Akarsularda Hız Dağılımı Katsayıları Hakkında

Yazan :
Sıtkı BURSALI
Yük. Müh.
DSİ - Araştırma Dairesi

O

1 — Hız dağılımı katsayıları α ve β hakkında genel bilgiler :

Bir akarsu enkesitinde hızların bir noktadan, diğerine üniform olmıyan bir şekilde değişmesi sebebiyle, ortalama hız kullanılarak hesaplanan hız yüksekliği $\frac{U^2}{2g}$, daima hakikî değerinden daha küçüktür. Enerji ile ilgili hidrolik hesaplarda, hakikî hız yüksekliği $\alpha \frac{U^2}{2g}$ şeklinde ifade olunur. α'ya «enerji katsayısı» adı verilir.

Enkesitte hızların üniform olarak dağılmayışı momentam hesaplarına da tesir eder. Birim zamanda enkesitten geçen momentam, bir β «momentam katsayısı» ithal edilmek suretiyle $\beta \rho Q U$ şeklinde ifade olunur.

Gerek α, gerek β değerleri daima 1'den büyüktür. Kâfi derecede düz, prizmatik kanallarda genel olarak α katsayısı 1.03 ile 1.36 arasında; β katsayısı 1.01 ile 1.12 arasında değişmektedir. α'nın değerleri, küçük akarsularda büyük, oldukça derin büyük akarsularda ise daha küçüktür. Muntazam kesitli, düz kanallarda α ve β büyük bir takribiyetle 1'e çok yakın değerler alır; diğer faktörlere nazaran üniform olmıyan hız dağılımının etkisi çok küçük olduğundan bu gibi kanallarda $\alpha = \beta = 1$ kabul edilebilir. Karışık kesitli ve düz olmıyan kanallarda ortalama olarak $\alpha = 1.60$ ve $\beta = 1.20$ civarında değerler almaktadır. Dolu savakların menbaında, kesit daralmaları civarında, alinymandaki aşırı gayri muntazamlıkların yakınında $\alpha = 2$ değeri müşahede olunmuştur. Lindquist dolu savak ölçülerini kıymetlendirerek $\alpha = 2.08$ değerini hesaplamıştır. Kapalı maktalarda çok daha büyük değerler bulunmaktadır. Şimdiye kadar, ölçülmüş olan en büyük α değeri, Rublevo Hidroelektrik Santralı difüzörünün çıkış kesitinde, 3.87 dir. Lâboratuarda ölçülen en büyük değer ise, $\alpha = 7.4$ tür. Bu değer Rusya'da bir türbin modelinin altındaki spiral akımda ölçülmüştür.

Sert meyilli kanallarda α ve β katsayıları, normal kanallara nazaran daha büyük değerler almaktadır.

α ve β katsıylarının büyük değerler aldığı bu gibi hallerde, en kesitte hız ölçümü yapılarak katsayılar hesaplanmalıdır. Yapılan hesaplarda nazarı itibara alınan hata limitine bağlı olarak bu katsayıların, hangi değerlerden itibaren hesaplara ithal edilmesi gerektiği, mevzu ile ilgili bir hata analizi yapılarak belirlenebilir. Pratik olarak kullanılmak üzere Kolupaila, hız dağılımı katsayıları için aşağıdaki değerleri teklif etmiştir :

TABLO : 1
Akarsularda α ve β değerleri

Kanalın Cinsi	α min	α max	β min	β max
Muntazam kanallar, lâboratuar kanalları ve kalın kenarlı dolu savaklar	1.10	1.20	1.03	1.07
Tabiî akarsular ve seller	1.15	1.50	1.05	1.17
Feyezan yatağında akan nehirler	1.50	2.00	1.17	1.33

2 — α ve β katsayılarının tarifi :

2.1 — $d\omega$ gibi sonsuz küçük bir alandan birim zamanda geçen suyun kitlesi ρ d Q ve hızı v olduğuna göre, bu elemansel alandan geçen kinetik enerji $\frac{1}{2} \rho \, dQ \, v^2$ dir.

