

169094

**AKUSTİK DOPPLER YÖNTEMİNİN DEBİ ÖLÇÜMÜNDE
ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF THE EFFECTIVITY OF ACOUSTIC
DOPPLER METHOD IN DISCHARGE RATE
MEASUREMENT**

HAKAN AKSU

Hacettepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLojİ (HİDROJEOLojİ) ANABİLİM DALI** 'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan

.....
Prof. Dr. Ünal ŞORMAN

Üye (Danışman)

.....
Prof. Dr. Alparslan ARIKAN

Üye

.....
Prof. Dr. Serdar BAYARI

Üye

.....

Üye

.....

ONAY

Bu tez/...../2005 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından tarihinde kabul edilmiştir.

...../...../2005

.....

Prof.Dr. Ahmet R. ÖZDURAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

AKUSTİK DOPPLER YÖNTEMİNİN DEBİ ÖLÇÜMÜNDE ETKİNLİĞİNİN İNCELENMESİ

Hakan Aksu

ÖZ

Akarsularda debi ölçüm yöntemlerinin en yenilerinden birisi olan Akustik Doppler Yöntemi hidrometrik ölçümlerde gün geçtikçe artan oranda kullanılmaktadır. Ölçüm uygulaması akarsu kesitinin bir kıyasından diğerine botla ölçüm cihazının geçirilmesi şeklindedir. Çalışma prensibi, Doppler teorisine dayanır. Yöntemin halihazırda yaygın olarak kullanılan geleneksel debi ölçüm yöntemlerine göre üstünlükleri; ölçüm süresinin daha kısa olması, ölçüm tesisi gerektirmemesi, geleneksel yöntemin geçersiz olduğu akış aşağısında depolama tesisi bulunan akımlarda kullanılabilmesi, kesitte yatayda ve düşeyde sürekliliğe yakın ölçüm yapması ve hızın vektörel olarak ölçülmesini sağlamasıdır. Yöntemin uygulanmasına elverişli akım ve kesit koşullarında geleneksel yöntemlerle % 5 güven aralığında ölçüm sonuçları vermektedir. Yüksek sediment konsantrasyonu, taban pürüzlülüğü, türbülans, kullanıcı tecrübesi ölçüm doğruluğunu etkilemektedir. Çalışmada Akustik Doppler yöntemi teorisi, yapılışı ve üç farklı akarsu havzasında gerçekleştirilen 10 ölçüm çalışmasından elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: ADAÖ, debi ölçümü, akarsu

Danışman: Prof.Dr. Alparslan ARIKAN, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVITY OF ACOUSTIC DOPPLER METHOD IN DISCHARGE RATE MEASUREMENT

Hakan Aksu

ABSTRACT

Acoustic Doppler method, which is one of the newest discharge measuring methods, is increasingly being used for hydrometric measurements. Measurement is performed by crossing the measuring device from one side of the river to the other side. Its running principle depends on Doppler theory. It has some advantages over conventional flow measuring methods currently used, the main ones of which are that it requires shorter measurement time, does not need measuring facility, can be used in tidally effected currents, makes nearly permanent lateral and vertical measurements at cross section and allows vectorial measurement of the velocity. Under appropriate currents and cross sections which are convenient to use this method, it provides 5% confidence level by traditional methods. High sediment concentration, bed roughness, turbulence and user experience affect the accuracy. In the study, the theory of Acoustic Doppler method, the way how it is applied and 10 measurements obtained from three different river basins and their results are explained.

Keywords: ADCP, discharge rate measurement, river

Advisor: Prof.Dr. Alparslan ARIKAN, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Hydrogeological Engineering Section

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın çeşitli aşamalarında verdikleri destek ve katkılardan dolayı, aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Prof. Dr. Alparslan ARIKAN (Tez Danışmanı), çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleri ile araştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, saha ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuştur.

Prof.Dr. Ünal Şorman (ODTÜ), tezin çeşitli aşamalarında önerileri ve yorumları ile katkıda bulunmuşlardır.

Çalışmada DSİ Genel Müdürlüğünün, ekipman, personel, teknik ve lojistik destek başta olmak üzere arazi ve büro çalışmalarında katkıları olmuştur.

Dr. Ömer KARACA (DSİ) grafik çizimlerini gerçekleştirmiştir.

Kimya Müh. Ayşe Haşimoğlu (DSİ) sediment analizini gerçekleştirmiştir.

Makine Müh. Ali ATAKAN alet tutamağının dizaynını ve yapımını gerçekleştirmiştir

Meteoroloji Müh. Kazım AYVAZ (DSİ), Meteoroloji Müh. Nurullah SEZEN (DSİ), Meteoroloji Müh. Adnan BAŞARAN (DSİ), Meteoroloji Müh. Mehmet KEÇİK (DSİ) , Teknisyen Kemal ALDEMİR (DSİ) arazi çalışmalarının gerçekleştirilmesine yardımcı olmuşlardır.

Matematikçi Semra Sezer (DSİ), Hidrojeoloji Müh. Kemal KOÇ (H.Ü), Meteoroloji Yük. Müh. M. Kemal ERKUŞ (DSİ) tez çalışmasının çeşitli aşamalarında katkıda bulunmuşlardır.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri.....	2
1.3. Değerlendirmede Kullanılan İstasyonların Yerleri ve Karakteristikleri	3
1.4. Önceki Çalışmalar	4
2.AKUSTİK DOPPLER PRENSİBİ VE YÖNTEMİ	7
2.1. Doppler Prensibi.....	7
2.1.1. Ses ile ilgili kavramlar.....	7
2.1.2. Doppler etkisi	8
2.2 ADAÖ nün Tanımı.	10
2.3 ADAÖ nün Debi Hesabı	12
2.4 ADAÖ nün Kısıtlılıkları.	13
2.5 ADAÖ ile Debi Ölçümü.	15
2.5.1. Ölçüm kesitinin seçimi.....	15
2.5.2. Ölçüm öncesi kontrol.....	17
2.5.3. Kesit geçişine başlanması.....	17
2.5.4. Kesit geçişi sırasında yapılması gerekenler	18
2.5.5. Kesit geçişini bitirme.....	18
2.5.6. İyi bir debi ölçümü için gerekenler	18
2.5.7 ADAÖ ölçümlerinin arşivlenmesi.	19

3. ADAÖ İLE AKARSU DEBİ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRMELER	21
3.1. Çalışmada Kullanılan ADAÖ Cihazı Hakkında Teknik Bilgiler	21
3.2. Geleneksel Yöntemler ile Debi Ölçümü	23
3.2.1. Ölçüm yerinin seçimi	25
3.2.2. En kesitlerde ölçüm düşeyleri.....	25
3.2.3. Ölçüm düşeylerinde ortalama hızın bulunması	26
3.2.4. Geleneksel yöntemle debinin hesaplanması	27
3.2.5. Anahtar eğrisi kavramı	29
3.3. Ölçümler ve Yorumlar.....	29
3.3.1. ADAÖ-1 ölçümü ve yorumu.....	29
3.3.2. ADAÖ-2 ölçümü ve yorumu.....	32
3.3.3. ADAÖ-3 ölçümü ve yorumu.....	33
3.3.4. ADAÖ-4 ölçümü ve yorumu.....	34
3.3.5. ADAÖ-5 ölçümü ve yorumu.....	36
3.3.6. ADAÖ-6 ölçümü ve yorumu.....	39
3.3.7. ADAÖ-7 ölçümü ve yorumu.....	41
3.3.8. ADAÖ-8 ölçümü ve yorumu.....	41
3.3.9. ADAÖ-9 ölçümü ve yorumu.....	43
3.3.10. ADAÖ-10 ölçümü ve yorumu.....	44
3.4. ADAÖ Ölçümlerinde Hata Analizi	45
3.5. ADAÖ Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	47
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5. KAYNAKLAR	50

EKLER

- EK 1. ADAÖ ölçüm kayıt kartı
- EK 2. ADAÖ-1 ölçümüyle eşzamanlı yapılan geleneksel ölçüm
- EK 3. Akçay Regülatörü Çıkışı geleneksel ölçümü
- EK 4. Aydın Regülatörü sağ ana kanalı geleneksel ölçümü
- EK 5. DSI – 07-70 A.G.İ 28.07.2004 tarihli rusubat numunesi analiz raporu
- EK 6. ADAÖ ölçümlerinde kullanılan temel yapılandırma özellikleri
- EK 7. ADAÖ debi ölçümü hata öngörüsü formülleri
- EK 8. ADAÖ Debi Ölçümleri ve İlişkili Anahtar Değerlerinin Karşılaştırılması (Morlock, 1996)
- EK 9. 16-95 Nolu İstasyonun 2004 yılı Anahtar Eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ADAÖ	Akustik Doppler Akım Ölçer
A.G.İ.	Akım Gözlem İstasyonu
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
HÜ	Hacettepe Üniversitesi
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
USGS	Birleşik Devletler Jeolojik Hizmetler Kurumu
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü
Hz	Hertz
f	frekans (Hz)
λ	Dalga Boyu (mm)
C	Ses Hızı (m/s)
ppm	Milyonda Bir



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yer bulduru haritası.....	4
Şekil 2.1. Hareketle frekans değişimi.....	8
Şekil 2.2. Doppler etkisi.	9
Şekil 2.3. Doppler etkisi ve radyal hareket.....	11
Şekil 2.4. ADAÖ yönteminde ölçülemeyen alanlar.	14
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan ADAÖ ve boyutları	21
Şekil 3.2. Düşey hız dağılımı grafiği	26
Şekil 3.3. Geleneksel ölçüm ara kesitleri, düşeyleri ve mesafeler	28
Şekil 3.4.ADAÖ-1 ölçümü hız profili.....	31
Şekil 3.5. 1 Nolu geleneksel ölçüm akım kesiti	32
Şekil 3.6. ADAÖ-2 ölçümü hız profili.....	33
Şekil 3.7. ADAÖ-3 ölçümü hız profili.....	35
Şekil 3.8. ADAÖ-4 ölçümü hız profili.....	37
Şekil 3.9. ADAÖ-5 ölçümü hız profili.....	38
Şekil 3.10. Akçay Regülatörü çıkışı geleneksel ölçüm hız profili (27.07.2004)	39
Şekil 3.11. ADAÖ-6 ölçümü hız profili.....	40
Şekil 3.12. ADAÖ-7 ölçümü hız profili	42
Şekil 3.13. ADAÖ-8 ölçümü hız profili.....	42
Şekil 3.14. ADAÖ-9 ölçümü hız profili.....	43
Şekil 3.15. ADAÖ-10 ölçümünün konumu	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Değerlendirme istasyonlarının özellikleri	6
Çizelge 2.1. ADAÖ ölçümlerinde hata kaynakları	16
Çizelge 3.1. Genel Mod (1) profillemeye özellikleri.....	22
Çizelge 3.2 Hassas Mod (5) profillemeye özellikleri	22
Çizelge 3.3 Hassas Mod (8) profillemeye özellikleri	23
Çizelge 3.4 Açık kanallarda düşey hız dağılımı	26
Çizelge 3.5. ADAÖ-1 ölçümü.....	31
Çizelge 3.6. 1 Nolu geleneksel akım ölçüm sonuçları.....	31
Çizelge 3.7. ADAÖ-2 ölçümü.....	33
Çizelge 3.8. ADAÖ-3 ölçümü.....	35
Çizelge 3.9. ADAÖ-4 ölçümü.....	36
Çizelge 3.10. ADAÖ-5 ölçümü.....	38
Çizelge 3.11. ADAÖ-6 ölçümü.....	40
Çizelge 3.12. ADAÖ-7 ölçümü.....	41
Çizelge 3.13. ADAÖ-8 ölçümü.....	42
Çizelge 3.14. ADAÖ-9 ölçümü.....	43
Çizelge 3.15. Geleneksel yöntem ve ADAÖ yöntemi ölçüm sonuçları.....	46
Çizelge 3.16. ADAÖ ölçümlerinde öngörülen hatalar	46

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Foto 2.1.Fiberglas botla ADAÖ Ölçümü..... 20



1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Akustik Doppler yöntemiyle debi ölçümünün, açık kanal ve nehir ölçülerinde kullanılan geleneksel yöntemlerle karşılaştırılarak, uygulanabilirliğinin araştırılması amaçlanmaktadır.

Akarsu debi değerleri, her çeşit su yapısının tasarımında, baraj işletme çalışmalarında, taşkın hesaplamalarında, yüzey akışlarının modellenmesinde ve benzeri bir çok alanda kullanılan önemli bir veridir. Akarsu ölçümlerinin bilinen tarihi günümüzden 5000 yıl önce Mısır'da Nil Nehri'nin seviyesinin ölçümüyle başlar (Stevens,1991). Türkiye'de ise düzenli akım ölçümleri 1934 yılında EİE Genel Müdürlüğü'nün kurulmasıyla başlar. Bu süreç içerisinde bilimsel çalışmalar sonucu elde edilen bilgiler, akarsu ölçüm yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Bu yeni yöntemlerden birisi de doppler prensibine dayanan akustik yöntemdir.

Ülkemizde 2000 su yılında DSİ tarafından 8882 adet (DSİ,2000), EİE tarafından 3588 adet (EİE,2000) olmak üzere toplam 12470 adet akarsu debi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Dünyada akarsu debi ölçümü, yaygın olarak, muline kullanılarak yapılmaktadır. Ülkemizde de yaygın kullanılan debi ölçüm şekli geleneksel yöntemlerdir. Son yıllarda gelişen teknoloji debi ölçümlerinde yeni yöntemlerin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Ölçüm sistemlerinde yapılacak köklü değişikliklerden kaynaklanabilecek hatalar telafisi mümkün olmayan sonuçlar doğurabileceğinden, Akustik Doppler yönteminin geleneksel yöntemler ile karşılaştırılması ve uygulanabilirliğinin farklı akım karakteristiklerine sahip havzalarda denenmesi önem arz etmektedir.

Akustik Doppler yönteminin geleneksel yöntemlere göre faydalarından başlıcaları; tüm hız profilini vermesi, zaman tasarrufu sağlaması, iş güvenliği riskini azaltması ve kurulu tesis gerektirmemesidir. Akustik Doppler yöntemiyle debi ölçümünün, geleneksel yöntemlere göre daha hızlı sonuçlanması, ölçüm sırasında meydana gelen seviye değişimlerinin azalmasına ve buna bağlı olarak daha sağlıklı ölçü- ilişkili ölçüm seviyesi belirlenmesini sağlamaktadır.

Geleneksel yöntemler akış aşağısında doğal akım koşullarının bozulduğu durumlarda sonuç vermemekte buna karşılık Akustik Doppler yönteminin, akarsu hızının vektörel olarak ölçümünü sağlaması nedeniyle, doğrusal olmayan akım koşullarına sahip açık kanal ve nehir ölçümlerinde kullanımı mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada, Akustik Doppler Yöntemi Teorisi, Akustik Doppler Akım Ölçer (ADAÖ), ADAÖ yöntemi ile ölçümün yapılışı, ADAÖ ile yapılan ölçümün kısıtlılıkları ve geleneksel yöntemler hakkında bilgi verildikten sonra, çeşitli akım gözlem istasyonlarında (A.G.İ.) yapılan Akustik Doppler yöntemi ölçümleri ve geleneksel yöntem ölçümleri sunulmuş, karşılaştırılması yapılmış, yöntemin avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.

1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Akustik Doppler yöntemi ile debi ölçümü uygulamasını geleneksel ölçümlerle karşılaştırma amacına dönük olarak akarsu debi ölçümleri ve bu ölçümlerin yorumlanması şeklinde bir yöntem izlenmiştir. Çalışmada gerekli uygulamaların yapılabilmesi için ekipman, lojistik destek, personel ve ulaşım ihtiyaçları açısından ön çalışma yapılmıştır. ADAÖ'nün DSİ'de mevcutta bulunan botlarda kullanılabilmesi için, uygun malzemedeki portatif tutamak yaptırılmıştır.

Çalışmada kullanılan ADAÖ'nün teknik özelliklerine göre, değişik akım ve A.G.İ. kesit karakteristiklerini içerecek biçimde değerlendirme istasyonları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında 3 farklı akarsu havzasında ölçüm uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Seçilen A.G.İ. lerinde ADAÖ ölçümü yapılarak karşılaştırma amacıyla uygun yerlerde muline ile akım ölçümleri yapılmış, bu yolla ölçüm yapılamayan yerlerden, baraj çıkışlarında baraj çıkış debilerinden veya A.G.İ. seviye debi ilişkisinden (akım anahtar eğrileri) yararlanılmıştır.

ADAÖ ölçüm geçişlerinden elde edilen veriler, daha sonra büroda ölçüm değerine dönüştürülmüştür. Ölçümlerden elde edilen verilerden hata analizi, ölçüm sürelerine ilişkin bilgiler, akım profilinin geleneksel yöntemle ve ADAÖ ile elde edilen akım kesiti ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada yöntemin uygulamasına ilişkin ayrıntılı bilgiler sunulmuştur.

