Prozhefa.com

۴-۵ بهترین مقطع هیدرولیکی (The Best Hydraulic Section)

گرچه در این مجموعه به طراحی کانالهای باز چندان پرداخته نشده است ولی یکی از سؤالات اساسی که در ذهن هر طراحی بروز می‌کند این است که با توجه به این‌که پارامترهای هندسی متفاوتی در شکل هندسی یک مقطع نقش دارند چه تناسبی از ابعاد، بهترین می‌باشد. به این سؤال می‌توان از نظر ریاضی در قالب بهترین مقطع هیدرولیکی پاسخ داد.

اگر به رابطهٔ مانینگ توجّه شود:

$$Q = \frac{۱}{n} S^{۱/۲} R^{۲/۳} A$$

$$Q = \frac{۱}{n} S^{۱/۲} \frac{A^{۵/۳}}{P^{۲/۳}} = \frac{A^{۵/۳} S^{۱/۲}}{n P^{۲/۳}} \qquad (۴۱-۴)$$

از رابطهٔ ۴-۴۱ نتیجه می‌شود که به ازاء n و S و A ثابت دبی انتقالی کانال هنگامی ما کزیمم است که پیرامون مرطوب حداقل باشد. از نظر هیدرولیکی می‌توان چنین مقطعی را بهترین مقطع هیدرولیکی نامید. در بین کلیهٔ مقاطع کانالهای باز نیم‌دایره بهترین مقطع می‌باشد. زیرا به ازاء مساحت ثابت دارای کمترین پیرامون مرطوب می‌باشد ولی باید بتوان برای مقاطع دیگر نیز هندسهٔ بهترین مقطع هیدرولیکی را تعیین نمود.

رابطهٔ ۴-۴۱ می‌تواند به صورت رابطهٔ ۴-۴۲ مرتب شود:

$$A = \frac{Q^{۳/۵} n^{۳/۵}}{S^{۳/۱۰}} P^{۲/۵} = K_۱ P^{۲/۵} \qquad (۴۲-۴)$$

در رابطهٔ ۴-۴۲ ما کزیمم کردن $K_۱$ (ما کزیمم نمودن Q) به ازاء A ثابت معادل با مینیمم کردن A به ازاء یک $K_۱$ ثابت می‌باشد که هر دو تعریف به P حداقل منجر خواهند شد. لذا مترادف با تعریف قبلی می‌توان گفت که بهترین مقطع هیدرولیکی مقطعی است که به ازاء Q ، n ، S مشخص دارای مساحت (خاکبرداری) و پیرامون مرطوب (پوشش) حداقل باشد.

هر دو بیان در استخراج روابط ریاضی مربوط به بهترین مقطع هیدرولیکی استفاده شده‌اند ولی کلاً استخراج روابط با استفاده از بیان اول ساده‌تر می‌باشد.

۴-۵-۱ بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی

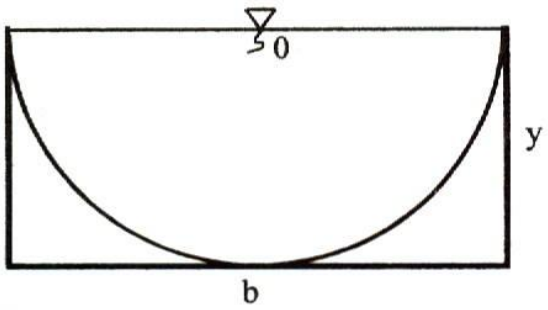
شکل (۴-۱۲) مقطع مستطیلی با ابعاد b و y را نشان می‌دهد.

با توجه به تعریف در استخراج مشخصات بهترین مقطع هیدرولیکی می‌توان نوشت:

$$A = by \Rightarrow b = \frac{A}{y}$$

$$P = b + ۲y \Rightarrow P = \frac{A}{y} + ۲y$$

Prozhefa.com



شکل ۴-۱۲ بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی

به ازاء A ثابت:

$$\frac{dP}{dy} = ۰ \Rightarrow -\frac{A}{y^۲} + ۲ = ۰$$

$$A = ۲y^۲ \Rightarrow by = ۲y^۲ \Rightarrow b = ۲y \qquad (۴۳-۴)$$

پس در بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی عرض کف دو برابر عمق جریان انتخاب می‌شود و در نتیجه می‌توان نیم دایره‌ای مطابق شکل ۴-۱۲ در این مقطع محاط نمود.

می‌توان با توجه به رابطهٔ ۴-۴۲ و به ازاء $K_۱$ ثابت به شرح زیر نیز مشخصات بهترین مقطع هیدرولیکی مستطیلی را پیدا نمود:

$$A = by$$

$$P = ۲y + b = ۲y + \frac{A}{y} = ۲y + \frac{K_۱ P^{۲/۵}}{y}$$

$$\frac{dP}{dy} = ۲ + \frac{K_۱}{y} \times \frac{۲}{۵} P^{-۳/۵} \frac{dP}{dy} + K_۱ P^{۲/۵} \left(-\frac{۱}{y^۲}\right)$$

$$\frac{dP}{dy} = ۰ \Rightarrow ۰ = ۲ - K_۱ P^{۲/۵} \left(\frac{۱}{y^۲}\right)$$

$$۲ - \frac{A}{y^۲} = ۰ \Rightarrow ۲ - \frac{b}{y} = ۰ \Rightarrow b = ۲y$$

هر دو روش به یک نتیجه منجر می‌شوند.

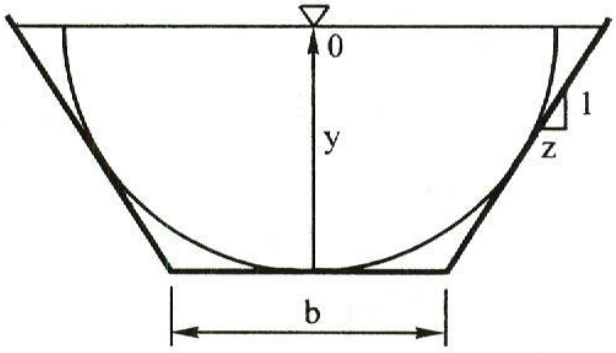
۴-۵-۲ بهترین مقطع هیدرولیکی ذوزنقه‌ای

مطابق شکل ۴-۱۳ فرض می‌شود که شیب کنارهٔ کانال ثابت و براساس پایداری مصالح جدارهٔ کانال انتخاب شده باشد.

بهترین مقطع هیدرولیکی با استفاده از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$A = (b + zy)\, y$$

Prozhefa.com



شکل ۴-۱۳ بهترین مقطع هیدرولیکی ذوزنقه‌ای

$$P = b + ۲\sqrt{۱+z^۲}\,y = \frac{A}{y} - zy + ۲y\sqrt{۱+z^۲}$$

$$\frac{dP}{dy} = ۰ \Rightarrow -\frac{A}{y^۲} + ۲\sqrt{۱+z^۲} - z = ۰$$

$$\frac{-(b+zy)}{y} + ۲\sqrt{۱+z^۲} - z = ۰$$

$$b = ۲y\left(\sqrt{۱+z^۲} - z\right) \rightarrow b + ۲zy = ۲y\sqrt{۱+z^۲} \qquad (۴۴-۴)$$

رابطهٔ ۴-۴۴ مشخصات بهترین مقطع به ازاء z ثابت را نشان می‌دهد. در صورتی‌که z هم به عنوان متغیر در نظر گرفته شود علاوه بر $\frac{\partial P}{\partial y}$ باید $\frac{\partial P}{\partial z}$ را هم برابر صفر قرار داد که در این حالت معادلهٔ جدید مقدار z را برابر $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ به‌دست می‌دهد و شکل مقطع نصف یک شش ضلعی منتظم، با شیب کنارهٔ ۶۰° نسبت به افق خواهد بود.

۴-۵-۳ بهترین مقطع هیدرولیکی مثلثی

در مقطع مثلثی تنها پارامتر متغیر شیب کناره (z) می‌باشد و در نتیجه :

$$A = zy^۲$$

$$P = ۲\sqrt{۱+z^۲}\,y$$

$$P^۲ = ۴(۱ + z^۲)\,y^۲ = ۴(۱ + z^۲)\,\frac{A}{z}$$

$$\frac{dP^۲}{dz} = ۰ \Rightarrow \left(۱ - \frac{۱}{z^۲}\right) = ۰ \Rightarrow z = +۱$$

لذا بهترین مقطع هیدرولیکی مثلثی زاویهٔ رأس ۹۰° خواهد داشت.

Prozhefa.com

مثال ۴-۱۱

یک کانال با شیب طولی ۱:۲۰۰۰ در مصالحی از جنس رس ساخته می‌شود. اگر قرار باشد این کانال دبی $۶۰ m^3/s$ را منتقل نماید، هزینه نسبی دو مقطع زیر را با یکدیگر مقایسه نمایید:

الف - مقطع مستطیلی با پوششی از بتن $(n = ۰/۰۱۴)$

ب - مقطع ذوزنقه‌ای $(z = ۱/۵)$ و بدون پوشش $(n = ۰/۰۲۵)$

فرض نمایید هزینهٔ پوشش به ازاء هر مترمربع دو برابر هزینهٔ حفاری به ازاء هر مترمکعب باشد.

حل:

اصولاً هر دو مقطع به صورت بهترین مقطع هیدرولیکی انتخاب می‌شوند.

الف - مقطع مستطیلی

$$b = ۲y \Rightarrow A = ۲y^۲$$

$$R = \frac{۲y^۲}{۲y + ۲y} = ۰/۵y$$

$$Q = \frac{۱}{n} S^{۱/۲} R^{۲/۳} A$$

$$۶۰ = \frac{۱}{۰/۰۱۴} \left(\frac{۱}{۲۰۰۰}\right)^{۱/۲} (۰/۵y)^{۲/۳} (۲y^۲)$$

$$y = ۳/۵۷۲ m$$

$$b = ۷/۱۴۴ m$$

در صورتی‌که هزینهٔ حفاری به ازاء هر مترمکعب x فرض شود و محاسبات هزینه در واحد طول کانال انجام شود:

$$\text{هزینه} = (۳/۵۷۲ \times ۷/۱۴۴)\, x + ۱۴/۲۸۸\, (۲x)$$

$$\text{هزینه} = ۵۴/۰۹۶\, x$$

ب - مقطع ذوزنقه‌ای $(z = ۱/۵)$

$$b = ۲y(\sqrt{۱+z^۲} - z) = ۲y(\sqrt{۱ + ۱/۵^۲} - ۱/۵) = ۰/۶۰۶y$$

$$A = (۰/۶۰۶\, y + ۱/۵\, y)y = ۲/۱۰۶y^۲$$

می‌توان نشان داد که در مقاطع مستطیلی، ذوزنقه‌ای و دایروی در وضعیت بهترین مقطع، شعاع هیدرولیکی نصف عمق جریان می‌باشد که این موضوع می‌تواند توسط مطالعه کنندگان تحقیق شود.

$$R = ۰/۵y$$

$$۶۰ = \frac{۱}{۰/۰۲۵} \left(\frac{۱}{۲۰۰۰}\right)^{۱/۲} (۰/۵y)^{۲/۳}\, ۲/۱۰۶\, y^۲$$

Prozhefa.com

$y_0 = ۴٫۳۵۴$ m

$A = ۳۹٫۹۳$ m^۲

هزینه در هر متر طولی کانال $= ۳۹٫۹۳x$

هزینهٔ مقطع ذوزنقه‌ای کمتر و نسبت هزینهٔ دو مقطع ۱٫۳۵۵ می‌باشد. باید در نظر داشت که در یک طرح واقعی مقداری نیز به صورت ارتفاع قائم آزاد (لبهٔ آزاد) به عمق جریان اضافه می‌شود. این عمق را آیین‌نامه‌های طراحی پیشنهاد می‌نمایند.

در پایان لازم به توضیح است که در عمل ممکن است به‌دلیل محدودیت‌های اجرائی، محدودیت در عرض، عدم ارضاء سایر ضوابط هیدرولیکی نظیر سرعتهای حداکثر و حداقل مجاز نتوان بهترین مقطع هیدرولیکی را در یک طرح انتخاب نمود و یا ممکن است که با توجه به توپوگرافی زمین و سایر متغیرهای مؤثر در هزینه بهترین مقطع، اقتصادی‌ترین مقطع نباشد.

۴-۶ مشخصات هیدرولیکی جریان در مقاطع دایروی

یکی از مسایلی که در طرح کانالهای باز و با سقف بستهٔ همگرا مورد توجه است چگونگی تغییرات مشخصات جریان با عمق می‌باشد. از این گونه مقاطع می‌توان مقاطع دایروی و مقاطع مثلثی که رأس آن در بالا و قاعدهٔ آن در کف قرار دارد را نام برد و نظر به این‌که مقطع دایروی در طراحی کانالهای باز و خصوصاً در جمع‌آوری و هدایت فاضلابها مورد استفاده فراوان دارد به خصوصیات این مقطع اشاره می‌شود.

یک کانال دایروی با قطر d_0، شیب طولی S و ضریب مانینگ n در حالت پرقابلیت انتقال دبی Q_0 را تحت سرعت V_0 خواهد داشت:

$$Q_0 = \frac{۱}{n} S^{۱/۲} R_0^{۲/۳} A_0$$

$$V_0 = \frac{۱}{n} S^{۱/۲} R_0^{۲/۳}$$

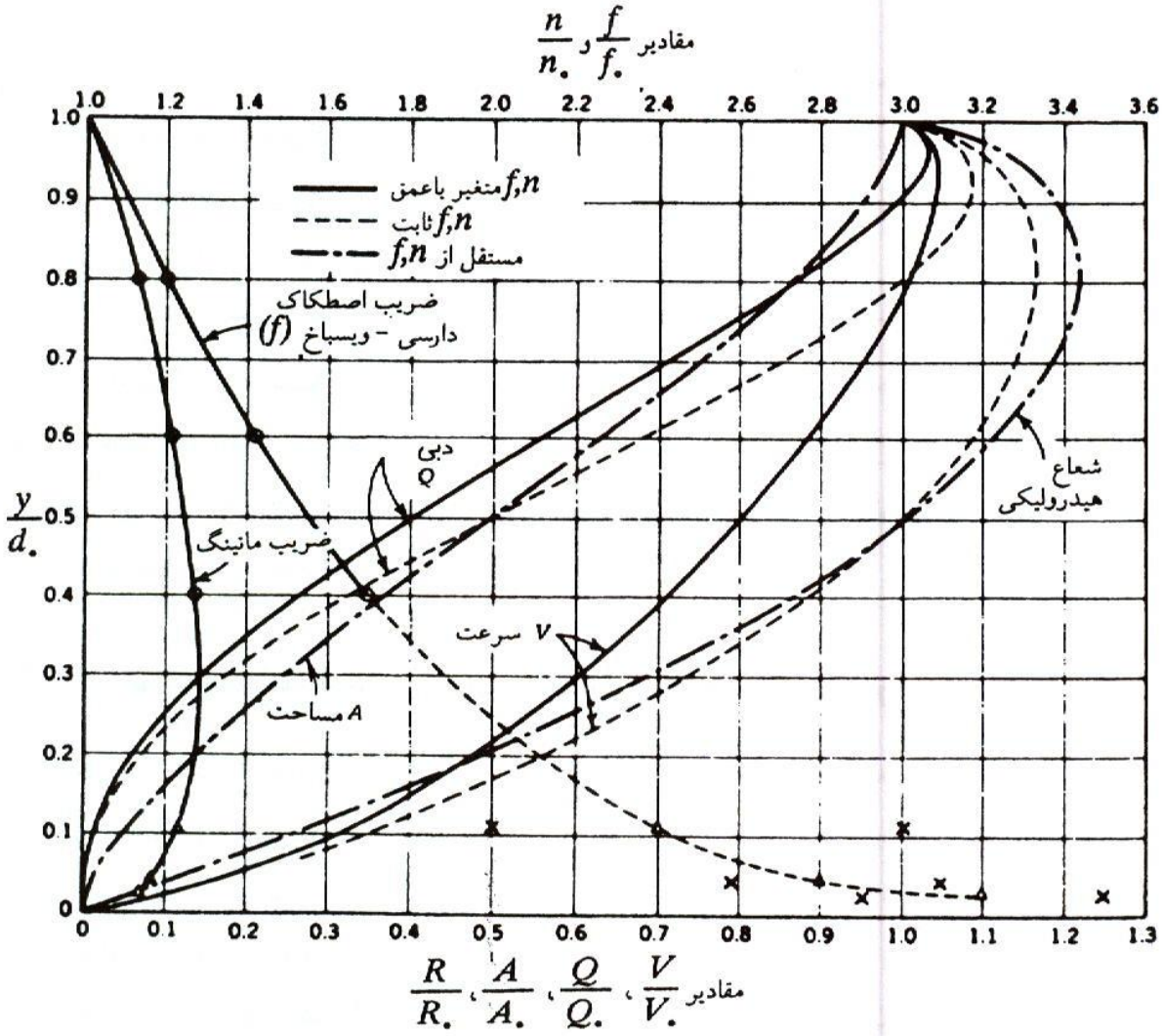
بدیهی است که به ازاء هر دبی دیگر که حالت جریان آزاد در کانال برقرار باشد می‌توان نوشت:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{AR^{۲/۳}}{A_0 R_0^{۲/۳}} \qquad (۴۵-۴)$$

$$\frac{V}{V_0} = \frac{R^{۲/۳}}{R_0^{۲/۳}} \qquad (۴۶-۴)$$

روابط ۴-۴۵ و ۴-۴۶ نشان می‌دهند که $\frac{V}{V_0}$ و $\frac{Q}{Q_0}$ تابعی از $\frac{y}{d_0}$ (یا θ نمایش داده شده در جدول ۱-۱) هستند و این توابع در شکل ۴-۱۴ ترسیم شده‌اند.

