حذف نسبت $\frac{y_2}{y_1}$ از معادلات ۹-۱۸ و ۹-۲۰، خواهیم داشت:

Prozhefa.com

$$\tan\theta = \frac{\tan\beta_1\left(\sqrt{1+8Fr_1^2\sin^2\beta_1}-3\right)}{2\tan^2\beta_1 - 1 + \sqrt{1+8Fr_1^2\sin^2\beta_1}} \qquad (۹-۲۲)$$

که این معادله به صورت نمودارهایی برای Fr_1 های مختلف در شکل ۹-۱۳ آورده شده و می‌توان با مشخص بودن Fr_1 و θ ، مقدار β_1 و بالعکس را به‌دست آورد. بدیهی است ازمعادله و نمودارهای ذکر شده می‌توان مقدار β_2 را نیز در صورت داشتن Fr_2 و θ معین نمود.



شکل ۹-۱۳ تغییرات β_1 در یک موج اریب

Prozhefa.com

در طراحی چنین تبدیلهایی، عموماً مقادیر Fr_1 ، y_1 ، b_1 و b_3 معلوم بوده و لازم است تا زاویهٔ انحراف دیوار تبدیل (θ) معین گردد. بنابراین با داشتن $\frac{b_3}{b_1}$ و استفاده از معادلات ۹-۱۸ تا ۹-۲۲ و روابط ذیل، می‌توان مجهولات θ ، L (طول تبدیل)، β_1 ، β_2 ، Fr_2 ، Fr_3 ، $\frac{y_2}{y_1}$ و $\frac{y_3}{y_2}$ را محاسبه نمود.

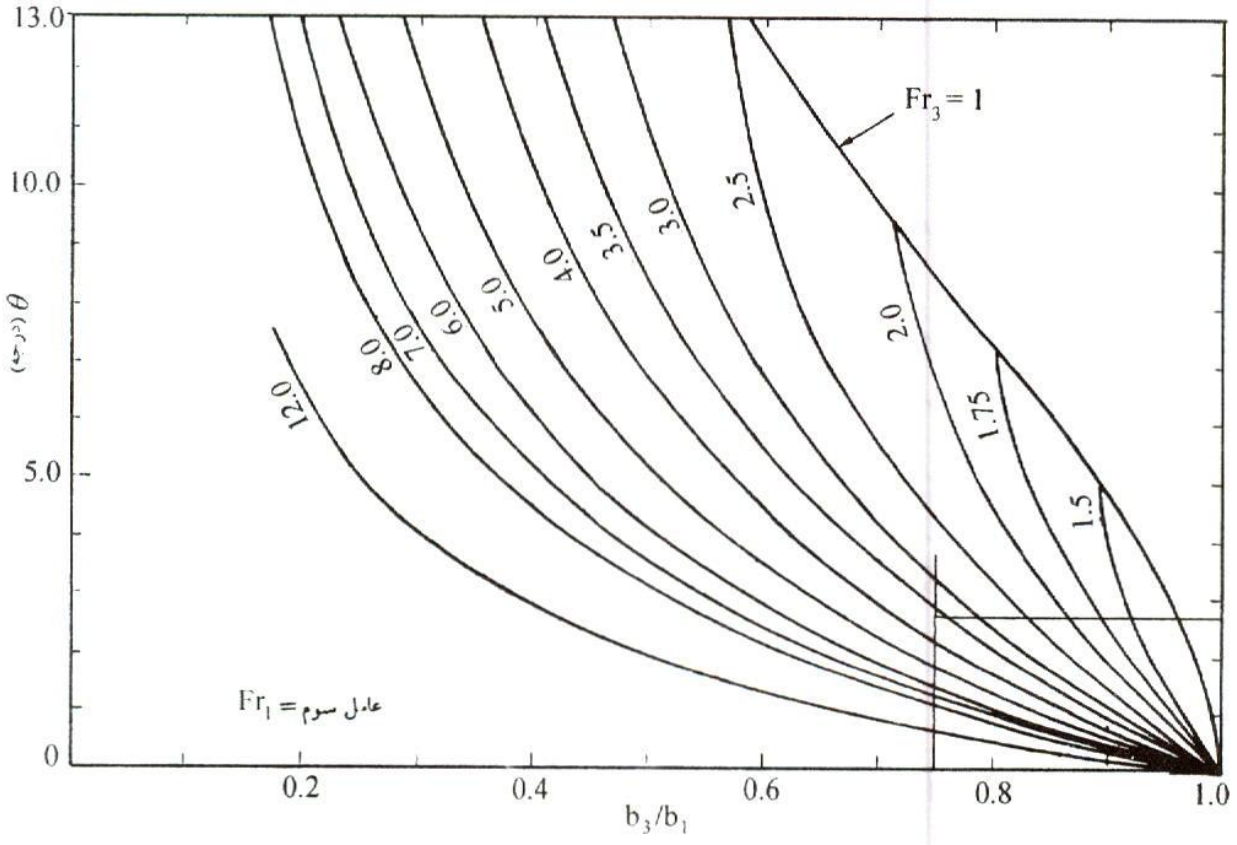
$$L = \frac{b_1 - b_3}{2\tan\theta} \qquad (۹-۲۳)$$

$$Q = b_1 y_1 V_1 = b_3 y_3 V_3$$

و لذا:

$$\frac{b_1}{b_3} = \frac{y_3 V_3}{y_1 V_1} = \frac{Fr_3}{Fr_1}\left(\frac{y_3}{y_1}\right)^{3/2} \qquad (۹-۲۴)$$

اضافه می‌نماید که برای به کارگیری کلیه معادلات فوق، لازم است تا از روش آزمون و خطا استفاده شود. Subramanya و Dakshinamoorthy (۱۹۷۴) ضمن به کارگیری معادلات یاد شده، روابطی برای چهار مجهول θ ، Fr_3 ، β_1 و β_2 به‌دست آورده و از حل آنها به روش «کمترین مربعات»، به‌نتایج خوبی دسترسی پیدا نمودند. روشهای دیگری نیز نظیر روش آزمون و خطا برای به‌دست آوردن مجهولات به کار



شکل ۹-۱۴ تغییرات q در تبدیل‌های تنگ کننده (بعد از Dakshinamoorthy، ۱۹۷۳)

Prozhefa.com

گرفته شده است. براساس مطالعات Dakshinamoorthy (۱۹۷۳) روی معادلات مذکور، می‌توان مقدار θ را براساس تغییرات $\frac{b_۳}{b_۱}$ و $Fr_۱$ از منحنی‌های شکل ۹-۱۴ به‌دست آورد و نهایتاً با استفاده از این شکل و شکل ۹-۱۳ (معادلهٔ ۹-۲۲) و نیز معادلات مربوطهٔ دیگر تمام مجهولات لازم برای طراحی تبدیلهای از نوع مزبور را تعیین و محاسبه نمود.

مثال ۹-۳

مطلوب است زاویه انحراف و طول یک تبدیل تنگ‌کننده فوق بحرانی با دیواره‌های مستقیم‌که دو کانال مستطیلی به عرض‌های ۳٫۶۶m و ۱٫۸۳m را به یکدیگر متصل کند. مقدار دبی $۵٫۶۷m^۳/s$ و عمق جریان در بالادست تبدیل ۰٫۲۱m می‌باشد.

حل:

$$V_۱ = \frac{Q_۱}{A_۱} = \frac{۵٫۶۷}{۳٫۶۶ \times ۰٫۲۱} = ۷٫۳۸m/s$$

$$Fr_۱ = \frac{V_۱}{\sqrt{gy_۱}} = \frac{۷٫۳۸}{\sqrt{۹٫۸۱ \times ۰٫۲۱}} = ۵٫۱۴ > ۱$$

با استفاده از شکل ۹-۱۴:

$$\frac{b_۳}{b_۱} = ۰٫۵$$

$$\theta = ۵°$$

$$L = \frac{b_۱ - b_۳}{۲\tan\theta} = \frac{۳٫۶۶ - ۱٫۸۳}{۲\tan ۵°} = ۱۰٫۴۶m$$ طول تبدیل

مثال ۹-۴

قرار است عرض یک کانال مستطیلی را به‌وسیلهٔ تبدیلی از ۴m به ۳m کاهش دهند. اگر عمق جریان قبل از تبدیل ۰٫۵m و سرعت ۸m/s باشد معین کنید طول تبدیل و این‌که آیا عمل انسداد اتفاق می‌افتد یا خیر.

حل:

$$Fr_۱ = \frac{V_۱}{\sqrt{gy_۱}} = \frac{۸}{\sqrt{۹٫۸۱ \times ۰٫۵}} = ۳٫۶۱۲ > ۱$$

$$\frac{b_۳}{b_۱} = \frac{۳}{۴} = ۰٫۷۵$$

$$\theta = ۲٫۷° \rightarrow L = \frac{۴ - ۳}{۲\tan(۲٫۷°)} = ۱۰٫۶۰m$$

با توجه به نمودار شکل ۹-۱۲ ملاحظه می‌شود که عمل انسداد اتفاق نمی‌افتد.

Prozhefa.com

مثال ۹-۵

یک کانال مستطیلی آبی را با عدد فرود ۶ و در عرضی برابر ۵m و عمقی معادل ۰٫۷۵m انتقال می‌دهد. مطلوب است طرح کامل یک تبدیل تنگ کنندهٔ فوق بحرانی با دیواره‌های مستقیم که بتواند عرض کانال را به ۲٫۵m کاهش دهد.

حل:

$$\frac{b_۳}{b_۱} = \frac{۲٫۵}{۵} = ۰٫۵$$

با توجه به شکل ۹-۱۴:

$$\theta = ۴٫۲۵^\circ$$

با داشتن مقادیر $\theta = ۴٫۲۵^\circ$ و $Fr_۱ = ۶$ و استفاده از شکل ۹-۱۳:

$$\beta_۱ = ۱۳^\circ$$

$$\frac{y_۲}{y_۱} = \frac{\tan \beta_۱}{\tan (\beta_۱ - \theta)} = \frac{\tan ۱۳^\circ}{\tan(۱۳ - ۴٫۲۵)} = ۱٫۵۰$$

$$y_۲ = ۱٫۵ \times ۰٫۷۵ = ۱٫۱۲۵\text{m}$$

$$E_۱ = E_۲ = y_۱\left(۱ + \frac{Fr_۱^۲}{۲}\right) = y_۲\left(۱ + \frac{Fr_۲^۲}{۲}\right)$$

$$۰٫۷۵\left(۱ + \frac{۳۶}{۲}\right) = ۱٫۱۲۵\left(۱ + \frac{Fr_۲^۲}{۲}\right)$$

$$Fr_۲ = ۴٫۸۳$$

برای امواج BC و BC'، $Fr_۲ = ۴٫۸۳$ عدد فرود اولیه بوده و با داشتن این مقدار و $\theta = ۴٫۲۵$ و استفاده از نمودار ۹-۱۳:

$$\beta_۲ = ۱۵٫۵^\circ$$

$$\frac{y_۳}{y_۲} = \frac{\tan \beta_۲}{\tan (\beta_۲ - \theta)} \frac{\tan ۱۵٫۵^\circ}{\tan ۱۱٫۲۵^\circ} = ۱٫۳۹۴$$

$$y_۳ = ۱٫۳۹۴ \times ۱٫۱۲۵ = ۱٫۵۶۸\text{m}$$

$$y_۱\left(۱ + \frac{Fr_۱^۲}{۲}\right) = y_۳\left(۱ + \frac{Fr_۳^۲}{۲}\right)$$

$$۰٫۷۵\left(۱ + \frac{۳۶}{۲}\right) = ۱٫۵۶۸\left(۱ + \frac{Fr_۳^۲}{۲}\right)$$

Prozhefa.com

$Fr_۳ = ۴/۰۲ > ۱$

$$L = \frac{۵ - ۲/۵}{۲\tan ۴/۲۵} = ۱۶/۸۲\text{m}$$

البته مقدار $Fr_۳$ را می‌توان از معادلهٔ ۹-۲۴ نیز به‌دست آورد که در این صورت:

$$\frac{Fr_۲}{Fr_۱} = \frac{\frac{b_۱}{b_۳}}{\left(\frac{y_۳}{y_۱}\right)^{۳/۲}} \Rightarrow Fr_۳ = ۳/۹۷ \approx ۴/۰۲$$

که ملاحظه می‌شود حدود ۱٪ اختلاف دارد.

لذا:

$y_۱ = ۰/۷۵\text{m}$ $\quad Fr_۱ = ۶$ $\quad \beta_۱ = ۱۳/۰°$ $\quad \theta = ۴/۲۵°$

$y_۲ = ۱/۱۲۵$ $\quad Fr_۲ = ۴/۸۳$ $\quad \beta_۲ = ۱۵/۵°$ $\quad L = ۱۶/۸۲\text{m}$

$y_۳ = ۱/۵۶۸$ $\quad Fr_۳ = ۴/۰۲$

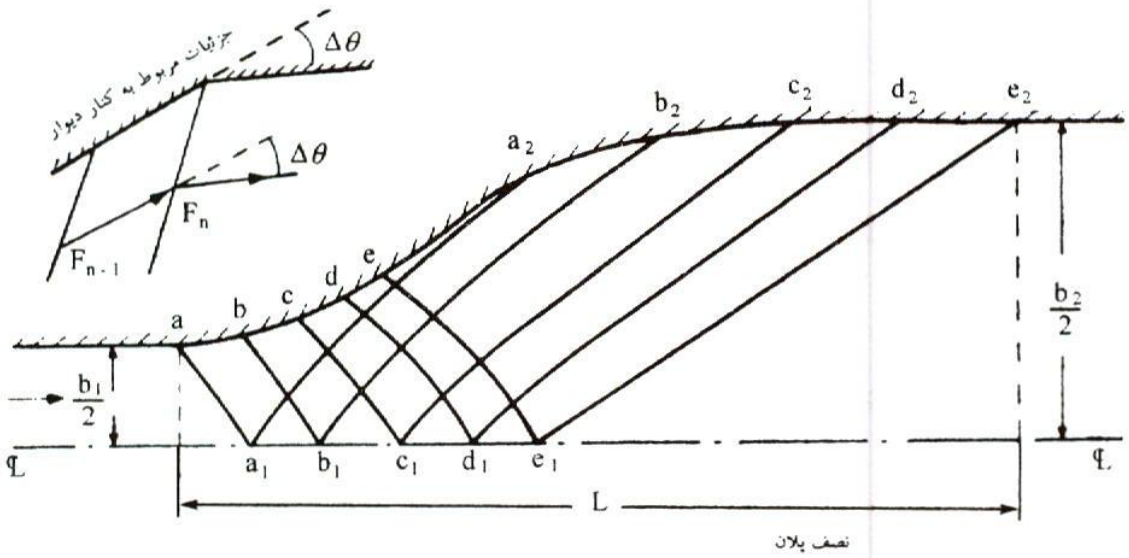
۹-۲-۲ تبدیل عریض کننده (Expansion)

هدف اصلی از ایجاد یک تبدیل عریض کنندهٔ فوق بحرانی عبارت است از تعریض کانال به گونه‌ای که سطح در پایین‌دست دارای امواج متقاطع نباشد. از آن‌جاکه عبور جریان فوق‌بحرانی از یک کناره محدب، باعث تغییر تدریجی سطح آب می‌گردد، می‌توان برای تحلیل موضوع از معادله ۹-۱۶ استفاده نمود. در هر حال آخرین تحقیقات و تجربیات می‌بایست مدنظر باشد که در زیر به بحثی در این موضوع اشاره می‌شود.

