6. AÇIK KANAL AKIMLARI (SERBEST YÜZEYLİ AKIMLAR)

6.1. Giriş

Atmosferle ortak yüzeyi bulunan sıvı akımlarına açık kanal akımları denir. Akarsu, kanal, tam dolu olmayan boru, galeri ve tünel akımları açık kanal akımlarıdır. Bir akışın açık kanal akımı olabilmesi için serbest sıvı yüzeyinin atmosferle temasta olması gerekir. Böyle akımlarda ana tahrik kuvveti sıvının eğimden ötürü oluşan yerçekim kuvveti (ağırlık)'dir. Düzenli, tam gelişmiş akım koşullarında akış yönündeki ağırlık kuvveti bileşeni, sıvı ve kanal yüzeyleri arasındaki zıt ve eşit kayma gerilmesi tarafından dengelenmektedir. Düzensiz ve tam gelişmemiş akım koşullarında, akışkanın atalet (kütlesel) kuvvetleri önemli olmaktadır.

6.2. Açık Kanal Akımlarının Genel Özellikleri

Açık kanal akımlarında akım tipi;

$Re < 500$ ise laminer
$500 < Re < 12\,500$ ise geçiş
$Re > 12\,500$ ise türbülans

kabul edilir (Munson vd. 1994). Bu değerler yaklaşık değerlerdir. Açık kanallarda viskozitesi küçük olan su iletimi yapıldığından akım tipi çoğunlukla türbülans olmaktadır.

Sıvı hızı ile dalga hızı arasındaki ilişki Froude sayısı ile verilmektedir.

$$F_r = \frac{V}{(g.L)^{1/2}}$$

Burada;

F_r : Froude sayısı (-),
V : Ortalama hız (m/s),
g : Yerçekim ivmesi (9,81 m/s^2),
L : Akımın karakteristik uzunluğu olup genellikle sıvı derinliğidir (m).

Eğer;

$F_r = 1$ ise kritik akım
$F_r < 1$ ise kritik altı akım
$F_r > 1$ ise kritik üstü akımdan söz edilir (White 1998).

Froude sayısının 1'e eşit olması durumunda ($F_r = 1$) sıvı hızı $V = (g.L)^{1/2}$ olmaktadır.

Yer çekim kuvvetlerinin etkili olduğu kritik altı akımlarda $V < (g.L)^{1/2}$ dir ve bu tür akımlara hız küçük olduğundan “nehir akımı”, “durgun akım” da denir.

Kritik üstü akımlarda atalet kuvvetleri büyük rol oynamakta ve bu nedenle hız yüksek olduğundan ($V > (g.L)^{1/2}$) bu akımlara “sel akımı”, “hızlı akım” da denmektedir.

6.3. Yüzey Dalgaları

Açık kanal akımlarında sıvı yüzeyi farklı biçimlerde oluşmaktadır. Dalganın olmaması durumunda bir göl, bir okyanus yüzeyi ayna gibi dümdüz olmaktadır. Ancak sıvı yüzeyine yapılan müdahaleler sonucu sıvının serbest yüzeyinin düzgünlüğü bozulmakta ve dalgalar meydana gelmektedir. Dalgalar uzun, kısa, büyük, küçük olabilmektedir. Dalga hızını hesaplamak açık kanal akımlarında çok önemlidir. Dalga hızı değişik yöntemlerle hesaplanmaktadır. Dalgaların sürekli hareket etmesi koşulunu göz önüne alır ve dalga hızını hesaplarsak aşağıdaki bağıntıyı buluruz (Munson vd. 1994, Sümer vd. 1995) (Şekil 6.3).

$$C = \left[\frac{g.\lambda}{2.\pi}.\tanh\left(\frac{2.\pi.y}{\lambda}\right)\right]^{1/2}$$

C : Dalganın yayılma hızı (m/s),
g : Yerçekim ivmesi (9,81 m/s^2),
λ : Dalga boyu (m),
y : Ortalama sıvı derinliği (m),
tanh : Hiperbolik tanjant’dır.

