طراحی کانال آبیاری (برگرفته از کتاب سازه‌های انتقال آب در پیرای)

اهداف استفاده از کانال آبیاری: رساندن آب به مزارع، جمع‌آوری آب اضافی زمین (زهکش)، (آبیاری)
آب رسانی شهری، جمع‌آوری فاضلاب، انتقال آب برای اهدافی مثل چرخاندن توربین آبی

نکات قابل ملاحظه در طراحی هیدرولیکی کانال:

شیب طولی: غالباً با شیب زمین یکسان در نظر گرفته می‌شود. گاهی ممکن است شیب طبیعی نامناسب باشد که در این حالت، شیب را ملایم‌تر از شیب زمین و گاهی تندتر از شیب زمین در نظر می‌گیرند.

برای کانال آبیاری سطحی استاندارد، دامنه شیب 0.0001 تا 0.0005 پیشنهاد می‌شود.
0.01% تا 0.05%

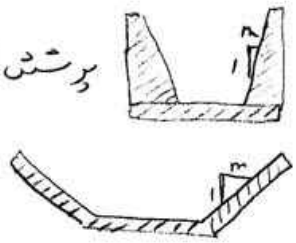
$$\frac{0.1\ mm}{1000\ mm} \rightarrow \frac{0.1\ mm}{1\ m} \rightarrow \frac{0.1\ m}{1\ km}$$

برای اطمینان از اینکه رژیم جریان زیر بحرانی است، $F_r < 0.3-0.4$ در نظر گرفته می‌شود

شیب جانبی m

کانالی که با خاکریزی درست شود.

کانالی که با خاک برداری درست شود.



پوشش کانال باید بتواند در مقابل فشار جانبی خاک مقاومت کند

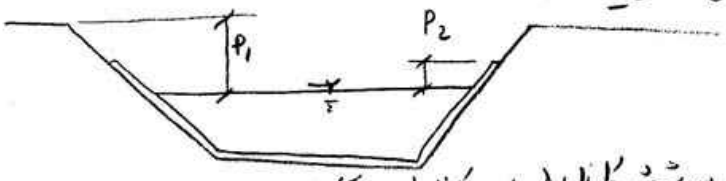
$m \leq 0.75$ →

$m > 0.75$ → پوشش کانال می‌تواند یکپارچه باشد.

$m = 1.5$ → مناسب برای کانال آبیاری با پوشش سبک

ارتفاع آزاد برای دیواره طرح:
فاصله عمودی سطح آزاد آب تا بالای خاکریز کانال
↓
ارتفاع آزاد دیواره (برزنال) (P_1) یا F_b

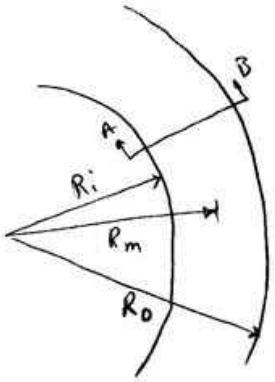
فاصله عمودی سطح آزاد آب تا انتهای پوشش کانال (برای کانال‌های بزرگ)
↓
ارتفاع آزاد پوشش (P_2)



برای تعیین P_1 و P_2 می‌توان از شکل ۲-۱ یا جدول ۲-۲ استفاده کرد.

جدول ۲-۲ مقادیر F_b براساس استاندارد هندوستان

$Q(m^3/s)$	< 0.15	0.15 - 0.75	0.75 - 1.5	1.5 - 9.0	> 9.0
$P_1 = F_b, m$	0.30	0.45	0.60	0.75	0.90



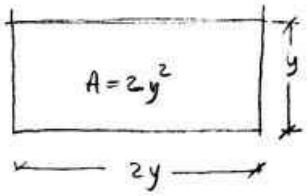
$$\Delta y = \frac{V^2 R_m^2}{2g R_o^2 R_i^2}\left[R_o^2 - R_i^2\right] \quad \rightarrow \text{Chow رابطه}$$

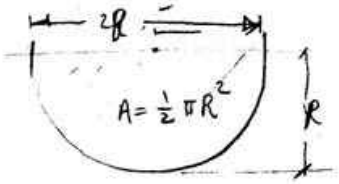
V : سرعت متوسط جریان

بهترین مقطع هیدرولیکی :

مقطعی است که به ازای سطح مقطع جریان ، سرعت و دبی بیشینه گردند.