شکل ۹-۱۵ نیمی از یک تبدیل عریض کننده راکه عرض آن از $b_۱$ به $b_۲$ افزایش می‌یابد در یک کانال باز مستطیلی بدون اصطکاک نشان می‌دهد. کنارهٔ تبدیل در ابتدا به‌صورت محدب تعریض شده (از α تا e) و لذا خطوط موجی که از دیوار منعکس می‌شود، خطوط موجی منعکس شده از دیوار مقابل را قطع و سپس به دیوار مقابل برخورد می‌کنند. اگر دیوار با همان زاویه‌ای که خطوط جریان به‌وسیله موج ایجادشده چرخیده‌اند، بچرخد، انعکاسی صورت نگرفته و جریان بدون موج خواهدبود که‌زوایای کامل‌دیوار که‌براین اساس به‌دست آمده‌اند در نقاط $a_۲$ ، $b_۲$ ، $c_۲$ ، $d_۲$ و $e_۲$ نشان داده شده‌اند. بدیهی است منحنی اولیه $abcde$ تعیین کنندهٔ اصلی طول و شکل تبدیل خواهد بود.

طراحی این تبدیلها می‌تواند به گونه‌ای صورت گیرد که طول آن حداقل باشد. در این حالت نقاط a تا e بر یکدیگر منطبق بوده و قوس محدب ذکر شده در یک نقطه متمرکز می‌گردد. (شکل ۹-۱۶)

Prozhefa.com

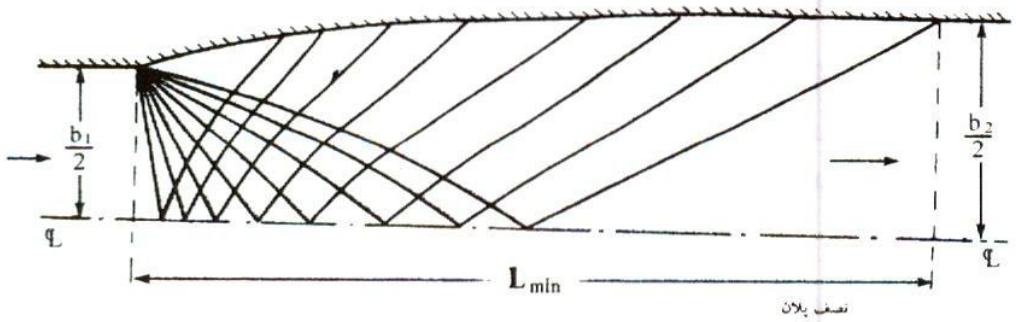


شکل ۹-۱۵ تبدیل عریض کننده با کناره‌های بدون انعکاس

علاوه بر طراحی به‌صورت تحلیلی و براساس مطالب فوق، مطالعات تجربی توسط Rouse و همکاران (۱۹۵۱) روی این امر انجام شده و نشان داده شده است که در این تبدیلها رابطهٔ

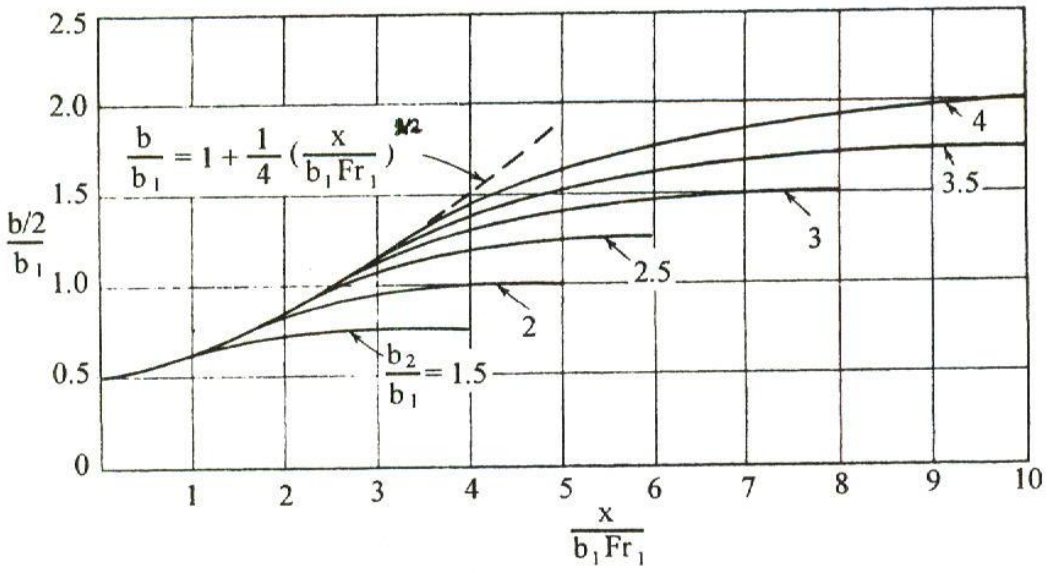
$$\frac{b}{b_1} = f\left(\frac{x}{b_1 Fr_1} \quad , \quad \frac{b_2}{b_1}\right) \qquad (۹-۲۵)$$

برقرار است که در آن b = عرض تبدیل در هر مقطع به‌فاصلهٔ x از ابتدای آن و b_1 و b_2 = عرض ابتدا و انتهای تبدیل. با توجه به مطالب بالا و نتایج تحقیقاتی به‌دست آمده، Rouse و همکاران منحنی‌های نشان داده شده در شکل ۹-۱۷ را برای طراحی تبدیلهای عریض کننده فوق بحرانی ارائه دادند که با استفاده از آنها، مقدار عرض تبدیل در هر نقطه به فاصلهٔ x و با توجه به نسبت $\frac{b_2}{b_1}$ به‌دست می‌آید که بدین‌طریق منحنی دیواره‌های کنارهٔ تبدیل معین می‌گردد. Henderson (۱۹۶۶) اظهار می‌دارد که استفاده از منحنی‌های مزبور، طراحی قابل قبول و موفقی را ارائه می‌نماید.



شکل ۹-۱۶ تبدیل عریض کننده با طول حداقل

Prozhefa.com



شکل ۹-۱۷ منحنی‌های تعمیم یافته جهت طراحی تبدیل عریض کنندهٔ فوق بحرانی (بعد از Rouse و همکاران)

مثال ۹-۶

قرار است عرض یک کانال مستطیلی با جریانی به عمق ۰٫۹m و دبی ۱۶m^3/s، از ۲ متر به ۴ متر افزایش یابد. معین کنید پروفیل تبدیل عریض کنندهٔ لازم برای این منظور را.

حل:

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{۱۶}{۰٫۹ \times ۲} = ۸٫۸۹\text{m/s}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} = \frac{۸٫۸۹}{\sqrt{۹٫۸۱ \times ۰٫۹}} = ۲٫۹۹ > ۱$$

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{۴}{۲} = ۲$$

با توجه به شکل ۹-۱۷، برای تعیین پروفیل تبدیل، کافی است عرض تبدیل در هر مقطع به‌فاصلهٔ x از ابتدای آن محاسبه گردد:

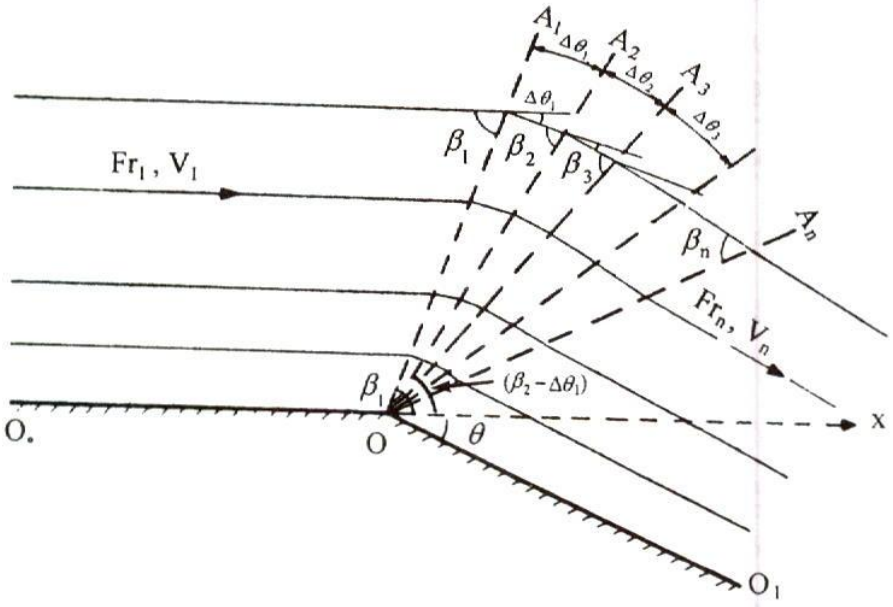
$$x = ۰ \rightarrow \frac{b/۲}{b_1} = \frac{b}{۲b_1} = ۰٫۵ \rightarrow b = b_1 = ۲\text{m}$$

$$x = ۵\text{m} \rightarrow \frac{x}{b_1 Fr_1} = \frac{۵}{۲ \times ۲٫۹۹} = ۰٫۸۳۶ \rightarrow \frac{b}{۲b_1} = ۰٫۶ \rightarrow b = ۲٫۴\text{m}$$

$$x = ۱۰\text{m} \rightarrow \frac{x}{b_1 Fr_1} = ۱٫۶۷ \rightarrow \frac{b}{۲b_1} = ۰٫۷۷ \rightarrow b = ۳٫۰۸\text{m}$$

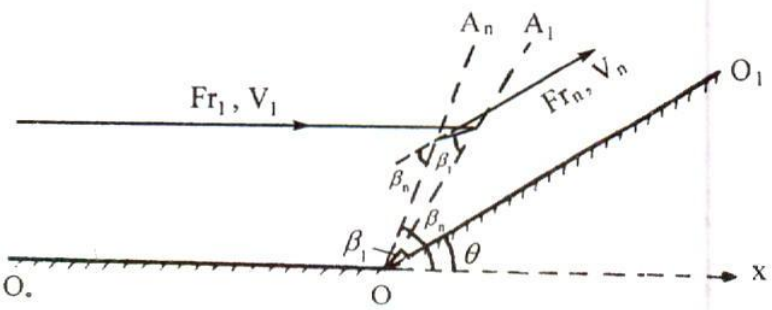
$$x = ۲۳٫۹۲ \rightarrow \frac{x}{b_1 Fr_1} = ۴ \rightarrow \frac{b}{۲b_1} = ۱ \rightarrow b = ۴\text{m}$$

Prozhefa.com



شکل ۹-۱۸ جریان در اطراف یک گوشهٔ محدب

ب: گوشهٔ مقعر اگر خواسته شود که جریان در این حالت نیز مطابق گوشه‌های محدب تحلیل گردد، ملاحظه خواهد شد که اولین خط فرود، OA_1 در پایین‌دست آخرین آنها یعنی OA_n واقع خواهد شد (شکل ۹-۱۹). این امر فقط می‌تواند ناشی از جریان معکوس باشد و لذا روش قبلی برای گوشه‌های مقعر قابل اعمال نیست. علت این رفتار عبارت است از این که برخورد خطوط فرود با یکدیگر باعث تغییر ارتفاع سریع آب و مقداری افت انرژی می‌گردد. از بهم پیوستن خطوط فرود مختلف، یک موج مورب با زاویهٔ β_1 نسبت به جهت x به وجود می‌آید که اصول آن در بخش ۹-۲-۱ گفته شد و می‌توان از معادلات ۹-۱۸ تا ۹-۲۲ و شکل ۹-۱۳ برای تعیین ارتباط بین عوامل مختلف استفاده نمود.



شکل ۹-۱۹ جریان در اطراف یک گوشه مقعر اگر موج مورب در نظر گرفته نشود

Prozhefa.com

مثال ۹-۷

جریان آبی با عدد فرود ۴ و عمق ۰٫۸m از یک گوشه محدب با زاویهٔ انحراف ۷٫۵° می‌گذرد. مطلوب است تعیین عدد فرود و عمق جریان پس از گوشه.

حل:

$$\Delta\theta = -۷٫۵°$$

$$\beta_۱ = \sin^{-۱}\frac{۱}{Fr_۱} = \sin^{-۱}\frac{۱}{۴} = ۱۴٫۴۷۷۵°$$

با استفاده از شکل ۹-۹ و برای $Fr_۱ = ۴$ داریم:

$$\theta + \theta_۱ = ۲۷٫۵°$$

$$۲۷٫۵ - ۷٫۵° = ۲۰°$$

$$Fr_n = ۵٫۶۷$$

$$\beta_n = \sin^{-۱}\frac{۱}{Fr_n} = \sin^{-۱}\frac{۱}{۵٫۶۷} = ۱۰٫۱۶°$$

از آن‌جاکه مقدار انرژی مخصوص ثابت می‌ماند:

$$E_n = y_n\left(۱ + \frac{Fr_n^۲}{۲}\right) = E_۱ = y_۱\left(۱ + \frac{Fr_۱^۲}{۲}\right)$$

$$y_n\left(۱ + \frac{۵٫۶۷^۲}{۲}\right) = ۰٫۸\left(۱ + \frac{۴^۲}{۲}\right)$$

$$y_n = ۰٫۴۲\text{m}$$

مثال ۹-۸

اگر یکی از دیواره‌های یک کانال مستطیلی که در آن آبی به عمق ۰٫۶m و عدد فرود ۵ جریان دارد با زاویه‌ای برابر ۹٫۵° به سمت داخل منحرف گردد، مشخصات پرش مورب به وجود آمده را محاسبه نمایید.

حل:

با توجه به شکل ۹-۱۳ و داشتن مقادیر $\theta = +۹٫۵°$ و $Fr_۱ = ۵$ داریم:

$$\beta_۱ = ۲۰°$$

و براساس معادلهٔ ۹-۲۰:

$$\frac{y_۲}{y_۱} = \frac{\tan\beta_۱}{\tan(\beta_۱ - \theta)}$$

$$\frac{y_۲}{۰٫۶} = \frac{\tan ۲۰}{\tan(۲۰ - ۹٫۵)} \rightarrow y_۲ = ۱٫۱۷۸\text{m}$$

Prozhefa.com

مسایل

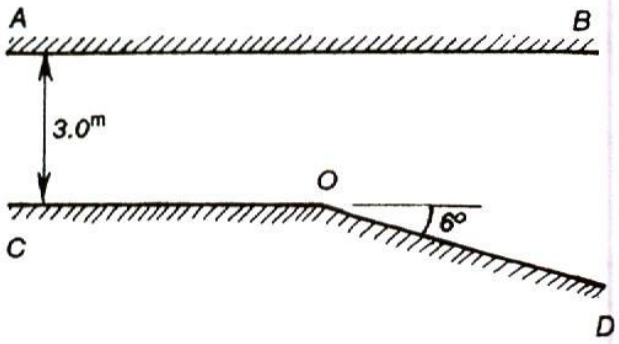
۹-۱ یک کانال مستطیلی عریض جریانی به عمق ۰٫۱۵m را با عدد فرود ۴٫۵ عبور می‌دهد. مطلوب است محاسبه و رسم نیمرخ سطح آب در نزدیکی دیوار کناری در صورتی‌که

الف: دیوار مقعر با زاویه مرکزی ۸°

ب: دیوار محدب با زاویهٔ مرکزی ۸° باشد. شعاع دیوار ۱۰m بوده و از تأثیر دیوار مقابل صرفنظر می‌گردد.