$$\left.\begin{aligned} dQ &= v d\omega \\ \rho &= \frac{\omega}{g} \end{aligned}\right\} \text{ yerlerine konursa } \frac{1}{2} \times \frac{\omega}{g} v^3 d\omega \quad (1)$$

Bütün ıslak kesit ω, ortalama hız U ise, kesitin toplam kinetik enerjisi, ayni şekilde :

$$\alpha \frac{1}{2} \rho Q U^2 = \alpha \frac{1}{2} \frac{\omega}{g} \times \omega U^3 \quad (2)$$

yazılır. α, hızın üniform olarak dağılmayışı sebebiyle ortalama hızı tashih için ithal olunan enerji katsayısıdır. (1) ifadesi bütün kesite teşmil edilerek (2) ye eşit yazılırsa :

$$\alpha = \frac{\iint_\omega v^3 \, d\omega}{U^3 \omega} \quad (3)$$

bulunur.

2.2 — $d\omega$ alanından birim zamanda geçen momentam ise ρ d Q_v dir. ρ ve dQ eyrine, yukarıdaki gibi değerleri konulursa :

$$\frac{\omega}{g} \times v^2 d\omega \quad (1)'$$

kesitin toplam momentamı ise :

$$\beta \rho Q U = \beta \times \frac{\omega}{g} \omega U^2 \quad (2)'$$

Aynı şekilde (1)' ifadesi bütün kesite teşmil edilerek (2)' ye eşit yazılırsa :

$$\beta = \frac{\iint v^2 \, d\omega}{U^2 \omega} \quad (3)'$$

bulunur.

3 — α ve β katsayılarının matematik yönünden incelenmesi :

3.1 — Evvelâ α katsayısını ele alalım :

$$\alpha = \frac{\iint v^3 \, d\omega}{U^3 \omega} \quad (3)$$

(3) denklemi ile verilen α katsayısı hız dağılımına bağlı olarak, enerjinin kesitte ne şekilde yayıldığını karakterize eder. U ortalama hızının tarifi olan

$U = \frac{1}{\omega} \int\int v \, d\omega$ ifadesindeki $\int\int \; v \; d\omega$ da olduğu gibi $\int\int v^2 \, d\omega$ ve $\int\int \; v^3 \, d\omega$ şeklindeki integraller hızın ω en kesit alanındaki dağılımını ifade ederler. Herhangi bir noktadaki hızı $v = U + \delta v$ şeklinde gösterelim. δv, nazarı itibara alınan noktadaki v hızının U ortalama hızından olan farkını göstermektedir.

$v^3 = U^3 + U^2 \, \delta v + 3 \, U \, \delta v^2 + \delta v^3$ yazarak bunu (3) te yerine koyalım.

$$\alpha \, \omega \, U^3 = \int\int \omega \, U^3 \, d\alpha + 3 \int\int \omega \, U^2 \, \delta v \, d\omega + 3 \int\int \omega \, U \delta \, v^2 \, d\omega + \int\int \delta v^3 \, d\omega \qquad (4)$$

Ortalama hızın tarifi dolayısiyle

$\int\int \omega \, \delta v \, d\,\omega = 0$ olduğundan :

$$\alpha = 1 + \frac{3}{\omega U^2} \int\int \omega \delta \; v^2 \, d\omega + \frac{1}{\omega U^3} \int\int \omega \delta^3 \, v \, d\,\omega \, (5)$$

δv nin çok küçük olduğu hallerde $\int\int \delta \; v^3 \, d\omega$ ihmâl edilirse,

$$\eta = \frac{1}{\omega U^2} \int\int \omega \; \delta \, v^2 \, d\,\omega \qquad (6)$$

olmak üzere

$\alpha = 1 + 3 \, \eta$ (7) bulunur.