Görüldüğü gibi dalganın yayılma hızına sıvının özgül kütlesinin ve dalga yüksekliğinin etkisi yoktur.

Eğer sıvı derinliği dalga boyundan çok büyükse yani okyanusta olduğu gibi sıvı çok derinse ($y >> \lambda$) yukarıdaki formülde $\tanh\left(\frac{g.\lambda}{2.\pi}\right) = 1$ kabul edilebilecek ve dalgı hızı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$C = \left[\frac{g.\lambda}{2.\pi}\right]^{1/2}$$

Yine eğer sıvı açık kanalda olduğu gibi çok derin değilse yani sıvı derinliği dalga boyu yanında çok küçük ise ($y << \lambda$) $\tanh(2.\pi.y/\lambda)= 2.\pi.y/\lambda$ alınabilir ve dalga hızı;

$$C= (g\ .\ y)^{1/2}$$

olur (Çengel ve Cimbala 2008). Yukarıda verdiğimiz üç formülün grafiği Şekil 6.4’de görülmektedir. Şekil 6.4’de kesikli yatay eğri (1) sığ sulardaki $C= (g.y)^{1/2}$

formülüyle hesaplanan dalga hızını göstermektedir. Derin sulardaki dalga hızı, dalga boyuna (λ/y) bağlı olarak doğrusal olarak artmakta ve şekilde kesikli çizgi ile gösterilmektedir (2). Geçiş sıvı derinliklerinde yani sığ sıvı ile derin sıvı arasındaki sıvı derinliklerindeki dalga hızı eğrisi (3) ile yani sürekli çizgiyle göstermektedir.

Sıvı yüzeyinde elementer bir dalganın hareketini göz önüne alalım. Bu dalganın hızı C ve dalganın altındaki sıvının hızı ise V olsun (Şekil 6.5). Sığ akımda yani sıvı hızının dalga hızından küçük olduğu (V < C) koşulda dalga hızı akış yönünde (V + C) hızıyla hareket ederken harekete zıt yönde yani sıvı kaynağı yönünde (V – C) hızıyla hareket edecektir. Eğer sıvı hızı (V), dalga hızından (C) büyükse (V > C) ise dalga akış yönünde A noktasından (V + C) hızıyla uzaklaşacaktır. Yine akıma zıt yönde dalga (V – C) hızıyla yayılacak ancak (V > C) olduğunda (+ V) kadar da akım yönünde ötelenecektir. Dolayısıyla A noktasından devamlı akım yönünde yani sağa doğru hareket edecektir. Özetlersek (V < C) ise akım alanının herhangi bir noktasında meydana getirilen bir değişiklik akım alanının bütün noktalarında hissedilebileceği halde, (V > C) akım koşullarında yalnızca bu noktanın akım yönünde olan bölgesi içerisindeki noktalar tarafından hissedilir (Sümer vd. 1995).

Froude sayısının L karakteristik uzunluğunu sıvının derinliği (y) kabul ederek (L = y) dalga hızıyla akım ilişkisini açıklayalım.

$$F_r = \frac{V}{(g.y)^{1/2}}$$

olduğunu biliyoruz. Dalga hızı ise açık kanallarda C= $(g.y)^{1/2}$ olduğundan Froude sayısı;

$$F_r = \frac{V}{C} \text{ bulunur.}$$

Yukarıda da söylediğimiz gibi durgun bir sıvıya bir taş attığımızda meydana gelen dalgalar eşit büyüklükte olup her yöne yayılacaktır. Sıvı hareketli ancak V < C ise dalga harekete karşı yönde de ilerleyecek ve $F_r < 1$ olacaktır. Bu koşuldaki akım (V < C ve $F_r < 1$) kritik altı akım, nehir akımı adını alacaktır. Eğer sıvı hızı dalga hızından büyükse (V > C) $F_r > 1$ olacak ve kritik üstü akım (sel akımı) meydana gelecektir. Eğer özel durumda dalga hızı sıvı hızına eşit olursa (V = C) F_r = 1'dir ve bu tür akımlara kritik akım denir (Ayyıldız 1983).