۹-۲ یک جریان فوق بحرانی با سرعت ۱۰m/s و عمق ۰٫۲۴m در محلی از مسیر به‌وسیلهٔ گوشهٔ مقعری با زاویهٔ انحراف ۲۰° تغییر مسیر یافته است. مطلوب است تعیین میزان انحراف موج به‌وجود آمده، نسبت به جهت اولیه جریان و نیز عمق آب پس از موج و مقدار افت انرژی.

۹-۳ یک کانال مستطیلی بدون اصطکاک با عرض ۳m، در محلی از مسیر مطابق شکل زیر افزایش عرض می‌دهد. امواج به‌وجود آمده درنقطهٔ O را برای حالتی که عدد فرود اولیه ۲ و عمق جریان ۰٫۵m باشد محاسبه نمایید.



۹-۴ مطلوب است طرح یک تبدیل تنگ‌کنندهٔ متقارن برای مجموعه‌ای از اطلاعات جدول زیر

شماره ایستگاه	Fr_1	y_1 (m)	b_1 (m)	Fr_3	y_3 (m)	b_3 (m)	Fr_2	y_2	θ	β_1	β_2
۱	۵٫۰	۰٫۷	۶	--	--	۳	--	--	--	--	--
۲	۶٫۰	۰٫۵	۴	--	--	--	--	--	۵٫۰°	--	--
۳	۴٫۰	۰٫۶	--	--	--	۲٫۵	--	--	۶٫۰°	--	--
۴	--	--	--	--	۱٫۳	۲	--	--	۷٫۵°	۱۸°	--

Prozhefa.com

برنامه کامپیوتری

همانگونه که اشاره گردید، یکی از روش‌های استفاده از مجموع معادلات گفته شـده جهت طـراحـی تبدیل‌های تنگ کننده در حالت جریان فوق بحرانی، عبارت است از روش آزمـون و خـطا کـه بـرای رسیدن دقیق‌تر و سریع‌تر به این هدف، برنامه کامپیوتری زیر به زبان کوئیک بیسیک نوشته شده است. در این برنامه با دریافت اطلاعاتی نظیر b_1 ، b_3 ، y_1 و V_1 (یا Fr_1)، ضمن بررسی انسداد یا عدم انسداد، اجزاء مختلف تبدیل را اعـم از θ، L، y_2 و y_3 (تـغییرات عـمق جـریان در طـول تـبدیل)، Fr_2 و Fr_3 و همچنین زوایای انحراف امواج بوجود آمده را معلوم می‌سازد.

```
   CLS
' ___ Determining the different elements of a straight-sidewall contraction ___
' _____________________ in a supercritical condition _____________________

PRINT " _____results for the elements of the stright-sidewall cntraction _____"
PRINT " _____ in the supercritical condition _____"
   INPUT " b1="; b1
   INPUT " y1="; y1
   INPUT " b3="; b3
   INPUT "    if you have Fr1 press 1 and if you have velocity press 2"; e
   IF e = 1 GOTO 10
   INPUT "V1="; v1
   Fr1 = v1 / (9.81 * y1) ^ .5: GOTO 20
10  INPUT " Fr1="; Fr1
20  X = b3 / b1
   IF X > .472 GOTO 30
         y = 21.818 - 34.545 * X
         IF y > Fr1 GOTO 120
         GOTO 80
30  IF X > .574 GOTO 40
         y = 13.471 - 16.5 * X
         IF y > Fr1 GOTO 120
         GOTO 80
40  IF X > .684 GOTO 50
         y = 10.021 - 10.49 * X
         IF y > Fr1 GOTO 120
         GOTO 80
50  IF X > .7736 GOTO 60
         y = 7.543 - 6.86 * X
         IF y > Fr1 GOTO 120
         GOTO 80
```

Prozhefa.com


```
60  IF X > .963 GOTO 70
        y = 5.681 - 4.461 * X
        IF y > Fr1 GOTO 120
        GOTO 80
70  y = 37.43 - 37.43 * X
        IF y > Fr1 GOTO 120
80  y3a = y1: y2 = y1
90  y3a = y3a + .01
    Fr3 = (y1 / y3a) ^ 1.5 * (b1 / b3) * Fr1
    Y3B = y1 * (1 + Fr1 ^ 2 / 2) / (1 + Fr3 ^ 2 / 2)
    IF ABS(y3a - Y3B) < .01 GOTO 100
    GOTO 90
100 y2 = y2 + .01
    Fr2 = ((y1 / y2) * (2 + Fr1 ^ 2) - 2) ^ .5
    j2 = (((2 * y3a / y2 + 1) ^ 2 - 1) / (8 * Fr2 ^ 2)) ^ .5
    beta2 = ATN(j2 / (1 - j2 ^ 2) ^ .5)
    M2 = SQR(1 + 8 * (Fr2 * (SIN(beta2))) ^ 2)
    teta3 = ATN(TAN(beta2) * (M2 - 3) / (2 * (TAN(beta2)) ^ 2 - 1 + M2))
    J1 = (((2 * y2 / y1 + 1) ^ 2 - 1) / (8 * Fr1 ^ 2)) ^ .5
    beta1 = ATN(J1 / (1 - J1 ^ 2) ^ .5)
    M1 = SQR(1 + 8 * (Fr1 * (SIN(beta1))) ^ 2)
    teta1 = ATN(TAN(beta1) * (M1 - 3) / (2 * (TAN(beta1)) ^ 2 - 1 + M1))
    teta1(deg) = teta1 * 180 / 3.1416: teta3(deg) = teta3 * 180 / 3.1416
    IF ABS(teta1(deg) - teta3(deg)) < .1 GOTO 110
    GOTO 100
110 teta = teta3: L = (b1 - b3) / (2 * TAN(teta))
    teta(deg) = teta * 180 / 3.1416: beta1(deg) = beta1 * 180 / 3.1416
    beta2(deg) = beta2 * 180 / 3.1416
    PRINT
    PRINT USING "y1=##.###(m)"; y1
    PRINT USING "y2=##.###(m)"; y2
    PRINT USING "y3=##.###(m)"; y3a
    PRINT USING "Fr1=##.###"; Fr1
    PRINT USING "Fr2=##.###"; Fr2
    PRINT USING "Fr3=##.###"; Fr3
    PRINT USING "beta1=##.##(deg)"; beta1(deg)
    PRINT USING "beta2=##.##(deg)"; beta2(deg)
    PRINT USING "teta=##.##(deg)"; teta(deg)
    PRINT USING "L=##.###(m)"; L
    GOTO 130
120 PRINT "          CHOKING WILL OCCUR "
    '
    ------------------------------------------------
130 END
```

Prozhefa.com

برنامه کامپیوتری

با توجه به مطالب ارائه شده در مورد جریان فوق بحرانی در خم‌ها، می‌توان بوسیله برنامه کامپیوتری که به زبان کوئیک بیسیک نوشته و ذیلاً نشان داده شده است، مقادیر عمق جریان را در کناره‌های دیواره‌های دارای انحناء مقعر یا محدب در کانال‌های مستطیلی محاسبه نمود. برنامه حاضر که قابل توسعه نیز می‌باشد به گونه‌ای تنظیم شده است که در صورت معلوم بودن y_1 و مقدار زاویهٔ انحراف برای دو حالت که Fr_1 و یا V_1 معلوم باشد، تغییرات عمق در کناره‌ها و در وسط کانال و همچنین زاویه انحراف موج در ابتدا و انتهای خم را محاسبه می‌نماید.

```
   CLS
'  _______Determining the depth of flow along a curved boundary_______
'  ____________________in a supercritical flow____________________

   PRINT "    Flow along the curved walls in the supercritical condition"
PRINT " ____________________________________________________________"
   PRINT ""
   INPUT " y1="; y1
   INPUT "teta="; teta
   INPUT "   if you have Fr1 press 1 and if you have velocity press 2"; e
   IF e = 1 GOTO 20
   INPUT " V1="; V1
10 Fr1 = V1 / (9.81 * y1) ^ .5
   IF Fr1 < 1 THEN
   PRINT "   the flow is subcritical !!"
   INPUT "   do you want to continue (y/n)"; A$
   IF A$ = "n" GOTO 80
   INPUT "   enter the new V1"; V1
   GOTO 10
   END IF
   GOTO 30
20 INPUT "   Fr1="; Fr1
30 beta1 = beta1 + .01
   IF SIN(beta1 * 3.1416 / 180) >= (1 / Fr1) THEN
   PRINT USING "beta1=##.##(deg)"; beta1
   PRINT ""
   ELSE
   GOTO 30
   END IF
```

Prozhefa.com


```
teta1 = SQR(3) * (ATN(SQR(3) / SQR(Fr1 ^ 2 - 1))) - ATN(1 / SQR(Fr1 ^ 2 - 1))
 teta1 = teta1 * 180 / 3.1416
   PRINT " _____ results for concave wall _____ "
   Fr2 = Fr1
40 Fr2 = Fr2 - .001
A = SQR(3) * (ATN(SQR(3) / SQR(Fr2 ^ 2 - 1))) - (ATN(1 / SQR(Fr2 ^ 2 - 1)))
   IF (A * 180 / 3.1416) >= (teta + teta1) THEN
     PRINT USING "Fr2 =##.###"; Fr2
   ELSE
     GOTO 40
   END IF
   y2 = (y1 * (1 + Fr1 ^ 2 / 2)) / (1 + Fr2 ^ 2 / 2)
   PRINT USING "y2=##.###(m)"; y2
   beta2 = beta1
50 beta2 = beta2 + .01
   IF SIN(beta2 * 3.1416 / 180) >= (1 / Fr2) THEN
     PRINT USING "beta2=##.##(deg)"; beta2
   PRINT ""
   ELSE
     GOTO 50
   END IF
   PRINT " _____ results for convex wall _____ "
   Fr3 = Fr1
60 Fr3 = Fr3 + .001
B = SQR(3) * (ATN(SQR(3) / SQR(Fr3 ^ 2 - 1))) - (ATN(1 / SQR(Fr3 ^ 2 - 1)))
   IF (B * 180 / 3.1416) <= (teta1 - teta) THEN
     PRINT USING "Fr2=##.###"; Fr3
   ELSE
     GOTO 60
   END IF
   y3 = (y1 * (1 + Fr1 ^ 2 / 2)) / (1 + Fr3 ^ 2 / 2)
   PRINT USING "y2=##.###(m)"; y3
   beta3 = beta1
70 beta3 = beta3 - .01
   IF SIN(beta3 * 3.1416 / 180) <= (1 / Fr3) THEN
     PRINT USING "beta2=##.##(deg)"; beta3
   ELSE
     GOTO 70
   END IF
   PRINT USING "ymean=##.###(m)"; (y2 + y3) / 2
80 END
```

Prozhefa.com

فصل ۱۰

سازه‌های کنترل کنندهٔ جریان

جلیل ابریشمی - سیدمحمود حسینی

مقدمه

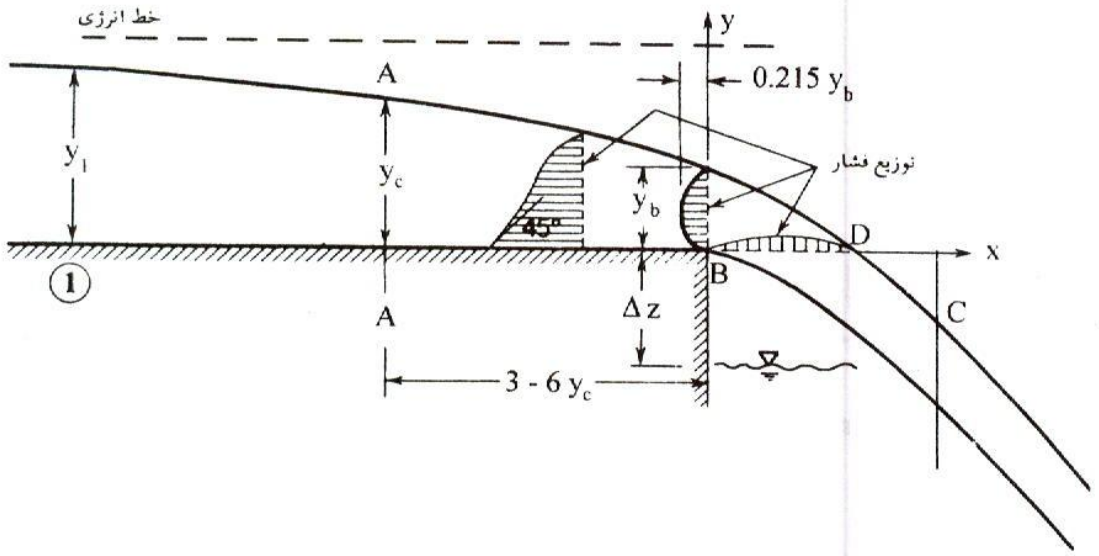
هر سازهٔ طبیعی یا ساخته شدهٔ دست بشر که در مسیر جریان قرار گیرد و روابط دبی و عمق جریان را در اطراف خود تثبیت نماید، یک سازه کنترل کنندهٔ جریان نامیده می‌شود. سازه‌های مختلف با توجه به شرایط فیزیکی خاص، روابط متفاوتی را بین دبی و عمق جریان ایجاد کرده و لذا هر کدام برای اهداف معینی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به مطالب فوق، سرریزها و تبدیلها نیز از جمله سازه‌های کنترل کنندهٔ جریان هستند که با توجه به اهمیت ویژهٔ آنها و ضرورت بسط مطالب مربوطه، در فصول قبل به صورت جداگانه آورده شدند. در این فصل به برخی دیگر از این سازه‌ها و روابط هیدرولیکی به وجود آمده به وسیلهٔ آنها اشاره شده، کاربرد هر سازه مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱۰-۱ آبشار آزاد (The Free Overfall)

یک آبشار آزاد عبارت است از سیستمی که در آن کف کانال به صورت موضعی فروافتاده، جریان با جدا شدن از کف کانال به صورت یک جت آزاد به قسمت پایین فروافتادگی پرتاب می‌شود (شکل ۱۰-۱). چنین شرایطی مشابه حالت عبور جریان از روی سرریز لبه تیز با ارتفاع صفر می‌باشد ($w = 0$). تأسیسات مربوط علاوه بر آن که باعث ایجاد یک جریان متغیر تدریجی (GVF) در حالت جریان زیر بحرانی می‌گردد، می‌تواند به عنوان یک وسیله اندازه گیری دبی در جریانهای با حالات مختلف نیز مورد استفاده قرار گیرد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در سطح زیرین و زبرین جت، فشار اتمسفر (فشار نسبی صفر) حاکم بوده و لذا توزیع فشار در محدودهٔ لبهٔ خروجی که ظاهراً می‌بایست به صورت هیدرواستاتیکی باشد،

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۱ آبشار آزاد

تحت تأثیر مؤلفه قائم شتاب (اثر شتاب ثقل) در نزدیکیهای لبه، به‌صورت تقریبی نشان داده شده در شکل می‌باشد. در قسمتهای بالادست لبه، انحناء سطح آب بتدریج کمتر شده به گونه‌ای که در فاصلهٔ کاملاً کوتاهی در بالادست لبه نظیر مقطع A شتاب قائم کوچک و پخش فشار هیدرواستاتیکی می‌شود. از مقطع ۱ به سمت لبه آبشار، عمق جریان کاهش یافته و به یک مقدار حداقلی معادل y_b در کنارهٔ لبه می‌رسد که به عمق انتهایی یا عمق لبه مشهور است.

