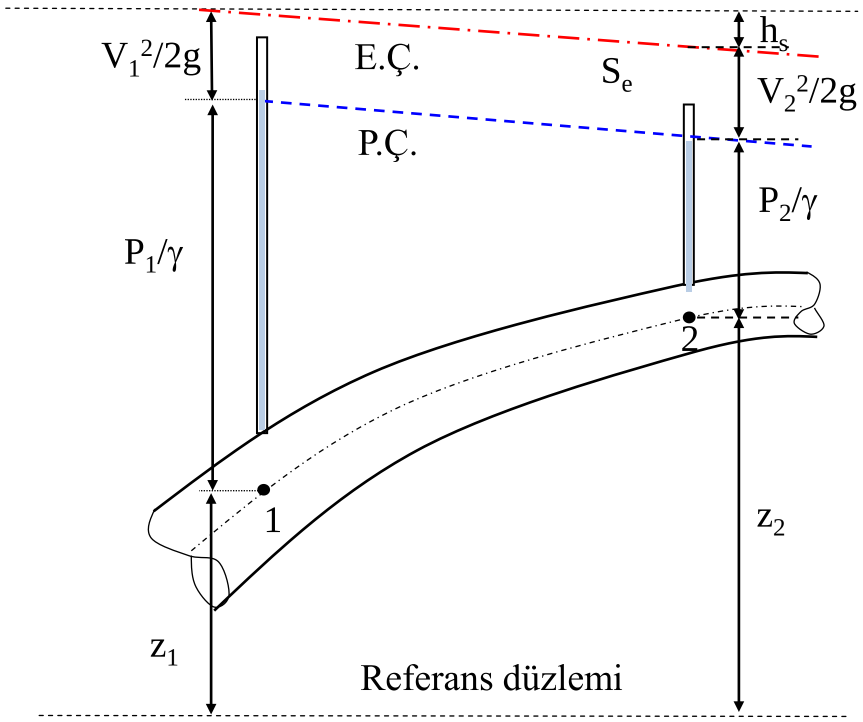
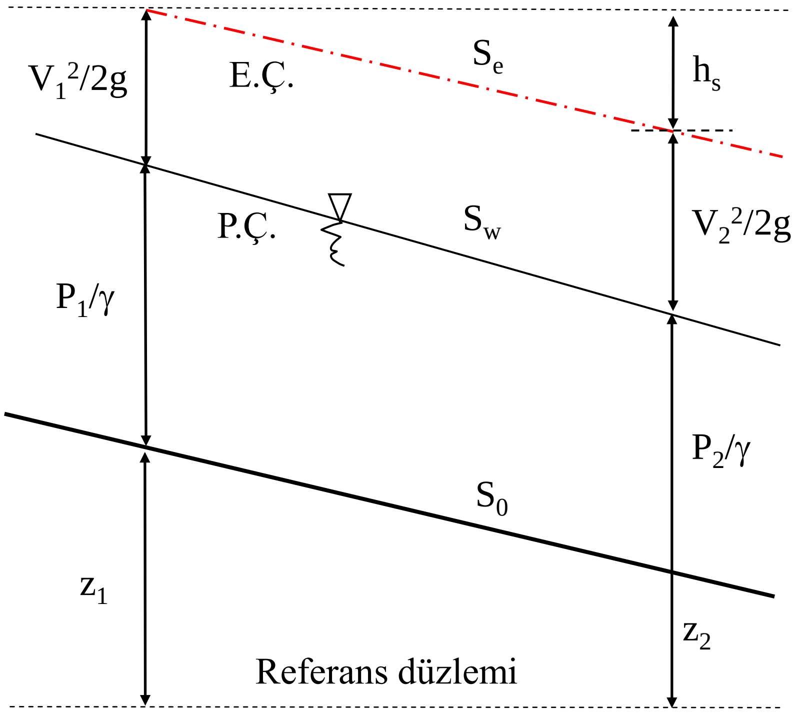
BÖLÜM 8

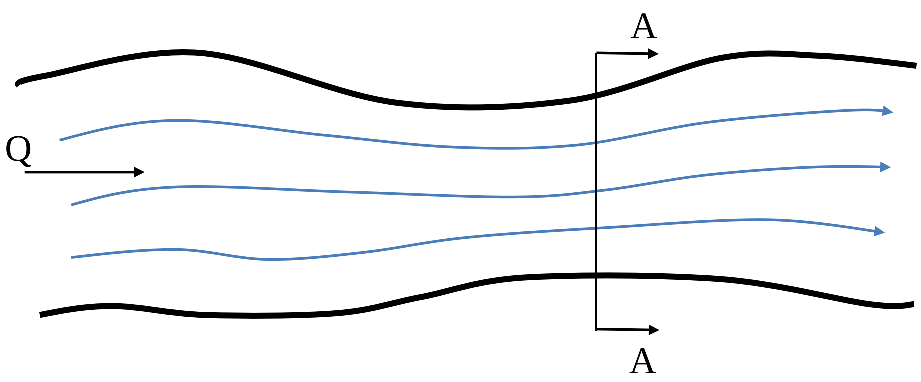
AÇIK KANAL AKIMLARI



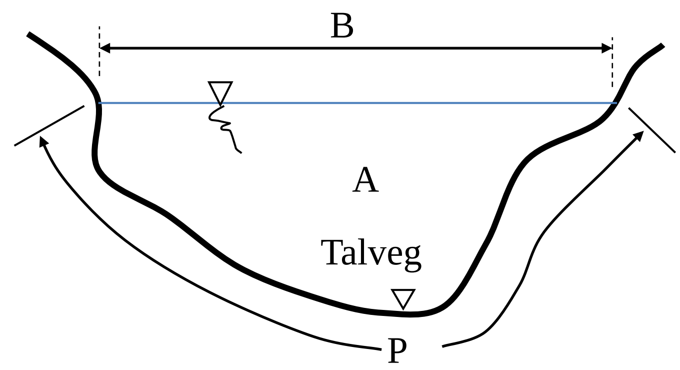
Boru akımı



Açık Kanal Akımı



(a)Plan

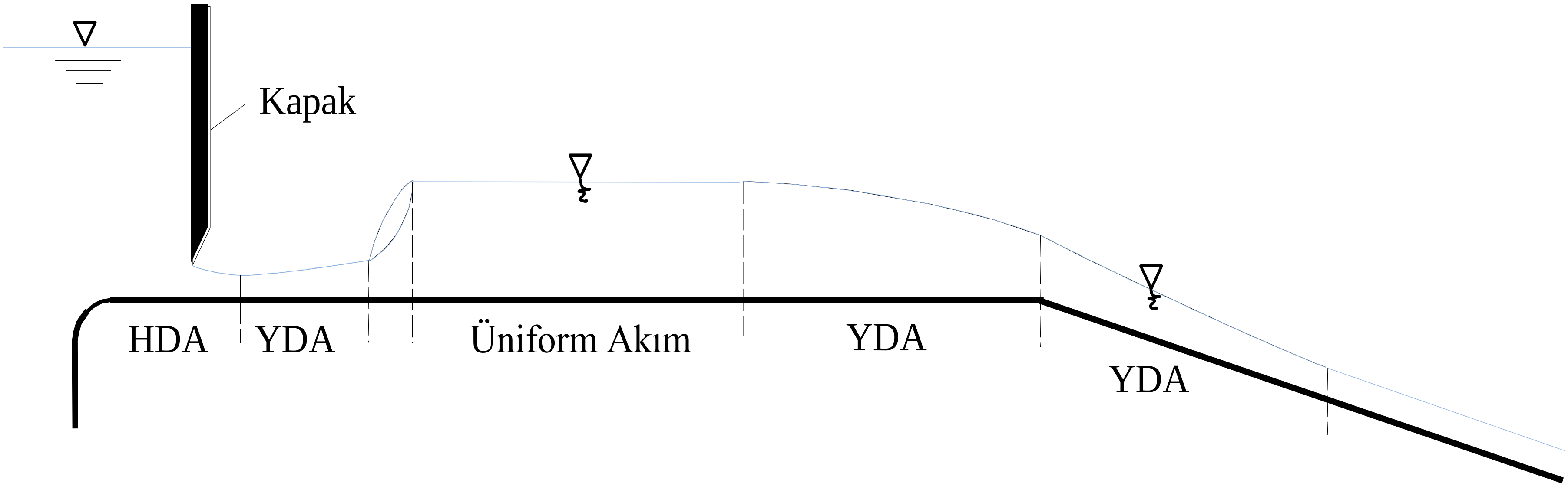


(b)A-A Enkesiti

Hidrolik yarıçap: R=A/P (m)

Hidrolik derinlik: D=A/B (m)

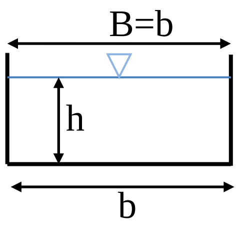
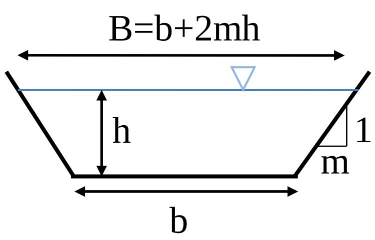
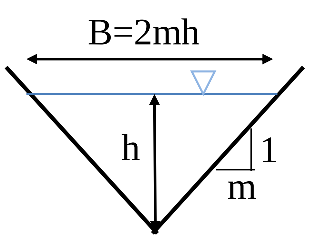
Ortalama hız: V=Q/A (m/s)