6.4. Açık Kanallarda Enerji

Açık kanallarda enerji eşitliğini elde etmek için Şekil 6.6'da görülen kanal kesitini göz önüne alalım. Bu kesitte kanalın taban eğimi $S_0= (z_1 – z_2)/L$ ve enerji çizgisinin eğimi $S_f= h_L/L$ yazılabilir. Kanaldaki sıvı derinlikleri y_1 ve y_2, sıvı hızları V_1 ve V_2, ele alınan kesitlerin referans eksenine uzaklıkları z_1 ve z_2, hız yükleri $V_1^2/2.g$ ve $V_2^2/2.g$ olarak verilmiştir.

Ele alınan (1) ve (2) kesitlerindeki hız dağılımını homojen kabul ederek, akım çizgisi boyunca bir boyutlu Bernoulli eşitliğini uygulayalım.

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} + h_L$$

h_L : (1) kesitinden (2) kesitine giderken meydana gelen yük kaybıdır. z_1-z_2 = S_0.L ve basınç her iki kesitte hidrostatik olduğundan y_1= P_1/γ ve y_2= P_2/γ alarak yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$y_1 + S_0.L + \frac{V_1^2}{2.g} = y_2 + h_L + \frac{V_2^2}{2.g}$$

Bilindiği gibi enerji çizgisi, referans eksenine olan uzaklığın yani potansiyel yükün (z), basınç yükünün (P/γ) ve hız yükünün ($V^2/2.g$) toplamından oluşmaktadır. Bu durumu göz önüne alarak ve h_L yerine S_f.L yazarak enerji denklemi;

$$y_1 - y_2 = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2.g} + (S_f - S_0).L$$

şeklini alır. Açık kanallarda taban eğimi çoğunlukla çok küçüktür ve ihmal edilebilir (S_0= 0). Eğer sürtünme kaybı da ihmal edilecek kadar küçükse açık kanaldaki enerji denklemi;

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

şeklinde yazılır (Munson vd.1994).

Açık kanallarda taban eğimi çok küçük olduğundan referans ekseni kanal tabanı kabul edilir ve böylece z_1 = z_2 olur. Yine bir kesitteki basınç değişimi hidrostatik olduğundan P/γ= y yazılabilir. Yani açık kanalda basınç yükü sıvı derinliğine (y) eşittir. Eğer kanalın bir kesitindeki enerjiyi yazarsak ve z= 0 ve P/γ= y alırsak "özgül enerji" kavramı ortaya çıkar (Streeter ve Wylie 1983).

$$E = y + \frac{V^2}{2.g}$$

Yukarıda yazdığımız $y_1 = y_2$ eşitliğini özgül enerjiye göre düzenlersek açık kanaldaki enerji denklemi özgül enerjiye bağlı olarak;

$$E_1 = E_2 + (S_f - S_0) \cdot L$$

olur. Eğer sürtünmeyi ihmal eder ve $S_f = 0$ alırsak;

$$(S_f - S_0) \cdot L = - S_0 \cdot L = z_2 - z_1$$

bulunur. Buna göre açık kanalda özgül enerjiye bağlı enerji denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

