مجراهای باز؛محاسبه کانال های آب بر گیلان با سطح مقطع متفاوت

Open channel flow

کانال آب بر فومن که
شالیزار های گیلان را مشروب می کند

این پروژه مربوط می شود به کانال های گیلان، طرح و محاسبه
این کانال ها با سطح مقطع متفاوت

تحقیق ومطالعه در باره رودخانه ها و کانال ها و فاضل آب ها و مجراهای سر پوشیده(که جریان در این مجرا نیمه پر است) را اصولاً مجراهای باز می گویند.
مجراهای باز به مجراهایی می گویند که یک طرف سیال با سطح کانال در تماس بوده و طرف دیگرش با هوا در تماس باشد؛ بنابراین کانال های باز چون با هوا تماس دارند،لذا همیشه تحت تأثیر فشار دائم آتمسفر قرار می گیرند؛به آن مجرهای باز می گویند ؛چون این کانال ها شیب دارند ،لذا تحت تأثیر گرانش زمین ،سیال جریان می یابد. مجراهای باز این ها هستند.

۱- رودخانه ها و نهرهای طبیعی
۲-کانال های خاکی مصنوعی
۳-کانال های آستر شده
۴-کانال های سنگی ویا بتنی مصنوعی(Artificial open channel)
۵-کاریزها

جریان سیال در مجرای باز ممکن است بی نظم و بی ثبات باشد و هم چنین سطح مقطع و عمق کانال ممکن است مکان به مکان دیگر فرق بکند در نتیجه مشخصات جریان سیال در مجرای باز ممکن است با هم فرق بکند، اما وجود تماس سطح آزاد سیال با هوا و سطح مقطع متفاوت در مکان های مختلف ،آنالیز این چنین مسائلی را مشکل می سازد. البته جریان سیال در کانال باز با صورت های مختلف پدیدار می گردد ما در اینجا به چهار نوع آن اکتفا می کنیم که آنها عبارتند از

1. جریان یکنواخت (Steady)
2. جریان غیریکنواخت (unsteady)
3. جریان یکنواخت یکدست (Steady- uniform)
4. جریان یکنواخت غیر یکدست (Steady-non uniform)

این جریان های سیال در کانال باز بعداً ممکن است بصورت جریان آرام (Tranguil) و یا جریان تند (Rapid) مشخص شوند.

۱– جریان یکنواخت (Steady)

جریان یکنواخت به جریان کانالی گویند که به زمان وابستگی نداشته باشد یعنی موقعیت هر نقطه از سیال با گذشت زمان تغییر نکند. ($\frac{dv}{dt}= 0$)

۲– جریان غیریکنواخت

جریان غیریکنواخت به جریان کانالی گویند که به زمان وابستگی داشته باشد یعنی جریان غیریکنواخت وقتی اتفاق می افتد که موقعیت هر نقطه از سیال با گذشت زمان تغییر کند. ($\frac{dv}{dt} \neq 0$)

۳– جریان یکنواخت یکدست

این جریان یکنواخت یکدست در یک کانال وقتی اتفاق می افتد که کانال بسیار طولانی باشد و سطح مقطع کانال و عمق کانال
هم در تمام طول مسیر کانال ثابت باشد در چنین جریانی شیب سطح آزاد سیال موازی شیب بستر کانال خواهد بود.

در جریان های یکنواخت یکدست بده ثابت بوده و در هر مکانی از کانال بده یکی خواهد بود. هم چنین در این حالت جریان ممکن است " آرام " (Tranquil) باشد و این وقتی اتفاق می افتد که سرعت سیال در کانال به اندازه کافی کم بوده بطوریکه موج هایی که در پایین کانال بوجود آمده اند قادر باشند بسمت بالای کانال حرکت نموده و وضع خطوط جریان بالای کانال را مغشوش نموده و تغییر بدهند و بنابراین در جریان آرام جریان بوسیله خطوط پایین کانال کنترل می شود.

وقتی جریان را تند (Rapid) می گویند که سرعت سیال در کانال به اندازه کافی بالا بوده بطوریکه موج هایی که در پایین کانال بوجود آمده اند قادر نباشند بسمت بالای خطوط جریان کانال حرکت کند. بنابراین در جریان تند جریان بوسیله خطوط جریان بالای کانال کنترل می شود ،یعنی تغییرات موجی بالای کانال قادرند تغییرات موجی پایین کانال را جاروب کنند.

وقتی که جریان را بحرانی (Critical) می گویند که سرعت سیال با سرعت موج های بوجود آمده در کانال با هم مساوی باشند.

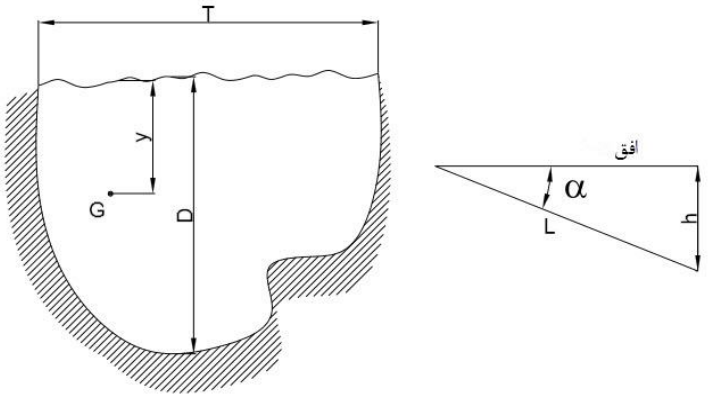
۴ – جریان غیریکنواخت و غیریکدست

جریان یکنواخت و غیریکدست وقتی اتفاق می افتد که عمق و سطح مقطع کانال ثابت نباشد در این صورت سرعت سیال در کانال مکان به مکان فرق خواهد کرد و در نتیجه سرعت سیال در کانال از آرام به تند و گاهی از تند به آرام تغییر پیدا خواهد کرد.

اجزای یک کانال

قبل از اینکه مسایل جریان سیال در کانال را مورد بررسی قرار دهیم،بهتر است که اصطلاحات موجود در پروژه را تعریف کنیم

در شکل روبرو سطح مقطع یک کانال باز است



سطح مقطع یک کانال

۱. مساحت A که مساحت سطح مقطع جریان کانال را مساحت کانال می گویند.
2. عرض کانال را به T نمایش می دهند
3. عمق ماکزیمم D ماکزیمم عمق موجود در کانال را عمق ماکزیمم می گویند.
4. عمق مرکز ثقل y فاصله سطح سیال از کانال تا مرکز ثقل سطح مقطع سیال کانال را عمق مرکز ثقل کانال می گویند، به عبارت دیگر فاصله مرکز ثقل مساحت A از سطح سیال.

1. محیط خیس شده P این طول همانطور که از اسمش پیداست برابر با طول خیس شده کانال یعنی طول تماس سیال با خود کانال.
2. شعاع هیدرولیک R برابر با نسبت مساحت A به محیط خیس شدهp و آن را به Rنمایش می دهند.

$$R = \frac{A}{P}$$

1. – شیب کانال همانطور که از اسمش پیداست برابر است با زاویه میل کانال نسبت به افق و آن را به S نمایش می دهند، مثلاً شیب کانال S برابر است با.

$$S = \frac{h}{L}$$

که h افت ارتفاع برای هر L طول کانال است. مثلاً برای هر 1000 متر کانال اگر یک متر ارتفاع کانال افت پیدا کند شیب کانال مساوی است با

