

2. ATIKSU DEBİLERİNİN ÖLÇÜMÜ

Atıksu deşarj, toplama ve arıtma sistemlerinin tasarımında temel adım atıksu debisinin belirlenmesidir. Bu sistemlerin düzgün çalışabilmesi, yatırım maliyetlerinin minimize edilebilmesi ve sistemlerin birden fazla gurup tarafından paylaşılması halinde katılım paylarının belirlenebilmesi için mevcut debi ve tahmin edilen debi hakkında fiili ölçümlere güvenilir bilginin elde edilmiş olması gerekir. Atıksu debisinin belirlenemediği durumlarda debi, su sarfiyatı, nüfus ve endüstri ile ilgili istatistikî bilgilere dayanılarak hesaplanır.

2.1. Debi Ölçümleri

Atıksu arıtma tesislerinde atıksu debisinin rutin ölçümü, tesisin tasarım ve işletme kontrolünün sağlıklı yapılabilmesi için esastır. Ortalama ve günlük debi değişimlerinin bilinmesinin sağladığı faydalar şu şekilde özetlenebilir:

- Sisteme ilave edilecek günlük kimyasal madde miktarının belirlenmesi.
- Sisteme verilecek hava miktarının belirlenmesi.
- Çamur geri devir oranının tespiti.
- Tesisin büyütülmesi söz konusu olduğunda mevcut debi kayıtlarının oluşturulması.
- Günlük kurak hava şartlarında belirlenen önemli debi artışları; infiltrasyon veya kanalizasyon sistemine endüstriyel atıksu deşarj ve nüfus artışı hakkında bilgi edinilmesi.
- Yağışlı hava şartlarında ortaya çıkan önemli debi artışından hareketle yağmur suyu katkısının tahmini.

2.1.1. Debi Ölçüm Cihazlarının Yerleştirilmesi

Atıksu arıtma tesislerinde uygun bir debi ölçüm cihazının konulabileceği yerler aşağıda sıralanmıştır (1):

- kanal üstü ve kontrol bacası,
- arıtma tesisinin girişi,
- çubuk ızgaranın, kum tutucunun veya ön çöktürmenin çıkışı,
- pompa istasyonunun ana terfi hattı,
- alıcı ortama deşarj öncesi.

Bu hususlardan her birinin fayda ve mahzurları vardır. Bu yüzden, bazı özel şartlar göz önüne alınarak ölçüm cihazının yerleştirebileceği konuma karar verilir. Genellikle farklı yerlere birden fazla debi ölçüm cihazı yerleştirilir. Tablo 2.1’de akım ölçüm cihazlarının arıtma tesisindeki konumlarına göre işletme özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.1 Debi ölçüm cihazlarının uygulama yerine göre işletme özelliklerinin kıyaslaması (2)

Debi ölçüm cihazının Konumu	Ölçüm, akımdaki dalgalanmalardan etkileniyor mu?	Ölçüm, arıtılan ortalama debi miktarını temsil ediyor mu?	Ölçüm, katı parçacıklardan etkileniyor mu?	Ölçüm, kum ve diğer çökelebilen katılardan etkileniyor mu?	Ölçüm, tesis işletmesinde yararlı mı?	Ölçüm, deşarjın yapılacağı alıcı ortam için yararlı mı?
Kanalların kesişme noktası veya kontrol bacası	Evet	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır
Arıtma tesisinin girişi	Evet	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır
Kaba ızgara mansabı	Evet	Hayır	Hayır	Evet	Evet	Hayır
Kum tutucu veya çöktürme çıkışı	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Evet	Hayır
Deşarj öncesi	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Evet

2.1.2. Debi Ölçüm Yöntemi ve Ölçme Cihazları

Atıksu deşarj debisinin ölçümünde kullanılan yöntemler iki ana başlıkta toplanır:

- Basınçlı borularda
- Açık kanallarda

Tablo 2.2’de akışkanın hız ölçümünde kullanılan farklı yöntemler ve ölçme cihazları sınıflandırılmıştır.

Tablo 2.2 Su ve atıksu debisi ölçümünde kullanılan cihazlar

Debi ölçüm cihazı	Ölçüm prensibi
1. Basınçlı borularda	
a. Venturi metre	Basınç değişimi ölçülür.
b. Ölçüm ağzı (nozzle)	Basınç değişimi ölçülür.
c. Orifis metre	Basınç değişimi ölçülür.
d. Elektromanyetik metre	Manyetik alan oluşturulur voltaj ölçülür.
e. Türbin metre	Türbin kullanılır.
f. Akustik esaslı debimetre	Hız ve akışkan seviyesini ölçmede ses dalgası kullanılır.
2. Açık kanallarda	
a. Kanal	Kanalda kritik derinlik ölçülür.
b. Savak	Savak arkasındaki su yüksekliği ölçülür.
c. Derinlik ölçümü	Akımın derinliğini ölçmede yüzgeç kullanılır.
g. Akustik esaslı debimetre	Hız ve sıvı seviyesini ölçmede ses dalgası kullanılır.
3. Açık akışlı enjektör (Kennison enjektörü veya Kaliforniya boru yöntemi)	Serbest düşme ucundaki akış derinliği ölçülür.

Debi ölçüm yönteminin belirlenmesinde dikkate alınması gereken hususlar şu şekilde özetlenebilir:

- Akım hızı aralığı,
- Akım şartları (sürekli veya kesikli),
- Maksimum işletme basıncı ve basınç düşmesi,
- Atık suyun yapısı (katı, yağ, aşındırıcı madde vb. içeriği),
- Bakım yöntemleri ve sıklığı,
- Ölçme yönteminin kolay ölçülebilir tek bir parametreye bağlı olmasıdır.

Ölçümde kullanılan cihazın özelliklerine bağlı olarak debi hesabı yapılır. Aşağıda, basınçlı boru ve açık kanal akımında debi ölçümünde kullanılan bazı cihazların hesap esasları hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

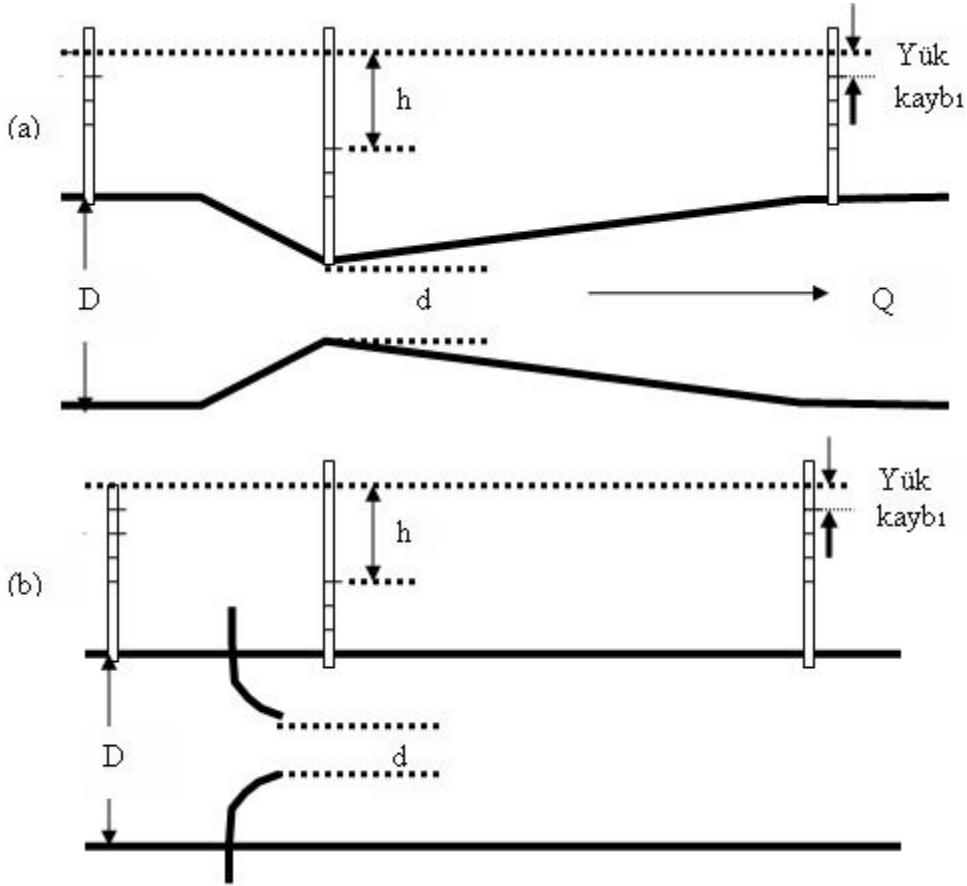
2.1.2.1. Basınçlı Borularda Debi Ölçüm Cihazları

Venturi debi ölçer: Basınç farkı ölçme prensibine dayanır. (Şekil 2.1.a). İki musluklu basınç ölçme birimini birleştiren daralmış bir borudan oluşur. Boğaza giriş ve boğaz kısmındaki basınç farkı akış katsayısı ile orantılıdır.

Venturi kanalı boyunca sürekli basınç düşüşünün, ölçülen farkın sadece %10'u olması Venturi debi ölçerinin kullanılmasının temel nedenidir.