Prozhefa.com



شکل ۴-۱۴ مشخصات هندسی مقاطع دایروی

بررسی منحنی‌های شکل ۴-۱۴ نشان می‌دهد:

۱- برای یک کانال با شیب و زبری ثابت (در تمام مقطع) حداکثر سرعت در عمقی برابر $۰/۸۱d_0$ پیش می‌آید.

۲- در یک کانال با شیب و زبری ثابت حداکثر دبی در عمقی برابر $۰/۹۳۸d_0$ انتقال می‌یابد (نه در حالت پر)

۳- برای هر دبی معین در عمق جریان که $y > ۰/۸۲d_0$ است می‌توان دو عمق نرمال یکی بیش از $۰/۹۳۸d_0$ و دیگری کمتر از $۰/۹۳۸d_0$ متصور شد.

۴- برای هر سرعت معین و در عمق‌های $y > ۰/۵\ d_0$ دو عمق، بیشتر و کمتر از $۰/۸۱d_0$ موجود است.

گر چه در شکل ۴-۱۴ مشخص است ولی در استخراج دو ضریب $۰/۸۱d_0$ و $۰/۹۳۸d_0$ می‌توان از

Prozhefa.com

مقادیر $AR^{۲/۳}$ و $R^{۲/۳}$ نسبت به θ مشتق‌گیری نمود:

$$\frac{d(AR^{۲/۳})}{d\theta} = ۰ \Rightarrow \theta = ۳۰۲/۳^{\circ} \Rightarrow \frac{y}{d_{۰}} = ۰/۹۳۸$$

$$\frac{d(R^{۲/۳})}{d\theta} = ۰ \Rightarrow \theta = ۲۵۶/۶^{\circ} \Rightarrow \frac{y}{d_{۰}} = ۰/۸۱$$

عملیات ریاضی لازم در استخراج این ضرایب به عهدهٔ مطالعه کنندگان گذاشته می‌شود. در صورتی‌که به جای رابطهٔ مانینگ از فرمول شزی با ضریب شزی ثابت استفاده شود فقط مقدار ۰/۹۳۸ به ۰/۹۵ تبدیل خواهد شد.

نکتهٔ دیگری که لازم به توضیح می‌باشد این است که با توجه به این‌که ضریب زبری مانینگ از شعاع هیدرولیکی جریان (به تشابه آن با ضریب اصطکاک دارسی - وایسباخ توجه شود) و یا به عبارت دیگر از عمق جریان تأثیر می‌پذیرد، اگر تغییراتی برای n با عمق در نظر گرفته شود در این‌صورت در شکل ۴-۱۴ منحنی‌های ترسیم شده از تغییرات $\frac{n}{n_{۰}}$ تأثیر پذیرفته و تغییر خواهند نمود که در این مورد می‌توان به کتب مرجع در طراحی شبکه‌های فاضلاب مراجعه نمود.

شایان ذکر است که با توجه به بند ۳ ذکر شده در قبل توصیه می‌شود که در یک طرح صحیح، کانال از $۰/۸d_{۰}$ پرتر طرح نشود. در غیر این حالت احتمال ناپایداری در جریان و جهش از یک عمق نرمال به عمق نرمال دیگر تحت تأثیر امواج و یا موانع وجود خواهد داشت.

منحنی‌های ترسیم شده در شکل ۴-۱۴ می‌توانند در محاسبات هیدرولیکی کانالهای دایروی استفاده شوند که چگونگی استفاده در مثال ۴-۱۲ تشریح می‌شود.

مثال ۴-۱۲

یک کانال فاضلاب با مقطع دایروی با توجه به ضوابط حداقل و حداکثر پوشش مجاز روی لوله و نیز سرعتهای مجاز در پایان دوران طرح آن، با قطر ۴۵۰mm و شیب ۰/۰۰۳۲ طرح شده است ($n = ۰/۰۱۵$).

الف - بررسی نمایید که اگر حداکثر دبی لحظه‌ای در شروع بهره‌برداری $۰/۰۶۳m^{۳}/s$ باشد و در نظر باشد که این دبی، حداقل یک بار در شبانه‌روز سرعت شستشوی لازم در ابتدای بهره‌برداری (۰/۷۵m/s) را تأمین نماید، آیا طرح مناسب می‌باشد؟

ب - سرعت در دبی $۰/۱۳m^{۳}/s$ را نیز تعیین نمایید.

حل:

الف:

$$Q_{۰} = \frac{۱}{n} S^{۱/۲} R_{۰}^{۲/۳} A_{۰}$$

Prozhefa.com

$$Q_\circ = \frac{۱}{۰/۰۱۵}(۰/۰۰۳۲)^{۱/۲}\left(\frac{۰/۴۵}{۴}\right)^{۲/۳}\pi\frac{۰/۴۵^۲}{۴} = ۰/۱۴ \text{m}^۳/\text{s}$$

$$V_\circ = \frac{Q_\circ}{A_\circ} = ۰/۸۸ \text{ m/s}$$

$$\begin{cases} \frac{Q}{Q_\circ} = \frac{۰/۰۶۳۲}{۰/۱۴} = ۰/۴۵ \xrightarrow{\text{شکل ۴-۱۴}} \frac{y}{d_\circ} = ۰/۴۷ \\ \frac{y}{d_\circ} = ۰/۴۷ \longrightarrow \frac{V}{V_\circ}\ ۰/۹۶ \longrightarrow V = ۰/۸۴ > ۰/۷۵ \text{ m/s} \end{cases}$$

پس سرعت شستشوی لازم تأمین می‌شود.

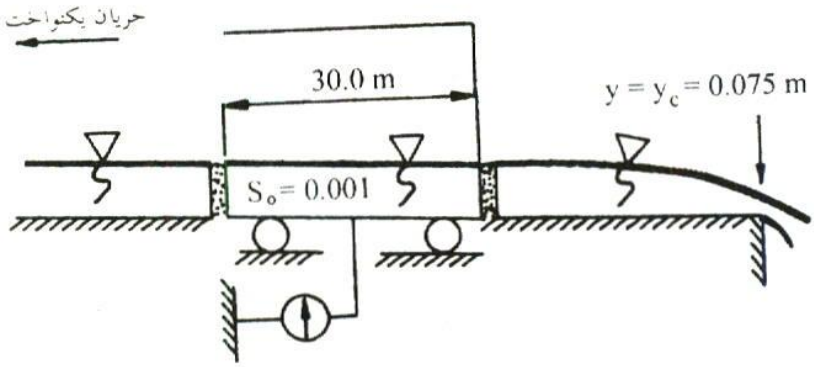
ب:

$$\begin{cases} \frac{Q}{Q_\circ} = \frac{۰/۱۳}{۰/۱۴} = ۰/۹۲۸ \xrightarrow{\text{شکل ۴-۱۴}} \frac{y}{d_\circ} = ۰/۷۶ \\ \frac{y}{d_\circ} = ۰/۷۶ \xrightarrow{\text{شکل ۴-۱۴}} \frac{V}{V_\circ} = ۱/۱۶ \longrightarrow V = ۱/۰۲۱ \text{ m/s} \end{cases}$$

Prozhefa.com

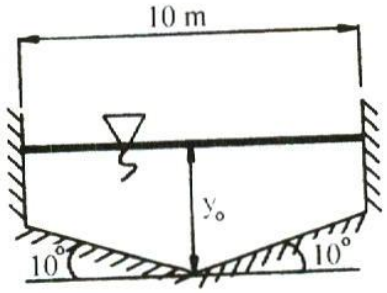
مسایل

۱-۴ کانال مستطیلی نشان داده شده در شکل، به عرض ۱٫۰m در آزمایشگاه به منظور مطالعه بر روی جریان در کانالها به کار می‌رود. این کانال دارای یک قسمت متحرک به طول ۳۰٫۰m می‌باشد که بر روی غلطکهای بدون اصطکاک قرار گرفته است و حد فاصل این قسمت با بخشهای دیگر با مصالح کاملاً منعطف پر شده است که نیرویی را منتقل نمی‌کند. هنگامی که جریان دائمی در کانال برقرار باشد، نیروسنج، نیروی برشی کف را معادل ۷۵ N نشان می‌دهد. ضریب زبری مانینگ را در این کانال محاسبه نمایید.



فرض کنید جریان در محل شیب‌شکن دارای عمق بحرانی می‌باشد.

۲-۴ کانال با پوشش آسفالت ($n = ۰٫۰۱۶$) دارای شیب طولی ۰٫۰۰۱۷ می‌باشد و دبی ۵۰ m^3/s را انتقال می‌دهد. عمق نرمال را محاسبه نمایید.



۳-۴ یک کانال مثلثی دارای زاویهٔ رأس ۶۰° می‌باشد و دبی ۰٫۲۸۳ m^3/s را با شیب ۰٫۰۰۰۴ و ضریب زبری مانینگ ۰٫۰۱۴۹ منتقل می‌کند موارد زیر را محاسبه نمایید: الف) عمق نرمال جریان؛ ب) عمق بحرانی. بررسی نمایید که آیا شیب تند و یا ملایم می‌باشد.

۴-۴ نشان دهید که در یک کانال مستطیلی عریض ملایم یا تند بودن نوع شیب بستگی به این دارد که دبی

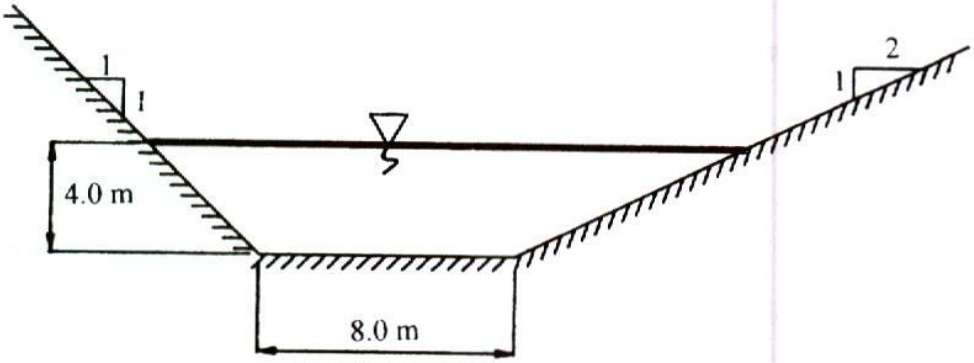
Prozhefa.com

در واحد عرض کمتر یا بیشتر از مقدار $\left(\frac{۳٫۵۵۶n}{\sqrt{S_۰}}\right)^{۹}$ باشد. رابطه در سیستم آحاد SI بیان شده است.

۵-۴ درنظر است که یک کانال جمع‌آوری فاضلاب بتنی ($n = ۰٫۰۱۵$) دبی $۲٫۰\text{m}^۳/\text{s}$ را در عمقی معادل ۰٫۹ قطر ($۰٫۹d_۰$) منتقل کند. اگر شیب طولی کانال ۰٫۰۰۰۲ باشد قطر کانال را محاسبه نمایید.

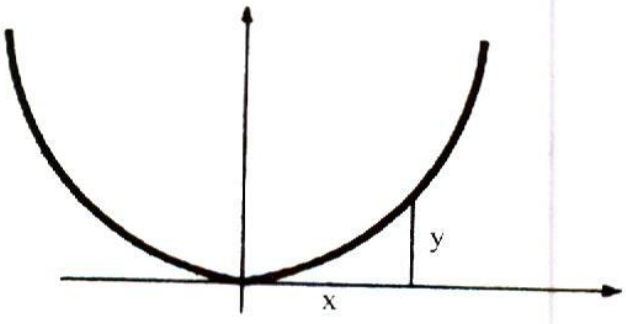
۶-۴ در نظر است که یک کانال ذوزنقه‌ای در یک مسیر آبرفتی طراحی گردد و دبی $۳۵٫۴\text{m}^۳/\text{s}$ را به‌صورت یکنواخت منتقل نماید. اگر عرض کف ۹٫۰۰m و شیب کناره‌های کانال ۱ (افقی): (قائم)۲ انتخاب گردد و به دلیل فرسایش احتمالی قرار باشد که سرعت ما کزیمم از ۱٫۵m/s تجاوز نکند حداکثر شیب مجاز کانال را پیشنهاد نمایید و تنش برشی کف را نیز در این حالت محاسبه نمایید. منحنی دانه‌بندی مصالح کف نشان می‌دهد که $d_{۵۰}$ مصالح برابر ۴۰mm می‌باشد.

۷-۴ اگر مقطع یک کانال ذوزنقه‌ای به صورت نمایش داده در شکل باشد و کانال شیب طولی ۰٫۰۰۱ را دارا باشد، با فرض $n = ۰٫۰۲۵$ سرعت و وضعیت جریان را تعیین نمایید همچنین تعیین کنید شیب طولی و حداقل انرژی مخصوص را در صورتی‌که بخواهیم با همان دبی سابق، جریان بحرانی در کانال برقرار باشد.



۸-۴ با درنظرگرفتن اطلاعات مسأله ۹ از فصل دوّم و با فرض این که $n = ۰٫۰۱۵$ و شیب طولی کانال ۰٫۰۰۷ باشد عمق نرمال جریان را محاسبه نمایید.

۹-۴ شکل نمایش داده شده کانالی با مقطع سهمی می‌باشد ($y = ۱٫۰\text{m}$ و $x = ۱٫۰\text{m}$) در صورتی‌که $n = ۰٫۰۱۵$ و $S_۰ = ۰٫۰۲$ فرض شوند. عمق نرمال و عمق بحرانی را به ازاء دبی $۲\text{m}^۳/\text{s}$ محاسبه نمایید.



Prozhefa.com

۴-۱۰ نشان دهید که شیب بحرانی نرمال (S_{cn}) در یک عمق نرمال مشخص ($y_\circ$) از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید. در این رابطه $D_\circ$ عمق هیدرولیکی می‌باشد.

$$S_{cn} = \frac{gn^2 D_\circ}{R_\circ^{4/3}}$$

همچنین نشان دهید که رابطهٔ فوق در مورد کانالهای مستطیلی عریض و کانالهای مثلثی با زاویهٔ رأس ۶۰° به ترتیب به روابط زیر تبدیل می‌شود.

$$S_{cn} = \frac{gn^2}{y_\circ^{1/3}}$$

$$S_{cn} = 3/2 \frac{gn^2}{y_\circ^{1/3}}$$

۴-۱۱ یک کانال ذوزنقه‌ای با عرض کف ۳/۰m، شیب طولی ۰/۰۰۵ و با شیب کناره‌ها به مشخصهٔ $z = 1/5$ دارای بستر شنی ($n = 0/025$) و جوانب بتنی ($n = 0/013$) می‌باشد. در صورتی که عمق نرمال در این کانال ۱/۵m باشد، دبی جریان را محاسبه نمایید. در محاسبهٔ زبری معادل از روشهای مختلف استفاده نمایید.