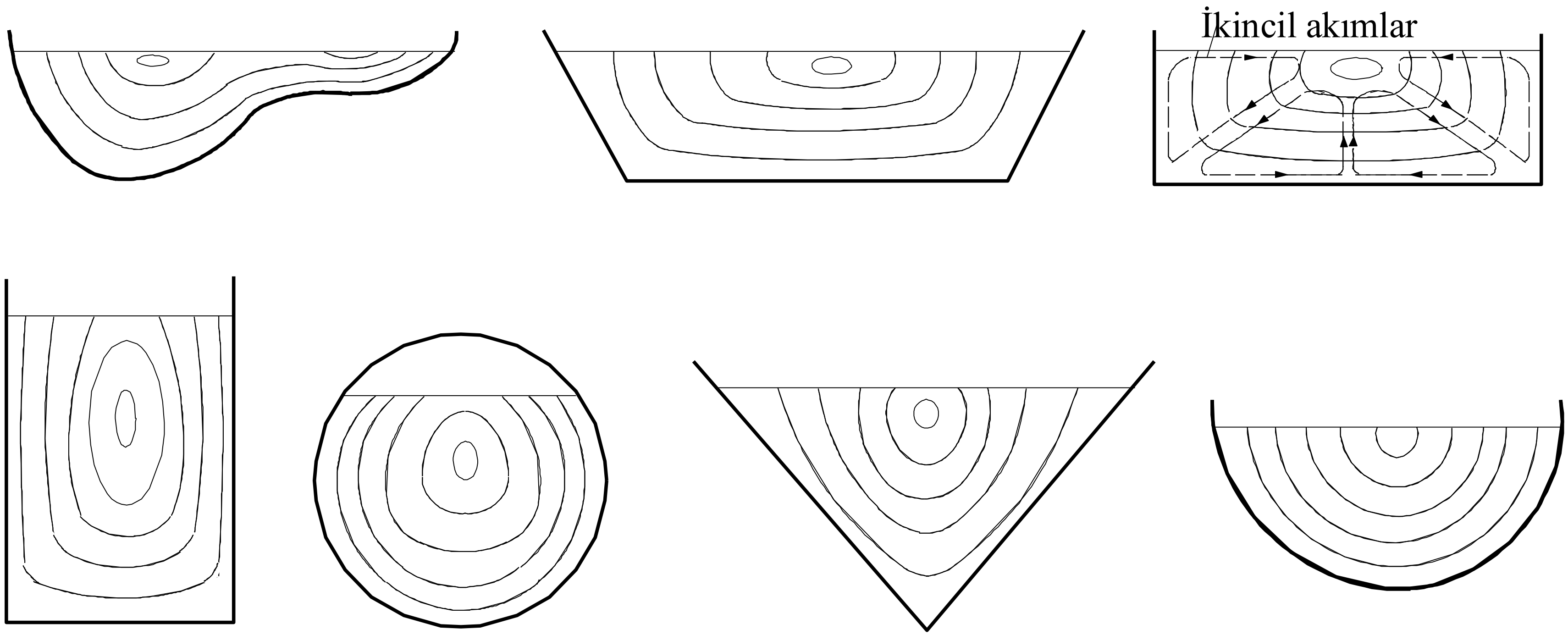
HDA : Hızlı değişen akım

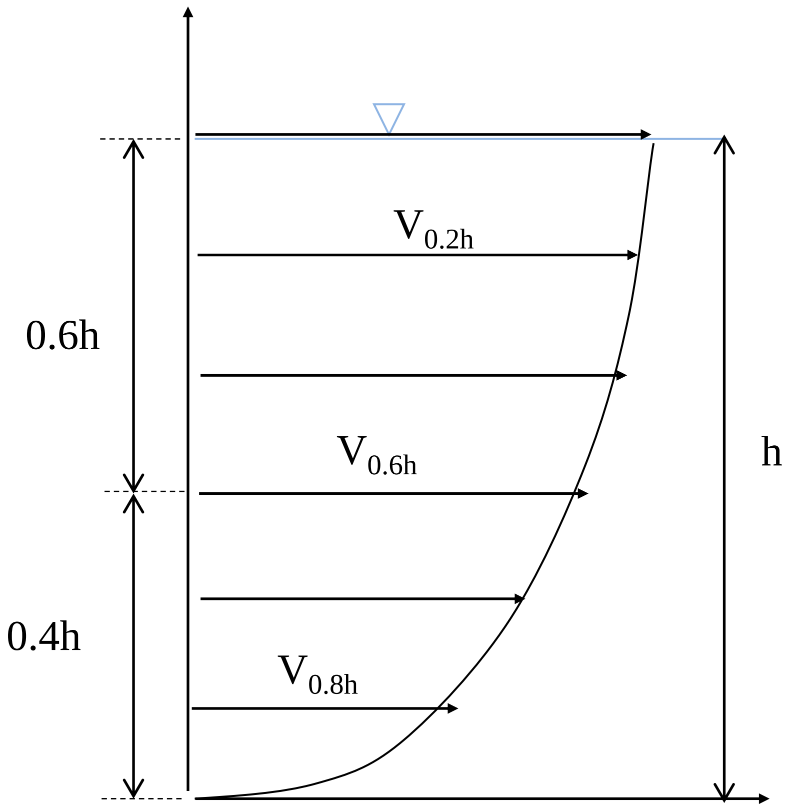
YDA : Yavaş değişen akım

Tablo Kanal kesitlerinin geometrik elemanları

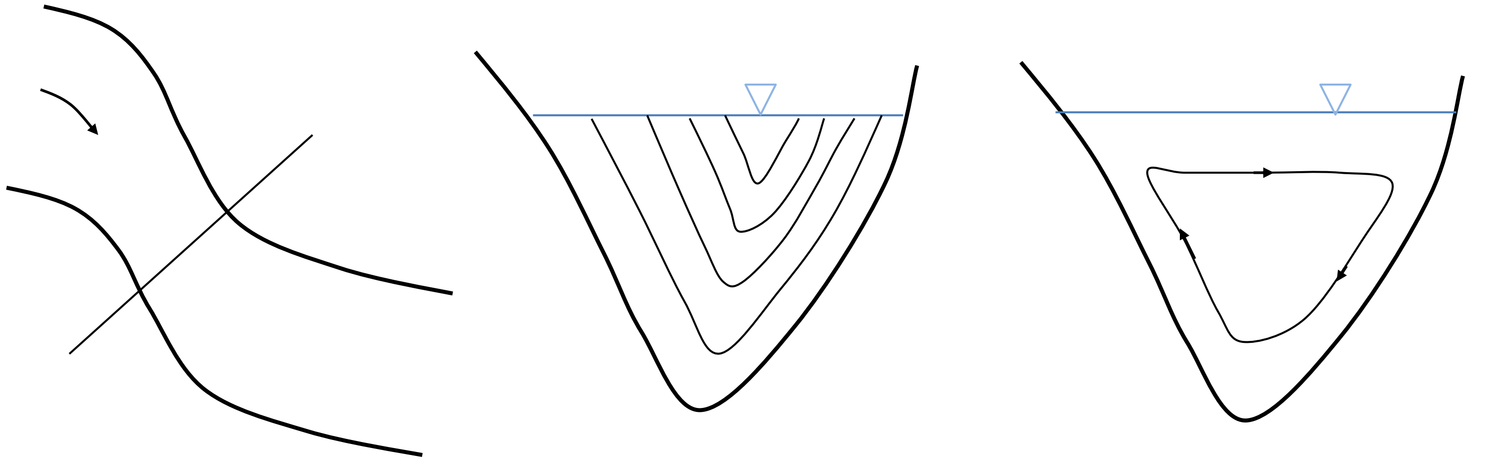
Kesit	Alan (A)	Islak çevre (P)	Hidrolik yarıçap (R)	Su yüzü (B)	Hidrolik derinlik (D)
	bh	b+2h	$\frac{bh}{b+2h}$	b	h
	(b+mh)h	$b+2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$	$\frac{(b+mh)h}{b+2mh}$
	mh^2	$2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}}$	2mh	$\frac{1}{2}h$

Açık Kanallarda Hız Dağılımı



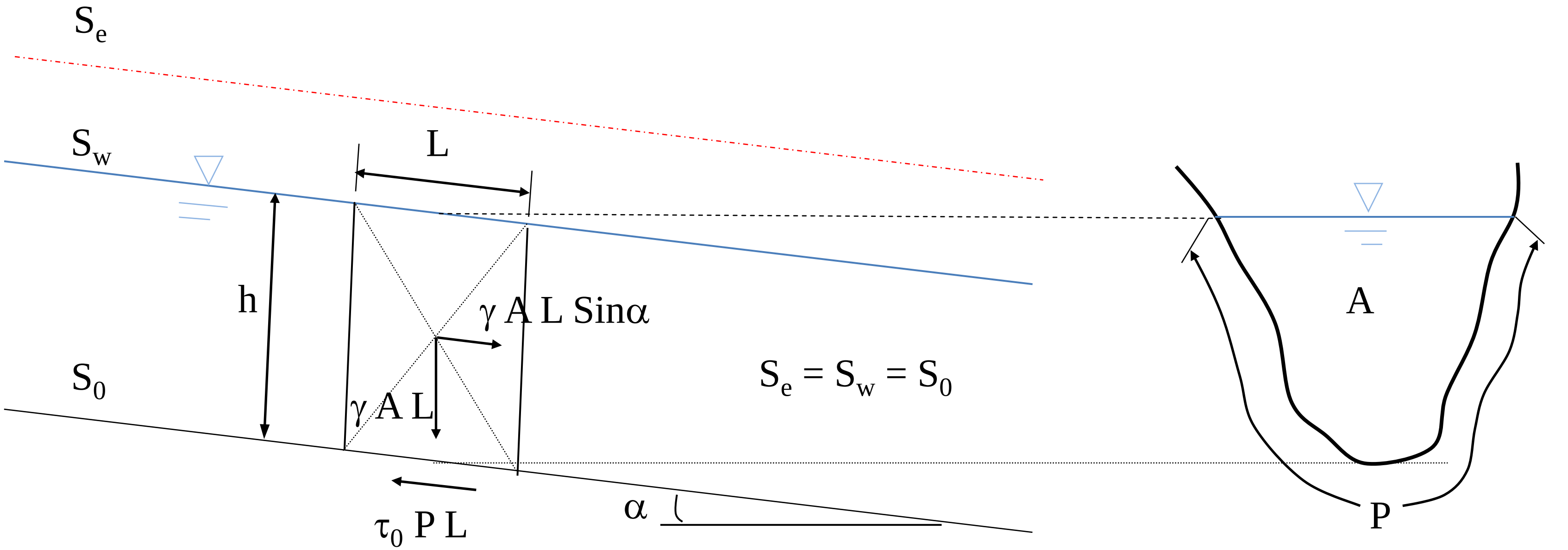


Düşey hız dağılımı



Akarsu kıvrımında hız dağılımı

Düzenli Üniform Açık Kanal Akımları



Üniform kanal akışı

$$\gamma A L \sin\alpha = \tau_0 P L$$

Eğimin küçük olduğu durumlarda: $S_0 = \sin\alpha$

hidrolik yarı çap : R= A/P olduğundan:

$$\tau_0 = \gamma R S_0$$

Üniform akımlarda kullanılan formüller

$$V = C\,R^a S^b$$

V : ortalama hız,

R : hidrolik yarıçap,

S : enerji çizgisinin eğimi,

üniform akımda S_0 taban eğimi,

C : akımın direncini ifade eden bir katsayıdır.

Bu katsayı ortalama hıza, hidrolik yarı çapa, kanal pürüzlülüğüne ve viskoziteye bağlıdır.

Chezy formülü:

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

C : Chezy katsayısı ($L^{1/2}\ T^{-1}$).

Bazin C katsayısını aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma_b + \sqrt{R}}$$

Bazin katsayısı

Kanal Yüzeyi	γ_b
Beton kaplama	0.06
Taş duvarlı yüzey	0.46
Toprak kanallar	1.3
Karışık malzemeli yüzeyler	0.85
Kaya zemin	>1.75

Manning Formülü:

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

n: pürüzlülük katsayısı ($TL^{-1/3}$)

Manning n değerleri

Kanal Yüzeyi	n
Cam metal	0.009 - 0.010
Ahşap	0.011 - 0.013
Beton	0.012 - 0.017
Asfalt	0.013 - 0.016
Kaya	0.025 - 0.045
Toprak	0.020 - 0.040
Çakıl	0.040 - 0.070
Doğal akarsular	0.025 - 0.150

Darcy-Weisbach formülü

$$h_s = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \Rightarrow \frac{h_s}{L} = S = \lambda \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$D = 4R \Rightarrow S = \lambda \frac{1}{4R} \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} R^{1/2} S^{1/2}$$

λ İçin Re=4VR/υ ve k/D=k/4R alınarak Moody diyagramından alınabilir.