Venturi metreler için ASME (3) tarafından önerilen oranlar:

- giriş konik kısım için $\alpha_1 = 21 \pm 2^\circ$,
- çıkış konik kısım için $\alpha_2 = 5-15^\circ$,
- boğaz uzunluğu = bir boğaz çapı,
- boğaz öncesi basınç ölçme noktası = giriş konisinin 0.25-0.5 boru çapı öncesidir.



Şekil 2.1. Basınçlı borular için debi ölçme cihazları (a) Venturi (b) Ölçüm ağızı.

ASME Araştırma Komitesinin akışkan hızı ölçümü için uyguladığı pratik bağıntı aşağıda verilmiştir (4):

$$Q_m = Q - \rho_1 = KYA_2 \sqrt{2g_c(p - p_1)\rho_1} \quad (2.1)$$

Burada;

A	: boğaz kısmının kesit alanı, (uzunluk ²)
g_c	: boyutsuz sabit
K	: akış katsayısı, $C/\sqrt{1-\beta^4}$
C	: deşarj katsayısı, boyutsuz
p_1, p_2	: boğaz öncesi ve sonrasında ölçülen statik basınçlar, (kuvvet/uzunluk ²)
Q	: boğaz öncesi basınç ve sıcaklıktaki hacimsel debi, (hacim/zaman)
Q_m	: kütleli debi, (kütle/zaman)
Y	: genişleme faktörü, boyutsuz (sıvılarda 1 alınır)
β	: boğaz çapının boru çapına oranı d/D , boyutsuz
d	: boğaz kısmının çapı, (uzunluk)
D	: boru çapı, (uzunluk)
ρ_1	: boğaz öncesi basınç ve sıcaklıktaki yoğunluk, (kütle/uzunluk ³)

Deşarj katsayısı C, Herschel tipi Venturi metrede Reynolds sayısına ve Venturi boyutuna bağlıdır. C sabitinin hesaplanmasında kullanılan formüller bu bölümde verilmiştir.

Sürekli basınç kaybı, Herschel tipi Venturi metrelerde çap oranı (β), ve çıkış konisi açısına (α_2) bağlıdır:

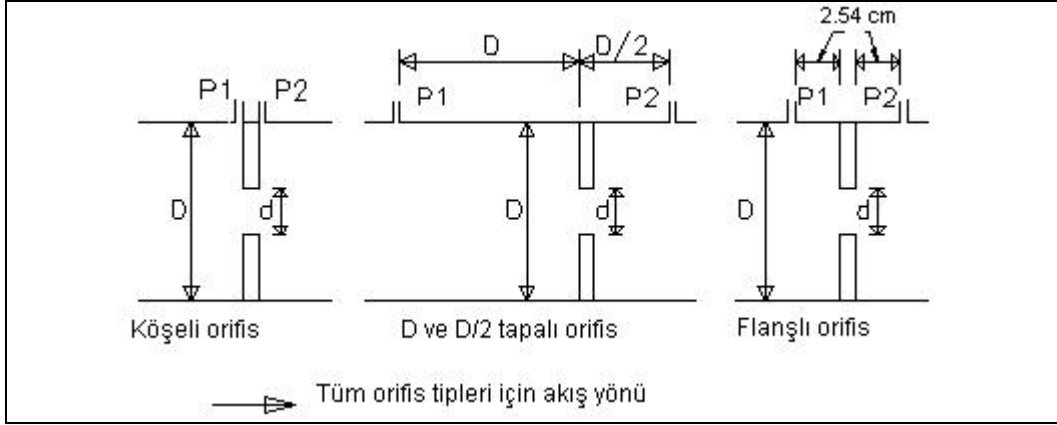
- Küçük açılarda ($5-7^\circ$) basınç farkının ($p-p_1$) %10-15'i
- Büyük açılarda (15°) basınç farkının ($p-p_1$) %10-30'u

Piyasada kısa tüplü birçok Venturi metre mevcuttur, bunlar Herschel tipi Venturi metrelere kıyasla daha küçük yerlere monte edilebilmesine rağmen aynı zamanda basınç kaybına da sebep olabilmektedir. Deşarj katsayısı C, tipe göre çok farklılık gösterir bu nedenle üreticinin kalibrasyonu mevcut değilse tekil kalibrasyon önerilmektedir.

Ölçüm ağızı (nozzle): Basit bir ölçüm ağızı Şekil.2.1.b'de verilmiştir. Ölçüm ağızı ani açılan kısa bir silindirden meydana gelir. Açılan kısmın kesiti eliptik veya silindirik olabilir. Boğaz kısmının düz bölümünün uzunluğu boğaz çapının yaklaşık yarısı; ağız öncesi basınç musluğu, ağızın iç yüzeyinden bir boru çapı uzaklıkta; ağız sonrası basınç musluğu ise ağızın iç yüzeyinden yarım boru çapı uzaklıkta olmalıdır. Sesten düşük hızdaki akışlarda 2 ve 3 noktalarındaki basınç pratik olarak eşittir. Ölçüm ağızının iç yüzü konik seçilirse, giriş ve boğaz kısımlarının geometrisi Herschel tipi Venturi metre ile aynı alınabilir.

Ölçüm ağızında kritik altı akım şartlarında akım hızı, Venturi metreler için verilen bağıntı ile (2.1) hesaplanabilir. Bu bağıntıda deşarj katsayısı, C, Reynolds sayısına ve çap oranı β 'ya bağlıdır. Deşarj katsayısının hesaplanması bu bölümde verilmiştir.

Orifis metreler: Orifis metrelerde debi ölçme, aralıklı plaka boyunca basınç farkı (p_1-p_2) ölçme prensibine dayanır. İki boruyu bağlayan flanşlara monte edilir. Borunun büyüklüğüne göre küçük çaplı ($D<5\text{cm}$) ve büyük çaplı ($D>5\text{cm}$) orifisler mevcuttur. Orifislerde basınç musluklarının yeri deşarj katsayısını etkiler. Flanşlı orifislerde basınç muslukları orifisten her iki tarafa doğru 2.54 cm uzaklıktadır. Köşeli orifislerde ise musluklar orifisin hemen yanındadır. Büyük çaplı orifislerde, basınç ölçme musluklarının, aralığa D ve D/2 uzaklıkta yerleştirilen tipleri de vardır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Orifis metrelerde basınç ölçme musluklarının yerleşimi.

Orifis metrelerde akışkan hızının belirlenmesinde (2.1) bağıntısı kullanılabilir. Orifis metrelerde bu bağıntıların kullanılmasında Re sayısının üst limitinin olmaması bir üstünlük olmakla birlikte, bu sistemlerde Venturi metre ve ölçme ağızlarına kıyasla basınç kaybının yüksek olması bir mahzur olarak görülmektedir. Statik basınç kaybı 2.2 bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$\omega = \frac{\sqrt{1-\beta^4} - C\beta^2}{\sqrt{1-\beta^4} + C\beta^2} (p_1 - p_2) \quad (2.2)$$

Burada;

ω : orifisin D mesafe öncesinde ve $6D$ mesafe sonrasında oluşan statik basınç kaybı (kuvvet/uzunluk²)

Orifisli boru sistemi tasarımında yersel yük kaybının hesaplanmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılır:

$$K_m = \frac{2\omega}{\rho V^2} \quad (2.3)$$

Burada;

K_m : yersel yük kaybı katsayısı, (boyutsuz)

V : borudaki akım hızı, (uzunluk/zaman)

$$h = K_m V^2 / 2g \quad (2.4)$$

h : yük kaybı, (uzunluk)

g : yerçekimi ivmesi, (uzunluk/zaman²)

Elektromanyetik debi ölçer: Elektromanyetik debi ölçerler (magmetre), fizikte Faraday'ın Elektromanyetik İndüksiyon prensibine göre çalışır. Faraday kanununa göre herhangi bir iletici bir manyetik alandan geçerken oluşan voltaj bu ileticinin hızı ile orantılıdır. Elektromanyetik debimetrelerde iletici atıksudur.

Manyetik debi ölçer, yalıtılmış manyetik olmayan bir tüp ve bunun üstüne karşılıklı monte edilmiş iki adet elektromanyetik sargıdan oluşmuştur. Sargıdan geçen alternatif akım, hareketli bir iletici gibi davranan akışkanda alternatif akım voltajı oluşturur.

Elektrotlarda algılanan alternatif akım voltajı akışkanın akım hızı ile orantılıdır. Burada akışkan elektrik akımının taşıyıcısı olarak davrandığından taşıyıcı olmayan akışkanlar için elektromanyetik debi ölçer kullanılamaz.

Elektromanyetik debi ölçer kullanımında dikkate alınması gereken hususlar şunlardır:

- Boruda tam dolu akış gerçekleşmelidir; aksi takdirde akım hızı gerçek değerinden daha yüksek okunur,
- 0.3 m/s'nin altındaki akım hızlarında güvenilirlik azalır.

Tam dolu akış halindeki bir boruda, boru çapı mm ve akım debisi m³/saat olarak alınırsa, borudaki akım hızı m/sn olarak aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunabilir (8):

$$V = 354 Q/D^2 \quad (2.5)$$

Burada;

D : Boru çapı, uzunluk
Q : Debi, uzunluk³/zaman
V : Akım hızı, uzunluk/zaman

Elektromanyetik metrelerin güvenilirliği çok yüksektir. Bu nedenle, geniş bir debi aralığında kullanılabilir. Düz bir parça borudan ibaret olduğu için ilave bir yük kaybı yoktur. Performansları, sıcaklık, iletkenlik, viskozite, türbülans ve askıda katı madde parametrelerinden etkilenmez. En büyük mahzurları ise ilk yatırım maliyeti ile işletme ve bakım için eğitilmiş bir personelin sürekli istihdamıdır.