۴-۱۲ مقطع رودخانه‌ای مطابق شکل نمایش داده شده می‌باشد. مقدار جریان آب در مواقع عادی برابر ۲۰۰m^3/s و در مواقع طغیان رودخانه بیش از ۱۲۰۰m^3/s می‌باشد. تعیین کنید:

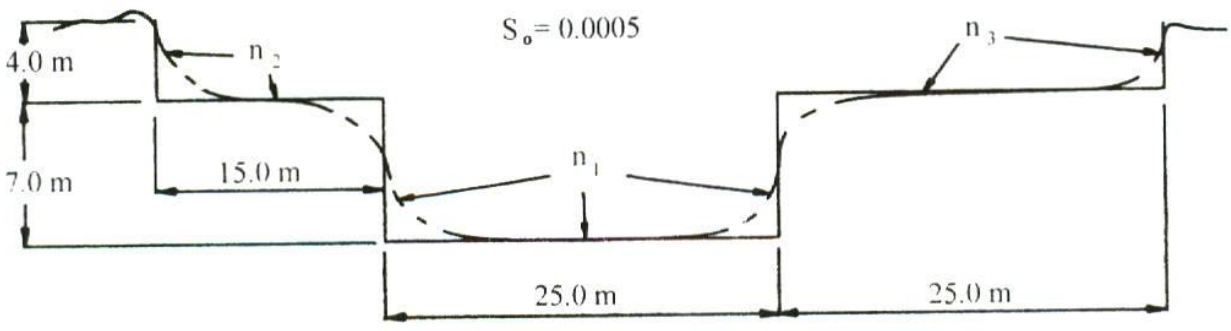
الف: عمق آب در مواقع عادی

ب: حداکثر جریان آب که از کانال اصلی می‌گذرد و سرعت آن

ج: حداکثر جریان آب که از بستر اصلی و بستر کناری می‌گذرد و سرعت در هر یک از آنها و سرعت متوسط جریان

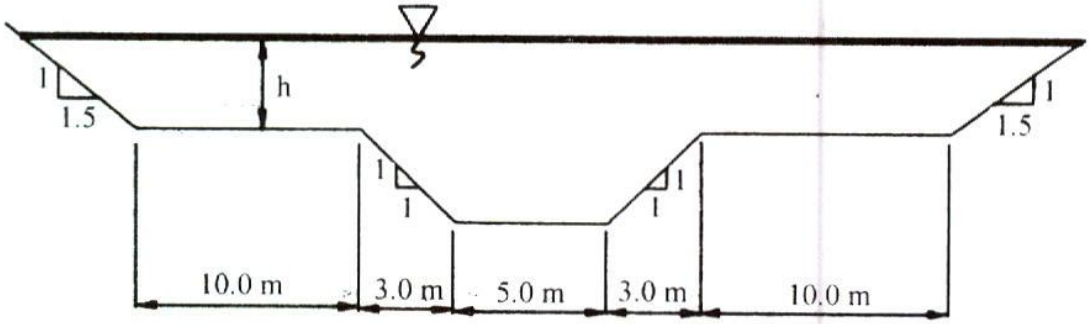
آیا این رودخانه در موقع طغیان اضافه بر لبریز شدن به بسترهای سیلابی به مناطق اطراف نیز لبریز خواهد شد؟

$n_1 = 0/028$ $n_2 = 0/036$ $n_3 = 0/042$ $S_\circ = 0/0005$



Prozhefa.com

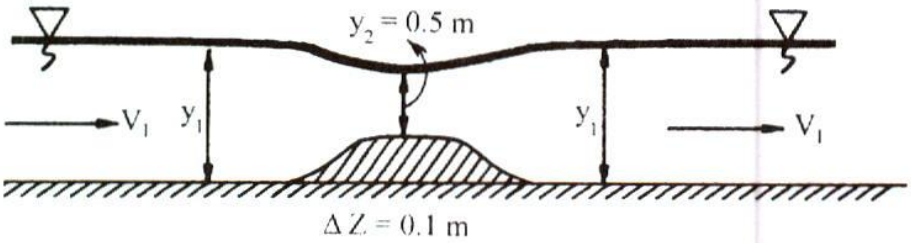
۴-۱۳ برای مقطع مرکب نشان داده شده در شکل دبی جریان را در دو حالت $h = ۱٫۰\text{m}$ و $h = ۰٫۲\text{m}$ محاسبه نمایید. برای تمام قسمتها $n = ۰٫۰۲$ و شیب طولی ۰٫۰۰۰۹ می‌باشد.



۴-۱۴ با درنظر گرفتن کلیه اطلاعات، مسألهٔ ۶ را به نحوی حل نمایید که عرض کف کانال و عمق جریان بر مبنای بهترین مقطع هیدرولیکی انتخاب شوند.

۴-۱۵ دبی جریان در یک کانال ذوزنقه‌ای به عرض کف ۳٫۰۰m و شیب کناره‌های (افقی) ۳: (قائم) ۱ برابر $۴٫۳\text{m}^3/\text{s}$ می‌باشد. اگر شیب کانال ۰٫۰۰۰۸ و $n = ۰٫۰۱۶$ باشد. عمق نرمال در این کانال را پیدا نمایید. با حفظ شیب سه به یک برای کناره‌ها به چه نحو می‌توان کانالِ با صرفه‌تری ساخت. مقدار صرفه‌جوئی در خاکبرداری و پوشش کانال در هر کیلومتر چقدر است؟

۴-۱۶ جریان یکنواخت در یک کانال مستطیلی عریض ($n = ۰٫۰۱۵$) با شیب ۰٫۰۲ تحت عمق y_1 و سرعت V_1 برقرار است. در مسیر جریان یک برآمدگی هموار کوتاه به ارتفاع ۰٫۱m تعبیه شده است. اگر تصویر جریان دقیقاً مطابق شکل باشد، سرعت و عمق جریان را به‌دست آورید. مقدار نیروی مخصوص در نقاطی به فاصلهٔ ۵۰۰m از محل برآمدگی چقدر خواهد بود؟



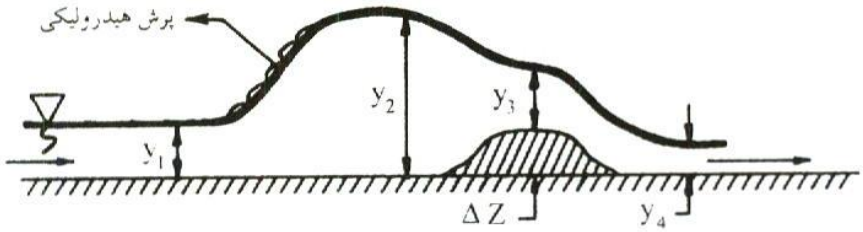
۴-۱۷ جریان یکنواخت در یک کانال مستطیلی عریض، در رسیدن به مانعی به ارتفاع ΔZ جریانی مطابق شکل ایجاد نموده است (پرش تقریباً قبل از مانع ایجاد شده است).

الف: اگر عمق نرمال (y_1) برابر ۰٫۱۶۵m باشد. اعماق y_2 و y_3 و y_4 و ارتفاع ΔZ را به‌دست آورید.

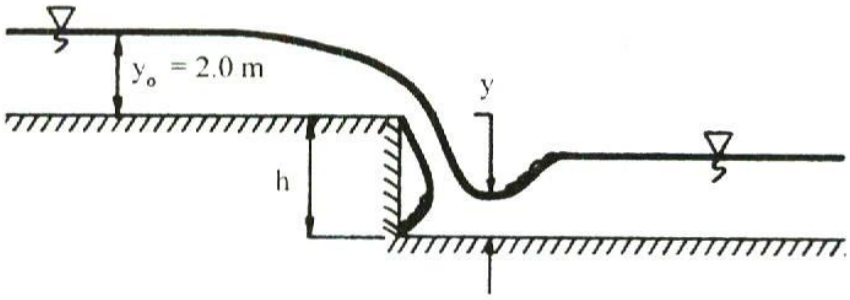
Prozhefa.com

ب : افت انرژی در طول پرش را به دست آورید.

شیب طولی کانال ۰٫۰۲۴۱۷ و ضریب زبری مانینگ ۰٫۰۱۵ می‌باشند.



۴-۱۸ مطابق شکل در یک محل از کانال مستطیلی به شیب طولی ۰٫۰۰۱ به منظور کاهش شیب از یک شیب‌شکن قائم استفاده شده است. مشخصات کانال در پایین‌دست و بالادست شیب‌شکن یکسان و دبی جریان در واحد عرض برابر $2m^3/s$ می‌باشد. ارتفاع h را به نحوی تعیین نمایید که بلافاصله پس از ورود آب به کانال پایین‌دست پرش هیدرولیکی شروع شود. از افت انرژی موضعی صرفنظر نموده و عمق جریان در رأس شیب‌شکن را عمق بحرانی در نظر بگیرید. این فرض در فصل پنجم مورد بررسی قرار می‌گیرد.



۴-۱۹ در مقطع نشان داده شده در مسأله ۷ و به ازاء $n = 0.025$، $S = 0.001$ و دبی $15m^3/s$ عمق نرمال را با استفاده از برنامهٔ کامپیوتری ارائه شده در انتهای فصل تعیین نمایید.

Prozhefa.com

برنامه کامپیوتری در محاسبهٔ عمق نرمال به روش نیوتن - رافسون

```
C*****************************************************************
C*    Computation of Normal Depth in a Trapezoidal Channel with  *
C*    different Side Slopes using Newton-Raphson Method          *
C*****************************************************************
      OPEN(UNIT=5, FILE= 'NORMAL.DAT')
      OPEN(UNIT=6, FILE= 'NORMAL.OUT')
C
C
C
      READ (5,*)Q,B,Z1,Z2,CMAN,S,TOLER,ITMAX
      WRITE(6,6)
6     FORMAT(5X,'NEWTON-RAPHSON  METHOD FOR NORMAL DEPTH'/)
      WRITE(6,20)Q,B,Z1,Z2,CMAN,S,TOLER,ITMAX
20    FORMAT(3X,'DISCHARGE=',F8.2,'M3/S'/3X,'BOTTOM  WIDTH=',F5.2,
     1'M'/3X,'SIDE SLOPE 1=',F4.2/3X,'SIDE SLOPE 2=',F4.2/3X,
     2'MANNING ROUGHNESS COEFFICIENT='
     3,F7.5/3X,'CHANNEL LONGITUDINAL SLOPE=',F9.7/3X,
     4'TOLERANCE IN TERMS OF DEPTH=',F8.6,'M'/3X,
     5'MAXIMUM NUMBERR OF ITERATIONS=',I5/)
      CONS=(Q*CMAN)/(SQRT(S))
      DPDY=SQRT(1+Z1*Z1)+SQRT(1+Z2*Z2)
      YI=((Q/B)*CMAN/(SQRT(S)))**0.6
      K=0
30    K=K+1
      IF(K.GT.ITMAX) GO TO 80
      T=B+(Z1+Z2)*YI
      A=0.5*(T+B)*YI
      P=B+(SQRT(1+Z1**2)+SQRT(1+Z2**2))*YI
      R=(A/P)
      F=A*(R**0.6667)-CONS
      DFDY=(1.6667*T*(R**0.6667))-(0.6667*(R**1.6667)*DPDY)
      DY=(-F)/DFDY
      YI=YI+DY
      IF(ABS(DY).LE.TOLER)GO TO 60
      GO TO 30
60    WRITE(6,70)K,YI
70    FORMAT(3X,'METHOD CONVERGED AFTER ITERATION=',I5//3X,
     +'NORMAL DEPTH=',F9.6,'M')
      GO TO 90
80    WRITE(6,85)
```

Prozhefa.com


```
 85   FORMAT(10X,'ITERATIONS FAILED')
 90   STOP
      END

*******************INPUT FILE*****************************************

20 5 1.5 1.5 0.015 0.00035 0.00001 50
**********************************************************************

*******************OUTPUT FILE*****************************************

    NEWTON-RAPHSON METHOD FOR NORMAL DEPTH

  DISCHARGE=   20.00M3/S
  BOTTOM WIDTH= 5.00M
  SIDE SLOPE 1=1.50
  SIDE SLOPE 2=1.50
  MANNING ROUGHNESS COEFFICIENT=0.01500
  CHANNEL LONGITUDINAL SLOPE=0.0003500
  TOLERANCE IN TERMS OF DEPTH=0.000010M
  MAXIMUM NUMBERR OF ITERATIONS=   50

  METHOD CONVERGED AFTER ITERATION=    4

  NORMAL DEPTH= 1.820054M
```

Prozhefa.com

فصل ۵

تئوری جریان متغیر تدریجی (دائمی) در کانالهای باز

سید محمود حسینی - جلیل ابریشمی

مقدمه

در فصل چهارم مشخصات و محاسبات جریان یکنواخت شرح داده شد و مبانی طراحی کانالهای باز براساس جریان یکنواخت بیان گردید. فصول پنجم و ششم به تشریح چگونگی پیدایش، مشخصات و محاسبات جریانهای متغیر تدریجی می‌پردازند. باتوجه به این‌که سطح آب در جریانهای متغیر تدریجی دارای انحناء می‌باشد، بررسی چگونگی تغییرات منحنی‌های سطح آب (که به نیمرخهای سطح آب موسومند) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا در فصل پنجم انواع نیمرخهای سطح آب، مشخصات نیمرخها و نحوهٔ شکل‌گیری آنها به صورت تئوری تشریح کیفی خواهند شد. بررسی تغییرات کمی عمق و سرعت در جریانهای متغیر تدریجی، که از مواجهه جریانهای یکنواخت با عواملی چون سرریزها، دریچه‌ها، پلها و... به‌وجود می‌آیند، موضوع فصل ششم می‌باشد.

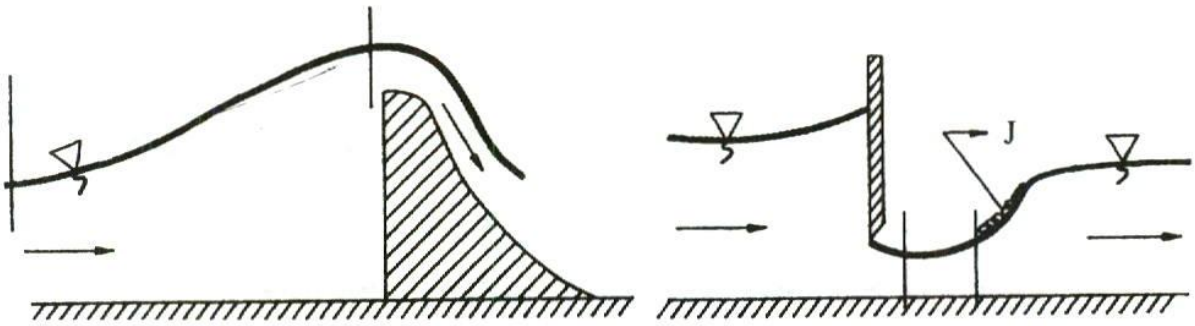
۵-۱ شکل‌گیری جریان متغیر تدریجی

در بخش ۱-۳، جریان متغیر تدریجی، که در آن انحناء جریان کوچک بوده و تغییرات عمق در فاصلهٔ طولانی از مسیر جریان صورت می‌گیرد، تعریف گردید. ملاحظهٔ مجدد شکل ۱-۴ نشان می‌دهد که در حقیقت این جریان متغیر تدریجی (جریان شتابدار) است که پس از طی مسافتی در یک کانال طولانی تبدیل به جریان یکنواخت می‌شود (جریان در نواحی ۳ و ۶) و یا بالعکس می‌توان گفت که جریان یکنواخت در صورت مواجهه با یک مکانیسم شتاب دهنده نظیر شیب‌شکن، تغییر شیب و... تبدیل به جریان متغیر تدریجی می‌گردد (جریان در نواحی ۴ و ۷). این نکته نیز نباید از نظر دور بماند که هرگونه

Prozhefa.com

تبدیل جریان یکنواخت به جریان متغیّر تدریجی و یا تبدیل جریان متغیر تدریجی به جریان یکنواخت ممکن است از یک جریان با انحنای شدید (جریان متغیّر سریع) نیز عبور نماید (؟). در این فصل تنها به جریانهای متغیّر تدریجی اشاره می‌گردد و در محاسبات مربوطه نیز طولهای کوتاهی که جریان در آنها از نوع جریان متغیر سریع است در نظر گرفته نمی‌شوند. این طولها نسبت به مسافتهای طولانی، که جریان در آنها متغیّر تدریجی است، قابل صرفنظر کردن می‌باشند. جریانهای متغیر سریع که در مواردی نظیر اندازه گیری جریان از روی سرریزهای لبه تیز اهمیت می‌یابد و پرش هیدرولیکی که خود یک نوع جریان متغیر سریع است در فصول آینده مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

در شکل ۵-۱ شکل‌گیری جریان متغیر تدریجی قبل از یک بند (مانع) و نیز شکل‌گیری جریانهای متغیر تدریجی قبل و پس از یک دریچه کشویی نشان داده شده‌اند.