برای چنین مقطعی پیرامون تر شده کمینه است.





$$\frac{1}{2}\pi R^2 = 2y^2 \Rightarrow R^2 = \frac{4y^2}{\pi}$$

$$R = \frac{2y}{\sqrt{\pi}}$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad , \quad R = \frac{A}{P} \qquad P\downarrow \Rightarrow R^{\uparrow} \Rightarrow Q^{\uparrow}$$

$$P\downarrow \Rightarrow$$

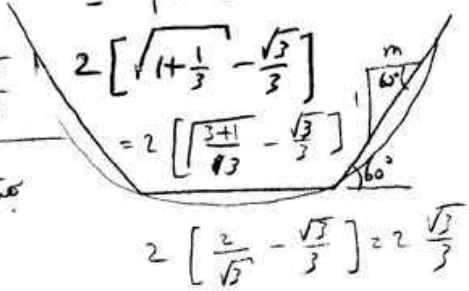
مستطیل : $P = 2y + y + y = 4y$

دایره : $P = \pi R = \pi\left(\frac{2y}{\sqrt{\pi}}\right) = 3.54y < 4y$

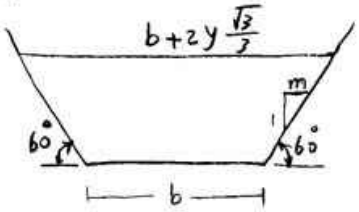
درنتیجه برای سطح مقطع برابر، مقطع نیم دایره، کمینه‌تر از مقطع کمینه مستطیلی است.

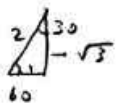
در عمل، ساخت مقطع نیم دایره ، اجرای سخت دارد و به جای آن از مقطع ذوزنقه استفاده می‌شود.

بهترین مقطع هیدرولیکی ذوزنقه $\frac{b}{y} = 2\left[\sqrt{1+m^2} - m\right] = 2\frac{\sqrt{3}}{3}$



بهترین مقطع هیدرولیکی ذوزنقه به ازای $m = \cot 60°$ روی می‌دهد.





$$\tan 30 = \frac{\sqrt{3}}{3} = m$$

$$A = y\left(\frac{1}{2}\right)\left[b + \left(b + 2y\frac{\sqrt{3}}{3}\right)\right] = y\left(\frac{1}{2}\right)\left[2b + 2y\frac{\sqrt{3}}{3}\right] = by + y^2\frac{\sqrt{3}}{3} \quad (1)$$

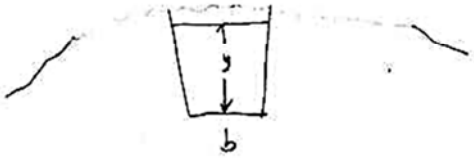
$$b = 2y\left[\sqrt{1+m^2} - m\right] = 2y\left[\sqrt{1+\frac{1}{3}} - \frac{\sqrt{3}}{3}\right] = 2y\left[\sqrt{\frac{4}{3}} - \frac{\sqrt{3}}{3}\right]$$

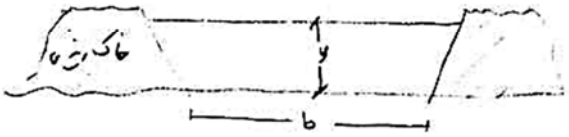
$$b = 2y\left(\frac{2\sqrt{3}}{3} - \frac{\sqrt{3}}{3}\right) = 2y\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right) \quad (2)$$

$(1), (2) \Rightarrow A = 2y\frac{\sqrt{3}}{3}(y) + y^2\frac{\sqrt{3}}{3} = y^2\frac{\sqrt{3}}{3}(2+1) = \sqrt{3}y^2$

نکات قابل توجه درباره بهترین مقطع هیدرولیکی

الف- عمق آب در کانال، کمتر از ارتفاع کانال است. ⇐ بهترین مقطع هیدرولیکی همیشه بهترین مقطع اقتصادی نیست.