Türbin metre: Türbin metrelerde dönme hızı suyun akış hızına eşit hızda dönen bir türbin vardır. Bu cihazın kullanımı, borunun tam dolu ve basınç altında olması ile sıvıda askıda katı madde içeriğinin düşük olması koşulları ile sınırlıdır. Güvenilirliği ve akış aralığı yüksektir.

Akustik esaslı debimetre: Akustik esaslı debi ölçerlerle akım hızı ses dalgası ile ölçülür. Akustik esaslı debi ölçerler sıvı seviyesini, alanı ve gerçek hızı (ses dalgasının akımın iki noktası arasında gitme süresi) belirlerler. Hız ve alan yardımıyla deşarj debisi hesaplanır.

Akustik esaslı debi ölçerlerin üstünlüğü düşük yük kaybı, doğruluk, değişik boru çaplarında kullanılabilirlik, katılarla tıkanmama ve geniş bir akım hızı aralığında kullanılabilir olmasıdır.

Deşarj katsayısının hesaplanması: Debi katsayıların hesaplanması için literatürde birçok genelleştirilmiş formül bulunmaktadır. Ancak her bir debi ölçme yönteminde imalatçı firmaların geliştirdiği değişik tipleri olduğundan montaj ve hesaplamalarda imalatçı firma katalog verileri en iyi kaynaktır. Tablo 2.3'de deşarj katsayısının hesaplanmasında kullanılan bağıntılar ve bu bağıntıların kullanım şartları verilmiştir.

D ve d' ye göre Reynolds sayısı aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesaplanır (9):

$$\text{Re}_D = \frac{V_{boru} D}{\nu} \quad (2.6)$$

$$\text{Re}_d = \frac{V_{boğaz} d}{\nu} \quad (2.7)$$

Burada;

$V_{boru}, V_{boğaz}$: boru ve boğaz kısımlarındaki hızlar, (uzunluk/zaman)

ν : kinematik viskozite, (uzunluk²/zaman)

Tablo 2.3 Deşarj katsayısının hesaplanması

Ölçüm cihazı	Formül	Geçerlilik şartları
Venturi	$C=0.9858-0.196(d/D)^{4.5}$ (2.8)	$0.316 \leq d/D \leq 0.775$; $1.5 \times 10^5 \leq Re_D \leq 2 \times 10^6$ $6.5 \text{ cm} \leq D \leq 50 \text{ cm}$; $d \geq 5 \text{ cm}$; $k/D \leq 3.8 \times 10^{-4}$ (5),(6)
ISA 1932 ölçüm ağzı	$C=0.99-0.2262(d/D)^{4.1}-[0.00175(d/D)^2-0.0033(d/D)^{4.15}][10^6/Re_D]^{1.15}$ (2.9)	$5 \text{ cm} \leq D \leq 50 \text{ cm}$ $0.3 \leq d/D \leq 0.44 \rightarrow 7 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ $0.44 \leq d/D \leq 0.8 \rightarrow 2 \times 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ $k/D \leq 3.8 \times 10^{-4}$
Uzun gövdeli ölçüm ağzı	$C=0.9965-0.00653[(10)^6(d/D)/Re_D]^{0.5}$ (2.10)	$5 \text{ cm} \leq D \leq 63 \text{ cm}$ $0.2 \leq d/D \leq 0.8, 10^4 \leq Re_D \leq 10^7$ $k/D \leq 10^{-3}$
Küçük borulu orifis ($D < 5 \text{ cm}$)	Köşe tipli: $C=\{0.5991+\frac{0.0044}{D}+(0.3155+\frac{0.0175}{D})[(d/D)^4+2(d/D)^{16}]\} \sqrt{1-(d/D)^4}$ $+ \{ \frac{0.52}{D} -0.192+(16.48-1.16/D)[(d/D)^4+4(d/D)^{16}] \} \sqrt{\frac{1-(d/D)^4}{Re_D}}$ (2.11)	$1.2 \text{ cm} \leq D \leq 4 \text{ cm}$ $0.1 \leq d/D \leq 0.8$
	Flanş tipli: $C=\{0.598+0.468[(d/D)^4+10(d/D)^{12}]\} \sqrt{1-(d/D)^4} + [0.87+8.1(d/D)^4] \sqrt{\frac{1-(d/D)^4}{Re_D}}$ (2.12)	$2.5 \text{ cm} \leq D \leq 4 \text{ cm}$ $0.15 \leq d/D \leq 0.7$ $Re_D > 1000$

Tablo 2.3 (devamı)

Ölçüm cihazı	Formül	Geçerlilik şartları
Geniş borulu orifis(D>5cm)	$C=0.5961+0.0261\beta^2 - 0.261\beta^8 + 0.000521 \left(\frac{10^6 \beta}{Re_D} \right)^{0.7} + \left[0.0188 + 0.0063 \left[\frac{19000\beta}{Re_D} \right]^{0.8} \right] \left[10^6 / Re_D \right]^{0.3} \beta^{3.5}$ $+ \left[0.043 + 0.08 - e^{-L_1} - 0.123 - e^{-7L_1} \right] - \left[1 - 0.11 \left[19000\beta / Re \right]^{0.8} \right] \frac{\beta^4}{1 - \beta^4}$ $- 0.031 \left[2L_2' / (1 - \beta) - 0.8 \left[\frac{2L_2'}{1 - \beta} \right]^{1.1} \right] - \beta^{1.3} \quad (2.13)$ <p>D<0.07112m ise: +0.011(0.75-β)[2.8 - (D/0.0254)] bu terim ilave edilir. (2.14)</p>	<p>Köşe tiplide: $L_1 = L_2 = 0$</p> <p>D ve D/2 tiplilerde: $L_1=1$ and $L_2 = 0.47$</p> <p>$d \geq 1.25$ cm, $5\text{cm} \leq D \leq 1\text{m}$, $0.1 \leq d/D \leq 0.75$</p> <p>Köşe tiplide veya D ve D/2 tiplilerde: $0.1 \leq d/D \leq 0.5$ de $Re_D \geq 4000$, $d/D \geq 0.5$ de $Re_D \geq 16\,000(d/D)^2$ $k/D \leq 3.8 \times 10^{-4}$</p> <p>Flanş tiplilerde: $Re \geq 4000$ ve $Re \geq 170,000$ $D(d/D)^2$ (D metre)</p> <p>Flanş veya D ve D/2 tipliler için $k/D \leq 10^{-3}$</p>

k: eşdeğer pürüzlülük yüksekliği, mm, (boru malzemesinin cinsine, yeniliğine göre çok pürüzsüz yüzeylerde $k \leq 0.03$ olmak üzere 0.03-1.5 mm arasındadır.)

2.1.2.2. Açık Kanallarda Debi Ölçümü

2.1.2.2.1. Savak Kanalları

Savak kanallar, açık kanallarda debi ölçümünde kullanılırlar. Genişlikleri birkaç cm ile 15m arasında, daralma kısmında ise su derinliği birkaç cm ile 2m arasında olabilir. Savak kanallarını klasik savaklara kıyasla daha düşük yük kaybı üstünlüğü yanı sıra, kurulma ve hesaplamaların daha karmaşık olması gibi mahzurları da vardır.

Kanallarda su seviyesi, daralma bölümünde ölçülür. Parshall kanalında ölçüm, daralma kanalının 2/3 mesafesinde; dikdörtgen, trapez ve U kanallarda ise boğazdan ve beklenen maksimum savak yükünün 3-4 katı uzaklıkta ölçülür. Bu üç kanalda savak yükü, pozisyonla fazla değişmediğinden, Parshall kanalında olduğu gibi tam bir ölçüm yerinin olması fazla önem arz etmemektedir.

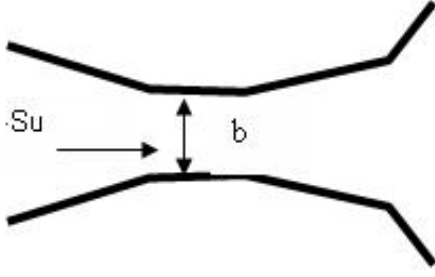
Bu bölümde, uygulamada ağırlıklı olarak kullanılmakta olan Parshall, dikdörtgen, trapez ve U kesitli kanalları ile ilgili hesaplamalar verilmiştir. Bunlardan her birinin montaj, savak yükü ölçümleri, çökme ve analizleme ile ilgili fayda ve mahzurları vardır. En yaygın olarak Parshall kanalı kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda gelişen yeni kanal tasarımları, Parshall kanallarının montaj zorlukları ve tortulanma eğilimi nedenleri ile daha fazla tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu bölümde verilen hesaplama yöntemleri ISO, ASTM ve USBR standartlarından alınmıştır (10), (11), (12), (13). Bu bağıntılar teorik bağıntıların deneysel gözlem sonuçlarına göre uyarlanmasıyla oluşturulmuştur. Parshall kanalları için batmış ve batmış olmayan şartlar, dikdörtgen, trapez ve U kanallar için ise sadece batmış olmayan şartlar için bağıntılar verilmiştir. Batmış olmayan durum boğaz kısmında su seviyesindeki düşüşün gözle fark edildiği durumdur.