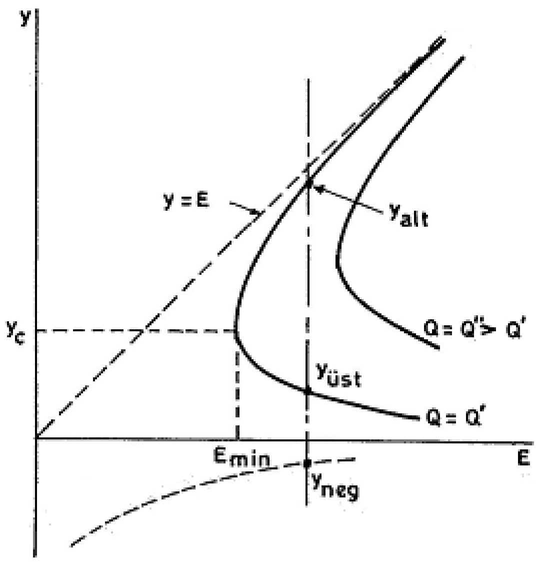
$$E_1 + z_1 = E_2 + z_2$$

Bir kesitteki özgül enerji denkleminde ($E = y + V^2/2.g$), $V = Q/A$ bağıntısını yerine koyarsak;

$$E = y + \frac{Q^2}{2.g.A^2}$$

elde edilir (Giles 1980, Streeter ve Wylie 1983).Burada kesit alanı (A), sıvı derinliğinin (y) bir fonksiyonudur. Bu son özgül enerji denklemini ele alarak özgül enerji (E) ile derinlik (y) arasındaki ilişkileri inceleyelim. Özgül enerji ile derinlik arasındaki ilişkiyi incelerken verdi (Q) sabit kabul edilecektir.

Bir kesitteki verdiye bağlı özgül enerji denkleminde ($E = y + Q^2/2.g.A^2$) $y \rightarrow 0$ iken $A \rightarrow 0$ olacağından özgül enerji sonsuza gider yani; $E \rightarrow \infty$ olur. Buna göre y= 0 doğrusu bir asimptottur (Şekil 6.7).



Şekil 6.7. Verdi sabit iken özgül enerji-derinlik ilişkileri (Edis 1972b, Giles 1980, Streeter ve Wylie 1983,Ayyıldız 1983)

Yine y → ∞ durumunda $Q^2/(2.g.A^2)$ → 0 olacağından E eğrisi E= y doğrusuna gidecektir. Yani E = y, 45° lik bir doğru ve eğrinin ikinci asimptotu olacaktır. Bu verilenlere göre E eğrisi bir minimumdan geçmelidir. Bu minimum noktanın koordinatları;

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{g.A^3}.\frac{dA}{dy} = 0$$

$$\frac{Q^2}{g.A^3}.\frac{dA}{dy} = 1$$

denkleminden bulunur. Sıvı derinliğindeki küçük bir artış (dy) kesit alanında (A) küçük bir artışa (dA) neden olacaktır. Sıvının serbest yüzey genişliğini B alır ve dA = B . dy yazarsak;

$$\frac{Q^2.B(y)}{g.A^3(y)} = 1$$

elde ederiz (Streeter ve Wylie 1983, Sümer vd. 1995)).Bu denklemde A ve B, y'nin bir fonksiyonudur. Q ve g sabit olduğuna göre bu denklemin y'ye göre çözümü bize bir derinlik değerini verecektir. Bu derinlik değeri özgül enerjiyi minimum yapmakta ve y_c ile gösterilerek kritik derinlik adını almaktadır. Yani y = y_c iken E = E_{min} olmaktadır. Şekil 6.7 incelendiğinde verdinin başka bir değeri için ikinci bir enerji eğrisi çizilebilir. Daha doğrusu her sabit verdi değeri için farklı bir enerji eğrisi elde edilir. Şekilde iki farklı enerji eğrisi verilmiştir. Şekil 6.7 eğrisini incelediğimizde şu sonuçlar çıkarılabilmektedir:

a) Eğer verdi ve özgül enerji sabit ise (E= y + $Q^2/2.g.A^2$) bağıntısının çözümü 3 bilinmeyenli biçime dönüşür ve 3 çözümü vardır. Bu çözümler şekilde y_{neg}, y_{alt} ve $y_{üst}$ olarak gösterilmiştir. Eğer özgül enerji yeterince büyükse yani E > E_{min} ise pozitif (y_{alt} ve $y_{üst}$) ve bir negatif (y_{neg}) çözüm bulunur. Negatif değerin bir anlamı yoktur ve ihmal edilebilir. Buna göre sabit verdi ve belirli özgül enerji için iki olası derinlik vardır. Yani Q-sabit verdisini belli bir özgül enerji değerinde iki farklı derinlikte iletmek olanaklıdır. Bu derinliklerden birisi kritik derinlikten büyük (y_{alt}), diğeri küçüktür ($y_{üst}$). Kritik derinlik bu iki derinliğin arasında kalmaktadır.

$$Y_{üst} < y_c < y_{alt}$$

Bu derinliklere sahip kesitlerin alanları $A_{üst} < A_c < A_{alt}$ ve hızları $V_{üst} = \frac{Q}{A_{üst}} > V_c = \frac{Q}{A_c} > V_{alt} = \frac{Q}{A_{alt}}$ olmaktadır. Kritik hızdan, kritik derinliğin altında kalan akımın hızı ($V_{üst}$), kritik üstünde kalan akımın hızı (V_{alt}) büyük olmaktadır.

b) Minimum derinliğin altında $y_{üst}<y_c$ ve $V_{üst}>V_c$ olduğundan $F_r>1$ olmakta ve bu tür akıma sel akımı, kritik üstü akım, hızlı akım ya da alçak akım denmektedir. Kritik koşullarda $V= V_c$, $y= y_c$ ve $F_r= 1$, kritik derinliğin üstünde $y_{alt}>y_c$, $V_{alt}<V_c$, $F_r<1$ olmakta ve bu tür akıma nehir akımı, kritik altı akım, durgun akım ya da yüksek akım denmektedir.

c) Verdi sabit iken açık kanalda akışın sağlanabilmesi için özgül enerji (E) en azından E_{min} kadar olmalı ya da $E > E_{min}$ olmalıdır.

Yukarıda irdelediğimiz özgül enerji – derinlik ilişkisini özele indirgeyelim ve genişliği b olan dikdörtgen bir kanal alalım (Sümer vd.1995). Dikdörtgen kanalın birim genişliğine düşen verdiye q diyelim (q= Q/b): Buna göre B=b ve A= b . y alırsak;

$$\frac{Q^2.B(y)}{g.A^3(y)} = 1$$

bağıntısı aşağıdaki biçime dönüşür.

$$\frac{Q^2.b}{g.b^3.y^3} = 1$$

$$\frac{Q^2}{g.b^2.y^3} = 1$$

$$y = \left(\frac{Q^2}{g.b^2}\right)^{1/3}$$

$$y = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

Bu derinlik kritik derinliktir. Yani özgül enerjiyi minimum yapan derinlik değeridir. Buna göre dikdörtgen kanalda kritik derinlik (y_c);

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

ile hesaplanmaktadır. Bu kritik derinlik değerini özgül enerji denkleminde yerine koyarak minimum özgül enerji bulunabilir.

$$E = y + \frac{Q^2}{2.g.A^2} = y + \frac{(q.b)^2}{2.g.(b.y)^2}$$

$$E = y + \frac{q^2.b^2}{2.g.b^2.y^2} = y + \frac{q^2}{2.g.y^2}$$

Bulunan bu son eşitlikte y= y_c = $(q^2/g)^{1/3}$ konarak dikdörtgen kanalda minimum özgül enerji (E_{min})

$$E_{min} = \frac{3.y_c}{2}$$

yazılarak bulunur. $V_c = \frac{q}{y_c} = \frac{(y_c^{3/2}.g^{1/2})}{y_c} = (g.y_c)^{1/2}$ elde edilir.