Açık kanalda laminer-türbülans sınırı:

$$500 < \mathrm{Re} = \frac{VR}{\upsilon} < 2000$$

Türbülanslı akımda λ için ampirik ifadeler:

Hidrolik cilalı taban :

$$\frac{1}{\lambda} = 2\log\frac{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}{3.4}$$

Hidrolik pürüzlü taban :

$$\frac{1}{\lambda} = 2\log 3.1\frac{4R}{k_s} = 2\log 12.4\frac{y}{k_s}$$

Geçiş bölgesi için Colebrook-White formülü uygulanabilir.

$$\frac{1}{\lambda} = -2\log\left(\frac{k_s}{12.4R} + \frac{3.4}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}\right)$$

Üniform Akımın Hesabı

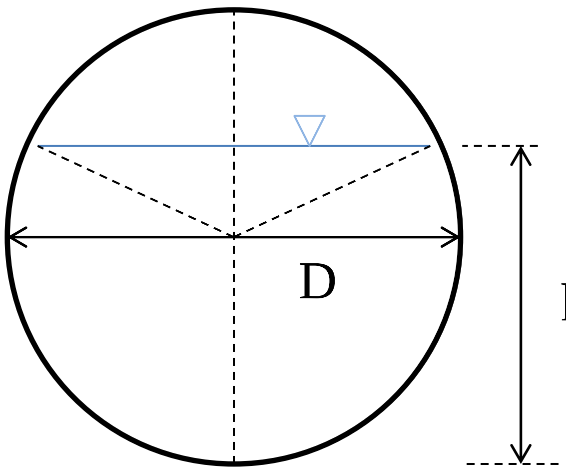
$$Q = V\,A = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A$$

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

K=konveyans

$$Q = K\,S^{1/2}$$

Dairesel Kesitlerde Üniform Akım Hesabı



$$A = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{D^2}{8}(\theta - \sin\theta) = \frac{D^2}{4}\left(\pi - \frac{\theta}{2} + \frac{\sin\theta}{2}\right)$$

$$P = \pi D - \frac{D}{2}\theta = D\left(\pi - \frac{\theta}{2}\right)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{D}{4}\left(1 + \frac{\sin\theta}{2\pi - \theta}\right)$$

Manning formülü kullanılarak ortalama hız :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{n} S^{1/2} \left[\frac{D}{4} \left(1 + \frac{\sin\theta}{2\pi - \theta} \right) \right]^{2/3}$$

$\theta=0$ için kesit dolu olup akım hızı $V=V_F$:

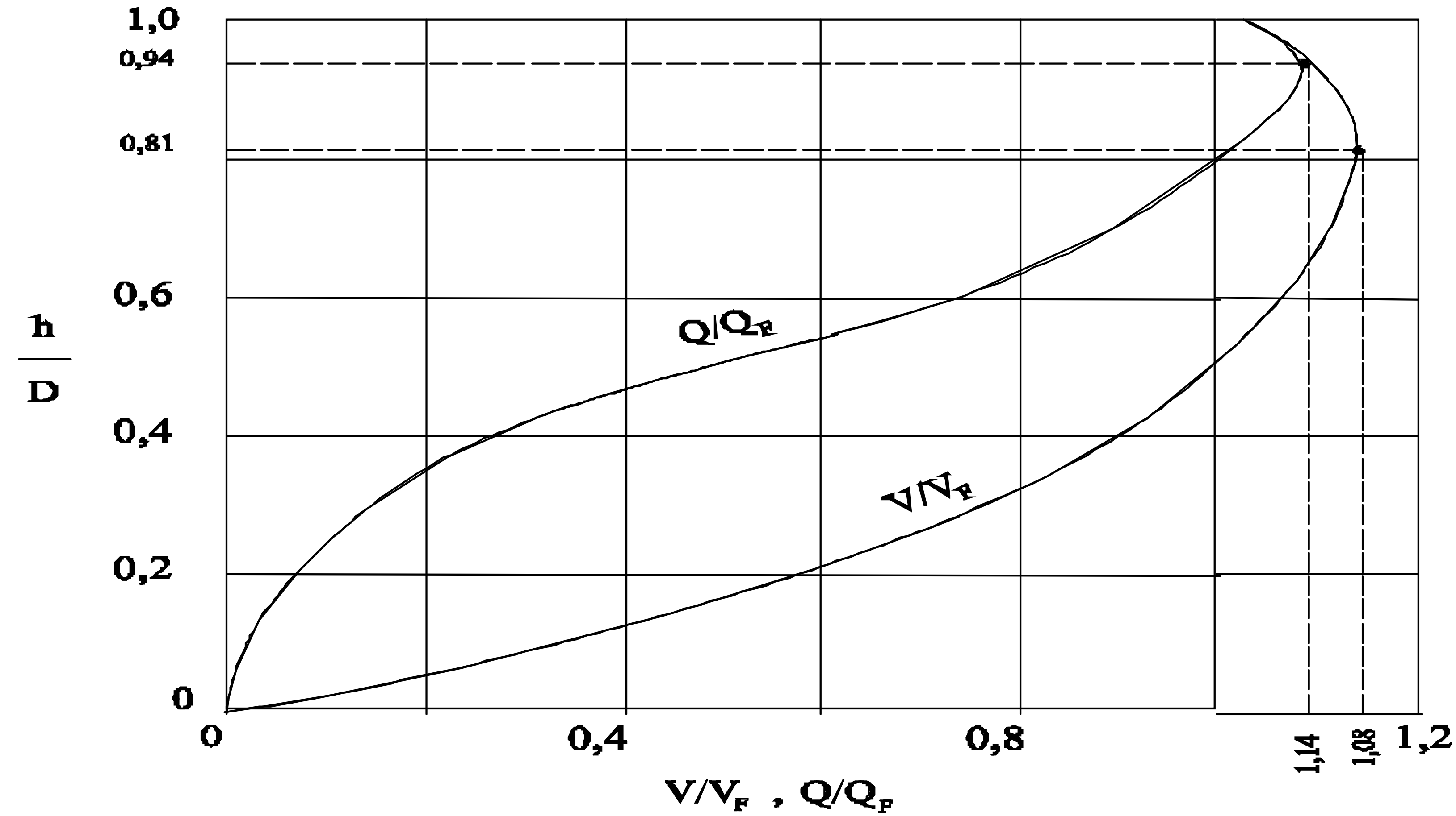
$$V_F = \frac{1}{n} S^{1/2} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3}$$

Buradan V/V_F oranı aşağıdaki gibi olur:

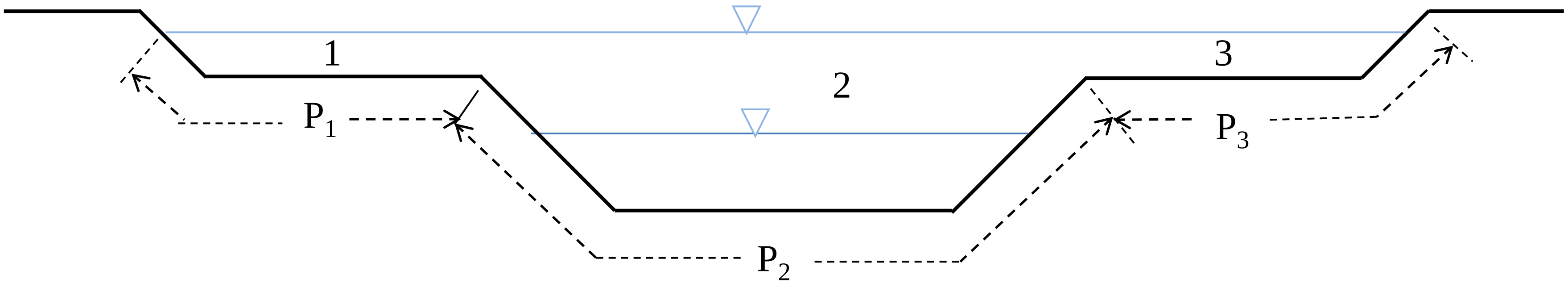
$$\frac{V}{V_F} = \left(1 + \frac{\sin\theta}{2\pi - \theta} \right)^{2/3}$$

$$\frac{A}{A_F} = \frac{\frac{D^2}{4}\left(\pi - \frac{\theta}{2} + \frac{\sin\theta}{2}\right)}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{1}{\pi}\left(\pi - \frac{\theta}{2} + \frac{\sin\theta}{2}\right)$$

$$\frac{Q}{Q_F} = \frac{1}{\pi}\left(\pi - \frac{\theta}{2} + \frac{\sin\theta}{2}\right)\left(1 + \frac{\sin\theta}{2\pi - \theta}\right)^{2/3}$$


1,0
0,94
0,81
0,6
0,4
0,2
0
h
D
Q/QF
V/VF
0
0,4
0,8
1,14
1,08
1,2
V/VF , Q/QF

Birleşik Kesitli Kanalda Üniform Akım



Birleşik kesit akımın debisi : $Q = \sum_{n=1}^{N} Q_n = \left(\sum_{n=1}^{N} K_n \right) S^{1/2}$

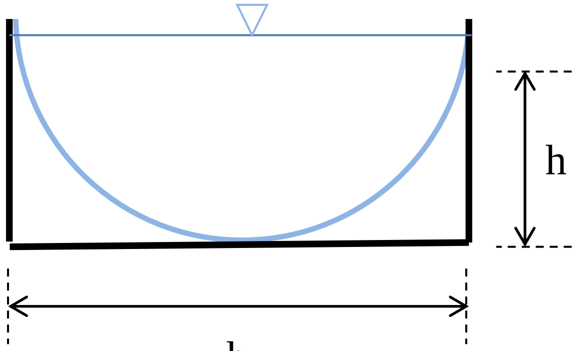
Kesit ortalama hızı : $V = \frac{1}{A} \left(\sum_{n=1}^{N} K_n \right) S^{1/2}$

Açık Kanalda En İyi Hidrolik Kesit

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

- Verilen bir A değerinde Q' nun maksimum olabilmesi için P' nin minimum olması gerekir.
- Tüm kesit şekilleri arasında bu özelliği taşıyan şekil yarım dairedir.

En iyi Dikdörtgen Kesit



$$A = b\,h\,,\;\; P = b + 2\,h$$

Verilen bir A için, b=A/h

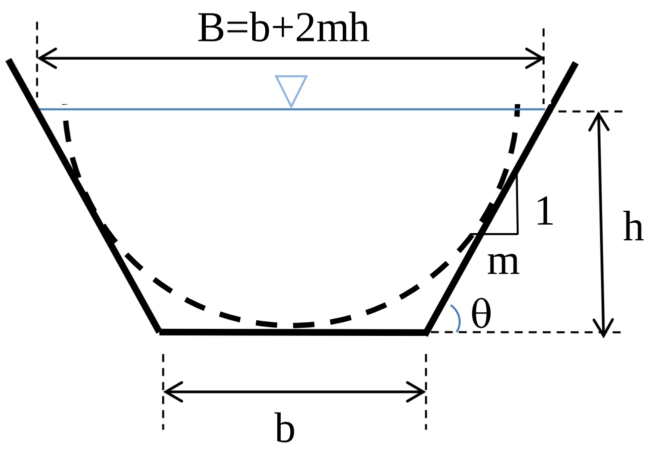
$$P = \frac{A}{h} + 2\,h$$

Minimum P durumunda:

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} + 2 = -\frac{b\,h}{h^2} + 2 = 0 \quad \Rightarrow \quad b = 2\,h$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b\,h}{b + 2\,h} = \frac{2\,h\,h}{2\,h + 2\,h} = \frac{h}{2}$$

Trapez Kesit



$$A = (b + m\,h)\,h\,,\ \ P = b + 2\,h\,\sqrt{1 + m^2}$$

$$b = \frac{A}{h} - m\,h$$

$$P = \frac{A}{h} - m\,h + 2\,h\,\sqrt{1 + m^2}$$

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} - m + 2\sqrt{1 + m^2} = 0$$

Minimum P durumunda:

$$\frac{(b + m\,h)\,h}{h^2} + m = 2\sqrt{1 + m^2}$$

$$b + 2\,m\,h = 2\,h\sqrt{1 + m^2}$$

Üst genişliği şevler toplamına eşittir.