$$S = \frac{1}{1000} = 0.001$$

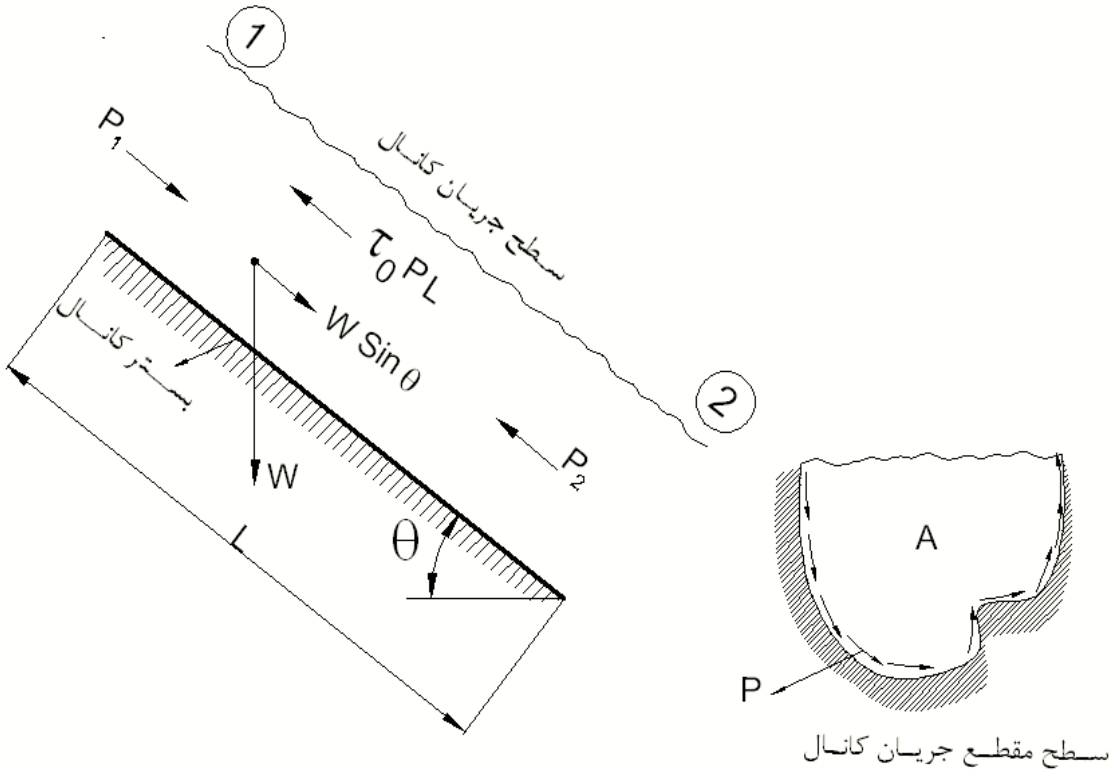
البته همانطور که می دانیم افت ارتفاع در یک لوله برابر با انرژی تلف شده در لوله و بنابراین شیب لوله که همان " شیب گرادین " می گویند برابر خواهد بود با

$$S = \frac{h_f}{L}$$

و باز در اینجا می گوئیم که h_f همان افت ارتفاع و L طول کانال خواهد بود.

محاسبه جریان سیال در کانال

برای بدست آوردن سرعت سیال در کانال کافی است که سطح مقطع کانال و عمق کانال را ثابت فرض بگیریم در این صورت ابن نوع جریان را یکنواخت و یکدست (Steady-uniform) می گویند. خاصیت این نوع جریان این است که چون بده در تمام نقاط آن یکی است و در ضمن سطح مقطع آن ثابت است پس می توان نتیجه گرفت که سرعت سیال در کانال عدد ثابتی خواهد بود و شکل پایین یک کانال به طول L و به عمق y را در نظر می گیریم.



جریان کانال

در این شکل بستر کانال با سطح افق زاویه θ می سازد و بر اثر این سطح شیب دار است که سیال بر اثر قوانین سطح شیب دار بطرف پایین جریان می یابد.
وزن سیال به طول L برابر با $W = ALρ$ خواهد بود و جلوی حرکت این سیال را نیروی تنش برشی که بر سطح جداره داخلی کانال وارد می شود می گیرد و آن نیرو برابر است با $PL\tau_0$ وهم چنین قسمت هاشور زده جریان سیال را مساحت سطح مقطع می گویند و با علامت A نشان می دهند و محیط خیس شده کانال را به علامت P نشان می دهند. در شکل بالا قانون دوم نیوتن را می توان نوشت، پس داریم.

$$\sum F = ma$$

$$P_1A - P_2A + Sin\theta - \tau_0 \mathrm{PL} = \mathrm{ma}$$

اما چون شتاب برابر با مشتق سرعت است پس $a = 0$ خواهد بود

$$P_1A - P_2A + Sin\theta = \tau_0 \mathrm{PL}$$

اما قانون برنولی را ما بین مرحله ۱ و۲ می نویسیم.

$$\frac{{V_1}^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} + Z_1 = \frac{{V_2}^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho} + Z_2$$

برنولی را مرتب می کنیم

$$\frac{P_1}{\rho} - \frac{P_2}{\rho} + Z_1 - Z_2 = \frac{{V_2}^2}{2g} - \frac{{V_1}^2}{2g}$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho} + Z_1 - Z_2$$

اما اختلاف ارتفاع ما بین دو مرحله ۱ و۲برابر است با

$$L\,Sin\theta = Z_1 - Z_2$$

$$h_f = \frac{\Delta P}{\rho} + L\,Sin\theta$$

با ادغام معادلات بالاو با در نظر گرفتن $R = \frac{A}{P}$ داریم.

$$L\rho\,Sin\theta + \Delta P = \frac{\tau_0}{R} L$$

$$\rho\,h_f + \Delta P = \frac{\tau_0}{R} L$$

اما h_f/L انرژی تلف شده در هر Lمتر کانال است که این h_f/L را شیب کانال هم می گویند، پس

$$S = \frac{h_f}{L}$$

$$\rho S = \frac{\tau_0}{L}$$

اما تنش برشی که در جدار کانال بوجود می آید برابر است $\tau_0 = \lambda \frac{\rho}{2} V^2$

با چون سرعت در کانال یکنواخت است پس سرعت ها برابر است

که λ ضریب متغیر بدون دیمانسیون است پس داریم

$$\rho S = \frac{1}{R} \lambda \frac{\rho}{2} V^2$$

$$V = C\sqrt{RS}$$

معادله بالا بنام معادله شزی معروف است که ایشان متخصص فرانسوی است که در سال ۱۷۶۹این فرمول را انتشار دادند همانطور که مشاهده می کنید ضریب (C) عدد ثابتی نیست ، متغیر است و این ضریب تابعی است از عدد رینولد و ناهمواری نسبی کانال و چگونگی نوع تشکیل کانال (یعنی سطح مقطع با اشکال هندسی مختلف) بعد از ۱۰۰ سال آقای مانینگ(Manning) فرمول زیر را با آزمایشات مکرر پیدا نمود

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

که این معادله به فرمول مانینگ معروف است وn ناهمواری نسبی کانال و R شعاع هیدرولیکی کانال است از ادغام دو معادله می توان نتیجه گرفت که سرعت سیال در کانال برابر است با

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

معادله بالا را فرمول مانینگ می گویند که در اینجا V بر حسب m/sec و Rبر حسب متر خواهد بود و n ناهمواری نسبی کانال برای اجسام و سطح های مختلف است که در جدول صفحه بعد آمده است و بر حسب $sec/m^{1/3}$ می باشد

حداقل سرعت مجاز در کانال های غیر فرسایشی به سرعتی گفته می شود که می بایست در کانال تامین شود تا مواد معلق که همراه آب وجود دارند در کانال ته نشین نشوند؛همچنین این سرعت اجازه ندهد جلبک ها و گیاهان آبزی مشابه در کانال استقرار یافته و رشد نمایند

رسوب سیلیت و مواد معلق در کانال ویا رشد جلبک ها باعث می شوند که کانال ازنظر سطح مقطع تغییر شکل بدهد و جریان آب را از حالت یکنواخت خارج کند. تجربه نشان داده است که حداقل سرعت در کانال های غیر فرسایشی باید از $0.6\frac{m}{Sec}$ تا $0.9\frac{m}{Sec}$ می باشد

معادل مانینگ که سرعت آب توسط آن محاسبه می شود نشان می دهد که سرعت تابعی از شیب کانال است و چون شیب کانال بسته به شیب زمین است که کانال در آن ساخته می شود،بنابراین مهندس طراح باید کنترل کند که آیا شیب می تواند چنین سرعتی را در کانال ایجاد کند که از حداقل سرعت مجاز کمتر نباشد یا نه؛به عبارت دیگر باید شیب زمین(کندن زمین) را طوری تنظیم کند که شیب طراحی کانال بر آورده شود.

ناهمواری نسبی n ضریب فرمول مانینگ $Sec/_{m^{1/3}}$

جنس سطح	n	جنس سطح	n
چوب صاف شده	0.009	کانال و رودخانه در شرایط بستر بد با سنگ ها و علف های هرزه	0.030
چوب نجاری	0.012	کانال خاکی یا رودخانه با سنگ ریزه و پر پیچ خم و عمق های عمیق	0.040
چوب معمولی	0.013	رودخانه آرام و گل آلود	0.055
سمنت خالص	0.010	بتن صاف	0.014
سیمان تازه	0.012	لوله های آستر شده و یا آلوار نجاری	0.012
سیمان کهنه(بتن)	0.014	چدن آستر شده و یا فولاد و فولاد جوش	0.015
ساروج با یک ثلث شن وصفحات آهن و فولاد	0.011	فولاد پرچ شده	0.018
سفالینه،سنگ ساختمانی آجر کاری خوب	0.013	ورق های آهنی	0.015
چدن	0.015	فاضل آب با شرایط خوب و بتن معمولی	0.016
آجر کاری ناهموار	0.016	فاضل آب خاکی	0.015
آجر معمولی	0.015	فاضل آب سیمانی	0.015
آجر کاری-سنگ نتراشیده	0.017	لاستیک	0.025
شن ریزه که خوب سفت شده است	0.017	زمین	0.025
کانال خاکی در شرایط خوب یا سنگ فرش شده	0.022-020	زمین با سنگ ریزه و قلوه سنگ	0.035
کانال خاکی و رودخانه در شرایط خوب	0.025	زمین شنی	0.029
کانال خاکی و رودخانه در شرایط بد	0.035		

دانشجویان عزیز باید بخاطر بسپارند که فرمول مانینگ یک فرمول تجربی است یعنی از راه آزمایش بدست آمده است و تقریباً برای بیشتر کانال ها مورد استفاده قرار می گیرد، فرمول هایی که برای بدست آوردن سیال در کانال استفاده می شود به اندازه فرمول مانینگ دقیق نیستند بنابراین این فرمول را ما بیشتر توصیه می کنیم ثانیاً یک فرمول دیگر است که در اینجا به اختصار شرح می دهیم و آن فرمول هیزن ویلیامز (Hazanen-williams) است و آن برابر است با

$$V = 0.85\ C\ R^{0.63}\ S^{0.54}$$

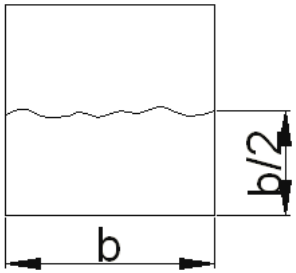
که C بنام ضریب هیزن – ویلیامز است و جدول در صفحه بعد آمده است.