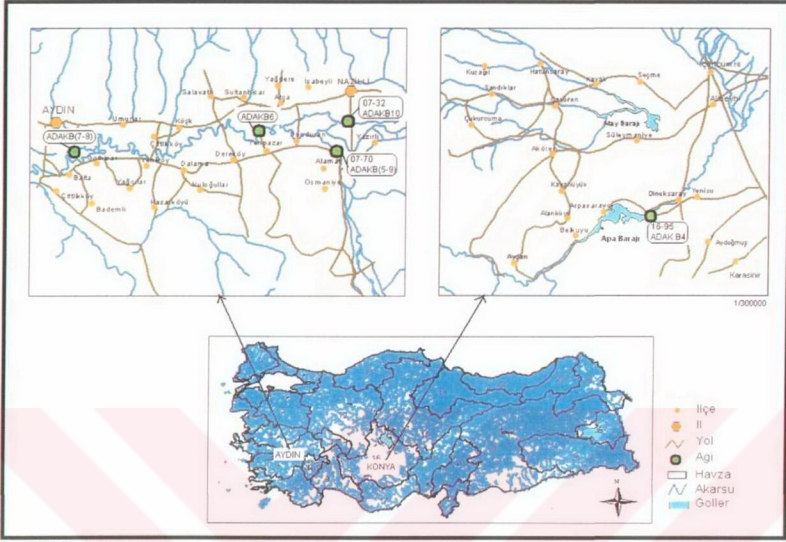
1.3. Değerlendirmede Kullanılan İstasyonların Yerleri ve Karakteristikleri

Değerlendirme istasyonları Türkiye'nin farklı hidrolojik özellikler gösteren 3 havzasında bulunmaktadır (Şekil 1.1). Değerlendirmede kullanılan istasyonlar çok değişik akım ve kesit özelliklerine sahiptirler (Çizelge 1.1). ADAÖ debi ölçümlerinde kesit genişlikleri 8.1 m (Aydın Regülatörü sulama kanalı) ile 420.2 m (ADAÖ-3) arasında değişmektedir. Akçay regülatör çıkışı ölçümü (ADAÖ-5) 0.9 m ortalama derinlik ve 1.2 m maksimum derinlik ile en sığ ; ADAÖ - 1 ölçümü ise 6.9 m ortalama derinlik ve 11.9 m maksimum derinlik ile değerlendirme istasyonları arasındaki en derin kesitlerdir. Ortalama hızlar 0.8 m/s (ADAÖ-3 ve Büyük Menderes - Yenipazar Köprüsü) ile 1.2 m/s (ADAÖ-1) arasındadır. En yüksek hız değeri 2.37 m/s olarak ADAÖ-1 ölçümünde kaydedilmiştir. Debi değerleri 15.4 m³/s (Aydın Regülatörü sulama kanalı) ve 1536.4 m³/s (ADAÖ-1) debi değer aralığını kapsamaktadır.

İstasyon kesitleri, düzgün taban ve şevlere sahip (Akçay Regülatörü çıkışı ve Apa Barajı çıkışı) veya pürüzlü bir taban ve sığ düzensiz şevlere sahip (ADAÖ-3) veya dik şevli beton kanallar (ADAÖ-7 ve 8) olmak üzere değişik akarsu yatak koşullarını temsil etmektedir.

Akarsu yatak yapısı kaya (ADAÖ-1), çakıl (ADAÖ-5ve 9 Akçay regülatörü çıkışı), toprak (ADAÖ-4 Apa barajı çıkışı), kum (ADAÖ-6 Yenipazar köprüsü) olmak üzere çok değişken özelliklerdedir. Ölçümler sırasında yalnızca Apa barajı çıkışında, sağ sahilde türbülans etkisi gözlenmiştir. Ölçümlerin büyük kısmında sular berrak veya bulanık olmakla beraber herhangi bir sorun yaratmazken, Büyük Menderes'in ana kolundaki Nazilli Köprüsü (ADAÖ-10) istasyonunda yüksek sediment konsantrasyonundan dolayı ölçüm yapılamamış, yine aynı akarsuda Akçay'ın Büyük Menderes ile birleşmesinden sonra, ana kolun sediment konsantrasyonu hissedilir oranda azalmış ve Yenipazar Köprüsündeki ölçümde bazı ölçüm geçişlerinde taban izlemesi kaybedilmiş, değişik ölçüm yöntemleri uygulanmıştır.

Değerlendirme istasyonlarının akış yukarısında depolama tesisleri mevcut olup akımlar doğal değildir. ADAÖ-2 ve ADAÖ-3 ölçümleri haricindeki ölçümlerde akım koşullarında değişiklik yoktur.



Şekil 1.1. Yer bulduru haritası

1.4. Önceki Çalışmalar

Türkiye'de akarsu debi ölçümlerinde ADAÖ yöntemi uygulaması ilk olarak bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Akarsu debi ölçümlerinde ADAÖ lerin yaygın olarak kullanıldığı Birleşik Devletler Jeolojik Hizmetler (USGS) Kurumu tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Yorke ve Oberg (2002) ADAÖ'nün USGS'de geleneksel yöntemlerin kararsız, farklı yönlerde ve rüzgar etkisindeki akım koşullarında geçersiz olduğu durumlarda kullanılabileceğini ayrıca kurulu ölçüm tesisi gerektirmemesi ve ölçü süresinin kısa olması nedeniyle maliyeti azaltması ve geleneksel yöntemlere göre daha güvenli oluşu gerekçeleriyle düzenli olarak kullanılmaya başlandığını belirtmektedirler.

Morlock (1996), Nisan 1994 ve Kasım 1995 tarihleri arasında 12 USGS istasyonunda 31 ADAÖ ölçümü gerçekleştirmiş ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırmıştır (Ek-8). Değerlendirmesinde kullandığı 25 ölçüm geleneksel yöntemler baz alındığında % 5 hata sınırı içerisinde yer almış, 2 ayrı istasyonda yaptığı 6 ölçüm ise maksimum % 7.6 hata sınırı içerisinde kalmıştır. Sonuç olarak

USGS istasyonları akım ve kesit koşullarında değişik akarsu karakteristiklerinde, akarsu debi ölçümlerinde kullanılmasının uygulanabilir olduğunu belirtmiştir.

Mueller (2002), 2002 yılında benzer bir çalışmayı 5 USGS istasyonunda gerçekleştirmiştir. Çalışmasında iki farklı ADAÖ ölçüm cihaz üreticisine ait farklı frekanslarda çalışan 4 farklı ADAÖ kullanmıştır. Morlock'un çalışmasında saha performansı temel alınırken, Mueller daha çok cihazların performansı üzerinde durmuştur. Ölçümlerin genelinde farkların geleneksel ölçümlerle % 5 den az olduğu belirtilmiştir.

Oberg (2002) ADAÖ 'lerin kalibrasyonuna ilişkin olarak, başka ölçüm cihazlarıyla ve yöntemlerle karşılaştırma, mulinelerde olduğu gibi kalibrasyon havuzlarından yararlanma, sahada geleneksel ölçümlerle karşılaştırma yöntemlerini ele almıştır. Kalibrasyon havuzunun boyutlarının çok büyük olması gerektiğinden, ayrıca laboratuvar koşullarında doğal akım koşullarında karşılaşılan akustik yöntem uygulaması için gerekli homojen sediment dağılımının sağlanamaması sorunları ile karşılaşmıştır. Doğal akım koşullarındaki sediment yerine kireçtaşı tozu eklenmiş homojen dağılımın sağlanamaması ve yansıtıcı boyutu sorun olmaya devam etmiştir.

Çizelge 1.1. Değerlendirme istasyonlarının özellikleri

Değerlendirme İstasyonu Numarası	İstasyon Adı ve Havza Adı ve Havza Numarası	Kesit ve Genişliği (m)	Ortalama Derinlik (m)	Maksimum Derinlik (m)	Alan (m ²)	Ortalama Hız (m/s)	Debi (m ³ /s)	Akarsu Hakkında Gözlemler	ADAÖ ile Ölçülen Kesit Yüzdesi
ADAÖ 1	***	185.2	6.9	11.8	1277.1	1.2	1536.4	Berrak su, düzensiz akım, kaya taban	71.31
ADAÖ 2	***	298.9	5.4	8.0	1615.6	0.9	1474.6	Berrak su, düzensiz akım, kaya ve çakıl taban	67.95
ADAÖ 3	***	420.2	2.7	3.7	1147.5	0.8	941.0	Berrak su, değişken akım koşulları, hafif türbülans, düzensiz kesit tabanı, çakıl taban	41.77
ADAÖ 4	16-95 Apa Barajlı Çıkışı Apa Barajının 2 km. Konya Kapalı Havzası (16) aşağısındadır.	24.9	1.5	1.9	38.0	0.9	34.1	Bulanık su, beton şevli, toprak tabanlı, düzgülün kesitli yatak, toprak taban	53.12
ADAÖ 5	07-70 Akçay Regülatörü Çıkışı Akçay Regülatörünün 50 metre akış aşağısındadır	40.6	0.9	1.2	38.5	0.9	34.0	Berrak su, düzgülün kesit tabanı, düzensiz akım, çakıl taban	33.46
ADAÖ 6	Yeni pazar Köprüsü üzerindedir.	46.2	1.7	2.5	72.4	0.8	58.8	Çok bulanık su, hafif türbülans, kum taban	48.27
ADAÖ 7	Aydın Regülatörünün 800 m. Akış aşağısında kanal üzerindedir.	8.1	2.2	2.5	17.6	0.9	15.4	Bulanık su, dik şevli beton kanal	51.91
ADAÖ 8	ADAÖ 7 ile aynı yerde yapılmıştır.	8.9	2.15	2.21	19.2	0.874	17.5	Bulanık su, dik, şevli beton kanal	48.49
ADAÖ 9	ADAÖ 5 ile aynı yerde yapılmıştır.	37.2	0.96	1.51	35.7	0.9	32.5	Berrak su, düzgülün kesit tabanı, düzensiz akım, çakıl taban	31.91
ADAÖ 10	07-32 Nazilli Köprüsü üzerindedir.	Büyük Menderes Havzası (07)							Ölçülemedi

2. AKUSTİK DOPPLER PRENSİBİ VE YÖNTEMİ

Bu bölüm; ses ile ilgili fiziksel özellikler ile akustik doppler yöntemi hakkında bilgileri içermektedir. Doppler prensibi, Akustik Doppler Akım Ölçer'in (ADAÖ) tanımı, debi hesaplama yöntemi, debi ölçümünde karşılaşılan kısıtlılıklara değinilmesi ve ölçümün yapılaş şekli hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bu bölümde sunulan bilgiler genel olarak ADAÖ uygulama prensiplerinin açıklandığı (RDI, 1996)' dan ve ADAÖ ile Debi ölçümlerinin açıklandığı (Simpson, 2001)' den derlenmiştir.

2.1. Doppler Prensibi

2.1.1 Ses ile ilgili kavramlar

Dalga: Oluştığı ortamın enerjisinde bir değişim olmaksızın, enerjinin ortam içerisinde yayılmasıdır. Su dalgaları için tepe ve çukurlar yüksek ve alçak ses seviyeleri iken, ses dalgaları için bu durumlar yüksek ve alçak basınçları ifade etmektedir.

Dalga Boyu : Birbirini takip eden iki dalga tepesi arasındaki mesafedir. Genellikle λ ile gösterilir ve uzunluk ölçüm birimleriyle ifade edilir (SI ölçüm sisteminde uzunluk (L)).

Frekans (f): Birim zamanda geçen dalga tepeleri sayısıdır (Hertz (Hz))

Ses Hızı (C): Dalgaların yayılma hızı (L/T)

Ses hızı= Frekans \times Dalga Boyu

$C = f \times \lambda$ Örneğin; $1500 \text{ m/s} = 300.000 \text{ Hz} \times 5 \text{ mm}$

Ses, genel olarak kulak zarına ulaşan basınç dalgalarının neden olduğu titreşim olarak algılanır. Kulak zarı, basınç dalgaları bilgisini, basınç dalgalarının mekanik enerjisinin elektriksel sinyale dönüştürüldüğü iç kulağa iletir. Beyinse bu elektriksel sinyali ses olarak yorumlar.

Ses dalgaları her tür ortamda (su, hava, katı) oluşmakta ve su dalgalarına benzemektedir. Ses dalgaları, alçak ve yüksek basınç geçişine bağlı tepe ve çukurlara sahiptir. Su dalgalarında bu durum yüksek ve alçak su seviyeleri olarak gözlenmektedir. Tüm dalgalarının frekansı dalga boyu kıaldıkça artar. Ses

dalgaları için yaygın olarak kullanılan frekans birimi Hertz (Hz) tir. Bir Hertz saniyedeki bir dalgaya eşittir.

$$\text{Hz}=\text{dalga adeti/saniye} = n/T= nT^{-1}$$

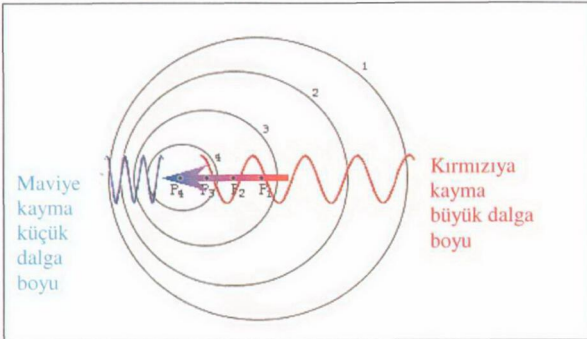
İnsan kulağı genelde 40 Hz ile 24000 Hz aralığındaki frekansları duyabilmektedir. Bu aralıktaki frekanslar "sonik ", 40 Hz den düşük olan frekanslar "subsonik" ve 25000 Hz den büyük frekanslar ultrasonik frekanslar olarak adlandırılmaktadır.

2.1.2 Doppler etkisi

Doppler prensibi, gözlemci ile kaynak arasındaki bağıl hıza göre sesin frekansında oluşan değişimi ifade eder. Avusturyalı bilim adamı Christian Johann Doppler 1842 yılında adıyla anılan prensibi "Concerning the Coloured Light of Double Stars and Some Other Constellations in the Heavens" Prag, Çekoslovakya'da yayınlamıştır (Doppler,1842).

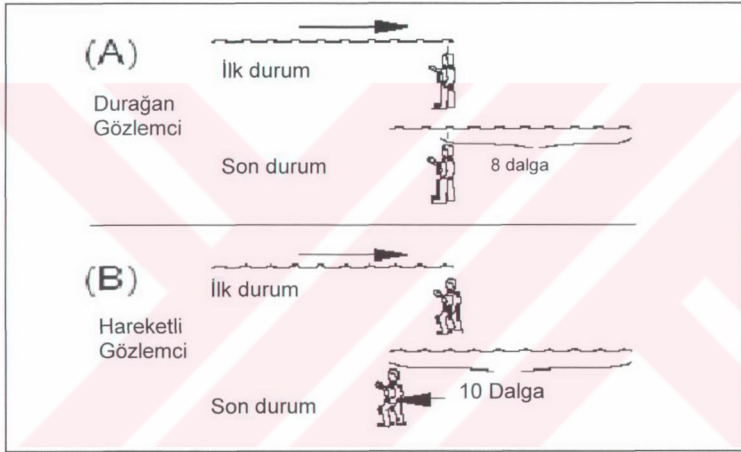
Bir ambulansın geçişi sırasında, ambulans yaklaşırken sesin şiddetinde bir artış, geçtikten sonra ise düşüş gözlenir. Bu fark doppler prensibiyle açıklanan kaynağın ve gözlemcinin birbirlerine göre bağıl hızlarından kaynaklanır (Şekil 2.1).

Ambulans yaklaşıyorken ses dalgaları gözlemciye doğru sıkışır ve dalgalar arası mesafe azalır, frekans artar. Ambulans uzaklaşıyorken, dalgalar gözlemciye göre uzaklaşırlar ve sesin perde ve frekansında düşme gözlenir. Ambulansın bize doğru mu, bizden uzağa doğru mu gittiğini kolaylıkla bu değişimden anlaşılabilir. Eğer frekanstaki değişim hesaplanırsa ambulansın hızı da hesaplanabilir.



Şekil 2.1. Hareketle frekans değişimi

Ses, su, ışık ve elektromanyetik dalgaların tümü için doppler prensibi geçerlidir. Doppler prensibine ilişkin bir örnek de su dalgalarından verilebilir. Bir suyun kenarında ve dalgaları sayıyor olalım (Şekil 2.2: Doppler Etkisi). Dururken belirli bir zaman aralığında 8 dalganın geçtiğini (şekil 2.2-A), yine aynı zaman aralığında dalgalara doğru yürüyünce 8 dalgadan fazla (Şekil 2.2-B) ve tersi yönde yürüyünce 8 dalgadan az sayıda dalga gözlenmektedir. İşte frekansta oluşan bu değişim doppler etkisidir ve dururken algılanan frekans ile hareket halinde algılanan frekans farkına Doppler etki frekansı (Doppler shift frequency) denir.



Şekil 2.2. Doppler etkisi dalgalara doğru yürüyen bir gözlemci duran bir gözlemciden aynı zaman aralığında daha fazla sayıda dalga görür. (RD Instruments, 1996)

F_d = Doppler Etkisi Frekansı (Doppler Shift Frequency) (Hertz)

F_s = Kaynaktaki Sesin Frekansı (Hertz)

V = Ses kaynağı ile alıcı arasındaki bağıl hız (L/T)

C = Ses hızı (L/T)

$$F_d = F_s \times (V / C) \quad (2.1)$$

Doppler etkisi, kaynak ve alıcının radyal hareketlerinden kaynaklanır. Kaynak ve gözlemcinin durağan halde algıladıkları frekansla, hareket sırasında algıladıkları frekans arasındaki farkı ifade eder.

Doppler prensibi ışık ve elektromanyetik dalgalar için de geçerlidir. Gök cisimlerinin birbirlerine göre hareketleri bu yöntemle hesaplanmaktadır. Doğada yunuslar ve yarasalar tarafından, uzaktan algılama, yön belirleme amaçlarıyla kullanılmaktadır.

2.2. ADAÖ nün Tanımı

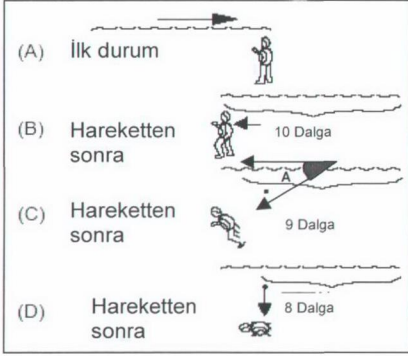
Akustik Doppler Akım Ölçerler 1980'lerden bu yana haliç ve okyanus akıntılarının ölçümü çalışmalarında sabit yer istasyonları biçiminde kullanılmaktadır. 1980'lerin sonlarında hareketli botlarda kullanılmaya başlanmış, öncelikle yakın bant (narrowband) teknolojisi kullanılarak 3-4 metre derinlikteki haliçler ve akarsularda, 1992 yılından itibaren yaygın bant (broadband) yöntemi ile 1 metreden daha az derinliklerin daha düşük çözünürlüklerde ölçümü (0.1 m) mümkün olmuştur.

