

# Açık Kanal Savak Akımlarında Debinin Farklı Yöntemler ile Belirlenmesi

**Mehmet Ardıçhoğlu, Mücella İlkentapar**

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Kayseri

Tel: (352) 2076666 / 32326, 32330

E-posta: [mardic@erciyes.edu.tr](mailto:mardic@erciyes.edu.tr), [mucella@erciyes.edu.tr](mailto:mucella@erciyes.edu.tr)

## Öz

Açık kanal akımlarında debinin belirlenmesi amacıyla kullanılan farklı yöntemlerin hassasiyeti araştırılmıştır. Bu amaçla Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarında bulunan tabanı ve yan duvarları camdan 0.6x0.6x9.5m boyutlu kanalda hız ve savak akımı ölçümleri yapılmıştır. Kanal başından itibaren 5.7m ye 0.5x0.6x0.10m boyutlarında beton bir savak yerleştirilmiştir. Deneyler kanala su veren vana ayarlanarak debi ölçerden ( $Q_{dö}$ ) okunan 4 farklı debi durumunda, kanal taban eğiminin  $S=0.001$  değerinde gerçekleştirilmiştir. Kanalın 5' inci metresinde yarı enkesit üzerinde 6 farklı düşeyde derinlik boyunca gerçekleştirilen hız ölçümleri yardımı ile hız-alan yöntemi kullanılarak debiler ( $Q_{ha}$ ) hesaplanmıştır. Kanaldan geçen akımın debisi ayrıca savak formülü ( $Q_{sav}$ ), anahtar eğrisi ( $Q_{ae}$ ), Manning denklemi ( $Q_{Man}$ ) ve entropi yöntemi ( $Q_{ent}$ ) ile hesaplanmıştır. Hız alan yöntemi ile debi ölçer ve diğer yöntemler arasında mutlak farklar belirlenmiştir. Dört ölçüme ait ortalama mutlak farklar en az %3.2 ile entropi yöntemi ile hesaplanan debide en fazla da Manning formülü ile hesaplanan debide %10.7 olarak belirlenmiştir. Debi ölçer, savak formülü, anahtar eğrisi yardımıyla hesaplanan debiler arasındaki rölatif farklar da sırasıyla %5.1, %7.5 ve %3.8 olarak bulunmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Açık kanal, Savak, Debi, Anahtar eğrisi, Manning denklemi, Entropi.

## Giriş

Sınırlı su kaynaklarının etkin, sürdürülebilir kullanımı için suyun zamansal ve mekânsal dağılımının, özellik ve hacim bakımından belirlenmesi gereklidir. Ülkemizde suyun yaklaşık %70 gibi büyük bir kısmı tarımsal amaçlı faaliyetlerde kullanılmakta ve büyük oranda açık kanal sistemleri ile bu dağıtım yapılmaktadır. Bu sistemlerden geçen suyun düzenli ve güvenilir ölçümlerle kayıt altına alınması, su kullanımında verimliliği artırmak ve suyun korunması için gereklidir. Açık kanal akımlarında debinin belirlenmesi için en güvenilir ve yaygın yöntem olan hız-alan ölçümleri yoğun emek ve masraf gerektiren çalışmaları içerir. Bu nedenle daha az parametreye bağlı debi ölçümüne pratikte daha sıklıkla başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden en yaygın olanları; anahtar eğrileri, ölçüm savakları ve Manning denklemi gibi deneye dayalı bağıntıların kullanılmasıdır (Chow, 1959). Son yıllarda akarsu kesitine ait ortalama hız ( $U$ ) ve maksimum hız ( $u_{mak}$ ) arasında bilinen sabit ilişkiye bağlı entropi yöntemi ile debinin belirlenmesi yöntemi de kullanılmaktadır (Chiu and Said, 1995).

Bu çalışmada laboratuvarda gerçekleştirilen dört farklı akım şartında yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak debiler hesaplanmış ve ele alınan bu yöntemlerin hassasiyetleri karşılaştırılmıştır.