Bu da kritik derinlikte Froude sayısının 1 olduğunu gösterir.

$$F_{rc} = \frac{V_c}{(g.y_c)^{1/2}} = \frac{V_c}{V_c} = 1$$

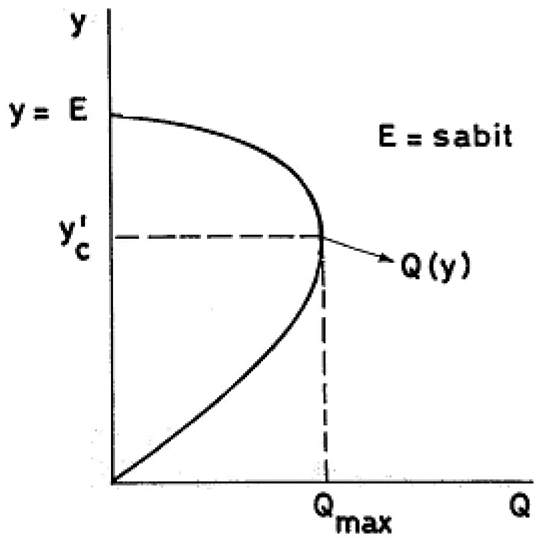
Verdiyi sabit alarak özgül enerji-derinlik ilişkilerini inceledik. Şimdi de özgül enerjiyi sabit alalım ve verdi-derinlik ilişkilerini inceliyelim. Özgül enerji denklemin de;

$$E = y + \frac{Q^2}{2.g.A^2}$$

enerji (E) sabit alınırsa verdi aşağıdaki gibi bulunur.

$$Q = A\sqrt{2.g.(E - y)}$$

Bu eşitlikte y= 0 için A= 0 ve dolayısıyla Q= 0 ve y= E için yine Q= 0 olacağından bu denklemin grafiği Şekil 6.8' deki gibi çizilir.



Şekil 6.8. Özgül enerji sabit iken verdi-derinlik ilişkileri (Sümer vd.1995).

Şekilden görüldüğü gibi Q(y) eğrisi bir maksimumdan geçmektedir. Bu maksimum noktasının koordinatlarını bulmak için verdinin derinliğe göre türevini alalım;

$$\frac{dQ}{dy} = \frac{2.g(E-y).\frac{dA}{dy} - A.g}{\left(2.g(E-y)\right)^{1/2}} = 0$$

dA = B.dy alınırsa;

$$\frac{2.(E-y).B(y)}{A(y)} = 1$$

bulunur. Bu bağıntıda A ve B y'nin birer fonksiyonudur. Enerjiyi sabit alarak bu bağıntıdan bir y değeri elde ederiz. Bu y değerine y_c dersek, maksimum verdi;

$$Q_{max} = A(y_c)(2.g(E-y_c))^{1/2}$$

bulunur. Buradaki A, y_c derinliğindeki kesit alanıdır. Bu formülden E-y_c çekilip bir önceki formülde yerine konulursa;

$$\frac{Q_{max}^2 .B(y_c)}{g.A^3(y_c)} = 1$$

bağıntısı elde edilir (Sümer vd.1995).. Biz bu bağıntının aynısını daha önce özgül enerji-derinlik ilişkilerini incelerken elde etmiştik. Bu denklemin çözümü bize daha önce elde ettiğimiz kritik derinliği (y_c) verecektir. Buna göre sabit bir özgül enerji değerinde açık kanalda maksimum verdi Q_{max} iletilebilir. Bu ise akım derinliğinin Q_{max} verdisine karşılık gelen kritik derinliğe (y_c) eşit olması ile olanaklıdır. Bu yaptığımız işlemleri dikdörtgen kanala uygularsak aşağıdaki sonuçları buluruz.