En iyi trapez kesit için hidrolik yarıçap:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b + m\,h)\,h}{b + 2\,h\,\sqrt{1 + m^2}} = \frac{(b + m\,h)\,h}{b + b + 2\,m\,h} = \frac{h}{2}$$

Trapez kesit için en iyi şev açısı :

$$\frac{dP}{dm} = -h + \frac{2h\,2m}{2\left(1 + m^2\right)^{1/2}} = 0 \quad \Rightarrow \quad m = 1/\sqrt{3} \quad \Rightarrow \quad \theta = 60^o$$

Üniform Akışa Sahip Kanalların Projelendirilmesinde Dikkat Edilecek Özellikler

Kanalların projelendirilmesinde dikkat edilmesi gerekli iki önemli durum vardır:

1) Kanalın şevleri ve tabanı oyulmamalıdır,

2) Kanal içinde çökelme meydana gelmemelidir.

Kanalın ıslak çevresi üzerine etkili kuvvete "Sürükleme Kuvveti" veya "Sınır Kayma Gerilmesi" denir:

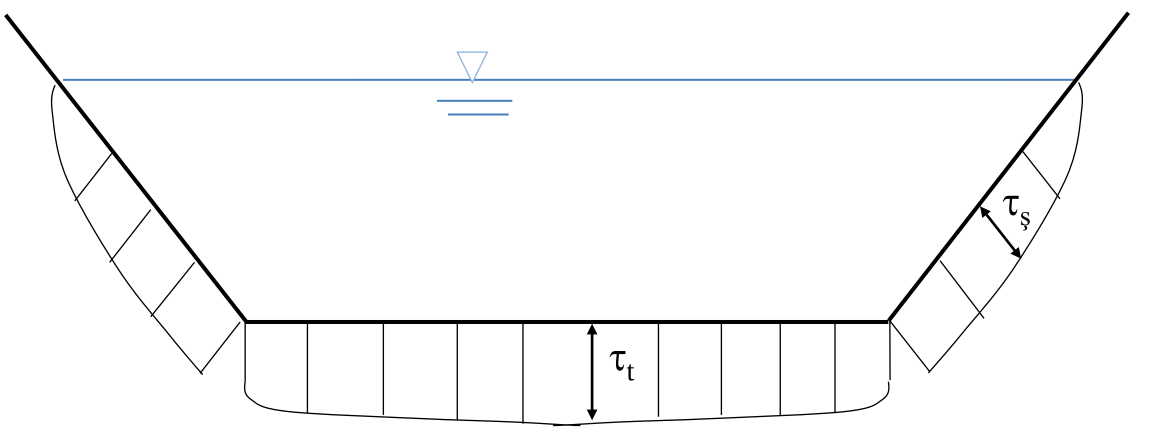
$$\tau_0 = \rho g R S_0$$

Maksimum kayma gerilmesi ile tabanda meydana gelir:

$$\tau_t = \rho g R S_0$$

Şevlerde meydana gelen kayma gerilmesi:

$$\tau_ş = 0.76 \rho g R S_0$$



Kanal cidarı üzerinde kayma gerilmesi dağılımı

$$\tau_{krş} = \tau_{krt}\sqrt{1-\frac{\sin^2\theta}{Sin^2\phi}}$$

θ şev açısı,

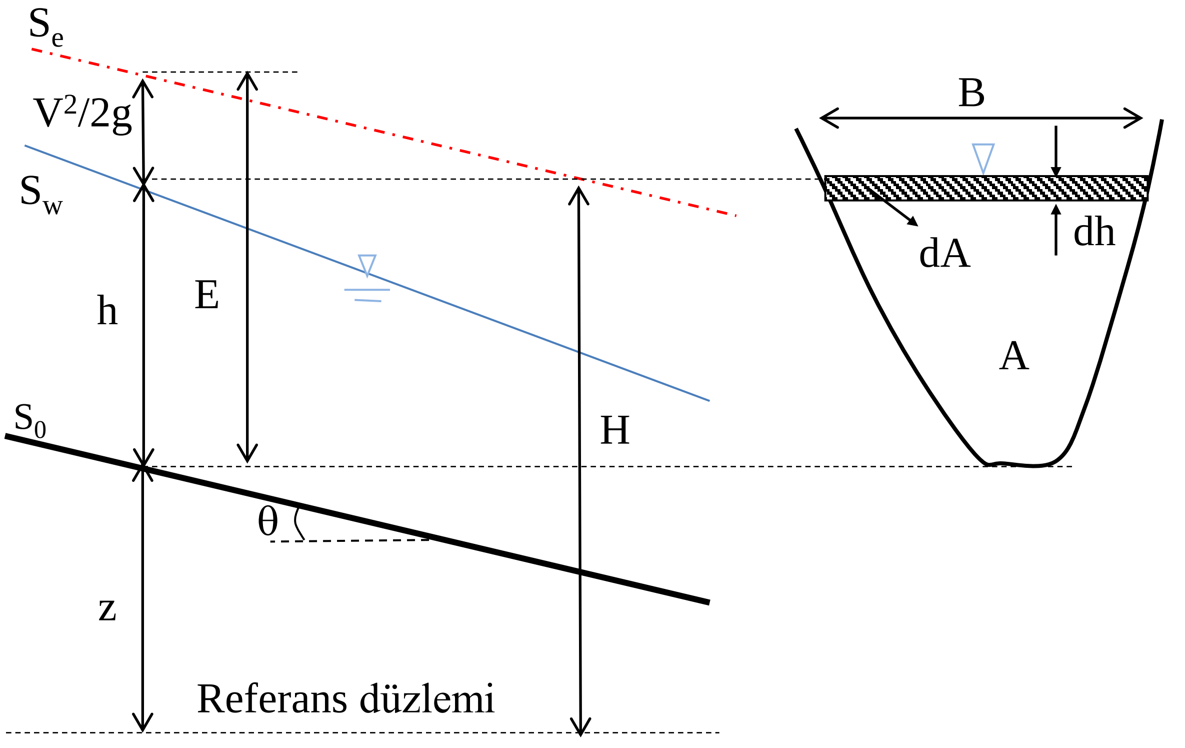
ϕ tabi zemin şev açısıdır.

- Kanallarda minimum hız hiçbir zaman 0.25-0.50 m/sn nin altına düşmemelidir.
- Bu durumda kanalda oyulma meydana geliyorsa böyle zeminlerde kaplama yapılmalıdır.
- Beton kaplamalı kanallarda maksimum hız 4.5 m/sn ye kadar çıkabilir.

Tablo Zemin cinsine göre şev eğimleri

Zemin cinsi	m
Kil	1/1 - 1.25/1
Adi Toprak	2/1
Killi Toprak	1.5/1
Gevşek zemin	2.5/1 -3/1
Kaya, Beton, Kargir	1/4

ÖZGÜL ENERJİ



$$E = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

1- Q sabit hali: E=f(h)

$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \qquad A = f(h)$$

$$h \rightarrow \infty \ ise \ \frac{Q^2}{2gA^2} \rightarrow 0 \ \ ve \ \ E \rightarrow \infty$$

$$h \rightarrow 0 \ ise \ \frac{Q^2}{2gA^2} \rightarrow \infty \ \ ve \ \ E \rightarrow \infty$$

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3}\frac{dA}{dh}$$

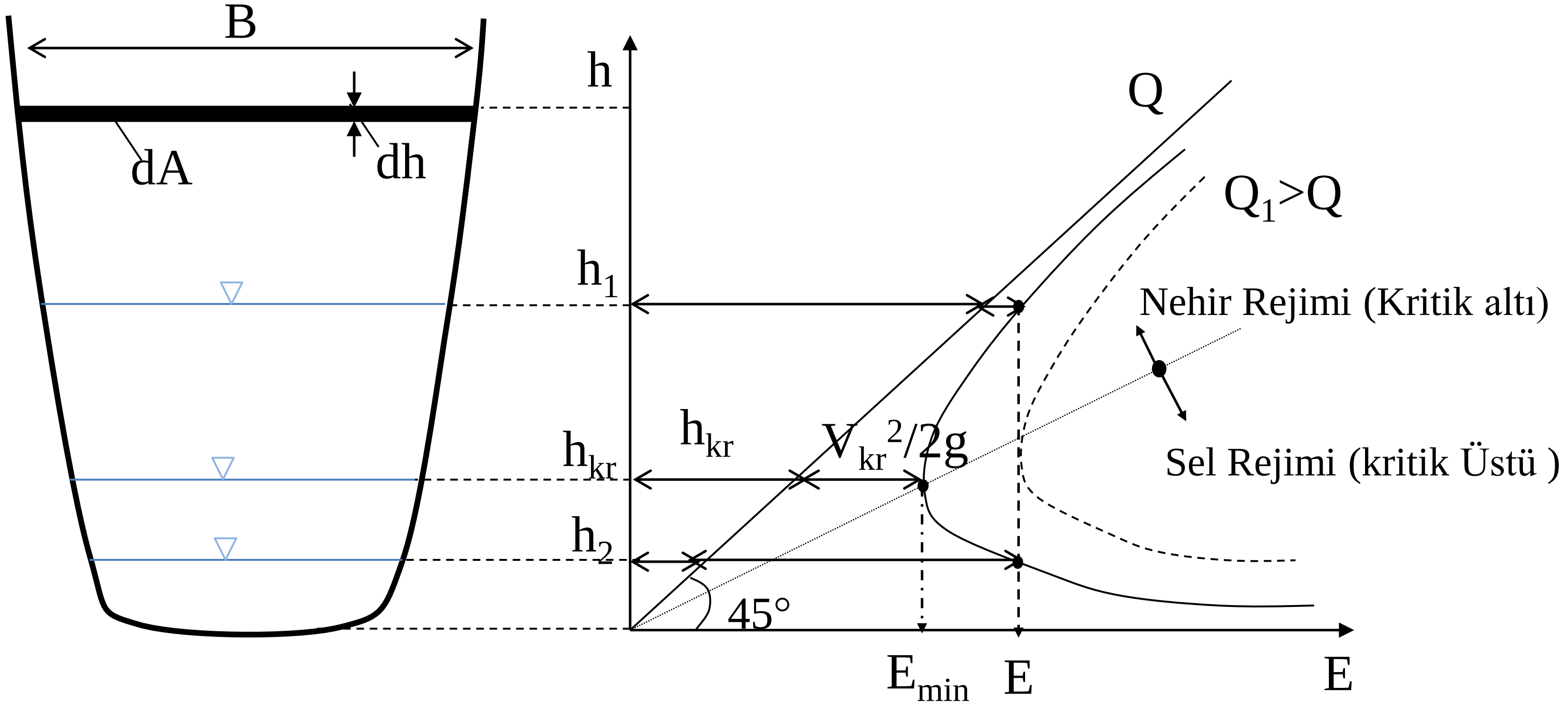
dA=Bdh

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3}B$$

$$1 - \frac{Q^2 B}{gA^3} = 0$$

$$\frac{Q^2 B}{gA^3} = 1$$

Kritik akımın genel ifadesi



Özgül Enerji Eğrisi

$$\frac{Q^2 B_{kr}}{g A_{kr}^3} = 1$$

$$Fr^2 = \frac{V_{kr}^2}{g \frac{A_{kr}}{B_{kr}}} = \frac{V_{kr}^2}{g h_{m\,kr}} = 1 \quad \text{veya} \quad Fr = 1$$

