

Küçük Akarsu Debilerinin Belirlenmesinde Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması

Mehmet ARDIÇLIOĞLU^{1*}, Serkan ÖZDİN¹, Ercan GEMİCİ²

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri / Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın / Türkiye

Yayın Bilgisi

Yayın Geçmişi

Geliş T.:
02.04.2013
Revizyon T.:
21.06.2013
Kabul T.:
07.10.2013

Anahtar Kelimeler
Akarsu
Debi
Manning
Entropi

Keywords
River
Discharge
Manning
Entropy

Özet

Su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir kullanımını gerçekleştirebilmek için hem kalite hem de miktar bakımından akım özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Açık kanal akımlarında debinin belirlenmesi için en güvenilir ve yaygın yöntem olan hız-alan ölçümleri yoğun emek ve masraf isteyen çalışmalardır. Bu nedenle az parametreye bağlı pratik yöntemlere de sıklıkla başvurulmaktadır. Bu yöntemlerin karşılaştırılması amacıyla Kızılırmak nehrinin yan kollarında bulunan Kırıközü istasyonunda 7 farklı tarihte gerçekleştirilen enkesit hız ölçüm sonuçları ele alınmıştır. Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) yardımıyla enkesit üzerinde, belirlenen düşeylerde derinlik boyunca ölçümler yapılarak akım doğrultusundaki hız dağılımları belirlenmiştir. Bu hız dağılımları integre edilerek belirlenen debi ile pratikte kullanılan 6 farklı yöntem karşılaştırılmıştır. Pratikte de çok kullanılan su yüzeyinin 0,8H ve 0,2H derinliklerinde ve 0,6H da ölçülen hızlar ile belirlenen debilere ait rölatif farkların oldukça küçük olduğu belirlenmiştir. Yedi ölçüme ait ortalama mutlak farklar sırasıyla %3,7 ve %5,7 olarak hesaplanmıştır. Anahtar eğrisi, Manning denklemi ve su yüzü hızı yardımıyla hesaplanan debiler arasındaki rölatif farklar da sırasıyla %18,7, %17,3, %25,0 olarak bulunmuştur. Entropi yönteminde ise bu farkın %13,8 olduğu, hız alan yöntemlerinden sonra en iyi sonuç veren pratik bir yöntem olduğu belirlenmiştir.

Comparison of Different Methods for Specifying Flow Rates of Shallow Streams Abstract

The flow properties must be determined in order to carry out wisely sustainable usage of water resources in terms of both quantity and quality. Velocity measurement, which is the best correct method to calculate discharge in open channel flow, is a duty requiring high effort and expense. For this reason different practical methods are frequently used with minimum parameters. In order to compare these practical methods, the

results of the measurements obtained from Kırküzü station which is located at side branches of Kızılırmak River are considered for seven different flow conditions. The velocity measurements taken by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) throughout the entire cross-section verticals and the velocity profiles were obtained for streamwise direction. Discharges obtained by integrating the velocity profiles were compared with six different methods which are commonly used in practice. Relative differences between discharge obtained by integrating the velocity profiles and discharges also obtained from velocities at 0,8H-0,2H, 0,6H depth of water surface were fairly small. The mean absolute value of these relative differences for seven different measurements were calculated as 3,7% and 5,7% respectively. The integrated discharges were also compared with Stage –discharge curve, Manning equation and water surface velocity method and the comparison results are like 18,7%, 17,3% and 25,0% respectively. As for another method, entropy method, the mean absolute difference was found as 13,8% which is third better methods for discharge calculation.

1. GİRİŞ

Canlı hayatının devam edebilmesi için gerekli olan suyun önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Kısıtlı olan temiz su kaynakları ve bunların yeryüzünde dağılımının ihtiyaçlarla örtüşmemesi, suyun planlanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Artan nüfusla birlikte bilinçsiz kullanıma bağlı olarak kirlenen su kaynakları özellikle büyük yerleşim bölgelerinde problem olmaktadır. Temiz ve kullanılabilir su elde edilmesinde akarsular önemli bir yere sahiptir. Akarsular sadece yerleşim bölgelerinin su ihtiyaçları için değil, sulama suyu temininde, hidroelektrik santralleri aracılığıyla elektrik üretiminde, taşımacılıkta ve dünyadaki ekolojik dengenin korunmasında önemli bir role sahiptir. Bu bakımdan akarsulardaki akım özelliklerinin miktar ve kalite bakımından belirlenmesi önem arz etmektedir^[1]. Günümüzde küçük akarsuların hidroelektrik enerji üretimi için kullanımı oldukça önem kazanmıştır. Bu amaçla akarsuyun taşımış olduğu debinin bilinmesi gerekmektedir birlikte, yeterli ölçüm verilerinin bulunmaması nedeniyle doğru planlama ve projelendirme yapılması güç olmaktadır.