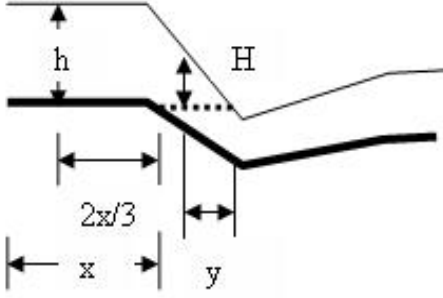
Parshall(Venturi) kanalı: Parshall kanalı, bu tür savak kanallar arasında en geniş kullanımlı olanıdır ve 1930'larda tasarlanmasından bu yana kanal ölçümlerinde standart olmuştur. Parshall kanalının en önemli üstünlüğü yük kaybının düşük olması ve kendi kendini temizleme kapasitesidir. Parshall kanalı üç bölümden oluşur: daralma bölümü, boğaz ve genişleme bölümü. Serbest akışlı ve batmış olmak üzere iki tipi mevcuttur (Şekil 2.3). Parshall kanalı boyutlandırması ISO 9826(10) ve ASTM D1941 (1991)(11) standartlarında verildiği gibi yapılmalıdır.

Kanallar sıvı akışını, kritik altından süper kritik özelliğine geçirmek üzere tasarlanmıştır. Parshall kanalı durumunda ise bu geçiş boğaz kısmında daralma ve düşüş ile sağlanır. Bu dönüşüm akımın kanal boğazında kritik bir derinlikten geçmesine neden olur. Kritik derinlikte enerji minimuma iner. Kritik derinlik akış hızına bağlıdır ve hızın kesin yerinin tespit zorluğu nedeniyle bu derinliğin ölçümü fiziksel olarak çok zordur. Diğer taraftan boğaz öncesi derinlik kütle korunumu nedeniyle kritik derinlik ile ilişkilidir. Bu nedenle akış hızı boğaz öncesi derinliğin ölçümü ile hesaplanır.

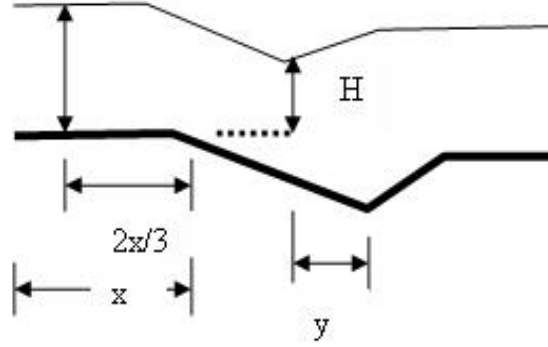
Serbest akışlı Parshall kanalında debi hesabı: Bu halde boğaz kısmında hidrolik sıçrama gözle net olarak fark edilir. Yani boğaz sonrası su seviyesi, boğaz öncesi su seviyesinden belirgin derecede fark edilecek kadar düşüktür.



$y=0.05\text{m}$, $b<3.05\text{m}$ için
 $y=0.305\text{m}$, $b\geq 3.05\text{m}$ için



Serbest akış
 $H/h \leq 0.6$, $b < 3.05\text{m}$ için
 $H/h \leq 0.8$, $b \geq 3.05\text{m}$ için



Batık akış
 $H/h > 0.6$, $b < 3.05\text{m}$ için
 $H/h > 0.8$, $b \geq 3.05\text{m}$ için

2.3. Parshall kanalının şematik görünümü

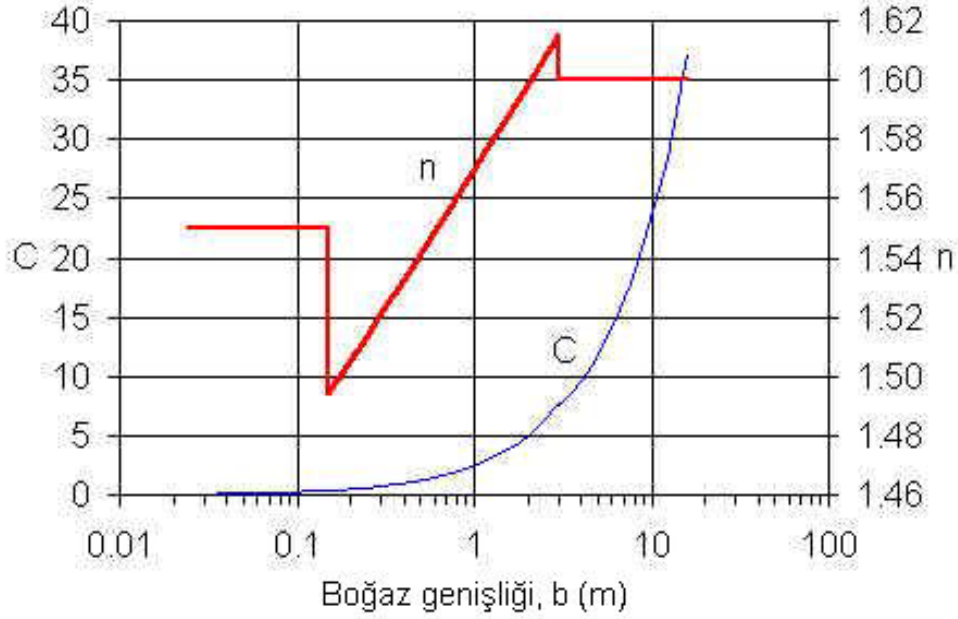
Serbest akışlı Parshall kanalında debi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$Q = C h^n \quad (2.15)$$

Burada;

- Q : Hacimsel hız, debi, m^3/saniye
- h : Boğaz öncesi derinlik, m
- C : Parshall kanalı sabiti, ampirik
- n : Parshall kanalı üs sabiti, birimsiz
- b : Boğaz genişliği, m

C ve n sabitleri Şekil 2.4'deki grafikten bulunabilir.



Şekil 2.4. Parshall kanalı sabitleri

Batmış akışlı Parshall kanalında debi hesabı: Bu halde boğaz kısmında hidrolik sıçrama gözle fark edilemeyecek, yani boğaz sonrası su seviyesinin, sıçramanın fark edilemeyeceği kadar yüksek olduğu akış şartları hakimdir. Batmış akışlı Parshall kanalında debi aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$Q = C h^n - Q_e \quad (2.16)$$

Burada;

Q_e : batmışlığın debiyi azaltma payı, m^3/sn

$b < 3.05$ m için (2.16) bağıntısındaki Q_e için aşağıdaki bağıntı verilmektedir:

$$Q_e = 0.07 b^{0.815} \left[\left(\frac{h}{0.305 \left(\left(\frac{1.8}{H/h} \right)^{0.8} - 2.46 \right)} \right)^{4.57 - 3.14H/h} + H/h \right] \quad (2.17)$$

Burada;

H : Boğaz sonrası ölçülen su seviyesi, m, (sadece kanal batmışsa gereklidir)

H/h : Batmışlık oranı, ($b < 3.05$ için $H/h > 0.6$ veya $b \geq 3.05$ için $H/h > 0.8$ ise kanal batmıştır)

$b \geq 3.05$ m için Q_e :

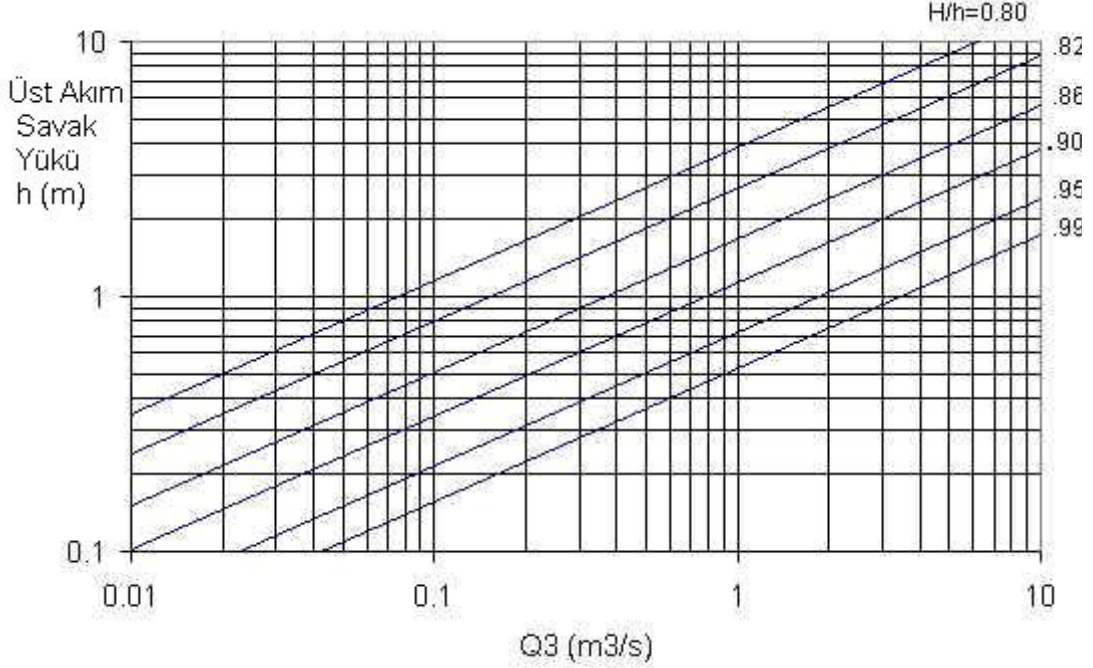
$$Q_e = C_s Q_3 \quad (2.18)$$

$$C_s = (0.3281) b \quad (2.19)$$

Burada;

Q_3 : Q_e yi hesaplamak için akış faktörü, m^3/sn ($b \geq 3.05$ için).