Akustik Doppler Akım Ölçer, akustik enerji kullanarak düşey akım hızı profilini, akarsu debisini ve kesitini ölçen cihazdır. Denizcilikte kullanılan SONAR (Sound Navigation and Ranging) ile benzer fakat çok daha yüksek frekansta suya ses dalgası gönderir. Bu ses dalgası su içerisinde su ile beraber hareket halindeki asılı parçacıklara çarpıp ADAÖ ye geri döner. ADAÖ parçacıklardan yansıyan ses dalgalarının frekansındaki değişimi ölçer ve buradan hız profilini hesaplar. Suyu gönderilen akustik enerji, önce ADAÖ ile sediment arasında bir doppler frekans değişimine, daha sonra ise sedimentin bu enerjiyi yansıtması sırasında kaynak rolünü üstlenmesiyle ikinci bir Doppler etkisine maruz kalmaktadır.

Doppler etkisi yalnızca alıcı ve kaynağın birbirlerine göre hareketinden kaynaklanmakta, dalga hareketine dik yöndeki hareketlerden dolayı Doppler etkisi yaratmamaktadır (Şekil 2.3). Burada A değeri ADAÖ ile yansıtıcı arasındaki doğru ile, yansıtıcının hız vektörü arasındaki dar açıdır. Son durumda ADAÖ tarafından hesaplanacak Doppler etki frekansı;

$$F_d = 2 \times F_s \times (V / C) \times \cos(A) \quad (2.2)$$

halini almaktadır. (RD Instruments,1996)



Şekil 2.3. Doppler etkisi yalnızca radyal harekete bağlıdır. A gözlemcisi duruyor Doppler etkisi yok. B, C ve D gözlemcileri aynı hızda hareket ediyorlar. B gözlemcisi kaynağa doğru yürüyor ve en büyük Doppler etkisini görür. D gözlemcisi kaynağa dik yönde ilerliyor ve Doppler etkisi görmez. C gözlemcisi merkeze doğru dik olmayan bir açıyla hareket ediyor. B gözlemcisinden daha az bir Doppler etkisi görür. (RD Instruments,1996)

ADAÖ'nün çalışma prensibi; eğer suyla beraber hareket eden parçacık algılayıcıdan uzaklaşıyorsa daha fazla zamanda, tersi durumda daha az zamanda dalganın gönderilme-alınma işlemi gerçekleşecektir. Eğer sudaki ses hızı biliniyor ve bu gecikme süresi belirlenebiliyorsa, akım hızının hesaplanması mümkün olmaktadır.

Su içerisindeki parçacıklardan yansıyan ses dalgaları ADAÖ tarafından otokorelasyon ve benzeri matematiksel işlemlere tabi tutularak çözümlenir.

ADAÖ'nün birbirine yatay konumda dik ve düşeyde 20 ila 30 derece açıyla dışbükey olarak konumlandırılmış 4 adet algılayıcısı trigonometrik eşitlikler kullanılarak her bir derinlik hücresi boyunca hız değerinin elde edilmesini, buradan hız profilinin çıkartabilmeyi mümkün kılar.

Su içerisindeki ses hızına etki yapan parametreler sıcaklık, tuzluluk ve derinlik parametreleridir. ADAÖ sıcaklık değerini ölçmekte tuzluluk değerini ise ölçülen bir değer var ise girilebilmektedir. Ses hızı için Urick (1983) tarafından önerilen;

$$C = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016D \quad (2.3)$$

eşitliği kullanılabilir.

Burada; C (L/T) ses hızı, T ($^{\circ}$ C) sıcaklık, S (ppm) tuzluluk ve D (L) derinlik değerleridir.

ADAÖ debi ölçümleri hareketli botlar ile yapıldığından, akım hızını hesaplamak için bot hızının da bilinmesi gerekir. ADAÖ taban izlemesi yaparak bot hızını hesaplar. Eğer taban hareketsiz ise bu yöntem geçerlidir (Ober, 1994).

ADAÖ nün en önemli yeteneği sürekli hız profilini elde edebilmesi ve ADAÖ nün tabana göre hızını belirleyebilmesidir. ADAÖ tarafından hücrelere ayrılan akarsu kesitinde her bir hücre için ADAÖ tarafından toplanan verilerden yola çıkarak akım hız vektörü hesaplanır. Bu hız vektörü ADAÖ tarafından ölçülen derinlik bilgisine ve daha sonra da zamandan hesaplanan kesit genişliğine entegre edilerek debi değerine ulaşılır.

ADAÖ nün insanlı bir bot ile veya insansız olarak su üzerinde akarsuyun bir kıyısından diğerine bir köprü üzerinden, halatlarla geçirilerek ve akarsu tabanına yerleştirilerek kullanılabilir. Taşkın ölçümlerinde kullanılırken insansız kullanım, sürekli debi değeri istenildiğinde ise tabana monte edilmesi değişik uygulama biçimlerindedir.

ADAÖ yönteminde frekans seçimi önemli bir noktalardan biridir. Örnek olarak 300 kHz frekansta bir cihaz 120 m su derinliğinde, 1200 kHz 20 m derinlikte kullanılabilir. Ancak yüksek frekansların daha sığ sularda ölçüm yetenekleri vardır. Örnek olarak 1200 kHz bir cihaz 0.3 m su derinliğinde ölçüm yapabilir (Yorke ve Ober, 2002).

2.3. ADAÖ nün Debi Hesabı

Debinin hesaplanmasında esas, kesit boyunca ADAÖ tarafından toplanan ham hız ve derinlik değerleridir. ADAÖ nün ilgili bölümde ayrıntılarıyla açıklanacağı kısıtlılıkları nedeniyle ölçüm kesitinde ölçülemeyen bölümler bulunmaktadır (kıyı kenarları, tepe ve taban kesimleri). Bu kısımlar için ölçülen alanlardan toplanan verilerden extrapolasyon uygulanır.

Debinin hesaplanmasında Simpson ve Oltman tarafından geliştirilen, herhangi bir S yüzeyi boyunca akarsu debisini tanımlayan algoritma en sık kullanılanlardan birisidir (Simpson, 2001)

$$Q = \int_S (\vec{U} \cdot \vec{n}) dA \quad (2.4)$$

Burada; Q debiyi, U yüzeye doğru ortalama hız vektörünü, n ise dA yüzeyine dik birim vektör 'ü ifade etmektedir. Eşitlik yalnızca ADAÖ tarafından ölçülen nicelikleri içerecek biçimde yeniden düzenlendiğinde,

$$Q_m = \int_0^T \int_0^d ((\vec{V}_f \times \vec{V}_b) \cdot \vec{k}) dz dt \quad (2.5)$$

(Christensen and Herrick,1982) halini alır.

Burada; Q_m ADAÖ tarafından hesaplanan debi, V_f ortalama hız vektörü, V_b ortalama bot hız vektörü, k düşey yöndeki birim vektör, T toplam kesiti geçiş süresi, d toplam derinlik, dz ve dt fark derinlik ve zamanlarını ifade eder.

Ortalama akım hızı ve bot hızının önce derinliğe, daha sonra süreye entegrasyonu sonucunda debi hesaplanmış olur.

2.4. ADAÖ nün Kısıtlılıkları

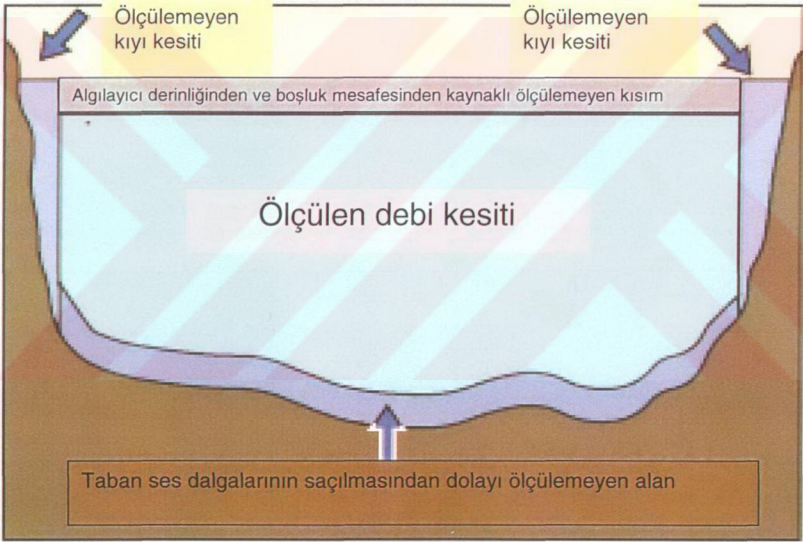
ADAÖ nün ilk kısıtlılığı akarsuyun her noktasından ölçüm değeri alamamasıdır. Ölçülemeyen noktalar mevcut teknik imkanlarla her ölçümde olacaktır. Ölçülemeyen noktalar; tepe, taban ve kıyı kesimleridir (Şekil 2.4).

ADAÖ nün akarsuyun yüzey kısmında değer alamamasının üç nedeni vardır. Algılayıcı yüzeylerinin botun hareketi esnasında her koşulda suyun içerisinde kalması gerektiğinden, ADAÖ belirli bir mesafe (genelde 5-20 cm) suya batık konumdadır. Üzerindeki kalan akarsu kesitini direk olarak ölçemez. Algılayıcı gönderdiği sinyali, fiziksel yapısı nedeniyle ancak belirli bir mesafe geçtikten sonra alabilir. Bir diğer neden ise ADAÖ tarafından gönderilen sinyallerin birbirini takip eden parçaları arasındaki mesafedir. Bu her üç nedenin toplamı tepede ölçülemeyen kısmı verir.

Tabanda ise ses dalgalarının saçılmasından dolayı doppler etki frekansı belirlenemez. Tabanda yansımalar kuvvetlidir ve tabana yakın yansıtıcılardan

dönen sinyalleri bastırır. Tabanda ölçülemeyen kısım genelde taban ile algılayıcı arasındaki mesafenin % 6 sına denk gelir.

ADAÖ tarafından ölçülemeyen diğer bir kısım ise kıyı bölgeleridir. Genelde kıyılar ADAÖ'nün ölçebileceğinden daha sığ derinliklere sahip olmaktadır. Bir diğer sorun, sığ olmasa bile kıyıların dik olması durumunda ADAÖ'nün ses dalgalarını belirli bir açıyla göndermesinden dolayı, derinliği kıyı bölgelerinde gerçek değerinden düşük belirleyecektir. ADAÖ ölçümlerinde kıyılarda yapılabilecek hatalara karşı kıyıya mümkün olan en yakın noktada ölçüm başlatılmalı veya durdurulmalıdır.



Şekil 2.4. ADAÖ yönteminde ölçülemeyen alanlar (Simpson, 2001)

ADAÖ ölçümlerinde kesitin ölçülen kısmı kullanılarak, ölçülmeyen noktalardaki hız değerleri hesap edilerek ve ölçülmeyen alan ile tahmin edilen hız değeri çarpılarak debi hesaplanır. Tepe ve tabanda ölçülemeyen noktalar için hız profilinin uzatılması yöntemi uygulanır. Bu işlem iki farklı yöntemle yapılır. Bunlardan birincisi; en son ölçülen hız değeri sabit olarak kesitte ölçülemeyen taban ve yüzey

ara kesitlerine uygulanır İkinci yöntemde ise ölçülen kesit değerlerinden çıkarılan hız profiline uygun bir üssel eğri oluşturulur ve bu eğri tabana ve tepeye doğru uzatılır. Chen (1989, 1991) 1/6 üs değerli eğriyi önermiştir.

ADAÖ ölçümlerinde kıyılardaki debi ölçümü, ortalama hız ve alanın tahminine dayanır. Birçok doğal kanal için kıyı kesiti üçgen kabul edilir, alan son ölçülen derinlik ile kıyıya olan tahmini mesafenin ikiye bölümüyle elde edilir. 45° yatakla açı yapan bir kıyı kesiti için ölçülemeyen kesitteki ortalama hız ise; son ölçülen kesitin ortalama hız büyüklüğünün 0,707 ile çarpılmasıyla bulunur (Simpson ve Oltman,1993). Dik kıyıları olan bir kanal için ise son ölçülen ortalama hız 0,91 ile çarpılarak hız tahmini yapılır (Rantz ve diğerleri 1982). Alan ise dikdörtgenin alanı biçiminde hesaplanır.

Diğer bir kısıtlılık ise bot hızıdır. Bot hızı azaldıkça ölçümün hassasiyeti artar. Bottaki sallantılar her ne kadar cihaz tarafından dikkate alınsa da az olması ölçümün hassasiyetini artırır.

2.5 ADAÖ ile Debi Ölçümü

2.5.1 Ölçüm kesitinin seçimi

Düzgün ölçüm kesiti seçimi ADAÖ ile yapılacak ölçümün doğruluğu açısından çok önemlidir. Kesit öncelikle ADAÖ veya diğer bir derinlik ölçerle geçilerek, hakkında bilgi edinilmelidir.

Genel olarak, parabolik, trapez veya dikdörtgen kesitler ve ortalama 1.5 metre derinlik kesitte aranılan özelliklerdir. Ölçüm ADAÖ nün hassas ölçüm seçeneklerinden birinde yapılıyorsa derinliğin daha az olması sağlanabilir. Bir sahilin çok sığ ve diğer sahilin çok derin olduğu durumlardan kaçınmak gerekir.

Ortalama akım hızı ölçüm kesiti seçiminde önemli diğer bir faktördür. Çok yavaş akımlardan (0.1 m/s den az) kaçınılmalıdır. Çok hızlı akımlar ise botun akarsudaki hareketinde zorluklara neden olacaktır.

Çizelge 2.1. ADAÖ ölçümlerinde hata kaynakları (Muste vd, 2004)

Hata Kaynağı	Hata Türü	Bağlantısı
Cihaz	Ses	Frekans, gönderilen atım uzunluğu, boşluk mesafesi, gönderme gücü, yankı yoğunluğundaki değişim, yöntem (narrowband-broadband), kullanılan seçenек, sinyal çözümüleme kodu
	Sensör yapısı ve yayılımı	Algılayıcı türü ve boyutu, frekansı
	Sensör açısı	Sensör adedi, konum, montajı
	Ses Hızı (Düşey hız bileşenini etkiler)	Sıcaklık ve/veya tuzluluk değişimi
	Algılayıcı	Alıcı elektronikler, algılayıcı veya elektroniklerin konumu, botun yapıldığı malzeme ve dizaynı
	Pürüzlülük Etkisi	Sensör geometrisi, derinlik
	Algılayıcının sudan çıkması ve oynaması	Cihaz türü, konumu ve bot hızı
	Montaj	Algılayıcı yapısı, bota göre konumu
	Yazılım Kurulumu	İletişim Ayarları, Kalibrasyon, planlama ve toplama modülleri
	Yazılım Uygulaması	Ölçüm öncesi kontroller, data toplama görüntülemesi
Kullanıcı	Örnekleme Zamanı	Türbülans yoğunluğu ve akış rejimi
	Ölçüm Yeri Seçimi	Kesit şekli, akış düzensizliği ve türbülans
	Bot manevrası	Bot hızı, ivme ve rota
	Hareketli akarsu yatağı	Kullanım seçeneği, sediment yoğunluğu
Çevresel	Ses	Yansıtıcı kalitesi ve miktarı, Suyun sönmüleme katsayısı, türbülans yoğunluğu, hız gradyanı ve büyüklüğü, derinlik
	Algılayıcının sudan çıkması ve oynaması	Manyetik alan, ivme, dalgalar

2.5.2 Ölçüm öncesi kontrol

Debi ölçümüne başlanılmadan önce, kullanıcı şu hususlara dikkat etmelidir:

- Debi ölçüm kağıdına, debi ölçümüyle ilişkili bazı bilgiler not edilmelidir. Bunlar rüzgar, çift yönlü akım, dalgalar, yakından geçen botlar, sediment durumu gibi bilgilerdir. Bunlar sonradan değerlendirmede kullanılacak önemli bilgilerin bir kısmıdır.
- Bot içerisinde can güvenliğine dönük tüm önlemlerin alınmış olması gereklidir (Can yeleği, can simidi, yangın söndürücü, korna vs.).
- Bot suya indirildikten ve ADAÖ ekipmanı kurulduktan sonra; algılayıcı derinliği doğru biçimde alınmalıdır. Bot üzerinde, kullanıcının bir tarafa hareketi, su içerisinde nün batmasına veya tersi bir duruma neden olacağından algılayıcı derinliği alınırken gerekli özen gösterilmelidir.
- ADAÖ, kullanıcı ve bilgisayar saatlerinin aynı hale getirilmesi.
- Ölçüm kesitine ilişkin ön bilgilere ulaşmak için bir deneme geçişi yapılır.
- Ölçümün başlangıç ve sonunda ADAÖ ile kıyıya olan mesafeler doğru olarak alınmalıdır.
- Debi ölçümünde etkisi olabilecek meteorolojik, hidrolojik ve diğer fiziki durumlar not alınmalıdır (EK-1).

Geçişlerde daha doğru değerler almak için, akım hızından yavaş hareket edilmesi ve rotanın akış yukarısına doğru olacak biçimde seçilmesi uygun olacaktır.

2.5.3. Kesit geçişine başlanması

Tipik bir ölçüm için, kullanıcı botu akarsu kenarına paralel hale getirmelidir. Bot olabildiğince kıyıya yakın durmalıdır (Botun tabanı ve hassas olan ADAÖ yüzeylerinin tabana değmeyeceği biçimde). Bot durağan haldeyken ADAÖ programı ile ölçüm başlatılır. Bu sırada kullanıcının yapması gereken birçok görev vardır.

- Kıyıya olan mesafe ölçülmeli ve kaydedilmelidir.
- Cihaza çalışmaya başlama komutu verilmelidir.
- En az iki hücreden düzgün ölçüm alınması kontrol edilmelidir.
- Ölçüm kaydı başlatılmalıdır.
- Bot akarsuyun ortalarına doğru hareket etmelidir.