برای مقطع ~~دقیق~~ کانال حاصل از خاک برداری $\frac{b}{y}$ کوچکتر اقتصادی است.

برای مقطع کانال حاصل از خاک ریزی $\frac{b}{y}$ بزرگتر اقتصادی است.

ب) با مقطع همیشه، برای دبی مشخص، سرعت بیشتری خواهیم بود. بنابراین لازم است کنترل شود سرعت از حد اکثر سرعت مجاز فراتر نرود.

ج) ابعاد کانال باید اجرایی (قابل ساخت) باشد. عمق آب بیشتر از 4m اغلب مجاز نیست.

حداقل عرض تک برای کانال بتنی 1.2m تا 1.5m است.

د) در مناطق خشک باید $\frac{b}{y}$ را تا حد امکان کوچک در نظر گرفت تا تبخیر کاهش یابد.

حداقل سرعت مجاز

از ۳ نظر می‌توان کمینه سرعت مجاز را بیان کرد:

۱- برای جلوگیری از ته نشین شدن رسوب معلق ۲- برای جلوگیری از رشد گیاهان آبزی

۳- برای جلوگیری از ریخ زدن آب

برای کانال‌های با خاک بسته از نوع { سیلت + ماسه ، سیلت + خاک رس } $V_{min} = 0.41\, y_n^{0.64}$ ، منابع هندوستان

V_{min} : کمینه سرعت ، $\frac{m}{s}$ ؛ y_n : عمق نرمال (متر) ؛ که در آن:

U.S. Bureau of Reclamation

USBR پیشنهاد ~~پیشنهاد~~ . $0.12 < Fr < 0.35$ برای جلوگیری از رسوب گذاری در سایفون

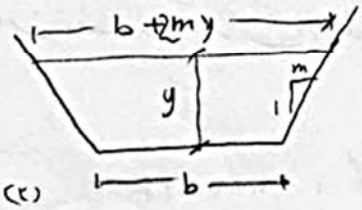
طراحی کانال غیر فرسایشی (دارای پوشش) Design of non-erodible channels

حداکثر سرعت در کانال غیر فرسایشی (جریان فوق بحرانی) { کانال فولادی $10\ \frac{m}{s}$ ، کانال آجرفرش با ملات ماسه سیمان $2.5\ \frac{m}{s}$ ، کانال آجرفرش با پلاستر $4\ \frac{m}{s}$ }

برای جریان زیر بحرانی، به تقریب نصف اعداد فوق برقرار است.

پنج
۲- روش برای طراحی کانال غیر فرسایشی با مقطع ذوزنقه

۱- روش USBR



$$y = \frac{1}{2}\sqrt{A} \Rightarrow 2y = \sqrt{A} \quad \text{یا} \quad 4y^2 = A \qquad (1)$$

y: عمق جریان (m)، A: سطح مقطع جریان (m²)

$$A = \frac{1}{2}\left[b + b + 2my\right]y = (b + my)y = \left(\frac{b}{y} + m\right)y^2 \qquad (2)$$

$$1,2 \Rightarrow 4y^2 = \left(\frac{b}{y} + m\right)y^2 \Rightarrow \frac{b}{y} + m = 4$$

۲- روش هندوستان

$$y = \left(\frac{A}{3}\right)^{0.5} \Rightarrow y^2 = \frac{A}{3} \Rightarrow A = 3y^2 \qquad (3)$$

$$2,3 \Rightarrow \left(\frac{b}{y} + m\right)y^2 = 3y^2 \Rightarrow \frac{b}{y} + m = 3$$

۳- مقادیر ترسیم شده برای b توسط USBR (براساس ملاحظات اقتصادی و اجرایی)

Q, m^3/s	1	5	10	15	20	30	40	50	60	80	100
b , m	1.2	1.8	2.3	2.6	2.9	3.3	3.8	4.2	4.8	6.6	8.0

۴- روش بهترین مقطع هیدرولیکی

ابتدا بهترین مقطع هیدرولیکی انتخاب می‌شود و سرعت مجاز کنترل می‌شود.