## Açık Kanallarda Debinin Belirlenmesi

### Hız-Alan Yöntemi

Açık kanal akımlarında en kesit üzerinde yapılacak hız ölçümleri yardımı ile debi hassas olarak belirlenebilmektedir. Bu amaçla ele alınan enkesit, her bir dilimdeki debi toplam debinin %10 unu geçmeyecek şekilde parçalara bölünür. Her bir dilime ait ortalama hızlar, o dilimi temsil edecek düşeyde yapılan noktasal hız ölçümleri yardımıyla belirlenir. Ele alınan düşeyde çok sayıda hız ölçümü olması durumunda bu düşeye ait ortalama hız ( $U_i$ ) integrasyonla bulunabilir. Ele alınan düşeye ait ortalama hız dilim alanı ( $A_i$ ) ile çarpılarak söz konusu dilime ait debi ve (1) ifadesinde gösterildiği üzere dilim debilerinin toplanmasıyla da enkesitten geçen debi belirlenir. Bu ifade  $n$  en kesitteki dilim sayısıdır.

$$Q = \sum_{i=1}^n U_i A_i \quad (1)$$

Pratikte dilim debileri belirlenirken ölçüm yapılan düşeyde, su yüzeyinden  $0.2H$  ve  $0.8H$  derinliğindeki hızların ortalamasının o dilime ait ortalama hızı temsil ettiği kabul edilir. Akım derinliğinin az olduğu, sığ sulara su yüzeyinden  $0.6H$  derinlikteki hız ölçülerek bu hızın o dilime ait ortalama hız olarak kullanılması önerilmektedir, Şekil 1. Literatürde bu yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir. (Bureau of Reclamation, 1984; Ardiclıoğlu ve diğ. 2005; Ardiclıoğlu, 2006).

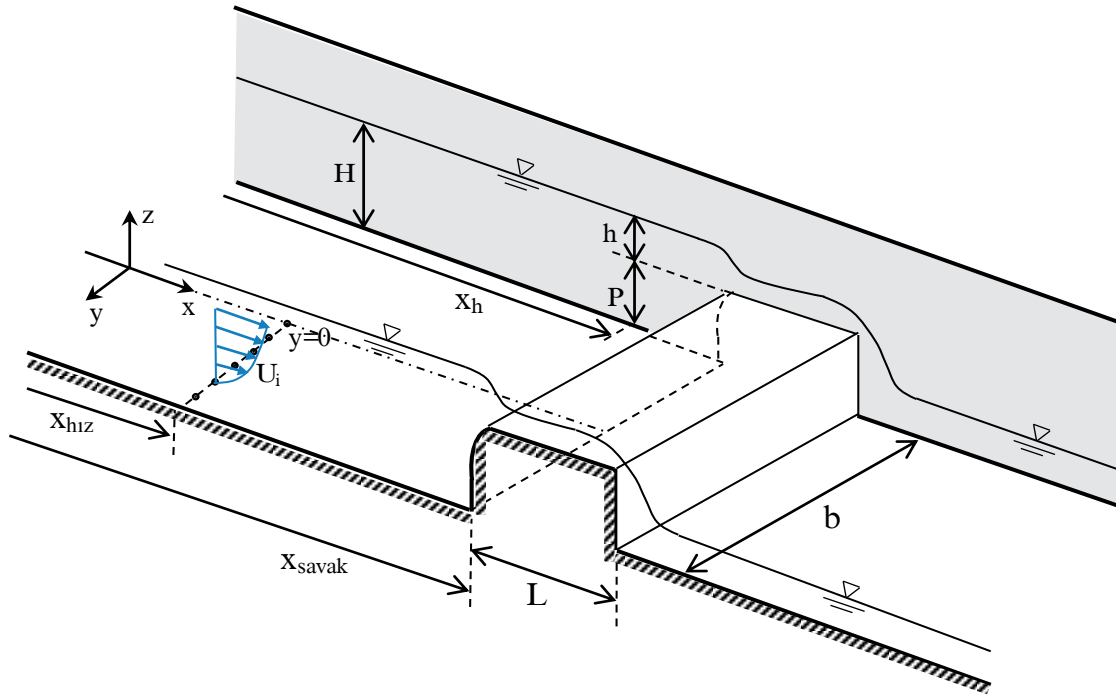
### Geniş Başlıklı Savaklar

Savaklar açık kanallarda yaygın olarak kullanılan yapılardan olup su seviyesinin düzenlenmesi, akım ölçümleri, çevresel düzenleme ve kanal stabilizasyon amaçlı inşa edilirler. Kanal eksenine dik olarak yerleştirilen bir ölçüm savağının yaklaşım kanalında ölçülen derinlik ile debi arasında belirlenen ilişki yardımıyla akım tespit edilebilir. Farklı geometrik şekillerde uygulanabilen savaklar genellikle keskin kenarlı ve geniş başlıklı olmak üzere sınıflandırılır. Keskin kenarlı savaklar ince bir düşey levha olup su napı savak üzerinden serbest bir şekilde dökülür. Geniş başlıklı savaklar ise akım doğrultusunda yeterli uzunlukta düz bir yüksekliğe sahip olup akım derinliği kontrol edilir Şekil 1. Geniş başlıklı savaklar için debi ifadesi Bos (1989) tarafından denklem (2) de verildiği gibi basitleştirilmiştir.