$$E = y + \frac{q^2}{2.q.y^2}$$

$$q = y.(2.g.(E - y))^{1/2}$$

$$\frac{dq}{dy} = (2g)^{1/2}\left((E - y)^{1/2} - \frac{1}{2}.\frac{y}{(E - y)}\right) = 0$$

$$(E - y)^{1/2} - \frac{1}{2}.\frac{y}{(E - y)} = 0$$

$$E - y - \frac{y}{2} = 0$$

$$E = y + \frac{y}{2} = \frac{3}{2}y$$

elde edilir. Buradan derinlik $y = \frac{2}{3}.E$ bulunur. Bu sonuç daha önceki sonuçla $\left(y_c = y = \frac{2}{3}.E\right)$ aynıdır. Verdiyi maksimum yapan bu derinlik değerine kritik derinlik denir. Bu derinlik;

$$q = y(2.g.(E - y))^{1/2}$$

eşitliğinde yerine konursa;

$$q_{max} = \frac{2}{3}.E.\left(2.g.\left(E - \frac{2}{3}.E\right)\right)^{1/2}$$

$$q_{max} = (g)^{1/2}.\left(\frac{2}{3}.E\right)^{3/2}$$

$$q_{max} = (g.y_c^3)^{1/2}$$

bulunur. Yani dikdörtgen kanallarda maksimum verdi kritik derinliğe bağlı olarak bu formülle bulunabilir.

6.5. Üçgen ve Yamuk Biçimli Kanallarda Kritik Derinlik ve Kritik Hız

Açık kanalların biçimi çok farklılık gösterir. En çok karşılaştığımız açık kanal biçimleri dikdörtgen, üçgen, yamuk ve yarım daire kanallardır. Dikdörtgen kanal için kritik derinlik ve kritik hız hesaplamalarını bir önceki konuda yapmış ve aşağıdaki gibi bulmuştuk.

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

$$V_c = \frac{q}{y_c} = (g.y_c)^{1/2}$$

Tüm kanallar için kullanılabilecek kritik hız ve kritik derinlik bağıntıları da yukarıdaki konuda açıklanmıştı. Burada yukarıdaki sonuçları daha somutlaştırarak kritik hız ve kritik derinlik genel bağıntıları aşağıdaki gibi verilebilir;

$$V_c = \frac{Q}{A}$$

$$\frac{Vc^2.B}{A.g} = 1$$

$$V_c = \left(\frac{A.g}{B}\right)^{1/2}$$

kritik derinlik ise (y_c);

$$\frac{Q^2.B}{A^3.g} = 1$$

eşitliğiyle bulunur. Bunu açarsak;

$$y_c = \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{B}$$

eşitliği elde edilmiş olur. Bu yazdığımız V_c ve y_c eşitlikleri herhangi bir kesitte kritik hızın ve kritik derinliğin elde edilmesinde kullanılır.
Bu eşitliklerde;

Q : verdi,
A : kesit alanı,
B : serbest sıvı yüzeyinin genişliğidir.

Üçgen kesitli bir kanalda kritik derinlik ve kritik hız değerlerinin bulunmasında kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir (Ayyıldız 1983). Bu formüleri kullanırken Şekil 6.9'dan yararlanılacaktır. Bu şekilde üçgen kanalın eğimi 1/m ile gösterilmektedir.

$$\frac{1}{m} = \frac{y_c}{B/2} \Longrightarrow B = 2.m.y_c$$

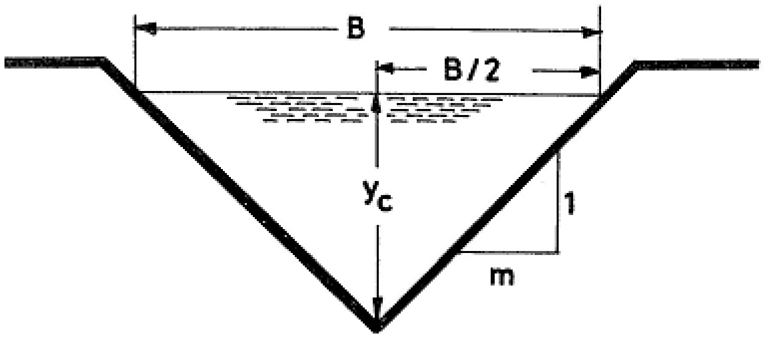
$$A_c = \frac{1}{2}.y_c.B \Longrightarrow A_c = m.y_c^2$$