C ضریب فرمول هیزن ویلیام

شرح لوله	ضریبC
خیلی صاف و مستقیم	120
چدن تازه	130
چدن 5 ساله	120
چدن 10 ساله	110
چدن 20ساله	90-100
چدن 30 ساله	75-90
لوله های بتنی	120-140
لوله های پلاستیک	150
لوله های ایرانیتی	120-140
فولاد پرچ شده نو	110
لوله های کهنه و در شرایط بد	60-80

مسئله 1 :

یک کانال بتنی مربع شکل طوری ساخته شده است که برای هر ۱۰۰۰ متر کانال اختلاف ارتفاع آن ۱۰ متر است اگر بده این کانال ۹۰۰۰ لیتر در دقیقه باشد مطلوبست عرض کانال را وقتی که آب نیمه پر در آن جریان داشته باشد.



$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$S = {}^{10}/_{1000} = 0.01$$

$$n \rightarrow \text{بتن} \rightarrow 0.014$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{b^2}{2}}{2b} = \frac{b}{4}$$

$$P = \frac{b}{2} + \frac{b}{2} + b = 2b$$

$$A = bx\frac{b}{2} = \frac{b^2}{2}$$

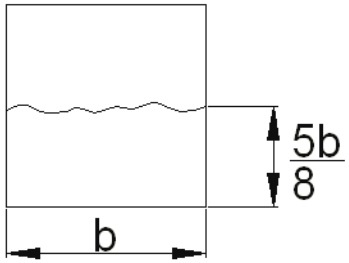
$$Q = \frac{9000}{60000} = 0.15 \quad {}^{m^3}/_{sec}$$

$$V = \frac{0.15}{\frac{b^2}{2}} = \frac{0.3}{b^2}$$

$$\frac{0.3}{b^2} = \frac{1}{0.014}\left(\frac{b}{4}\right)^{2/3}(0.01)^{1/2}$$

$$b = 0.43 \quad m$$

در مسئله ا اگر قرار باشد آب در کانال$\frac{5}{8}$ پر جریان بیابد مطلوبست سرعت آب در کانال و مساحت کانال را



$$P = \frac{5b}{8} + \frac{5b}{8} + b = \frac{9b}{4}$$

$$A = \frac{5}{8}b^2$$

$$V = \frac{0.15}{\frac{5}{8}b^2} = \frac{0.24}{b^2}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{5}{8}b^2}{\frac{9b}{4}} = \frac{5}{18}b$$

$$V = \frac{1}{n}\, R^{2/3}\, S^{1/2}$$

$$\frac{0.24}{b^2} = \frac{1}{0.014}\left(\frac{5}{18}b\right)^{2/3} (0.01)^{1/2}$$

$$b = 0.386\ m$$

$$A = (0.386)^2 x \left(\frac{5}{8}\right) = 0.0931\ m^2$$

$$V = \frac{0.24}{(0.386)^2} = 1.61 \quad {}^{m}/_{\sec}$$

تعیین بهترین اظلاع یک کانال

همانطور که مشاهده کردیم آب در یک کانال می تواند با یک سرعت ثابت و یا با یک بده ثابت حرکت کند و آن بستگی به نوع سطح مقطع کانال و ناهمواری های نسبی کانال دارد بنابراین چون سطح مقطع کانال می تواند انتخابی باشد می توان اضلاع این کانال را طوری انتخاب نمود که یا سرعت در کانال ماکزیمم شود یا بده در کانال ماکزیمم گردد برای هر یک از این دو صورت اضلاع کانال با هم فرق خواهند کرد بنابراین این بستگی به نوع طرح دارد که شما بخواهید از آن برای مزارع یا باغ و غیره استفاده کنید ممکن است در جائی مثلاً مزارع برنج حجم آب چون مهم است باید اضلاع کانال را برای بده ماکزیمم در نظر گرفت و

یا در کانالی که می خواهیم سنگ ریزه و قلوه سنگ های ته کانال را به سرعت شسته شده و بیرون برود پس اضلاع کانال را برای سرعت ماکزیمم در نظر گرفت و می دانیم که سرعت در کانال برابر است با

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = K R^{2/3} = \mathrm{K}\left(\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{P}}\right)^{2/3}$$

برای اینکه سرعت کانال ماکزیمم شود کافی است که $\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{P}}$ ماکزیمم شود پس برای تعین ماکزیمم کانال مشتق سرعت (dV) را برابر صفر قرار می دهیم.پس نتیجه می شود که

$$dV = 0 = K\frac{2}{3}\left(\frac{A'P - P'A}{P^2}\right)\left(\frac{A}{P}\right)^{-1/3}$$

$$A'P = P'A$$

یعنی برای اینکه سرعت در کانال ماکزیمم شود کافی است که مشتق مساحت را نسبت به یک ضلع متغیر گرفته ضربدر محیط خیس شده بکنیم که این باید برابر باشد با مشتق محیط خیس شده نسبت به همان ضلع متغیر ضربدر مساحت کانال یعنی معادله بالا باید درباره آن صدق کند.همچنین بده کانال برابر است با

$$Q = AV = AK\left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} K\left(\frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}\right)$$

برای اینکه Q ماکزیمم شود کافی است که A/P ماکزیمم شود پس dQ را برابر با صفر قرار می دهیم.

$$dQ = 0 = K\left(\frac{\frac{5}{3}A'A^{2/3}\,P^{2/3} - \frac{2}{3}P'\;P^{-1/3}\;\;A^{5/3}}{\left(P^{2/3}\right)^2}\right)$$

$$\frac{5}{3}A'A^{2/3}\,P^{2/3} = \frac{2}{3}P'\;P^{-1/3}\;\;A^{5/3}$$

طرفین معادله را در $P^{1/3}$ ضرب می کنیم داریم

$$5A'\,P = 2P'\,A$$

وقتی که بده ماکزیمم می شود رابطه بالادر آن صدق می کند همچنین این رابطه را می توان بصورت دیگر نوشت یعنی

$$\frac{A'}{A} = \frac{2}{5}\,\frac{P'}{P}$$

$$\ln A = \frac{2}{5}\,ln\,P + K$$

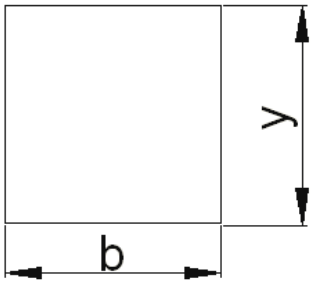
$$A = C\,P^{2/5}$$

ضریب C عدد معلومی است و این رابطه کلی است وقتی کهQ ماکزیمم می شود.

گاهی طراح می خواهدکه مصارف مواد در کانال به حداقل به رسد به مثال زیر توجه کنید.

اضلاع یک کانال که سطح مقطع آن که بشکل مستطیل است طوری انتخاب کنید که سطح جانبی کانال به حداقل خود برسد.