$Fr < 1$ Nehir rejimi

$Fr > 1$ Sel rejimi

$$V_2 = \frac{Q}{A_2} > V_{kr} = \frac{Q}{A_{kr}} > V_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$V_1 < V_{kr}$ Nehir Rejimi

$V_2 > V_{kr}$ Sel Rejim

$$E_{min} = h_{kr} + \frac{V_{kr}^2}{2g} = h_{kr} + \frac{h_{mkr}}{2}$$

$$V_{kr}^2 = \left(\frac{1}{n_{kr}} R_{kr}^{2/3} S_{kr}^{1/2} \right)^2 = g h_{mkr}$$

$$S_{kr} = \frac{n_{kr}^2 \, g \, h_{mkr}}{R_{kr}^{4/3}}$$

$$S_{kr} = \frac{g \, h_{mkr}}{C_{kr} R_{kr}} \qquad V \uparrow, S \uparrow veya V \downarrow, S \downarrow$$

$S < S_{kr}$ Nehir rejiminde

$S > S_{kr}$ Sel rejiminde

Dikdörtgen Kesitli Bir Kanalda:

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{(B_{kr}\, h_{kr})^3}{B_{kr}} \Rightarrow h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_{kr}^2\, g}}$$

B sabit olacağından $B=B_{kr}$, $q=Q/B$ birim debi tarifinden:

$$h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$h_{mkr} = \frac{A_{kr}}{B_{kr}} = \frac{B\, h_{kr}}{b} = h_{kr} \Rightarrow h_{mkr} = h_{kr} \text{ ve } h_m = h$$

Minimum enerji:

$$E_{min} = h_{kr} + \frac{h_{kr}}{2} = \frac{3}{2} h_{kr} \Rightarrow E_{min} = \frac{3}{2} h_{kr}$$

E=Sabit hali;Q=f(h)

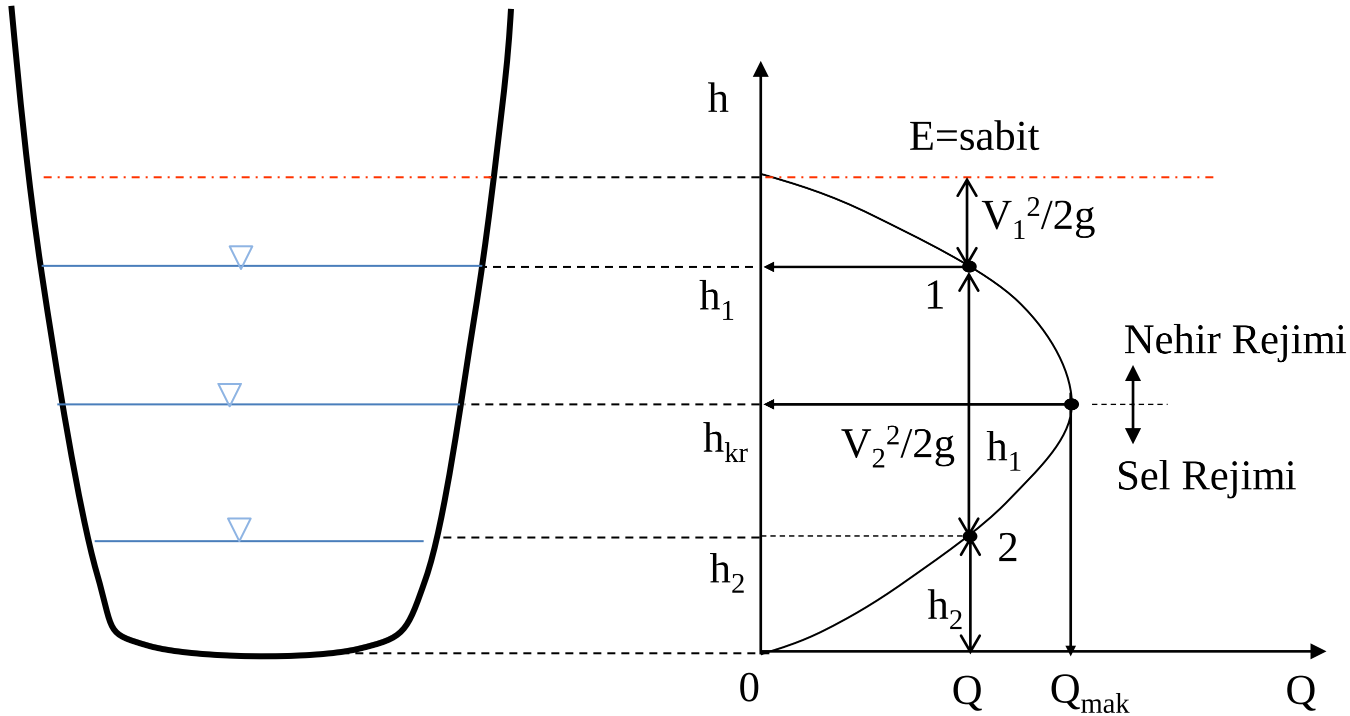
$$E = h + \frac{Q^2}{2gA^2} \Longrightarrow Q = A\sqrt{2g(E-h)}$$

$$h \to 0 \quad ise \quad A \to 0 \quad ve \quad Q \to 0$$

$$h \to E \ ise \ E - hA \to 0 ve Q \to 0$$

$$\frac{dQ}{dh} = \sqrt{2g}\left(\sqrt{E-h}\,\frac{dA}{dh} - \frac{A}{2\sqrt{E-h}}\right) = 0$$

$$dA/dh = B$$



Koch parabolü

$$\frac{2(E-h)}{A}=1$$

$$E-h_{kr}=\frac{A_{kr}}{2B_{kr}}$$

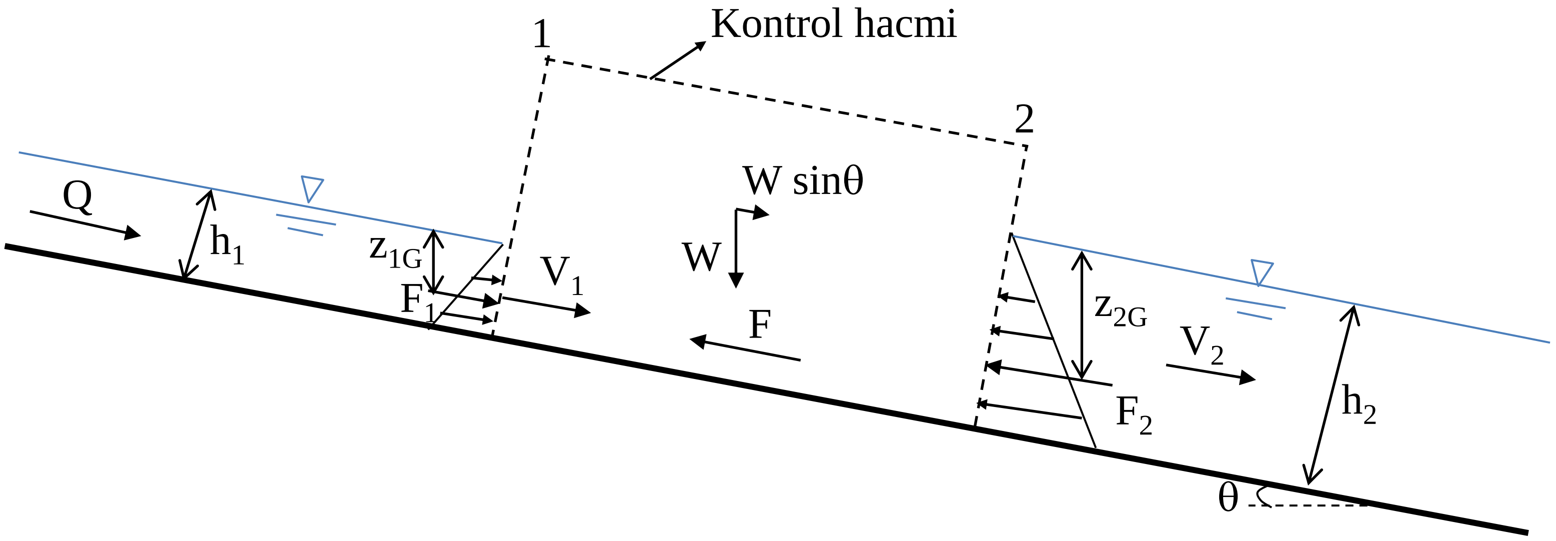
$$Q_{mak} = A_{kr}\sqrt{2g(E - h_{kr})}$$

$$E - h_{kr} = \frac{Q_{mak}^2}{A_{kr}^2\, 2g}$$

$$\frac{Q_{mak}^2}{A_{kr}^2\, 2g} = \frac{A_{kr}}{2B_{kr}}$$

$$\frac{Q_{mak}^2 B_{kr}}{g\, A_{kr}^3} = 1$$

MOMENTUM FONKSİYONU

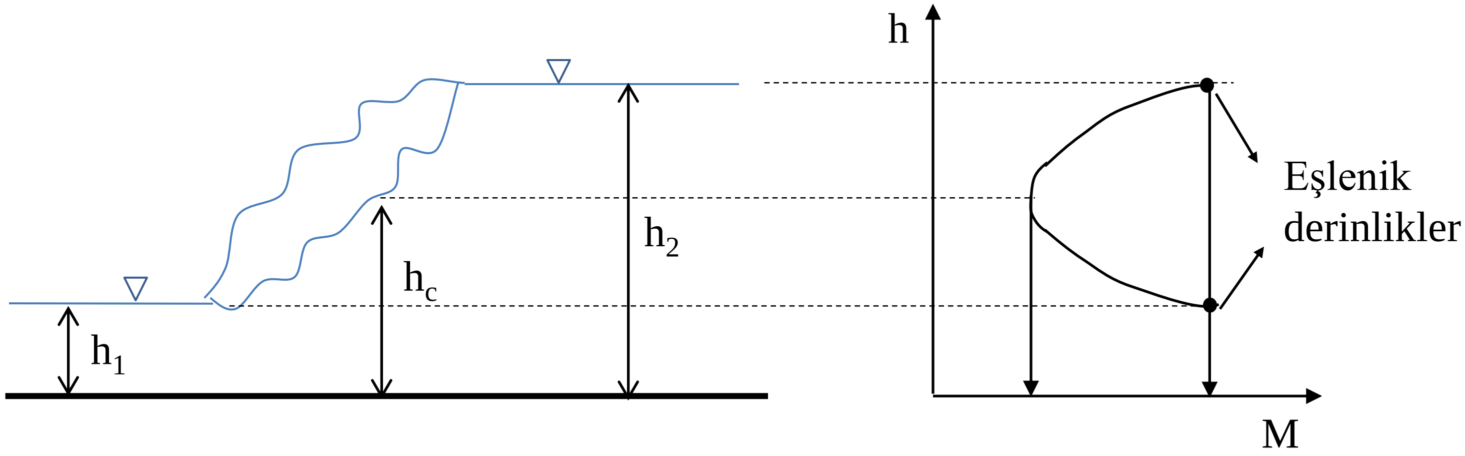


$$F_1 - F - F_2 = \rho Q (V_2 - V_1)$$

$$\rho g A_1 z_{1G} - F - \rho g A_2 z_{2G} = \frac{\rho Q^2}{A_2} - \frac{\rho Q^2}{A_1}$$