۵- b و m براساس تجربه حدس زده و بقیه پارامترها محاسبه می‌گردد.

گام‌های طراحی کانال غیر فرسایشی:

۱- تعیین ضریب زبری (n) با توجه به جنس پوشش کانال و سایر عوامل مؤثر بر ضریب زبری مانند: آبگیرها، پل‌ها و سازه‌های آبر سر راه، مارپیچی بودن کانال و ...

۲- تعیین شیب طولی کانال (So) براساس بهترین خط‌سیر قابل عبور،
تعیین شیب جانبی (m) براساس خاک بستر و نوع پوشش

۳- محاسبه پارامترها و ابعاد کانال با یک از ۵ روش ذکر شده

۴- کنترل سرعت کمینه و سرعت بیشینه

۵- تعیین ارتفاع آزاد از جدول یا نمودار

۶- انتخاب بهترین گزینه (واریانت)

مثال مطلوب است طرح کانال نیمه مرتب بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای با فرض اینکه شیب طولی انتخاب شده $S_0 = 0.0003$ ضریب زبری $n = 0.017$ و دبی جریان $Q = 12 \frac{m^3}{s}$ باشد. قطر متوسط دانه‌های رسوب برازای این طرح $D_s = 0.2_{mm}$ و کانال برای استفاده در آبیاری در نظر گرفته شود.

گام ۱: $n = 0.017$

گام ۲: m مناسب برای کانال بتنی در اشکال آب ۱ تا ۱.۵ است

$S_0 = 0.0003$ $m = 1.5$

گام ۳ و ۴ و ۵ برای ۵ روش انجام می‌شود.

الف) روش USBR

گام ۳ و ۴ USBR

$$\frac{b}{y} = 4 - m = 4 - 1.5 = 2.5$$

$$A = \left(\frac{b}{y} + m\right) y^2 = 4y^2$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+m^2} = y\left[\frac{b}{y} + 2\sqrt{1+(1.5)^2}\right] = 6.1056\,y$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{4y^2}{6.1056y} = 0.655\,y$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0} \Rightarrow 12 = \frac{1}{0.017}(4y^2)(0.655y)^{\frac{2}{3}}\sqrt{0.0003}$$

$$y = 1.67\ m \quad ; \quad b = 2.5y = 4.175\ m \approx 4.2\ m$$

گام ۴

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12\ m^3/s}{4(1.67)^2} = 1.07 \frac{m}{s} > V_{min} \quad \text{o.k.}$$

$$D = \frac{A}{T}, \quad T = b + 2my = 4.2 + 2(1.5)(1.67) = 9.21\ m$$

$$D = \frac{4(1.67)^2}{9.21} = 1.216\ m$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.07}{\sqrt{9.81 \times 1.216}} = 0.31$$

$0.12 < F_r = 0.31 < 0.35$ o.k.

هندسان $V_{min} = 0.41\, y_n^{0.64} = 0.41\,(1.67)^{0.64} = 0.57 \frac{m}{s}$

۵- تعیین ارتفاع آزاد

جدول ۲-۲ $F_b = 0.9$

شکل ۲-۱ $F_b = 0.65$ (DSI)

$F_b = 0.85$ (USBR)

با انتخاب $F_b = 0.83$، ارتفاع کانال $2.5\,m$ خواهد شد.

$P_E = 0.35$

ب) روش هندسی

گام ۳ - هندسی $A = 3y^2$ ، $P = b + 2y\sqrt{1+m^2} = y\left(\frac{b}{y} + 2\sqrt{1+m^2}\right) = 5.1055y$

$\frac{b}{y} + m = 3 \Rightarrow \frac{b}{y} = 1.5$ ($m = 1.5$)

($\frac{b}{y} = 1.5$ ، $m = 1.5$)

$R = \frac{A}{P} = \frac{3y^2}{5.1055y} = 0.5876y$

ماننگ : $12 = \frac{1}{0.017}(3y^2)(0.5876y)^{\frac{2}{3}}\sqrt{0.0003} \Rightarrow y = 1.91\ m$

$b = 1.5y \Rightarrow b = 2.86 \simeq 2.90\ m$

گام ۴ - هندسی $V_{min} = 0.41\, y_n^{0.64} = 0.41(1.91)^{0.64} = 0.62$

$D = \frac{A}{T}$ ، $T = b + 2my = 2.90 + 2(1.5)(1.91) = 8.63$

$D = \frac{3(1.91)^2}{8.63} = 1.27$ $\qquad F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$

$V = \frac{Q}{A} = \frac{12}{3(1.91)^2} = 1.09 > V_{min}$ ok.