در حالت جریان زیربحرانی، چنانچه بایستی نهایتاً حالت جریان فوق بحرانی گردد، لازم است تا در مقطعی مثل A که اولین مقطعی است که در آن پخش فشار به‌صورت هیدرواستاتیکی صورت می‌پذیرد، حالت جریان بحرانی گردد و لذا $y_A = y_c$. و در صورت جریان فوق بحرانی، y_A مساوی عمق نرمال کانال در بالادست آبشار خواهد بود یعنی $y_A = y_0$. مطالعات آزمایشگاهی (Anderson ، ۱۹۶۷) نشان می‌دهد که مقطع بحرانی در فاصلهٔ ۳ تا ۶ برابر عمق بحرانی از لبهٔ آبشار اتفاق می‌افتد. برای مواقعی که $\frac{S_0}{S_c} < 0.8$ است، موقعیت y_c نامعلوم می‌باشد و از طرفی Δx (شکل ۱۰-۱) بایستی از $0.6 y_c$ بزرگتر باشد.

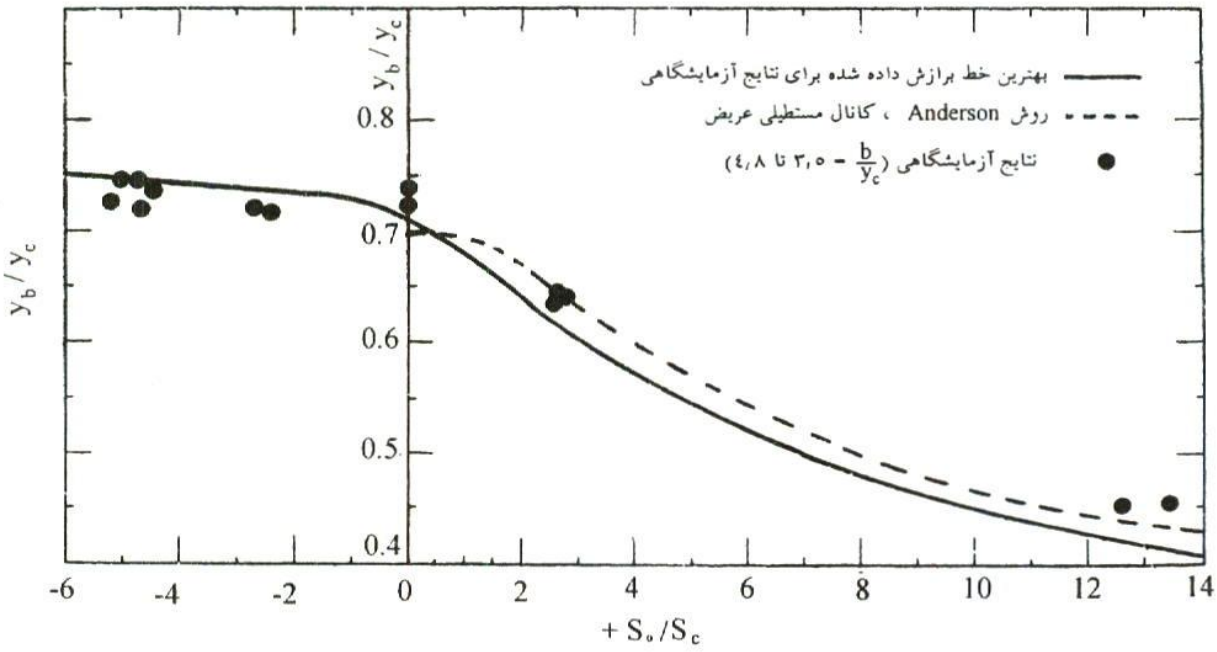
از مجموعه آزمایشات و کارهای انجام گرفته توسط محققین می‌توان نتیجه گرفت که عمق جریان در لبهٔ آبشار می‌تواند از رابطهٔ $y_b = 0.715 y_c$ به‌دست آید (Henderson، ۱۹۶۶) که در اندازه گیری دبی حداکثر حدود ۱ تا ۲ درصد خطا خواهد داشت.

Delleur و همکاران (۱۹۵۶) نشان دادند که در جریانهای فوق بحرانی، نسبت عمق انتهایی به عمق نرمال می‌تواند به صورت زیر نشان داده شود:

$$\frac{y_b}{y_c} = f\left(\frac{S_0}{S_c} \quad \text{و شکل کانال}\right) \qquad (۱-۱۰)$$

Prozhefa.com

برای یک کانال معین، تغییرات $\frac{y_b}{y_c}$ می‌تواند تنها به‌صورت تابعی از $\frac{S_\circ}{S_c}$ باشد که پاره‌ای نتایج آزمایشگاهی برای کانالهای مستطیلی در شکل ۱۰-۲ آورده شده است و برای سایر انواع کانالها نیز تحقیقات مشابهی صورت پذیرفته است. در این کارهای آزمایشگاهی و برای مقادیر بالای $\frac{S_\circ}{S_c}$ ، خطایی در حدود ۱۰٪± مشاهده شده است.



شکل ۱۰-۲ نسبت عمق انتهایی برای کانال مستطیلی

اضافه می‌نماید که برای پیش‌بینی عمق انتهایی، تلاش‌هایی نیز شده است تا موضوع به‌صورت تحلیلی مورد مطالعه قرار گیرد که در بیشترین آنها از معادلهٔ مقدار حرکت و با توجه به فرضیاتی بخصوص در مورد توزیع سرعت و فشار در محل لبه استفاده گردیده است. همچنین Anderson (۱۹۶۷) به بیان روشی بر مبنای نیمرخ سطح آب در کانال و در منطقهٔ پس از لبه که تحت تأثیر نیروی ثقل قرار دارد پرداخته است که نهایتاً به معادلهٔ زیر منتهی می‌گردد:

$$۴\left(\frac{y_b}{y_c}\right)^۳ - ۶\left(\frac{E}{y_c}\right)\left(\frac{y_b}{y_c}\right)^۲ + ۳ = ۰ \qquad (۲-۱۰)$$

که در حالت کانالهای مستطیلی و حالت جریان زیر بحرانی، $\frac{E}{y_c} = ۱٫۵$ و لذا:

$$۴\left(\frac{y_b}{y_c}\right)^۳ - ۹\left(\frac{y_b}{y_c}\right)^۲ + ۳ = ۰ \quad \rightarrow \quad \frac{y_b}{y_c} = ۰٫۶۹۴ \qquad (۳-۱۰)$$

که حدود ۳ درصد با مقدار ۰٫۷۱۵ اختلاف دارد.

برای حالت فوق بحرانی و کانال مستطیلی:

$$\frac{E}{y_c} = \left(\frac{y_\circ}{y_c}\right) + \frac{۱}{۲\left(\frac{y_\circ}{y_c}\right)^۲} \qquad (۴-۱۰)$$

Prozhefa.com

با قرار دادن معادلهٔ ۱۰-۴ در معادلهٔ ۱۰-۲، مقدار $\frac{y_b}{y_c}$ برحسب $\frac{y_\circ}{y_c}$ به‌دست می‌آید.

مثال ۱۰-۱

یک کانال مستطیلی، جریان فوق بحرانی را با عدد فرود ۲٫۵ حمل می‌نماید. مقدار نسبت عمق انتهایی به عمق بحرانی را برای این کانال به‌دست آورید.

حل:

$$F_{r\circ} = \frac{V_\circ}{\sqrt{gy_\circ}} = \frac{q}{\sqrt{gy_\circ^3}} = \left(\frac{y_c}{y_\circ}\right)^{3/2}$$

$$\frac{y_c}{y_\circ} = (2{,}5)^{2/3} = 1{,}842 \quad \rightarrow \quad \frac{y_\circ}{y_c} = 0{,}543$$

از معادلهٔ ۱۰-۴ داریم:

$$\frac{E}{y_c} = 0{,}543 + \frac{1}{2(0{,}543)^2} = 2{,}239$$

با گذاشتن مقدار فوق در معادلهٔ ۱۰-۲، می‌توان نوشت:

$$4\left(\frac{y_b}{y_c}\right)^3 - 6 \times 2{,}239\left(\frac{y_b}{y_c}\right)^2 + 3 = 0$$

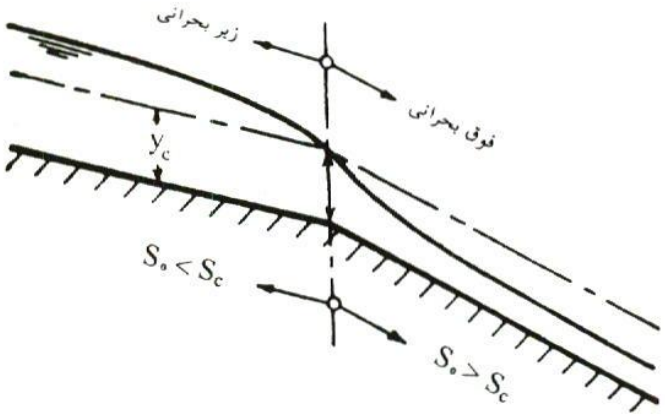
$$\frac{y_b}{y_c} = 0{,}513$$

۱۰-۲ سازه‌های ایجادکننده عمق بحرانی

روابط تثبیت شده بین عمق بحرانی و دبی امکان می‌دهد تا از عمق بحرانی به عنوان یک عامل مناسب جهت اندازه گیری دبی استفاده کرد. برای استفاده از این اصل لازم است تا سیستمهایی ساخته شود تا بتواند در مقطعی مشخص، موسوم به مقطع کنترل، عمق جریان را بحرانی نموده و سپس با اندازه گیری عمق بحرانی در آن مقطع و استفاده از معادلهٔ دبی - عمق‌بحرانی، میزان شدت جریان را به‌دست آورد.

قبل از شروع بحث لازم است به یک اصل کلی اشاره شود و آن این‌که چنانچه شیب کف کانال از ملایم به تند تغییر یابد، در محل تغییر شیب عمق بحرانی به‌وجود می‌آید مشروط برآنکه پخش فشار به‌صورت هیدرواستاتیکی باشد. این امر موقعی واقع خواهد شد که اگر چه شیب پایین‌دست تند است اما بیش از اندازه تند نباشد (تا حد ۰٫۰۱). در این حالت جریان در فاصله زیادی از بالادست در ناحیه $M2$ و در فاصلهٔ زیادی در پایین‌دست در ناحیه $S2$ خواهد بود و عمق جریان در مقطع B (شکل ۱۰-۳) یقیناً بحرانی می‌باشد.

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۳ جریان بحرانی در محل تغییر شیب

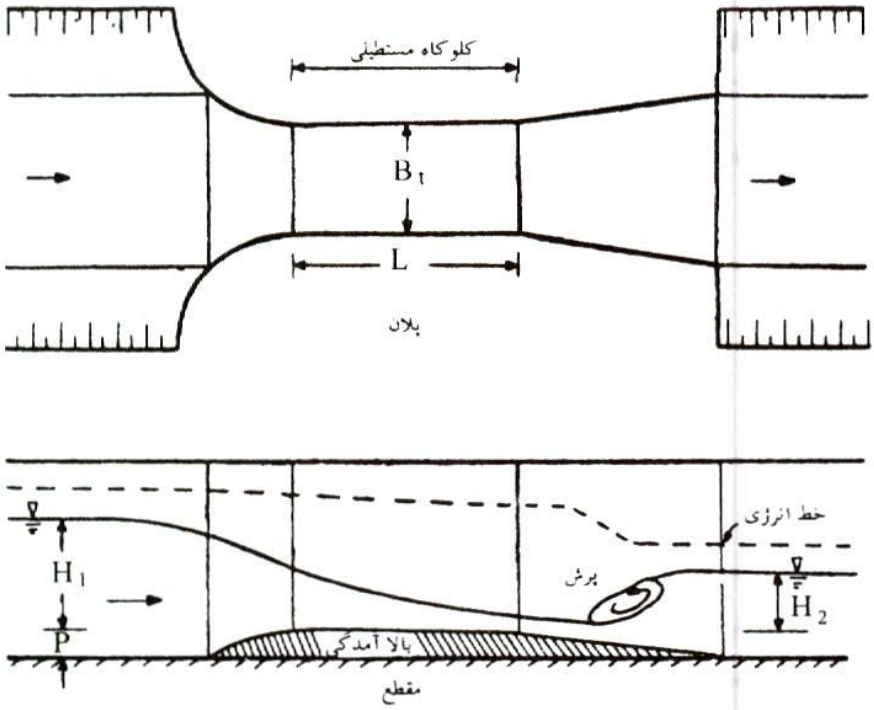
اما در عمل عموماً داشتن شیب تند طولانی میسر نبوده و لذا برای ایجاد عمق بحرانی و اندازه گیری دبی بایستی تأسیساتی ساخت تا بتواند در فاصلهٔ نسبتاً کوتاه و محدودی عمق بحرانی را به‌وجود آورد. قبلاً نشان داده شد که در اثر ایجاد برآمدگی در کف کانال و یا تنگ نمودن عرض آن در ابعاد مشخص می‌توان جریان را به بحرانی تبدیل نمود، از جمله سیستمهایی که بدین‌منظور به کار می‌رود، سرریزهای لبه پهن هستند که قبلاً بدانها اشاره گردید و یادآوری می‌نماید که چنانچه سرریزی دارای تاج پهن به اندازهٔ کافی باشد به گونه‌ای که منحنی پخش فشار آب در طول آن (موازی عرض کانال) هیدرواستاتیکی باشد، یقیناً جریان بحرانی دربالای سرریز ایجاد خواهد شد. نصب سرریز جهت ایجاد چنین حالتی حداقل دو عیب دارد: یکی آن‌که استفاده از سرریز افت انرژی نسبتاً زیادی را باعث می‌شود، دیگر آن‌که اغلب سرریزها باعث ایجاد منطقه‌ای دارای آب نسبتاً ساکن و مرده در بالادست می‌شوند که می‌تواند محل ته‌نشین شدن رسوبات و دیگر مواد زائد موجود در آب گردد. اما چنانچه بتوان عرض کانال و مسیر را به گونه‌ای تنگ نمود که همان جریان بحرانی ایجاد شود، این دو عیب از بین رفته و مقصود حاصل شده است. این‌گونه تأسیسات که به ناودان یا فلوم (Flume) مشهورند بایستی طوری طراحی گردند که در طول خود دارای یک گلوگاه جهت ظاهر شدن جریان بحرانی و یک قسمت کوتاه بعد از آن به منظور ایجاد جریان فوق بحرانی باشند. برای این امر نخست از ناودانهای ونتوری (Venturi Flumes) استفاده گردید که به جهت اختلاف کم بین مقطع بحرانی و مقطع بالادست بخصوص در اعداد فرودپایین، کاربرد وسیعی پیدا ننمود.