Batmış Parshall kanalı için C ve n sabitleri Şekil 2.4'deki grafikten, Q_3 , ise H/h 'nin ve h 'nin fonksiyonu olarak Şekil 2.5'deki grafikten bulunabilir.



Şekil 2.5 Genişliği 3.05 m'den büyük batmış Parshall kanalı için Q_3 sabiti

Dikdörtgen kanal: Dikdörtgen en kesitli kanalın şematik görünümü Şekil 2.6'da verilmiştir. Hesaplamaların sırası aşağıdaki gibidir (ISO 4359 1983):

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (2.20)$$

$$A = B(P+h) \quad (2.21)$$

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhC_vC_d}{A} \text{ buradan } C_v \text{ bulunur.} \quad (2.22)$$

$$Q = bC_dC_v \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g}, \quad (2.23)$$

$$V = \frac{Q}{A}, \quad (2.24)$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{gh}} \quad (2.25)$$

C_v sadece ($h b C_d/A < 0.93$) ise çözülebilir.

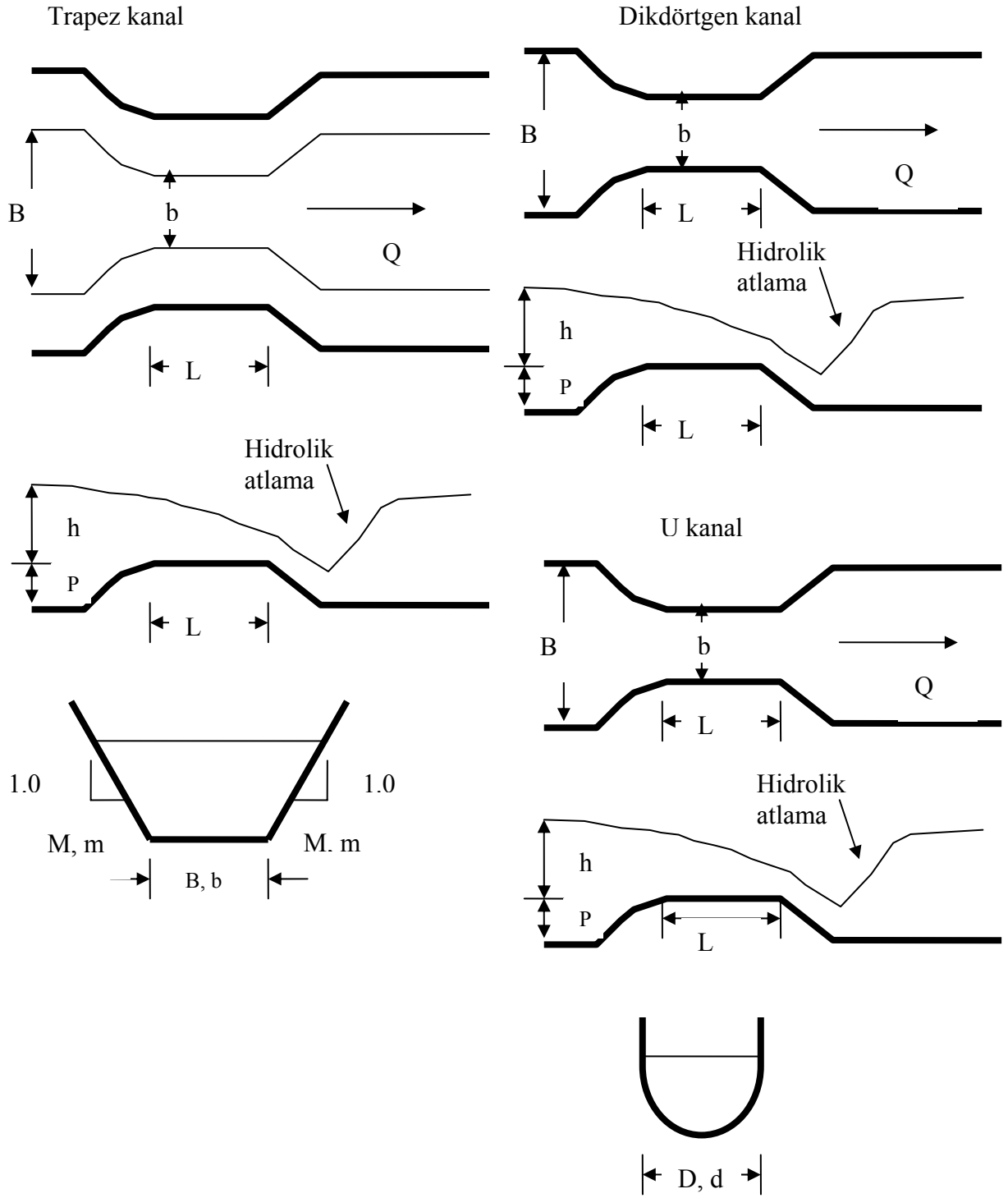
Burada;

- A : Daralma kısmında enine kesit alan, m^2
- b : Boğaz kısmı taban genişliği, m
- B : Daralma kısmı taban genişliği, m
- C_d : Dikdörtgen, trapez ve U kanallarda deşarj katsayısı, birimsiz
- C_v : Dikdörtgen, trapez ve U kanallar için daralma hızı sabiti, birimsiz
- F : Daralma kanalı akışı için Froude sayısı, birimsiz
 $F < 1$ yavaş veya kritik altı akış, $F > 1$ hızlı veya süper kritik akış
- g : Yer çekimi ivmesi, 9.8066 m/sn^2
- h : Ölçülen su seviyesi, m, eşik varsa su yüzeyi ve eşik arasındaki dikey mesafe
- L : Boğaz kısmının uzunluğu, m
- P : Eşik yüksekliği, m
- Q : Kanal boyunca akış hızı, m^3/sn
- V : Daralma kısmında hız, m/sn

Bu hesaplamaların için ISO 4359'un önerdiği şartlar şunlardır:

$$h \leq 2m, \quad 0.1m \leq b \leq B, \quad F \leq 0.5, \quad h/b \leq 3$$

$$(bh)/[B(P+h)] \leq 0.7, \quad h/L \leq 0.5 \quad h \geq 0.05 \text{ veya } h \geq 0.05L \text{ (hangisi büyükse)}$$



Şekil 2.6 Trapez, dikdörtgen ve U kanalın şematik görünümü

Yamuk (trapez) kesitli kanal: Trapez kanalda hesaplamaların sırası aşağıdaki gibidir (ISO 4359, 1983):

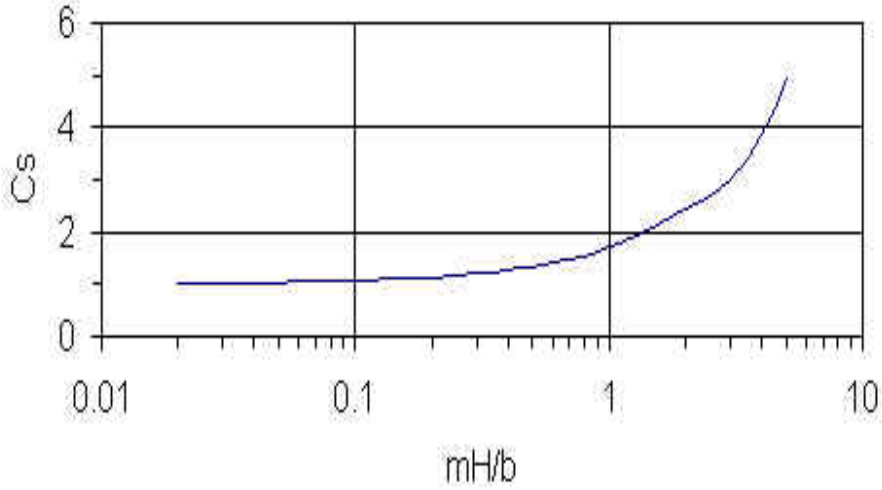
$$k = \sqrt{1 + m^2} - m \quad (2.26)$$

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006kL}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (2.27)$$

$$A = (P+h)[B + M(P+h)] \quad (2.28)$$

$$T = B + 2M(P+h) \quad (2.29)$$

H = h alınır, Cs ise Şekil 2.7'deki grafikten bulunur. Bu grafik $0.02 < mH/b < 5$ aralığında geçerlidir.



Şekil 2.7 Trapez kanalda Cs nin bulunması ($0.02 < mH/b < 5$)

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{bhC_vC_s}{A} \quad (2.30)$$

bu bağıntıda Cv bulunur. Daha sonra,

$$Q = bC_dC_sC_v \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} \quad (2.31)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.32)$$

$$F = V \sqrt{\frac{T}{gA}} \quad (2.33)$$

Burada;

- H : Toplam su seviyesi, m, $H = h C_v^{2/3}$
 K : Trapez kanal hesaplarında kullanılan bir sabit, boyutsuz,
 m : Trapez kanal boğaz kısmı eğimi, (yatay/dikey)
 M : Trapez kanal daralma kısmı eğimi, (yatay/dikey)
 T : Daralma kısmı tavan genişliği, m.