$$Q = C_s 1.7bh^{1.5} \quad (2)$$

Burada;  $Q(m^3/s)$ : savak üstünden geçen debi,  $C_s$ : savak katsayısı,  $b(m)$ : savak genişliği ve  $h(m)$ : savağın membaindaki akım yüksekliğidir. Savak katsayısı  $C_s=C_d C_v$  şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $C_d$  debi katsayısı savak yükü ( $h$ ) ve savak boyunun ( $L$ ) bir fonksiyonudur.  $C_v$  hız katsayısı hem debi katsayısının ( $C_d$ ) hemde savak yükü ( $h$ ) ve savak yüksekliği ( $p$ )'nin bir fonksiyonudur. Savak katsayısının belirlenmesi ve savak

üzerindeki akımın modellenmesi için birçok deneysel çalışma yapılmıştır (Bal ve diğ. 2011; Hoseini and Afshar, 2014).



Şekil 1 Geniş başlıklı savak.

### Anahtar Eğrisi Yöntemi

Bir kesitte debi ve derinlik değerleri arasında çizilen eğriye Anahtar Eğrisi denir. Farklı akım koşullarında seviye ve debi ölçümleri yapılarak anahtar eğrileri oluşturulur. Anahtar eğrisinin çıkarıldığı kesitte seviye ve debi arasında belirli ve tek bir bağlantının bulunması gerekir, böyle bir kesite kontrol kesiti denir. Alüvyonlu akarsularda tabanın hareketli olması nedeniyle oyulma ve yığılmalar sonucunda anahtar eğrisi değişebilir. Bu nedenlerle kesitin anahtar eğrisinin değişip değişmediğini yılda birkaç defa kontrol etmek gerekir. Yüksek debi durumlarında debi ölçüm çok güç olduğu için anahtar eğrisini yüksek debilere doğru uzatmak gerekir. Fakat anahtar eğrisinin ölçülmüş olan debilerin yukarıdaki bölgede ekstrapolasyonu her zaman iyi sonuç vermez. Anahtar eğrisi için  $Q$  debisi ile  $H$  su seviyesi arasında (3) ifadesindeki gibi bir bağıntı kullanılmaktadır.

$$Q = aH^b \quad (3)$$

Bu bağıntıdaki  $a$  ve  $b$  sabit değerleri o istasyonda ölçülmüş değerlerden elde edilir. Ardıçlıoğlu ve diğ. (2013) küçük akarsularda anahtar eğrileri yardımı ile bulunan debileri farklı yöntem sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Manning denklemi ve Entropi yöntemi ile hesaplanan debilerin anahtar eğrisine göre daha iyi sonuç verdiğini ancak su yüzü hızı yardımı ile belirlenen debinin anahtar eğrisine göre daha fazla hatlı sonuç verdiğini bildirmişlerdir.

## Manning Denklemi

Akarsulardaki ölçümler, çevresel etkenler, doğa şartları ve akım özellikleri gibi birçok nedene bağlı olarak, yerinde yapılan çalışmalarla gerçekleştirilememektedir. Bu zorluklar araştırmacıları birçok ampirik formül geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu formüllerin en bilineni ifadenin kolay kullanımı ve çoğu zaman iyi sonuç vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan Manning-Strickler eşitliğidir. Bu ifade (4) denklemi ile gösterilmiştir.

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (4)$$

Burada  $Q$  ( $m^3/s$ ); kesitten geçen debi,  $n$ ; Manning pürüzlülük katsayısı,  $R$  (m); hidrolik yarıçap olup  $R=A/P$  ifadesi ile belirlenmektedir. Burada  $A$  ( $m^2$ ); ıslak en kesit alanı ve  $P$  (m); ıslak çevreyi ifade etmektedir.  $S$ ; enerji çizgisinin eğimi olup, uniform akımlarda su yüzü ve kanal taban eğimine eşit alınabilir. Formülün kullanımındaki en büyük zorluk kanal şartlarına bağlı olarak pürüzlülük katsayısı  $n$ 'in gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesidir. Manning pürüzlülük katsayısı için farklı yüzeylere ait alınabilecek minimum ve maksimum değerler literatürde verilmiştir (Chow, 1959).