شکل ۵-۱ شکل‌گیری جریان متغیر تدریجی

در جریانهای متغیر تدریجی، که مشخصات آنها را در یک فاصلهٔ کوتاه dx از مسیر می‌توان در شکل ۵-۲ ملاحظه نمود، به ازاء یک دبی ثابت در کانال عمق و سرعت در امتداد طولی جریان تغییر می‌کند و لذا:

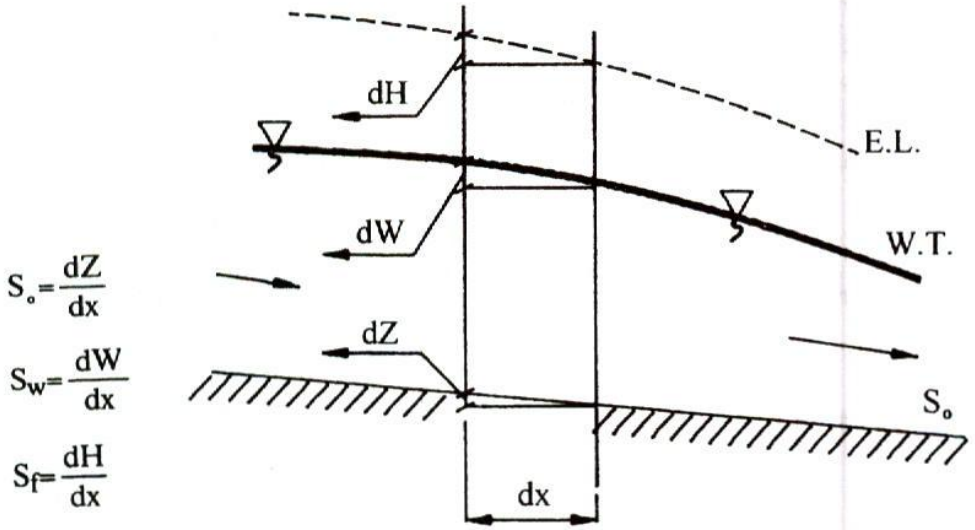
$$\frac{dQ}{dx} = ۰ \qquad \frac{dV}{dx} \neq ۰ \qquad \frac{dy}{dx} \neq ۰$$

از طرفی باتوجه به دائمی بودن جریان، تغییر مشخصات در هر مقطع نسبت به زمان صفر می‌باشد شایان ذکر است که در این نوع جریان، از آن‌جاکه سرعت و عمق در امتداد طولی جریان تغییر می‌کنند شیب طولی کانال ($S_۰$)، شیب سطح آب (S_w) و شیب خط انرژی (S_f) با یکدیگر مساوی نخواهد بود:

$$S_۰ \neq S_f \neq S_w$$

باتوجه به تغییرات y نسبت به x، چنانچه عمق در امتداد طولی جریان افزایش یابد ($\frac{dy}{dx} > ۰$ یا $y_۲ > y_۱$) منحنی تغییرات عمق منحنی فرا آب نامیده شده و چنانچه عمق در امتداد جریان کاهش یابد ($\frac{dy}{dx} < ۰$ یا $y_۲ < y_۱$)، منحنی تغییرات سطح آب از نوع فرو آب خواهد بود.

Prozhefa.com



شکل ۵-۲

۵-۲ تئوری جریانهای متغیر تدریجی

در این قسمت ابتدا به ازاء جاری شدن یک دبی ثابت در کانال، نحوهٔ تغییرات عمق جریان بررسی شده، انواع نیمرخهای طولی سطح آب معرفی خواهند شد. سپس قانونمندی حاکم بر تغییرات عمق، که از نظر ریاضی به صورت یک معادلهٔ دیفرانسیل ظاهر می‌گردد، و نیز ترکیب نیمرخهای سطح آب و نحوهٔ تشخیص و ترسیم آنها ارائه می‌گردند.

۵-۲-۱ طبقه‌بندی نیمرخهای طولی سطح آب

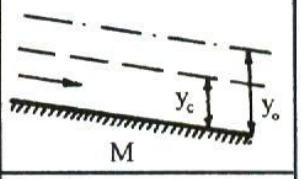
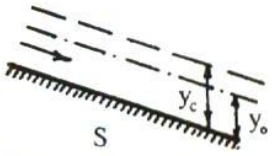
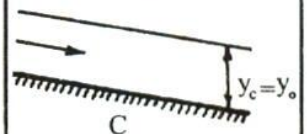
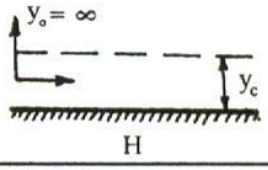
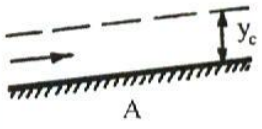
(Classification Of Water Surface profiles)

برای طبقه‌بندی نیمرخهای سطح آب عموماً از دو علامت اختصاری که یکی معرف نوع شیب کانال بوده و با یکی از حروف M ، S ، C ، H و A مشخص می‌شود و دیگری که معرف ناحیهٔ جریان است و به صورت یکی از اعداد ۱، ۲، و یا ۳ در سمت راست حروف فوق‌الذکر قرار می‌گیرد، استفاده می‌گردد. به‌عنوان مثال نیمرخ نوع $M2$ بیانگر آن است که جریان در یک شیب ملایم (Mild) برقرار بوده، تغییرات عمق در ناحیهٔ ۲ صورت می‌گیرد.

جدول ۵-۱، انواع شیب‌های ممکن در یک کانال منشوری را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که براین اساس تعیین نوع شیب در یک کانال منشوری به سادگی صورت می‌گیرد. برای این منظور ابتدا به‌ازاء دبی، شیب، مشخصات هندسی و زبری بستر کانال، عمق نرمال مربوطه از رابطهٔ مانینگ محاسبه می‌شود. سپس باتوجه به مشخص بودن دبی و مشخصات هندسی مقطع، عمق بحرانی نیز تعیین و از مقایسهٔ این دو عمق،

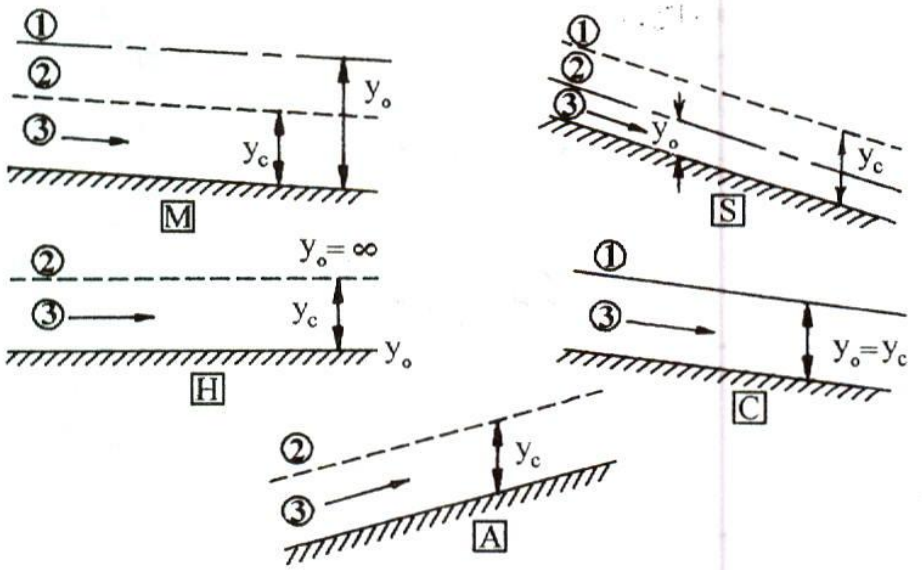
Prozhefa.com

جدول ۵-۱ انواع شیب‌های ممکن در یک کانال منشوری و مشخصات آنها

نوع شیب	علامت اختصاری	$y_0 > = < y_c$	$S_0 > = < S_c$	نمایش شیب
ملایم (Mild)	M	$y_0 > y_c$	$S_0 < S_c$	
تند (Steep)	S	$y_0 < y_c$	$S_0 > S_c$	
بحرانی (Critical)	C	$y_0 = y_c$	$S_0 > S_c$	
افقی (Horizontal)	H	$y_0 \to \infty$	$S_0 = 0$	
معکوس (Adverse)	A	$y_0 \to$ وجود ندارد	$S_0 < 0$	

نوع شیب معین می‌گردد. همچنین می‌توان از مقایسهٔ شیب طولی کانال (S_0) با شیب بحرانی (S_c) که راه دیگر قضاوت در مورد نوع شیب می‌باشد نیز استفاده نمود (در این مورد به فصل چهارم مراجعه شود). همان‌گونه که مشخص است در کانالهای افقی، تغییرات ارتفاع کف کانال صفر بوده ($\frac{dZ}{dx} = 0$) در حالی که در کانالهای با شیب معکوس، ارتفاع کف کانال در امتداد جریان افزایش می‌یابد ($\frac{dZ}{dx} > 0$). علیرغم آن که مقدار $\frac{dZ}{dx}$ در کانالهای با شیب معکوس مثبت است ولی از نظر قراردادی چنین کانالهایی، کانالهای با شیب منفی ($S_0 < 0$) نامیده می‌شوند، که در مود علت و چگونگی این نامگذاری در بخش ۵-۲-۲ صحبت خواهد شد. لازم به ذکر است که از نقطه نظر عملی و طراحی، کانالهای معکوس و افقی نمی‌توانند دارای طول زیاد باشند. در حالت کلی، هر نوع شیب می‌تواند دارای سه ناحیهٔ جریان مطابق شکل ۵-۳ باشد که از مقایسهٔ عمق جریان در مقطع مورد مطالعه و اعماق نرمال و بحرانی می‌توان ناحیه جریان یعنی ناحیه‌ای که در آن تغییرات عمق صورت می‌گیرد را تعیین نمود.

Prozhefa.com

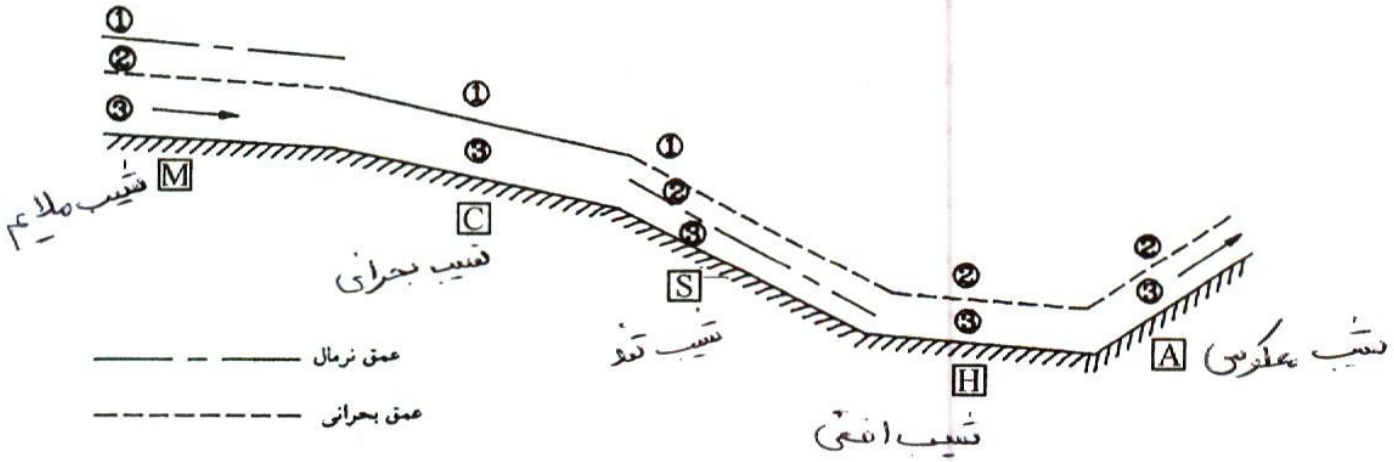


شکل ۵-۳ نواحی جریان در شیب‌های مختلف

به‌عنوان مثال اگر در یک شیب ملایم، تغییرات عمق در محدوده بالاتر از عمق نرمال صورت گیرد ناحیهٔ جریان، ناحیهٔ ۱، و چنانچه در حد فاصل بین عمق نرمال و عمق بحرانی اتفاق افتد، ناحیهٔ ۲، و در صورتی‌که در محدودهٔ پایین‌تر از عمق بحرانی صورت پذیرد، ناحیهٔ ۳، نامیده می‌شود.

باتوجه به این توضیحات می‌توان نتیجه گیری نمود که براساس قرارداد، در شیبهای ملایم (M)، تند (S) و بحرانی (C) نیمرخهای $M1$ ، $M2$ ، $M3$ ، $S1$ ، $S2$ ، $S3$ ، $C1$ و $C3$ تشکیل می‌گردند در صورتی‌که به جهت عدم امکان شکل‌گیری جریان یکنواخت در کانالهای با شیب افقی ($y_o \to \infty$) و شیب معکوس، در این شیبها فقط نیمرخهای نوع $H2$ ، $H3$ ، $A2$ و $A3$ وجود خواهند داشت.

شکل ۵-۴ انواع شیبها و نواحی جریان را در شناسایی نیمرخهای مختلف سطح آب نشان می‌دهد که



شکل ۵-۴

Prozhefa.com

براساس آن می‌توان چگونگی نامگذاری نیمرخهای ۱۲گانه سطح آب را در کانالهای منشوری در ذهن مجسم نمود. بدیهی است به ازاء یک دبی ثابت، عمق بحرانی در کانالهای متوالی (و با شیب‌های مختلف)، مقداری یکسان دارد.

مثال ۵-۱

آب با دبی $۱۱٫۲۷ m^3/s$ در یک کانال مستطیلی به عرض $۶٫۱ m$ و شیب طولی ۰٫۰۰۱ جریان دارد ($n = ۰٫۰۱۷$):

الف - نوع شیب کانال را مشخص نمایید.

ب - بندی در مسیر این کانال ساخته شده است که عمق آب را به $۴٫۵۷ m$ می‌رساند. ناحیهٔ جریان را شناسایی و نوع نیمرخ سطح آب شکل گرفته در این ناحیه را مشخص نمایید.