Eğer v hızı ω alanında üniform olarak dağılmışsa $\delta \, v = 0$ ve $\alpha = 1$ olur. $\delta \; v = 0$ ise $\eta > 0$ ve bunun neticesi olarak $\alpha > 1$ olur. β ifadesi için, ayni şekilde $v^2 = U^2 + 2 \, \delta \, v \, . \, U + \delta \, v^2$ (3)' de yerine konulursa, her hangi bir ihmâl yapılmaksızın, $\beta = 1 + \eta$ (7)' elde olunur. $\delta \; v^3$ teriminin ihmâl edilemiyeceği hallerde ise:

$\alpha = 1 + 3 \, \eta + \xi$ (8) olur. Burada

$\xi = \frac{1}{\omega U^3} \int\int \omega \; \delta \; v^3 \; d \; \omega$ (9) dur. ξ ifadesi parabolik ve logaritmik hız dağılımları halinde :

$\xi = K \, \eta^{\,3/2}$ (9)'

şeklinde ifade edilebilmektedir; burada K, hız dağılımının cinsine göre değişen ve ekseriya negatif değer alan bir sabitedir.

3.2 — α ve β katsayılarının η cinsinden ifadeleri, pozitif veya negatif değerler alabilen boyutsuz bir ε sayısının ithali ile aşağıdaki şekilde de bulunabilir :

$\frac{v}{U} = 1 + \varepsilon$ vâzolunursa ortalama hız tarifinden $\int\int \omega \; \varepsilon \; d\omega = 0$ olduğu gözönüne alınarak $v = U \, (1 + \varepsilon)$ ifadesi (3) ve (3') de yerine konulur ve $\frac{1}{\omega} \int\int \varepsilon^2 \, d\omega = \eta$ .... (6)' alınırsa, ayni şekilde $\alpha = 1 + 3 \;\; \eta \; + \; \xi$ ve $\beta = 1 + \eta$ değerleri bulunur (*).

İlk defa Coriolis ve Boussinesq tarafından kullanılan β değeri $v^2\chi$ nin fonksiyonudur; α ise v^3 ün bir fonksiyonudur. Momentamla ilgili hız dağılımını ifade eden β katsayısının, momentam vektöriyel bir büyüklük olduğundan, $\beta\chi$, β_y , β_z şeklinde 3 istikamet için verilmesi daha doğrudur. Ancak türbülanslı akımlarda likid iplikçilerinin eğriliklerinin fevkalâde az olması dolayısiyle $v_x \cong v$ kabul edildiğinden β katsayısı ile iktifa olunur.

α ve β arasındaki bağıntıyı ifade edebilmek için C. Jaeger, bir ω alanındaki enerji dağılımını ifade eden yeni bir Ψ katsayısı ithal etmektedir.

$$\Psi = - \frac{2g}{\omega U^2} \int\int \delta \; H \; d\omega \qquad (10)$$

$\delta \; H = H_z - H\omega$

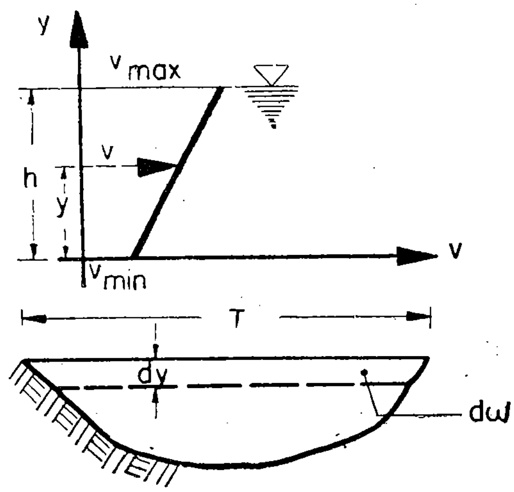
H_z = bir likit ipçiğinin enerji hattı yüksekliği

$H\omega$ = bir ω alanı için ortalama enerji hattı yüksekliği.

Likit ipçiklerinin eğrikliklerinin ihmâl olunabildiği türbülânslı akımlarda, basınç dağılımını ifade eden katsayılar 1'e eşit olduğundan α ile β arasında : $\Psi = \alpha - \beta$ .... (10') bağıntısı câri olur. Türbülânslı akımlarda α daima β dan farklı olduğundan $\Psi = 0$ olduğu görülür. Potansiyelli akımlarda $\delta \, H = 0$ olduğundan $\Psi = 0$ dır. Bu ise $\alpha = \beta = 1$ olması demektir.