Su kaynaklarının planlanmasında en önemli parametre olan debinin belirlenmesi amacıyla kullanılan değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan Manning denklemi gibi ampirik ifadelerde, pürüzlülük katsayılarının doğru olarak belirlenmesi güç olmakta çoğu zaman hassas sonuçlar elde edilememektedir. Ölçüme dayalı debinin belirlenmesi de doğrudan debi ölçümleri veya hız-alan ölçümüne dayanan yöntemler şeklinde gerçekleştirilmektedir. Doğrudan ölçüm yöntemlerine örnek olarak; ağırlık ölçümü, manyetik akımölçerler, ventüri savakları söylenebilir. Hız-alan ölçüm yönteminde ise, belirli bir kesitte akan kütlenin söz konusu kesitteki hızı ile kesit alanı çarpılarak debi belirlenmektedir. Bu yöntemin en önemli yanı, hız ölçümüdür^[2]. Yerinde yapılan hız ve yükseklik ölçümler zahmetli ve masraflı olmaktadır.

Chiu ve Said^[3], ele alınan kanal kesitinde ortalama hız U ve maksimum hız u_{mak} oranının sabit olduğunu bildirmişlerdir. Bir kesite ait bilinen bu oran yardımı ile, ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilen maksimum hız kullanılarak debinin hesaplanabileceğini ifade etmişlerdir. Maksimum hızın enkesit üzerinde en derin düşeyde ve su yüzüne yakın bölgede oluştuğu belirtilmektedir^[4].

Bu çalışmada küçük akarsularda debinin belirlenmesi amacıyla Kızılıрмаğın yan kollarından Kırıközü istasyonunda yedi farklı tarihlerde yapılan enkesit hız ölçümleri kullanılmıştır. Yedi farklı yöntem ile hesaplanan debiler arasındaki farklar irdelenerek yöntemlerin zorluğu ve hassasiyeti karşılaştırılmıştır.

2. DEBİ HESAP YÖNTEMLERİ

2.1. Hız Alan Yöntemi

Açık kanal akımlarında en kesit üzerinde yapılacak hız ölçümleri yardımı ile debi hassas olarak belirlenebilmektedir. Bu amaçla ele alınan enkesit dilimlere bölünür. Dilimlere ait ortalama hızlar farklı

yöntemler ile belirlenerek dilim debileri hesaplanabilmektedir. Parçalanmış alanların her birinden geçen debi toplanarak kesitten geçen akımın debisi gerçeğe en yakın şekilde bulunabilir.

Hız-alan yönteminde en kesit T (m), her bir dilimden geçen debi yaklaşık eşit olacak şekilde parçalara bölünür (Şekil 1). 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, (1) denklemindeki gibi hesaplanabilir.

$$U_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(u_j + u_{j+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (1)$$

Burada U_i ; dilime ait ortalama hız, u_j ve u_{j+1} ; ele alınan düşeydeki ardışık hızlar, h_j ; bu iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık, a_i ; ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan ve H_i ; ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir. Ele alınan düşeye ait ortalama hızın, (2) ifadesiyle hesaplanan dilim alanı ile çarpılmasıyla söz konusu dilime ait debi (q_i), (3) ifadesiyle belirlenebilmektedir. Bu ifadede A_i dilime ait alan, b_i dilim genişliğidir. Kesitten geçen debi (4) ifadesinde verildiği üzere dilim debilerinin toplanmasıyla elde edilir. Burada n enkesitteki dilim sayısıdır.

$$A_i = b_i H_i \quad (2)$$

$$q_i = U_i A_i \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n U_i A_i \quad (4)$$