عمق کانال را متغیر در نظر گرفته و برابر yمی گیریم و عرض کانال را به bنمایش می دهیم.



$$P = b + 2y$$
$$A = by$$

b را حذف می کنیم و داریم

$$A = (P - 2y)(y) = py - 2y^2$$

$$py - 2y^2 = C\ P^{2/5}$$

از معادله بالا مشتق گرفته و dp/dy را برابر صفر قرار می دهیم

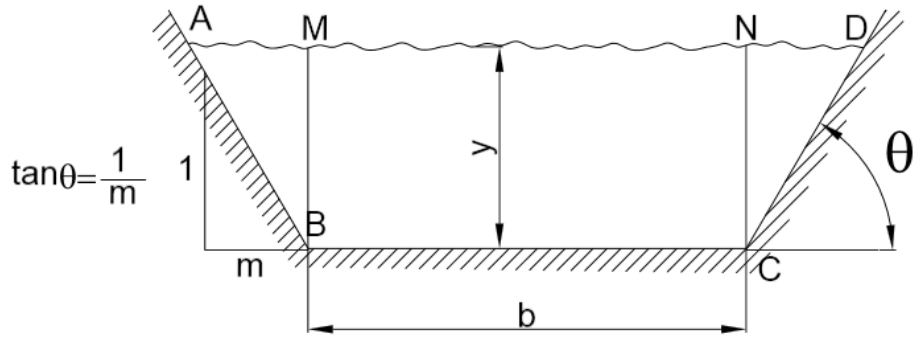
$$\frac{dp}{dy}y + P - 4y = C\frac{2}{5}\frac{\mathrm{dp}}{\mathrm{dy}}\ P^{-3/5}$$

$$p— 4y = 0$$
$$b + 2y - 4y = 0$$

$$y = \frac{b}{2}$$

این موضوع بما نشان می دهد که در کانال مستطیل شکل وقتی سطح جانبی کانال مینیمم می شود(یعنی مصرف مواد به حد اقل می رسد) که عمق آب در کانال نصف عرض کانال شود.

اضلاع یک کانال که سطح مقطع آن بشکل ذوزنقه متساوی الساقین است طوری انتخاب کنید که سطح جانبی کانال به حداقل خود برسد.



در این کانال ضلع b را ثابت فرض گرفته و y را متغیر در نظر می گیریم.

$$\tan\theta = \frac{y}{ND} = \frac{1}{m} \quad \rightarrow \quad ND = ym$$

$$A = \frac{1}{2}(y)(2b + 2ym) = y(b + my)$$

$$Sin\theta = \frac{CN}{CD}$$

اما داریم

$$CD = y\sqrt{1 + m^2}$$

بعد از انجام عملیات مثلثاتی داریم

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

محیط خیس شده

$$A = CP^{2/5}$$

حال در معادله روبرو mرا ثابت فرض می گیریم و dp/dy را مساوی صفر قرار می دهیم.

$$CP^{2/5} = y(p - 2y\sqrt{1+m^2} + my)$$

$$\frac{dp}{dy}y + p - 4y\sqrt{1+m^2} + 2\text{my} = \frac{2}{5}C\frac{dp}{dy}P^{-3/5}$$

بعد از قرار دادن $\frac{dp}{dy} = 0$ و خلاصه کردن معادله داریم

$$p = 4y\sqrt{1+m^2} - 2\text{my}$$

هم چنین در معادله روبرو yرا ثابت فرض کرده و dp/dm را مساوی صفر قرار می دهیم.

$$\frac{dp}{dm}y - 2y^2x\frac{2m}{2\sqrt{1+m^2}} + y^2 = \frac{2}{5}C\frac{dp}{dm}P^{-3/5}$$

بعد از قرار دادن $\frac{dp}{dm} = 0$ و ساده کردن معادله داریم.

$$\frac{-4m}{2\sqrt{1+m^2}} + 1 = 0$$

$$1 + m^2 = 4m^2$$

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}} \qquad tan\theta = \frac{1}{m} = \sqrt{3} \qquad \rightarrow \theta = 60^0$$

با مقایسه معادلات ذکر شده داریم

$$4y\sqrt{1+m^2} - 2my = b + 2y\sqrt{1+m^2}$$

بعد از قرار دادن $m=\frac{\sqrt{3}}{3}$ و ساده کردن داریم

$$y = \frac{b}{2\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{b}\sqrt{3}}{2}$$

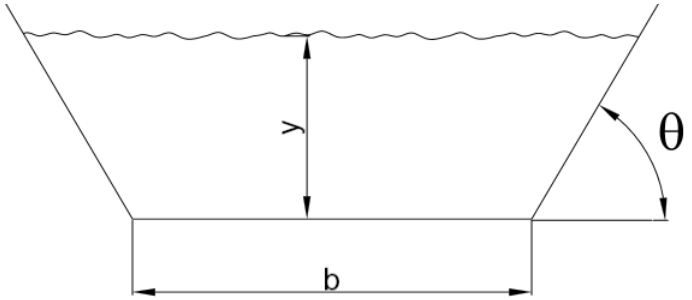
$$P = b + 2y(2m) = b + 4my$$

$$P = 3b$$

$$A = \frac{b\sqrt{3}}{2}(b + \frac{\sqrt{3}}{3}\mathrm{x}\frac{\mathrm{b}\sqrt{3}}{2}) \qquad \rightarrow A = \frac{3}{2}b^2\sqrt{3} = \sqrt{3}y^2$$

$$R = \frac{A}{R} = \frac{\frac{3}{4}b^2\sqrt{3}}{3b} = \frac{y}{2}$$

بنابراین مشاهده می کنیم که بهترین اضلاع یک کانال وقتی که سطح مقطع آن ذوزنقه متساوی الساقین است برابر است با



$$\theta = 60^0$$

$$y = \frac{b\sqrt{3}}{2}$$

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

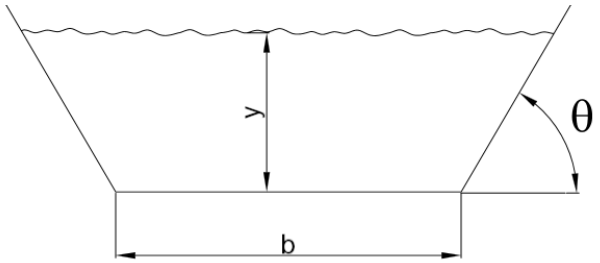
$$A = \sqrt{3}y^2$$

یعنی چهار اصل بالا را باید بخاطر بسپاریم تا اینکه بهترین اضلاع ذوزنقه را پیدا کنیم البته دو اصل مهم آن عبارت از زاویه $\theta = 60^0$ و ارتفاع عمق آب کانال که $y = \frac{b\sqrt{3}}{2}$ می باشد.

به یک مثال توجه به فرمایید

می خواهیم سطح کانالی را که به شکل ذوزنقه است طوری آجر کاری خوب کنیم که از نظر اقتصادی کمترین مصرف آجر را در بر داشته باشد به شرطی که بده آبی که در این کانال جریان می یابد $Q = 230\ m^3/sec$ باشد ($S = 0.0004$ در نظر بگیرید)

برای اینکه مصرف آجر کاری خوب در کانال به حداقل برسد کافی است که A/P حداقل باشد یعنی همان شرط بهترین اضلاع ذوزنقه در اینجا صادق است پس



آجر کاری خوب n=0.013

$$y = \frac{b\sqrt{3}}{2}$$

$$R = \frac{y}{2} \qquad \theta = 60^0$$

$$A = \sqrt{3}y^2$$

$$Q = AV = \sqrt{3}y^2 x \left(\frac{y}{2}\right)^{2/3} (0.0004)^{1/2} x \frac{1}{0.013}$$

$$230 = AV$$

$$= \sqrt{3}y^2 \left(\frac{1}{0.013}\right) \left(\frac{y}{2}\right)^{2/3} (0.0004)^{1/2}$$

$$y^2 \left(\frac{y}{2}\right)^{2/3} = 86.31386$$

$$y^{8/3} = 137.014$$

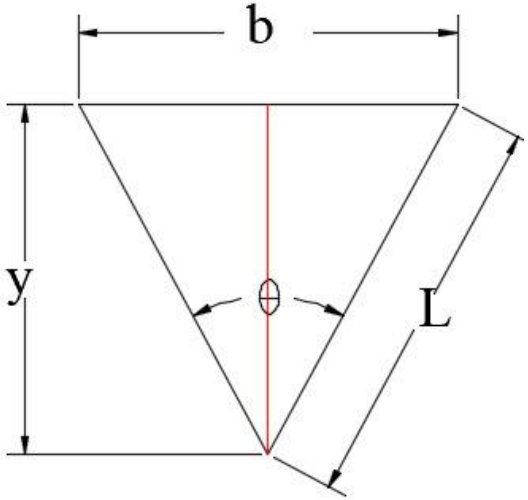
$$y = 6.33\ m$$

$$6.33 = \frac{b\sqrt{3}}{2}$$

$$b = 7.3\ m$$

یکی از کانال های گیلان که به صورت ذوزنقه است

می خواهیم بهترین اضلاع یک کانال وقتی که سطح مقطع آن مثلثی باشد را حساب کنیم.



$$P = 2L$$

$$A = \frac{1}{2}L^2 Sin\theta$$

$$A = \frac{1}{2}\frac{P^2}{4}Sin\theta = \frac{P^2}{8}Sin\theta$$

اما داریم

$$A = Cp^{2/5}$$

باید $\frac{dp}{d\theta} = 0$ صفر قرار بدهیم

$$\frac{P^2}{8}Sin\theta = Cp^{2/5}$$

$$\frac{dp}{d\theta}p(\sin\theta) + \frac{P^2}{8}\mathrm{Cos}\theta = C\frac{2}{5}\frac{\mathrm{dp}}{\mathrm{d}\theta}P^{-3/5}$$