4 — Bazı özel hallerde α ve β nın basitleştirilmiş hesabı :

α ve β katsayıları, hız diyagramının lineer veya logaritmik olduğu hallerde kolaylıkla hesaplanabilmektedir. Pratik problemler bahis konusu edildiği takdirde, lineer hız dağılımının mevcut olmadığı aşikârdır; ancak logaritmik hız dağılımı için durum böyle değildir. Bilhassa büyük akarsularda, enine kesitin orta kısımlarında büyük bir takribiyetle logaritmik hız dağılımının cari olduğu görülmektedir. Bu gibi hallerde, bir ön fikir elde etmek maksadı ile, α ve β katsayıları aşağıda anlatıldığı şekilde hesaplanabilir.



Şekil - 1

(*) Her iki gösteriş tarzında da (6) ve (6') ile verilen η emsalleri aynıdır: filhakika $\frac{v}{U} = 1 + \varepsilon$ ile $v = U + \delta \, v$ ifadeleri karşılaştırılırsa $\varepsilon = \frac{\delta \, v}{U}$ olduğu görülür.

4.1 — **Hız diyagramının lineer olması hali :** (Şekil : 1)

$v = f(y)$ fonksiyonu lineer dağılımda

$$v = \frac{y}{h}(v_{max} - v_{min}) + v_{min} \qquad (11)$$

şeklindedir.

$d\omega = T\,d\,y \qquad \omega = T\,.\,h$

$$U = \frac{Q}{\omega} = \frac{T\int_0^h v dy}{Th} = \frac{v_{max} + v_{min}}{2} \quad \dots (*)$$

$$a = \frac{v_{max} - v_{min}}{h} \; ; \; b = v_{min}$$

konulursa

$v = ay + b$ ve

$U = \frac{a\,h}{2} + b$ olur. Bu değerler $\alpha = \frac{\int\int v^3 d\omega}{U^3 \omega}$ da yerine konulursa :

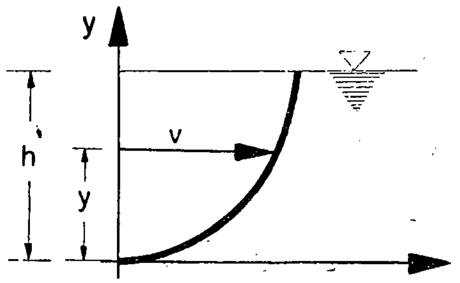
$$\varepsilon_m = \frac{v_{max}}{U} - 1 \text{ olmak üzere } \alpha = 1 + \varepsilon_m^2 \qquad (12)$$

bulunur. Buna benzer şekilde $\beta = 1 + \frac{\varepsilon_m^2}{3}$ (12') hesaplanır. Genel halde $\beta = 1 + \eta$ olduğu gözönüne alınırsa, lineer hız dağılımında $\eta_m = \frac{\varepsilon_m^2}{3}$ olduğu görülür. Buna göre, $\xi = 0$ olup :

$$\alpha = 1 + 3\,\eta_m \qquad (12\text{ a})$$

$$\beta = 1 + \eta_m \qquad (12'\text{ a})$$ dır.

4.2 — **Hız diyagramının logaritmik olması hali : (Prandtl - von Karman)** (Şekil : 2)



Şekil : 2

Logaritmik hız dağılımında $v = f(y)$ fonksiyonu :

$$v = 5.75\, V_f \log \frac{30\,y}{K} \qquad (13)$$

*) Lineer hız dağılımında bu sonuç bedihi olup, derhal yazılması mümkün ise de burada genel olarak nasıl hareket edileceği anlatılmak istenmiştir.

Yukarıdaki gibi, ortalama hız $U = \frac{Q}{\omega}$ dan,

$$U = 5.75\, V_f \left(\log \frac{30\,h}{K} - 1\right)$$ bulunur.