2.5.4. Kesit geçişi sırasında yapılması gerekenler

Alınan değerler, değerlerin kayıt edilip edilmediği, sinyal durumu kontrol edilmelidir. Bot hızlı bir akıma girdiğinde hızı ve yönü yeniden ayarlanmalıdır.

Düzenli bir hız düz bir rota takip etmekten çok daha önemlidir. Rota yavaş ve kademeli olarak değiştirilebilir (Eğer gerekli ise). Hızlı rota değişikliği veya botun kendi etrafındaki dönüşü hatalara neden olur. Burada önemli olan şey, ani değişikliklerin yapılmamasıdır.

2.5.5. Kesit geçişini bitirme

Bot kesitin diğer kıyısına yaklaşırken, hız azaltılmalı ve botun yönü akış yukarısına doğru çevrilmelidir. Botun kıyıya yaklaşımı sırasında kullanıcı daha fazla kıyıya yaklaşmanın mümkün olmadığına karar verince, ölçüm kaydı durdurulmalı ve kıyıya olan mesafe doğru biçimde ölçülmelidir.

Sudaki hava kabarcıkları ses dalgalarının yayılımında homojen ortamı bozduğundan, motordan veya dalgalardan kaynaklı hava kabarcıklarının olmamasına özen gösterilmelidir.

Çok düşük akımlarda (0.1 m/s), bot çok yavaş hareket etmelidir. Motor kullanımı yerine, motor durdurularak botun çekilmesi düşünülebilir.

2.5.6. İyi bir ADAÖ ölçümü için gerekenler

ADAÖ debi ölçümü, geleneksel yöntemden çok daha (3-4 kat) hızlıdır. Birden fazla geçiş, doğruluğu artıracaktır. İdeal ölçüm için 4 veya daha fazla geçiş yeterlidir. Eğer ölçümlerden biri diğerlerinden % 5 farklılık gösteriyor ve bunun nedeni anlaşılıyor ise 4 ek ölçüm geçişi yapıp yeniden hesaplama yapılmalıdır.

Doğru olarak yapılmış 4 geçiş sonuçlarından ortalama ve standart sapma ve standart hata (ortalama debinin yüzdesi) değerleri hesaplanır. Standart hata varyasyon katsayısı (CV) olarak bilinir ve standart sapmanın ortalamaya bölümüdür. Varyasyon katsayısı % 5 ten büyükse, ilave ölçümler yapılmalıdır. Hızlı geçişler ve ADA sinyal gönderim adedinin yanlış seçimi gibi kullanıcı hataları ölçüm doğruluğunu etkiler. Daha fazla lm geçişi yapılması hataların azalmasını sağlar.

Klasik bir ADA lm geçişi Foto2.1 de sunulmuştur.

2.5.7. ADA lmlerinin arşivlenmesi

Geleneksel ölçümlerde olduğu gibi, ölçümün yapıldığı istasyon adı, numarası, ölçümün yapıldığı bölge, tarih, saat, i eşel-dış eşel okumaları, kullanılan cihaz hakkında bilgi, bot hakkında bilgi, her bir debi ölçüm geçişi hakkında algılayıcı derinlikleri, kıyıya olan mesafeler, ölçülen debi değeri hava koşulları vb. bilgileri içeren bir arşivin yazılı ortamda ve her ölçüm için kullanılan yapılandırma ve lm dosyalarının elektronik ortamda bulunması daha sonrasında ölçümün incelenmesi gerektiğinde faydalı olacaktır.

Akım koşullarında büyük değişimler veya çok hassas ölçümler yapılması istendiğinde lme ilişkin tüm bilgilerin her bir geçişi için ayrı ayrı not alınması faydalı olur. Normal bir ölçüm için Ek-1 de verilen kayıt kartı yeterlidir.



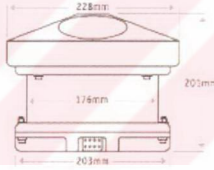
Foto 2.1. Fiberglas botla ADAÖ ölçümü

3. ADAÖ İLE AKARSU DEBİ ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRMELER

Akustik Doppler yönteminin uygulanabilirliğine ilişkin performansının belirlenebilmesi amacıyla, geleneksel ölçüm yöntemleriyle karşılaştırmalı saha ölçümleri yapılmıştır. Geleneksel ölçümün yapılmasının mümkün olmadığı yerlerde karşılaştırma için baraj çıkış akımları kullanılmıştır. Bu bölümde; ölçümlerde kullanılan cihaz hakkında teknik bilgiye, geleneksel akım ölçüm yöntemlerine, ADAÖ ölçümleri ve yorumlarına, hata analizlerine ve ADAÖ ile geleneksel yöntemlerin karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

3.1. Çalışmada Kullanılan ADAÖ Cihazı Hakkında Teknik Bilgiler

Bu çalışmada RD Instruments firması tarafından üretilmiş olan, WH Rio Grande 600 kHz 2633 seri numaralı ADAÖ kullanılmıştır (Şekil 3.1). Göz açısı 20 derece ve dışbükey (konveks) yapıdadır. Güç kaynağı olarak akü gereklidir. Biri genel kullanım ve ikisi hassas olmak üzere 3 farklı modu bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan ADAÖ ve boyutları

Genel mod: (Mod 1) En kullanışlı moddur. Yavaş, türbülanslı, dönüşlü akımların olduğu, akarsu kesitinde ani sığlaşmanın veya derinleşmenin olduğu, yansıyan ses dalgalarının az olduğu durumlar için kullanışlıdır(Çizelge 3.1).

Hassas mod 5: (Mod 5) 1-2 m/s hızla akan ve sığ bir kesite sahip (7 m den az) akarsular için idealdir. ADAÖ nün hızlı hareketi, türbülans, dönüşler veya geri planda fazla gürültü ölçümü olumsuz yönde çok fazla etkiler (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.1. Genel Mod (1) ölçüm özellikleri (metre)

Frekans	Boşluk Mesafesi	Hücre Boyutu	İlk Hücreye Olan Mesafe	Ölçüm Aralığı	
				Min	Max
600 kHz	0.25	0.50	0.87	1.70	45.00
	0.25	1.00	1.36	2.70	52.00
	0.25	2.00	2.35	4.80	60.00
	0.25	4.00	4.32	9.00	67.00

Çizelge 3.2. Hassas Mod (5) ölçüm özellikleri (metre)

Frekans	Boşluk Mesafesi	Hücre Boyutu	İlk Hücreye Olan Mesafe	Ölçüm Aralığı	
				Min	Max
600 kHz	0.25	0.10	0.35	0.90	7.00
	0.25	0.25	0.50	1.60	7.00
	0.25	0.50	0.75	2.20	7.00

Hassas Mod 8: (Mode 8) Mode 5 ile aynı hız ve derinliklerde kullanışlıdır. Ancak orta kuvvette dönüşlerden, türbülans, ADAÖ hareketinden ve arka plan gürültüsünden etkilenmez. Yavaş akışa sahip akarsu ölçümleri için en uygundur (Çizelge 3.3).

Ölçümlerin yapılmasında WINRIVER (1.06 Sürümü) programı ve laptop bilgisayar kullanılmıştır. Program cihazın yapılandırılması, data toplanması ve değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan ADAÖ nün havadaki ağırlığı 7.6 kg. , sudaki ağırlığı 2.2 kg , çalışma sıcaklık aralığı –5 ila 45 °C ve muhafaza sıcaklık aralığı ise –30 ila 75 °C dir. Cihazın içerisinde sıcaklık sensörü ve pusula mevcuttur. Pusulanın manyetik

alandan etkilenmemesi için kullanılan botun ve ADAÖ tutamağının manyetik alan yaratan malzemeden yapılmaması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan tutamak alüminyum malzemeden imal edilmiş ve kullanılan botlar ise kauçuk malzemeden şişme bot ve fiberglas bot olarak seçilmiştir. Tutamak DSİ merkez atölyelerinde, çeşitli tipte botlarda kullanılacak biçimde sökülebilir bağlantılı parçalar biçiminde yaptırılmıştır.

Çizelge 3.3: Hassas Mod (8) ölçüm özellikleri (metre)

Frekans	Boşluk Mesafesi	Hücre Boyutu	İlk Hücreye Olan Mesafe	Ölçüm Aralığı	
				Min	Max
600 kHz	0.25	0.10	0.35	0.60	7.00
	0.25	0.25	0.50	0.90	7.00
	0.25	0.50	0.75	1.40	7.00

3.2. Geleneksel Yöntemler ile Debi Ölçümü

Akarsu debi ölçümlerini geleneksel ve geleneksel olmayan yöntemler olarak ayırabiliriz.

Geleneksel yöntemler;

- Muline ile akarsu debi ölçümü
- Flatör ile akarsu debi ölçümü
- İzleyici kullanılarak akarsu debi ölçümü

Bu yöntemlerden flatör, muline ile ölçüm yapılamayan koşullarda, türbülansın çok olduğu, akarsu hızının belirlenmesine dönük bir ölçüm yöntemi olup, yüksek belirsizlikler taşımakta ve yaygın olarak kullanılmamaktadır.

İzleyici kullanılarak debi ölçümü yöntemi de muline ile ölçüm yapılamayan koşullarda, yüksek türbülans çok sığ akım veya çok aşırı hızlı akımlarla karşılaşıldığında izleyici olarak suda mevcut olmayan bir çözünenin suya

karıştırılması ve akış aşağısında bir istasyonda sudaki konsantrasyonunun gözlenmesi ilkesine dayanır. Yaygın olarak kullanılmayan bir yöntemdir.

Geleneksel olmayan yöntemler;

- Ultrasonik yöntem
- Elektromanyetik yöntem
- Akustik Doppler yöntemi

Ultrasonik yöntemde akarsuyun bir kıyısındaki vericiden, diğer kıyısındaki alıcıya ses dalgası gönderilir. Suyun akış hızı ile ses dalgasının ulaşma hızı arasında var olan ilişkiden yola çıkılarak, kesitteki ağırlıklı ortalama hız bilgisine ulaşılır.

Elektromanyetik yöntem, dünyanın elektromanyetik alanında akarsuyun akışından kaynaklanan değişimin ölçümü ilkesine dayanır. Akım hızı ile dünyanın elektromanyetik alanındaki değişim arasındaki değişim ilkesine dayanır.

Akustik Doppler yöntemine önceki bölümde ayrıntılarıyla değinilmiştir.

Akustik doppler yöntemi ile geleneksel yöntemler arasındaki en temel ayrılık bu yöntemin sürekli debi ölçümüne olanak sağlamasıdır.

Aşağıda ayrıntıları verilen muline ile yapılan akım ölçümü yöntemi, ülkemizde halen yapılan tüm akım ölçümlerinde kullanılmakta olan yöntemdir.

Akarsuyun herhangi bir kesitinden geçen suyun miktarının bilinmesi gayesiyle hız ölçümleri ve bu hız ölçümleri beraberinde alınan derinlik ve genişlik bilgilerinden ulaşılan alan değeri kullanılarak akarsuyun o kesiti için debi değerine ulaşılmaktadır. Ölçümler muline adı verilen yatay ve düşey eksenli (kepçeli ve pervaneli) iki farklı tipteki alet ile yapılmaktadır. Çalışma ilkesi, pervanelerin dönüş adedi ile akım hızı arasındaki ilişkidir. Akarsuyun özelliklerine göre debi ölçümü işlemini başlıca 3 grupta toplanabilir.

1. Suya girilerek yapılan ölçümler (sapta ölçüm)
2. Bot veya motorlu bot ile yapılan ölçüm
3. Askıdan yapılan ölçümler

3.1. Elden askı ile

3.2. Çıkrıkla

3.2.a. Köprüden krenle

3.2.b.Teleferikten

3.2.c. Donav

Geleneksel ölçüm yöntemlerinden sapta ölçüm yöntemi, daha doğru sonuç verirken askıda ölçüm yöntemi ölçümün yapılış şekli gereği (düşey sapma açısı) hatalar mevcuttur (Özgün, 1982).

3.2.1. Ölçüm yerinin seçimi

Ölçüm için seçilen yerlerin aşağıdaki özellikleri taşıması önerilir.

- Bütün noktadaki hızlar, birbirlerine yakındır ve akış en kesitine göre dik açıdadır.
- Kesitteki hız dağılım eğrileri yatay ve düşey düzlemde düzenlidir.
- Hızlar 0.150 m/s den büyüktür.
- Nehir yatağı düzgün ve stabildir.
- Akış derinliği 0.300 m'den büyüktür.
- Suyla ilgili canlı gelişimi (yosun vs.) mevcut değildir.
- Çamur veya buz oluşumu minimum seviyededir

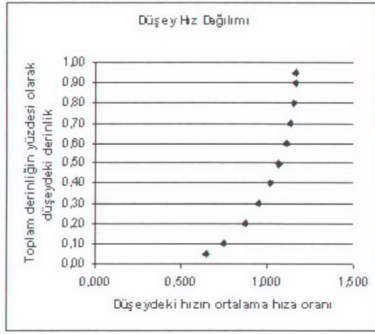
3.2.2. En kesitlerde ölçüm düşeyleri

Akım ölçümünün doğruluğu, derinlik ve hız ölçümlerinin alındığı ölçüm düşeyi sayısına bağlıdır. Ölçüm düşeyleri, akarsu yatağının en kesitini ve yatayda hız dağılımını en iyi belirtecek şekilde seçilmelidir. Genelde, herhangi iki düşey arasındaki mesafe, toplam genişliğin 1/20'inden büyük olmamalı ve herhangi iki düşey arasındaki akım, toplam akımın %10'undan fazla olmamalıdır.

Akarsuyun ölçüm anındaki akış karakterine ve seçilen ölçüm kesitinin değişkenliğine göre ölçüm düşeyleri artırılabilir, düşeyler arasındaki mesafeler bir ölçüm içerisinde azaltılabilir, artırılabilir. Ölçüm düşeylerinin seçimindeki ana ilke, kesiti ve kesitin ortalama hızını temsil etmesidir.

3.2.3. Ölçüm düzeylerinde ortalama hızın bulunması

Düşeydeki hızın ortalama hız oranı	Toplam derinliğin yüzdesi olarak düşeydeki derinlik
1,16	0,95
1,16	0,9
1,149	0,8
1,13	0,7
1,108	0,6
1,067	0,5
1,02	0,4
0,953	0,3
0,871	0,2
0,746	0,1
0,648	0,05



Çizelge 3.4. Açık kanallarda düşey hız dağılımı (Hüsing vd., 1999)

Şekil 3.2. Düşey Hız Dağılımı Grafiği

Akarsularda düşey hız dağılımı Çizelge 3.4 de ve grafiği de Şekil 3.2 de verilmiştir. Ölçüm düşey kesitinin ortalama hızını bulabilmek için çeşitli ölçüm yöntemleri mevcuttur. Ölçüm yöntemleri, akarsu özelliklerine, istenilen ölçüm hassasiyetine, ekipman özelliklerine göre belirlenmektedir. Yaygın olarak kullanılan yöntem sığ sular için tek nokta yöntemi ve derin sular için ise iki nokta yöntemidir.

Tek nokta yöntemi: Bu yöntem düşey hız dağılımının normal ve su derinliğinin 60 cm. den daha düşük olması halinde kullanılır. Su derinliği 0 ile 30 cm arasında ise yüzeyden itibaren derinliğin % 50 sinde ve 30 ile 60 cm arasında ise, yüzeyden itibaren derinliğin % 60 ında alınan hız o düşey için ortalama hız kabul edilir.

$$\text{İki nokta metodu: } V_{ort} = (V_{0,2} + V_{0,8}) / 2 \quad (3.1)$$

Bu yöntem düşeyde hız dağılımının normal ve su derinliğinin 60 cm. ve daha fazla olması durumunda kullanılır.

$$\text{Üç nokta Yöntemi: } V_{ort} = (V_{0,15} + V_{0,50} + V_{0,85}) / 3 \quad (3.2)$$

Bu yöntem buzla kaplı ve yatağında bitki bulunan akarsularda kullanılır.

Dikeyde hız eğrisi yöntemi:

Akarsuyun bir noktasından itibaren düşeyde çeşitli derinliklerde ölçülen bir seri hız ölçümünün elde edilmesiyle çizilen eğriye düşeyde hız eğrisi denilir. Yatay eksen m/sn olarak hız ve düşey eksen yüzde olarak derinlik alınır, düşey eksen ile eğri arasındaki alanın düşey eksene bölümü düşeyde ortalama hızı verir.

Entegrasyon yöntemi

Bu yöntemde muline sabit bir oranda her bir düşeyde tüm derinlik boyunca alçaltılır ve yükseltilir. Cihazın alçaltılıp yükseltildiği hız, kesitteki akımın ortalama hızının %5 inden fazla olmamalıdır ve 0.04 ve 0.10 m/s arasında olmalıdır. Saniyedeki dönüşün ortalama sayısı belirlenir. Her bir düşeyde 2 tam dönüş yapılır ve eğer sonuçlar % 10 farklılık gösterirse ölçüm tekrar edilir. Bu yöntem 1 m/s den az hızlarda ve 3 m den az derinliklerde nadiren kullanılır.