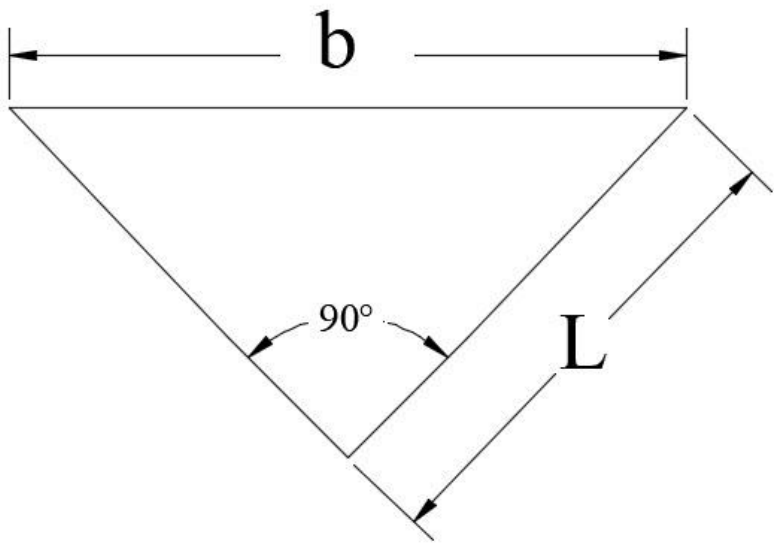
$$\frac{P^2}{8}\mathrm{Cos}\theta = 0$$

در این معادله فقط $\text{Cos}\theta$ می تواند صفر شود

$$\frac{P^2}{8}\text{Cos}\theta = 0$$

$$\text{Cos}\theta = 0 \rightarrow \theta = 90^0$$

بهترین و اقتصادی ترین سطح مقطع کانال V شکل همان زاویه ۹۰ درجه است

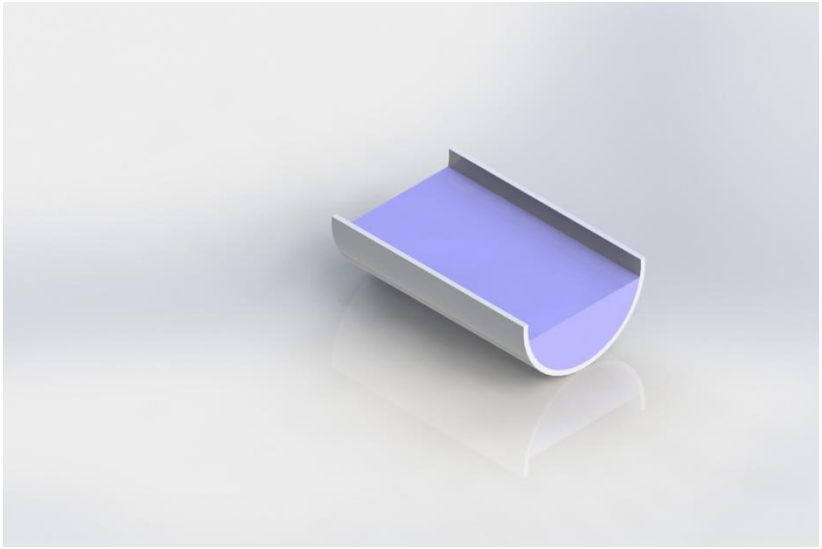


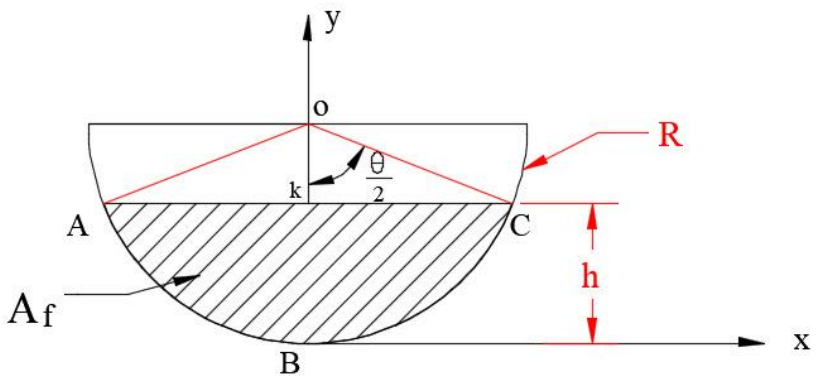
کانال آب بر فومن که به صورت ذوزنقه است ولی متأسفانه چون ابزار اندازه گیری ما بسیار ابتدائی بود ،قادر نبودیم که اندازه گیری کنیم؛خیلی جالب است که بدانید،سازمان آب منطقه ای گیلان نه اینکه با من همکاری نکردند بلکه اطلاعاتی نداشتند به من بدهند،انسان تاسف می خورد ازاینکه کانال بتنی نیم دایره ای را که اندازه گیری کردیم (چند صفحه بعد مشاهده می فرمایید)اینقدر اشغال و گل و لای روی بتن چسبیده بود که نمی توان به آن گفت کانال بتنی،انسان تصور می کند که سال ها است این کانال هاحتی یک ذره مرمت نشده است.

کانال آب بر فومن که به صورت ذوزنقه است

جریان آب درکانال نیم دایره بتنی

منظور ما در اینجا این است که آب در نیم استوانه خوابیده جریان می یابد اینجا می خواهیم عمق آبی را که در این کانال بصورت نسبی در جریان است بدست آوریم.
البته وقتی که آب بصورت نسبی در کانال روان است می توان آن را یک کانال باز در نظر گرفت و معادلات کانال را در آن بکار برد. اول در ابن جا سعی می کنیم که عمق کانال آب را وقتی که سرعت آب در کانال ماکزیمم باشد و ثانیاً وقتی که بده آب در کانال ماکزیمم شود بدست آوریم.





می خواهیم h را بر حسب قطر وقتی که سرعت ماکزیمم و یا بده ماکزیمم است پیدا کنیم مساحت قطاع برابر است با

$$A_f = \Delta(ABCO) - \Delta(AOC) \quad (\text{مساحت قطاع})$$

که در هندسه داریم

$$A_f = \frac{1}{2}R^2\theta - \frac{1}{2}R^2 Sin\theta = \frac{1}{2}R^2(\theta - Sin\theta)$$

که θ در این جا برحسب رادیان و محیط خیس شده برابر است با

$$P_f = R\theta = (R)(Rad\theta)$$

در اینجا می خواهیم فرمولی برای عمق کانال پیدا کنیم برای این منظور داریم

$$Q_f = \frac{1}{n}x\frac{{A_f}^{5/3}}{{P_f}^{2/3}}x(S)^{1/2}$$

برای نیم دایره کامل داریم

$$Q = \frac{1}{n}x\frac{(A)^{5/3}}{(P)^{2/3}}x(S)^{1/2}$$

که Q_f یعنی بده جریان سیال درکانال بصورت نسبی است و Q جریان سیال در کانال نیم دایره بصورت پر است و از تقسیم دو معادله داریم

$$\frac{Q_f}{Q} = \left(\frac{A_f}{A}\right)^{5/3} x \left(\frac{P}{P_f}\right)^{2/3}$$

اما در شکل داریم

$$cos\frac{\theta}{2} = \frac{OK}{R} = \frac{R-h}{R} = 1 - \frac{h}{R}$$

با قرار دادن y = h/R می توان نوشت

$$cos\frac{\theta}{2} = 1 - y$$

$$\theta = 2cos^{-1}(1-y)$$

$$sin\frac{\theta}{2} = \sqrt{1 - cos^2\frac{\theta}{2}}$$

$$sin\frac{\theta}{2} = \sqrt{1 - 1 - y^2 + 2y} = \sqrt{2y - y^2}$$

$$sin\theta = 2\, sin\frac{\theta}{2} cos\frac{\theta}{2}$$

اما در مثلثات داریم

$$sin\theta = 2\left(\sqrt{2y - y^2}\right)(1-y) = 2(1-y)\sqrt{2y - y^2}$$

اما داریم

$$A_f = \frac{1}{2}R^2(\theta - Sin\theta)$$

$$A = \pi R^2 \qquad p_f = R\theta \qquad p = \pi R$$

بعد از ساده کردن داریم

$$\frac{Q_f}{Q} = \left[\frac{cos^{-1}(1-y) - (1-y)\sqrt{2y-y^2}}{\pi}\right]^{5/3} x \left[\frac{\pi}{2\,cos^{-1}(1-y)}\right]^{2/3}$$