حل:

الف: ابتدا عمق نرمال و عمق بحرانی در این کانال مشخص می‌گردند. این محاسبات می‌توانند با مراجعه به بخشهای ۴-۴ و ۲-۷ به سهولت انجام پذیرند که در این جا به منظور جلوگیری از طولانی شدن مطلب فقط به ذکر نتایج اکتفا می‌شود:

$$Q = \frac{۱}{n} S_۰^{۱/۲} R^{۲/۳} A$$

$$۱۱٫۲۷ = \frac{۱}{۰٫۰۱۷} (۰٫۰۰۱)^{۱/۲} \left(\frac{۶٫۱}{۶٫۱ + ۲y_۰}\right)^{۲/۳} (۶٫۱y_۰) \rightarrow y_۰ = ۱٫۱۳ m$$

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{۱۱٫۲۷}{۶٫۱} = ۱٫۸۴۸$$

$$y_c = \left(\frac{q^۲}{g}\right)^{۱/۳} = \left(\frac{۱٫۸۴۸^۲}{۹٫۸۱}\right)^{۱/۳} = ۰٫۷ m$$

با توجه به این‌که $y_۰ > y_c$ است پس شیب کانال شیب ملایم (M) می‌باشد.

ب: از آن‌جا که ناحیهٔ جریان در منطقه‌ای با عمق $۴٫۵۷ m$ می‌باشد و در این ناحیه $y_c < y_۰ < y = ۴٫۵۷$ است، جریان در ناحیهٔ یک اتفاق افتاده و لذا نیمرخ نوع $M۱$ در رسیدن به بند شکل گرفته است. شکل ۵-۱ الف می‌تواند بیانگر این مثال باشد.

Prozhefa.com

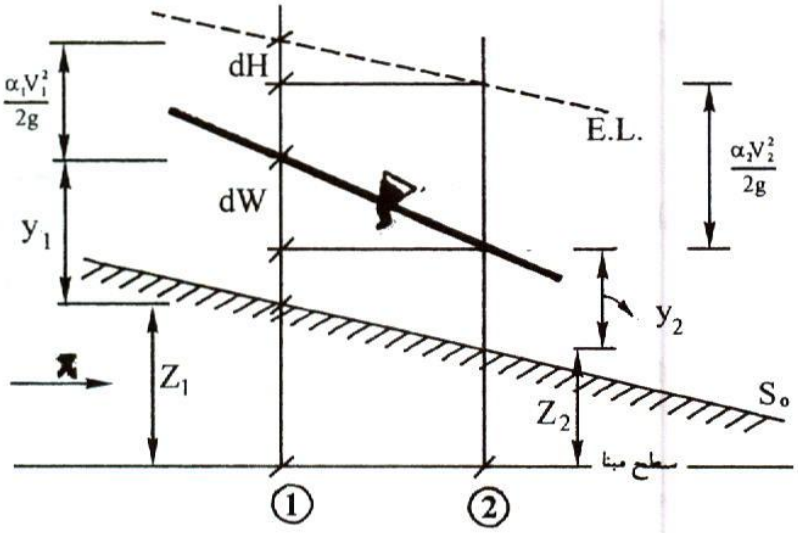
۵-۲-۲ معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیر تدریجی

برای به‌دست آوردن معادلهٔ حاکم بر این جریانها دو فرض اساسی و عام صورت می‌گیرد:

۱- توزیع فشار از قانون توزیع هیدرواستاتیکی فشار تبعیت می‌کند.

۲- شیب کانال کم می‌باشد ($\theta < ۶^\circ$). اشاره می‌شود که استخراج معادلهٔ حاکمه در کانالهای با شیب زیاد ($\theta > ۶^\circ$) نظیر تندآبراهها، با کمی تغییر نسبت به فرض دوم صورت می‌گیرد که به عنوان تمرین به عهدهٔ مطالعه کنندگان گذاشته می‌شود. فرض کم بودن شیب کانال دقت و اعتبار مباحث انجام شده تا پایان این بخش راکاهش نمی‌دهد.

شکل ۵-۵ تصویر یک جریان متغیر تدریجی بین دو مقطع ۱ و ۲ در یک کانال با شیب مثبت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۵ مشخصات جریان متغیر تدریجی

براساس فرضیات انجام شده، انرژی کل در هر مقطع از جریان طبق رابطهٔ زیر نوشته می‌شود:

$$H = y + Z + \frac{\alpha V^2}{2g} = y + Z + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \qquad (۱-۵)$$

که با مشتق‌گیری از این معادله نسبت به مکان، خواهیم داشت:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{dZ}{dx} - \frac{\alpha Q^2}{gA^3}\left(\frac{dA}{dy}\right)\left(\frac{dy}{dx}\right) \qquad (۲-۵)$$

باتوجه به این‌که عبارت $\frac{dA}{dy}$ معادل عرض سطح آزاد آب و مقدار $\frac{\alpha Q^2 T}{gA^3}$ برابر Fr^2، می‌باشند، رابطهٔ ۵-۲ به اشکال زیر ساده می‌گردد:

Prozhefa.com

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{dZ}{dx} - \frac{\alpha Q^2 T}{gA^3}\frac{dy}{dx} \qquad (۳-۵)$$

$$\frac{dy}{dx}(1 - Fr^2) = \frac{dH}{dx} - \frac{dZ}{dx} \qquad (۴-۵)$$

$\frac{dH}{dx}$ شیب خط انرژی (S_f) می‌باشد که به جهت کاهش یابنده بودن مقدار انرژی در مسیر جریان، عددی منفی است و لذا:

$$\frac{dH}{dx} < 0 \rightarrow \frac{dH}{dx} = -S_f \qquad (۵-۵)$$

که در رابطهٔ ۵-۵، S_f (شیب خط انرژی) مقداری مثبت می‌باشد.

علاوه بر این معمول است که شیب نمایش داده جهت بستر کانال در شکل ۵-۵ به عنوان شیب مثبت ذکر شود که این شیب در مختصات مربوطه منفی می‌باشد و لذا به منظور پرهیز از اشتباهات ناشی از علامات قراردادی می‌توان نوشت:

$$\frac{dZ}{dx} < 0 \rightarrow \frac{dZ}{dx} = -S_0 \qquad (۶-۵)$$

که درآن S_0 شیب بستر کانال ودارای مقداری مثبت می‌باشد. بدین ترتیب در شیبهای معکوس، S_0 با علامت منفی مشخص می‌شود که به خودی خود بیانگر مثبت بودن $\frac{dZ}{dx}$ در مختصات طولی قرارداد شده خواهد بود.

از ترکیب روابط ۵-۵، ۵-۶ و ۵-۴، معادلهٔ زیر که به معادلهٔ دینامیکی جریانهای متغیر تدریجی موسوم است حاصل می‌گردد:

$$\frac{dy}{dx}(1 - Fr^2) = -S_f - (-S_0)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \qquad (۷-۵)$$

رابطهٔ ۵-۷، که معادلهٔ حاکم بر جریانهای متغیر تدریجی نیز نامیده می‌شود، نحوهٔ تغییرات عمق جریان نسبت به مکان (x) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این معادله هم شیب طولی کانال (S_0) و هم عدد فرود جریان ظاهر شده‌اند که اساس طبقه‌بندی‌های مختلف از نیمرخهای سطح آب بر مبنای مقایسهٔ عمق بحرانی و عمق نرمال می‌باشند.

۵-۲-۳ بررسی کیفی انحنای سطح آب در نیمرخهای مختلف

منظور از شناسایی کیفی نیمرخهای سطح آب تعیین نحوهٔ تغییرات سطح مذکور در نیمرخهای مختلف است که به عنوان نمونه سه نوع نیمرخ $M1$ ، $M2$ و $M3$ تشریح می‌شوند. روش ارائه شده می‌تواند در مورد سایر نیمرخهای سطح آب نیز تعمیم یابد. شکل ۵-۶الف نیمرخ $M1$ را نشان می‌دهد. با بررسی علامت صورت و مخرج در معادلهٔ ۵-۷ می‌توان نشان داد که در نیمرخ نوع $M1$ مقدار $\frac{dy}{dx}$ مثبت است در نتیجه نوع منحنی، فراآب (افزایش عمق در جهت جریان) می‌باشد.

Prozhefa.com

در این گونه نیمرخها باتوجه به نوع شیب و ناحیهٔ جریان می توان نوشت:

$$y > y_c \rightarrow Fr < ۱ \rightarrow ۱ - Fr^۲ > ۰ \qquad (۵-۸)$$

$$y > y_۰ \rightarrow V < V_۰ \qquad (۵-۹)$$

براساس رابطهٔ ۵-۹ و از آن‌جاکه در این حالت سرعت از سرعت نرمال کمتر است می توان استنتاج نمود که شدت افت انرژی نیز کمتر از شدت افت انرژی در جریان نرمال می‌باشد چراکه در جریانهای کاملاً آشفته شدت افت انرژی تقریباً با توان دوم سرعت[۱] متناسب است ($h_f \propto V^۲$) و لذا باتوجه به این‌که $S_۰$ شدت افت انرژی در جریان نرمال را نشان می‌دهد می توان نوشت:

$$V < V_۰ \rightarrow S_f < S_۰ \rightarrow S_۰ - S_f > ۰ \qquad (۵-۱۰)$$

با در نظر گرفتن روابط ۵-۸ و ۵-۱۰ مشاهده می‌شود که علامت صورت و مخرج معادلهٔ حاکم بر جریانهای متغیر تدریجی در نیمرخ $M۱$ مثبت می‌باشد:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{+}{+} = + > ۰$$

یعنی عمق در جهت جریان افزایش می‌یابد.

در تشریح بیشتر این نیمرخ دو حالت حدی را می توان در نظر گرفت:

الف:

$$\text{اگر} \quad y \rightarrow y_۰ \Rightarrow S_f \rightarrow S_۰ \Rightarrow \frac{dy}{dx} \Rightarrow ۰ \qquad (۵-۱۱)$$

رابطهٔ ۵-۱۱ نشان‌می‌دهدکه‌نیمرخ‌سطح‌آب‌درانشعاب‌ازعمق نرمال مماس برعمق‌نرمال می‌باشد ($\frac{dy}{dx} \rightarrow ۰$)

ب:

$$\text{اگر} \quad y \rightarrow \infty \Rightarrow S_f \rightarrow ۰(?), \quad Fr \rightarrow ۰(?)$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} \rightarrow S_۰ \qquad (۵-۱۲)$$

که در این صورت، معادل شدن تغییرات عمق با شیب $S_۰$ نشان دهندهٔ مماس شدن نیمرخ بر خط افق می‌باشد. در شکل ۵-۶الف نیمرخ نوع $M۱$ قبل از بند (مانع) شکل گرفته است که اگر از انحناء زیاد جریان بر روی بند صرفنظر شود، تئوریهای ارائه شده در فصل دوم دلالت بر عبور جریان از روی بند با عمق بحرانی دارند و درصورتی که تأثیر انحنای موضعی جریان در نظر گرفته شود (فصل هفتم)، عمق جریان بر روی بند با عمق بحرانی قدری تفاوت خواهد داشت.

در نیمرخ نوع $M۲$ ، که چگونگی تشکیل آن در حالت نزدیک شدن جریان به یک شیب‌شکن (Drop) در شکل ۵-۶ب نشان داده شده است، عمق آب در جهت جریان کاهش یافته است که می تواند با توجه به معادلهٔ ۵-۷ تحقیق شود:

۱- این مطلب با مراجعه به معادلهٔ دارسی - وایسباخ روشن می‌شود

Prozhefa.com

$$y > y_c \rightarrow Fr < 1 \rightarrow 1 - Fr^2 > 0$$

$$y < y_0 \rightarrow V > V_0 \rightarrow S_f > S_0 \rightarrow S_0 - S_f < 0$$

در نتیجه در نیمرخ $M2$ می‌توان نوشت:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{+} = -$$

در شناسایی نیمرخ نوع $M2$ نیز می‌تواند دو حالت حدی به کار رود:

$$\text{اگر} \quad y \rightarrow y_0 \Rightarrow S_f \rightarrow S_0 \Rightarrow \frac{dy}{dx} \rightarrow 0 \qquad (۱۳-۵)$$

$$\text{اگر} \quad y \rightarrow y_c \Rightarrow Fr \rightarrow 1 \Rightarrow \frac{dy}{dx} \rightarrow -\infty \qquad (۱۴-۵)$$

از رابطهٔ ۵-۱۳ نتیجه گرفته می‌شود که نیمرخ نوع $M2$ به شکل مماس بر عمق نرمال از آن منشعب می‌شود. رابطهٔ ۵-۱۴ نشان می‌دهد که در حالت میل عمق جریان به سمت عمق بحرانی، تغییرات عمق با شیب $-\infty$ انجام می‌شود و منحنی سطح آب مماس بر خط قائم خواهد بود. به دلیل انحنای شدید جریان در نزدیکی عمق بحرانی ($\frac{dy}{dx} \rightarrow -\infty$)، در این ناحیه فرضیات جریان متغیر تدریجی صادق نمی‌باشند و لذا این ناحیه با خط چین مشخص گردیده است.

درصورتی‌که جریان در یک شیب ملایم در ناحیهٔ ۳ صورت گیرد، نیمرخ از نوع $M3$ خواهد بود و در آن نیز عمق در جهت جریان افزایش می‌یابد زیرا می‌توان نوشت:

$$y < y_c \Rightarrow Fr > 1 \Rightarrow 1 - Fr^2 < 0$$

$$y < y_0 \Rightarrow V > V_0 \Rightarrow S_f > S_0 \Rightarrow S_0 - S_f < 0$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-}{-} = +$$

چنانچه فرض گردد عمق جریان به سمت صفر میل نماید خواهیم داشت:

$$y \rightarrow 0 \Rightarrow V \rightarrow \infty \ , \ S_f \rightarrow \infty \qquad (۱۵-۵)$$

$$y \rightarrow 0 \Rightarrow Fr \rightarrow \infty \qquad (۱۶-۵)$$

عبارات ۵-۱۵ و ۵-۱۶ نشان می‌دهند که $\frac{dy}{dx} = \frac{-\infty}{-\infty}$ بوده که پس از رفع ابهام $\frac{dy}{dx}$ به سمت یک مقدار محدود مثبت میل خواهد نمود.

چنانکه در شکل ۵-۶الف دیده می‌شود، جریان فوق بحرانی آب پس از یک دریچه و در میل به سمت عمق نرمال، نیمرخ نوع $M3$ را طی خواهد نمود. این نیمرخ در مواجهه با عمق بحرانی دچار انحنای شدید و انبساط گردیده که به پرش هیدرولیکی منجر می‌شود. جریان در قبل از دریچه نیز می‌تواند دارای نیمرخ $M1$ باشد. نکته‌ای که در ارتباط با سه نوع نیمرخ تشریح شده قابل ذکر است توجه به فوق بحرانی و یا زیربحرانی بودن وضعیت جریان در این نیمرخهاست. اگر جریان زیر بحرانی باشد ($M2$ و $M1$)، جریان از

Prozhefa.com

پایین‌دست خود تأثیر خواهد پذیرفت و اگر جریان فوق بحرانی باشد، تغییرات انحنای جریان از بالا دست نیمرخ دیکته خواهد شد (*M۳*). به عنوان مثال در شکل ۵-۶الف عمق جریان پس از دریچهٔ نقطهٔ کنترل برای نیمرخ *M۳* می‌باشد (به مفهوم نقطهٔ کنترل و نقش آن در شکل‌گیری نیمرخها در بخش ۵-۲-۴ اشاره خواهد شد).

بررسی چگونگی تغییرات انحناء سطح آب در نیمرخهای *S۱* ، *S۲* ، *S۳* ، *C۱* ، *C۳* ، *H۲* ، *H۳*، *A۲* و *A۳* می‌تواند به‌طور مشابه انجام پذیرد.

نیمرخهای *C۱* و *C۳* در حالت میل به سمت عمق بحرانی (که با عمق نرمال مساوی می‌باشد) دارای زاویه‌ای مطابق شکل ۵-۶ج بوده و حالت مماس یا قائم ندارند. وجود نقطهٔ عطف در این نیمرخها نیز از نظر ریاضی قابل بررسی است ولی با توجه به این‌که حل معادلهٔ ۵-۷ عمدتاً به روشهای عددی و به صورت گسسته صورت می‌گیرد، بررسی این مسأله فقط از نظر تئوری ارزشمند است و ارزش عملی چندانی در محاسبات نیمرخهای سطح آب نخواهد داشت.

