

Serbest Yüzeyle Pürüzsüz Kanallarda Yük Kayıp Katsayısının İncelenmesi

Ahmet BİLGİL

*Niğde Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Niğde-TÜRKİYE*

Geliş Tarihi 24.06.1999

Özet

Pratik mühendislikte, dairesel kesitli borular için elde edilen (λ) sürtünme yük kayıplarının açık kanal akımları için de geçerli olduğu kabul edilmekte ve kurulan matematiksel denklemler bu doğrultuda olmaktadır. Ancak daha hassas deney ölçü aletlerinin gelişmesi ile açık kanallar üzerinde yapılan çalışmalar, borular için elde edilen denklemlerin kanallar için doğrudan kullanılamayacağını ortaya koymaktadır. Çünkü açık kanallarda serbest yüzey, düzensiz kayma gerilmeleri olan farklı ıslak yüzeyler ve sekonder akımlar gibi bir çok faktörler problemi daha kompleks duruma getirmektedir. Yük kayıp katsayısı açık kanallar için Reynolds sayısı ve W/h oranı (kanal genişliği/su derinliği) ile belirlenmiştir. Çalışmada; dikdörtgen kesitli pürüzsüz cidarlı kanallar ve borular için hesaplanan yük kayıp katsayıları arasındaki farkın yaklaşık %10 civarında olduğu gözlenmiştir. Diğer çalışmalarla karşılaştırıldığı zaman genelde uyum olduğu ve (λ) ile (Re) Reynolds sayısı arasındaki ilişkinin boru akımlarına göre farklılaştığı gözlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca dikdörtgen kesitli pürüzsüz kanallar için borulardaki Blasius denklemine benzer ampirik bir denklem önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Açık kanal, enerji kaybı, sürtünme katsayısı

Investigation of the Friction Coefficient in Smooth Open Channel Flows

Abstract

In practical engineering, the friction coefficient formulations developed for circular pipes are usually assumed to be valid for open channels and used in derivation of mathematical formulation. However, with the advent of more accurate measurement devices, it is now clear that such formulations cannot be used in open channels without modifications. The phenomena such as free surface, different wet surfaces with irregular shear stresses and secondary flows, make open channel flows more complicated than circular pipe flows. A new formulation for the friction coefficient is developed depending on the Reynolds Number (Re) and W/h , which is the ratio of channel width to its height. It is found that there is a 10 % difference in the friction coefficient in circular pipe flow and open channel flow under the same conditions. The new correlation agrees satisfactorily with those in the literature. The relation between λ and Re in circular pipe flow is found to be deviate in open channel flows. In this research a formulation similar to the Blasius equation is proposed for rectangular channels.

Key Words: Open channel, energy loss, friction factor

Tanım

Açık kanallarda akışı etkileyen faktörlerin incelenmesi uzun bir tarihi seyir izlemiştir. İlk bilimsel çalışma Antony Chezy tarafından yapılarak formüllendirilmiştir. Chezy bağıntısı 18. Yüzyılın son yarısından bu yana hidrolik mühendisliğinde kullanılan yarı ampirik düşüncelerle elde edilmiş bir denklemdir. Chezy denkleminde boyut homojenliği yoktur. Denklemdaki C boyutlu bir katsayıdır ve bununla ilgili günümüze kadar, farklı bir çok ampirik ifadeler verilmiştir.

Bu gibi formüllerde türbülanslı akım durumlarında, kesit şekli ile sürtünme faktörleri arasındaki ilişki çok iyi bilinmemektedir. Denklemlerde hidrolik yarıçapın kullanılması matematiksel olarak uygun olmasına rağmen, bir çok çalışmada hidrolik yarıçapın yerine geliştirilen parametrelerin kullanılması önerilmektedir. Açık kanalın bir eşdeğer boru olarak işlem görmesi, hidrolik yarıçapın kullanımı ve açık kanallara boru direnç kanunlarının uygulanması günümüzde hala tartışmaya açıktır.