Ölçümün askıda yapılması durumunda 40 cm olarak belirtilen tek nokta yöntemi 100 cm ye çıkmaktadır. (WMO,1994)

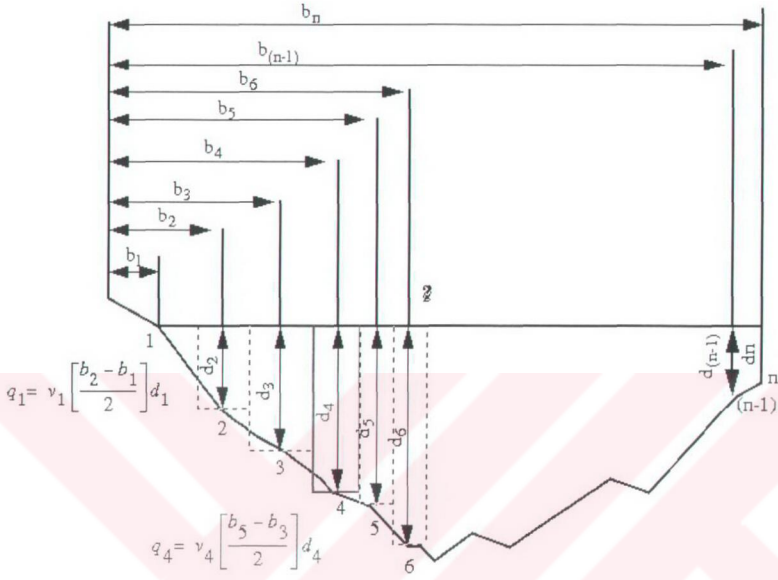
3.2.4. Geleneksel yöntemle debinin hesaplanması

Belirli bir kesitte, ara alanlarla bu alanlardan geçen suyun ortalama hızlarının çarpımlarının toplamı kesitten geçen debiyi vermektedir (Şekil 3.3).

Toplam debi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$Q_{\text{toplam}} = \sum A \cdot V = \sum_1^n q_n \quad (3.3)$$
$$= q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

Q (L^3/T) toplam debiyi, A (L^2) ara kesit alanlarını, V (L/T) de ara kesit alanlarındaki ortalama hızları, q (L^3/T) ara kesit debilerini gösterir.



Şekil 3.3. Geleneksel ölçüm ara kesitleri, düşeyleri, mesafeleri (WMO,1994' den)

Kesitte ortalama yönteminde ara kesit debileri;

$$q_x = V_x [(b_{(x+1)} - b_{(x-1)}) / 2] dx \quad (3.4)$$

eşitliğiyle bulunur.

q_x : x ara kesitinden geçen debi miktarı (L^3/T)

V_x : x yerindeki ortalama hız (L/T)

b_x : başlangıçtan olan mesafe (L)

d_x : x noktasındaki suyun derinliği (L)

Askıda ölçüm yapılırken, düşey sapma açısından kaynaklanan farklı uzunluk okumalarının düzeltilmesi yapılmalıdır.

3.2.5. Anahtar eğrisi kavramı

Bir akarsu en kesitinde debi ile seviye arasındaki bağıntıyı gösteren eğriye anahtar eğrisi denir. Akım ölçümlerinin sürekli yapılmasındaki zorluk nedeniyle, herhangi bir referans seviyesine göre yapılan akım ölçümleri yatay eksen debi (m^3/s) ve dikey eksen seviye olmak üzere (cm) parabol biçiminde bir eğridir.

$$Q=C(H-Z)^n \quad (3.5)$$

Burada;

Q (L^3/T): debi

C ve n : İstasyona ilişkin sabitler

H (L): Eşel seviyesi

Z: Sıfır akım seviyesi (talveg) ile eşel sıfır noktası arasındaki uzaklık (L)

Düzgün akım gözlem istasyonu özelliklerine sahip ve yeterli özen ile işletilen istasyonlar için akım anahtarları için hata sınırı % 5 düzeyindedir.

Akım anahtar eğrisi ve istasyonun bir su yılı boyunca belirli bir röper noktasına bağlı kot değeri kullanılarak geleneksel ölçümlerin su yılı boyunca akım gözlem istasyonundaki akışın miktarı belirlenir. Geleneksel olmayan yöntem ile geleneksel yöntem arasındaki en büyük fark da burada olmaktadır. Bir akarsu kesitinde akış aşağısı depolama tesisi nedeniyle akım hızında değişim olması, seviyede ise değişim olmaması hidrometride karşılaşılan durumdur. Bu durumun çözümü hız bilgisinin sürekli alınmasıyla, yani geleneksel olmayan yöntemlerin kullanılmasıyla mümkündür.

3.3. Ölçümler ve Yorumlar

3.3.1. ADAÖ - 1 ölçümü ve yorumu

Bu ölçüm kesitinin akış yukarısında depolama tesisi bulunmaktadır.

Ölçüm boyunca akarsu yatağına bırakılan debi değeri 1455-1490 m^3/s aralığındadır. Askıda akım ölçümü sonucuna göre ADAÖ-1 ölçümünün bağıl hatası % 3.1' dir (Çizelge 3.15).

ADAÖ ölçümü için ortalama derinlik 6.91 m ve maksimum derinlik ise 11.8 m'dir. ADAÖ-1 ölçümü teleferikle yapılan ölçümün üçte biri süresinde sonuçlanmıştır (Çizelge 3.5–3.6). Ölçüm kesiti boyunca akarsu yatağı kayalık olup, akarsudaki sediment konsantrasyonu ölçüme engel teşkil etmeyecek miktardadır.

Geçişlerde ortalama olarak 126 düşeyde ve 6.91 ortalama derinlik göz önüne alındığında ortalama 10 noktadan fazla her bir düşey için örnek almıştır. Ölçü hız profilinde görülen beyaz boşluklar ölçülemeyen ölçüm arakesitlerini ifade etmektedir (Şekil 3.4).

Teleferikle yapılan askıdan ölçümde bu sayı 23 düşey olmak üzere her iki kıyıda tek diğer düşeylerde iki noktada yapılmıştır. Şekil 3.4 de ADAÖ-1 ölçümünün kesitteki hız dağılımı verilmiş ve askıda akım ölçümünün hız dağılımı ise Şekil 3.5 de verilmiştir.

Askıda akım ölçümünün hız dağılımını elde etmek için Çizelge 3.4 den faydalanılmış, yetersiz sayıdaki ölçüm noktası çizelgedeki oranlardan faydalanılarak artırılmış, ölçüm kesitinin hız profili elde edilmiş olup çizimde Surfer programı kullanılmıştır.

Askı ölçümü 10 metre ortalama ara mesafelerle yapılmış, ADAÖ-1 ölçümü ise ortalama 1.5 metre aralıklarla yapılmıştır. Kesit tabanının takibi ADAÖ-1 ölçümünde daha sağlıklı olmaktadır.

Hız profili ise büyük oranda benzerlik göstermekte, ancak daha önce de belirtildiği gibi ADAÖ-1 ölçümünün aldığı ölçüm adedinin fazla olması burada da fayda sağlamaktadır.

ADAÖ-1 ölçümünün uygulandığı istasyon, akış yukarısında depolama tesisi bulunan, ölçüm süresi ortalama 2 saat olan ve depolama tesisinin üretimine bağlı olarak kısa sürelerle seviye değişimlerinin yaşandığı bir yer olması dolayısıyla akustik yöntemle akım ölçümü için uygun özellik göstermektedir.

Geleneksel ölçüm notu Ek -2 ' de sunulmuştur.

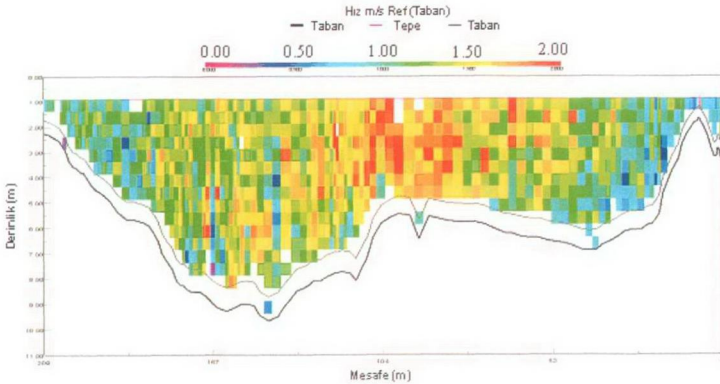
Çizelge 3.5. ADAÖ-1 ölçümü

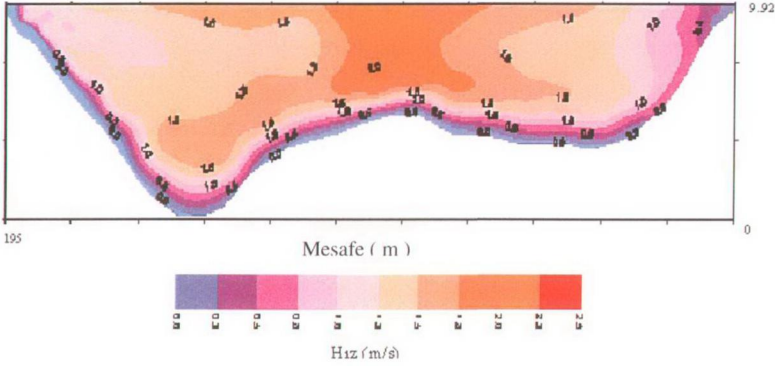
ADAÖ Akım Ölçümü (1) Ölçüm Başlangıcı: 16:28 Ölçüm Sonu: 17:06											
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]
1	1547.418	6.030	198.574	1146.564	175.574	20.675	1393.79	194.80	0.698	1.151	277.35
2	1552.815	5.540	290.402	1022.791	225.965	8.117	1377.02	172.43	0.502	1.152	571.83
3	1537.188	6.070	240.616	1093.968	185.451	11.082	1192.77	191.87	0.598	1.288	348.81
4	1486.912	4.833	218.129	1083.850	176.248	5.852	1260.52	184.62	0.690	1.236	354.53
5	1555.764	13.796	237.357	1131.110	170.120	3.381	1161.21	182.41	0.816	1.323	240.17
Ortalama	1536.419	7.254	237.016	1095.657	186.672	9.821	1277.06	185.23	0.661	1.230	-
Standart Sapma	27.484	3.691	34.270	48.219	22.645	6.700	105.38	8.77	0.118	0.078	-
Standart Sapma/Ortalama	0.02	0.51	0.14	0.04	0.12	0.68	0.08	0.05	0.18	0.06	-

Çizelge 3.6. 1 No lu geleneksel akım ölçümü sonuçları

Toplam Debi	Toplam Alan	Genişlik	Ortalama Hız	Süre
[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[s]
1490.217	1104.11	192.5	1.35	6780

Şekil 3.4. ADAÖ-1 ölçümü hız profili





Şekil 3.5. 1 No'lu geleneksel ölçüm akım kesiti

3.3.2. ADAÖ - 2 ölçümü ve yorumu

Bu ölçüm kesitinin akış yukarısında depolama tesisi bulunmaktadır. Ölçüm kesitinin akış yukarısında bulunan depolama tesisinden saat 15:40 da, $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ve saat 16:00 da $1330 \text{ m}^3/\text{s}$ su bırakılmıştır. ADAÖ-2 ölçüm geçişleri 16:11-16:35 saatleri arasında yapılmış olup son geçiş, azalan çıkış debisinin etkisindedir. Bu durumda ilk 3 ölçüm için çıkış debileri $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ve son ölçüm için $1330 \text{ m}^3/\text{s}$, ortalama değer ise; $1489 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak ağırlıklı ortalama yöntemiyle hesaplanmıştır.

ADAÖ-2 ölçümünün depolama tesisi ortalama çıkış akımlarına göre bağlı hatası % -1.0 dir. Ölçüm sırasındaki debi değişimi, düzensiz akım koşulları yaratmıştır. Ancak 300 metreye yakın bir genişliğe sahip kesitte ölçüm 24 dakika sürmüştür. Bu genişlikteki bir A.G.İ. ölçüm tesisi, maliyet açısından da büyük bir yatırım gerektirir (Yaklaşık 5.000-10.000 YTL ;1YTL=1.3 \$).

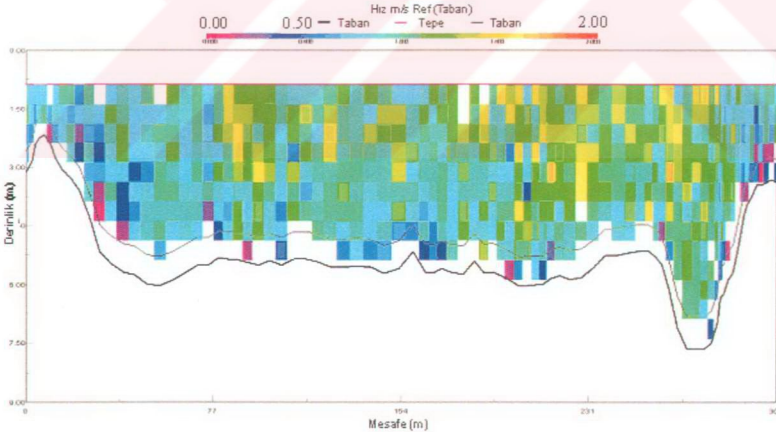
Ölçüm kesitinin ortalama derinliği 5.41 m, maksimum derinliği 8.0 m ve ölçümde karşılaşılan maksimum hız 1.72 m/s dir. Akustik Doppler yönteminin değerlendirilebileceği bir ölçüm gerçekleşmemiştir (Çizelge 3.7).

Ölçüm kesiti boyunca akarsu yatağı taş ve kaya malzemeden oluşmaktadır. ADAÖ-2 ölçümü ile elde edilen akarsu en kesit profili akarsu yatağını iyi şekilde temsil etmektedir (Şekil 3.6).

Su berrak yani sediment konsantrasyon oranı düşüktür. Bu özelliklere sahip akarsu kesitlerinde Akustik Doppler yöntemi maliyet, zaman ve iş güvenliği açısından fayda sağlamaktadır.

Çizelge 3.7. ADAÖ-2 ölçümü

ADAÖ Akım Ölçümü (2) Ölçüm Başlangıcı: 16:11 Ölçüm Bitişi: 16:35									
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[s]
1	1480.370	2.290	278.996	999.820	195.615	3.649	1564.72	289.03	240
2	1507.436	1.806	286.256	1017.318	199.027	3.029	1580.15	307.34	242
3	1479.314	1.431	267.643	1011.742	193.595	4.903	1654.70	297.44	428
4	1431.171	5.560	255.923	978.736	188.490	2.462	1662.76	301.71	383
Ortalama	1474.573	2.772	272.205	1001.904	194.182	3.511	1615.58	298.88	-
Standart Sapma	31.727	1.892	13.285	17.083	4.407	1.047	50.33	7,70	-
Standart Sapma/Ortalama	0.02	0.68	0.05	0.02	0.02	0.30	0.03	0.03	-



Şekil 3.6. ADAÖ-2 ölçümü hız profili

3.3.3. ADAÖ - 3 ölçümü ve yorumu

Ölçüm kesitinin akış yukarısında depolama tesisi bulunmaktadır. Ölçüm kesitinin akış yukarısında bulunan depolama tesisinden saat 11:45 da 808 m³/s ve saat

12:15 de 1080 m³/s su bırakılmıştır. Değişken debi değerleri nedeniyle geçişler arasında anlamlı ölçüm için gereken %5 lik fark dikkate alınmamıştır. ADAÖ-3 ölçüm geçişlerinden 1. geçişte depolama tesisinden bırakılan su 808 m³/s ve 5. geçişte bırakılan su ise 1080 m³/s olarak gerçekleşmiştir.

Değişken akım koşulları nedeniyle uygun bir değerlendirme yapılamamıştır.

Ölçüm en kesit genişliği 400 metreden fazladır(Çizelge 3.8). ADAÖ-2 ölçüm yeri ile benzer olarak teleferik teçhizi teknik ve mali yönden yapılabilir değildir. Depolama tesisinin müdahaleleri nedeniyle akımın düzenli olduğu süre kısıtlı olduğundan ölçümün hızlı yapılması gerekliliği Akustik Doppler yöntemi ile sağlanabilir. Ancak ölçüm kesitinin tabanı çok pürüzlü olması ve tabanın kum olması ayrıca kesitin bazı kesimlerinde türbülans, bazı kesimlerinde de ters akımın varlığı ölçümü güçleştirmektedir (Şekil 3.7).

ADAÖ-3 ölçümüyle akarsu en kesitinde 2.74 m ortalama ve 3.70 m maksimum derinlik ile 1.96 m/s maksimum hız ölçülmüştür.

ADAÖ-1 ve ADAÖ-2 ölçümlerinde kesitin %70'lik kısmı direk ölçülürken ADAÖ-3 ölçüm kesitinde bu oran %40'a düşmüştür. ADAÖ-3 ölçüm geçişlerinden 2 nolu geçişte sağ sahil debisi negatif olup, kesitteki ters akım durumunu ifade etmektedir. Bunun nedeni akarsu yatağındaki pürüzlülük ve akımdaki türbülanstır.

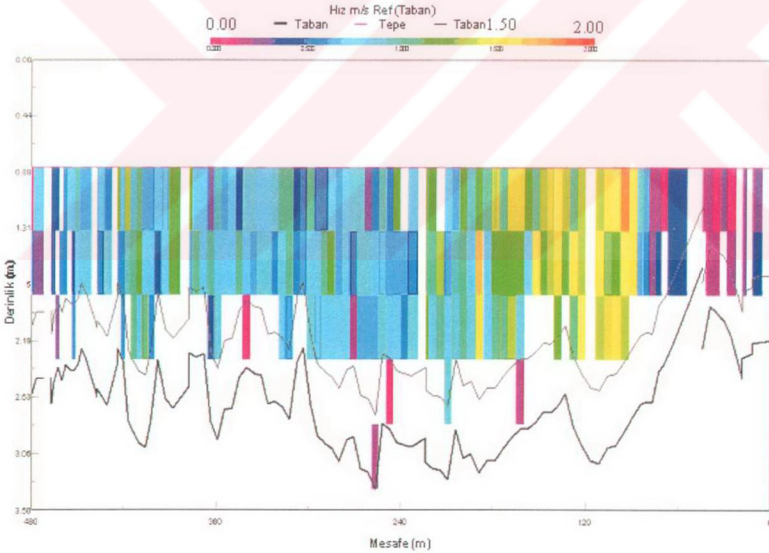
ADAÖ-3 ölçümünün yapıldığı kesit Akustik Doppler yöntemi için ideal koşul taşımamakla birlikte, akış aşağısında daha iyi bir ölçüm kesitinin varlığı bulunamamıştır.