نکات لازم در مورد سایر نیمرخهای شکل ۵-۶ به شرح زیر می‌باشند:

- نیمرخ *S۱*: جریان نرمال فوق بحرانی در یک کانال با شیب تند در رسیدن به یک بند (مانع) مجبور به پرش هیدرولیکی در ناحیهٔ ۲ از جریان شده است که در این صورت نیمرخ شکل گرفته پس از پرش در جهت عبور از روی بند، نیمرخ نوع *S۱* می‌باشد.

- نیمرخ *S۲*: جریان آب پس از رسیدن به یک تغییر ارتفاع در کف کانال، ضمن انجام پرش هیدرولیکی و تشکیل نیمرخ *S۱* در هنگام جاری شدن در کانال پایین‌دست و رسیدن به عمق نرمال، نیمرخ *S۲* را طی نموده است. مثال مشخص دیگر از شکل‌گیری نیمرخ نوع *S۲*، جاری شدن آب از یک دریاچه به یک کانال با شیب تند (اشکال ۱-۴ و ۴-۱) می‌باشد.

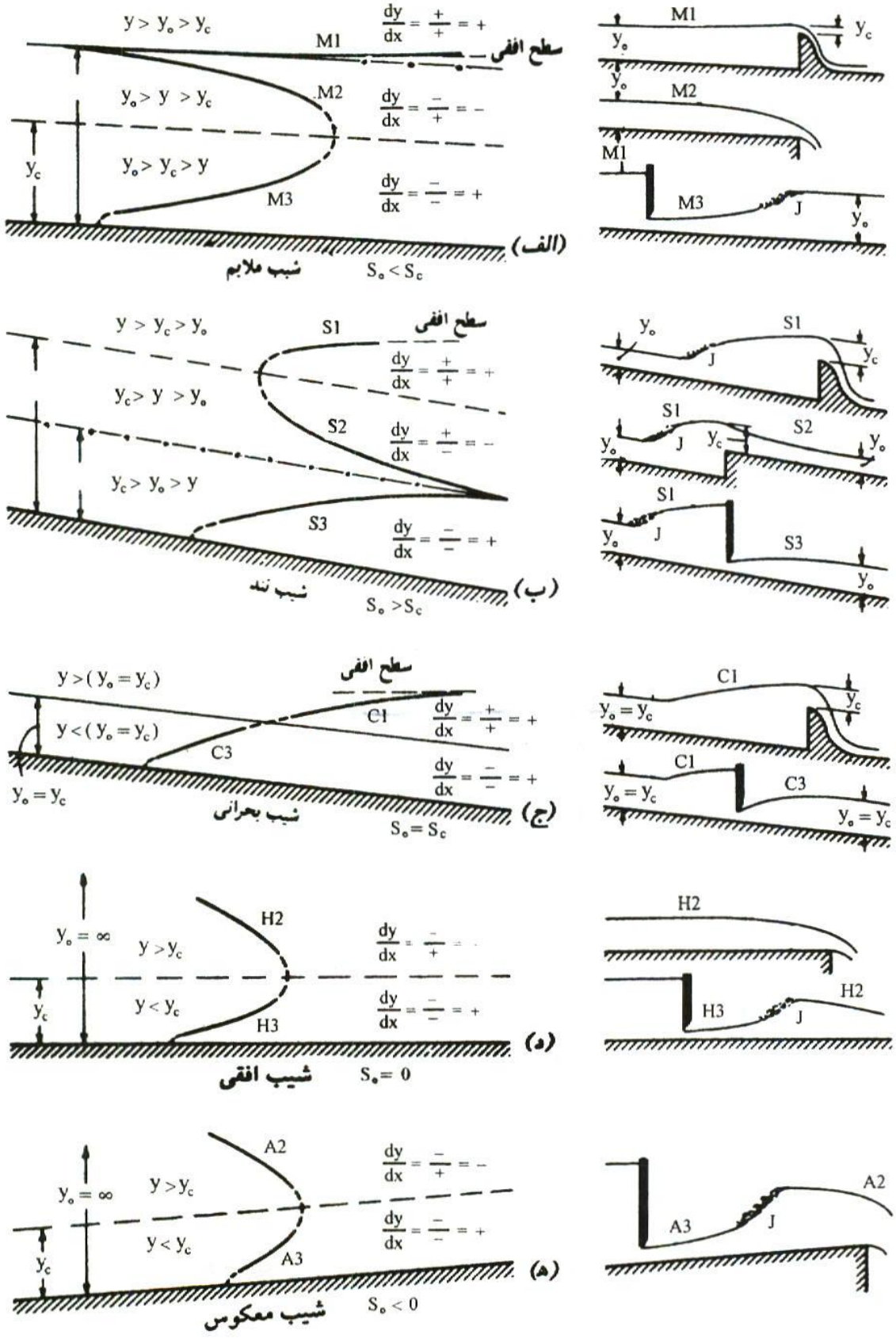
- نیمرخهای نوع *C۱* و *C۳*: این نیمرخها در تشابه کامل با نیمرخهای *M۱* و *M۳* می‌باشند ولی با توجه به این‌که نیمرخ *C۳* به سمت عمق نرمال (یا عمق بحرانی) متمایل می‌شود پرش هیدرولیکی شکل نخواهد گرفت.

نیمرخ *H۲* : این نیمرخ در هنگام جریان آب بر روی یک شیب افقی و در رسیدن جریان به یک شیب‌شکن دیده می‌شود.

- نیمرخ *H۳* : در جریان آب پس از یک دریچه می‌توان نیمرخ *H۳* را مشاهده نمود و چنانچه این نیمرخ به سمت عمق بحرانی افزایش عمق دهد، پرش هیدرولیکی اتفاق افتاده و بعد از پرش نیمرخ نوع *H۲* با عمقی بیش از عمق بحرانی تشخیص داده می‌شود.

- نیمرخهای *A۲* و *A۳*: این نیمرخها در شیب‌های معکوس شکل گرفته، مشابه نیمرخهای *H۲* و *H۳* تفسیر می‌شوند.

Prozhefa.com



شکل ۵-۶ انواع نیمرخها در کانالهای باز

Prozhefa.com

بدیهی است طول کانالها در پیدایش انواع نیمرخها نقش مؤثر دارند. به‌عنوان مثال درصورتی که در جریان آب بعد از دریچه، طول کانالهای افقی و یا معکوس کوتاه باشد فقط نیمرخ نوع $H۳$ و یا $A۳$ شکل می‌گیرند و در محل شیب‌شکن خاتمه می‌یابند که در این صورت باتوجه به این‌که جریان در این نواحی در وضعیت فوق بحرانی می‌باشد، از نظر تئوری، جریان وجود شیب‌شکن را در پایین‌دست احساس نخواهد کرد.

باتوجه به توضیحات داده شده و با مراجعه به شکل ۵-۶ نکات زیر در تشخیص و ترسیم نیمرخهای سطح آب قابل جمع‌بندی است که در درک صحیح‌تر از جریان آب در کانالهای باز کمک قابل توجهی خواهد نمود:

۱- علامت $\frac{dy}{dx}$ در هر ناحیه باتوجه به معادلهٔ ۵-۷ قابل تشخیص است و افزایش یا کاهش عمق در مسیر جریان را نشان می‌دهد.

۲- نیمرخ سطح آب صورت مماس بر عمق نرمال به آن نزدیک و یا از آن دور می‌شود.

۳- نیمرخ سطح آب در هنگام میل به سمت عمق بحرانی دارای انحناء زیاد و مماس بر خط قائم جریان خواهد بود. در این حالت اگر جریان فوق بحرانی به زیر بحرانی تبدیل شود پرش هیدرولیکی رخ خواهد داد.

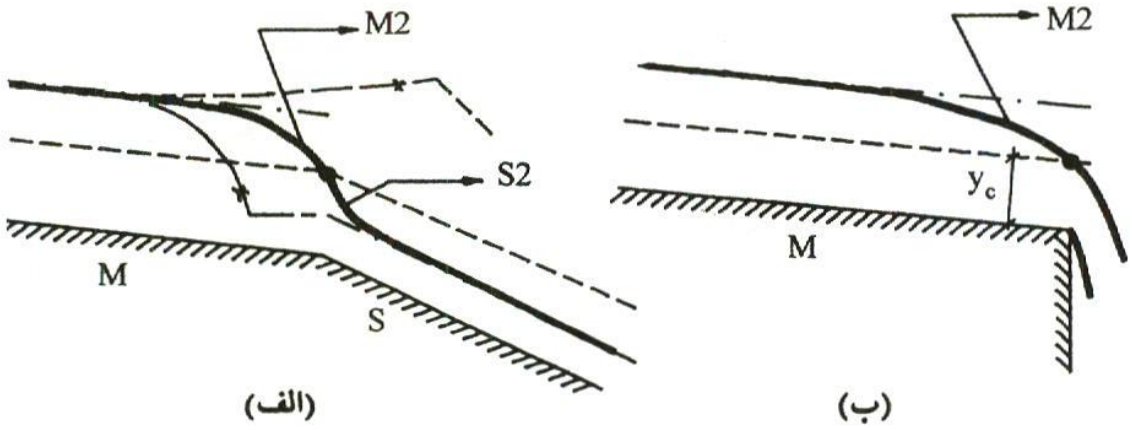
۴- نیمرخهای نوع ۱ عمدتاً در محل بندها و دریچه‌ها، نیمرخهای نوع ۲ در محل تغییر شیب و نیمرخهای نوع ۳ در زیر دریچه‌ها و یا در پای شیب‌های تند مشاهده می‌شوند.

۵-۲-۴ ترکیب نیمرخهای سطح آب و ترسیم آنها

در کانالهایی که بیش از یک مقطع کنترل وجود دارد ترکیبی از نیمرخهای سطح آب به‌وجود می‌آید که برای درک رفتار جریان لازم است تا تصویر کلی آن حدس زده شود. شکل ۵-۷ اتصال دو شیب ملایم و تند را به همراه خطوط عمق بحرانی و عمق نرمال برای هر دو کانال نشان می‌دهد. جریان که در کانال اول با عمق نرمال برقرار می‌باشد، درگذر از محل تغییر شیب و رسیدن به عمق نرمال کانال دوم، باعث شکل‌گیری نیمرخهای $M۲$ در کانال اول و $S۲$ در کانال دوم می‌گردد. از طرفی خطوط جریان باید به نحوی هماهنگ شوند که در نقطهٔ تغییر شیب، عمق بحرانی پیش آید. چنین نقطه‌ای با علامت ـــــ مشخص گردیده است.

لازم به ذکر است که در این حالت شکل‌گیری هیچ‌گونه نیمرخ دیگری ممکن نمی‌باشد، زیرا در صورتی‌که جریان نرمال در کانال اول با نیمرخ $M۱$ منحرف شود برگشت بعدی آن به سمت عمق نرمال کانال دوم مستلزم کاهش عمق در ناحیهٔ ۱ از جریان می‌باشد که با معادلهٔ دیفرانسیل حاکم بر جریانهای متغیر تدریجی هماهنگ نمی‌باشد. شکل‌گیری نیمرخ $M۲$ و به‌دنبال آن $M۳$ نیز در کانال اول ممکن نخواهد بود

Prozhefa.com



شکل ۵-۷ ترکیب نیمرخهای سطح آب در محل اتصال شیب ملایم به تند

(چرا؟). لذا در انتخاب نوع نیمرخ علاوه بر هموار بودن مسیر حرکت آب باید به هماهنگی عمق جریان با معادلهٔ حاکم بر جریانهای متغیر تدریجی (نحوهٔ تغییر عمق در نواحی مختلف) نیز توجه شود.

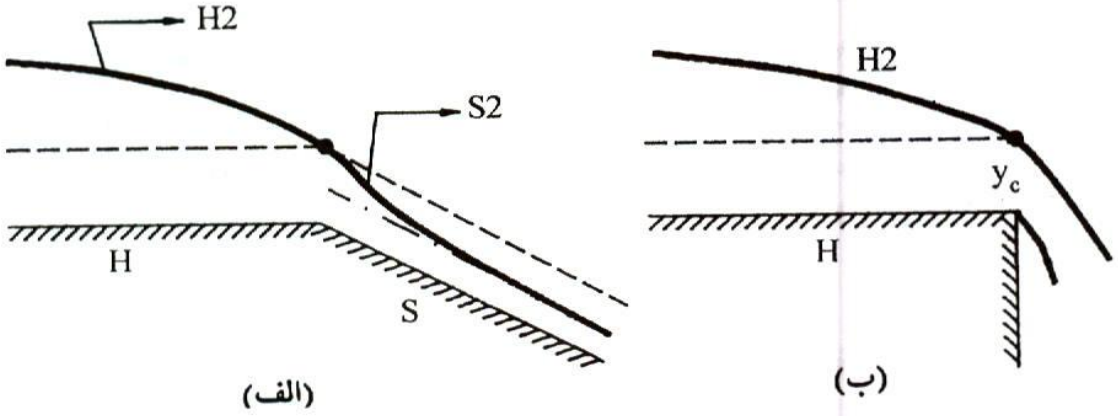
بدیهی است در صورتی‌که تئوری جریان متغیر تدریجی در محل تغییر شیب صادق باشد، جریان باید در عمق بحرانی مماس بر خط قائم شود و نیمرخ $S2$ نیز مماس بر خط قائم شکل گیرد، ولی انحناء شدید جریان در این موضع، جریان را از حالت متغیر تدریجی خارج و به متغیر سریع تبدیل می‌کند که از تحلیل جریان در این مسیر کوتاه صرف‌نظر می‌شود.

همان‌گونه که مشخص است محل تغییر شیب در حقیقت نقطهٔ کنترل برای هر دو نیمرخ می‌باشد، زیرا جریان در عبور از محل تغییر شیب خود را با عمق بحرانی هماهنگ می‌نماید. برای نیمرخ $M2$ که در وضعیت زیر بحرانی است، نقطهٔ کنترل در پایین‌دست جریان و برای نیمرخ $S2$ که فوق‌بحرانی است، نقطهٔ کنترل در بالادست جریان قرار دارد (؟). توجه به زیربحرانی و یا فوق‌بحرانی بودن وضعیت جریان در نیمرخهای مختلف در تشخیص نقاط کنترل اهمیت دارد. شکل ۵-۷ب جریان در یک شیب ملایم و به هنگام رسیدن به یک شیب‌شکن را نشان می‌دهد. باتوجه به توضیحات داده شده در مورد شکل ۵-۷الف، می‌توان نتیجه گرفت که در صورتی‌که شیب‌شکن کانالی با شیب زیاد فرض شود، بر روی شیب ملایم نیمرخ $M2$ شکل خواهد گرفت که با عمق بحرانی از روی شیب شکن عبور خواهد کرد.

مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که باتوجه به انحنای شدید جریان، عمق جریان در روی نوک شیب‌شکن تقریباً برابر $0/7y_c$ بوده و عمق بحرانی در فاصلهٔ ۳ تا ۴ برابر y_c قبل از نوک شیب‌شکن و بر روی شیب ملایم مشاهده می‌شود. نقطهٔ کنترل نیز در شکل ۵-۷ب مشخص گردیده است.

شکل ۵-۸الف اتصال یک شیب افقی به شیب تند را نشان می‌دهد که اگر به صورت فرضی در کانال اول نیمرخ $H2$ شکل گرفته باشد، ورود جریان به کانال با شیب تند همراه با نیمرخ $S2$ خواهد بود. نقطهٔ کنترل جریان نیز محل اتصال دو شیب است که در آن عمق بحرانی پیش می‌آید.