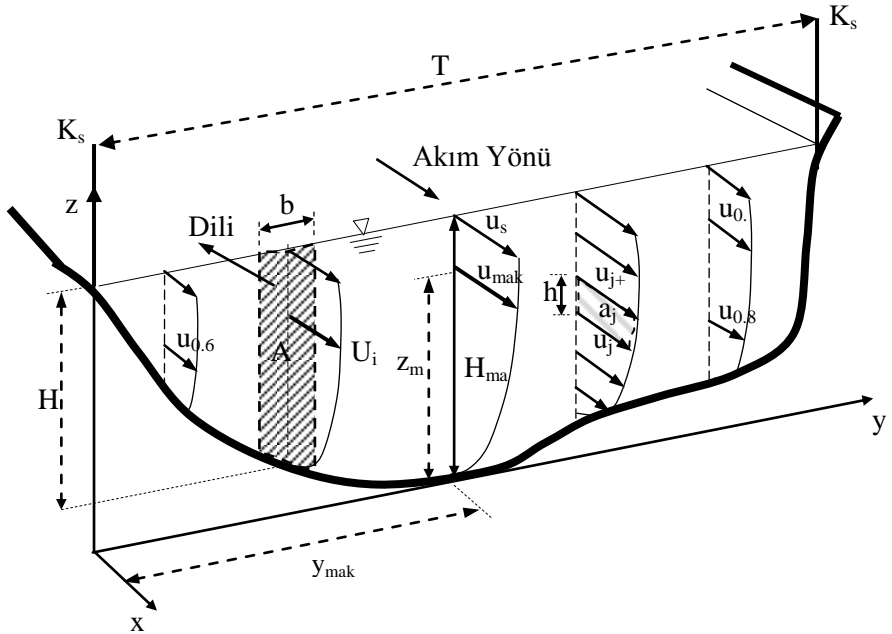
Pratikte dilim debileri belirlenirken ölçüm yapılan düzeyde, su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliğindeki hızların ortalamasının o dilime ait ortalama hızı temsil ettiği kabul edilir. Belirlenen bu dilim ortalama hızı yardımı ile (3) ve (4) ifadeleri kullanılarak kanal en kesitinden geçen debi hesaplanabilir. Literatürde bu yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Akım derinliğinin az olduğu, sığ sularda su yüzeyinden $0.6H$ derinlikteki hız ölçülerek bu hızın o dilime ait ortalama hız olarak kullanılması önerilmektedir. (Şekil 1)^[5]

2.2. Anahtar Eğrisi Yöntemi

Bir kesitte debi ve derinlik değerleri arasında çizilen eğriye Anahtar Eğrisi denir. Farklı akım koşullarında seviye ve debi ölçümleri yapılarak anahtar eğrisi 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 arada bir (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 seviyesi arasında (5) ifadesindeki gibi bir bağıntı kullanılmaktadır.

$$Q = aH^b \quad (5)$$

Bu bağıntıdaki a ve b sabit değerleri o istasyonda ölçülmüş değerlerden elde edilir.



Şekil 1. Ölçüm yapılan düşeyde ortalama hızın hesabı.

2.3. 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 gerçeğe yakın sonuç vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan Manning-Strickler eşitliğidir.

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (6)$$

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, üniform akımlarda su yüzü ve kanal taban eğimine eşit alınabilir. Formülün kullanımındaki en büyük sıkıntı 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^[6].

2.4. Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı

Akarsularda su yüzü hızı (u_{sy}) ile ortalama hız (U) arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu ilişki en kesit için doğru bir şekilde belirlendiğinde kesite ait ortalama hızın hesabı mümkün olmaktadır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli konu su yüzü hızının doğru bir şekilde tespit edilebilmesidir. Bu amaçla akarsu üzerinde su yüzü hızının ölçülmesi için başlangıç ve bitiş noktaları belirlenerek bu iki nokta arasındaki mesafe L_{sy} (m) ölçülmelidir. Literatürde bu mesafenin kesit genişliğinin yaklaşık on katı olması tavsiye edilmektedir. Su yüzü hızı (7) ifadesi yardımıyla bulunmaktadır. Bu ifadede L_{sy} ; alınan yol t (s) ise bu yolun alındığı süredir.

$$u_{sy} = L_{sy} / t \quad (7)$$

Su yüzü hızı ortalama hızdan büyük olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, debi hesabının (8) ifadesindeki gibi bir denklemle yapılacağı bildirilmiştir.

$$Q = k_{sy} u_{sy} A \quad (8)$$

Buradaki k_{sy} katsayısının derin sularda 0.8 ile 0.9 aralığında değiştiği ve genel olarak 0.85 alınabileceği bildirilmektedir. Sığ sularda ise bu katsayının 0.67 civarında hesaplandığı belirtilmiştir^[7].