3.3.4. ADAÖ - 4 ölçümü ve yorumu

ADAÖ-4 ölçümü Konya ili sınırları içinde Apa Barajı çıkışıdaki DSİ 16-95 Nolu A.G.İ.'de yapılmıştır. Ölçüm tarihinde geçerli anahtar eğrisinde 164 cm eşel seviyesine karşılık gelen debi değeri 35 m³/s dır (Ek-9). Anahtar eğrisi değeri baz alındığında ADAÖ-4 ölçümünün bağıl hatası % 2.6 dır (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.8. ADAÖ-3 ölçümü

ADAÖ Akım Ölçümü (3) Ölçümün Başlangıcı: 11:55 Ölçümün Sonu:12:40									
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[s]
1	817.030	2.297	332.500	302.244	179.389	0.601	1001.11	350.13	236.15
2	885.408	1.101	300.636	376.283	207.564	-0.177	1161.11	434.48	322.55
3	862.759	0.564	291.795	374.216	196.021	0.163	1255.39	453.40	521.28
4	1032.120	7.510	357.074	435.924	230.914	0.694	1133.15	432.20	342.73
5	1107.514	3.115	374.223	476.579	250.126	3.471	1186.72	430.76	385.93



Şekil 3.7. ADAÖ - 3 ölçümü hız profili

Ölçüm kesitinin ortalama derinliği 1.52 m, maksimum derinliği 1.85 m ve maksimum hız değeri 1,76 m/s olarak ölçülmüştür (Çizelge 3.9). Akarsu

derinliğinin düşük olması nedeniyle ADAÖ'nün 5 numaralı modu kullanılmıştır. Akarsu ölçüm en kesitinin tabanı toprak olup, şevler beton kaplamadır. Kesitin sağ sahilinde hafif türbülans gözlenmiş ve bu durum 0-3 m arasında görülmektedir (Şekil 3.8).

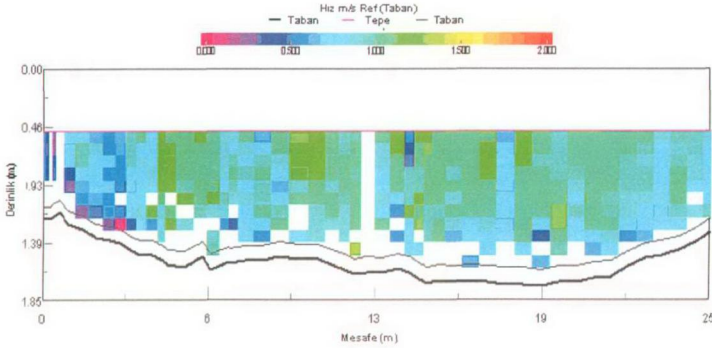
Klasik botla ölçümün kolaylıkla uygulanabildiği bir istasyon olup, Akustik Doppler yöntemi ile de ölçümü mümkündür. Kesit genişliği motorlu bot kullanımına uygun değildir. ADAÖ ölçüm yöntemi bu tip akarsu kesitlerinde ölçüm süresinden tasarruf sağlamamaktadır. Bu istasyon için uzun yıllar aylık ortalama akım değerleri Nisan ve Temmuz ayları için 18-32 m³/s, Aralık ayı için 11 m³/s ve diğer aylar için 6 m³/s' den düşük değerlerdedir (Ek-9).

Çizelge 3.9. ADAÖ-4 ölçümü

Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]
1	35.000	0.322	11.30	18.900	3.900	0.540	38.900	24.800	0.150	0.900	184.28
2	32.600	0.376	10.70	17.500	3.520	0.564	37.100	24.100	0.230	0.880	97.90
3	33.900	0.413	11.10	17.700	4.080	0.557	37.400	24.300	0.210	0.910	112.30
4	34.300	0.405	11.80	18.300	3.240	0.495	38.700	26.200	0.170	0.890	146.84
5	35.000	0.509	11.70	18.300	3.720	0.827	38.300	25.700	0.220	0.910	106.54
6	33.800	0.774	10.90	18.000	3.330	0.780	37.400	24.500	0.220	0.900	106.53
Ortalama	34.100	0.466	11.30	18.100	3.630	0.627	38.000	24.900	0.200	0.900	-
Standart Sapma	0.886	0.163	0.416	0.529	0.329	0.139	0.800	0.800	0.030	0,010	-
Standart Sapma/Ortalama	0.03	0.35	0.04	0.03	0.09	0.22	0.02	0.03	0.15	0,01	-

3.3.5. ADAÖ - 5 ölçümü ve yorumu

ADAÖ-5 ölçümü Aydın İli Nazilli İlçesi sınırları içinde yer alan Akçay Regülatörünün 50 metre akış aşağısında bulunan DSI 07-70 nolu A.G.İ. de gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.10).



Şekil 3.8. ADAÖ -4 ölçümü hız profili

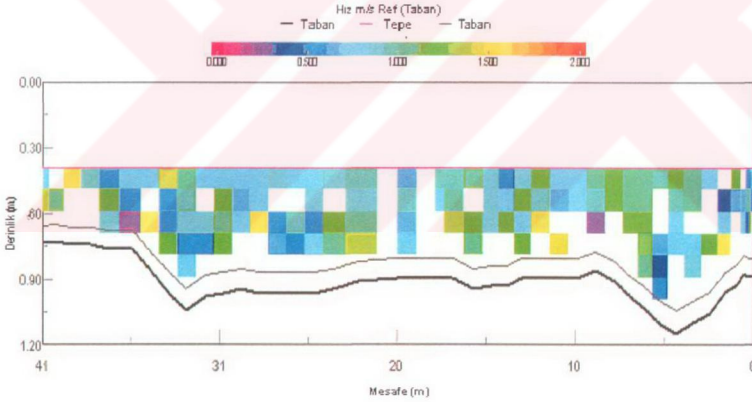
Ölçüm sırasında eşel 99 cm ve buna karşılık gelen anahtar eğrisindeki debi değeri $34.7 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Bot kullanılarak muline ile yapılan akım ölçümü değeri $34.376 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Muline ile yapılan ölçüm esas alındığında ADAÖ-5 ölçümü ile arasındaki bağıl hatası %1.1 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.15). Akarsu ölçüm en kesitinde ortalama derinlik 0.947 m, maksimum derinlik 1.23 m ve maksimum hız 2.01 m/s olarak ölçülmüştür. Ölçüm sırasında su berrak, akarsu yatağı çakıl olup şevler topraktır. Ölçüm kesiti ADAÖ yöntemi için ideal bir kesittir (Şekil 3.9).

ADAÖ-5 ölçümünde ve geleneksel ölçümde motorsuz bot kullanılmıştır. Motorsuz bot kullanımı geçiş süresini artırmakla beraber, alınan ölçüm adedi de arttığından ölçüm hassasiyeti artmaktadır. Akarsu kesitinin yalnızca %33 lük kısmı ölçülmüş ve kalan kısım hesaplamalarla tamamlanmıştır. Bu oran ADAÖ-1-2 de karşılaştığımız %70 lik ölçülen orandan azdır. Bu durum algılayıcı derinliğinin ölçüm kesit alanında ölçülemeyen bölümün oranını artırmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.9).

Şekil 3.9 geleneksel yöntemi sonucu elde edilen Şekil 3.10 a benzerlik göstermekte ancak ADAÖ-5 ölçümü daha fazla veri içermektedir. Geleneksel ölçüm notu Ek-3 'de verilmiştir.

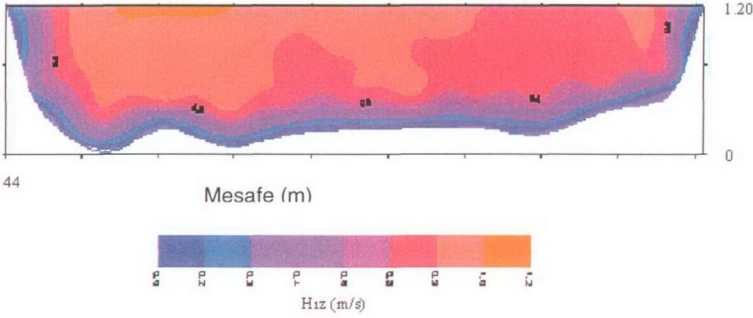
Çizelge 3.10. ADAÖ-5 ölçümü

ADAÖ Akım Ölçümü (5)	27.07.2004	10:25	10:49	Aydın İli Nazilli İlçesi sınırlarında Akçay Regülatörünün 50 metre akış aşağısındadır. (07-70)								
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre	
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]	
1	32.800	0.688	11.30	13.500	5.950	1.370	37.700	40.600	0.220	0.870	175.64	
2	35.500	0.074	14.30	13.400	7.550	0.183	39.100	39.600	0.160	0.910	256.26	
3	35.500	0.566	15.60	8.360	10.200	0.800	42.000	41.400	0.170	0.840	236.10	
4	33.800	0.487	16.40	10.600	5.420	0.868	36.500	41.000	0.170	0.930	241.87	
5	32.600	0.680	15.10	11.100	5.100	0.659	36.900	40.500	0.320	0.880	126.69	
Ortalama	34.000	0.499	14.50	11.400	6.840	0.776	38.500	40.600	0.210	0.890	-	
Standart Sapma	1.390	0.252	1.950	2.130	2.090	0.426	2.200	0.700	0.070	0.030	-	
Standart Sapma/Ortalama	0.04	0.51	0.13	0.19	0.31	0.55	0.06	0.02	0.33	0.03	-	



Şekil 3.9. ADAÖ-5 ölçümü hız profili

AKÇAY



Şekil 3.10. Akçay Regülatör çıkışı geleneksel ölçüm hız profili (27.07.2004)

3.3.6. ADAÖ - 6 ölçümü ve yorumu

ADAÖ-6 ölçümü Aydın ili Nazilli ilçesi sınırlarında bulunan Yenipazar Köprüsündeki DSİ A.G.İ. de gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.11). Ölçüm kesiti Büyük Menderes Nehri ana kolu üzerinde Akçay'ın Büyük Menderes'e karıştığı noktanın akış aşağısındadır.

ADAÖ-6 ölçümü sırasında eşel seviyesi 140 cm ve anahtar eğrisinde bu seviyeye karşılık gelen debi değeri $56.3 \text{ m}^3/\text{s}$ dir. Anahtar eğrisi değeri baz alındığında ölçümün bağıl hatası % 15,6 dır (Çizelge 3.15).

Ölçüm kesitinde çok yüksek oranda sediment konsantrasyonu mevcut olması ADAÖ'nün taban izlemesi ve hassas hız profilini almasını güçleştirmiştir. Bu nedenle ADAÖ'nün hassas modlarının her ikisi de (mod 5 ve mod 8) ölçümde kullanılmıştır. ADAÖ-6 geçişlerinde ölçülen toplam debiler arasında kabul edilebilir oran olan standart sapmanın ortalamaya bölümü % 5 den büyük olarak % 10 hesaplanmıştır.

Mod 5'in taban izleme yeteneği ADAÖ-6 ölçüm kesitinde Mod 8 den daha iyi sonuç vermiştir.Çizelge 3.11 de sunulan ölçüm sonucu her iki moddan da yararlanılarak elde edilmiştir.

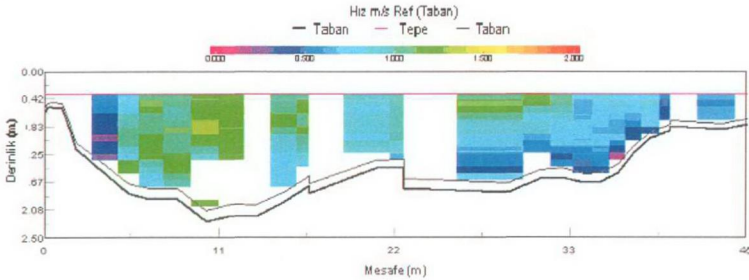
ADAÖ- 10 ölçüm yorumunda yüksek sediment konsantrasyonu konusuna ayrıntılı olarak değinilmiştir.

Akarsu ölçüm kesiti tabanı toprak olup, ölçüm kesiti yatağında geçmişte makine ile düzeltme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.11). Bu nedenle kesit tabanında doğru taban izlemesini engelleyen kırıklıklar mevcuttur. Akarsu boy kesitinde akım düzenliliğini bozan sazlık alanlar mevcuttur.

ADAÖ ölçüm yöntemi yüksek sediment konsantrasyonu ve akarsu en ve boy kesitlerindeki fiziki durumdan kaynaklanan türbülans nedeniyle bu istasyonda sağlıklı sonuç vermemiştir.

Çizelge 3.11: ADAÖ-6 ölçümü

ADAÖ Akım Ölçümü (6)		27.07.2004 11:23 12:10		Aydın - Nazilli karayolundan sağa ayrılan yolda ;Yenipazar Köprüsü üzerindedir.							
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]
1	73.721	2.691	24.598	40.003	6.429	0.000	101.510	54.170	0.446	0.842	100.03
2	70.611	2.276	24.465	37.194	5.569	1.107	83.680	47.450	0.268	0.917	200.07
3	57.421	1.261	18.916	29.451	6.265	1.528	72.570	39.460	0.438	0.787	111.46
4	62.434	2.240	20.768	28.276	9.682	1.468	67.450	36.170	0.288	0.916	145.76
5	58.034	3.886	19.544	24.831	8.463	1.310	64.400	36.320	0.406	0.887	105.75
6	68.148	1.687	27.342	28.684	9.416	1.020	78.140	49.300	0.532	0.925	111.46
Ortalama	65.062	2.340	22.606	31.407	7.637	1.072	77.958	43.812	0.396	0.879	-
Standart Sapma	6.782	0.908	3.353	5.859	1.769	0.561	13.496	7.538	0.101	0.054	-
Standart Sapma/Ortalama	0.10	0.39	0.15	0.19	0.23	0.52	0.17	0.17	0.25	0.06	-



Şekil 3.11. ADAÖ-6 ölçümü hız profili

3.3.7. ADAÖ - 7 ölçümü ve yorumu

ADAÖ-7 ölçümü Aydın Regülatörünün 800 metre akış aşağısında köprü üzerinden beton sulama kanalında gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.12). Ölçüm kesiti beton sulama kanalı olup, kanal kesiti şekli ve geleneksel ölçüm kayıt kartı Ek-4 de sunulmuştur.

Geleneksel ölçüm yöntemi ile köprüden muline ile sap kullanılarak 15.980 m³/s debi ölçülmüştür. ADAÖ-7 ölçümünün klasik ölçüme göre bağıl hatası % -3.6 dır (Çizelge 3.15).

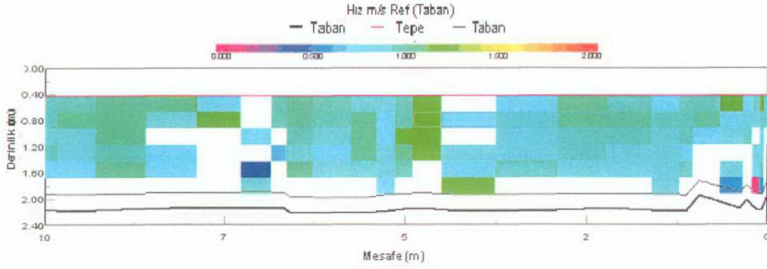
Ölçüm kesiti ADAÖ nün saha kalibrasyonunda kullanılabilecek oranda düzgündür. Şekil 3.12 de köprü ayaklarına denk gelen kısımlarda karşılaşılan türbülans görülmektedir.

Çizelge 3.12 : ADAÖ-7 ölçümü

Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre
ADAÖ Akım Ölçümü (7)	28.07.2004	09:15	09:25	Aydın Regülatörünün 800 metre akış aşağısında köprü üzerinden betonsulama kanalında ölçüm yapılmıştır.							
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]
1	14.900	0.919	2.75	8.400	2.070	0.779	16.900	7.900	0.110	0.890	92.14
2	14.600	0.732	3.91	6.300	2.830	0.839	18.800	8.000	0,150	0.780	51.83
3	15.900	0.892	3.23	8.020	2.920	0.885	17.400	7.800	0,170	0.910	46.07
4	16.000	0.508	2.74	9.180	2.740	0.806	17.200	8.600	0,130	0.930	112.30
Ortalama	15.400	0.763	3.16	7.970	2.640	0.827	17.600	8.100	0,140	0.880	-
Standart Sapma	0.705	0.189	0.549	1.220	0.388	0.046	0.900	0.400	0,030	0.070	-
Standart Sapma/Ortalama	0.05	0.25	0.17	0.15	0.15	0.06	0.05	0.05	0,21	0.08	-

3.3.8. ADAÖ - 8 Ölçümü ve Yorumu

Aydın regülatörü çıkışında birbirini doğrulayan 2 ADAÖ geçişi neticesine göre, regülatörden bırakılan 18.0 m³/s debi esas alındığında bağıl hatası %2.68 olmuştur (3.15). Ölçümler arasındaki fark az olduğundan dolayı ilave geçişler yapılmamıştır.



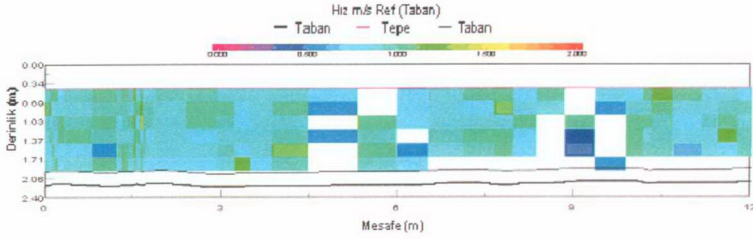
Şekil 3.12. ADAÖ -7 ölçümü

ADAÖ-8 ölçüm sonuçları Çizelge 3.13 de, hız kesit dağılımı Şekil 3.13 de sunulmuştur.

ADAÖ-8 ölçümünde yalnızca cihazın tutamağından kaynaklanan kullanım zorlukları yaşanmış, botla ölçüm amacıyla tasarlanan tutamak köprü üstünden kullanılmıştır. Köprü üstünden veya şamandırayla yüzdürülerek yapılacak ölçümler için farklı dizayn edilen tutamaklar kullanmak ölçümü kolaylaştıracaktır.