Hidrolik bakımdan pürüzsüz cidarlı borulardaki akımlar için de bir çok bağıntılar geliştirmişlerdir. Bu bağıntılar sürtünme faktörü veya pürüzlülük katsayısı hakkında detaylı araştırma yapmayı gerektirir. Darcy (1854) gibi bir çok araştırmacı boru akımları için matematiksel ve deneysel bağıntılar elde etmişlerdir. Bu bağıntılardan biri de pürüzsüz cidarlı boru akımları için Prandtl (1932) tarafından geliştirilen aşağıdaki bağıntıdır.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_b}} = 2,0 \log(Re_b \sqrt{\lambda_b}) - 0,8 \quad (1)$$

Formülde; $\lambda_b (= 2gDh_L/LV_b^2)$ boru akımı yük kayıp katsayısı, D boru çapı, g yerçekimi ivmesi, h_L/L enerji çizgisi eğimi, V_b boru akımı ortalama kesitsel hızı, Reynolds sayısı $Re_b (= \rho V_b D / \mu)$, ρ suyun özgül kütlesi, μ dinamik viskozitedir. Prandtl'in bu bağıntısı, pürüzsüz yüzeyli borulardaki sürtünme faktörünü çok iyi ifade etmekte ve λ_b ile Re_b arasında mükemmel bir uyum olduğu görülmektedir.

Keulegan (1938) benzer yaklaşımdan giderek pürüzsüz cidarlı açık kanallar için Prandtl'in denklemini aşağıdaki gibi formüle etmiştir.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} = 2,03 \log(Re_k \sqrt{\lambda_k}) - 1,08 \quad (2)$$

Formülde; $\lambda_k (= 8gR_k h_L / V_k^2 L)$ kanal akımı yük kayıp katsayısı, $Re_k (= \rho V_k 4R_k / \mu)$, R_k kanalın hidrolik yarıçapı, h_L/L kanal taban eğimi, V_k kanal

kesitindeki ortalama hız olarak ifade edilmiştir. 1. bağıntı ile 2. bağıntı arasında benzerlik bulunmakta, aralarındaki fark ise nümerik sabitlerdir. Bir çok araştırmacı, açık kanallar için 2. denklemin geçerliliğini savunmuştur. Chow (1959) ve Henderson'un (1966) önerileri, küçük ve pürüzsüz açık kanallarda Prandtl'in bağıntısının uygun olduğu şeklindedir.

Reinus (1961) deneysel çalışmaları sonucunda geniş ve pürüzsüz dikdörtgen kesitli kanallardaki sürtünme faktörü için aşağıdaki bağıntıyı vermiştir.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} = 2,0 \log(Re_k \sqrt{\lambda_k}) - 1,06 \quad (3)$$

Tracy ve Lester (1961) dikdörtgen kesitli pürüzsüz cidarlı kanallar üzerinde yaptıkları çalışmalarda ise, geometrik şekil etkilerinden W/h oranı 7 ile 40 arasında iken sürtünme katsayısı bağıntısının aşağıdaki gibi olacağını belirtmiştir. Burada; W kanal genişliğini, h üniform su yüksekliğini temsil etmektedir.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} = 2,03 \log(Re_k \sqrt{\lambda_k}) - 1,30 \quad (4)$$

Rao (1969) yaptığı çalışmalar sonucunda, W/h oranı 1 ile 30 arasındaki dikdörtgen kesitli kanallar için aşağıdaki formülü geliştirmiştir. Çalışmalarında Reynolds sayısı 80000 ile 350000 arasında iken, minimum yük kayıp katsayısının W/h oranının 4 ile 6 arasında olduğunu göstermiştir.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} = 2,12 \log(Re_k \sqrt{\lambda_k}) - 1,83 \quad (5)$$

Myers'in (1982) pürüzsüz cidarlı dikdörtgen kesitli açık kanallar için W/h oranı, 1 ile 35 arasında olmak üzere, yük kayıp katsayısı ile Reynolds sayıları arasında lineer regresyon analizi yaparak ortaya koyduğu bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} = 2,10 \log(Re_k \sqrt{\lambda_k}) - 1,56 \quad (6)$$

Shih ve Grigg (1967) gibi bir çok araştırmacı, yük kayıp katsayısını etkileyen W/h oranını incelemişler, fakat yeterince tatmin edici sonuca ulaşamamışlardır. Bulguları; yük kayıp katsayısının azalması ile W/h oranındaki artma olmuştur. Rao'ya (1969) göre ise, yük kayıp katsayısı ile W/h oranı arasında karmaşık bir ilişki vardır. Muhtemelen bu ilişki şekil faktörü ile sekonder akımlardan etkilenmektedir.