Diğer taraftan : $a = 5.75\, V_f$

$b = 30/K$ konulursa :

$v = a \log b\,y$ yazılabilir.

$$\int_0^h v^3 dy = a^3 h\,[\,(\log bh)^3 - 3\,(\log bh)^2 + 6 \log bh - 6]$$

Bu değer ile U ifadesinden hesaplanan $U^3\omega$, α ifadesinde yerlerine konulursa :

$$\alpha = 1 + 3\,\varepsilon_m^2 - 2\,\varepsilon_m^3 \qquad (14)$$ ve benzer şekilde

$$\beta = 1 + \varepsilon_m^2 \qquad (14')$$ bulunur.

$\eta_m = \varepsilon_m^2$ olduğu göz önüne alınırsa α ve β , η cinsinden

$$\alpha = 1 + 3\,\eta_m - 2\,\eta_m^{3/2} \qquad (15)$$

$$\beta = 1 + \eta_m \qquad (15')$$ bulunur.

Hız ölçümleri sonunda v_{max} ve U belli olduğundan ε_m ve bilâhare α ile β sür'atle hesaplanabilir. Büyük akarsularda hız diyagramı logaritmik şekle çok yakın olduğundan ilk yaklaşım için hız dağılımı katsayıları bu şekilde hesaplanır ve mertebeleri hakkında bir fikir edinildikten sonra gerekiyorsa daha sıhhatli olarak hesaplanmaları yoluna gidilir.

Logaritmik hız dağılımının carî olduğu türbülânslı akımlarda enine kesitteki enerji dağılımı katsayısı (11) den :

$$\Psi = 2\,\varepsilon_m^2\,(1 - \varepsilon_m) \qquad (16)$$

$\varepsilon_m = 0$ olduğundan ancak $\varepsilon_m = 1$ için $\Psi = 0$ olur. Bu ise $v_{max} = 2\,U$ hususî halinde mümkündür. Bu halde $\alpha = \beta = 2$ dir.

5 — **α ve β katsayılarının doğrudan doğruya hesap yolu ile bulunması :**

Nazarı itibara alınan enkesitin gayri muntazam ve enkesit içindeki pürüzlülüklerin farklı olması halinde α ve β katsayıları, enkesitin muhtelif kısımlarında birbirinden farklı değerler alır. En genel hal olarak kabul edebileceğimiz bu halde, bütün kesite teşmil edilen α ve β katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanır.

ω ıslak kesitinin $\Delta\omega_1$, $\Delta\omega_2$, ... $\Delta\omega_N$ kısımlarında ortalama hızlar : U_1 , U_2 , ... U_N ve hız dağılımı katsayıları : α_1 , α_2 , ... α_N

β_1 , β_2 , ... β_N olsun.

$$K = \frac{1}{n} \omega R^{2/3} \text{ olmak üzere :}$$

$$U_1 = \frac{K_1}{\Delta\omega_1} j^{1/2},\ U_2 \frac{K_2}{\Delta\omega_2} j^{1/2} \ \ldots\ U_N = \frac{K_N}{\Delta\omega_N} j^{1/2} \text{ dir.}$$

$$Q = U\omega = U_1 \Delta\omega_1 + U_2 \Delta\omega_2 + \ldots + U_N \Delta\omega_N = \left(\sum_1^N K_N\right) j^{1/2}$$

$$U = \frac{\left(\sum_1^N K_N\right) j^{1/2}}{\omega} \qquad (17)$$

Bu değer, integraller kısmî toplamlar şeklinde nazarı itibara alınmak şartı ile, (3) ve (3') de yerine konulup, kısaltmalar yapılarak

$$\alpha = \frac{\sum_1^N (\alpha_N K_N^3 / \Delta\omega_N^2)}{\dfrac{(\sum_1^N K_N^3)}{\omega^2}} \ \ldots\ldots\ldots\ldots \ (18)$$

$$\beta = \frac{\sum_1^N (\beta_N K_N^2 / \Delta\omega_N)}{\dfrac{(\sum_1^N K_N^2)}{\omega}} \ \ldots\ldots\ldots\ldots \ (18')$$

bulunur.