Çizelge 3.13. ADAÖ-8 ölçümü

ADAÖ Akım Ölçümü (8)		27.07.2004	15:10	15:15	Aydın Regülatörünün 800 metre akış aşağısında köprü üzerinden beton sulama kanalında ölçüm yapılmıştır.						
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]
1	17.426	1.831	3.88	8.153	2.712	0.855	20.130	9.380	0.105	0.869	109.42
2	17.608	0.857	3.90	8.837	3.160	0.853	18.180	8.460	0.136	0.879	71.98
Ortalama	17.517	1.344	3.89	8.495	2.936	0.854	19.150	8.920	0.121	0.874	-



Şekil 3.13. ADAÖ-8 ölçümü hız profili

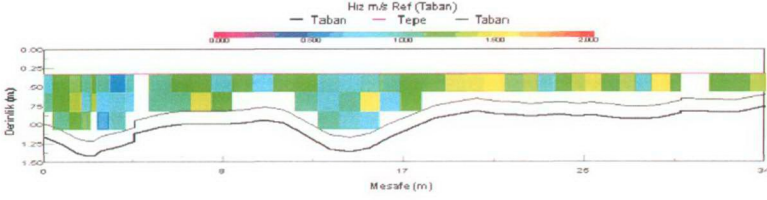
3.3.9. ADAÖ - 9 ölçümü ve yorumu

ADAÖ-9 ölçümü Akçay Regülatörü çıkışında ADAÖ-5 ile aynı yerde, farklı eşel seviyesinde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.14).

ADAÖ-9 ölçümü sırasında eşel seviyesi 92 cm ve bu seviyeye karşılık gelen anahtar eğrisindeki debi değeri 32.2 m³/s dir. ADAÖ - 9 ölçümü ile anahtar eğrisinden elde edilen debi değeri arasındaki bağıl hata %-0.8 dir. ADAÖ-9 sonucu elde edilen hız kesit dağılımı Şekil 3.13 de sunulmuştur.

Çizelge 3.14. ADAÖ-9 ölçümü

ADAÖ Akım Ölçümü (9)		28.07.2004	11:35	12:00	Aydın İli Nazilli İlçesi sınırlarında Akçay Regülatörünün 50 metre akış aşağısındadır. (07-70)						
Geçiş No	Toplam Q	Sol Q	Üst Q	Ölçülen Q	Taban Q	Sağ Q	Toplam Alan	Genişlik	Bot Hızı	Akış Hızı	Süre
Birimler	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ²]	[m]	[m/s]	[m/s]	[s]
1	33.516	2.055	11.48	11.841	7.099	1.040	38.460	38.980	0.386	0.804	109.41
2	32.536	1.308	9.85	12.244	7.833	1.300	41.030	42.750	0.380	0.815	115.17
3	32.210	4.719	10.10	8.572	6.791	2.030	30.360	30.820	0.293	1.080	116.19
4	32.110	2.720	11.36	9.467	7.045	1.517	30.160	33.090	0.232	1.089	135.32
5	31.980	2.632	10.91	9.667	7.178	1.581	38.590	40.260	0.317	0.879	120.93
Ortalama	32.470	2.687	10.74	10.360	7.189	1.494	35.720	37.180	0.322	0.934	-
Standart Sapma	0.619	1.268	0.736	1.597	0.388	0.367	5.090	5.020	0.064	0.141	-
Standart Sapma/Ortalama	0.02	0.47	0.07	0.15	0.05	0.25	0.14	0.14	0.20	0.15	-



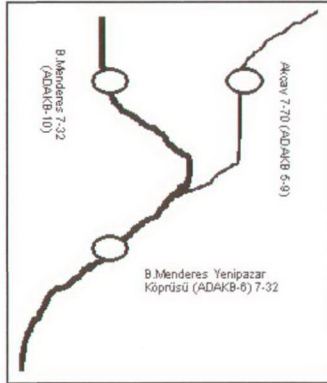
Şekil 3.14. ADAÖ-9 ölçümü hız profili

3.3.10. ADAÖ - 10 ölçümü ve yorumu

ADAÖ-10 Büyük Menderes Nehri ana kolu üzerinde bulunan Nazilli köprüsü 07-32 Nolu DSİ A.G.İ. de yapılmaya çalışılmış ancak çok yüksek sediment konsantrasyonu nedeniyle ölçüm alınamamıştır. Akarsudan alınan su numunelerinin analizi sonucunda, 103.74 ppm sediment konsantrasyonu ölçülmüştür (Ek-5). Bu istasyonun akış aşağısından Büyük Menderes Nehri ana koluna Akçay karışmakta ve sediment konsantrasyonunun düşmesine neden olmaktadır.

Bu durum ADAÖ-6 ölçümünde görülmüştür. ADAÖ-6 ölçümünün hata oranı da yüksek sediment konsantrasyonundan dolayı fazladır.

ADAÖ ölçümlerinin temel yapılandırma özellikleri Ek-6 te sunulmuştur.



Şekil 3.15: ADAÖ-10 Ölçümünün Konumu (Ölçeksiz)

3.4. ADAÖ Ölçümlerinde Hata Analizi

ADAÖ ölçümlerinden 6 adedi, bu çalışmada geleneksel yöntemler olarak adlandırılan anahtar eğrisi veya muline ölçümleriyle % 5 ten daha az bağlı hata göstermektedir (Çizelge 3.15).

Yüksek sediment konsantrasyonu nedeniyle ADAÖ-10 ölçümü gerçekleştirilememiş ve bir diğer ölçümde de (ADAÖ-6) aynı nedenle %15.6 fark ile karşılaşmıştır. ADAÖ-2 ve ADAÖ-3 ölçümleri değişken akım koşullarını temsil bakımından kullanılmış, ancak bu değişken koşullarda, yapılan ölçümleri karşılaştıracak bir yöntem bulunamamıştır. Ölçümlerde cihazın performansına ilişkin olarak;

1. Çok çeşitli kesit derinliklerinde ,
2. Çok çeşitli akarsu yatak özelliklerinde,
3. Türbülans ve sediment benzeri akım karakteristiklerinde,
4. Değişken akım koşullarında
5. Motorlu botla
6. Botla (halat kullanarak)
7. Köprü üstünden tutamakla

olmak üzere çeşitli uygulamalar yapılmıştır.

ADAÖ yönteminin daha önce Bölüm 2.4 de değinilen kısıtlılıkların etkisi alet, akım ve kesit özellikleri kullanılarak sayısal bir hata öngörüsüne dönüştürülmüştür. Değerlendirme ölçümleri için yapılan hata hesaplamalarında kullanılan eşitlikler Ek-7 de sunulmuştur (Marsden, 1993). Çizelge 3. 16 de ise değerlendirme ölçümlerinin hata öngörüsü verilmiştir.

ADAÖ ölçümlerinin standart sapmalarının öngörülen hataya yakın olması beklenir. Değerlendirme ölçümlerinden ADAÖ-2, ADAÖ-3, ADAÖ-8 ölçümlerinin standart sapma değerlendirmesi dışında tutulmuştur (Çizelge 3.16). ADAÖ-8 iki ölçüm geçişi ile yapıldığından, ADAÖ-2, ADAÖ-3 değişken akım koşullarında

yapıldığından dolayı standart sapmalar ölçüm doğruluğunun bir ölçüsü olmayacaktır. ADAÖ-1 ve ADAÖ-6 ölçümlerinin standart sapmaları öngörülen hatadan fazla, ADAÖ-4, ADAÖ-5, ADAÖ-7, ADAÖ-9 ölçümlerinin standart sapmaları ise öngörülen hatadan az gerçekleşmiştir. ADAÖ-6 ölçümünde ADAÖ yönteminin sağlıklı sonuç vermediği daha önce bahsedilmişti. ADAÖ-1 ölçümü içinse hızlı akım koşullarından kaynaklanan botun teknik özelliklerinin yetersizliği ve ADAÖ operatörü hataları standart sapmanın artmasına neden olmuştur.

Çizelge 3.15. Geleneksel yöntem ve ADAÖ yöntemi ölçüm sonuçları

ADAÖ Ölçüm İstasyonu	Adı	Kaynakça	Geleneksel Yöntemler		ADAÖ Ölçüm sonucu (m ³ /s)	ile	Geleneksel Yönteme Göre Ölçümün hatası %	ADAÖ Bağlı	Düşünceler	Kullanılan Su Modu
			Ölçüm (m ³ /s)	Anahtar (m ³ /s)						
***	ADAÖ (1)	EK-2	1490.22	***	1536.41		3.1		Düzgün	1
***	ADAÖ (2)	***	***	***	***		***		Ölçüm anında detei değışimi	1
***	ADAÖ (3)	***	***	***	***		***		Ölçüm anında detei değışimi	1
16-95	Apa (4)	EK-9	***	35.00	34.1		-2.6		Düzgün	5
07-70	Akçay Reg. Çıkış (5)	EK-3	34.37	34.70	34.00		-1.1		Düzgün	5
***	Ypazar (6)	***	***	56.30	65.06		15.6		Yüksek sediment	5-8
***	Aydın Reg. Çıkış (7)	EK-4	15.98	***	15.40		-3.6		Düzgün	5
***	Aydın Reg. Çıkış (8)	***	***	18.00	17.52		-2.68		Düzgün	5
07-70	Akçay Reg. Çıkış (9)	***	***	32.20	32.47		0.8		Düzgün	5
07-32	B Menderes Nehri Nazilli Köprüsü (10)	EK-5	Yüksek sediment konsantrasyonu nedeniyle ölçüm yapılamadı. (103.74 ppm)							***

Not: *** Verisi mevcut değildir.

Çizelge 3.16. ADAÖ ölçümlerinde öngörülen hatalar

Ölçüm No	Alet (Eşitlik 7.1)	Tepe (Eşitlik 7.2)	Taban (Eşitlik 7.3)	Sağ Sahil (Eşitlik 7.4)	Sol Sahil (Eşitlik 7.4)	Toplam Öngörülen Hata (Eşitlik 7.5)	Ölçümün standart sapması
ADAÖ-1	1.65	1.11	5.03	1.87	0.98	11.77	27.484
ADAÖ-2	2.31	1.76	7.9	0.87	1.0	15.59	**** (31.727)
ADAÖ-3	2.25	2.31	10.78	0.81	1.46	19.92	****
ADAÖ-4	0.003	0.003	0.999	0.408	0.409	1.826	0.886
ADAÖ-5	0.003	0.003	1.307	0.516	0.515	2.348	1.39
ADAÖ-6	0.006	0.008	1.978	0.385	0.384	2.769	6.782
ADAÖ-7	0.288	0.244	0.681	0.629	0.6	2.686	0.705
ADAÖ-8	0.278	0.256	0.667	0.631	0.776	2.863	**
ADAÖ-9	0.004	0.004	1.544	0.512	0.515	2.584	0.619

Not: **** Ölçüm koşulları değişkindir. ** Yetersiz ölçüm geçişi nedeniyle standart sapma hesaplanamamıştır.

ADAÖ ölçümleri en az 4 geçiş kullanılarak hesaplanmış, yalnızca ADAÖ-8 ölçümünde 2 geçiş yeterli görülmüştür. Geçiş sayısının 4' ten az olmaması standart sapmanın hesaplanabilmesi açısından önerilmektedir (Simpson, 2001).

3.5. ADAÖ Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında belli başlı avantajları;

- Ölçüm süresini azaltmakta
- Ölçüm düzeyi ve en kesiti boyunca sürekli ölçüm sağlamakta
- Teleferik, donav, köprü benzeri ölçüm donanımına ihtiyaç duymamakta, (Lipscomb, 1995)
- Düzensiz akımlar için geleneksel yöntemlere alternatif oluşturmakta
- Hızla değişen akım koşullarında hızlı ölçüm yeteneği seviye-debi ilişkisinin kurulmasında fayda sağlamakta
- Taşkınlarla, ölçüm tesisi olmayan yerlerde ölçüm yapılmasını kolaylaştırmakta
- Akarsu hız profili hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir

ADAÖ-1 ölçümü 38 dakika sürmüştür, geleneksel yöntemle ölçüm için 113 dakika harcanmıştır. Yatayda sürekli, düşeyde ise çok sayıda örnekleme aldığı her bir ADAÖ ölçümü hız profilinde açıkça görülmektedir. Ayrıca yansıyan ses dalgalarının yoğunluğu ile akarsudaki sediment miktarını ilişkilendirmek de mümkündür (Mckee vd, 2002).

Değerlendirme istasyonlarının bir kısmında ölçüm tesisi bulunmadığından, botla ADAÖ yöntemi çözüm olmaktadır. Ölçüm tesisi kurulumu bazı geniş kesitler için yapılabirlik açısından mümkün olmadığı gibi, diğer yerler için de ekonomik değildir. Ölçüm tesisi olarak köprülerin kullanılmasının da sakıncaları göz önüne alındığında yöntem bu açıdan da fayda sağlar. Hızla değişen akım koşullarında ADAÖ-2 ve ADAÖ-3 ölçümleri yapılabirmiştir.

Geleneksel yöntemle karşılaştırıldığında belli başlı dezavantajları;

- Nitelikli kullanıcı gerektirmesi
- ADAÖ yöntemi için gerekli ekipmanın yüksek maliyetli oluşu
- Kalibrasyon işlemi için, mulinelerde olduğu gibi bir yöntemin geliştirilememiş olması,
- Tamir ve bakım için üretici firma ile ilişkide kalma zorunluluğu sayılabilir.

Değerlendirme ölçümleri sırasında, kullanıcı yeteneğinin ölçümü doğrudan etkilediği görülmüştür. Seçilen ölçüm kesitinden, bot manevrasından, kıyı mesafesi tahminlerinden vb. bir çok değişken ölçümlerin doğruluğuna etkilemektedir. ADAÖ kalibrasyon işlemi muline kalibrasyonuna benzer olarak çok büyük kanallarda laboratuvar koşullarında veya diğer ölçüm teknikleriyle beraber onlarla karşılaştırmalı olarak yapılmaktadır (Oberg, 2002).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Değerlendirme kapsamında Türkiye'nin 3 farklı havzasında gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Uygun akım ve kesit koşullarında ADAÖ yöntemi, geleneksel yöntem ile %5 güven aralığında sonuç vermektedir.

Akarsulardaki yüksek sediment konsantrasyonu ADAÖ yöntemi ile debi ölçüm doğruluğunu olumsuz etkilemekte, çok yüksek sediment konsantrasyonu ADAÖ yönteminin kullanılmasını engellemektedir.

Akarsu yatağı pürüzlülüğü ADAÖ yönteminde taban alt kesiti hata oranını artırmaktadır. Çalışmada hareketli yatak tabanı gözlenmemiştir. Bu tür akarsu kesitlerinde ADAÖ yönteminin uygulamaları yapılmalıdır.

Ölçüm kesiti derinliği ve akarsu akım hızı, değerlendirme çalışmasında kullanılan ADAÖ alet yeteneğine göre seçilmiş, ölçümlere etki etmemiştir.

ADAÖ yönteminin kullanıcı hatalarına duyarlı olduğu görülmüştür. Kullanıcı eğitimi dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Geniş akarsu ölçüm kesitlerinde ölçüm süresini 1/3 oranında azaltmaktadır. Ölçüm için kurulu tesis gerektirmemektedir.

Akımın 3 boyutlu vektörel ölçümünü vermekte, akarsu kesitinin yatayda ve düşeyde sürekliliğe yakın ölçümünü sağlamaktadır.

Geleneksel yöntemin geçersiz olduğu ters akım koşullarında bu yöntem ile ölçüm mümkün olmaktadır.

Akarsu kesitlerinde, türbülans çalışmalarında kullanılmak üzere akım kesiti hakkında ayrıntılı bilgiler vermektedir.

ADAÖ tarafından toplanılan yansıyan ses dalgalarının analizi, sudaki sediment konsantrasyonu ile orantılıdır. Geleneksel sediment ölçümleri ile ADAÖ ölçümlerinin karşılaştırılması, aralarındaki ilişkinin belirlenmesi için ileri düzey çalışmalar yapılması gereklidir.

8. KAYNAKLAR

- Chen, C. L., 1991, Unified theory on power laws for flow resistance, *J.Hydr. Engng*, 117 (3), 371–389pp.
- Chen,C.-L., 1989, Power law of flow resistance in open channels Manning's formula revisited, in: International Conference on Channel Flow and Catchment Runoff: Centennial of Manning's Formula and Kuichling's Rational Formula, Charlottesville, 817–848pp.
- Urick, R.J., 1975, Principles of underwater sound. (2nd ed.), San Francisco, 375 p.
- DSI,2004, 2000 Akım Gözlem Yıllığı, DSI, Ankara, 812s.
- Doppler, J.C., 1842, Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels: *Abn.königl.böhm.Ges.Wiss*, v. 2, p. 465–482.
- EİE, 2003, 2000 Akım Gözlem Yıllığı, EİE, Ankara, 671s.
- Hulsing, Harry, Smith, Winchell, and Cobb, E. D., 1966, Velocity-head coefficients in open channels, U.S. Geol. Survey Water-Supply Paper ,1869-C, p7.
- Lipscomb S., 1995, Quality assurance plan for discharge measurements using broadband acoustic doppler current profiles, US GeologicalSurvey Open-File Report, 95-701, 7p.
- Marsden, James R., 1994, Review of U.S. Geological Survey data collected in the Chicago area using an acoustic doppler current profiler: Appendix 3 in Oberg, K.A., and Schmidt, A.R., 1994, Measurements of leakage from Lake Michigan through three control structures near Chicago, Illinois, April–October 1993: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 94-4112, 43–48pp.
- McKee, L., Ganju, N., Schoellhamer, D., Davis, J., Yee, D., Leatherbarrow, J., and Hoenicke, R., 2002. Estimates of suspended sediment flux entering San Francisco Bay from the Sacramento and San Joaquin Delta. Report prepared for the Source Pathways and Loading Workgroup (SPLWG) of the San Francisco Bay Regional Monitoring Program for Trace Substances (RMP). SFEI contribution 65. San Francisco Estuary Institute, 28pp.
- Mermer H.,1982, Akım ölçümlerinin değerlendirilmesi ve günlük ortalama akımların hesabı, Hidrolog Kursu Ders Notları, EİE, Ankara, 116-141s.
- Morlock S.E., 1996 Evaluation of acoustic doppler current profiler measurements of river discharge, US Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 95-4218, Indianapolis,37p.
- Mueller,D.S., 2002, Use of acoustic doppler instruments for measuring discharge in streams with appreciable sediment transport, in: Proceedings of Hydraulic Measurements and Experimental Measurements, American Society of Civil Engineers, Estes Park, 5p.