Yukarıda verdiğimiz kritik derinlik formülünde üçgen kesit için bulunan bu eşitliklerin yerine konulmasıyla kritik derinlik aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{B} = \frac{m^3.y_c^6}{2.m.y_c}$$

$$y_c = \left(\frac{2.Q^2}{m^2.g}\right)^{1/5}$$

Kritik hız formülü ise herhangi bir kesit için verilen $V_c = (A.g/B)^{1/2}$ formülünde, elde edilen kritik hız, formülündeki sembollerin yerine yukarıdaki verilenler konarak bulunur.



Şekil 6.9. Üçgen kesitli kanal(Ayyıldız 1983)

$$V_c = \left(g.\frac{A_c}{B}\right)^{1/2}$$

$$V_c = g.\left(\frac{m.y_c^2}{2.m.y_c}\right)^{1/2}$$

$$V_c = \left(g.\frac{y_c}{2}\right)^{1/2}$$

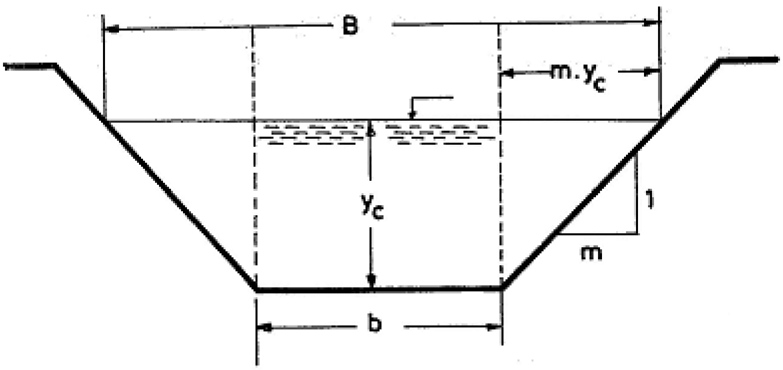
Açık kanal yapımında en çok kullanılan kanal kesitlerinden birisi de yamuktur. Yamuk kesitli kanalda kritik derinlik ve kritik hız aşağıdaki gibi bulunur (Ayyıldız 1983). (Şekil 6.10).

$$B = b + 2.m.y_c$$

$$A = (b + m.y_c).y_c$$

$$V_c = \left(g.\frac{A}{B}\right)^{1/2}$$

$$V_c = \left(g.\frac{(b + m.y_c).y_c}{(b + 2.m.y_c)}\right)^{1/2}$$



Şekil 6.10. Yamuk kesitli kanal (Ayyıldız 1983)

Bu formülle yamuk kesitli kanalda kritik hız elde edilir. Yamuk kesitli kanallarda kritik derinliği veren ilişkinin bulunmasında ise enerji denklemini kullanalım.

$$E = y_c + \frac{Q^2}{2.g.A^2} = y_c + \frac{V_c^2}{2.g}$$

$$E = y_c + \frac{A}{2.B}$$

$$E = y_c + \frac{g.(b + m.y_c).y_c}{2.g.(b + 2m.y_c)}$$

$$y_c = \frac{4.m.E - 3.b + (16m^2.E^2m + 16.m.E.b + 9.b^2)^{1/2}}{10m}$$

bulunur. Bu eşitlik yamuk kesitli kanal için kritik derinliğin hesaplanmasında kullanılır. Eğer b= 0 ise yani kanal üçgen ise;

$$y_c = \frac{4.m.E + 4.m.E}{10m} = \frac{8mE}{10m}$$

$$y_c = \frac{4}{5}.E$$

bulunur. Yani üçgen kanalda kritik derinlik özgül enerjinin 4/5'ine eşittir.