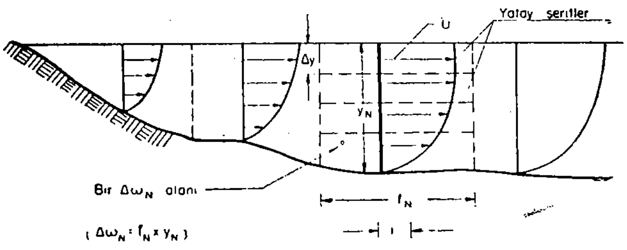
Meriç nehrinde feyezan esnasında yapılan pürüzlülük ölçümlerinden faydalanılarak (18) formülü tatbik edilmek suretiyle α katsayısı hesaplanmıştır. Nazarı itibara alınan enkesit (ekil : 3) her bir düşey dilim bir hız diyagramı ihtiva edecek surette $\Delta\omega_N$ alanlarına ayrılmış ve evvelâ bu kısmî alanlardaki α_N ler hesaplanmıştır. Bunun için genişliği 1 m olan düşey bir dilimin α_N'i hesaplanarak, bu α_N'in $\Delta\omega_N$ alanına ait olduğu kabul edilmiştir. Bu kabule göre :

$$(\Delta\omega_N)_1 = y \cdot 1$$

$$\Delta\omega = \Delta y \qquad \alpha = \frac{\sum_1^N U^3 \Delta y}{q^3/y^2} \ (19) \text{ dir.}$$

$$U = \frac{q}{y}$$

Paydaki değer, $\Delta\omega_N$ alanı yatay şeritlere bölünmek suretiyle hesaplanmaktadır.



Şekil : 3

K_N lerin hesabında bütün kesite ait n katsayısı $\eta_1 = n_2 = \ldots = n$ olarak kullanılmıştır.

Ölçüm yapılan 3 enkesit için :

$\alpha = 1.50$
$\alpha = .170$
$\alpha = 1.91$

değerleri bulunmuştur. Bu değerler Tablo : 1 de verilen değerleri teyit etmektedir. Hesapların, hesap mikinesi ile yapılması şarttır. Buna rağmen gayet büyük sayılarla çalışıldığından makineye sığmıyan sayılardan dolayı zarurî olarak hata yapılmaktadır.

6 — α ve β katsayılarının integratörle hesaplanması :

Akarsuların debilerini hesaplamak için, muline ile yapılan hız ölçümleri sonunda hız diyagramlarının çizilmesi ve plânimetre ile hız diyagramı alanlarının ölçülmesi esasına istinat eden grafik metod ile, α katsayısının entegratörle hesabı için takip edilecek metod arasında tam bir benzerlik mevcuttur. Bu itibarla evvelâ yukarıda bahsedilen metodla debi hesabı teorik ve pratik esasları ile kısaca hatırlatılacak, bilâhare bu ameliyeye benzer şekilde hareket etmek ve plânimetre yerine entegratör kullanılmak suretiyle α'nın oldukça basit ve sür'atli bir şekilde hesaplanabileceği gösterilecektir.

6.1 — **Grafik metod ile debi hesabı** (Şekil : 4):

Akarsuyun seçilen bir enkesitinde muhtelif düşeyler üzerinde, muhtelif derinliklerdeki hızlar muline ile ölçülür. Her düşeye ait hız diyagramları münasip bir ölçekle enkesit üzerine çizilir. Bir hız diyagramında, su yüzünden y derinlikteki bir dy şeridi, bu hız dyagramının bütün alanının Udy gibi bir parçasıdır. Hız diyagramının bütün alanı ise