C_v sadece $h b C_s/A < 0.93$ ise hesaplanabilir. C_s ve C_v H ve h 'nin fonksiyonu olduğundan $H = h C_v^{2/3}$, C_s , C_v , ve Q tekrardan hesaplanmalıdır. ISO 4359 Q yu üç defa hesaplamayı önermektedir. Ancak trapez kanal üreticileri dördüncü haneye kadar Q 'nun hesaplanmasına devam edilmesini önermektedirler. Sonuç olarak Q 'dan V ve F hesaplanır.

Bu hesaplamaların için ISO 4359'un önerdiği şartlar şunlardır:

$$h \leq 2m, \quad 0.1m \leq b < B, \quad F \leq 0.5, \quad h/L \leq 0.5$$
$$h \geq 0.05 \text{ veya } h \geq 0.05L \text{ (hangisi büyükse)}$$

Dikdörtgen, trapez ve U kanallarda boğaz kısmında bir eşik olduğundan savak yükü ölçümü, daralma bölümünün dibinden değil, eşğin tepesinden yapılır.

U kanal:

Bu tip savak kanallarıyla debi ölçümü ve hesabı aşağıdaki gibidir.

$$C_d = \left(1 - \frac{0.006L}{d}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (2.34)$$

$(P+h) < D/2$, ise:

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{D - 2(P+h)}{D} \right] \quad (2.35)$$

$$A = \frac{D^2}{4} (\theta - \sin \theta - \cos \theta) \quad (2.36)$$

$$T = 2\sqrt{(P+h)(D-P-h)} \quad (2.37)$$

$(P+h) \geq D/2$, ise:

$$A = \frac{\pi - D^2}{8} + D \left(P+h - \frac{D}{2} \right) \quad (2.38)$$

$$T=D$$

$H=h$ kabul edilir ve Şekil 2.8'deki grafikten C_u bulunur. Bu grafik $0.1 < H/d < 3$ için geçerlidir. Daha sonra aşağıda verilen (2.39) bağıntısından C_v bulunur:

$$\sqrt{C_v^{2/3} - 1} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{dh C_v C_u}{A} \quad (2.39)$$

$$Q = d C_d C_u C_v \left(\frac{2h}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} \quad (2.40)$$

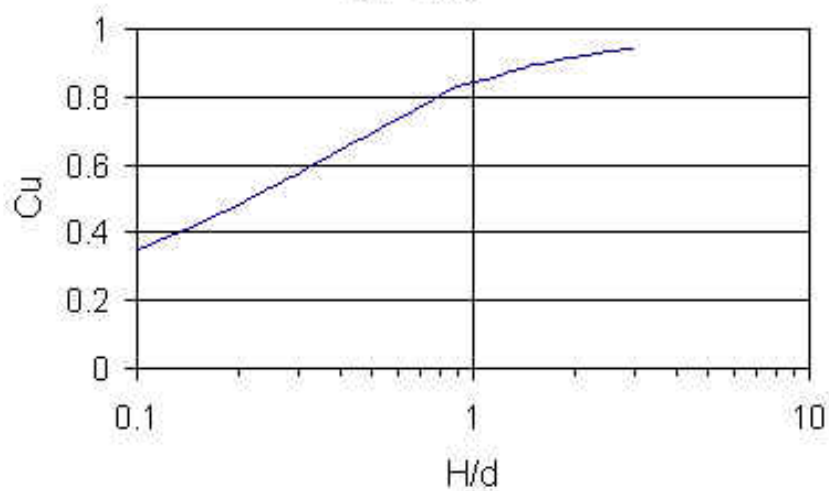
$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.41)$$

$$F = V \sqrt{\frac{T}{gA}} \quad (2.42)$$

Bu hesaplamalar için ISO 4359'un önerdiği şartlar şunlardır:

$$h \leq 2m, \quad 0.1m \leq d/D \quad F \leq 0.5, \quad h/L \leq 0.5$$

$$h \geq 0.05 \text{ veya } h \geq 0.05L \text{ (hangisi büyükse)}$$



Şekil 2.8 U kanallarında C_u 'nun bulunması

C_v sadece $h d C_u/A < 0.93$ ise hesaplanabilir. C_u ve C_v , H ve h 'nin fonksiyonu olduğundan $H = h C_v^{2/3}$, C_u , C_v , ve Q tekrardan hesaplanmalıdır. ISO 4359 Q 'yu üç defa hesaplamayı önermektedir. Ancak U kanal üreticileri dördüncü haneye kadar doğruluk sağlanana kadar Q 'nun hesaplanmasına devam edilmesini önermektedirler. Sonuç olarak Q 'dan V ve F hesaplanır.

2.1.2.2.2. Savaklar

Savaklar açık kanallarda debi ölçümünde kullanılırlar. Bu bölümde uygulamada en yaygın olarak kullanılan dikdörtgen, V, trapez savaklarla ilgili bağıntılar verilmiştir.

Dikdörtgen savak: Dikdörtgen savaklarda temel prensip, debinin su derinliğiyle (h , Şekil 2.9'da savak yükü) doğrudan ilişkili olmasıdır. Dikdörtgen savaklar, "bastırılmış", "kısmen daraltılmış" veya "tamamen daraltılmış" olabilirler. "Bastırılmış" dikdörtgen savaklarda

daralma yoktur, bu savaklarda $(b) = (B)$ 'dir. Diğer bir deyişle çentik yoktur, savak dümdüzdür. "Tamamen daraltılmış" savaklarda, $(B-b) > 4h_{\max}$ (h_{\max} savakta beklenen en yüksek su seviyesidir) (13). "Kısmen daraltılmış savakta ise $0 < (B-b) < 4h_{\max}$ 'dir. Savaklarda daraltma, su akışının savağa doğru sıkıştırılması amacıyla yapılır.

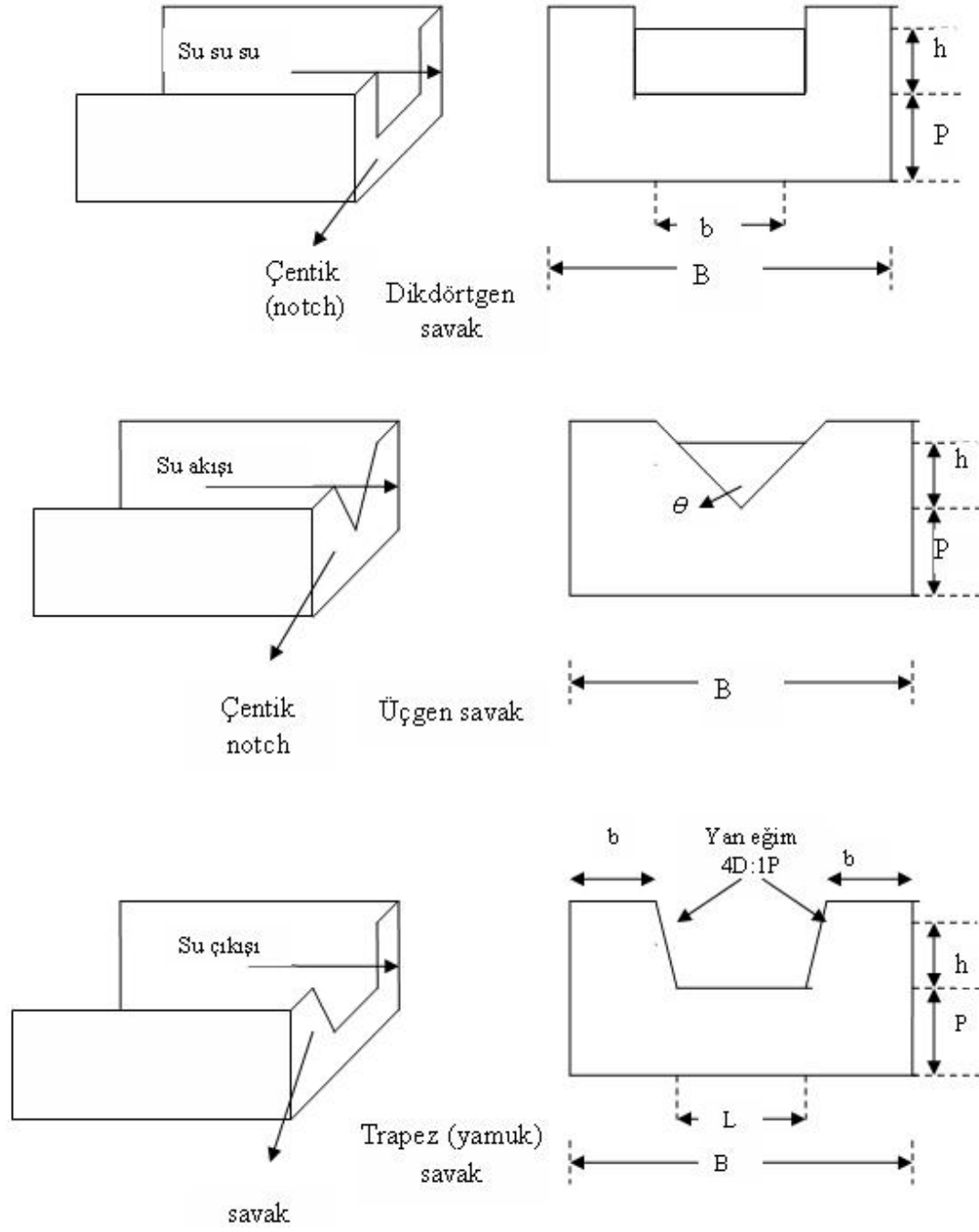
ISO (1980), ASTM (1993) ve USBR (1997) bastırılmış, kısmen daraltılmış veya tamamen daraltılmış dikdörtgen savaklar için Kindsvater-Carter denklemini (13) önermektedirler (14), (15), (16):