$F_r = \frac{1.09}{\sqrt{9.81(\ \ )}} = \frac{0.62}{0.17} = 0.31$ $\qquad 0.12 < F_r = 0.31 < 0.35$ ok.

گام ۵ - هندسی $F_b = 0.90$ جدول $\qquad F_b = 0.85$ USBR $\qquad F_b = 0.65$ DSI

$F_b = 0.84 \Rightarrow y = 1.91 + 0.84 = 2.70\ m$

ج) مقادیر توصیه شده b (USBR)

2.3-2.60

$b = 2.5\ m$

گام ۳ - مقادیر توصیه شده $A = (b + my)y = (2.5 + 1.5y)y$

$P = b + 2y\sqrt{1+m^2} = 2.5 + 2y\sqrt{1+1.5^2} = 2.5 + 3.6055y$

ماننگ : $12 = \frac{1}{0.017}(2.5+1.5y)y\left[\frac{(2.5+1.5y)y}{2.5+3.6055y}\right]^{\frac{2}{3}}\sqrt{0.0003}$

روش سعی و خطا $\qquad y = 1.99 \simeq 2\ m$

کانال مستطیلی توصیه شده USBR

$$V_{min} = 0.41\, y_h^{0.64} = 0.41\,(2)^{0.64} = 0.64$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12}{2(2.5+2\times1.5\times2)} = 1.10 > V_{min} \quad \text{o.k.}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{2(2.5+2\times1.5\times2)}{2.5+2\times1.5\times2} = \frac{11}{8.5} = 1.29$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.10}{\sqrt{9.81\times1.29}} = 0.27$$

$0.12 < Fr = < 0.35$ o.k.

کانال ۵ (شیب توصیه شده USBR)

$$F_b = 0.80 \rightarrow y = 2.80$$

۲) روش مجرای مقطع هیدرولیکی

کانال ۱ $n = 0.017$ کانال ۲ $m = \frac{\sqrt{3}}{3}$ برای مقطع نیمه‌شش‌ضلعی

کانال ۲ مقطع نیمه‌شش‌ضلعی $A = \sqrt{3}\,y^2$ $\quad R = \frac{A}{P}$ $\quad P = b + 2y\sqrt{1+m^2}$, $R = \frac{y}{2}$

مانینگ $\quad 12 = \frac{1}{0.017}\left[\sqrt{3}\,y^2\right]\left(\frac{y}{2}\right)^{\frac{2}{3}}\sqrt{0.0003}$

$$y = 2.44 \text{ m}$$

$$\frac{b}{y} = 2\left[\sqrt{1+m^2} - m\right] \Rightarrow b = 2(2.44)\left[\sqrt{1+\frac{1}{3}} - \frac{\sqrt{3}}{3}\right] = 4.88\frac{\sqrt{3}}{3} \Rightarrow b = 2.82$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12}{\sqrt{3}\,y^2} = 1.16 \frac{m}{s} > V_{min} \text{ o.k.}$$

کانال ۳ مقطع نیمه‌شش‌ضلعی $V_{min} = 0.41\, y^{0.64} = 0.47$ ~~0.47~~ 0.73

$$D = \frac{A}{T} = \frac{3}{4}y = 1.83 \qquad F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.16}{\sqrt{9.81\times1.83}} = 0.27$$

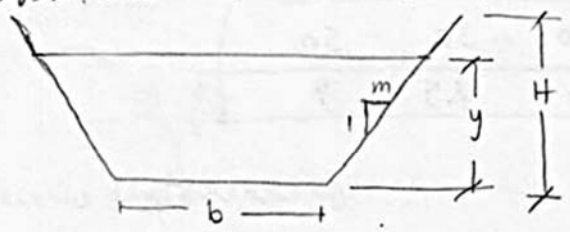
$0.12 < F_r$ 0.27 < 0.35 o.k.