## Entropi Yöntemi ile Debi Hesabı

Chiu (1989) açık kanallarda hız dağılımını ve debiyi belirlemek için olasılık dağılımını esas alan entropi yöntemini geliştirmiştir. Bu yöntem entropiyi maksimize etme temeline dayanılarak geliştirilen istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemin esası akarsuda ele alınan kesite ait ortalama hız ( $U$ ) ve maksimum hızın ( $u_{mak}$ ) oranının değişmemesidir. Benzer bulgular Xia (1997) tarafından da verilmiştir. Bu sabit oran (5) ifadesi ile verilen  $M$  entropi parametresi ile gösterilmiştir.

$$\frac{U}{u_{mak}} = \phi(M) = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (5)$$

Kesite ait bilinen  $M$  parametresi dolayısıyla sabit  $U/u_{mak}$  oranı yardımı ile maksimum hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız ve debi kolaylıkla belirlenebilmektedir. Maksimum hızın enkesit üzerindeki yeri ve konumu ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilir. Ardıçlıoğlu ve Özdin, (2011) bir enkesitte maksimum hızın, kesitin ortalarında ve en derin olan düşeyde oluşacağını belirtmişlerdir. Bu düşeyde yüzeye yakın yapılacak birkaç hız ölçümü neticesinde enkesitteki maksimum hız belirlenebilir. Ölçülen  $u_{mak}$  hızı ve kesite ait bilinen  $\phi(M)$  sabiti ile (5) ifadesi yardımıyla ele alınan akıma ait ortalama hız  $U$  belirlenir. Geometrik olarak kolayca belirlenebilen enkesit alanı ve hesaplanan ortalama hız  $U$  ile kesitten geçen debi (6) ifadesi kullanılarak bulunur.

$$Q=UA \quad (6)$$

Bu ifadede  $Q$ ; kesitten geçen debi,  $U$ ; ortalama hız ve  $A$  da enkesit alanıdır.

## Deneysel Çalışma

Debi ölçümünde kullanılan farklı yöntemlerin hassasiyetlerini karşılaştırmak amacıyla Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Laboratuvarında bulunan tabanı ve yan duvarları camdan  $0.6 \times 0.6 \times 9.5$ m boyutlu kanalda hız ve savak akımı ölçümleri yapılmıştır. Kanaldaki akımın debisi kanala su veren sabit seviyeli haznenin girişindeki 15cm çaplı çelik boru üzerinde bulunan TEKSAN marka daldırma tip elektromanyetik debimetre ile ölçülmüştür. Debimetrenin 0.5-50.0lt/s arasındaki debileri %1 hassasiyetle ölçtüğü bildirilmektedir. Deneyin başında, pompa çıkışı ve depo sonrası vanalar ayarlanarak depodaki su seviyesi sabit hale getirilmiştir. Kararlı akım şartları oluşturularak dört farklı debi durumunda kanal boyunca su yüzü profilleri ve kanal başından itibaren  $x_{hız}=5.0$ m de hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Debi ölçerden okunan değerler deneyin başından itibaren 6 farklı zamanda kaydedilerek ortalama değerleri belirlenmiştir ( $Q_{db}$ ). Kanal tabanının eğimi ayarlanabilmekte olup ölçümler  $S=0.001$  eğim değerinde gerçekleştirilmiştir.

Hız alan yöntemi ile debi hesabı için kanalın  $x_{hız}= 5.0$  metresinde 3 doğrultuda hareket edebilen sehpa üzerine yerleştirilen Moline (Low Speed Propeller Probe) kullanılmıştır. Moline açık kanal akımlarında suyun düşük hızlarını ölçmek için tasarlanmıştır. Sistemin ölçüm aralığı 2.5 -150 cm/s dir. Kanal orta kesitinden başlayarak duvara doğru 6 farklı düşeyde ( $y= 0, 5, 10, 15, 20$  ve 25cm) hız ölçümleri yapılmıştır (Şekil 2). Her bir düşeyde ise kanal tabanından itibaren  $z=0.6$ cm den başlayarak su yüzüne kadar 1cm aralıklar ile hızlar ölçülmüştür.

Kanal başından itibaren  $x_{savak}=5.7$ m'ye  $L=0.5$ m,  $b=0.6$ m ve  $P=0.10$ m boyutlarında beton bir savak yerleştirilmiştir. Savağın membaında  $x_h=5.5$ m'deki kanal orta kesitindeki savak yükü ( $h$ ), her bir akım durumunda ölçülmüştür.



Şekil 2 Ölçüm kanalına ait bir resim.