Pillia (1970) kanal kesit şekillerinin fonksiyonu olarak uygun düzeltme faktörleri kullanılması gerektiğini belirtmiş, aynı Reynolds sayısı ve bağıl pürüzlülük ile boru yük kaybı katsayısına bağdaştırmaya çalışmıştır. Böylece ıslak çevrenin (C), hidrolik yarı çapa (R_k) oranını önemli bir şekil faktörü olarak seçmiş, ve $\psi_p = (C/R_k)$ parametresi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\psi_p \cdot \left(\frac{C}{R_k} \right) = \left(\frac{Re_b \sqrt{\lambda_b}}{Re_k \sqrt{\lambda_k}} \right)^2 \quad (7)$$

Daha sonra düzeltme faktörüne göre elde edilen en uygun bağıntı aşağıdaki gibi olmuştur.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} = 2.10 \log(Re_k \sqrt{\lambda_k}) - 1.22 \quad (8)$$

Pillia, Tracy ve Lester (1961) ile Shih ve Grigg'in (1967) Pillia'nın deneysel verilerini kullanarak, boru ve kanal yük kaybı katsayısını bir düzeltme faktörü yardımı ile aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

$$\lambda_k = \frac{\lambda_b}{\psi_p \cdot \frac{C}{R_k}} \quad (9)$$

Kazemipour ve Apelt (1982) düzeltme faktörü olarak kullanılan bir şekil faktörü yerine, iki parametrenin kullanılmasını önermişlerdir. Bunlar; $\psi_1 (= \sqrt{\frac{C}{W}})$ ve $\psi_2 (= \epsilon (\frac{W}{h}))$ şeklindedir. Kabuldeki ϵ , deneysel veri olup, iki parametre birleştirilerek düzeltme faktörünü $\psi (= \psi_1/\psi_2)$ şeklinde ifade etmek sureti ile kanal için λ^* modifiye yük kaybı katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\lambda^* = \frac{\lambda_k}{\psi} = \lambda_k \frac{\psi_2}{\psi_1} = \frac{\lambda_k \epsilon (\frac{W}{h})}{\sqrt{\frac{C}{W}}} \quad (10)$$

Bu konu ile ilgili Sellin (1964), Jayaraman (1970), Moore ve Desmond (1970), Powell (1970), Syamala (1988), Yen (1991), Çıray (1998) gibi bir çok araştırmacılar önemli çalışmalar yapmışlardır.

Deney Düzenegi

Çalışmada kullanılan deney kanalı Şekil 1'de görüldüğü gibi olup eğimi % +0,20 ve % -0,20 arasında ayarlanabilmektedir. Ölçümler, taban eğimi 0,00002 ile 0,09 arasında olmak üzere uniform akım elde edilerek gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar kanalının geometrik şekli dikdörtgen kesitli olup, genişliği 0,21 m. ve boyu 9 m. dir. Kanalın yan duvarları ve tabanı camdan

yapılmış olduğu için pürüzsüz yüzey kabul edilmiştir. Kanalın başlangıcında yaklaşık 0,90 m. boyunda su giriş kısmı bulunmakta ve depodan gelen su bu kısma bağlanmaktadır. Bu bölgede M2 şeklinin oluşmaması için bölgeye çakıl taşları ile elek teli yerleştirilmiştir. Böylece suyun kanala çalkantısız ve düzenli girmesi sağlanmıştır. Kanala gönderilen suyun debisi rotametre ile ayarlanmıştır. Debiler rotametre ile % 0,1 hassasiyetle sabit kalabilecek şekilde ayarlanabilmektedir. Kanalın boy kesiti boyunca dört noktaya su derinliğinin ölçülebilmesi için milimetre taksimatlı ölçü cetveli yerleştirilmiştir. Uniform derinlik ise, kanalın sonuna yerleştirilen sürgülü kapak ile sağlanmıştır. Kanaldaki lokal hız ölçümleri kanal girişinden 4,5 m uzakta Pitot tüpü ile yapılmıştır. Pitot tüpüne bağlı olan manometredeki basınç farkları ise teodolit ve takeometre yardımı ile 1/10 mm hassasiyetinde okunmuştur. Ölçümler tam türbülanslı bölge içinde her cm^2 de bir ölçüm yapmak suretiyle su yüzeyinin 0,5 cm altında yapılmış, cidarlara ise 0,5 cm kadar yaklaşılabilmektedir. Çalışma $20^\circ C$ sıcaklıkta, kanal genişliği (W) sabit kalmak şartıyla 9 farklı W/h oranlarında ve farklı kanal tabanı eğimlerinde yapılmıştır. Ölçüm değerleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