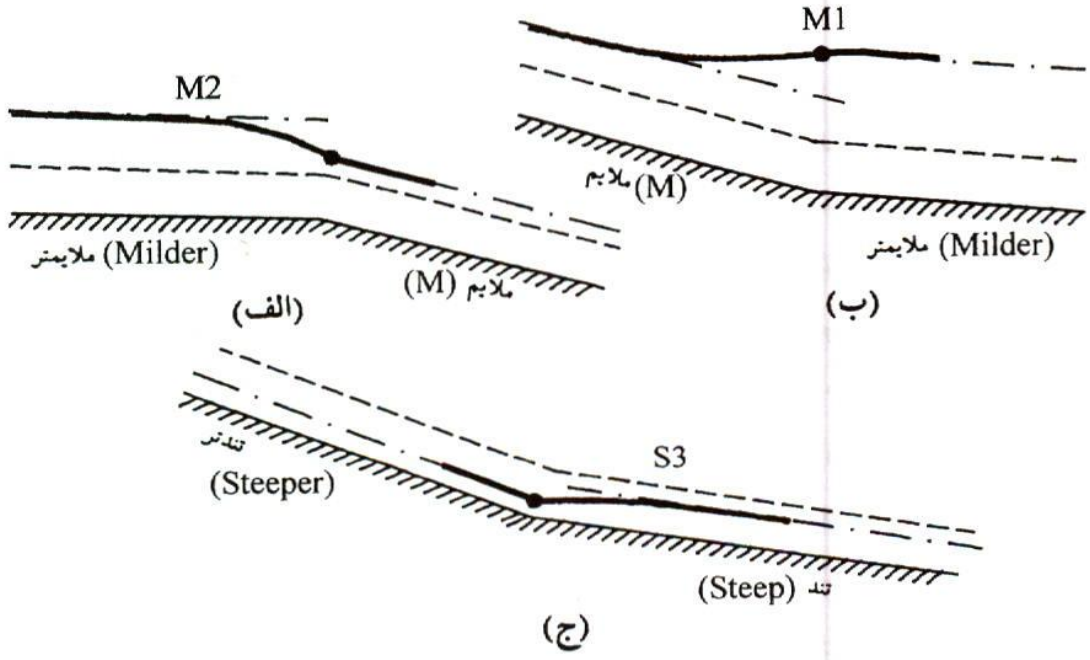
Prozhefa.com



شکل ۵-۸ ترکیب نیمرخهای سطح آب در محل اتصال شیب افقی به تند

باتوجه به مطالب فوق در مورد شکل ۵-۸الف، بدیهی است که جریان در یک شیب افقی و در رسیدن **به یک شیب‌شکن مطابق شکل ۵-۸ب بوده و امکان شکل‌گیری سایر نیمرخها نخواهد بود.**

شکل ۵-۹ نیمرخهای شکل گرفته در محل اتصال شیبهای مختلف را نشان می‌دهد. در دو مورد الف و ب، نقطهٔ کنترل، عمق نرمال در کانال دوم (پایین دست) می‌باشد (؟) ولی در حالت ج که نیمرخ $S3$ در وضعیت فوق بحرانی است، نقطهٔ کنترل در بالادست جریان قرار دارد و همان عمق نرمال کانال اول می‌باشد.

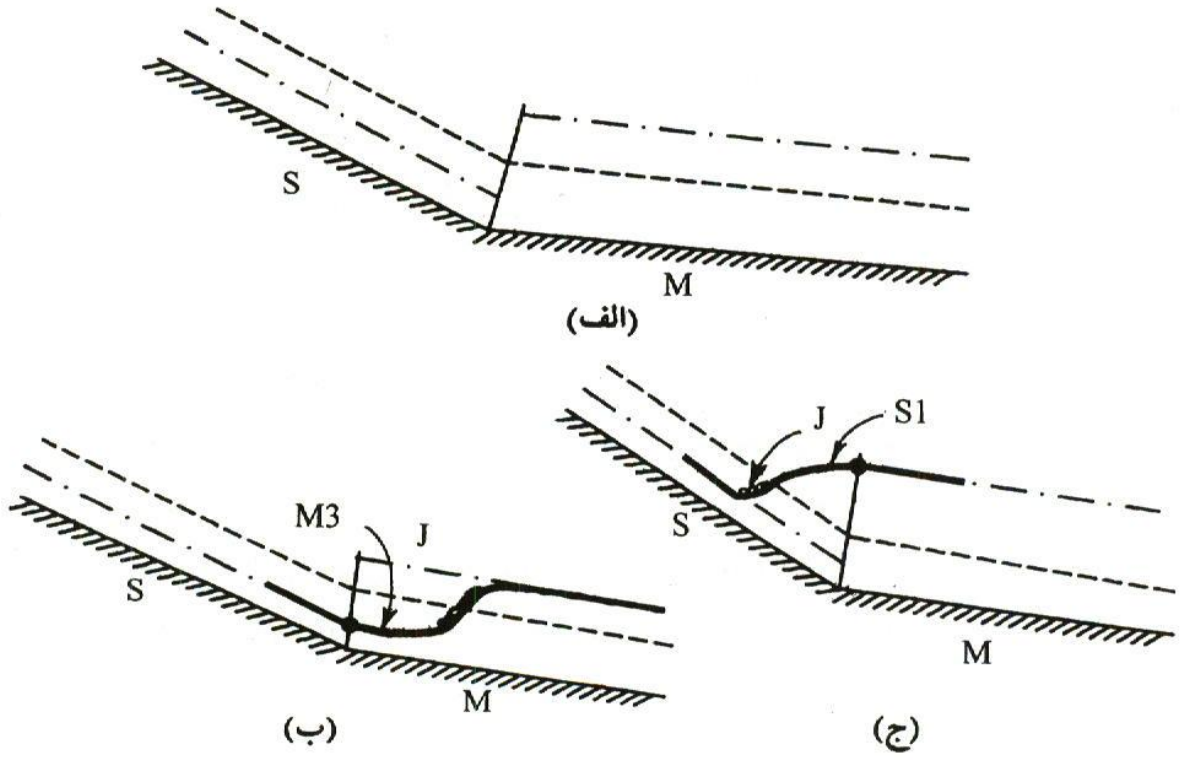


شکل ۵-۹ ترکیب نیمرخهای سطح آب در محل اتصال شیب‌های مختلف

Prozhefa.com

حالت شکل ۵-۱۰ الف، که اتصال یک شیب تند به شیب ملایم را نشان می‌دهد، در جریان آب در پای شیبهای تند و یا سرریزها مشاهده می‌شود. در اتصال شیب تند به شیب ملایم دو وضعیت متفاوت ممکن است پیش آید که در شکلهای ۵-۱۰ ب و ج مشخص شده‌اند. درحالت «ب» بر روی شیب ملایم نمیرخ $M3$ شکل می‌گیرد که برای رسیدن به عمق نرمال کانال دوم، پرش هیدرولیکی رخ داده، جریان فوق‌بحرانی به زیر بحرانی تبدیل می‌شود. در حالت «ج» پرش هیدرولیکی بر روی شیب تند انجام می‌شود و جریان تا رسیدن به عمق نرمال در کانال دوم (مقطع کنترل) نیمرخ $S1$ را طی می‌کند.

برای تشخیص این‌که کدامیک از حالات «ب» و یا «ج» اتفاق می‌افتد، می‌بایست محاسباتی انجام داد. بدین‌منظور اگر فرض شود که حالت «ب» پیش می‌آید در این صورت عمق نرمال در کانال دوم به‌عنوان عمق ثانویهٔ پرش هیدرولیکی در نظر گرفته شده، عمق اولیهٔ پرش هیدرولیکی محاسبه می‌شود. اگر عمق اولیهٔ پرش بیش از عمق نرمال در کانال اول باشد، شکل‌گیری نیمرخ $M3$ که یک نیمرخ افزایش عمق با مقطع کنترل مشخص می‌باشد ممکن خواهد بود و فرض انجام شده صحیح می‌باشد. چون در این‌حالت اعماق ابتدا و انتهای نیمرخ $M3$ نیز مشخص هستند می‌توان طول نیمرخ $M3$ را با استفاده از روشهای محاسباتی که در فصل آینده آورده می‌شوند تعیین نمود.

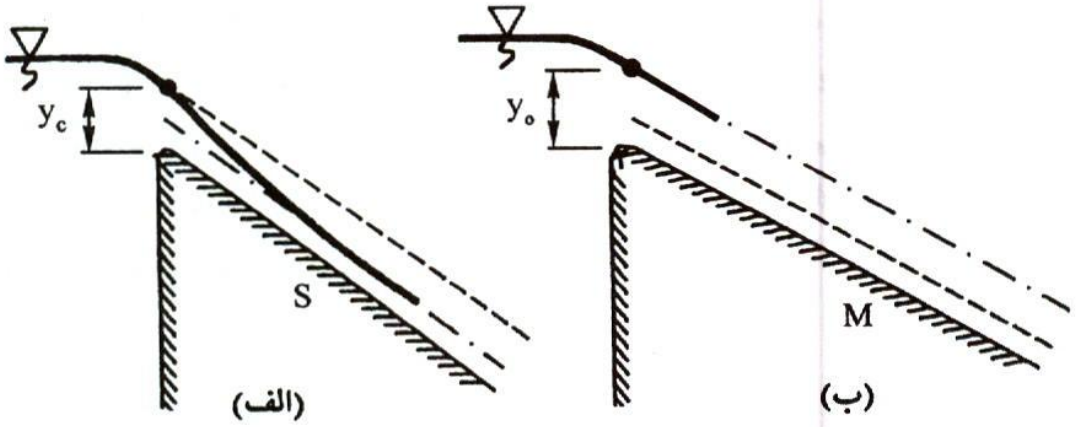


شکل ۵-۱۰ ترکیب نیمرخهای سطح آب در محل اتصال شیب تند به ملایم

Prozhefa.com

در صورتی‌که فرض انجام شده صحیح نباشد باید جواب را در حالت «ج» جستجو نمود. در این صورت عمق نرمال در کانال اول به عنوان عمق اولیهٔ پرش هیدرولیکی در نظر گرفته شده و عمق ثانویهٔ پرش بر روی شیب تند محاسبه می‌گردد. در این حالت در کانال اول و تا رسیدن به عمق نرمال کانال دوم، نیمرخ $S1$ شکل خواهد گرفت که طول آن نیز قابل محاسبه است.

در شکل ۵-۱۱ الف ورود آب از یک دریاچه به یک کانال طولانی با شیب تند نشان داده شده است. باتوجه به تند بودن شیب، عمق جریان در بدو ورود به کانال بحرانی بوده، بقیهٔ مسیر تا رسیدن به‌عمق نرمال کانال با نیمرخ $S2$ طی خواهد شد.



شکل ۵-۱۱ ترکیب نیمرخهای سطح آب در محل ورود آب از دریاچه به یک کانال طولانی

در شکل ۵-۱۱ ب، که جریان آب از یک دریاچه به یک کانال طولانی با شیب ملایم را نشان می‌دهد، جریان تحت تأثیر مقاومت بستر کانال با شیب ملایم می‌باشد و هیچ‌گونه نیمرخ دیگری در محل ورود آب به کانال شکل نخواهد گرفت. براین اساس، از نظر تئوری (صرفنظر از مواج بودن آب در بدو ورود به کانال) عمق جریان در محل ورود آب به کانال، همان عمق نرمال کانال می‌باشد.

شایان ذکر است که ملایم یا تند بودن شیب کانال آبگیری به پارامترهایی همچون زبری، شیب طولی و مشخصات هندسی مقطع کانال بستگی دارد. از نظر محاسباتی در ابتدا می‌توان فرض نمود که کانال دارای شیب تند می‌باشد. سپس با صرفنظر نمودن از سرعت نزدیک شدن و یا افت انرژی موضعی (یا منظور نمودن آن با توجه به مقادیر تجربی) و به کار بردن معادلهٔ انرژی بین سطح آب در دریاچه و مقطع ورودی کانال، مقدار y_c و دبی جریان را تعیین نمود. در صورتی‌که با این دبی، عمق نرمال محاسبه شود و مقدار آن از عمق بحرانی کمتر باشد، فرض انجام شده صحیح می‌باشد. در غیراین صورت وضعیت شکل ۵-۱۱ ب وجود خواهد داشت و می‌توان با به کار بردن همزمان رابطهٔ مانینگ و رابطهٔ انرژی بین سطح آب در دریاچه و نقطهٔ ورود آب به کانال، عمق نرمال و دبی جریان را تعیین نمود.

Prozhefa.com

در ادامهٔ مطالب مشروحهٔ فوق، که چگونگی تشکیل نیمرخها و اهمیت نقطهٔ کنترل در تحلیل جریان را نشان می‌دهند، به پاره‌ای از خصوصیات نقطهٔ کنترل اشاره می‌گردد:

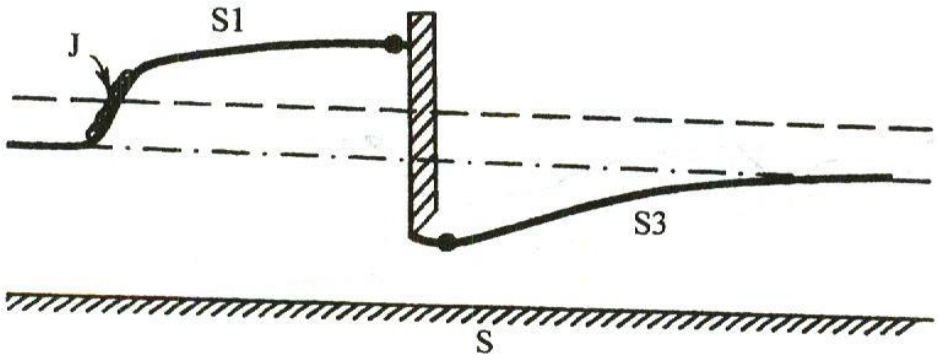
۱- طبق تعریف ارائه شده در فصل دوم، نقطهٔ کنترل عبارت است از نقطه‌ای که در آن ارتباط مشخصی بین عمق و دبی جریان وجود دارد. این نقطه، در اشکال ۵-۷، ۵-۸، ۵-۹، ۵-۱۰ و ۵-۱۱ با علامت ●— مشخص گردیده است که تعریف داده شده را ارضاء می‌نماید چرا که این نقاط یا عمق نرمال کانالها و یا عمق بحرانی جریان می‌باشند و در آنها ارتباط مشخصی بین عمق و دبی جریان وجود دارد.

۲- مقاطع کنترل روند جریان در مجاورت خود را در اختیار دارند. به عبارت دیگر از آن‌جاکه جریان مجبور به عبور از این مقاطع است حالت خود را با آنها تنظیم می‌کند. مقاطع کنترل هم جریان بالادست و هم‌جریان پایین‌دست خود راکنترل می‌کنند مگر این‌که در ابتدا یا انتهای کانال قرار داشته باشند (شکل ۵-۷).

۳- هر جریان متغیر تدریجی (یا نیمرخ سطح آب) دارای یک مقطع کنترل می‌باشد که باتوجه به نیمرخهای ترسیم شده می‌توان گفت که جریانهای فوق بحرانی دارای یک نقطهٔ کنترل در بالادست و جریانهای زیر بحرانی دارای یک نقطهٔ کنترل در پایین‌دست می‌باشند.

در محاسبهٔ نیمرخهای سطح آب با استفاده از معادلهٔ ۵-۷ نیاز به داشتن یک شرط اولیه است که این شرط از روی مقطع کنترل به‌دست می‌آید. محاسبات در جریانهای فوق بحرانی از بالادست به پایین‌دست و در جریانهای زیر بحرانی از پایین‌دست به بالادست انجام می‌شود.

۴- دریچه‌ها و سرریزها نیز مقاطع کنترل می‌باشند زیراکه آب ضمن عبور از آنها عمق خاصی به‌خود می‌گیرد. باتوجه به معادلهٔ انرژی ارتباط مشخصی بین عمق ثابت بعد از دریچه و عمق جریان قبل از دریچه وجود دارد. در شکل ۵-۱۲ برای نیمرخ $S1$ مقطع قبل از دریچه و برای نیمرخ $S3$ مقطع بعد از دریچه[1] مقاطع کنترل می‌باشند.



شکل ۵-۱۲

۱- در صورتی که ضریب انقباض مشخص باشد، عمق در مقطع انقباض در نظر گرفته می‌شود.