- Muste, M., Yu, K., Spasojevic M., 2004, Practical aspects of data use for quantification of mean flow characteristics; Part 1: Moving vessel measurements, flow measurement and instrumentation, 15, 16p.
- Oberg, K.A., and Schmidt, A.R., 1994, Measurements of leakage from Lake Michigan through three structures near Chicago, Illinois, April–October 1993: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 94-4112, 48 p.
- Oberg, K.A. 2002, In search of easy-to-use methods for calibrating ADCP's for velocity and discharge measurements, in: Proceedings of Hydraulic Measurements and Experimental Measurements, American Society of Civil Engineers, Estes Park, 11p.
- Özgün A.G., 1982, Seviye ve hız ölçüm aletleri ve tesisler, Hidrolog Kursu Ders Notları, EİE, Ankara, 36-115s.
- Rantz, S.E., and others, 1982, Measurement and computation of streamflow: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, 2 v., 631 p.
- RD Instruments, 1996, Acoustic Doppler Current Profiler—Principles of Operation; A Practical Primer, RD Instruments, San Diego, 36p.
- Simpson M.R., 2001, Discharge measurements using a broad-band acoustic doppler current profiler, Open-File Report 01-1, US Geological Survey, Sacramento, 123p.
- Simpson, M.R., Oltmann R.N., 1993, Discharge-measurement system using an acoustic doppler current profiler with applications to large rivers and estuaries, US Geological Survey Water-Supply, Denver, 34p
- STEVENS, 1991, Water Resources Data Book, Leopold and Stevens, Oregon, 200p.
- Urick, R.J., 1975, Principles of underwater sound. (2nd ed.): McGraw-Hill, San Francisco, 375 p.
- WMO, 1994, Guide to Hydrological Practices, WMO-No. 168, 733p.
- Yorke T.H., Oberg K.A., 2002, Measuring river velocity and discharge with acoustic doppler profiler, Flow Measurement and Instrumentation, 13, 191–195pp.



EKLER

ASKIDA AKIM ÖLÇÜ ÇETVELİ (ADAÖ-1)

EK-2

A

İh :

No :

Başlangıcı: 14:17:00

Ölçü Sonu

16:10

Yapın : N.SEZEN-

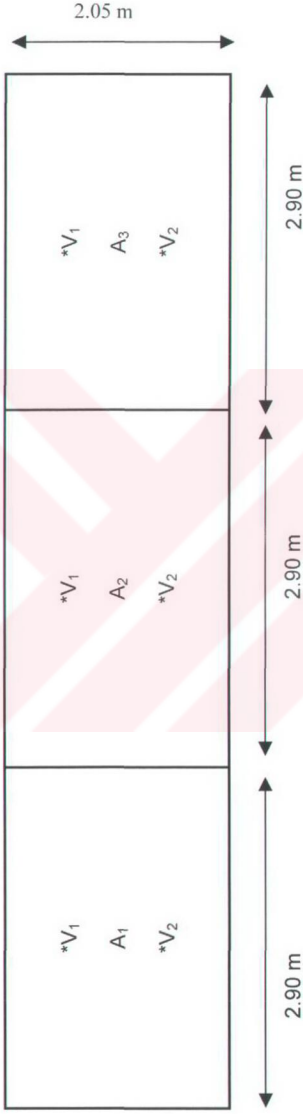
Durumu : Güneşli

İh mesafesi (m)	Düşey Sapma açısı	Televizyon Makarası su yüzü arası (m)	Eğik Derinlik (m)	Düşey Derinlik (m)	Sinyal Sayısı	Ölçü müddeti (s)	Hız (m/s)			Kesit Alanı (m ²)	Ortalama Derinlik (m)	Genişlik (m)	Akım (m ³ /s)
							Ölçülen noktada	Düşeyde ortalama	Kesitte ortalama				
0,5		904		0									
0,0		-7		98	262			0,678	0,771	3,68		3,75	2,837
					338			0,863					
1,0		-3		178	308			0,788	0,905	8,90		5,00	8,055
					402			1,022					
1,0		-19		293	376			0,957	1,002	14,65		5,00	14,679
					412			1,047					
1,0		-21		402	427			1,084	1,084	30,15		7,50	32,683
					427			1,084					
1,0		-25		607	468			1,186	1,170	60,70		10,00	71,019
					455			1,153					
1,0		-30		866	512			1,295	1,268	86,60		10,00	109,809
					490			1,240					
1,0		-21		992	524			1,325	1,324	99,20		10,00	131,341
					523			1,322					
1,0		-11		933	539			1,362	1,386	93,30		10,00	129,314
					558			1,409					
1,0		-18		719	569			1,437	1,438	71,90		10,00	103,392
					570			1,439					
1,0		0		625	522			1,320	1,365	62,50		10,00	85,313
					558			1,409					
1,0		0		576	576			1,500	1,629	57,60		10,00	93,830
					675			1,757					
0,0		+3		520	678			1,765	1,813	52,00		10,00	94,276
					715			1,861					
0,0		+4		495	634			1,651	1,737	49,50		10,00	85,982
										690,68			962,530
TOPLAM :													

Akçay Regülatörü Çıkışı Ölçüsü (ADAÖ-5)						
Tarih	27.07.2004	Ölçü Başlangıcı : 12:00		Ölçü Sonu: 12: 45		
Eşel Seviyesi		Başlangıçta: 99 cm Bitişte 99 cm		Ölçüyü Yapan: K. AYVAZ-S.MERT		
Genişlik (m)	Derinlik (m)	Hız (m/s)	Düşey ortalaması (m/s)	Kesit Alanı (m2)	Akım (m3/s)	
4.00	0.82	0.475	0.512	3.28	1.680	
		0.548				
4.00	1.20	0.739	0.880	4.80	4.224	
		1.021				
4.00	1.00	0.850	0.918	4.00	3.672	
		0.987				
4.00	1.15	0.802	0.893	4.60	4.110	
		0.983				
4.00	1.05	0.694	0.798	4.20	3.350	
		0.901				
4.00	1.02	0.713	0.839	4.08	3.420	
		0.964				
4.00	1.00	0.783	0.852	4.00	3.410	
		0.920				
4.00	1.00	0.656	0.774	4.00	3.100	
		0.891				
4.00	1.05	0.640	0.728	4.20	3.060	
		0.815				
4.00	0.85	0.685	0.742	3.40	2.520	
		0.799				
4.00	0.70	0.574	0.655	2.80	1.830	
		0.736				
Toplam				43.36	34.376	
Ortalama Hız		0.793				

Not: Akım turbülanssız, su berrak ve hava açık

ADAÖ-7
AYDIN REGÜLATÖRÜ ANA KANALI ÖLÇÜSÜ (GELENEKSEL)
28.07.2004



$$A_1 = A_2 = A_3 = 5.945 \text{ m}^2$$

A₁ Ara kesiti debisi

$$V_1 = 0.977 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0.663 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = 4.875 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{top}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 15.980 \text{ m}^3/\text{s}$$

A₂ Ara kesiti debisi

$$V_1 = 1.053 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0.907 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = 5.392 \text{ m}^3/\text{s}$$

A₃ Ara kesiti debisi

$$V_1 = 1.021 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0.961 \text{ m/s}$$

$$Q_1 = 5.713 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ek-4

Not : Öçü köprüden sapla, muline kullanilarak yapilmıştır. Hava açik ve akim köprü ayaklarına yakın yerlerde hafif türbülanslıdır.

7-32 ADAÖ-10
Aydın İli Büyük Menderes Nazilli Köprüsü İstasyonuna 28. 07. 2004 tarihli
numuneye ait rusubat analiz raporu

Örnek No	Akarsu Adı	İstasyon Adı	İstasyon No	Örnek			Malzeme Miktarı			
				Örnek Hacmi (cm ³)	Ağırlığı (g)	Kuru Ağırlığı (g)	Kil+Silt (g)	Kum (g)		
1	B.Menderes	Nazilli Köprüsü	07-32	370	401.4	0.044	109.62	0.038	0.006	
2	B.Menderes	Nazilli Köprüsü	07-32	367	357.8	0.035	97.82	0.031	0.004	
3	B.Menderes	Nazilli Köprüsü	07-32	377	375.8	0.039	103.76	0.032	0.007	
							Ortalama: 103.74			

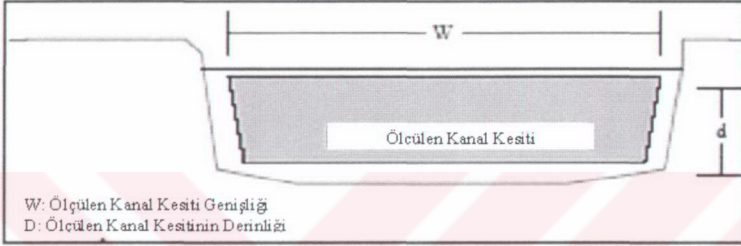
EK-5

ADAÖ Ölçümlerinde Kullanılan Temel Yapılandırma Özellikleri

ADAÖ Ölçüm Değerlendirme İstasyonu	Adı	Hücre Boyutu (cm)	Kullanılan Su Modu	Hücre Sayısı	Gönderimler arası zaman (s)	Dalga gönderildikten sonra boşluk mesafesi (cm)
-----	ADAÖ (1)	50	1	50	0.2	50
-----	ADAÖ (2)	50	1	50	0.2	50
-----	ADAÖ (3)	50	1	50	0.2	50
16-95	Apa (4)	10	5	50	0.2	25
07-70	Akçay Reg. Çıkış (5)	10	5	50	0.2	25
-----	Ypazar (6)	10	5 ve 8	50	0.2	25
-----	Aydın Reg. Çıkış (7)	10	5	50	0.2	25
-----	Aydın Reg. Çıkış (8)	10	5	50	0.2	25
07-70	Akçay Reg. Çıkış (9)	10	5	50	0.2	25
07-32	B.Menderes Nehri Nazilli Köprüsü (10)	Yüksek sediment konsantrasyonu nedeniyle alet ölçümü gerçekleştirilememiştir. Sediment konsantrasyonu alınan su numunelerinin ortalaması kabul edilirse: 103.74 ppm				

EK-7

Akustik Doppler Akım Ölçer (ADAÖ) Debi Ölçümü Hata Öngörüsü Eşitlikleri
(Marsden, 1993)



Şekil-1: ADAÖ ile ölçülen ölçüm kesiti

Ölçü kesiti için ADAÖ aletinden kaynaklanan hata:

$$\Delta Q_{ADAÖ} = \sigma_v (W h d v_b t)^{1/2} \quad (7.1)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Burada;

v_b : botun ortalama hızı,

σ_v : ADAÖ' nin tek ping standart sapması,

h: Hücre boyu,

t: Bir ping için geçen süre' yi ifade etmektedir.

Ölçü kesitinin tepe alt kesitinde ölçülemeyen kısımdan kaynaklanan öngörülen hata;

$$\Delta Q_{tepe} = \sigma_v l (W v_b t)^{1/2} \quad (7.2)$$

$$l = d_{ADAÖ} + d_{boşluk} + 1.5 h$$

Burada;

l: Tepe alt kesitinin kalınlığı,

$d_{ADAÖ}$: ADAÖ transduser derinliği,

$d_{\text{boşluk}}$: Boşluk mesafesi.

Benzeniz olarak, taban alt kesitinde öngörölen hata değeri için;

$$\Delta Q_{\text{taban}} = \sigma_v b (W v_b t)^{1/2} \quad (7.3)$$

eşitliği kullanılabilir.

Burada b değeri taban alt kesitinin kalınlığıdır.

b yerine daha büyük olan hücre boyu (h) kullanılabilir

veya

$$b = 0.06 (d_{\text{ort}} - d_{\text{ADAÖ}})$$

eşitliği ile taban alt kesiti kalınlığı hesaplanabilir.

d_{ort} : ortalama kesit derinliği

Taban ve tepe alt kesitleri için hata öngörüsü formülleri düşey hız profilinin sabit extrapolasyonları için geçerlidir. Ancak kuvvet kuralına göre extrapolasyonlarda da kullanılabilir.

Bir kıyı alt kesiti için öngörölen hata değeri;

$$\Delta Q_{\text{kenar}} = \sigma_v 0.707 L d_m / 2 (h / dw_p)^{1/2} \quad (7.4)$$

eşitliği kullanılabilir.

Burada; L : ADAÖ'nin kıyıya olan mesafesi,

d_m : Bu noktadaki derinlik

w_p : Düşeydeki ping sayısı

Dik şev için 0.707 değeri, 0.91 olarak alınır.

Türbölans ve farklı yönlü akım gibi debi ölçüm hataları hesaba katılmamıştır.

Toplam ADAÖ ölçüsü öngörölen hatası;

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{ADAÖ}} + 2\Delta Q_{\text{tepe}} + \Delta Q_{\text{taban}} + \Delta Q_{\text{kıyı1}} + \Delta Q_{\text{kıyı2}} \quad (7.5)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

ADAÖ Debi Ölçümleri ve İlişkili Anahtar Değerlerinin Karşılaştırılması (Morlock, 1996)

ADAÖ İçü No	İstasyon Adı	Debi Değeri (m ³ /s)		
		ADAÖ Ölçümü (m ³ /s)	İstasyon Anahtar Değeri (m ³ /s)	ADAÖ ölçümünün anahtardan % farkı
1	Brazos River at State Highway 21 near Bryan, Tex.	21,47	21,75	-1,3
2	Brazos River at State Highway 21 near Bryan, Tex.	21,10	21,75	-3,0
3	Clark Fork at St. Regis, Mont.	121,49	126,87	-4,2
4	Clark Fork at St. Regis, Mont.	124,04	126,87	-2,2
5	Kootenai River below Libby Dam near Libby, Mont.	109,32	111,30	-1,8
6	Kootenai River below Libby Dam near Libby, Mont.	109,88	111,30	-1,3
7	Kootenai River below Libby Dam near Libby, Mont.	107,05	111,30	-3,8
8	Kootenai River below Libby Dam near Libby, Mont.	107,62	111,30	-3,3
9	Willamette River at Salem, Oreg.	393,65	399,31	-1,4
10	Willamette River at Salem, Oreg.	402,14	399,31	0,7
11	Snohomish River near Monroe, Wash.	461,62	453,12	1,9
12	Snohomish River near Monroe, Wash.	455,95	453,12	0,6
13	Snohomish River near Monroe, Wash.	475,78	472,94	0,6
14	Snohomish River near Monroe, Wash.	470,11	470,11	0,0
15	Susquehanna River at Harrisburg, Pa.	1568,93	1512,29	3,7
16	Susquehanna River at Harrisburg, Pa.	1682,21	1693,54	-0,7
17	Susquehanna River at Harrisburg, Pa.	1693,54	1693,54	0,0
18	Oswego River at Lock 7, Oswego, N.Y.	467,28	436,13	7,1
19	Oswego River at Lock 7, Oswego, N.Y.	467,28	436,13	7,1
20	Connecticut River at North Walpole, N.H.	464,45	504,10	-7,9
21	Connecticut River at North Walpole, N.H.	470,11	504,10	-6,7
22	Connecticut River at North Walpole, N.H.	455,95	492,77	-7,5
23	Connecticut River at North Walpole, N.H.	461,62	498,43	-7,4
24	St. Joseph River at Elkhart, Ind.	72,78	72,78	0,0
25	St. Joseph River at Elkhart, Ind.	73,07	72,78	0,4
26	St. Joseph River at Elkhart, Ind.	73,63	72,78	1,2
27	St. Joseph River at Elkhart, Ind.	72,50	72,78	-0,4
28	Kankakee River at Shelby, Ind.	64,57	66,27	-2,6
29	Kankakee River at Shelby, Ind.	65,70	66,27	-0,8
30	Illinois River at Marseilles, Ill.	356,83	345,50	3,3
31	Illinois River at Marseilles, Ill.	354,00	345,50	2,5

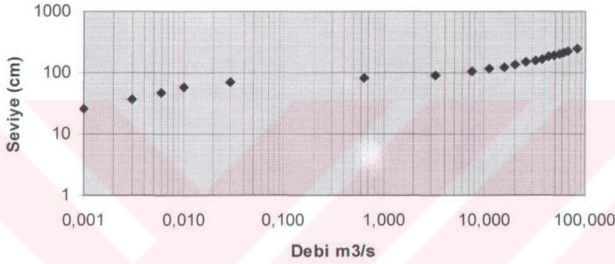
16 - KONYA KAPALI HAVZASI

16-95 - APA BARAJI-ÇIKIŞI

6 . Anahtar serisi (Seviyeler cm. - Akımlar m3/sn.)

Seviye	Akım	Seviye	Akım	Seviye	Akım	Seviye	Akım
26	0.001	81	0.628	136	20.4	191	49.1
37	0.003	92	3.26	147	25.9	202	55.1
48	0.006	103	7.38	158	31.9	213	61.2
59	0.010	114	11.2	169	37.5	224	67.4
70	0.030	125	15.6	180	43.0	250	84.0

16-95 6 Nolu Anahtar



uzun Yıllar Ortalama Akım Değerleri

AYLAR	EKİM	KASIM	ARALIK	OCAK	SUBAT	MART	NISAN	MAYIS	HAZIRAN	TEMMUZ	AGUSTOS	EYLUL	TOPLAM
ORT	5,917	2,575	2,203	2,092	2,013	4,965	21,540	31,958	18,908	19,674	16,788	4,942	11,131

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan AKSU

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1975

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise :1989 -1993 Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesi

Lisans :1993-1997 İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Müh. Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

1993-2000 DMİ Genel Müdürlüğü (Rasatçı)

2000- DSİ Genel Müdürlüğü (Mühendis)