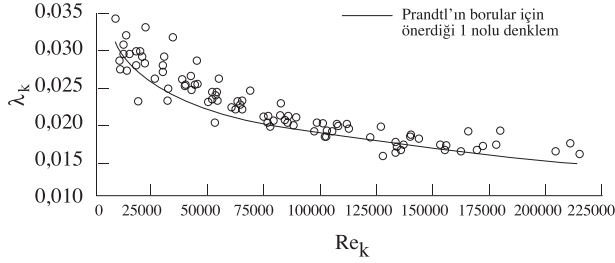
Bulgular ve Tartışma

Akım sistemlerinde; su yapılarının dizaynı, hız dağılımının hesaplanabilmesi, enerji kaybının doğru olarak hesaplanabilmesi gibi mühendislik uygulamaları için bazı parametreler oldukça önemlidir. İki boyutlu aksel simetrik akışkanlarda cidar kayma gerilmesi dağılımı uniform olup, kayma gerilmesi değeri kuvvet denge denkleminde bulunabilir. Fakat bütün uygulamalar bu iki duruma uymayabilir. Belirli W/h açıklık oranı durumundaki açık kanalda serbest yüzeyden ve sekonder akımların varlığından dolayı akım üç boyutludur ve cidar kayma gerilmesi kanalın ıslak yüzeyinde düzgün dağılımlı değildir. Bundan dolayı farklı W/h durumundaki açık kanallar için kayma gerilmeleri ve enerji kayıpları, kapalı dairesel kesitlere göre daha karışıktır. Birçok araştırmacı enerji kayıplarını ya deneysel metotları veya yarı analitik yaklaşımları kullanarak elde etmeyi tercih etmişlerdir.

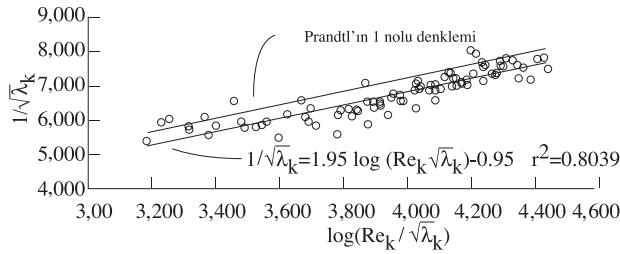
Yük kaybı katsayısının belirlenmesi

Kanal kesitlerinde her cm^2 de Pitot tüpü ile ölçümleri yapılan lokal hızların aritmetik ortalamaları alınarak, kesitsel ortalama hız değerleri (V_k)

elde ettikleri bulgulardan, sabitler ile W/h oranının iyi uyumlu olmadığını belirlemişlerdir. Sabitlerdeki değişikliklerin farklı cidar kayma gerilmelerinden ve sekonder akımların oluşmasından veya farklı Froude sayılarından ileri geldiği söylenebilir.



Şekil 2. Reynolds değerlerine göre yük kayıp katsayılarının değişimi



Şekil 3. Deney verilerinin $1/\sqrt{\lambda_k}$ ile $\log(Re_k \sqrt{\lambda_k})$ arasındaki ilişkisi

W/h Oranının yük kayıp katsayısına etkisi

Şimdiye kadar yapılan çalışmaların amaçlarından biri de, W/h oranının açık kanaldaki yük kayıp faktörüne etkisi üzerinedir. Bu etkinin büyük olduğu söylenemez. W/h oranı ile yük kayıp katsayısı arasında ise iyi bir uyum yoktur. Buna rağmen, W/h oranının etkisi ve diğer parametreler bazı olayların açıklanmasında etkili olabilir.