در این معادله بر حسب y نوشته شده است و می توان به ازای هر y، Q را محاسبه نمود البته نمودار $\frac{Q_f}{Q}$ وقتی که y تغیر می کند را در جدول آورده شده است.

$$Q_f = A_f V_f$$

$$Q = AV$$

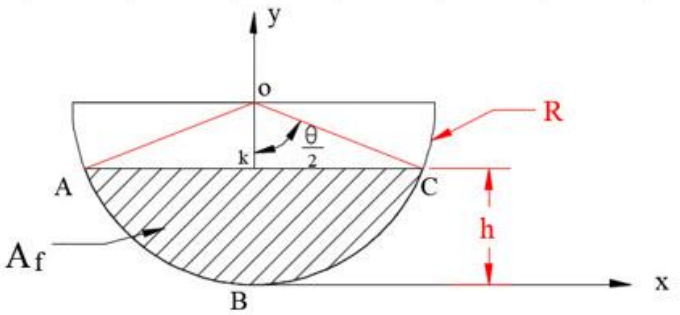
$$\frac{V_f}{V} = \left[\frac{cos^{-1}(1-y) - (1-y)\sqrt{2y-y^2}}{2cos^{-1}(1-y)}\right]^{2/3}$$

باز هم تغیرات $\frac{V}{V_f}$ را وقتی که y تغییر می کند را در جدول آورده شده است. یک چیز را باید بخاطر بسپاریم و آن این است که زاویه θ بر حسب رادیان بوده و در نتیجه $cos^{-1}(1-2y)$ را حتماً باید بر حسب رادیان محاسبه کنید و در فرمول جاگذاری کنید. ثانیاً تغیرات $\frac{V_f}{V}$ و $\frac{Q_f}{Q}$ را وقتی که y تغییر می کند،به صورت عدی تا 0.01 را در جدول صفحه بعد در جدول (۱) و جدول (۲) آورده شده است

جدول(۱) نسبت دبی جریان آب غیر پر به پر

h/R=y	$\frac{Q_f}{Q}$	h/R=y	$\frac{Q_f}{Q}$	h/R=y	$\frac{Q_f}{Q}$	h/R=y	$\frac{Q_f}{Q}$
0.01	0.000105461	0.26	0.037676	0.51	0.116747	0.76	0.215997809
0.02	0.000374458	0.27	0.040215	0.52	0.120447	0.77	0.220147817
0.03	0.000784611	0.28	0.042817	0.53	0.124178	0.78	0.224302645
0.04	0.00132471	0.29	0.04548	0.54	0.127939	0.79	0.228461318
0.05	0.001986991	0.3	0.048202	0.55	0.131728	0.8	0.232622867
0.06	0.002765431	0.31	0.050982	0.56	0.135544	0.81	0.236786323
0.07	0.003655059	0.32	0.05382	0.57	0.139387	0.82	0.240950721
0.08	0.004651608	0.33	0.056712	0.58	0.143255	0.83	0.245115099
0.09	0.005751317	0.34	0.059658	0.59	0.147147	0.84	0.249278498
0.1	0.006950802	0.35	0.062657	0.6	0.151063	0.85	0.253439961
0.11	0.008246975	0.36	0.065708	0.61	0.155	0.86	0.257598532
0.12	0.009636983	0.37	0.068808	0.62	0.158958	0.87	0.26175326
0.13	0.011118166	0.38	0.071956	0.63	0.162936	0.88	0.265903195
0.14	0.012688026	0.39	0.075152	0.64	0.166933	0.89	0.270047387
0.15	0.014344201	0.4	0.078394	0.65	0.170948	0.9	0.274184891
0.16	0.016084447	0.41	0.081681	0.66	0.17498	0.91	0.27831476
0.17	0.017906619	0.42	0.085012	0.67	0.179027	0.92	0.282436053
0.18	0.019808663	0.43	0.088384	0.68	0.183089	0.93	0.286547827
0.19	0.021788603	0.44	0.091798	0.69	0.187165	0.94	0.290649141
0.2	0.023844532	0.45	0.095252	0.7	0.191254	0.95	0.294739055
0.21	0.025974608	0.46	0.098744	0.71	0.195354	0.96	0.298816632
0.22	0.028177042	0.47	0.102274	0.72	0.199466	0.97	0.302880933
0.23	0.0304501	0.48	0.105841	0.73	0.203586	0.98	0.306931022
0.24	0.032792092	0.49	0.109442	0.74	0.207716	0.99	0.310965961
0.25	0.035201372	0.5	0.113078	0.75	0.211854	1	0.314984815

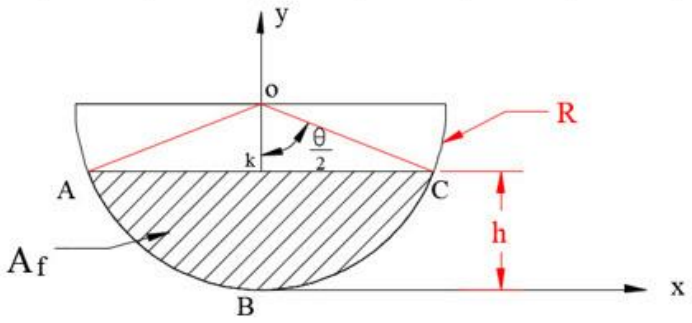
$$\frac{Q_f}{Q} = \left[\frac{\cos^{-1}(1-y) - (1-y)\sqrt{2y-y^2}}{\pi}\right]^{5/3} x \left[\frac{\pi}{2\cos^{-1}(1-y)}\right]^{2/3}$$



جدول(۲) نسبت سرعت جریان آب غیر پر به پر

h/R=y	$\frac{V_f}{V}$	h/R=y	$\frac{V_f}{V}$	h/R=y	$\frac{V_f}{V}$	h/R=y	$\frac{V_f}{V}$
0.01	0.035366812	0.26	0.29798	0.51	0.446417	0.76	0.553963549
0.02	0.056053598	0.27	0.30505	0.52	0.451377	0.77	0.557622749
0.03	0.073335837	0.28	0.311999	0.53	0.456275	0.78	0.561236953
0.04	0.088700276	0.29	0.318834	0.54	0.461114	0.79	0.564806523
0.05	0.102765062	0.3	0.325557	0.55	0.465893	0.8	0.568331807
0.06	0.115862909	0.31	0.332174	0.56	0.470615	0.81	0.571813139
0.07	0.128199003	0.32	0.338688	0.57	0.475278	0.82	0.575250837
0.08	0.139911217	0.33	0.345102	0.58	0.479886	0.83	0.57864521
0.09	0.151097872	0.34	0.35142	0.59	0.484438	0.84	0.581996551
0.1	0.161832222	0.35	0.357645	0.6	0.488935	0.85	0.585305141
0.11	0.172170714	0.36	0.36378	0.61	0.493378	0.86	0.58857125
0.12	0.182158022	0.37	0.369826	0.62	0.497767	0.87	0.591795134
0.13	0.191830276	0.38	0.375788	0.63	0.502104	0.88	0.594977039
0.14	0.201217229	0.39	0.381666	0.64	0.506389	0.89	0.598117201
0.15	0.210343757	0.4	0.387464	0.65	0.510622	0.9	0.601215842
0.16	0.219230931	0.41	0.393182	0.66	0.514805	0.91	0.604273177
0.17	0.227896798	0.42	0.398824	0.67	0.518938	0.92	0.607289408
0.18	0.236356968	0.43	0.404391	0.68	0.523021	0.93	0.610264727
0.19	0.24462506	0.44	0.409885	0.69	0.527055	0.94	0.613199316
0.2	0.252713047	0.45	0.415307	0.7	0.531041	0.95	0.61609335
0.21	0.260631528	0.46	0.420659	0.71	0.534979	0.96	0.61894699
0.22	0.268389941	0.47	0.425942	0.72	0.538869	0.97	0.62176039
0.23	0.27599674	0.48	0.431159	0.73	0.542712	0.98	0.624533696
0.24	0.283459531	0.49	0.436309	0.74	0.546509	0.99	0.627267042
0.25	0.290785194	0.5	0.441395	0.75	0.550259	1	0.629960554

$$\frac{V_f}{V} = \left[\frac{cos^{-1}(1-y) - (1-y)\sqrt{2y-y^2}}{2cos^{-1}(1-y)}\right]^{2/3}$$