Prozhefa.com

براساس مطالب توضیح داده شده در این فصل مراحل ترسیم نیمرخها به صورت زیر خلاصه می‌شوند:

۱- رسم مقطع طولی کانال

۲- محاسبهٔ عمق نرمال و عمق بحرانی در هر قسمت

۳- مشخص نمودن مقاطع کنترل

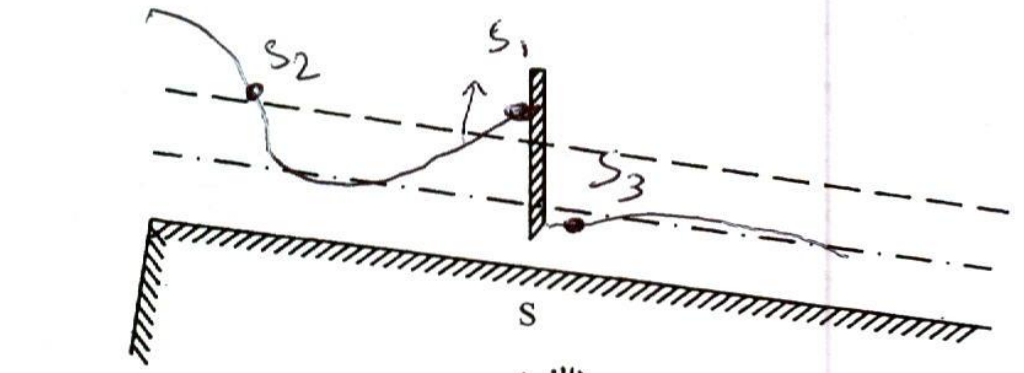
۴- ترسیم نیمرخهای ممکن

مثال ۵-۲

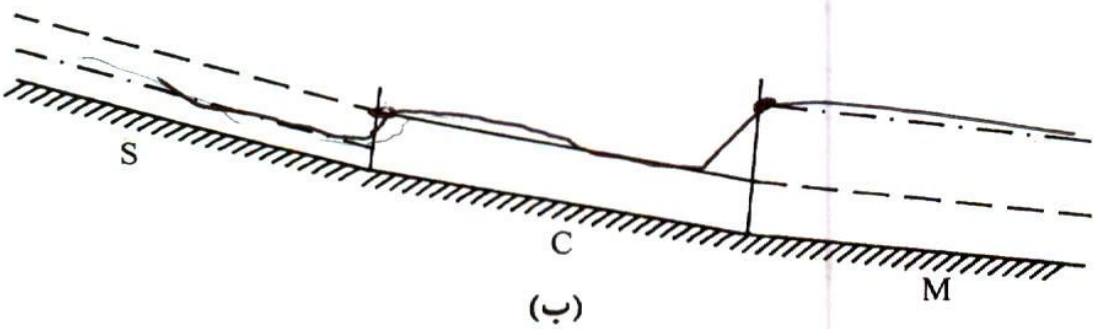
نیمرخهای سطح آب را برای اشکال ۵-۱۳ الف و ۵-۱۳ ب با فرض آن‌که کانالها طولانی بوده و نیمرخها به صورت کامل شکل گیرند رسم نمایید. همچنین مقاطع کنترل را مشخص کنید.

حل:

باتوجه به فرضیات داده شده نیمرخهای ممکن در هر مورد در شکل ۵-۱۴ ترسیم شده‌اند و نقاط کنترل نیز مشخص گردیده‌اند. در ترسیم نیمرخها، میل جریان به برقراری جریان یکنواخت، هموار بودن مسیر حرکت آب و هماهنگی جریان در هر ناحیه با معادلهٔ حاکم بر جریان متغیر تدریجی در نظر گرفته شده‌اند.



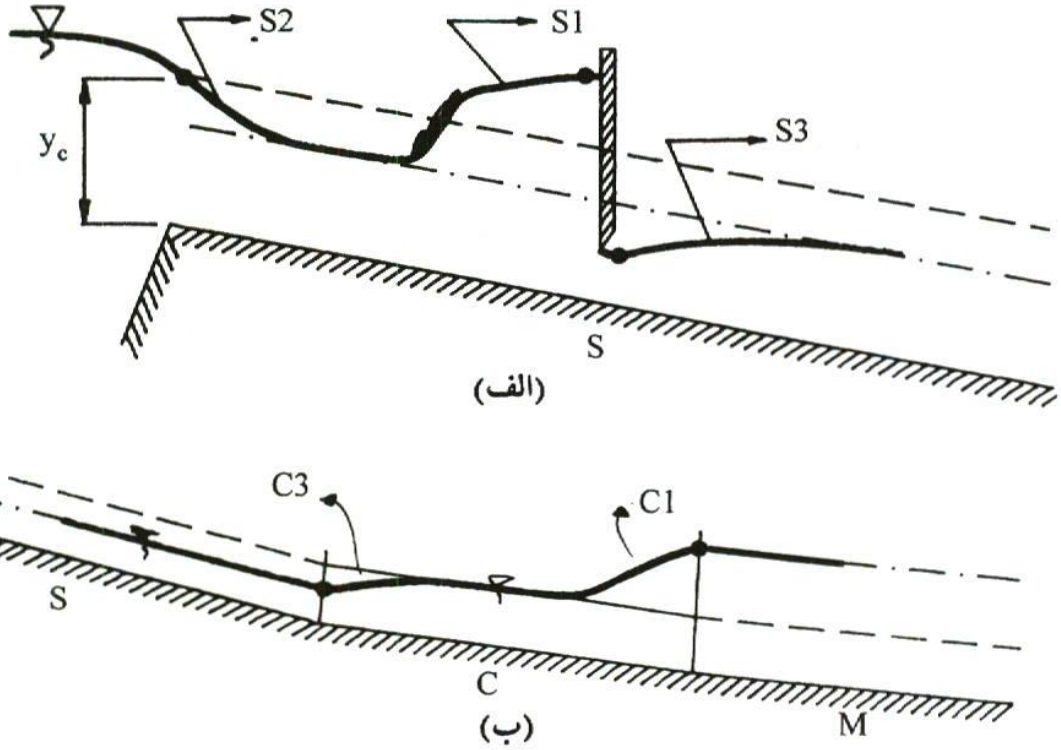
(الف)



(ب)

شکل ۵-۱۳

Prozhefa.com



شکل ۵-۱۴

مثال ۵-۳

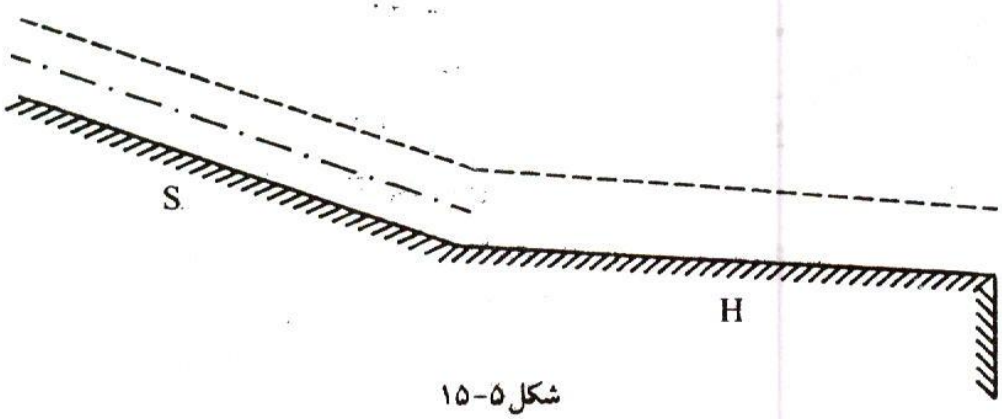
نیمرخهای ممکن در شکل ۵-۱۵ را ترسیم و نقاط کنترل را مشخص نمایید.

حل:

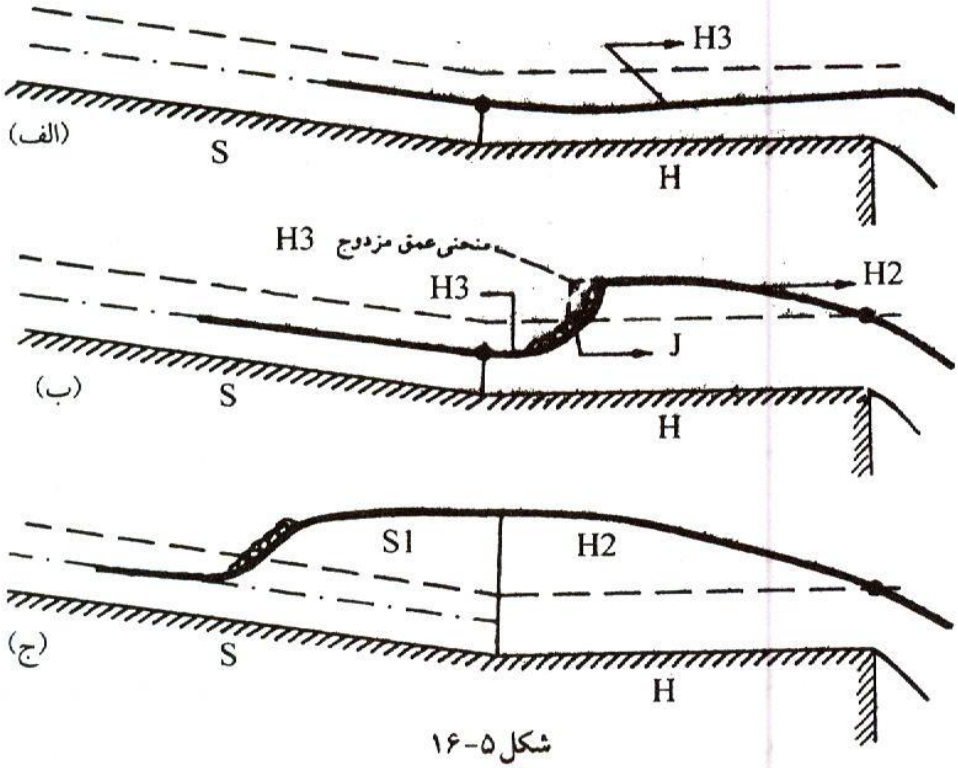
نیمرخهای ممکن که شکل‌گیری هر یک از آنها تابع دبی جریان، زبری و مشخصات هندسی مقاطع و طول کانالهای افقی می‌باشد، در اشکال ۵-۱۶ الف، ب و ج ترسیم گردیده‌اند. در این حالت و به ازاء دبی ثابت، درصورتی‌که طول کانال افقی کم باشد حالت الف محتمل‌تر و چنانچه طول کانال افقی افزایش یابد، امکان شکل‌گیری حالت ب بیشتر است. حالت ج زمانی اتفاق می‌افتد که طول کانال افقی به قدری زیاد باشد که عملاً جریان بالادست تحت تأثیر پایین‌دست قرار گیرد. چنین وضعیتی شبیه پیدایش پرش مستغرق تشریح شده در مثال ۳-۹ می‌باشد.

قضاوت در مورد پیدایش هریک از حالات یاد شده، می‌تواند براساس محاسبات و باتوجه به نقاط کنترل صورت پذیرد به‌عنوان مثال در بررسی حالت ب، می‌توان نیمرخ $H3$ را از محل نقطهٔ کنترل مخصوص به خود (عمق نرمال در کانال با شیب تند) و نیمرخ $H2$ را از مقطع کنترل پایین‌دست (عمق بحرانی بر روی شیب‌شکن) محاسبه نمود. موضع پرش محلی خواهد بود که عمق اولیهٔ پرش از نیمرخ $H3$ با عمق ثانویه از روی نیمرخ $H2$ به نحوی با هم هماهنگ شوند که شرط عمومی

Prozhefa.com



شکل ۵-۱۵



شکل ۵-۱۶

شکل‌گیری پرش یعنی مساوی بودن نیروی مخصوص در مقاطع قبل و بعد از پرش ارضاء شود. می‌توان به ازاء محاسبهٔ نیمرخ $H3$ در هر نقطه، عمق مزدوج آنرا به صورت خط چین ترسیم نمود. محل تقاطع منحنی عمق مزدوج یا نیمرخ $H2$ موضع پرش خواهد بود. در این تحلیل از طول قسمت مواج و آشفتهٔ پرش صرفنظر[1] گردیده و به پرش هیدرولیکی به صورت یک پدیدهٔ کاملاً موضعی نگاه شده است. تعیین طول پرش هیدرولیکی نیاز به مطالعات تجربی و آزمایشگاهی دارد که فصل یازدهم از این مجموعه در این مورد بحث می‌کند.

۱- در صورتی که طول پرش هیدرولیکی از روی مطالعات تجربی معلوم باشد، می‌توان در هر نقطه منحنی عمق مزدوج $H3$ را به اندازهٔ طول پرش به سمت راست منتقل نمود و محل تقاطع منحنی حاصل را با نیمرخ $H2$ تعیین نمود.

Prozhefa.com

مثال ۵-۴

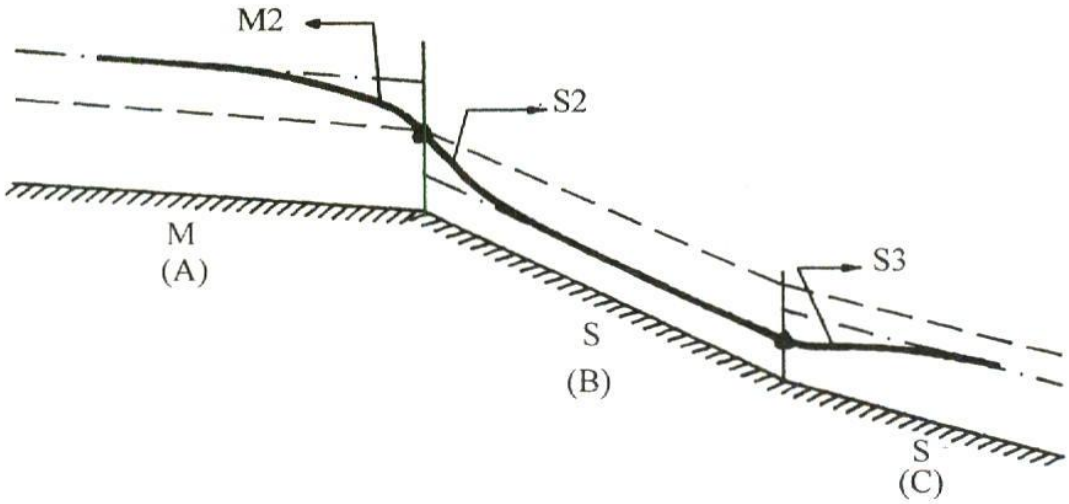
یک کانال ذوزنقه‌ای به عرض کف ۴٫۰m و شیب کناره‌های ۱:۱ دارای سه قسمت A، B و C به ترتیب با شیبهای طولی ۰٫۰۰۰۴، ۰٫۰۰۹، ۰٫۰۰۴ و ضرایب زبری مانینگ ۰٫۰۱۵، ۰٫۰۱۲ و ۰٫۰۱۵ می‌باشد. برای دبی $22.5 m^3/s$ نیمرخهای سطح آب را ترسیم، و مقاطع کنترل را مشخص نمایید. فرض کنید کانالها طولانی بوده و نیمرخها به صورت کامل شکل می‌گیرند.

حل:

برای ترسیم نیمرخ‌های خواسته شده، نخست عمق نرمال و عمق بحرانی کانال در هر یک از بازه‌ها تعیین می‌گردند (جدول ۵-۲). براساس مقایسهٔ عمق نرمال و عمق بحرانی، نوع شیب در هر یک از قسمتها مشخص می‌شود (همان جدول) و با فرض این‌که در قسمت A جریان نرمال برقرار باشد، نیمرخهای تشکیل شده مطابق شکل ۵-۱۷ ترسیم و نقاط کنترل مشخص می‌گردند.

جدول ۵-۲

قسمت	y_0(m)	y_c(m)	نوع شیب
A	۲٫۲۶۴	۱٫۳۱۶	M
B	۰٫۸۱۲	۱٫۳۱۶	S
C	۱٫۱۷۲	۱٫۳۱۶	S



شکل ۵-۱۷