Reinus (1961) W/h oranını düşürdüğü zaman açık kanallar için elde edilen yük kayıp katsayısının boru akışı için kullanılan yük kayıp katsayısına yaklaştığını bulmuştur. Çalışmasının genel amacı, yük kayıp katsayısı ile Reynolds sayısı arasında bir bağıntı kurmaktır. Bu bağıntıyı bulabilmek için çeşitli W/h oranları üzerinde deney yapmış, fakat neticeye ulaşamamıştır.

Rao (1969) dikdörtgen kanallar üzerinde çeşitli W/h oranları ve Reynolds sayıları üzerinde yaptığı çalışmaları grafik haline getirmiş ve aralarındaki

ilişkinin oldukça karmaşık olduğunu görmüştür. Çalışmasında, Reinus'un belirttiği gibi yük kayıp katsayısının W/h oranı ile aşamalı bir şekilde azaldığını göstermiştir. Minimum yük kayıp katsayısının W/h oranının 4 ile 6 arasında olduğunu bildirmiştir. Ayrıca Rao, yük kayıp katsayısındaki azalmaların minimum ve maksimum değerlerini W/h oranlarında tesbit etmiş, farklı Reynolds sayıları için minimum ve maksimum yük kayıp katsayısının %12 civarında değiştiğini belirtmiştir.

Myers'e (1982) göre; W/h oranı 8'in altında olduğu zaman yük kayıp katsayısında bir azalma söz konusu olmaktadır. Bu azalma, W/h oranı 4 ile 6 arasında olduğu zaman daha da belirginleşerek küçülmekte, 2 ye yaklaştığı zaman yükselmekte, 2 den sonra ise tekrar düşmeye başlamaktadır. Myers bu şekildeki yük kayıp katsayısı ile Reynolds sayısı arasındaki bağıntıyı sağlıklı bir şekilde kullanabilmek için daha çok veriye gerek olduğunu belirtmiştir.

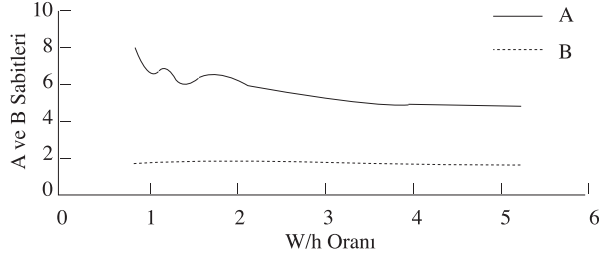
Handerson'a (1966) göre; açık kanallardaki akımlar için 3 parametre yük kayıp katsayısı üzerine etkilidir. Bunlar serbest yüzey, sekonder akımlar ve düzensiz kayma gerilmeleridir. Rao (1969) sekonder akımların artması ile akım direncinin arttığını belirtmiş ve sekonder akımları tam olarak belirleyememiştir.

Çıray (1970) açık kanalda türbülanslı akımda cidar kayma gerilmelerini hız ölçümleri kullanarak belirlemiştir. Cidar pürüzlülüğünün etkisini de dikkate alarak, ıslak çevreye dik kesitlerde logaritmik hız dağılımının geçerliliğini varsaymış ve aşağıdaki bağıntıyı vermiştir.

$$\frac{V^+(I, J)}{K^{1/2}(I)} = A + BLn[K^{1/2}(I)Y^+(I, J)] \quad (11)$$

Bu bağıntıda; $V^+(= \frac{U}{U_\tau})$ boyutsuz hız, $Y^+(= \frac{yU_\tau}{\nu})$ cidara olan boyutsuz uzaklık, $U_\tau (= \sqrt{\tau_w})$ kayma hızı, $K (= \frac{\tau_w}{\tau})$ boyutsuz cidar kayma gerilmeleri), τ_w lokal cidar kayma gerilmesi, τ cidar boyunca ortalama kayma gerilmesi, ν suyun kinematik viskozitesi, y cidara olan uzaklık olarak ifade edilmektedir. A ve B bütün kesit için sabitler olup Çıray'ın (1971) 11 nolu denkleminin çözüm yöntemi ile belirlenmiştir. Bu bağıntıya göre farklı W/h oranları ile ortalama A ve B sabitlerinin değişimi Şekil 4'de incelenmiştir. W/h oranı küçüldükçe sekonder akım hücreleri artacağı için A sabitinin değişiklik göstermesine etki etmiştir. B sabitinin küçük salınımlar hariç önemli değişiklikler göstermemesi ise, Prandtl'in (1932) karışım uzunluğu teorisini destekler nitelikte olduğunu göstermektedir. W/h

oranı 2 yi geçtikten sonra, yani kanal kare kesite yaklaştığı zaman yük kayıp katsayısında belirsizlik başlamaktadır. Bu da sekonder akım hücrelerinin çoğalarak akım direnci üzerine etkisinin artması ile olan karmaşık ilişki olarak açıklanabilir.