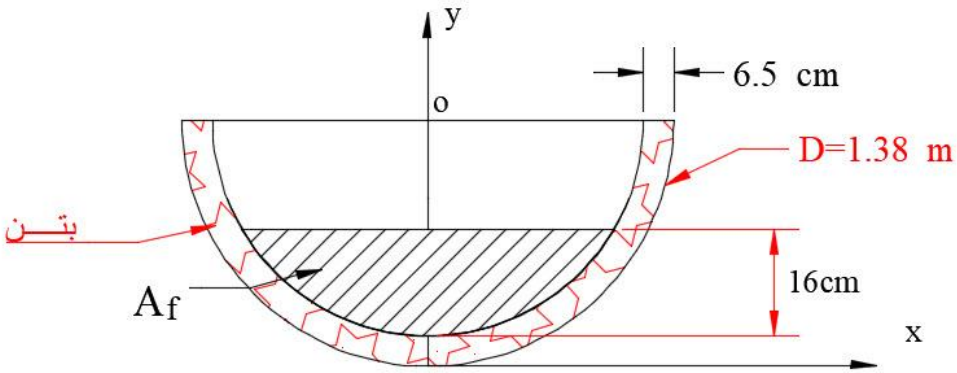
کانال آب بر فومن که به صورت نیم دایره بتنی است است

یکی از کانال های گیلان که به صورت نیم دایره بتنی است

یکی از کانال های گیلان که به صورت نیم دایره بتنی است

یکی از کانال های گیلان که به صورت نیم دایره بتنی است

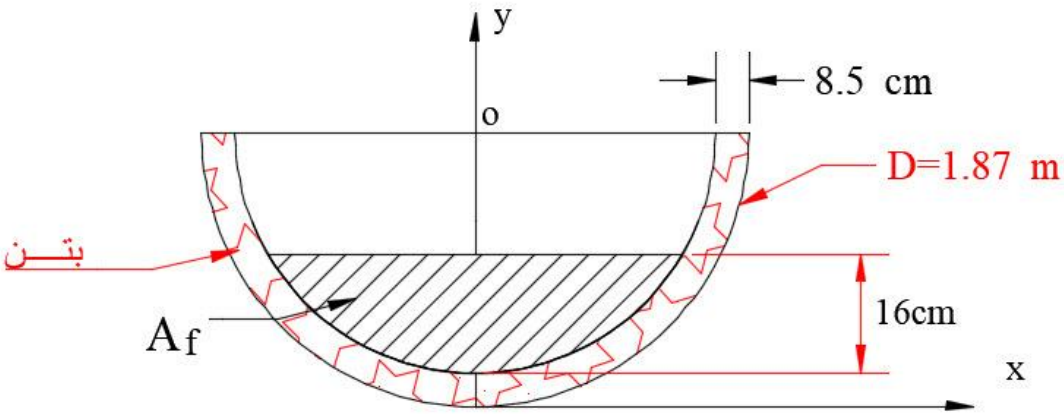
همان طور که در عکس پیداست ما رفتیم اطلاعات
مربوط به دوتا ازکانال های بتنی استوانه ای
شکل گیلان رابدست آوردیم البته خیلی با سطح
مقطع متفاوت وجود دارد



کانال ۱

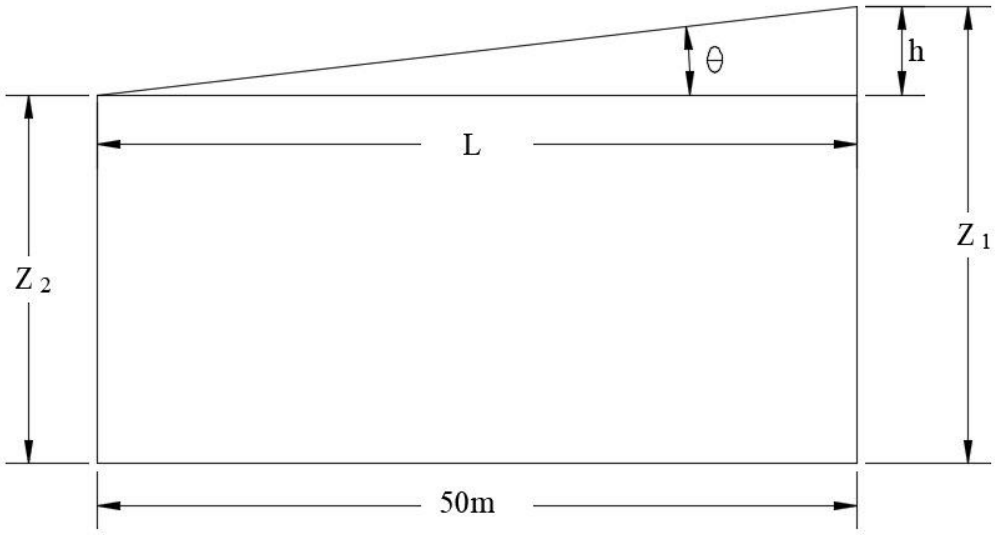
البته زمان مشروب کردن شالیزار ها(زمان نشا کاری)
آب کاملاً پر؛ در کانال هاجریان می یابد

در زمان پائیز کمی آب در جریان است
که عمق هر دو ۱۶ سانتی متر بوده



کانال ۲

همان طور که مشاهده می فرمایید کانال به شدت کثیف و لجن گرفته است انگار سال ها است مرمت نشده.وسعی کردیم شیب کانال را محاسبه کنیم



البته مهندس نصاب باید توجه کند؛ به شیب زمین(تیپوگرافی زمین) طوری با دوربین باید میزان کند که شیب کانال که در طراحی دارند امکان پذیر سازند.

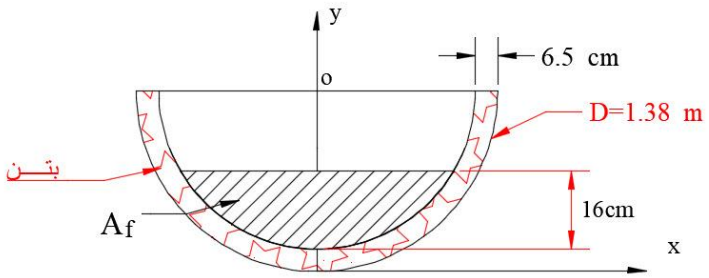
شیب کانال بسیار ساده ،چنین محاسبه می شود

$$S = \frac{h}{L} = \frac{Z_1 - Z_2}{L} = \frac{66 - 40}{5000} = 0.0052 \rightarrow channel\ 1$$

$$S = \frac{h}{L} = \frac{Z_1 - Z_2}{L} = \frac{48 - 35}{5000} = 0.0026 \rightarrow channel\ 2$$

شیب کانال بوسیله ابزاری به نام تراز که خودش زاویه شیب کانال را بر حسب درجه می داد

حالا کانال یک و دو را مورد بررسی قرار می دهیم وقتی که کانال پر باشد دبی و سرعت آنرا حساب کرده و وقتی که عمق آب ۱۶ سانتی متر باشد ،سرعت آب و دبی آنرا حساب کنید.



کانال ۱

$$S = 0.0052 \rightarrow channel\ 1$$

$$n = 0.014 \rightarrow \text{بتنی}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi r^2/2}{\pi r} = \frac{r}{2}$$

$$r = \frac{138 - 13}{2} = 62.5\ cm$$

شعاع کانال اول

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.014} (\frac{r}{2})^{2/3} 0.0052^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.014} (\frac{0.625}{2})^{2/3} 0.0052^{1/2} = 2.36\ \frac{m}{Sec}$$

سرعت مطلوب است

$$Q = AV = \frac{\pi r^2}{2}(V) = \frac{\pi(0.625)^2}{2}(2.36) = 1.448 \frac{m^3}{Sec}$$

$$Q = 1.448x3600 = 5213 \frac{m^3}{hr} = 5213x24 = 125112 \frac{m^3}{Day}$$

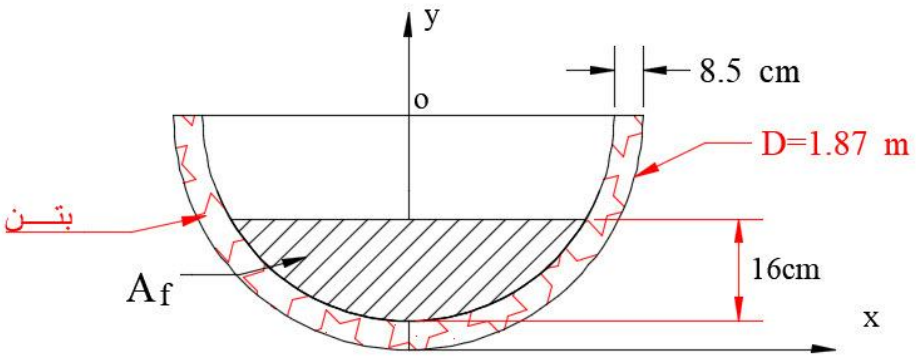
وقتی که عمق آب ۱۶ سانتی متر است

$$\begin{cases} y = \frac{h}{r} = \frac{16}{62.5} = 0.26 \\ \frac{V_f}{V} = 0.2979 \end{cases}$$