ناودانهایی که پس از آن مورد استفاده قرار گرفتند، به گونه‌ای هستند که در انتهای جریان فوق بحرانی، یک پرش هیدرولیکی به‌وجود می‌آید که بدین علت آنها را «ناودانهای با موج ایستاده» می‌نامند.

۱۰-۲-۱ ناودان با موج ایستاده (Standing-wave Flume)

ناودان ایجادکنندهٔ عمق بحرانی که در شکل ۱۰-۴ نشان داه شده است، ناودان با موج ایستاده یا ناودان گلودار نامیده می‌شود. این ناودان یا کانال باز می‌تواند در کانالها با هر شکلی جاگذاری شده و گلوی آن

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۴ ناودان با موج ایستاده

منشوری و تابع شکل کانال می‌باشد. به عنوان مثال برای کانالهای مستطیلی داشتن یک قسمت تنگ شده مستطیلی و برای فاضلاب‌روهای دایروی، استفاده از یک گلوگاه دایروی مناسبتر خواهد بود. همان‌گونه که گفته شد بعد از منطقهٔ گلوگاه و پس از جریان فوق بحرانی، پرش هیدرولیکی به‌وجود می‌آید که تابعی است از عمق پایاب و چنانچه به علت افزایش عمق پایاب، پرش مستغرق گردد، یا گلوگاه تحت تأثیر عمق پایاب مستغرق شود، در تمام طول ناودان جریان زیر بحرانی به‌وجود می‌آید.

در حین عمل، عمق بحرانی در قسمتی از گلوگاه به‌وجود آمده و معادلهٔ دبی براساس سرریزهای لبهٔ پهن مشابه معادلهٔ ۸-۲۱ خواهد شد. ولی معمولاً مناسب‌تر است تا دبی برحسب عمق جریان بالادست (H_1) که می‌تواند به راحتی اندازه گیری گردد، نوشته شود. بنابراین برای یک گلوگاه مستطیلی رابطهٔ زیر داده می‌شود:

$$Q = C_f B_t H_1^{3/2} \qquad (۵-۱۰)$$

که در آن C_f ضریب شدت جریان کل ناودان و تابعی از $\frac{H_1}{L}$ خواهد بود که برای یک ناودان کامل طراحی شده $C_f = 1/62$ می‌باشد. در صورتی‌که ناودان بر اثر عمق پایاب مستغرق شود، معادلهٔ ۱۰-۵ صادق نبوده و برای محاسبهٔ دبی، لازم است تا دو عمق جریان اندازه گیری شود. محدودیت استفاده از ناودانها به نسبت $\frac{H_2}{H_1}$ بر می‌گردد که حداکثر آن ۰/۹ است ولی برای اطمینان بیشتر و اجتناب از مستغرق شدن ناودان، بهتر است حداکثر مزبور را به ۰/۷۵ کاهش داد.

Prozhefa.com

در هر حال ناودانهای متفاوت و بسیاری برای این امر مورد استفاده قرار می‌گیرند که تابع شرایط کانال و جریان بوده و امتیازات آنها به‌صورت زیر خلاصه می‌شود: ۱- افت انرژی کم، ۲- ساختمان قوی، ۳- سهولت عبور مواد معلق در آب ۴- امکان کاربرد در حد بالایی از $\frac{H_۲}{H_۱}$.

مثال ۱۰-۲

قرار است یک ناودان باموج ایستاده و بدون برجستگی در کف برای یک کانال مستطیلی به عرض ۲m و $n = ۰/۰۱۵$ و $S_۰ = ۰/۰۰۰۴$ به کار گرفته شود. حداکثر دبی که پیش‌بینی می‌شود از داخل ناودان بگذرد، ۲/۵m³/s می‌باشد. اگر حداکثر، $\frac{H_۲}{H_۱}$ معادل ۰/۷۵ و $C_f = ۱/۶۲$ فرض گردد، عرض گلوگاه را محاسبه کنید.

حل:

$$Q = \frac{A}{n} R^{۲/۳} S_۰^{۱/۲}$$

$$۲/۵ = \frac{۲y_۰}{۰/۰۱۵} \left(\frac{۲y_۰}{۲ + ۲y_۰}\right)^{۲/۳} \sqrt{۰/۰۰۰۴}$$

$$y_۰ = ۱/۳۱۲\text{m}$$

که عمق نرمال مساوی $H_۲$ یا عمق پایاب خواهد بود:

$$H_۲ = y_۰ = ۱/۳۱۲\text{m}$$

$$H_۱ = \frac{H_۲}{۰/۷۵} = \frac{۱/۳۱۲}{۰/۷۵} = ۱/۷۴۹\text{m}$$

$$B_t = \frac{Q}{C_f H_۱^{۳/۲}} = \frac{۲/۵}{۱/۶۲ \times (۱/۷۴۹)^{۳/۲}} = ۰/۶۶۷\text{m}$$

مثال ۱۰-۳

در مثال فوق معین کنید افزایش عمق جریان آب را به علت استفاده از ناودان و همچنین در صورت استفاده از یک سرریز لبه تیز هم عرض کانال که جریان آزاد انجام پذیرد.

حل:

از مثال قبل

$$\Delta H = H_۱ - H_۲ = ۱/۷۴۹ - ۱/۳۱۲ = ۰/۴۲۷\text{m}$$

در حالت سرریز هم عرض که دارای جریان آزاد باشد، تاج سرریز بایستی حداقل ۰/۰۸ متر بالاتر از سطح آب پایاب قرارگیرد ولذا،

$$w = ۱/۳۱۲ + ۰/۰۸ = ۱/۳۹۲\text{m}$$

Prozhefa.com

آزمون نخست:

$$C_d = ۰/۶۵۰$$

$$Q = \frac{۲}{۳} C_d \sqrt{۲g}\, L H_d^{۱/۵}$$

$$۲/۵ = \frac{۲}{۳} \times ۰/۶۵ \sqrt{۱۹/۶۲} \times ۲ (H_d)^{۱/۵}$$

$$H_d = ۰/۷۵۱\text{m}$$

$$\frac{H_d}{w} = \frac{۰/۷۵۱}{۱/۳۹۲} = ۰/۵۴$$

$$C_d = ۰/۶۱۱ + ۰/۰۸(۰/۵۴) = ۰/۶۵۴$$

آزمون دوم:

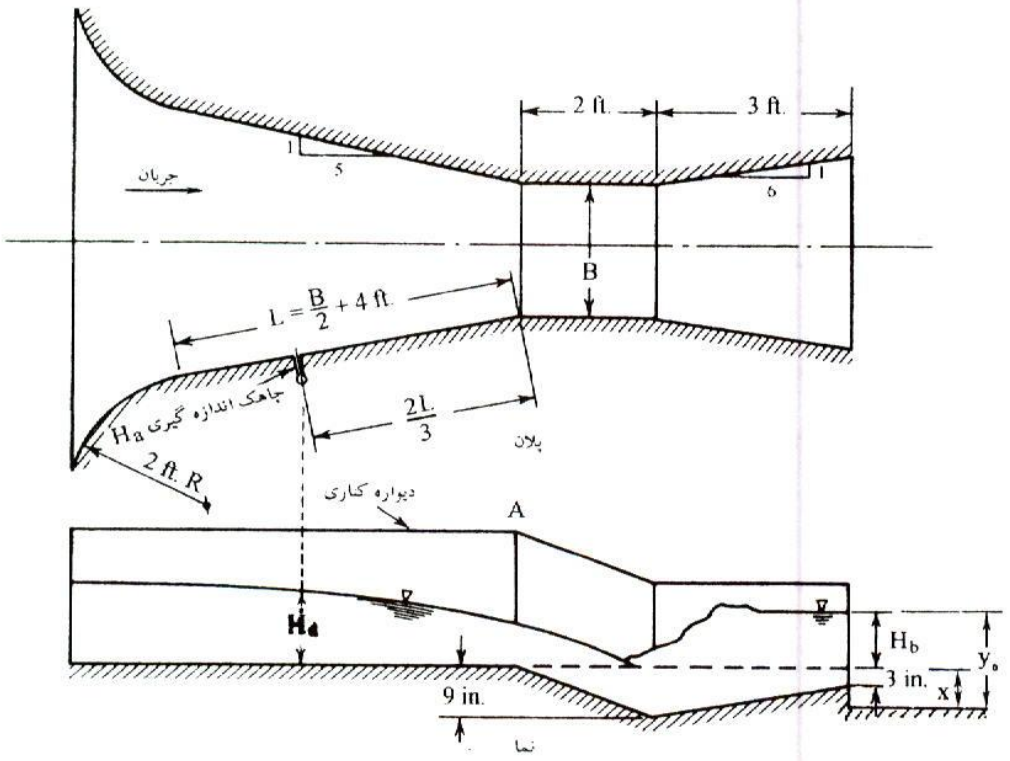
$$H_d = ۰/۷۴۸\text{m} \rightarrow C_d = ۰/۶۵۴$$

ولذا:

$$\Delta H = ۰/۷۴۸ + ۱/۳۹۲ - ۱/۳۱۲ = ۰/۸۲۸\text{m}$$

۱۰-۲-۲ ناودان پارشال (Parshall Flume)

یکی از مشهورترین ناودانها، که بخصوص در آمریکا کاربرد فراوانی دارد ناودانی است که در سال ۱۹۳۸ بوسیلهٔ Parshall طراحی و به نام وی مشهور گردید. ناودان پارشال که نمونهٔ استاندارد آن برای عرض گلوگاه (B) ۰/۳۰m تا ۲/۵ متر در شکل ۱۰-۵ نشان داده شده است در ابعاد و اندازه‌های مختلف برای



شکل ۱۰-۵ ابعاد ناودان پارشال برای مقادیر B از ۰/۳ تا ۲/۵ متر

Prozhefa.com

دبی‌های از ۰٫۸۵l/s تا ۴m^3/s به کار گرفته می‌شود. عمق بحرانی در نزدیکیهای مقطع A ایجاد شده و رابطه دبی با ابعاد برای شکل ۱۰-۵ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Q = ۴ B H_\alpha^{۱٫۵۲۲B^{۰٫۰۲۶}} \qquad (۶-۱۰)$$

که در محدودهٔ $\frac{H_b}{H_\alpha} \leq ۰٫۷$ به کار می‌رود و برای مقادیر بیش از ۰٫۷، میزان دبی نسبت به‌رابطهٔ فوق کاهش می‌یابد. در معادلهٔ ۱۰-۶ مقادیر B و H_α برحسب فوت و Q برحسب فوت مکعب بر ثانیه خواهد بود.

مثال ۱۰-۴

مطلوب است طرح یک ناودان پارشال برای اندازه گیری دبی متوسطی معادل ۰٫۵۷m^3/s. کانالی که این مقدار دبی را حمل می‌نماید دارای شیب ملایم و عمق نرمال ۰٫۷۶m می‌باشد.

حل:

برای طراحی می‌توان ابعاد متفاوتی را انتخاب نمود که دبی مورد نظر را از خود عبور دهد. در این مثال $B = ۱٫۲\text{m}$ و $\frac{H_b}{H_a} = ۰٫۷$ انتخاب می‌شود (لازم به ذکر است که چنانچه شرایط اجازه جریان آزاد در روی ناودان را ندهد، مقدار $\frac{H_b}{H_a}$ باید حداقل ممکن گردد).

$$Q = ۴ B H_\alpha^{۱٫۵۲۲B^{۰٫۰۲۶}}$$

$$B = ۱٫۲\text{m} = ۴\ \text{ft}$$

$$Q = ۰٫۵۷\text{m}^3/\text{s} = ۲۰\ \text{ft}^3/\text{s}$$

$$۲۰ = ۴ \times ۴ (H_a)^{۱٫۵۲۲(۴)^{۰٫۰۲۶}}$$

$$H_a = ۱٫۵\text{ft} = ۰٫۴۵\text{m}$$

$$H_b = ۰٫۷۰ H_a = ۰٫۲۵\text{m}$$

لذا با توجه به شکل ۱۰-۵،

$$x = ۰٫۷۶ - ۰٫۲۵ = ۰٫۵۱\text{m}$$

عمق جریان آب در بالادست ناودان بستگی به عمق نرمال در پایین‌دست (۰٫۷۶m) و میزان افت انرژی در ناودان دارد. چنانچه این میزان افت ۰٫۱۳ متر فرض گردد، عمق آب در بالادست ناودان برابر خواهد بود با:

$$۰٫۷۶ + ۰٫۱۳ = ۰٫۸۹\text{m}$$

Prozhefa.com

۱۰-۳ جریان مابین پایه‌های پل (Flow Between Bridge Piers)

یکی از موانعی که در مسیر جریان آب در کانالها و رودخانه‌ها قرار می‌گیرد و باعث انقباض و انبساط بعدی جریان و به‌طور کلی تغییراتی در حرکت آب می‌گردد، عبارت است از پایه‌های پل. اگرچه میزان نیروهای وارده از سوی جریان آب بر پایه‌ها در مقایسه با سایر نیروهای سازه‌ای که می‌بایست تحمل گردد، ناچیز است و کمتر مورد توجه مهندسین قرار می‌گیرد و اگر چه شسته شدن کنارهٔ فونداسیون پایه‌ها خود به تنهایی دارای اهمیت به سزایی است و مستقلاً مورد بحث و مطالعه قرار می‌گیرد، اما آنچه در این‌جا مهم است و مسأله را حایز اهمیت می‌سازد، افزایش عمق جریان آب (Δy) در بالادست پایه است که در اثر کاسته شدن سطح مقطع در محل پل به‌وجود می‌آید. اهمیت اثر فرا آب ایجاد شده در بالادست در برآورد اقتصادی سطح آب رودخانه معین می‌شود و آن حالتی است که به علت وجود مناطق معین در اطراف رودخانه، بخواهیم کناره‌های رودخانه را بخصوص به هنگام وقوع سیل از خرابی محافظت نمائیم که هزینه‌های مورد نیاز مستقیماً به ارتفاع آب پیش‌بینی شده بستگی داشته و یک طراح لازم است میزان تأثیر مجموعه‌ای از پایه‌ها را در شرایط خاص حاکم بر رودخانه در حد قابل قبول و نسبتاً دقیقی حدس بزند.

در شکل ۱۰-۶ جریان آب در حد واسط یک جفت پایه پل نشان داده شده است و اضافه می‌نماید این اشکال جریان زیربحرانی رانشان می‌دهد و در صورتی‌که جریان در بالادست فوق‌بحرانی باشد تأثیر پایه‌ها عبارت خواهد بود از ایجاد شکاف در آب و حفر قسمتی در پایین‌دست در حالی که در بالادست اثری بجز پخش شدن آب در هوا نخواهد داشت و شدت آن نیز بستگی به شکل پایه‌ها خواهد داشت. لذا آنچه در بالا آمده است و آنچه ازاین به بعد خواهد آمد، مربوط است به جریان زیربحرانی ولو نامی از آن به میان آورده نشود.

برای شروع بحث، یک حالت ساده که در شکل ۱۰-۶ نشان داده شده است و در آن پایه‌ها به موازات جریان قرار دارند را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. در این صورت:

۱- آب از حدود مقطع ۱ شروع به افزایش ارتفاع کرده و این مقطع طبق ادعای Matthai (۱۹۷۶) در فاصلهٔ دو برابر عرض باز در بالادست پایه‌ها (b_1) می‌باشد.