Şekil 4. 12 nolu denklemdaki A ve B sabitlerinin Farklı W/h oranları ile değişimi

Deney ölçümlerinden elde edilen yük kayıp katsayısı ile Reynolds sayısı değerleri arasında, regresyon analizi yapılmıştır. Sonuçta; Şekil 5'de görüldüğü gibi Blasius denklemine benzer $8000 < Re < 220000$ aralığında türbülanslı açık kanallar için kullanılabilir aşağıdaki ampirik denklem elde edilmiştir.

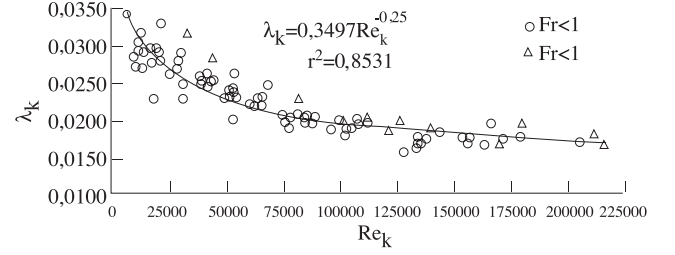
$$\lambda_k = \frac{0,3497}{\sqrt[4]{Re_k}} \quad (12)$$

Blasius'un $2000 < Re < 10^5$ aralığında, borulardaki akımlar için geliştirdiği

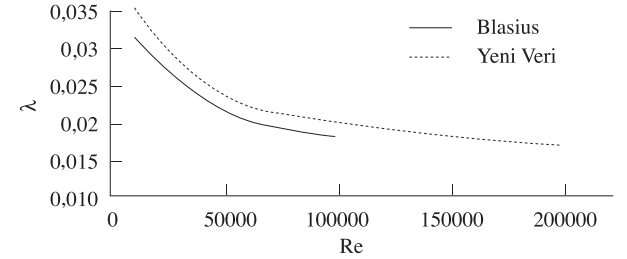
$$\lambda_b = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_b}} \quad (13)$$

yük kaybı katsayısı denklemi ile 12 nolu denklemden elde edilen λ_k değerleri Şekil 6'da görüldüğü

gibi mukayese edilmiş ve ortalama % 10'luk fark belirlenmiştir. Bulunan bu değer farkı daha önceki araştırmacıların çalışmalarından elde edilen değerler ile uyumaktadır.



Şekil 5. Kritik altı akımlar ile kritik üstü akımların üssü ifade için Re_k ile λ_k ilişkileri



Şekil 6. Blasius verileri ile yeni verilerin mukayesesi

Serbest yüzeyli akımların yük kayıp katsayıları üzerinde çalışma yapan araştırmacıların önerdiği bağıntılar, Prandtl'in (1932) borular için geliştirdiği bağıntı ve 12 nolu bağıntıdan elde edilen yük kayıp katsayıları, Tablo 2'de örneklenmiştir.

Tablo 2. Prandtl denklemi ile açık kanallar için geliştirilen denklemlerin mukayesesi

Reynolds değeri	Prandtl (λ_b)	Keulegan (λ_k)	Rao (λ_k)	Reinus (λ_k)	Tracy ve Lester (λ_k)	Myers (λ_k)	13 nolu denklem (λ_k)
10000	0,0308	0,0326	0,0378	0,0334	0,0350	0,0353	0,0349
50000	0,0208	0,0218	0,0246	0,0223	0,0231	0,0230	0,0233
100000	0,0179	0,0186	0,0205	0,0191	0,0197	0,0195	0,0196
150000	0,0165	0,0171	0,0187	0,0176	0,0180	0,0178	0,0177
200000	0,0156	0,0161	0,0170	0,0165	0,0170	0,0168	0,0165