$$\frac{F}{\rho g} = \left(A_1 z_{1G} \frac{Q^2}{A_1 g} \right) - \left(A_2 z_{2G} \frac{Q^2}{A_2 g} \right)$$

$$\frac{F}{\rho g} = M_1 - M_2$$



Momentum fonksiyonunun değişimi

$$z_G = h/2$$

$$M = \frac{h}{2} + \frac{q^2}{gh}$$

$$\frac{dM}{dh} = 0 \Rightarrow h = h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

Momentum denklemi: F_1, Q_1, A_1 ve A_2 nin hesaplanmasını sağlar.

$$\left(A_1 z_{1G} \frac{Q^2}{A_1 g}\right) - \left(A_2 z_{2G} \frac{Q^2}{A_2 g}\right) = 0$$

Dikdörtgen kesitli kanalda:

$$\left(b_1\, h_1\, \frac{h_1}{2} \frac{q^2\, b_1^2}{b_1\, h_1\, g}\right) - \left(b_2\, h_2\, \frac{h_2}{2} \frac{q^2\, b_2^2}{b_2\, h_2\, g}\right) = 0$$

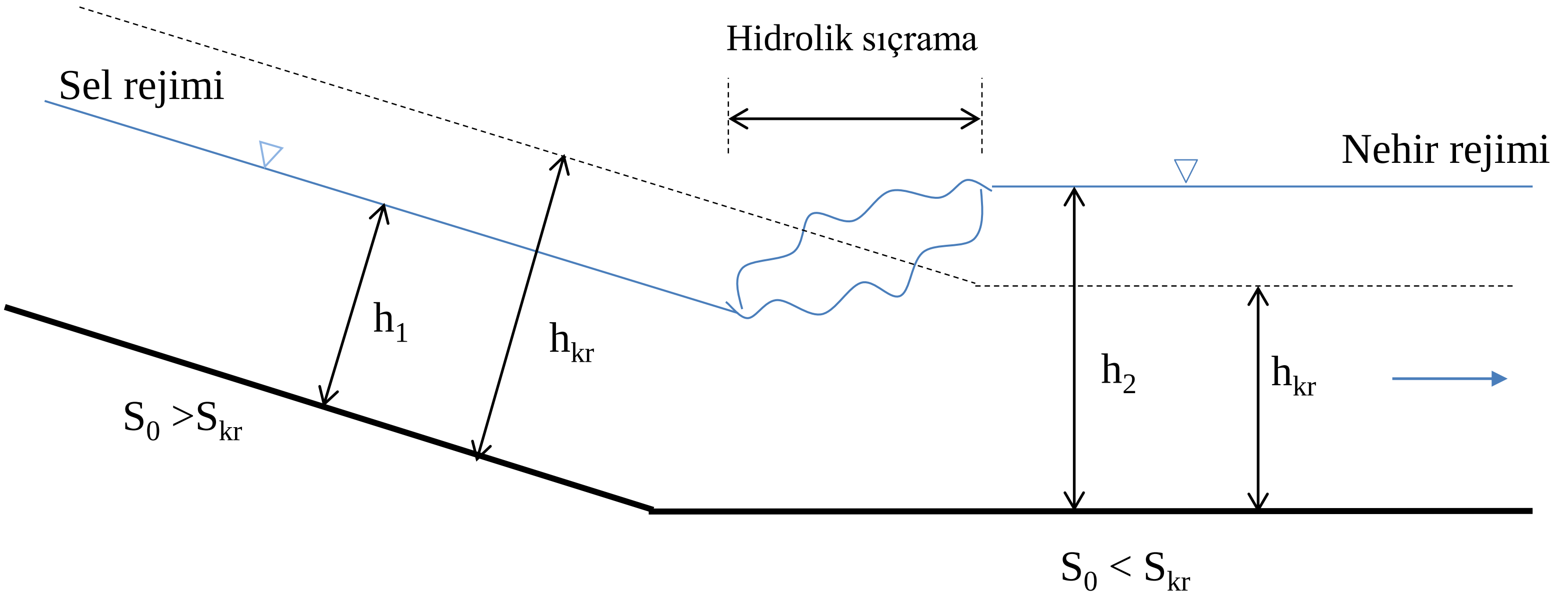
$$b_1 = b_2 \Rightarrow \left(\frac{h_1^2}{2} + \frac{q^2}{h_1\, g} \right) - \left(\frac{h_2^2}{2} + \frac{q^2}{h_2\, g} \right) = 0$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8\,\frac{V_1^2}{g h_1}} \right)$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{1}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8\,Fr_1^2} \right)$$

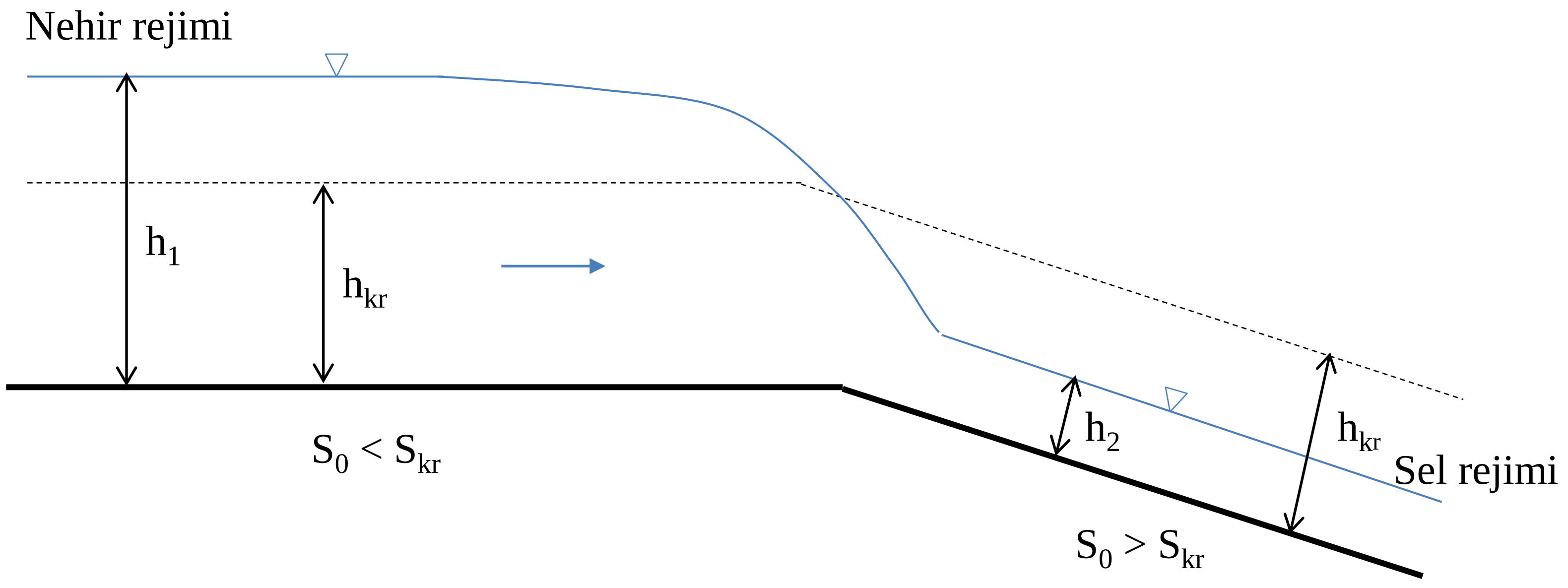
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{2}\left(-1 + \sqrt{1 + 8\,Fr_2^2} \right)$$