کانال ۵ مقطع نیمه‌شش‌ضلعی $y = 2.44$

$F_b = 0.76$

$H = y + F_b = 3.20$

گام ۶: بررسی و انتخاب بهترین گزینه . در اینجا سطح مقطع تمام شده (با احتساب ارتفاع آزاد) را مورد توجه قرار می دهیم



$$A_{total} = H(b + mH)$$

$\sqrt{3} = 1.732$

	روش USBR	روش بهداد و ستان	روش مقادیر توصیه شده USBR	مقطع بهینه
A_{total}	$2.5(4.2+1.5\times2.5)$ $= 19.875\ m^2$	$2.7[2.86+1.5\times2.7]$ $= 18.657$	$2.8[2.5+1.5\times2.8]$ $= 18.760$	$3.20[2.82+\frac{\sqrt{3}}{3}\times3.20]$ $= 14.93$
	روش مقادیر تجربی b و m	$3H^2 = 21.87$		$\sqrt{3}H^2$ 17.70
A_{total}	$2.70[3+1.5\times2.70]$ $= 19.035$			

۵- روش انتخاب مقادیر b و m براساس تجربه:

$b = 3m$, $m = 1.5$

گام ۱: $n = 0.017$ گام ۲: $S_0 = 0.0003$, $m = 1.5$

گام ۳: $Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S_0} \Rightarrow 12 = \frac{1}{0.017} \frac{(y[3+1.5y])^{5/3}}{(3+2y\sqrt{1+1.5^2})^{\frac{2}{3}}} \sqrt{0.0003}$

حل به روش سعی و خطا: $y = 1.88\ m$

گام ۴: $V_{min} = 0.41(1.88)^{0.64} = 0.61$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{12}{\underbrace{1.88[3+1.5\times1.88]}_{10.942}} = 1.10 > V_{min}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{10.942}{\underbrace{3+2(1.5)(1.88)}_{8.64}} = 1.26\ m \qquad F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{1.10}{\sqrt{9.81\times1.26}} = 0.31$$

$0.12 < Fr < 0.35$

گام ۵: $H = 1.88 + 0.82 \rightarrow 2.70$

$\downarrow$

F_b

طراحی کانال‌های فرسایش (خاکی) ص ۴۷

Design of erodible channels:

مثال: کانال کارائیکم به طول 800 km از رودخانه آمو دریا به صحرای ترکمنستان و دریاچه سریقامیش

دو توصیه براساس تجربیات طراحی کانال فرسایش:

انتخاب $\frac{b}{y}$ مناسب

۱- حداکثر شیب طرف مجاز کف کانال براساس (شکل ۲-۲) این توصیه به طراحی مقطع پایدار کمک می‌کند.

۲- انتخاب نسبت $\frac{b}{y}$ مناسب (معمولاً برای مناطقی که تبخیر کم باشد) در این حداکثر $\frac{b}{y}$ 2.5 و در شرایط خاص تا ۵

Q m^3/s	0.3	3	5	10	15	20	30	50
b/y	2	4	4.5	5	6.5	7	7.5	9

دو روش طراحی کانال فرسایشی

الف-۱ روش حداکثر سرعت مجاز براین اساس است که در کانال فرسایشی روی ندهد.

الف-۱-۱ جدول ۲-۷ حداکثر سرعت مجاز در کانال خاکی (USBR) تا عمق آب 1m برحسب بافت خاک

الف-۲ روش محققان روسی
- خاک غیر چسبنده ← حداکثر سرعت تابع قطر متوسط ذرات
- خاک چسبنده ← حداکثر سرعت تابع بافت خاک و وزن مخصوص خاک