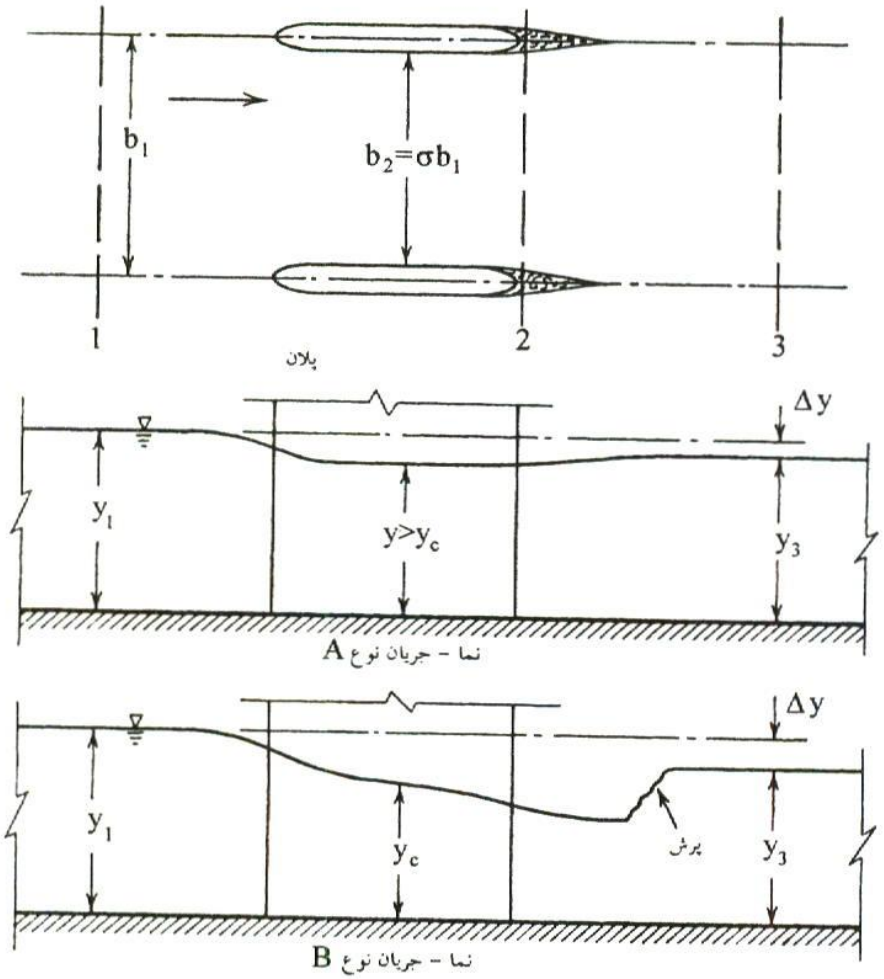
۲- در محل تنگ شدگی، سطح آب به سرعت شروع به افت می‌کند.

۳- در داخل قسمت تنگ شده، خطوط جریان از عرضی کمتر از عرض باز عبور نموده و در حد فاصل بین آخرین خطوط جریان و بدنه جامد پایه‌ها، گرداب وجود خواهد داشت.

۴- در وسط پایه‌ها عرض جریان کمترین مقدار خود را دارد.

۵- در مقطع ۳ مجدداً جریان نرمال به‌وجود آمده و در حد فاصل بین مقاطع ۲ و ۳ (یا انتهای پرش)، جریان متغیر تدریجی وجود دارد.

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۶ شمای جریان آب از بین پایه‌های پل

با توجه به مطالب فوق و شکل ۱۰-۶که نشان می‌دهد که شیب بستر و مقاومت بین مقاطع ۱ و ۳ قابل صرفنظر کردن است، می‌توان برای محاسبهٔ Δy ، روشهای متعددی را اعمال نمود. به عنوان مثال یکی از روشها عبارت خواهد بود از مساوی قرار دادن انرژیهای مخصوص درمقاطع ۱ و ۲ ونیروهای مخصوص در مقاطع ۲ و ۳:

$$E_۲ = E_۱$$

$$F_۲ = F_۳$$

این روش جواب مطلوبی که به واقع نزدیک باشد نخواهد داد مگر آن‌که نسبت انقباض $\sigma = \frac{b_۲}{b_۱}$ کوچک و در حدود ۰٫۵ و یا کمتر باشد. علت این امر پخش غیریکنواخت سرعت در بین پایه‌ها و نیز سایش سطحی در طول بدنهٔ پایه‌ها است که در مقایسه با فرا آب Δy ، بین $E_۱$ و $E_۲$ ، اختلاف به‌وجود می‌آورد.

روش واقعی‌تر آن است که مقطع ۲ را رها کرده و معادلهٔ زیر را بررسی کنیم:

$$F_۱ - F_۳ = P_f \qquad (۷-۱۰)$$

Prozhefa.com

که P_f نیروی رانش یا لاروبی روی پایه‌ها می‌باشد. اگر بتوان مقدار P_f را دقیقاً معین نمود، روش فوق جواب نسبتاً خوبی می‌دهد اما از آن‌جاکه تعیین P_f و بخصوص با در نظرگرفتن شکل پایه‌ها، با حدس و گمان همراه است، لذا این روش نیز قابل استفاده نبوده و بدین‌جهت به‌روشهای تجربی و نتایج آزمایشگاهی پناه برده می‌شود.

از جمله کارهای تجربی انجام شده روی این موضوع، تحقیقات یارنل (Yarnell) در سال ۱۹۳۴ است که پس از به‌دست آوردن نتایج آزمایشگاهی انواع مختلف پایه‌ها و اعداد فرود، رابطهٔ تجربی ذیل را برای Δy پیشنهاد نمود:

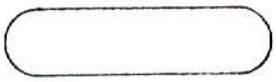
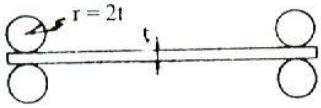
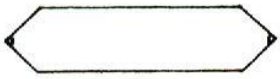
$$\frac{\Delta y}{y_3} = K\,Fr_3^2\,(K + 5Fr_3^2 - 0/6)\,(\alpha + 15\alpha^4) \qquad (۸-۱۰)$$

$$\alpha = 1 - \sigma \qquad (۹-۱۰)$$

در معادلهٔ ۸-۱۰، Δy = میزان افزایش عمق در مقطع ۱ نسبت به مقطع ۳، y_3 = عمق جریان در مقطع ۳ که معادل عمق نرمال رودخانه درنظرگرفته می‌شود، Fr_3 = عدد فرود در مقطع ۳ و K = ضریب شکل پایه‌ها که به‌صورت تجربی به‌دست آمده و مطابق جدول ۱۰-۱ خواهد بود.

لازم به ذکر است که ضریب K در جدول مذکور مربوط به حالتی است که طول پایه چهار برابر عرض آن

جدول ۱۰-۱ مقادیر تجربی K برای معادلهٔ ۸-۱۰

شکل پایه‌ها		K
پایه مستطیلی با ابتدا و انتهای نیم دایره		۰/۹
پایه با ابتدا و انتهای لنزی شکل		۰/۹
دو پایهٔ استوانه‌ای با یک صفحهٔ متصل کننده		۰/۹۵
دو پایهٔ استوانه‌ای جدا از یکدیگر		۱/۰۵
دو پایه با ابتدا و انتهای مثلثی ۹۰°		۱/۰۵
پایهٔ مستطیلی با ابتدا و انتهای تیزگوشه		۱/۲۵

Prozhefa.com

باشد اما آزمایشهای دیگری که برای نسبت‌های طول به عرض ۷ و ۱۳ انجام گرفته نشان داده است که نتایج حدود ۸۳ تا ۹۶ درصد جواب به‌دست آمده از معادلهٔ ۱۰-۸ و جدول ۱۰-۱ می‌باشد و لذا معادله و جدول یاد شده برای هر مقدار از نسبت پایه‌ها توصیه می‌گردد.

در تحقیقات یارنل، فرض می‌گردد که σ آنقدر کوچک نباشد که مسیر جریان را مسدود نماید و به عنوان مثال در بین دو پایه جریان بحرانی به‌وجود آید. حد σ برای تأمین شرط فوق و به عبارت دیگر حداقل σ که بتواند صحت جوابها را تضمین نماید و برای مقادیر کمتر از آن، در مسیر جریان انسداد به‌وجود خواهد آمد می‌تواند با فرض یکنواخت بودن سرعت در مقطع ۲ و استفاده از دو معادلهٔ $E_1 = E_2$ و $F_2 = F_3$ به‌دست آید. با فرض وجود جریان بحرانی (حد مربوطه) در مقطع ۲، چنانچه از رابطهٔ $E_2 = E_1$ استفاده گردد خواهیم داشت:

$$\sigma_L = \left[\frac{27Fr_1^2}{(2+Fr_1^2)^3}\right]^{1/2} \qquad (10-10)$$

در صورتی‌که فرض $F_2 = F_3$ در نظر گرفته شود

$$\sigma_L = \frac{(2+1/\sigma_L)^3 Fr_3^4}{(1+2Fr_3^2)^3} \qquad (10-11)$$

اگرچه برای تعیین دو نوع جریان غیر مسدود (نوع A) و مسدود (نوع B)، معادلهٔ ۱۰-۱۰ مورد استفادهٔ Yarnell قرار گرفت اما Henderson (۱۹۶۶) توصیه می‌کند که از دو معادلهٔ فوق، رابطهٔ دومی (۱۰-۱۱) که بستگی به فرضیات مربوط به صرفنظر کردن از افت انرژی ندارد، بیشتر به واقعیت نزدیک خواهد بود. اضافه می‌نماید که برای تعیین افت انرژی و با داشتن عمق جریان و سرعت در مقاطع ۱ و ۳، می‌توان از رابطهٔ $\Delta E = E_1 - E_3$ استفاده نمود.

عموماً در عمل کمتر اتفاق می‌افتد که در بین پایه‌ها جریان بحرانی (نوع B) به‌وجود آید، ولی در صورت وقوع، در پایین‌دست یک جهش هیدرولیکی به‌وجود آمده (شکل ۱۰-۶) و در این‌صورت بین مقاطع ۱ و ۲ افت انرژی به شکل زیر وجود خواهد داشت:

$$E_1 - E_2 = C_L \frac{V_2^2}{2g} \qquad (10-12)$$

مقطع ۲ همان مقطع بحرانی بوده و C_L تابعی است از شکل پایه‌ها که برای نسبت طول به‌عرض پایه‌ها مساوی ۴، در حالتی‌که پایه‌ها تیزگوشه باشند $C_L = 0/35$ و در حالت گردگوشه $C_L = 0/18$ خواهد بود. با داشتن این مقادیر و مشخص شدن افت انرژی، می‌توان y_1 را محاسبه و از آن‌جاکه y_3 برابر عمق نرمال در نظر گرفته می‌شود، $\Delta y = y_1 - y_3$ معین می‌گردد. چنانچه نسبت طول پایه‌ها به عرض آنها بیش از ۴ گردد، مقدار Δy کمی افزایش می‌یابد مثلاً برای نسبت‌های ۷:۱ و ۱۳:۱ و در صورت گردگوشه بودن آنها، حدود ۵ تا ۱۰ درصد افزایش Δy خواهد بود و برای تیزگوشه، چنانچه نسبت از ۴:۱ افزایش یابد، میزان فرا آب اندکی کمتر می‌گردد.

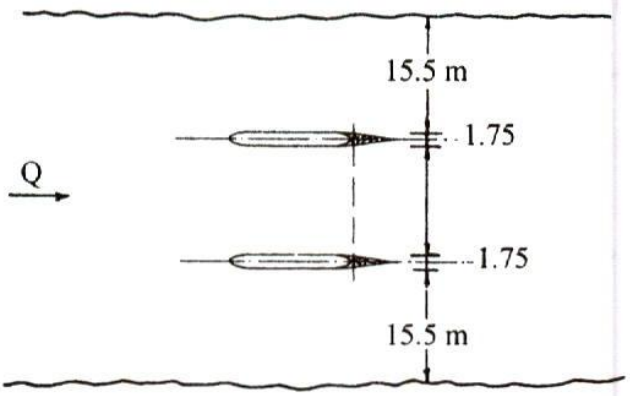
Prozhefa.com

۱۰-۳-۱ پایه‌های غیرموازی با جریان

اگرچه عموماً سعی می‌شود تا پایه‌ها نسبت به‌جریان سیل به‌صورت موازی قرار گیرند، در برخی موارد امکان رعایت این امر نبوده، و لذا محور طولی پایه‌ها نسبت به جهت جریان دارای انحراف می‌باشد. طبق تجربیات Yarnell که برروی پایه‌های با نسبت طول به عرض ۴ انجام گرفت، در صورتی‌که میزان انحراف ۱۰° باشد اختلاف ناچیزی با Δy پایه‌های موازی وجود خواهد داشت و اگر میزان انحراف به ۲۰° برسد، مقدار Δy نسبت به حالت عدم انحراف ۲٫۳ برابر می‌گردد. از آن‌جاکه سطح مقطع جلوی (مساحت تصویر شده عمود بر جهت جریان) یک پایه منحرف شده با زاویه ۲۰° و نسبت طول به عرض ۴، ۲٫۳ برابر سطح مقطع جلوی پایه موازی است، Henderson اظهار می‌دارد که می‌توان برای تأثیر مقدار انحراف تا زاویه ۲۰°، عرض مؤثر را همان عرض عمود بر جهت جریان در نظر گرفت.

مثال ۱۰-۵

آبی با دبی $500\ m^3/s$ در رودخانه‌ای با شیب ۰٫۰۰۰۶۶ و عرض متوسط ۵۰m در جریان است. در طول مسیر، پلی با پایه‌های موازی جریان مطابق شکل زیر قرار دارد. اگر $n = 0.025$ و نسبت طول پایه‌ها به عرض آن تقریباً معادل ۴ باشد، میزان افزایش عمق جریان دربالادست را حساب کنید.



حل:

با توجه به شکل پایه‌ها، $K = 0.9$ می‌باشد. نخست عمق نرمال رودخانه را به‌دست می‌آوریم.