## Bulgular ve Değerlendirme

Prizmatik kanallarda simetrisinin varlığı bilindiğinden (Ardıçlıoğlu, 2006) hız ölçümleri  $x=5.0m$ 'de kanal yarı kesitinde gerçekleştirilmiştir. Kanal yarı kesitinde altı farklı düşeyde derinlik boyunca hızlar ölçülmüştür. Hız alan yöntemi ile belirlenen dilim ortalama hızları ile bu hızların temsil ettiği dilim alanlar çarpılıp denklem (1)'de gösterildiği gibi debiler hesaplanmıştır ( $Q_{ha}$ ). Bu debi değerleri de Tablo 1, birinci sütunda gösterilmiştir. Debi ölçerden alınan dört farklı debi değerleri ikinci sütunda lt/s olarak verilmiştir ( $Q_{dö}$ ). Birinci deneyde debi ölçerden kaynaklanan nedenle sağlıklı okuma alınamamıştır. Bunun nedeni debi ölçerin bağlı olduğu boruda enkesitin tam dolu olmamasına bağlı elektromanyetik iletkenliğin tam sağlanamaması olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle hız alan yöntemi ile belirlenen debi değerleri referans alınarak denklem (7) de gösterildiği üzere mutlak bağıl farklar hesaplanmıştır. Üç farklı ölçüme ait bu farklar Tablo 1 de (7). sütunda verilmiştir. Bu değerlerden görüleceği üç ölçüme ait farklar düşük çıkmıştır. Bu ölçümlere ait ortalama mutlak fark ise %5.1 olarak belirlenmiştir.

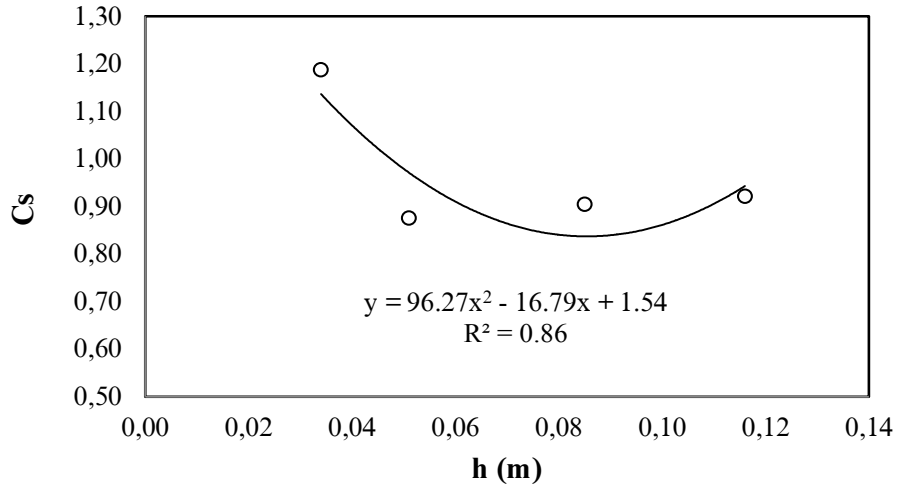
$$\varepsilon(\%) = \left| \frac{Q_{ha} - Q_{dö}}{Q_{ha}} \right| * 100 \quad (7)$$

Tablo 1 Debi Değerleri ve Mutlak Farklar.

| $Q_{ha}$  | $Q_{dö}$ | $Q_{sav}$ | $Q_{ae}$ | $Q_{Man}$ | $Q_{ent}$ | $\varepsilon$ (%) |            |            |             |            |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------------|------------|------------|-------------|------------|
| (1)       | (2)      | (3)       | (4)      | (5)       | (6)       | (7)               | (8)        | (9)        | (10)        | (11)       |
| (lt/s)    |          |           |          |           |           | (1)-(2)           | (1)-(3)    | (1)-(4)    | (1)-(5)     | (1)-(6)    |
| 7.59      | -        | 6.91      | 7.30     | 5.25      | 7.92      | -                 | 9.0        | 3.4        | 30.8        | 4.3        |
| 10.28     | 10.62    | 10.97     | 11.03    | 9.99      | 10.28     | 3.3               | 6.7        | 7.3        | 2.9         | 1.3        |
| 22.86     | 24.10    | 20.43     | 22.10    | 22.00     | 21.98     | 5.4               | 10.6       | 3.3        | 3.8         | 3.9        |
| 37.13     | 39.59    | 35.78     | 37.50    | 35.08     | 35.82     | 6.6               | 3.6        | 1.1        | 5.5         | 3.5        |
| Ortalama= |          |           |          |           |           | <b>5.1</b>        | <b>7.5</b> | <b>3.8</b> | <b>10.7</b> | <b>3.2</b> |