$e = \frac{V_{void}}{V_{solid}}$ نسبت حجم خاک

شکل ۲-۳ برای خاک غیر چسبنده، عمق آب 1m شکل ۲-۴ برای خاک چسبنده، عمق آب 1m

شکل ۲-۵ ضریب تصحیح سرعت برحسب عمق متوسط جریان

الف-۳ رابطه تقریبی برای محاسبه حداکثر سرعت مجاز در خاک غیر چسبنده بیشینه

$$V_{max} = 3\left(\frac{d_{50}}{D_{max}}\right)^{0.2}(y)^{0.5}\left[d_{50}+0.0014\right]^{0.3}$$

d_{50} : قطر متوسط دانه‌های خاک بستر کانال (متر)

D_{max} : بیشینه قطر دانه‌های رسوب در آب (متر)

y : عمق آب (متر) ، V_{max} : حداکثر سرعت مجاز $(\frac{m}{s})$

ادامه الف-۳ رابطه تقریبی محاسبه بیشینه برای خاک چسبنده

$$V_{max} = K(R)^{\frac{1}{2+R}}$$

در این رابطه: V_{max} : بیشینه سرعت مجاز $(\frac{m}{s})$

$K = \begin{cases} 0.14-0.6 & \rightarrow \text{برای خاک با تراکم کم} \\ 0.8-0.9 & \rightarrow \text{برای خاک با تراکم متوسط و زیاد} \end{cases}$

R : شعاع هیدرولیک برحسب متر

الف-۴ روش USBR کاربرد $F_r < 0.35$ باشد تا فرسایش در کانال ایجاد نگردد.

گام‌های طراحی کانال خاکی به روش حداکثر سرعت مجاز

۱- شیب کانال بر اساس توصیه شکل ۲-۲ تعیین شود

۲- از خاک سینه نمونه برداری شده و خصوصیات مانینگ تعیین شود.

۳- شیب جانبی کانال با توجه به نوع خاک از جدول ۲-۱ تعیین شود.

۴- حداکثر سرعت مجاز با توجه به روش‌های گفته شده بر آورد شود.

۵- بر اساس معادله مانینگ، عرض بستر (b)، عمق آب (y) و سپس $\frac{b}{y}$ حساب شود.

۶- چنانچه از منحنی‌های ۲-۳ و ۲-۴ استفاده شده باشد، سرعت مجاز با استفاده از شکل ۲-۵ تصحیح و دوباره b و y و $\frac{b}{y}$ حساب شود

۷- اگر $\frac{b}{y}$ در حد معقول باشد، آنگاه گام ۸ اجرا شود و در غیر این صورت با انتخاب $\frac{b}{y}$ مناسب، ابعاد کانال و شیب کف کانال طوری تغییر داده می‌شود که برای کانال مشکل پیش نیاید.

۸- بیشینه سرعت مجاز برای ته نشین نشدن رسوبات کنترل شود.

۹- ارتفاع آزاد طوری انتخاب می‌شود که (عمق آب + ارتفاع آزاد) عددی رند باشد.

مثال مطلوب است طرح و مقاطع کانال ذوزنقه‌ای در یک روش بیشینه سرعت مجاز $Q = 8 \frac{m^3}{s}$، در صورتی که خاک بستر از رس سنگین (PI > 10) با رطوبت نوکر 0.67 تشکیل شده باشد. شیب کف کانال $S_0 = 0.0016$ فرض شود. سینه کانال مستقیم و رسوبات در آب با قطر متوسط $D = 0.2 \text{ mm}$ فرض شود.

گام ۱ شیب کف کانال با توجه به شکل ۲-۲ مناسب است. $S_0 = 0.0016 < S_{max} = 0.006$

گام ۲ برای بستر رس سخت $n = 0.025$ جدول ۲-۷

گام ۳ شیب جانبی ← جدول ۲-۱ $m = 1$

گام ۴ برای خاک چسبنده، بیشینه سرعت مجاز برای خاک رس سنگین از شکل ۲-۴ بدست می‌آید.

$V_{max} = 1.0 \frac{m}{s}$

از جدول ۲-۷، بیشینه سرعت مجاز برای آب حامل رسوب $1.14 \frac{m}{s}$ و برای آب حامل رسوب $1.52 \frac{m}{s}$ خوانده می‌شود. حداکثر سرعت مجاز را برابر 1.3 (متوسط دو عدد) می‌گیریم.