2.5. Entropi Yöntemi ile Debi Hesabı

Chiu (1989) açık kanallarda hız dağılımını ve debiyi belirlemek için olasılık dağılımını esas alan entropi metodunu geliştirmiştir. Bu yöntem entropiyi maksimize etme temeline dayanılarak geliştirilen istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemin esası akarsuda ele alınan kesite ait ortalama (U) ve maksimum hızın (u_{mak}) oranının değişmemesidir. Benzer bulgular Xia^[8] tarafından da verilmiştir. Bu sabit oran (9) ifadesi ile verilen M entropi parametresi ile gösterilmiştir.

$$\frac{U}{u_{mak}} = \phi(M) = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (9)$$

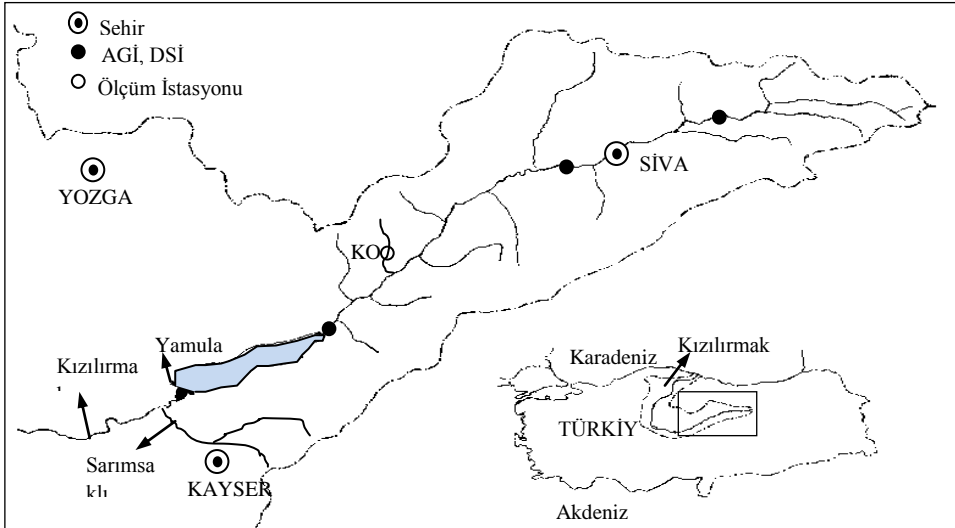
Kesite ait bilinen M parametresi dolayısıyla sabit U/u_{mak} oranı yardımı ile maksimum hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız; dolayısıyla debi kolaylıkla belirlenebilmektedir. Maksimum hızın enkesit üzerindeki yeri ve konumu ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilir. Literatürde bir enkesitte maksimum hızın, kesitin ortalarında ve en derin olan düzeyde oluşacağı vurgulanmaktadır^[5]. Bu düzeyde yüzeye yakın yapılacak birkaç hız ölçümü neticesinde enkesitteki maksimum hızı belirlenebilir. Geometrik olarak kolayca belirlenebilen en kesit alanı ve ölçülen maksimum hız yardımı ile kesitten geöen debi (10) ifadesi kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q=UA \quad (10)$$

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

3. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Arazi çalışmaları Orta Kızılırmak Havzası'nda yer alan Kayseri ili yakınlarındaki Kızılıрмаğın yan kollarından birinde Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda (KO) gerçekleştirilmiştir Şekil 2. Bu istasyon Özvatan ilçesinin 10 km kuzey doğusunda, Taşlık mevkiinde yer almaktadır. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda Tablo 1'de verilen tarihlerde 7 adet ölçüm alınmıştır. Ölçümlerde Acoustic Doppler Velocitimeter (ADV) kullanılmıştır



Şekil 2. Ölçüm istasyonunun bölgedeki yeri

Tablo 1 de Q ; kesitten geçen debi, H_{mak} ; kesitte ölçüm yapılan maksimum derinlik, A ; kesit ıslak alanı, $U (= Q/A)$; kesit ortalama akım hızı, u_{mak} ; kesitte ölçülen maksimum hız, S_{sy} ; serbest su yüzünün eğimi, $Re (=4UR/\nu)$ Reynolds sayısını göstermekte olup burada R ; hidrolik yarıçap ve ν ; kinematik viskozitedir. $Fr (= U/\sqrt{gH_{mak}})$; Froude sayısını göstermektedir. Bu sayılardan görüleceği üzere ele alınan tüm ölçüm şartlarında akımlar türbülanslı ve kritik altı akım (Nehir Rejimi) durumundadır.

Şekil 3'de ele alınan enkesitte gerçekleştirilen hız ölçümleri ve boykesit çıkartılması çalışmaları görülmektedir. Kanal tabanı incelendiğinde, killi-siltli yumuşak bir yapıya sahip olduğu, kesitin genel olarak normal yoğunlukta olan ufak boyutlu otlarla (<5cm) kaplı olduğu görülmüştür. Akarsuyun iki kıyısına da çakılmış olan kazıkların ve üzerindeki ip kılavuz olarak kullanılmıştır. Kazıklardan metre ile mesafeler ölçülerek enkesit daha öncede bahsedildiği gibi en kesit dilimlere ayrılmıştır. Ele alınana enkesitte hız ölçümleri kanal tabanından yukarı doğru $z=4$ cm'den başlayarak her 2 cm'de bir gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait ölçümlerden elde edilen değerler.