Savaklar açık kanallarda debi ölçüm amaçlı yaygın olarak kullanılan yapılardır. Bu amaçla laboratuvar kanalının 5.7 metresinde, kanal eksenine dik olarak yerleştirilen beton bir ölçüm savağı kullanılmıştır. Şekil 1'de görüleceği üzere yaklaşım kanalının  $x=5.5m$ 'sinde ölçülen (h) derinliği kullanılarak (2) ifadesi yardımı ile debi değeri tespit edilebilir. Bu ifadede savak katsayısının belirlenmesi gerekir. Bu amaçla dört ölçüme ait savak katsayısı bilinen debiler ( $Q_{ha}$ ), savak yükleri (h) ve (2) ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu savak katsayılarının genelleştirilebilmesi amacıyla Şekil 3 de gösterilen derinlik (h), savak katsayısı ( $C_s$ ) ilişkisi araştırılmıştır.

Şekil 3 den görüleceği üzere, savak yükü ile savak katsayısı arasında ikinci dereceden bir polinomial ilişkinin korelasyon katsayısı  $R^2=0.86$  olmaktadır. Bu ilişki kullanılarak farklı savak yükleri için savak katsayısı  $C_s$  belirlenebilir. Ölçülen savak yükleri ve bu denklem ile hesaplanan  $C_s$ 'ler (2) ifadesinde kullanılarak savak debileri ( $Q_{sav}$ ) belirlenmiş Tablo 1 üçüncü sütunda verilmiştir. Bu debi değerlerinin hız alan yöntemi ile hesaplanan debiler ile (7) ifadesi kullanılarak hesaplanan rölatif farkları Tablo 1 (8). sütunda gösterilmiştir. Bu değerlerden görüleceği üzere her bir ölçüm için farklar %10.6 dan küçük olmaktadır. Dört ölçüme ait ortalama mutlak fark %7.5 olarak belirlenmiştir.

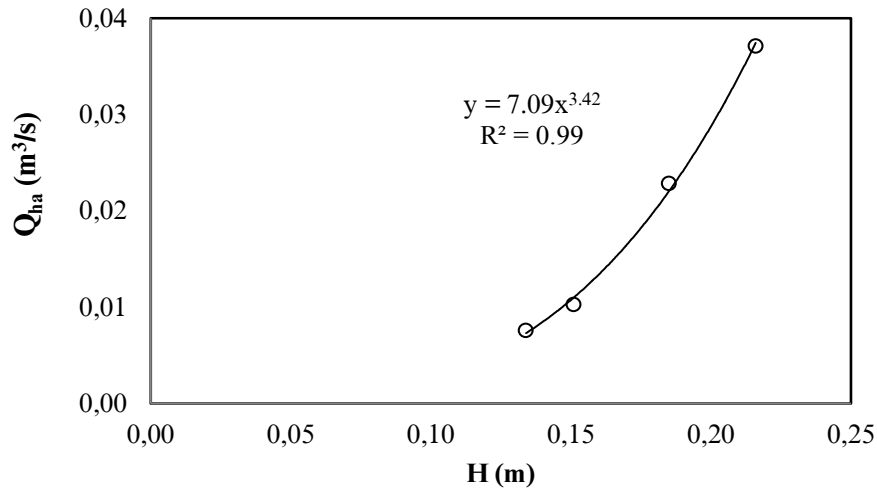


Şekil 3 Ölçümlere ait derinlik savak katsayısı ilişkisi.

Ülkemizde birçok akım gözlem istasyonunda (AGİ) debiler anahtar eğrileri yardımı ile ölçülmektedir. Anahtar eğrisinin belirlenmesi amacıyla her bir ölçümdeki  $Q_{ha}$  debileri ile kanalda hız ölçümü yapılan kesitteki su yükseklikleri (H) arasındaki dağılım çizilerek Şekil 4’de verilmiştir. Ölçümlere ait anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım (8) ifadesindeki gibi elde edilmiş olup bu ilişkiye ait korelasyon katsayısı  $R^2 = 0.99$  olarak şekil üzerinde verilmiştir. Bu değerden anlaşılacağı üzere ölçümlere ait anahtar eğrisi ölçümleri çok iyi temsil etmektedir. Belirlenen anahtar eğrisi ile hesaplanan debiler Tablo 1’de (4). sütunda verilmiştir.

$$Q = 7.09 (H)^{3.42} \quad (8)$$

Bu debi değerlerinin hız alan yöntemi ile hesaplanan debiler ile (7) ifadesi kullanılarak hesaplanan rölatif farkları Tablo 1 (9). sütunda gösterilmiştir. Dört ölçüme ait ortalama mutlak fark %3.8 olarak belirlenmiştir.