Sonuç ve Öneriler

Basınçlı akımlarda cidar kayma gerilmeleri ıslak yüzeyde düzgün dağılımlıdır. Açık kanallarda ise serbest yüzey ve sekonder akımların varlığından

dolayı akım üç boyutludur. Bu sebeple, cidar kayma gerilmeleri kanalın ıslak yüzeyinde düzgün dağılımlı olmadığı için farklı yük kayıp katsayıları oluşmaktadır. Dikdörtgen kesitli pürüzsüz cidarlı

açık kanalda yapılan deneysel çalışmada, farklı W/h oranı, debi ve eğim durumunda, değişik Reynolds ve Froude sayılarında, kesitsel ortalama hız ölçümleri yapılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Dikdörtgen açık kanaldaki yük kayıp katsayısı ile, Reynolds sayıları arasında bulunan bağıntının borulara uymadığı belirlenmiştir. Aynı Reynolds sayısında açık kanallar için elde edilen ortalama yük kayıp katsayısı, borular için elde edilenden yaklaşık % 10 daha fazladır.

2- Bu çalışmada, yük kayıp katsayısı ile W/h oranı arasında karmaşık bir ilişkinin olduğu görülmüştür. W/h oranının değişmesi, yük kayıp katsayısı üzerinde önemli etki oluşturmamaktadır. Yük kayıp katsayısında daha çok sekonder akımlar ve düzensiz cidar kayma gerilmelerinin etkili olduğu kanaatine varılmıştır.

3- Çalışmada hidrolik yarı çapın pratikte önemi oldukça büyük olmasına rağmen, açık kanal akımı için direnç hesaplamalarında hidrolik yarı çapın kullanımı ile ($D=4R$) problemin doğru anlaşılmasına sınırlamalar getirildiği belirlenmiştir. Genel akım durumunun dinamiğini tanımlamak üzere Blasius'un sınırlı Reynolds sayısı aralığında boru yük kayıp katsayısı denklemi gibi bu çalışmadan da benzer ifade elde edilmeye çalışılmıştır.

4- Çalışmada da Çıray'ın 12 nolu logaritmik hız dağılımı denklemindeki A ve B sabitlerinin W/h oranı ile değiştiği görülmektedir. B sabitindeki değişim fazla olmamış ve Prandtl'ın hipotezini destekler niteliktedir. Fakat A sabitindeki değişim daha büyüktür ve yük kayıp katsayısından etkilenmektedir. Yük kayıp katsayısının oluşumu üzerine genel bir anlaşma olmasına rağmen, bu çalışmada da diğer çalışmalardan biraz farklı A sabiti sayısı elde edilmiştir.

5- Açık kanaldaki W/h oranının yük kayıp katsayısı üzerinde çalışma yapan bazı araştırmacılar, düzeltme faktörü kullanarak borulardaki yük kayıp

katsayılarına uydurmaya çalışmışlardır. Bu yaklaşım sekonder akımlar ile düzensiz cidar kayma gerilmelerini tam olarak ifade etmede yetersiz kalmaktadır.

6- Boru akımları için geliştirilen sürtünme faktörü denklemlerinin açık kanal akımları için kullanılması tartışılabilir hatalara sebep olabilir. Bu çalışmada ise dikdörtgen kesitli açık kanal akımları için önerilen 13 nolu denklemin kullanılmasının daha uygun olacağı önerilmiştir. Fakat farklı geometrik şekle sahip açık kanal akımları için kullanılabilirliği incelenmelidir.

Semboller

λ_b	:	Boru akımı yük kayıp katsayısı
λ_k	:	Kanal akımı yük kayıp katsayısı
λ	:	Yük kayıp katsayısı
Re_b	:	Boru akımı için Reynolds Sayısı
Re_k	:	Kanal akımı için Reynolds Sayısı
Re	:	Reynolds Sayısı
ρ	:	Suyun özgül kütlesi
g	:	Yer çekimi ivmesi
R_k	:	Kanal hidrolik yarıçapı
$h_{L/L}$:	Enerji çizgisi eğimi
D	:	Boru anma çapı
V_b	:	Boru akımı ortalama kesitsel hızı
V_k	:	Kanal akımı ortalama kesitsel hızı
μ	:	Suyun dinamik viskozitesi
ν	:	Suyun kinematik viskozitesi
W	:	Dikdörtgen kesitli kanal genişliği
h	:	Kanaldaki üniform akıştaki su derinliği
ζ	:	Islak çevre
ψ_p	:	Pillia katsayısı
ψ	:	Katsayı
U	:	Kanal kesitindeki lokal hız
U_τ	:	Kanalda kayma hızı
K	:	Boyutsuz cidar kayma gerilmesi
A, B	:	Logaritmik hız dağılımı denklemi sabitleri
τ_w	:	Lokal cidar kayma gerilmesi
τ	:	Kanalın ortalama cidar kayma gerilmesi