	Tarihler	Q	H _{mak}	A	U	S _{sy}	u _{sy}	u _{mak}	Re	Fr
	g/a/y	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	-	-	(m/s)	-	-
Ölçüm	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
KO_1	05.07.2009	0.130	0.28	0.425	0.306	0.003	0.975	0.536	200702	0.185
KO_2	16.08.2009	0.042	0.22	0.276	0.152	0.003	0.474	0.298	76888	0.104
KO_3	18.10.2009	0.037	0.17	0.183	0.202	0.003	0.573	0.418	77327	0.157
KO_4	25.04.2010	0.467	0.42	0.754	0.619	0.006	1.139	0.955	643269	0.305
KO_5	23.05.2010	0.351	0.40	0.686	0.512	0.009	0.891	0.835	324950	0.258
KO_6	27.06.2010	0.235	0.34	0.550	0.427	0.008	0.885	0.872	220383	0.234
KO_7	18.07.2010	0.093	0.21	0.304	0.306	0.007	0.570	0.827	156717	0.021



4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Tablo 1 de verilen 2009–2010 yıllarında, yedi farklı tarihte gerçekleştirilen akım ölçümleri ile kesitten geçen debiler yedi farklı yöntem ile belirlenmiştir. Her bir akım durumunda en kesit su yüzü genişliğine (T) bağlı farklı sayıda dilimlere bölünmüştür. Dilimlerde derinlik boyunca yapılan hız ölçümleri kullanılarak dilim ortalama hızları (1) ifadesi yardımıyla belirlenmiştir. Hız alan yönteminde belirlenen bu ortalama hızlar kullanılarak (2), (3) ve (4) ifadeleri yardımıyla hassas debi (Q) değerleri hesaplanmış ve Tablo 2 de, (1). sütunda verilmiştir. İkinci ve üçüncü yöntemlerde dilim ortalama hızları, ele alınan düşeylerin $0.2-0.8H$ ve $0.6H'$ nda belirlenen hızlar kullanılarak debi hesabı benzer şekilde yapılmıştır. Bu debilerde sırasıyla $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ olarak Tablo 2 de (2) ve (3). sütunlarda verilmiştir.

Kırıközü İstasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde derinlik boyunca hızların integrasyonu ile bulunan ve Tablo 2 de (1). sütunda verilen debi değerleri ile $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ debileri arasındaki mutlak farklar (11) ifadesi yardımı ile hesaplanarak Tablo 3 de (1) ve (2). sütunlarda verilmiştir. Tablo dan görüleceği üzere tüm ölçüm durumlarında $Q-Q_{0.2-0.8}$ debileri arasındaki fark %10 dan küçük olmaktadır. Yedi ölçüme ait ortalama mutlak fark (OMF) ise %3.7 olarak belirlenmiştir. Dilim ortalama hızının belirlenmesinde derinliğin $0.2H-0.8H$ indeki hızların kullanılabilceği anlaşılmaktadır. Yedi ölçüme ait hesaplanan $Q-Q_{0.6}$ debileri arasındaki farkın ortalaması da %5.7 olarak hesaplanmıştır. Sığ sularda ortalama hızın belirlenmesinde $0.6H$ daki hızın kullanılabilceği görülmektedir.

$$\varepsilon(\%) = \left| \frac{Q_{(1)} - Q_{(2)-(7)}}{Q_{(1)}} \right| \times 100 \quad (11)$$

Tablo 2. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait debi analizleri.

Q	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M	
(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
KO_1	0.130	0.129	0.122	0.137	0.101	0.186	0.124
KO_2	0.042	0.043	0.042	0.070	0.055	0.059	0.045
KO_3	0.037	0.035	0.041	0.034	0.030	0.047	0.039
KO_4	0.467	0.488	0.489	0.422	0.346	0.385	0.392
KO_5	0.351	0.353	0.378	0.369	0.278	0.274	0.312
KO_6	0.241	0.234	0.256	0.235	0.237	0.218	0.255
KO_7	0.093	0.102	0.097	0.062	0.094	0.078	0.137