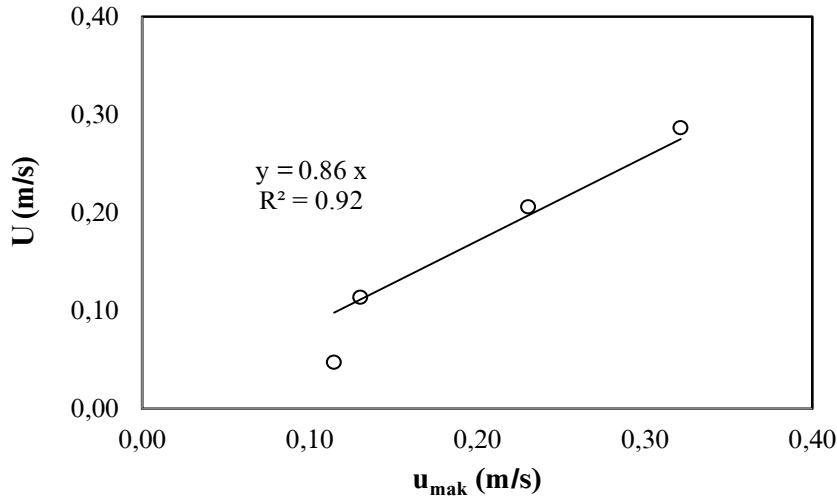


Şekil 4 Ölçümlere ait savak üstü anahtar eğrisi.

Debi hesabında başvurulan en yaygın yöntemlerden biri (4) ifadesi ile gösterilen Manning denkleminin kullanılmasıdır. Laboratuvar kanalına yerleştirilen geniş başlıklı beton savak üzerindeki akıma ait Manning pürüzlülük katsayısı Chow (1959) da temiz

beton yüzeyler için tavsiye edilen  $n=0.012$  değeri alınarak debiler hesaplanmıştır. Bu amaçla anahtar eğrisi hesabı için kullanılan su yüksekliği ( $h$ ) ve savak genişliği ( $b=0.6m$ ) dikkate alınmıştır. Denklem (4) de enerji çizgisinin eğimi olarak üniform akım kabulü ile kanal taban eğimi  $S=0.001$  kullanılmıştır. (4) ifadesi yardımıyla hesaplanan Manning debileri ( $Q_{Man}$ ) Tablo 1 (5). sütunda verilmiştir. Yine Tablo 1 (10). sütunda bu debilerin hız alan yöntemi ile hesaplanan debiler arasındaki rölatif farklar verilmiştir. Bu sütunda görüleceği üzere yine küçük debide fark biraz yüksek olmakta (%30.8) diğer debilerde ise rölatif farklar %5.5'in altında kalmaktadır. Dört ölçüme ait ortalama mutlak fark %10.7 olarak belirlenmiştir. Bu farkların yüksek çıkmasının nedeni savak üzerinde akımın üniform olmaması ve enerji çizgisinin eğiminin tam olarak belirlenememesi olduğu düşünülmektedir.

Entropi yöntemi ile debi hesaplanması için ele alınan kesitte, ölçümlere ait  $U/u_{mak}$  oranının veya entropi parametresi,  $M$  in belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla her bir ölçüme ait ortalama hızlar ( $U$ ) ve maksimum hız ( $u_{mak}$ ) değerleri yardımı ile  $U-u_{mak}$  ilişkisi grafik halinde Şekil 5'de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan  $\phi=0.86$  değeri kullanılarak (5) ifadesi yardımıyla ölçümlere ait entropi parametresi  $M=7.1$  olarak hesaplanmıştır. Bu denklemin korelasyon katsayısı  $R^2=0.92$ 'dir. Ardıçlıoğlu ve diğ. (2004) cilalı laboratuvar kanalında 17 farklı akım durumunda yaptıkları çalışmada bu değeri  $\phi=0.81$  olarak belirlemişlerdir. Tablo 1'de, bilinen  $\phi=0.86$  oranı ve her bir akımda kanalın  $x_{hız}=5.0m$ 'sinde enkesit boyunca ölçülen hızlar içindeki maksimum değer ( $u_{mak}$ ) kullanılarak  $Q_{ent}$  değerleri hesaplanmış ve (6). sütunda verilmiştir. Yine hız alan debileri ( $Q_{ha}$ ) ve entropi debileri ( $Q_{ent}$ ) arasındaki rölatif farklar da Tablo 1, (11). sütunda gösterilmiştir. Bu değerler incelendiğinde tüm ölçümlerde hata oranlarının %4.3'ün altında olduğu, diğer yöntemlere göre entropi yönteminin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ele alınan dört ölçüme ait ortalama mutlak hata değeri ise %3.2 olarak hesaplanmıştır. Debi hesabında açık kanallar için entropi yöntemi kolaylıkla ve daha az ölçümle kullanılabilir.