Kaynaklar

Chow, V. T., "Open Channel Hydraulics", Mc Graw-Hill Book Co., New York, 1959

Çıray, C., "Bilgil, A., Cilalı Serbest Yüzeyle Akımlarda Cidar kayma Gerilmelerinin Sürtünme Faktörüne Etkisi", Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezinde yayınlanmıştır. 1998

Çıray, C., "On Wall-Shear Stress Determination", Journal of Pure Applied Sciences METU, Vol. 3,

41-54, 1970

Çıray, C., "A Numerical Process for The Solution of Systems of Non-Linear Algebraic Equations", Memorial Volume for Late Prof. M. İNAN of Technical University of İstanbul, 1971

Darcy, H., "Sur des recherches experimentales relatives au mouvement des eaux dans les tuyaux", Comptes Rendus Des Seances de l'Academie des Sciences, Vol 38, 1109-1121, 1854

- Henderson, F. M., "Open Channel Flow", The Macmillan Co., New York, 1966
- Jayaraman, V. V., "Resistance Studies on Smooth Open Channels", Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 96, 1129-114, 1970
- Keulegan, G. H., "Laws of Turbulent Flow in Open Channels", J. Nat. Bureau of Standards, Vol. 21, 707-741, 1938
- Kazemipour, A. K. and Apelt, C. J., "New Data on Shape Effects in Smooth Rectangular Channels", Journal of Hydraulic Research, Vol. 20, 225-233, 1982
- Myers, W. R. C., "Flow Resistance in Wide Rectangular Channels", Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 108, 471-482, 1982
- Moore, E. and Desmond, F., "Concept of Mean Hydraulic Radius", Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 95, 1305-131, 1969
- Prandtl, L., "The Mechanics of Viscous Fluids", Berlin, 1932
- Pillia, N. N., "On Uniform Flow Through Smooth Rectangular Open Channels", Journal of Hydraulics Research, Vol. 8, 403-417, 1970
- Powell, R. W., "Resistance Studies on Smooth Open Channels", Journal of Hydraulic Division, ASCE, 364-367, 1970
- Reinius, E., "Steady Uniform Flow in Open Channels Transactions", Royal Institute Technology, Stockholm, Sweden, No:179, 1961
- Rao, K. K., "Effect of Shape on the Mean-Flow Characteristics of Turbulent Flow Through Smooth Rectangular Open Channel", Thesis Presented to the University of Iowa at Iowa City, Iowa in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, 1969
- Shih, C. C. and Grigg, N. S., "A Reconsideration of Hydraulic Radius as a Geometric Quality in Open Channel Hydraulics", Proceedings 12th. Congress International Association of Hydraulics Research, Vol. 1, 288-296, 1967
- Sellin, R. H. J., "A Laboratory Investigation Into the Interaction Between Flow in the Channel of a River and That Over Its Floodpath", La Houille Blanches (Journal of Published in France) Vol.7, 1964
- Syamala, P., "Velocity Shear and Friction Studies in Smooth Rectangular Channels of Small Aspect Ratio for Supercritical Flows", Thesis presented to the Indian Institute of Science at Bangalore India in Partial Fulfillment of the Requirements for Degree of Doctor of Philosophy, 1988
- Tracy, H. J. and Lester, C. M., "Resistance Coefficients and Velocity Distribution-Smooth Rectangular Channel", Water Supply Paper U.S. Geological Survey, 1-18, 1961
- Yen, B. C., "Hydraulic Resistance in Open Channels Channel Flow Resistance; Centennial of Manning's Formula", Water Resources Publications, Littleton, Colo, 1-135, 1991