$$q\ (x) = \int_0^{y(x)} v\ (y)\ dy \quad \text{dir.}$$

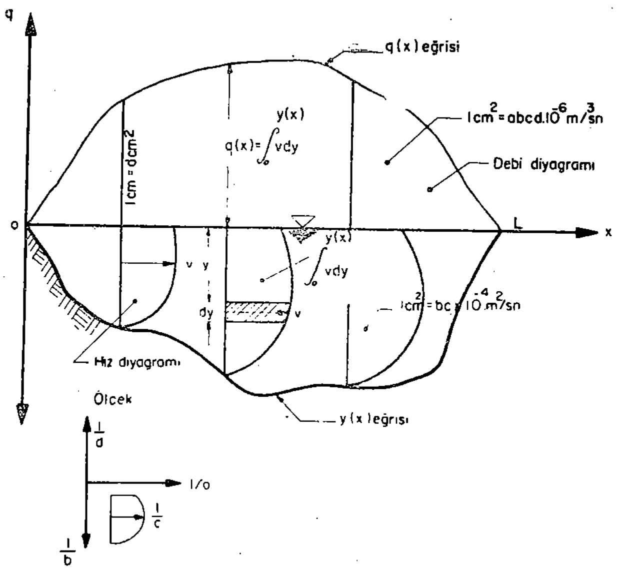
q (x), nazarı itibara alınan düşeyden geçen itibarî debiyi gösterir. Bu düşeyler, bütün enkesit alanını tarayacak surette sonsuz sayıda sıklaştırılırsa, bunların toplamı, yani $\int_0^L q\ (x)\ d\ x$ bütün enkesitten geçen debiyi verir. Şu halde her düşey üzerine, yeni bir ölçekle q (x) değerleri çizilir ve bunların uçları birleştirilmek suretiyle meydana gelen alan ölçülürse aranılan debi — kullanılan ölçeklerle ilgili transformasyonlar yapılarak (*) kolayca bulunmuş olur.

(*) x ve y eksenlerindeki uzunluk ölçekleri sırası ile $\frac{1}{a}$ ve $\frac{1}{b}$; hız diyagramında hız ölçeği $\frac{1}{c}$; debi diyagra mındaki q (x) düşey uzunluklarının ölçeği $\frac{1}{d}$ olsun. Bun göre :

a) Hız diyagramlarındaki 1 cm² $= \frac{bc}{10^4}$ m³/sec dir.

b) Debi diyagramında her düşeyin 1 cm tulû, d cm² h diyagramı alanına tekabül eder; bunun hakikî değeri is $\frac{bcd}{10^4}$ m³/sec dir.

c) Debi diyagramındaki 1 cm² $=$ abcd $\times 10^{-6}$ m³/se dir. Yani debi diyagramı alanı ölçülerek bu ölçek faktö ile çarpılırsa enkesitten geçen debi, m³/sec cinsinden bulu mus olur.



Şekil : 4

Yukarıda anlatılanları, matematik dille kısaca aşağıdaki gibi ifade edebiliriz :

$$Q = \int\int_\omega v \, d\omega = \int_0^L dx \int_0^{y(x)} vdy = \int_0^L q(x) \, dx = U . A \text{ .... } (20)$$

6.2 — **α katsayısının hesabı ile debi hesabı arasındaki benzerlik :** (Şekil : 5)

Daha önce açıklandığı gibi α katsayısının matematik ifadesi :

$$\alpha = \frac{\int\int_\omega v^3 \, d\omega}{U^3 \, \omega} \quad \text{dır.}$$

yı (20) deki Q değerlerine benzeterek yazalım :

$$\int\int_\omega v^3 \, d\omega = \int_0^L dx \int_0^{y(x)} v^3 \, dy = \int_0^L A(x) \, dx = \alpha \, U^3 \, \omega \qquad (21)$$

Görülüyor ki debi hesabındaki

$q(x) = \int_0^y v \, dy$ değerine burada :

$A(x) = \int_0^y v^3 \, dy$ tekabül etmektedir.

Şu halde, hız diyagramlarının alanını bir plânimet... ile ölçmek yerine $\int_0^y v^3 \, dy$ integrallerini veren integratör kullanılırsa, (21) ifadesine göre α değerinin, debi hesabına benzer şekilde kolayca bulunması mümkün olacaktır.