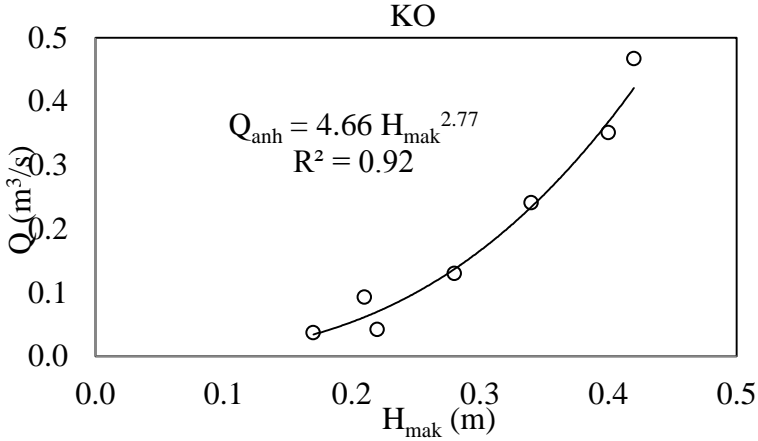
Tablo 3. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait debi analizleri.

	Mutlak Fark (%)					
	Q-Q _{0.2-0.8}	Q-Q _{0.6}	Q-Q _{anh}	Q-Q _{Man}	Q-Q _{sy}	Q-Q _M
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
KO_1	0.8	6.2	5.6	21.9	42.9	4.5
KO_2	2.4	0.0	67.5	31.8	39.6	6.7
KO_3	5.4	10.8	6.9	17.6	27.0	5.1
KO_4	4.5	4.7	9.6	25.9	17.6	16.0
KO_5	0.6	7.7	5.0	20.9	21.9	11.1
KO_6	2.9	6.2	2.5	1.7	9.5	5.7
KO_7	9.7	4.3	33.5	1.4	16.5	47.3
OMF=	3.7	5.7	18.7	17.3	25.0	13.8

Ülkemizde birçok akım gözlem istasyonunda (AGİ) debiler anahtar eğrileri yardımı ile ölçülmektedir. Ele alınan istasyon (KO) ölçümlerine ait anahtar eğrisinin belirlenmesi amacıyla her bir ölçümdeki Q debileri ile maksimum su yükseklikleri arasındaki (H_{mak}) dağılım çizilerek Şekil 4’de verilmiştir. Kırıközü (KO) istasyonuna ait anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım (12) ifadesindeki gibi elde edilmiş olup bu ilişkiye ait korelasyon katsayısı $R^2 = 0.92$ olarak şekil üzerinde verilmiştir. Bu değerden anlaşılacağı üzere KO istasyona ait anahtar eğrisi ölçümleri çok iyi temsil etmektedir. Hesaplanan anahtar eğrisi ile hesaplanan debiler Tablo 2 de (4). sütunda verilmiştir.

$$Q = 4.66(H_{mak})^{2.77} \quad (12)$$

KO istasyonuna ait yedi ölçümde hassas olarak belirlenen debiler ile (Q), istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denkleminde, (12), elde edilen debi değerleri (Q_{anh}) arasındaki rölatif farklar Tablo 3’de (3). sütunda gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde 2. ölçümde %67.5 ve 7. ölçümde %33.5 hata ile debi hesaplandığı anlaşılmaktadır. Diğer 5 ölçümde hata oranı %10’dan azdır. Yüksek olan bu hata değerlerine rağmen 7 adet ölçümün hata ortalaması %18.7 olmuştur.



Şekil 4. Kırıközü istasyonu anahtar eğrisi.

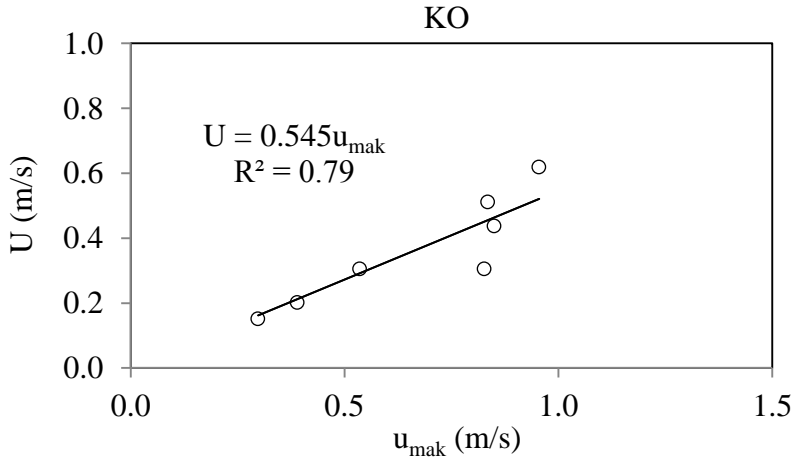
Debi hesabında literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biride Manning denklemdir. Kanalin fiziksel özellikleri bilinirken (akım alanı, ıslak çevre ve kanal eğimi) pürüzlülük katsayısı n belirlenerek kesite ait debi bu yöntemle hesaplanabilmektedir. Her bir akım durumunda topografik aletler ile belirlenen su yüzü eğimleri (S_{sy}) Tablo 1 de verilmiştir. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda sürtünme katsayısı kesit özelliklerine bağlı olarak $n=0.065$ olarak hesaplanmıştır^[1]. Hesaplanan bu pürüzlülük katsayısı ve bilinen kesit geometrik özelleri (6) ifadesinde kullanılarak KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen yedi ölçüm için Manning debileri (Q_{Man}) hesaplanmıştır Tablo 2, (5). sütun. (Q) debileri ile Manning denklemi ile elde edilen debiler ($Q-Q_{Man}$) arasındaki rölatif farklar Tablo 3 (4). sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde farkın ilk 5 ölçümde yüksek olduğu ortalama farkın ise %17.3 olduğu görülmektedir.