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S_o^{1/2}$$

$$500 = \frac{50y_o}{0.025}\left(\frac{50y_o}{50 + 2y_o}\right)^{2/3}\sqrt{0.00066}$$

$$y_o = y_3 = 4.17\text{m}$$

Prozhefa.com

$$\frac{\Delta y}{y_۳} = K\,Fr_۳^۲\,(K + ۵Fr_۳^۲ - ۰/۶)\,(\alpha + ۱۵\alpha^۴)$$

$$\alpha = ۱ - \sigma = ۱ - \frac{b_۲}{b_۳} = ۱ - \frac{۱۵/۵}{۱۷/۲۵} = ۱ - ۰/۸۹۹ = ۰/۱۰۱$$

$$Fr_۳^۲ = \frac{V_۳^۲}{g y_۳} = \frac{Q^۲}{g y_۳^۳ b^۲} = \frac{(۵۰۰)^۲}{۹/۸۱(۴/۱۷)^۳ \times (۵۰)^۲} = ۰/۱۴۱$$

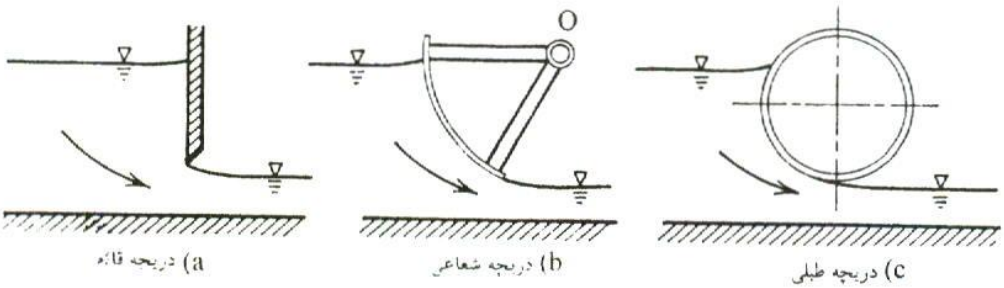
$$\sigma_L = \frac{\left[۲ + \frac{۱}{\sigma_L}\right]^۳ Fr_۳^۴}{(۱ + ۲Fr_۳^۲)^۳} = \frac{\left[۲ + \frac{۱}{\sigma_L}\right]^۳ (۰/۱۴۱)^۲}{(۱ + ۲ \times ۰/۱۴۱)^۳} \rightarrow \sigma_L = ۰/۵۴ < ۰/۸۹۹$$

$$\frac{\Delta y}{۴/۱۷} = ۰/۹ \times ۰/۱۴۱(۰/۹ + ۵ \times ۰/۱۴۱ - ۰/۶)\,[۰/۱۰۱ + ۱۵(۰/۱۰۱)^۴]$$

$$\Delta y = ۰/۰۵۵\text{m}$$

۴-۱۰ دریچه‌های زیرگذر (Underflow Gates)

دریچه‌ها از جمله سازه‌های کنترل کنندهٔ جریان هستند که در شکلها و با نحوهٔ عملکردهای متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله محلهای استفاده دریچه‌ها می‌تواند در روی تاج سرریزهای لبه آبریز و یا در محل خروج آب از دریاچه به رودخانه و کانال باشد. هر نوع دریچه امتیازات و نقائص مربوط به خود را داشته و با توجه به موقعیت کاربرد و خصوصیات استفاده از آن، می‌توان یکی از انواع را انتخاب نمود، به عنوان مثال یک دریچهٔ قائم یا کشوی (Vertical Gate) (شکل ۱۰-۷) احتیاج به غلطک‌های گران‌قیمت جهت حرکت به سمت بالا و پایین دارد و در مقابل دریچه‌های شعاعی (شکل ۱۰-۷) اگرچه از این نظر به مراتب اقتصادی‌تر است اما هزینه‌های زیادی را جهت ساخت سازهٔ مربوطه بخصوص در محل لولای O طلب می‌نماید. برای طراحی دریچه‌ها احتیاج است تا اطلاعات کاملی دربارهٔ روابط هیدرولیکی، پخش فشار و نیروهای دینامیکی در اختیار باشد تا بتوان با توجه به حساسیت امر، به اهداف مورد نظر دست یافت.



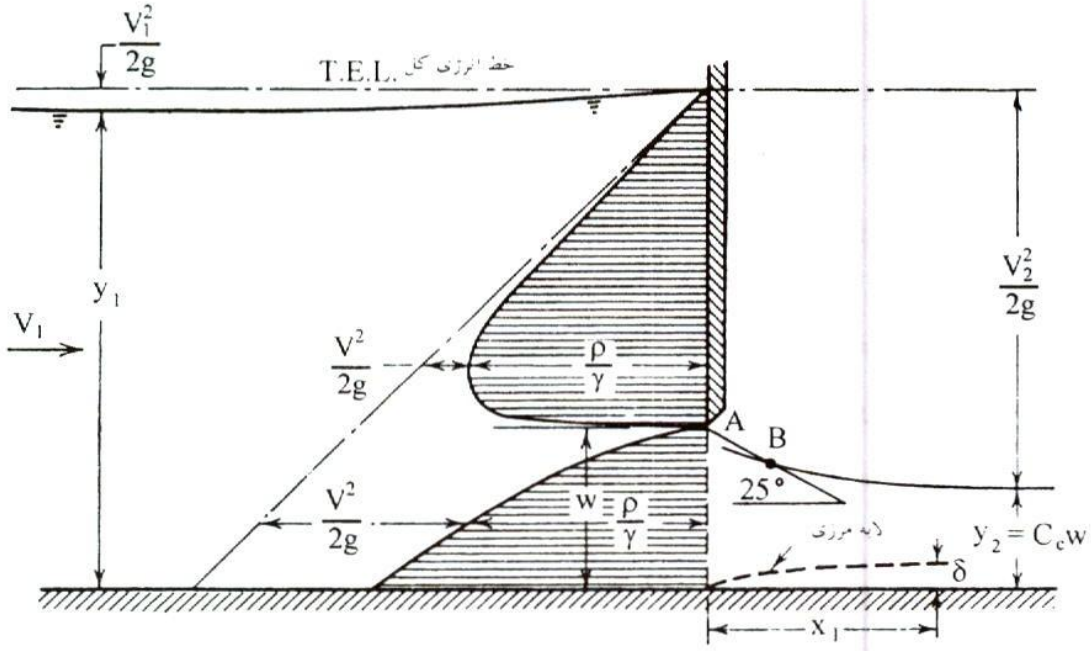
شکل ۱۰-۷ نمونه‌هایی از دریچه‌های زیرگذر

Prozhefa.com

از انواع دریچه‌ها و با توجه به نحوهٔ جریان، می‌توان دریچه‌های زیرگذر را نام برد که حرکت آب از زیر دریچه صورت پذیرفته و تنظیم و کنترل براساس میزان بازشدگی از پایین انجام می‌گیرد. در شکل ۱۰-۷ مشهورترین و پرکاربردترین دریچه‌های زیرگذر که عبارتند از دریچه‌های کشوی، شعاعی یا قطاعی (Radial or Tainter Gate) و طبلی (Drum Gate) نشان داده شده‌اند که در این قسمت روابط هیدرولیکی مربوط به آنان مورد بحث قرار می‌گیرد. اضافه می‌نماید که هیدرولیک این‌گونه دریچه‌ها تحت دو عنوان «جریان خروجی آزاد» و «جریان خروجی مستغرق» می‌تواند مورد بحث قرار گیرد.

۱۰-۴-۱ جریان خروجی آزاد (Free Outflow)

۱۰-۴-۱-۱ دریچه‌های کشوی یا قائم (Vertical Sluice Gate) یک دریچه کشوی تشکیل یافته است از یک صفحهٔ قائم لغزشی که کناره‌های آن در فضای مناسب ایجاد شده در بدنه‌ها، قرار داده شده و می‌تواند به اندازهٔ مورد نیاز به بالا و یا پایین حرکت کند. در کارهای آزمایشگاهی و به جهت لبهٔ بالادست تیز دریچه که می‌تواند خطوط جریان را واضح‌تر مشخص نماید، عموماً از دریچه‌های قائم استفاده می‌نمایند که در شکل ۱۰-۸ به همراه جریان خروجی آزاد در یک کانال مستطیلی افقی نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۸ دریچهٔ قائم با جریان خروجی آزاد

همان‌گونه که در شکل نشان داده شده است، در حین عبور جریان از زیر دریچه، فشار هیدرودینامیکی وارده بر دریچه، از فشار هیدرواستاتیکی کمتر بوده و در هر منطقه از دریچه که به فاصله H از سطح آب قرار دارد:

Prozhefa.com

$$H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \qquad (۱۳-۱۰)$$

$$\frac{P}{\gamma} = H - \frac{V^2}{2g} \qquad (۱۴-۱۰)$$

مقدار سرعت در هر نقطه را می‌توان با رسم شبکه جریان به‌دست آورد که خارج از این بحث بوده و در هر حال همان‌گونه که در شکل نیز مشخص است $\frac{P_A}{\gamma} = 0$ می‌باشد. طبق تعریف، جریان خروجی موقعی آزاد گفته می‌شود که جت خارج شده از زیر دریچه که دارای حالت فوق‌بحرانی است، وارد فضای آزاد شده و فشار اتمسفر بر آن حاکم باشد و به‌وسیلهٔ عمق پایاب یا هر عمق جریان اضافی، غرق نگردد. در این حالت همان‌طور که آب از قسمت بازشدگی دریچه خارج می‌شود، سطح آزاد آب به‌صورت سریع پایین می‌آید تا محلی که عمق جریان به حداقل خود y_2 رسیده و خطوط جریان موازی کف بستر می‌گردند. بنابراین در جریان خروجی آزاد که تابع عمق پایاب نمی‌باشد، در بالادست دریچه جریان زیر بحرانی و در پایین‌دست و بلافاصله پس از دریچه جریان فوق بحرانی وجود خواهد داشت. مقدار y_2 تابع میزان بازشدگی دریچه (w) و ضریب انقباض آن (C_c) می‌باشد یعنی:

$$y_2 = C_c w \qquad (۱۵-۱۰)$$

با فرض داشتن C_c و این‌که جریان در بالادست مقطع ۱ و پایین‌دست مقطع ۲ را می‌توان یکنواخت در نظر گرفت و صرفنظر نمودن از افت انرژی در مقطع A و نیز در فاصلهٔ دریچه تا مقطع ۲، معادلهٔ انرژی به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2} = y_2 + \frac{q^2}{2gy_2^2}$$

$$q = y_1 y_2 \sqrt{\frac{2g}{y_1 + y_2}} \qquad (۱۶-۱۰)$$

$$q = C_c w \sqrt{\frac{2gy_1^2}{y_1 + C_c w}} = C_c w \sqrt{2gy_1 \frac{1}{1 + \frac{C_c w}{y_1}}}$$

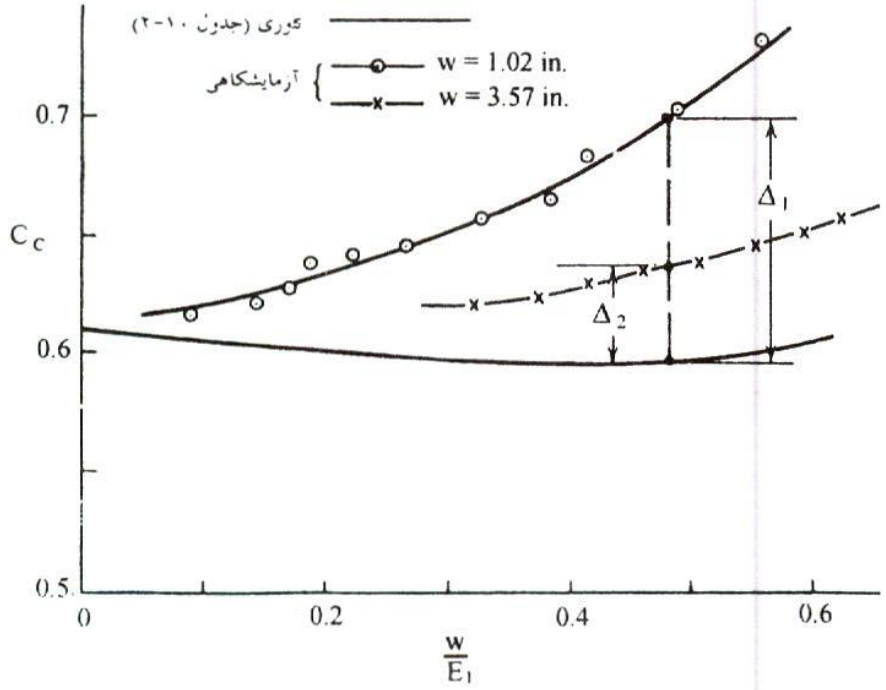
$$q = C_d w \sqrt{2gy_1} \qquad (۱۷-۱۰)$$

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c w}{y_1}}} \qquad (۱۸-۱۰)$$

Prozhefa.com

از آن‌جاکه C_c تابعی از $\frac{w}{y_1}$ خواهد بود، مقدار C_d نیز طبیعتاً تابع $\frac{w}{y_1}$ خواهد بود و از طرفی به‌جهت وجود لبهٔ تیز در دریچه که محل جدا شدن آب نیز می‌باشد و به خاطر ثابت بودن این نقطه، عدد رینولدز نمی‌تواند اثر چندانی روی C_c و نهایتاً C_d داشته باشد.

برای تعیین مقدار C_c می‌بایست پروفیل سطح جریان از دریچه تا مقطع ۲ محاسبه گردد که در آن بلافاصله پس از دریچه، یک جریان متغیر سریع نیز وجود دارد که امری است مربوط به‌هیدرودینامیک و هنوز راه‌حل کاملی برای محاسبهٔ آن ارائه نشده است. تجربیات و تحقیقات Benjamin (۱۹۵۶) نشان داده است که با تغییر w و برای نسبت‌های ثابت $\frac{w}{E_1}$، مقدار C_c تغییر نموده و به عبارتی هرچه w کمتر باشد، اگرچه نسبت $\frac{w}{E_1}$ تغییر نکند اما مقدار C_c افزایش می‌یابد (شکل ۱۰-۹) که این به جهت وجود لایهٔ مرزی ایجاد شده در شکل ۱۰-۸ می‌باشد. از طرفی Benjamin با تقسیم جریان به دو قسمت در نقطهٔ B (شکل ۱۰-۸) و از طریق یک تحلیل به نتایج بسیار جامعتری دسترسی پیدا کرد که این نتایج در جدول ۱۰-۲ و شکل ۱۰-۹ آورده شده است.



شکل ۱۰-۹ ضریب انقباض برای دریچه‌های کشوی (بعد از T. B. Benjamin)

جدول ۱۰-۲ مقادیر C_c برحسب $\frac{w}{E_1}$

$\frac{w}{E_1}$	۰	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۳	۰٫۴	۰٫۵
C_c	۰٫۶۱۱	۰٫۶۰۶	۰٫۶۰۲	۰٫۶۰۰	۰٫۵۹۸	۰٫۵۹۸

Prozhefa.com

اختلاف بین نتایج تئوری و آزمایشگاهی که در اثر ایجاد لایهٔ مرزی می‌باشد کمتر مورد توجه مهندسین در عمل قرار می‌گیرد و از آن‌جاکه عموماً مقدار w بیش از آن مقداری است که در کار آزمایشگاهی یاد شده، ذکر گردیده، می‌توان با تقریب کافی C_c را نزدیک به جوابهای تئوری و در اکثر موارد مساوی ۰٫۶۱ در نظر گرفت، ولی برای کارهای آزمایشگاهی بخصوص آنهاکه علاقمند به شناخت تأثیرات لزجت روی سیستمهای کوچک آزمایشگاهی هستند، می‌تواند کار مفیدی باشد.

مثال ۱۰-۶

آبی با دبی $10\,m^3/s$ در یک کانال مستطیلی به عرض 5m در جریان است. در قسمتی از کانال دریچه‌ای وجود دارد که برای تنظیم ارتفاع آب به کار می‌رود. اگر بخواهیم ارتفاع آب در پشت دریچه به 8m برسد، میزان بازشدگی دریچه (w) را محاسبه نمایید (از افت انرژی صرفنظر می‌گردد).