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} (b + K_b)(h + K_h)^{3/2} \quad (2.43)$$

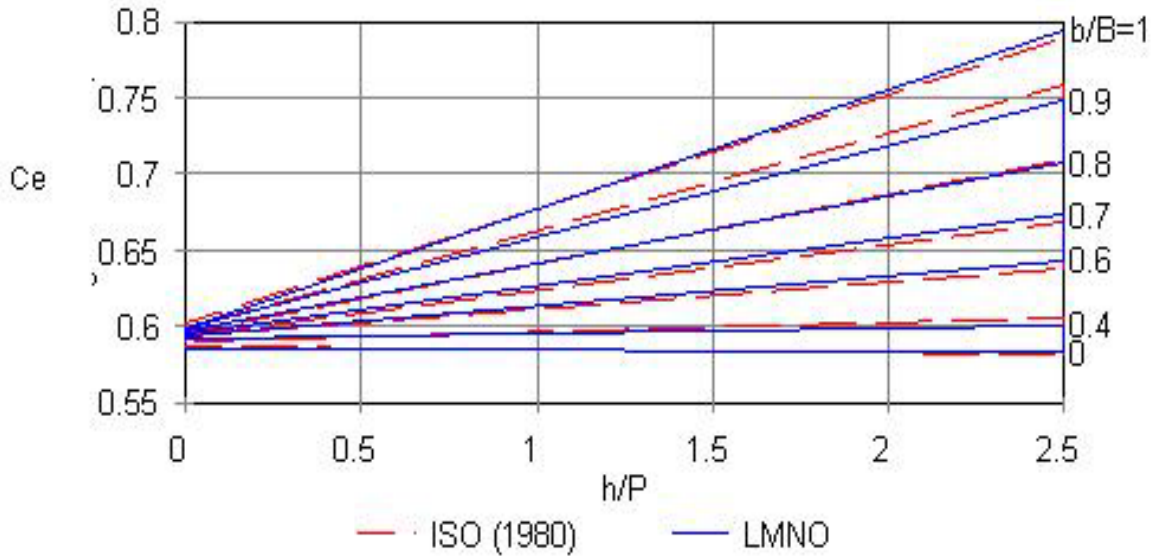
Burada;

- Q : debi, m³/sn
C_e : deşarj katsayısı, boyutsuz
g : yerçekimi ivmesi, m/sn²
b : çentik genişliği, m
h : su seviyesi, metre
K_b ve K_h : viskozite ve yüzey geriliminin etkisi, m

$(b+K_b)$ toplamı "etkin genişlik", $(h+K_h)$ toplamı ise "etkin savak yükü" olarak adlandırılır. $g=9.8066$ m/sn², $K_h = 0.001$ m'dir. C_e, b/B ve h/P'nin fonksiyonu; K_b, b/B'nin fonksiyonudur. Şekil 2.10'da ISO (15) ve LMNO (9)'un çeşitli b/B değerlerinde h/P ye karşı C_e grafiği verilmiştir. Nümerik çözümler için çeşitli b/B oranlarında K_b değerleri ise Şekil 2.11'de verilmiştir.



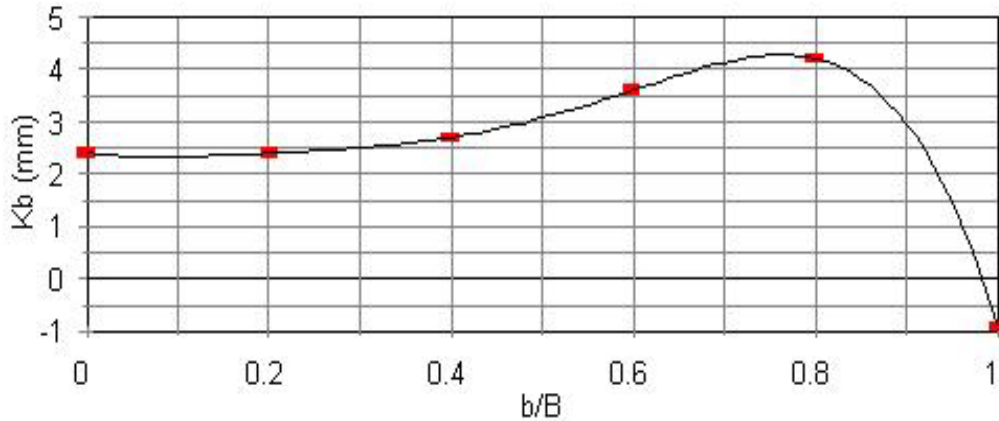
Şekil 2.9. Dikdörtgen, V ve trapez savakların şematik görünümü



Şekil 2.10. Dikdörtgen savaklarda debi katsayısı

Önerilen montaj şartları ve denklemin uygulaması (15):

- h , savak öncesi, savaktan maksimum savak yükünün 4-5 katı uzaklıkta ölçülmelidir,
- Savağın kalınlığı önemli değildir, ancak eşiğin suyun geçtiği bölümünün kalınlığı önemlidir ve 1-2 mm'yi geçmemelidir.
- Savak sonrası su yüzeyi, kretin (savak çentiği tabanı) en az 6 cm altında olmalıdır (13),
- Ölçülen su seviyesi, $h \geq 0.03$ m olmalıdır,
- P , savak öncesi kretten itibaren ölçülmeli ve $P \geq 0.1$ m. olmalıdır (0.1-10000m),
- Çentik genişliği $b \geq 0.15$ m, ve savak genişliği $B \geq 0.15$ m (0.15-10000) olmalıdır,
- $0 < b/B \leq 1$ ve $0 < h/P \leq 2.5$ olmalıdır,
- $b < B$ (daraltılmış savaklarda) ise $(B-b) \geq 0.2$ m olmalıdır.



Şekil 2.11. Dikdörtgen savaklarda K_b katsayısı

Üçgen (V- çentikli) savak: Üçgen savaklarda temel prensip, deşarjın üçgenin tabanından itibaren su yüksekliği ile orantılı olmasıdır. Bu mesafe su seviyesi (h) olarak adlandırılır (Şekil 2.9). Üçgen savaklarda deşarjdaki küçük değişimler derinlikte büyük değişimlere neden olduğundan dikdörtgen savaklara kıyasla daha hassas savak yükü ölçümlerine olanak tanır.

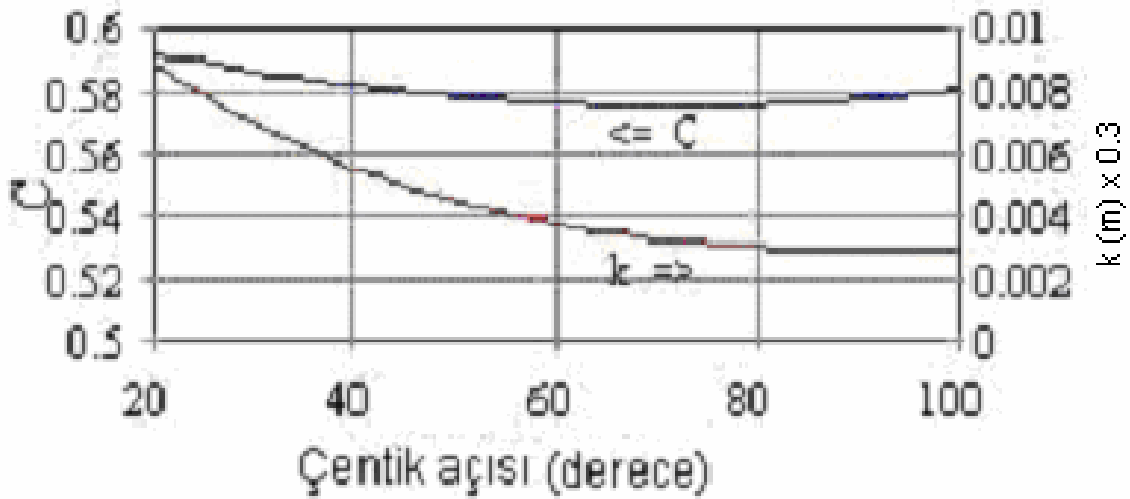
ISO (1980), ASTM (1993) ve USBR (1997) üçgen savaklar için Kindsvater-Carter denklemini önermektedirler (14), (15), (16):

$$Q = 76.98 C \tan (\Theta/2) (h+k)^{5/2} \quad (2.44)$$

Burada;

- Q : Debi, m³/sn
C : Deşarj katsayısı, boyutsuz
 Θ : Çentik açısı, derece
h : Savak yükü, m
k : Su seviyesi düzeltme faktörü, m

C ve k'nın açığa karşı çizilmiş grafiği Şekil 2.12'deki grafikte verilmiştir. Otomatik hesaplamalar için geliştirilmiş olan C ve k denklemleri 2.45 ve 2.46'da verilmiştir (9):



Şekil 2.12. Üçgen savaklarda C ve k sabitleri

$$C = 0.607165052 - 0.000874466963 \Theta + 6.10393334 \times 10^{-6} \Theta^2 \quad (2.45)$$

$$k (m) = 4.41655 \times 10^{-3} - 1.03495 \times 10^{-4} \Theta + 1.00529 \times 10^{-6} \Theta^2 - 3.23745 \times 10^{-9} \Theta^3 \quad (2.46)$$

Önerilen montaj şartları ve denklemin uygulaması (15):

- h, savak öncesi savaktan 4h uzaklıkta ölçülmelidir.
- Savağın kalınlığı önemli değildir, ancak suyun eşiğin V kısmından geçtiği bölümünün kalınlığı önemlidir ve V kısmının kalınlığı 0.8-2 mm aralığında olmalıdır.
- Savak sonrası su yüzeyi, V'nin alt kısmından en az 6 cm aşağıda olmalıdır (böylece suyun serbest akışı sağlanır).