Bir diğer debi hesap yöntemi ise su yüzü hızı kullanılarak debi hesabı yapılmasıdır. Bu amaçla ölçüm yapılan kesitin 10m memba tarafından suya yüzen bir dal parçası bırakılarak (7) ifadesi yardımı ile

her bir akım durumunda su yüzü hızı u_{sy} hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu işlem her akım durumu için onar kez yapılarak ortalama değerler kullanılmıştır. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda ölçülen ortalama hızların (Tablo 1) yine ölçülen su yüzü hızlarına oranlarının (U/u_{sy}) ortalaması alınarak $k_{sy}=0.45$ şeklinde hesaplanmıştır. Bu katsayı ile OD İstasyonu'nun su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi $U=0.45u_{sy}$ şeklinde olmuştur. Bu katsayı literatürde belirtilen 0.8-0.9 aralığından küçük olmaktadır. Bu şekilde hesaplanan ortalama hızlar ile kesit alanı ile çarpılarak su yüzü debileri (Q_{sy}) belirlenmiş ve Tablo 2, (6). sütunda verilmiştir. Su yüzü debileri ile hassas debiler ($Q-Q_{sy}$) arasındaki mutlak farklar (11) ifadesi ile hesaplanarak Tablo3 de (5). sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde farkın %9,5 ile %42,9 arasında değiştiği ve ortalama mutlak fark (OMF) %25.0 olarak hesaplanmıştır.

Entropi yöntemi ile debi hesaplanması için Kırıközü istasyona ait U/u_{mak} oranının veya entropi parametresi, M' in belirlenmesi gereklidir. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait ortalama hız (U) ve maksimum hız (u_{mak}) değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu hız değerleri yardımı ile $U-u_{mak}$ ilişkisi grafik halinde Şekil 5' de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi=0.545$ değeri kullanılarak (9) ifadesi yardımıyla KO İstasyonu'na ait entropi parametresi $M=0.54$ olarak hesaplanmıştır. Bu denklemin korelasyon katsayısı $R^2=0.79$ 'dur. Tablo 2'de, KO İstasyonu'na ait bilinen $\phi=0.545$ oranı ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan Q_M değerleri (7). sütunda verilmiştir. Yine hassas debiler (Q) ve entropi debileri (Q_M) arasındaki rölatif farklar da Tablo 3, (6). sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde tüm ölçümlerde en düşük hata oranının %4.5 ve en yüksek hata oranının 7. ölçümde %47.3 olduğu anlaşılmaktadır. Diğer ölçümler için entropi yöntemi iyi sonuç vermektedir. Ele alınan 7 adet ölçüm için ortalama mutlak hata değeri ise %13.8 olarak hesaplanmıştır. Kırıközü istasyonu

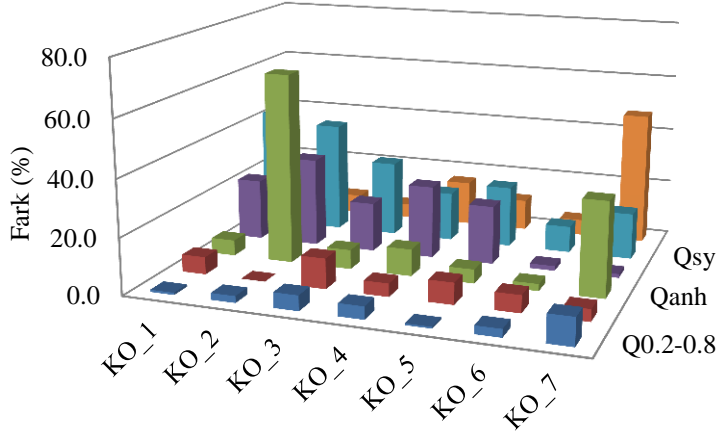
için hesaplanan OMH değerlerine bakıldığında entropi yönteminin anahtar eğrisi, Manning denklemi ve su yüzü hızı ile hesaplanan debilere göre daha iyi sonuçlar verdiğini anlaşılmaktadır. Debi hesabında küçük akarsular için entropi yöntemi kolaylıkla ve daha az ölçümle kullanılabilir.