Nehir ve Sel Rejimlerinin Özellikleri

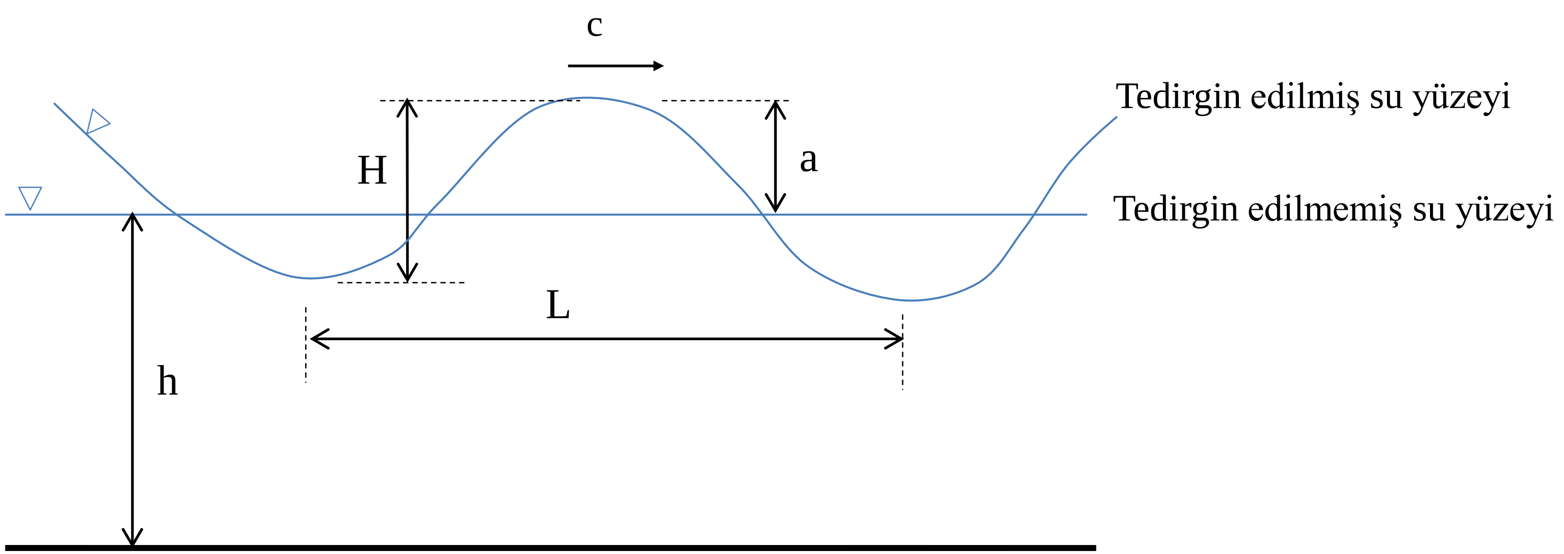


Sel rejiminden nehir rejimine geçiş

Keban barajı, dolu savak ve cebri borular

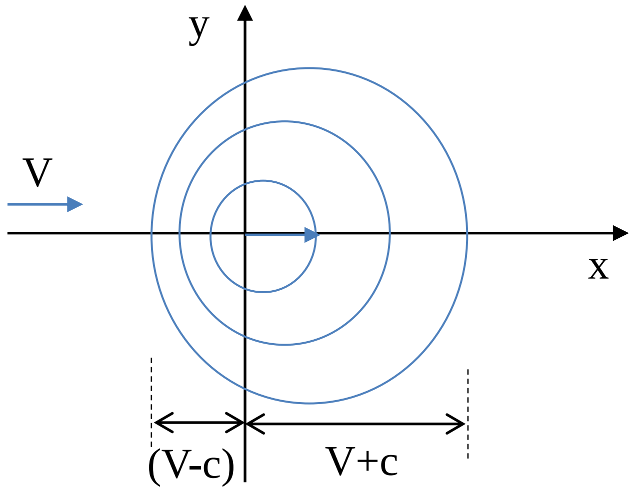


Nehir rejiminden sel rejimine geçiş


c
Tedirgin edilmiş su yüzeyi
H
a
Tedirgin edilmemiş su yüzeyi
L
h

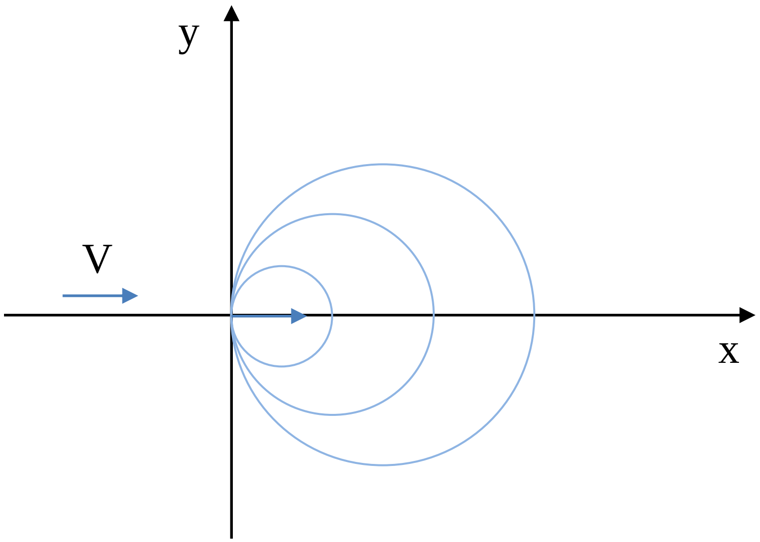
Tablo Dalga tipler ve yayılma hızları

h/L	Dalga tipi	Yayılma hızı
<1/20	Sığ su dalgası	$c = \sqrt{gh}$
1/20 – 1/2	Geçiş derinliği dalgası	$c = \left(\frac{g\,L}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \right)^2$
>1/2	Derin su dalgası	$c = \sqrt{\frac{g\,L}{2\pi}}$



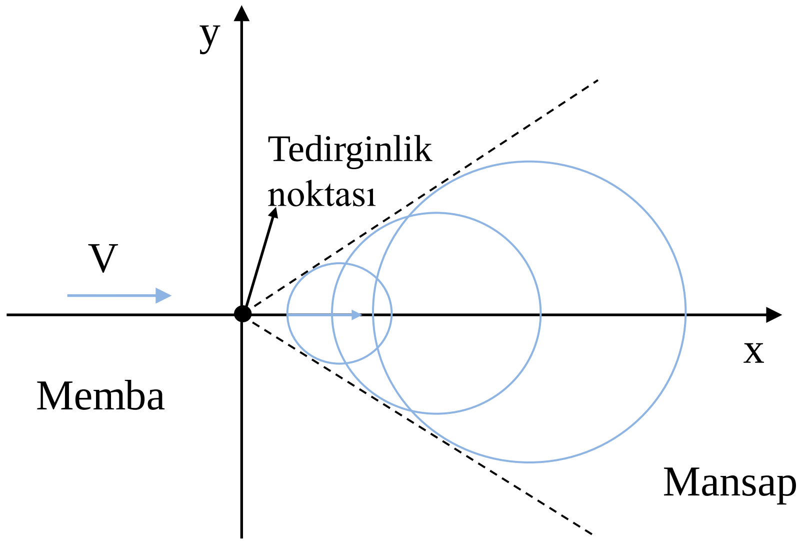
$$Fr = \frac{V}{c} < 1 \Rightarrow V < c$$

Kritik altı akımda dalga membaya



$$Fr = \frac{V}{c} = 1 \Rightarrow V = c$$

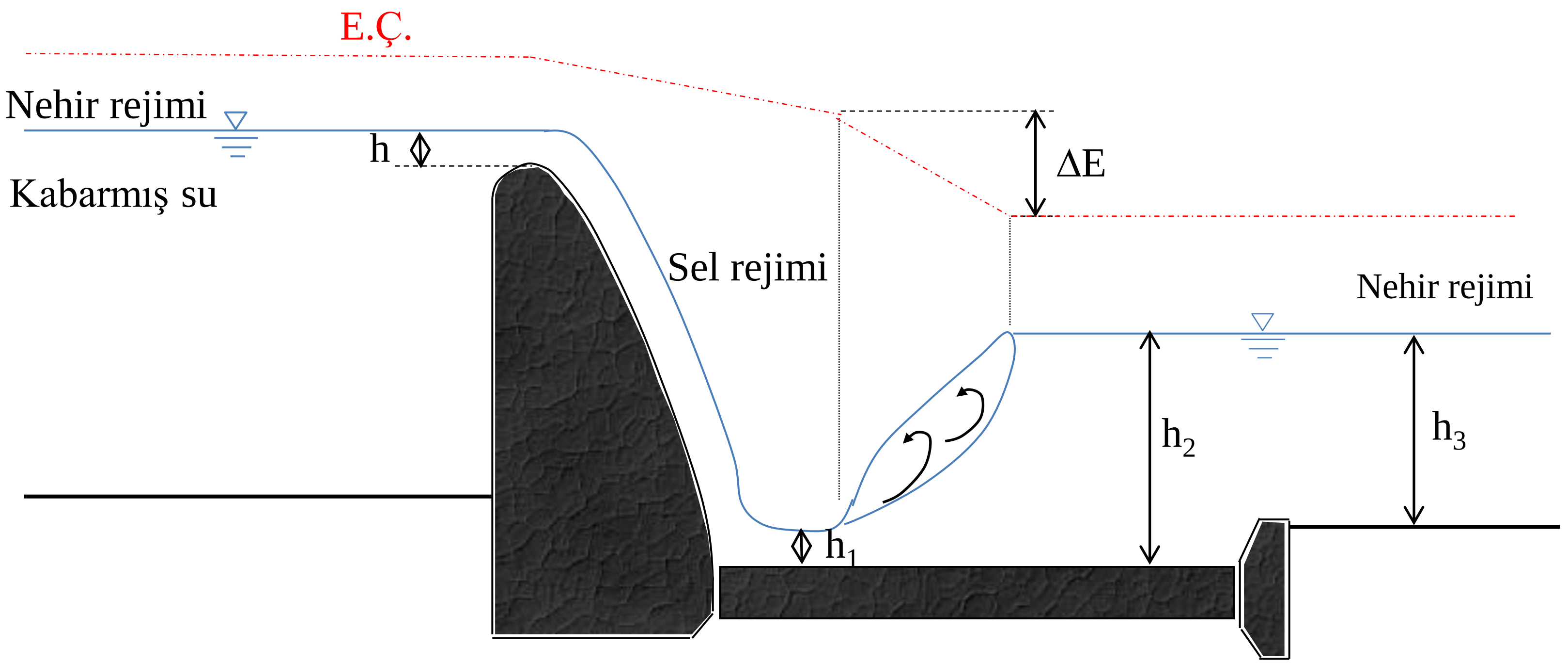
Kritik rejimdeki akımlarda dalga mansaba



$$Fr = \frac{V}{c} > 1 \Rightarrow V > c$$

Sel rejimindeki akımlar

Hidrolik Sıçrama



$$E_1 = E_2 + \Delta E$$

$$\Delta E = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_1 - \frac{V_2^2}{2g} = h_1 - h_2 + \frac{1}{2g}\left(\frac{q^2}{h_1^2} - \frac{q^2}{h_2^2}\right)$$

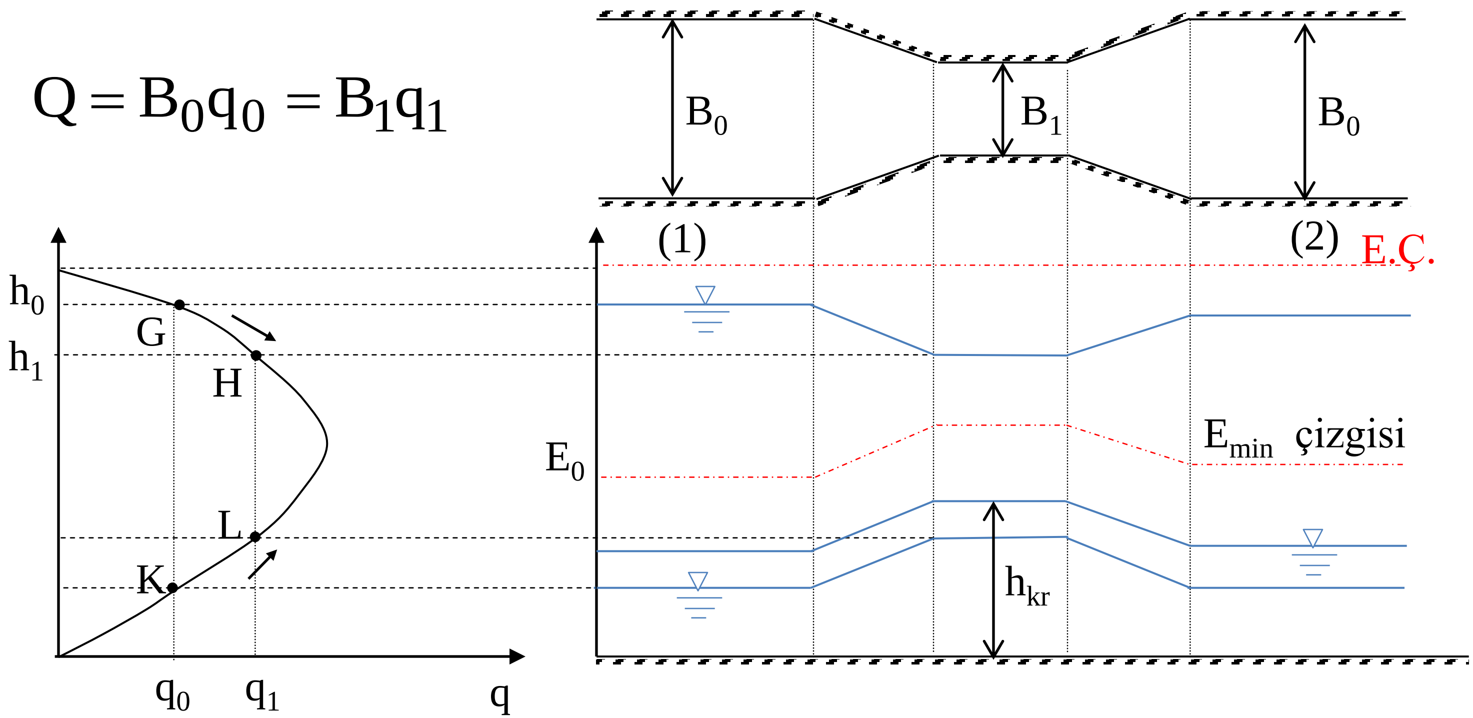
$$\Delta E = \frac{\left(h_2 - h_1\right)^3}{4h_1h_2}$$

Dikdörtgen kanalda hidrolik sıçrama durumunda enerji kaybı.