از جدول ۲

$$V_f = 0.2979x2.36 = 0.70\ \frac{m}{Sec}$$

حداقل سرعت مطلوب است



کانال ۲

$$S = 0.0026 \rightarrow channel\ 2$$

$$r = \frac{187 - 17}{2} = 85\ cm$$ شعاع دوم

$$V = \frac{1}{0.014}\left(\frac{r}{2}\right)^{2/3} 0.0026^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.014}\left(\frac{0.85}{2}\right)^{2/3} 0.0026^{1/2} = 2.06\ \frac{m}{Sec}$$

$$Q = AV = \frac{\pi r^2}{2}(V) = \frac{\pi(0.85)^2}{2}(2.06) = 2.34\frac{m^3}{Sec}$$

$$Q = 2.34x3600 = 8424\frac{m^3}{hr} = 8424x24 = 202176\frac{m^3}{Day}$$

$$\begin{cases} y = \frac{h}{r} = \frac{16}{85} = 0.19 \\ \frac{V_f}{V} = 0.2446 \end{cases}$$ ← از جدول ۲ داریم

$$V_f = 0.2446x2.06 = 0.50\ \frac{m}{Sec}$$

$$V_f = 0.2446x2.06 = 0.50 \ \frac{m}{Sec}$$

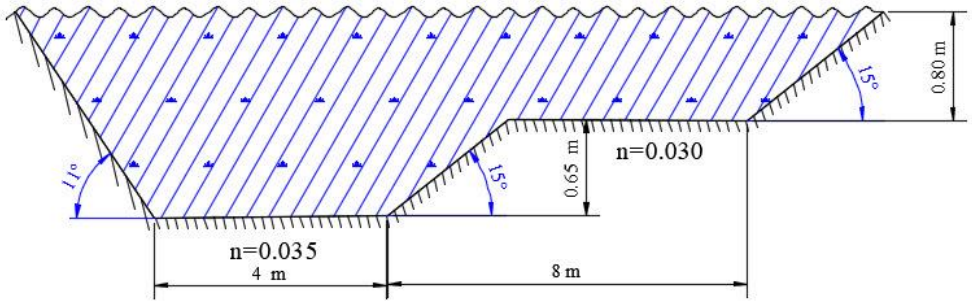
همچنین این سرعت اجازه می دهد جلبک ها و گیاهان آبزی مشابه در کانال استقرار یافته و رشد نمایند

یک مقایسه دیگر نسبت به کانال ۱ و ۲ ، باید گفت قطر کانال ۲ نسبت به کانال ۱ ؛ ۳۶ درصد بزرگ شده ولی دبی کانال ۲ نسبت به کانال ۱، ۶۲ درصد اضافه شده.

دیگر اینکه دوتا از کانال های آب بر فومن مثلاً ؛کانال ۱و۲ مجموعاً روزانه ۳۲۷۲۸۵ مترمکعب آب شالیزار ها گیلان را مشروب می کند

در پایان این پروژه رودخانه ای مثال می زنیم؛اینجانب با دانشجویان کلاس خودم که کلاس" سیستم های آبرسانی" و به کمک آب منطقه ای گیلان به رودخانه گوراب زرمیخ گیلان رفتیم وبا دستگاه مولینه و سایر ابزار چنین برداشتی کردیم و مسئله چنین است

رودخانه ای به شکل زیر موجود است اگر دبی جریان رودخانه برابر $Q = 15\ m^3/sec$ باشد مطلوبست شیب این رودخانه را

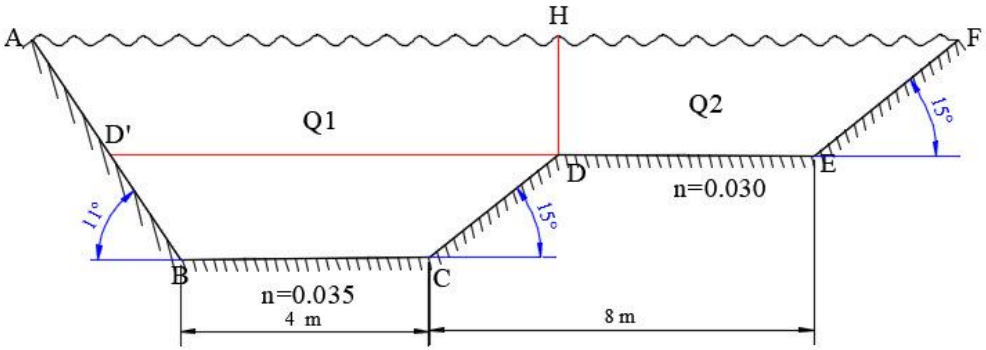


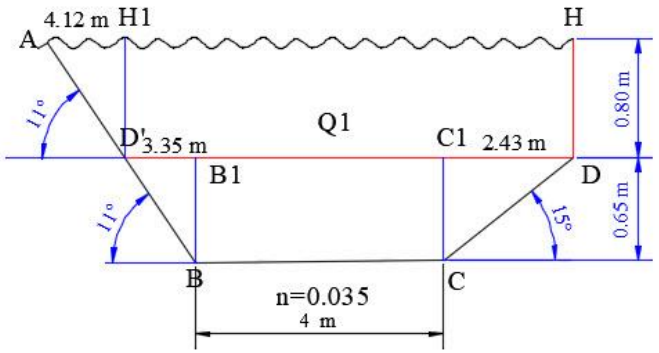
رودخانه در شرایط بستر بد و علف های هرزه

$n = 0.030$

زمین با سنگ ریزه قلو ه سنگ

$n = 0.035$





$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = ABCDH$$

$$Q_2 = HDEF$$

$$DH = 0.80\ m$$

$$CD = \frac{0.65}{Sin15} = 2.52m$$

$$BC = 4\ m$$

$$BD' = \frac{0.65}{Sin11} = 3.42m$$

$$AD' = \frac{0.8}{Sin11} = 4.2m$$

$$C_1D = \frac{0.65}{\tan 15} = 2.43m$$

$$B_1D' = \frac{0.65}{\tan 11} = 3.35m$$

$$AH_1 = \frac{0.80}{tan11} = 4.12m$$

$$A_1 = (D'D + AH)\left(\frac{0.80}{2}\right) + (DD' + BC)(\frac{0.65}{2})$$

$$D'D = 3.35 + 4 + 2.43 = 9.78\ m$$

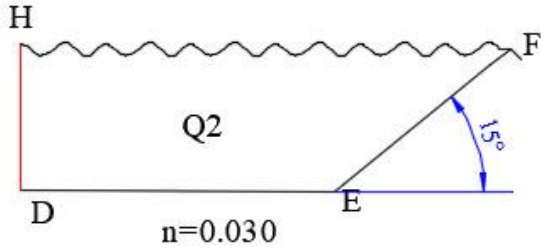
$$AH = 4.12 + 3.35 + 4 + 2.43 = 13.9\ m$$

$$A_1 = (D'D + AH)\left(\frac{0.80}{2}\right) + (DD' + BC)(\frac{0.65}{2})$$

$$A_1 = (9.78 + 13.9)\left(\frac{0.80}{2}\right) + (9.78 + 4)\left(\frac{0.65}{2}\right) = 9.48 + 4.48 = 13.96m^2$$

$$P_1 = AD' + D'B + BC + CD = 4.2 + 3.42 + 4 + 2.52 = 14.14\ m$$

$$R_1 = \frac{A_1}{p_1} = \frac{13.96}{14.14} = 0.987\ m$$ شعاع هیدرولیک اول



$$EF = \frac{0.80}{Sin15} = 4.2m$$

$$DE = 8 - 2.43 = 5.57m$$

$$HF = DE + \frac{0.80}{tan15} = 5.57+3=8.57\ m$$

$$A_2 = (5.57 + 8.57)\left(\frac{0.80}{2}\right) = 5.66\ m^2$$

P_2 =DE+EF

P_2 =5.56+4.2=9.76 m

$$R_2 = \frac{A_2}{p_2} = \frac{5.66}{9.76} = 0.58\ m$$ شعاع هیدرولیک دوم

$$Q = A_1V_1 + A_2V_2$$

$$Q = A_1\frac{1}{n_1}{R_1}^{2/3}\sqrt{S} + A_2\frac{1}{n_2}{R_2}^{2/3}\sqrt{S}$$

$$Q = \sqrt{S}[13.96x\frac{1}{0.035}x0.987^{\frac{2}{3}} + 5.66x\frac{1}{0.030}x0.58^{2/3}$$

$$15 = \sqrt{S}[394.86+131.1]$$

$15 = \sqrt{S}[526]$

$\sqrt{S} = 0.0285$

$S = 8.1x10^{-4}$

$S = \frac{h}{L} = 8.1x10^{-4}$

$S = {}^{8.1m}/_{10000}$ m

یعنی برای هر ۱۰ کیلومتر رودخانه 8.1 متر افت ارتفاع دارد که شیب بسیار ملایم است.

تقدیم به همه ایرانیان عشق به وطن

سد بسیار زیبای منجیل واقع در شهر منجیل از توابع گیلان که قدمت اش به نیم قرن می رسد