Şekil 5. Özvatan Kırıközü İstasyonu $U-u_{\text{mak}}$ ilişkisi.

Şekil 6'da Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 farklı ölçümde elde edilen, debi hata değerlerinin grafiği yer almaktadır. Şekilden $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ debilerine ait hataların küçük olduğu görülmektedir. Anahtar eğrisine ait hatanın iki ölçümde yüksek, Manning debilerine ait farklar ilk beş ölçüm için %10 dan büyük olduğu anlaşılmaktadır. Su yüzü hızlarına ait farklar tüm ölçümler için %10 dan büyük olduğu, entropi yönteminin ise hız alan yöntemlerinden sonra en iyi sonuç veren debi hesap yöntemi olduğu bu farklardan anlaşılmaktadır.

Kırıközü İstasyonu



Şekil 6. Özvatan, Kırıközü İstasyonu debi hesap farkları grafiği

5. SONUÇLAR

Günümüzde gittikçe artan su ihtiyaçlarına bağlı olarak küçük akarsuların hidroelektrik, sulama ve benzeri amaçlar ile değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Bu sularda debinin belirlenmesi amacıyla kullanılan hız alan yöntemleri, yoğun emek ve zaman gerektirdiğinden pratik ve ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle farklı yöntemlerin debi hesabında kullanım şekli ve sonuçları örnek bir akarsu kesiti için ele alınmıştır. Kırıközü istasyonunda yedi farklı akım durumunda ele alınan yöntemler arasındaki farklar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- Su yüzeyinden 0.2H ve 0.8H derinliklerinde ve ayrıca 0.6H da ölçülen hızlar kullanılarak hız-alan yöntemi ile hesaplanan debiler, derinlik boyunca yapılan hız ölçümleri yardımıyla hesaplanan debiye oldukça yakın, ortalama mutlak hatalar %5.0 civarında olmakta,

literatürde kabul gören bu yaklaşımların küçük akarsuların debi hesabı için kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

- Kesitte ait debi (Q), derinlik (H_{mak}) ilişkisinin anlamlı bir üstel dağılım gösterdiği, anahtar eğrisi olarak bu ifadenin kullanılabileceği, bu durumda ortalama mutlak hatanın %18.7 olduğu belirlenmiştir.
- Ölçüm yapılan kesit için pürüzlülük katsayısı $n=0.045$ olarak belirlenmiş ve Manning denklemi kullanılarak hesaplanan debiler hassa debilerden %17.3 farklı olduğu hesaplanmıştır.
- KO İstasyonu'na ait bilinen $\phi=0.545$ oranı ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan debilerin ele alınan 7 adet ölçüm için ortalama mutlak farkları %13.8 olarak hesaplanmıştır. Bu değer anahtar eğrisi, Manning denklemi ve su yüzü hızı farklarından küçük olmaktadır. Debi hesabında küçük akarsular için entropi yöntemi kolaylıkla ve daha az emekle kullanılabileceği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu Çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-09-793 kodlu ve “Doğal akarsularda akım özelliklerinin entropi yöntemi ile belirlenmesi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Özdin, S., Doğal Akarsularda Akım Özelliklerinin Entropi Yöntemi ile İncelenmesi, YL Tezi, ERÜ FBE, Kayseri, 2012.
2. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Water Measurement Manual, A Water Resources Technical Publication, Third edition, 1984.
3. Chiu C.L. & C.A. Said, Modeling of Maximum Velocity in Open-Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 1, pp. 26-34, 1995.
4. Ardiçliođlu, M., Özdin, S, Determining Agricultural Water Demand From Natural Streams Using The Entropy Concept, African Journal of Agricultural Research, AJAR, 6 (6), 1330–1336, 2011.
5. Ardiçliođlu, M., Ozdin S. Gemici E. Kalin L., Determination of Flow Properties in Shallow Flow River, Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, 1-4, September 2010, Tucson, AZ, USA.
6. Chow, V. T., 1959, Open Channel Hydraulics, Mc Graw – Hill Book Company, Tokyo, 680 s.
7. Water Measurement Manual, A Water Resource Technical Publication, U.S. Department of the Interior, Washington, DC, 2001.
8. Xia, R., 1997, Relation between mean and maximum velocities in a natural river. Journal of Hydraulic Engineering, 123 (8): 720-723.