Açık Kanallarda Enkesit Değişimi

1-Kanal genişliğinin küçülmesi:

$$Q = B_0 q_0 = B_1 q_1$$

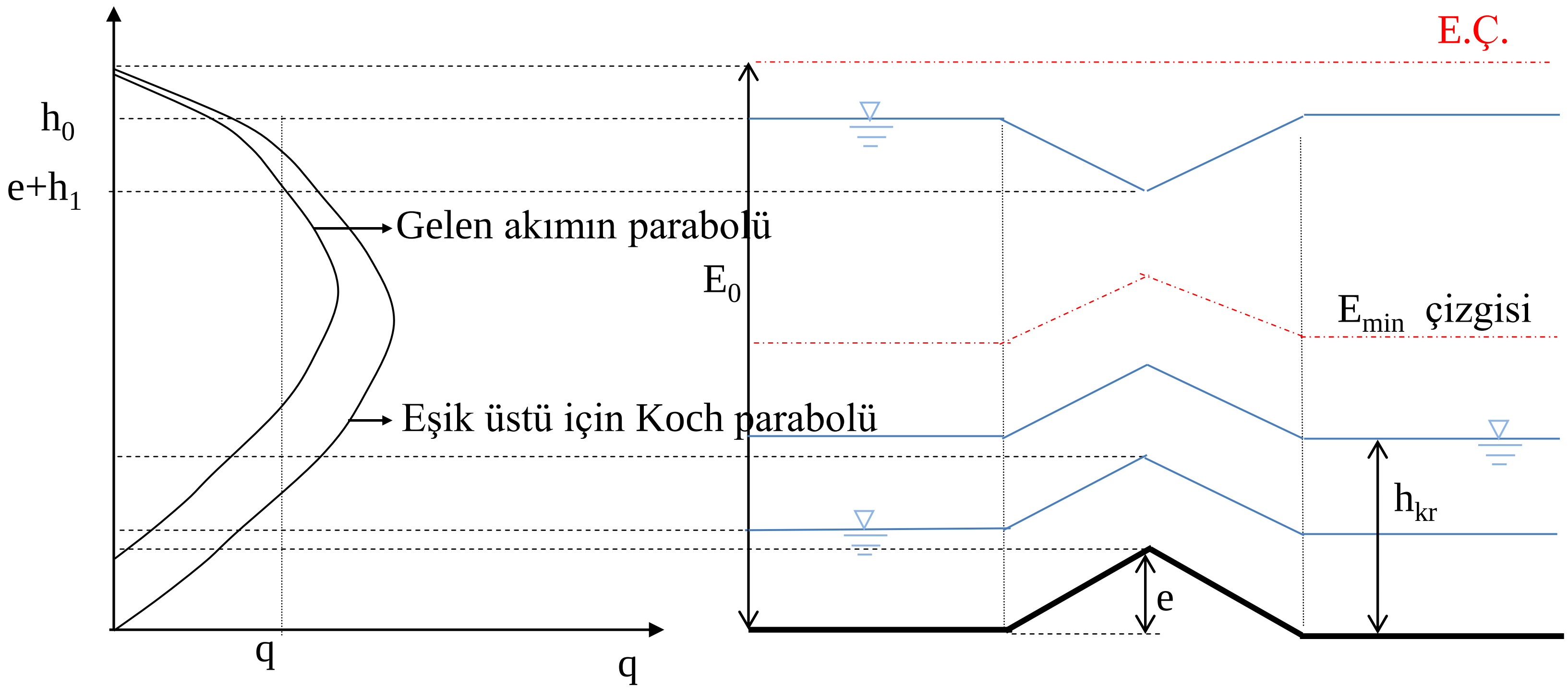


$$E = h_0 + \frac{Q_2}{2gA_0^2} = h_1 + \frac{Q_2}{2gA_1^2}$$

$$h_0 - h_1 = \frac{Q^2}{2g}\left(\frac{1}{B_1^2 h_1^2} - \frac{1}{B_0^2 h_0^2}\right)$$

$$Q = \sqrt{2g}\, B_0 B_1 \frac{h_0\, h_1\, \sqrt{h_0 - h_1}}{\sqrt{B_0^2\, h_0^2 - B_1^2\, h_1^2}}$$

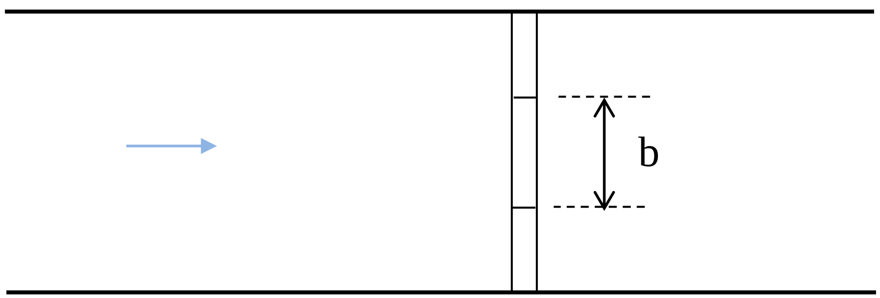
2- Kanal tabanının yükselmesi (Eşik):

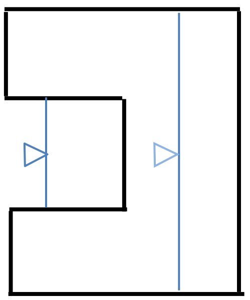


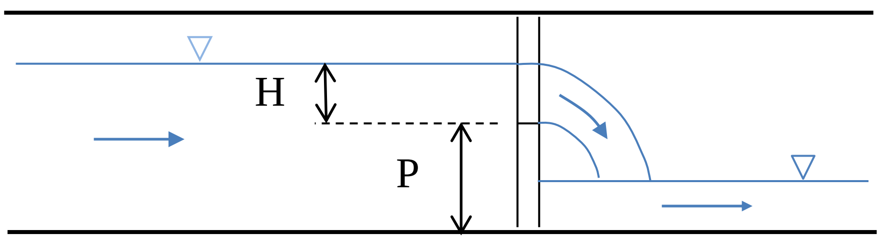
Eşik üzerindeki akım

Kanallarda debi ölçüm yapıları

1-Dikdörtgen kesitli keskin kenarlı savak:

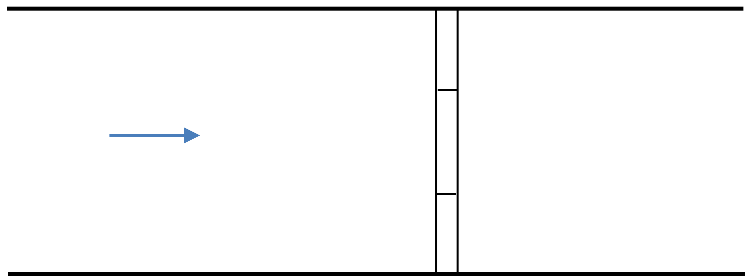


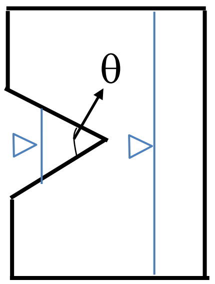


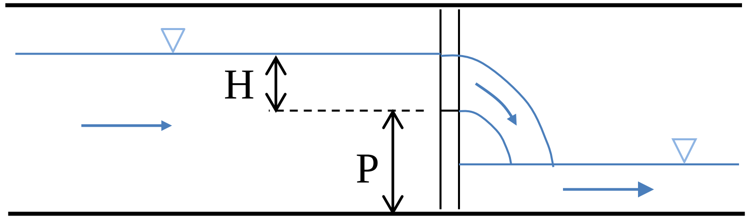


$$Q = C_s \frac{2}{3} \sqrt{2g}\, b\, H^{3/2}$$

2-Üçgen kesitli keskin kenarlı savak:

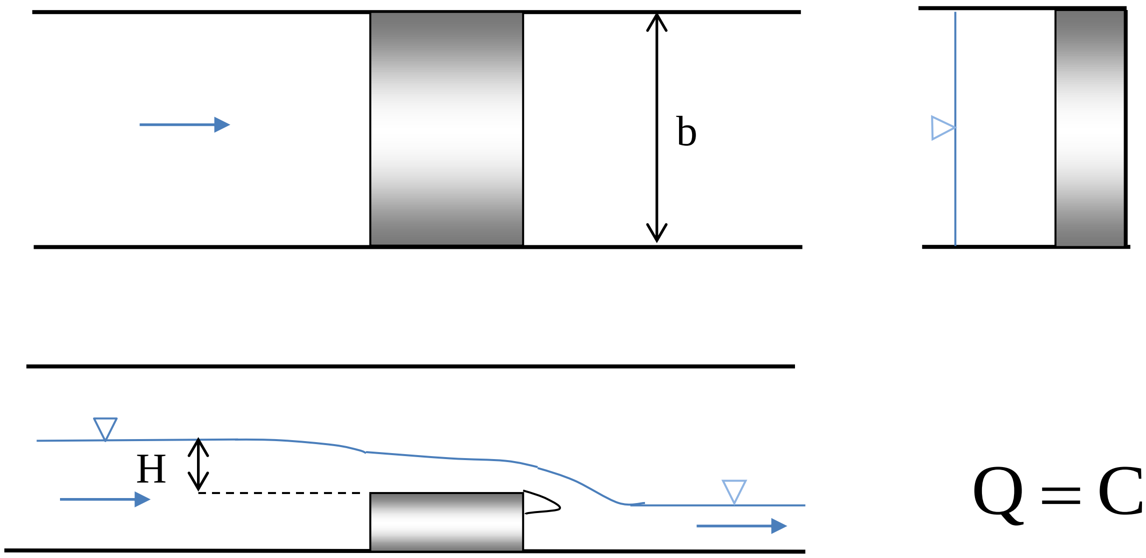






$$Q = C_s \frac{8}{15}\sqrt{2g}\tan\frac{\theta}{2}H^{5/2}$$

3-Geniş başlıklı savak



$$Q = C_s 1.7\, b\, H^{3/2}$$