Şekil 5 Ölçümlere ait ortalama ve maksimum hızlar arasındaki ilişkisi.



## Sonuçlar

Açık kanal akımlarında debinin belirlenmesi amacıyla pratikte yaygın olarak kullanılan farklı yöntemlerin hassasiyeti incelenmiştir. Dört farklı akım şartında gerçekleştirilen ölçümlerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Elektromanyetik debi ölçerlerde sistemin bağlandığı boruda akım enkesitinin tam dolu akması ölçümlerin hassasiyeti bakımından gereklidir.
- Hız alan yöntemi ile belirlenen debiler ( $Q_{ha}$ ) referans olarak alındığında debi ölçer ile ortalama fark %5.1 olmaktadır.
- Ölçümlere ait savak yükü ve katsayısı arasında polinomial bir ilişki gözlenmiştir. Bu savak denklemi ile belirlenen debiler  $Q_{ha}$  debilerinden ortalama %7.5 farklı olmaktadır.
- Savak üzerindeki akıma ait anahtar eğrisi ile hesaplanan debiler  $Q_{ha}$  debilerinden ortalama %3.8 farklı olmaktadır.
- Manning denkleminde pürüzlülük katsayısı  $n=0.012$  alınarak hesaplanan debiler  $Q_{ha}$  debilerinden ortalama %10.7 farklı olmaktadır.
- Kesite ait ortalama hız ( $U$ ) ve maksimum hız ( $u_{mak}$ ) oranı sabit olup eğim 0.86 ve entropi parametresi  $M=7.1$  olarak belirlenmiştir. Bu sabit oran ve maksimum hızlar kullanılarak hesaplanan debiler  $Q_{ha}$  debilerinden ortalama %3.2 farklı olmaktadır. Bu değerden anlaşılacağı üzere entropi yöntemi ile debileri oldukça hassas belirlenebilmektedir.

## Teşekkür

Bu Çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2015-5736 kodlu ve “Açık Kanallarda Geniş Başlıklı Savaklar Üzerindeki Akımın Deneysel ve Sayısal Modellenmesi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

## Kaynaklar

Ardıçlıoğlu M., Şentürk A.İ., Seçkin G. (2004) Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının Entropy Yöntemi ile İncelenmesi, XVII. Teknik Kongre ve Sergisi , YTÜ, İstanbul.

Ardıçlıoğlu, M., Seçkin, G. ve Öztürk, Ö. (2005) Pürüzlü açık kanal akımlarında debi hesabı için entropi yönteminin kullanılması. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi Bildiriler Kitabı, Antalya.

Ardıçlıoğlu M. (2006) Açık kanal akımı hız-debi ölçümleri. İMO Teknik Dergi, Ocak.

Ardıçlıoğlu, M. and Özdin, S (2011) Determining agricultural water demand from natural streams using the entropy concept. African Journal of Agricultural Research, AJAR, 6 (6), 1330–1336.

Ardıçlıoğlu M., Özdin S. ve Gemici E. (2013) Küçük akarsu debilerinin belirlenmesinde farklı yöntemlerin karşılaştırılması. Bartın Üniversitesi, Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, No:1, 45-64.

Bal H., Kırkgöz M.S. ve Gümüş V. (2011) Geniş başlıklı savak akımının deneysel ve sayısal modellenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), ss. 33-45.

Bos, M.G. (1989) Discharge measurement structures. Third revised edition. Publication 20. ILRI, Wageningen.

Chiu, C. L. (1989) Velocity distribution in open channel flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 115, No. 5.

Chiu C.L. and Said, C.A. (1995) Modeling of maximum velocity in open-channel flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 121, No. 1, 26-34.

Chow, V. T. (1959) Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill Book Co., New York.

Hoseini S.H. and Afshar H. (2014) Flow over a Broad Crested Weir in subcritical flow conditions, Physical Study. Journal of River Engineering, Volume 2, Issue 1.

U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation (1984) Water Measurement Manual. Water Resources Technical Publication, Third edition.

Xia, R. (1997) Relation between mean and maximum velocities in a natural river. Journal of Hydraulic Engineering, 123 (8): 720-723.