- Bağlıntılar $h < 38\text{cm}$ ve $h/P < 2,4$ için geliştirilmiştir.
- Bağlıntılar tam daraltılmış üçgen savaklar için geliştirilmiştir ($h/B \leq 0.2$ olmalıdır).
- Daralma bölümü ortalama genişliği (B) > 91 cm olmalıdır.
- V' nin tabanı savak öncesinin dibinden en az 45 cm yukarıda olmalıdır.

Eğer savak yukarıda belirtilen şartların bazılarını karşılamıyorsa söz konusu savak “kısmen daraltılmış” üçgen savak olabilir. Bu durumda $h/B \leq 0,4$ olması; V' nin tabanının savak öncesinde dipten 10 cm yukarıda olması; daralma bölümünün 61 cm genişliğinde olması; $h < 38$ cm yerine 61 cm'ye kadar olabilmesi yeterlidir. Bu durumda C için farklı grafik vardır (13).

Trapez (Cipoletti) savaklar: Trapez savaklarda temel prensip, deşarjın su yüksekliği (h) ile orantılı olmasıdır. Bu mesafe su seviyesi (h) olarak adlandırılır (Şekil 2.9). Trapez savaklarda yan eğimler dik/paralel = 4:1'dir. Trapez savaklar tam daraltılmış olarak kabul edilirler. Deşarj katsayısı $C = 3.367$ olup, dikdörtgen savaklar gibi L veya P 'ye bağlı değildir. U savaklar için USBR (1997) şu bağıntıyı önermektedir (13):

$$Q = 65.6 L h^{3/2} \quad (2.47)$$

Burada;

Q : debi, m^3/sn
L : savak uzunluğu, m
h : su seviyesi, m

L, su yüzeyi boyunca değil, savağın dibi boyunca ölçülür.

Önerilen montaj şartları ve uygulama (13):

- Yanal yüzlerin eğimi dik/paralel = 4:1 olmalıdır.
- H, savak öncesi savaktan en az 4h uzaklıkta ölçülmelidir.
- Savağın açılma bölümünde kalınlığı 0.8-2 mm arasında olmalıdır.
- Savak sonrası su yüzeyi trapezin alt kısmından en az 6 cm aşağıda olmalıdır.
- Ölçülen su seviyesi $h > 6\text{cm}$ ve $h < L/3$ olmalıdır.
- P, kanal öncesi kanal dibinden ölçülür ve $P > 2h_{\text{max}}$ (h_{max} =maksimum beklenen su seviyesi) olmalıdır.
- b, kanalın yanlarından ölçülür ve $b > 2h_{\text{max}}$ olmalıdır.

2.1.2.3 İz Madde Enjeksiyonu Yöntemi ile Debi Ölçümü

Türbülanslı akıslarda, çok yüksek veya düşük hızlarda akan suda fazla katı madde hareketi olması gibi durumlarda debi ani veya sürekli enjeksiyon yöntemleri ile ölçülür.

Ani enjeksiyon yöntemi: Akan suya bir kesitten ani olarak bir iz maddesi (kimyasal tuz, floresan madde veya zararsız bir radyoaktif madde) katılır. Aynı hat üzerinde başka bir kesitte bu iz maddesinin konsantrasyonunun zamanla değişimi ölçülür. Suyu ilave edilen maddenin hacmi V_1 , içindeki izleyici konsantrasyonu C_1 , iz maddesi konulmadan önceki konsantrasyon C_0 ise, hat üzerindeki kesitte zamana göre ölçülen konsantrasyon değişimi $C(t)$ olduğuna göre akarsuyun debisi kütle korunumu prensibinden (2.48) formülü ile hesaplanır.

$$Q = \frac{V_1 C_1}{\sum_0^{\infty} (C - C_0) \Delta t} \quad (2.48)$$

Konsantrasyon değişiminin yeterli hassasiyetle ölçülmesi zor olduğundan bu yöntemin uygulanmasında zorluklarla karşılaşılır.

Sürekli enjeksiyon yöntemi: Bu yöntemde iz maddesi enjeksiyonu sürekli olarak yapılır. Enjeksiyon süresi hattaki ölçüm istasyonunda ölçülen izleyici konsantrasyonunun sabit bir C_2 değerine erişmesine olanak verecek kadar uzun olmalıdır. Akan suya birim zamanda katılan kimyasal hacmi Q_1 , çözeltideki izleyici konsantrasyonu C_1 olduğuna göre yine kütle korunumu prensibinden akan suyun debisi hesaplanır (2.49).

$$QC_0 + Q_1 C_1 = (Q + Q_1) C_2$$

Başlangıçtaki iz maddesi konsantrasyonu $C_0 =$ kabul edilerek:

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} Q_1 = \left(\frac{C_1}{C_2} - 1 \right) Q_1 \quad (2.49)$$

Bu yöntemin uygulaması daha kolaydır.

Bu yöntemler kullanılırken iki kesit arasındaki uzaklığın iz maddesinin tam olarak karışmasını sağlamaya yetecek kadar uzun olmasına dikkat etmek gerekir. Yanal doğrultuda karışma düşey doğrultudaki karışmaya göre daha yavaş olduğundan enjeksiyonun kesitin çeşitli noktalarında birden yapılması daha uygundur.

2.1.2.4 Yüzgeçlerle Debi Ölçümü

Daha basit bir hız ölçme yöntemi de akım tarafından sürüklenen yüzgeçlerin belli bir yolu almaları için geçen zamanın ölçülmesi ile gerçekleşir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için akan suda yeterli uzunlukta (en az kesit genişliğinin 5 katı) düz bir parça bulunmalıdır (17). Su yüzünde hareket eden bir yüzgeç kullanılıyorsa ortalama hızı bulmak için yüzgecin hızı 0,8-0,9 gibi bir katsayı ile çarpılır. Akımın derinliği boyunca uzanan yüzgeçlerle ortalama hız için daha güvenilir bir değer elde edilir. Çok sayıda yüzgeç kullanılıp sonuçların ortalaması alınarak daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Ancak genellikle yüzgeçlerle elde edilen sonuçlar çok hassas değildir. Taşkın vb. gibi sebeplerle diğer yöntemlerin kullanılmadığı özel durumlarda bu yöntem kullanılır.

KAYNAKLAR

- (1) Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse, Metcalf & Eddy. McGraw-Hill International Editions. Third edition.
- (2) , Syed R. Kasım, 1985, Wastewater Treatment Plants, Treatment, Design, and Operation CBS Publishing Japan Ltd.
- (3) American Society of Mechanical Engineers ASME FED 01-Jan-1971. Fluid Meters, Their Theory and Application- Sixth Edition.
- (4) Robert H. Perry, Don W. Gren, 1997, Perry's Chemical Engineers' Handbook, seventh edition, , McGraw-Hill International Editions.
- (5) American Society of Mechanical Engineers (ASME). 2001. Measurement of fluid flow using small bore precision meters. ASME MFC-14M-2001.
- (6) International Organization of Standards (ISO 1991). Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices, Part 1: Orifis plates, nozzles, venturi tubes inserted in circular cross-section running full. Reference number: ISO 5167-1:1991(E).
- (7) Engineering Data Book. Gas Processors Suppliers Association. Tulsa, Oklahoma 74103, ninth edition, 1972, revised, 1976.
- (8) UNIMAG Electromagnetic closed pipe flow meter. Application Guide, ISCO.
- (9) LMNO Engineering, Research, and Software, Ltd. 2002.
- (10) International Organization of Standards (ISO 9826). 1992. Measurement of liquid flow in open channels- Parshall and SANIIRI flumes.
- (11) American Society for Testing and Materials (ASTM D1941-91). 1991. Standard test method for open channel flow measurement of water with the Parshall flume.
- (12) International Organization of Standards (ISO 4359). 1999. Technical Corrigendum 1 for: Liquid flow measurement in open channels-Rectangular, trapezoidal, and U-shaped flumes. Reference number: ISO 4359: 1983/Cor.1:1999(E).
- (13) USBR. 1997. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. Water measurement Manual. 1997. 3ed.
- (14) Kindsvater, C.E. and R.W.Carter. 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. Transactions, American Society of Civil Engineers. Vol.24. Paper No. 3001.
- (15) International Organization of Standards ISO (1980) ISO 1438/1-1980(E). Water flow measurement in open channels using weirs and venture flumes-Part 1: Thin plate weirs. 1980.
- (16) American Society for Testing and Materials (ASTM (1993). ASTM D5242. Standard test method for open channel flow measurement of water with thin-plate weirs.1993.
- (17) Mehmetçik Bayazıt, 1995, Hidroloji, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.