حل

با استفاده از معادلهٔ ۱۰-۱۶ و با داشتن $y_1 = 8m$ داریم:

$$q = y_1 y_2 \sqrt{\frac{2g}{y_1 + y_2}}$$

$$\frac{10}{5} = 8 \times y_2 \sqrt{\frac{2 \times 9{,}81}{8 + y_2}}$$

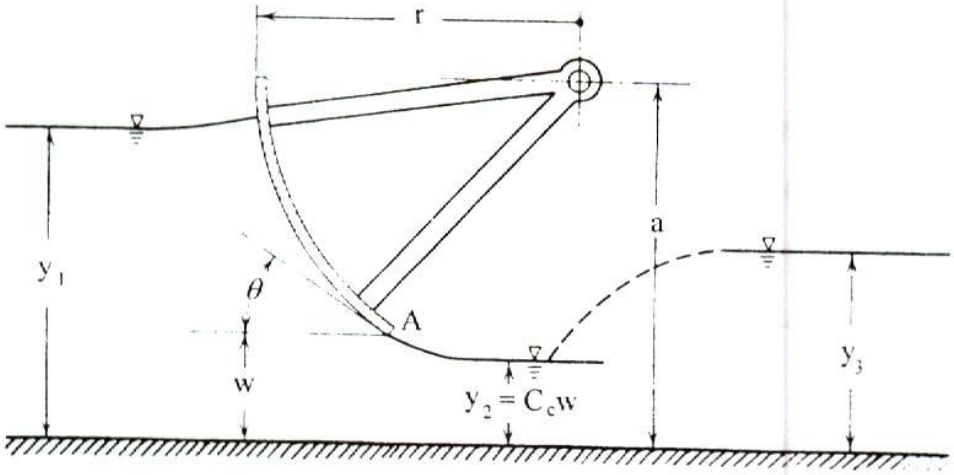
$$y_2 = 0{,}161\,m$$

$$w = \frac{y_2}{C_c}$$

$$C_c = 0{,}61 \rightarrow w = \frac{0{,}161}{0{,}61} = 0{,}264\,m$$

۱۰-۴-۱-۲ دریچه‌های شعاعی (Tainter or Radial Gates) دریچه‌های شعاعی برعکس دریچه‌های قائم، در محل لبهٔ A دارای سطحی مایل نسبت به‌افق در مقایسه با قائم بوده و بدیهی است در این‌صورت مقدار C_c از ۰٫۶۱ بیشتر خواهد شد (شکل ۱۰-۱۰). در چنین شرایطی مقدار دبی تابع چهار طول y_1 ، w ، a و r بوده و لذا برای به‌دست آوردن دقیق رابطه، احتیاج است تا یک برنامه‌ریزی وسیع آزمایشگاهی جهت تحقیقات لازم صورت گیرد. از طرفی موقعیت جریان به گونه‌ای است که تحلیل تئوری مسأله مشکل بوده و شاید تلاش چندانی هم روی این امر انجام نگرفته است.

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۱۰ دریچهٔ شعاعی یا قطاعی

برای تعیین دبی در حالت دریچه‌های شعاعی و مشخص نمودن مقدار C_d می‌توان از نمودارهای شکل ۱۰-۱۱که حاصل تحقیقات A.Toch (۱۹۵۵) است استفاده نمود که جوابهای قابل قبولی ارائه می‌نمایند. همان‌گونه که مشخص است مقدار C_d تابعی از θ نیز می‌باشد که اگرچه در ظاهر امر مشاهده نمی‌شود اما در حقیقت اثر θ در چهار عامل دیگر در نظر گرفته شده است. همچنین برای تخمین اولیه و در مواقعی که دقت زیاد مورد نظر نیست، برای به‌دست آوردن C_c می‌توان از معادلهٔ زیر که ترکیبی از نتایج Toch و Mises (۱۹۱۷) است استفاده نمود:

$$C_c = ۱ - ۰/۷۵\ \theta + ۰/۳۶\theta^۲ \qquad (۱۹-۱۰)$$

که در آن واحد θ، ۹۰°است (مثلاً اگر در عمل $\theta = ۴۵°$ باشد، در این رابطه $\theta = \frac{۴۵}{۹۰} = ۰/۵$ خواهد بود). این معادله برای $\theta < ۱$ تا ٪۵ ± خطا خواهد داد.

مثال ۱۰-۷

در مثال قبل چنانچه از دریچه قطاعی به شعاع ۷m به گونه‌ای استفاده شود که فاصلهٔ قائم لولا تا کف کانال ۶/۳m باشد، مقدار w را محاسبه کنید.

$$q = C_d w \sqrt{۲gy_۱}$$

با توجه به شکل ۱۰-۱۱:

$$\frac{a}{r} = \frac{۶/۳۰}{۷} = ۰/۹$$

$$\frac{y_۱}{r} = \frac{۸}{۷} = ۱/۱۴$$

Prozhefa.com

$$C_d w = \frac{۲}{\sqrt{۲ \times ۹/۸۱ \times ۸}} = ۰/۱۶$$

حال با توجه به منحنی، مقداری برای C_d انتخاب می‌شود و از آن $\frac{w}{r}$ و سپس w به‌دست می‌آید. اگر $C_d w$ مساوی ۰/۱۶ شد جواب صحیح و در غیراین‌صورت بایستی عدد دیگری انتخاب گردد نهایتاً با توجه به درون‌یابی:

$$C_d = ۰/۷۶ \rightarrow \frac{w}{r} \approx ۰/۰۳ \rightarrow w = ۰/۲۱\text{m} \rightarrow C_d w = ۰/۱۶$$

۱۰-۴-۲ جریان خروجی مستغرق (Submerged or Drowned Outflow)

در جریان خروجی آزاد گفته شد که عمق پایاب به گونه‌ای است که تأثیری روی دبی خروجی ندارد. حال اگر با ثابت ماندن دبی، عمق پایاب ($y_۳$) افزایش یابد، پرش هیدرولیکی به‌وجود آمده، بتدریج به سمت بالادست حرکت کرده تا زمانی‌که شروع پرش به محل کوچکترین عمق جریان ($y_۲$) برسد. در این‌حالت هر مقدار افزایش اضافی در $y_۳$ باعث غرق شدن پرش گشته و لذا عمق جریان در مقطع ۲ بیش از $C_c w$ خواهد شد و چنانچه بخواهیم شدت جریان ثابت بماند می‌بایست مقدار $y_۱$ افزایش یابد. این حالت را، جریان خروجی مستغرق نامند.

۱۰-۴-۲-۱ دریچه‌های قائم یا کشوی شکل ۱۰-۱۲ یک جریان خروجی مستغرق برای دریچه‌های کشوی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که گفته شد در این حالت $y_۳$ بیش از عمق ثانویه پرشی است که عمق اولیه‌اش $y_۲$ می‌باشد. مجموعه افت انرژیهایی که در این‌حالت به‌وجود خواهد آمد یکی افت انرژی از مقطع ۱ تا ۲ و دیگری افت انرژی از مقطع ۲ تا ۳است که اولی در مقایسه با دومی ناچیز بوده و لذا فرض می‌گردد کل افت انرژی در حد فاصل مقاطع ۲ و ۳ وجود داشته باشد. بنابراین:

$$E_۱ = E_۲$$

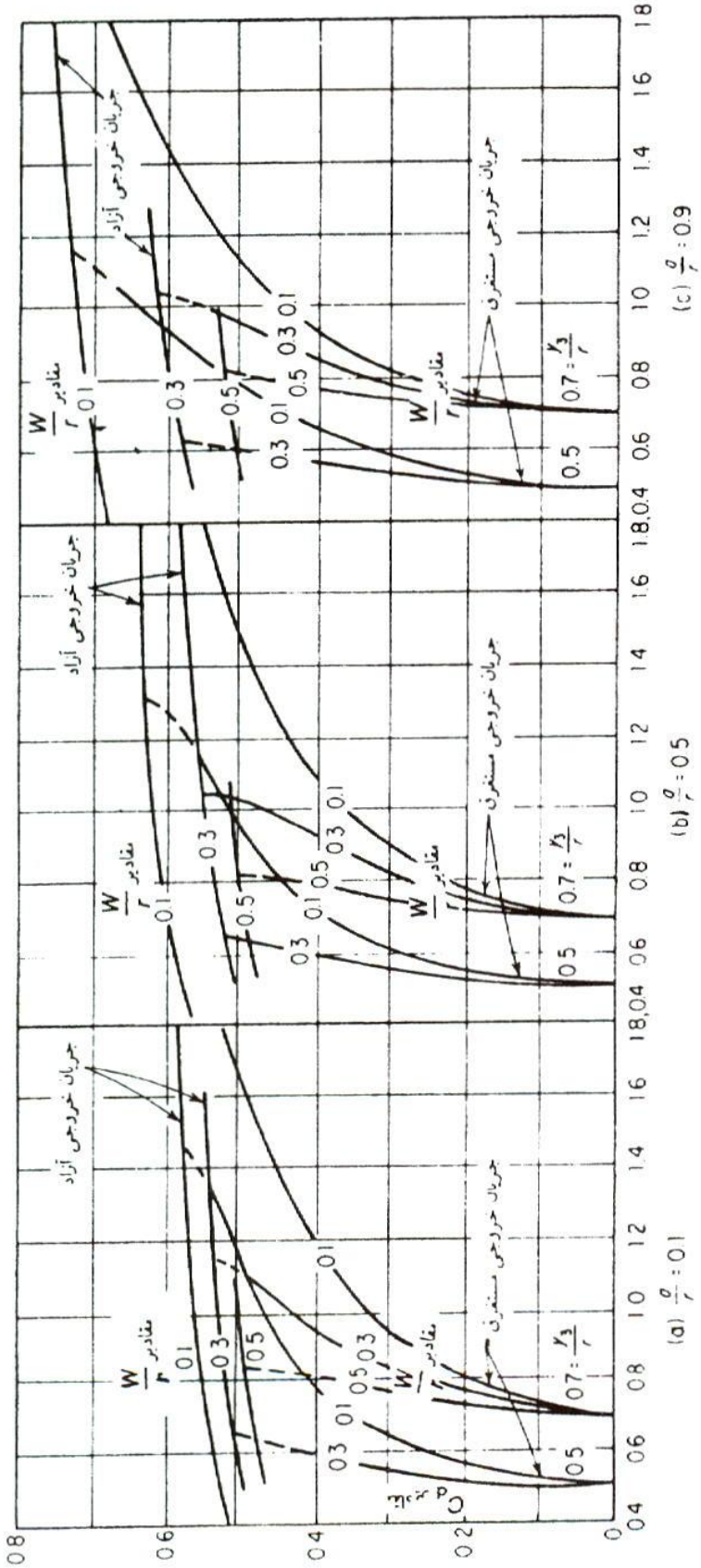
$$y_۱ + \frac{q^۲}{۲gy_۱^۲} = y + \frac{q^۲}{۲gy_۲^۲} \qquad (۱۰-۲۰)$$

ملاحظه می‌شود که ارتفاع پیزومتریک در مقطع ۲ برابر y است در صورتی‌که عمق جت مساوی $y_۲$ می‌باشد. برای مقاطع ۲ و ۳ می‌توان نوشت:

$$F_۲ = F_۳$$

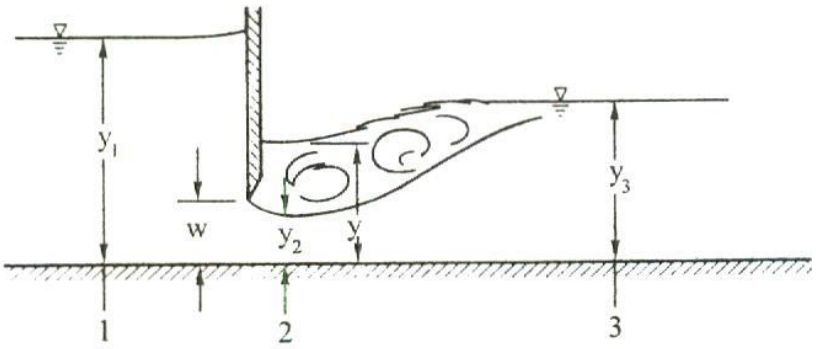
$$\frac{q^۲}{gy_۲} + \frac{y^۲}{۲} = \frac{q^۲}{gy_۳} + \frac{y_۳^۲}{۲} \qquad (۱۰-۲۱)$$

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۱۱

Prozhefa.com



شکل ۱۰-۱۲ دریچهٔ قائم با جریان خروجی مستغرق

در مسایل عملی، عموماً مقادیر y_1 ، y_2(یا $C_c w$) و y_3 معین بوده و لازم است تا مقدار q یا y محاسبه گردد. چنانچه مقطع کانال دارای شکل غیرمستطیلی باشد، می‌توان نظیر معادلات فوق، از رابطهٔ کلی انرژی مخصوص و مقدار حرکت استفاده کرد که در برخی موارد برای حل معادلات می‌بایست از روشهای عددی کمک جست.

در سال ۱۹۵۰، Henry نشان داد که برای تعیین دبی در حالت استغراق نیز می‌توان از معادلهٔ ۱۰-۱۷ $\left(q = C_d w\sqrt{2gy_1}\right)$ استفاده نمود و کافی است تا مقادیر تجربی C_d که تابعی از $\frac{y_1}{w}$ و $\frac{y_3}{w}$ است به‌دست آید. وی پس از تحقیقاتی، نتایج تجربی خود را به‌صورت نمودارهایی بر اساس معادلهٔ ۱۰-۱۷ ارائه نمود که این نمودارها به‌صورت خط ممتد در شکل ۱۰-۱۳ آورده شده‌اند. آنچه باقی می‌ماند این است که مشخص شود آیا جوابهای به‌دست آمده از معادلات ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۱ با نتایج تجربی مطابقتی دارند یا خیر که حاصل بررسی انجام شده بوسیلهٔ Henderson (۱۹۶۶) برای $\frac{y_3}{w} = 5$ و برای جریان خروجی آزاد با فرض $C_c = 0.6$ به‌صورت خط‌چین در روی همان شکل آورده شده که حاکی از تطابق بسیار خوب بین دو سری‌جواب‌می‌باشد. Henderson همچنین اظهارمی‌دارد که جوابهای‌به‌دست آمده از معادلات ۱۰-۲۰ و ۱۰-۲۱ با نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده توسط E.Crausse (۱۹۵۲) و G.Rao و N.Rajaratnam (۱۹۶۳) مطابقت بسیار خوبی داشته و خطای به‌دست آمده بیشتر از ۲ درصد نمی‌باشد. بنابراین می‌توان با اطمینان کامل از معادلات یاد شده و با حداکثر خطایی در حدود ۵ درصد استفاده نمود.

۱۰-۴-۲-۲ دریچه‌های قطاعی اگرچه از نظر کلی و آنچه اتفاق می‌افتد فرق چندانی بین دریچه‌های قطاعی و قائم نمی‌باشد اما به‌دلیل شکل خاص دریچه شعاعی، عوامل دیگری نیز دخالت دارند که می‌توان از نمودارهای شکل ۱۰-۱۱ و با توجه به عواملی که در شکل ۱۰-۱۰ نشان داده شده است استفاده نمود.