6.3 — **Tatbikat :**

$\int_0^y v^3 \, dy$ integralinin hız diyagramlarından ölçülmesi için A.OTT integratörü kullanılmıştır. İntegratörün j ruleti $\int y^3 \, dx$ formundaki integrali vermektedir. Aletin y ekseni bizim v istikametine, x ekseni ise bizim y eksenimize tekabül etmektedir. Aletin hız diyagramları üzerine ne şekilde tatbik olunacağı Şekil : 5 de şematik olarak gösterilmiştir.

6.3.1 — **Hız diyagramlarının çizilmesi :**

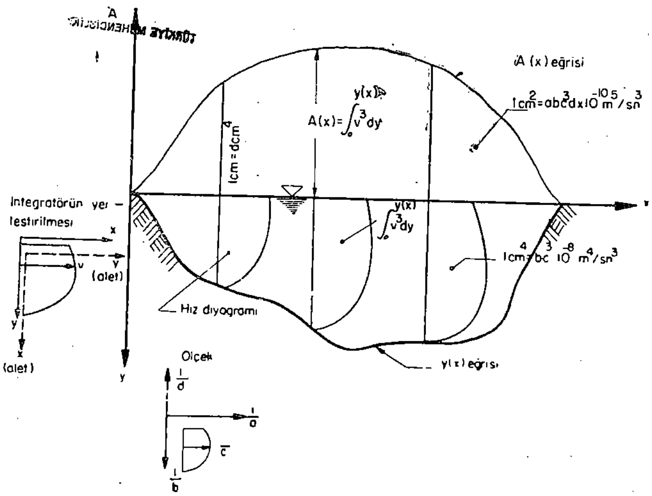
1. **Ölçekler :**

Çeşitli denemeler sonunda en uygun hız ölçeği olarak $\frac{1}{c} = \frac{1}{5}$ bulunmuştur. Daha büyük ölçekler kullanılabilirse de, diyagramdaki hız değerlerinin, ölçeğe göre 40 cm yi geçmemesine dikkat etmelidir. Çünkü âletin kolu eksenden en çok 40 cm açılabilmektedir. Derinlik ölçeği ($\frac{1}{b}$) için bir sınırlama olmamakla beraber, ölçülerin sıhhati ve rahatlığı bakımından, diyagramdaki derinlik değerlerinin 20-50 cm olması tercih edilmelidir.

2. **Çizim ve yerleştirme** : (Şekil : 6)

Alet genel olarak 1.50×3.00 m lik bir yatay satıh üzerinde çalışmaktadır. Ancak hız diyagramları derinlik ekseninin bir tarafında kaldığından 1.50×2.00 m lik bir satıh kâfi gelmektedir. Ruletlerin muntazam dönmesi için, âletin üzerinde hareket ettiği satıh yekpare bir kâğıtla kaplanmış olmalıdır. Meselâ şekillerin bütün sathı kaplayacak surette, normal eb'attaki milimetrik kâğıda çizilmiş olması, bu bakımdan iyi sonuç vermektedir.

Bir enkesitteki muhtelif düşeylere ait hız diyagramlarının, bir eksen üzerine, birbirleri ile karışmıyacak şekilde çizilmesi kâfidir. Hız diyagramlarında derinlikleri gösteren düşey eksenin kâğıdı (I) ve (II) kısımlarına böldüğü kabul edilirse âletin rayı (I) kısmının kenarına konur.



Şekil -5

Eksen ayarlayıcı kolların uçları, hız diyagramlarının derinlik ekseni üstüne gelecek şekilde kâğıt düzeltilir. (Ray kenarı ile kolların uçları arasındaki mesafe 65.2 cm dir.)

6.3.2 — **Ölçümün yapılması :**

Alet raya yerleştirilerek ölçüm kolu tercihan 500 mm ye ayarlanır; F ve Q ruletleri indirilerek ölçüm ucu hız diyagramının bir köşe noktasına getirilir ve 0 ayarı yapılır. Bilâhare uç, saat akrebi istikametinde hız diyagramı üzerinde, başlangıç noktasına gelinceye kadar döndürülür. F ruleti $\int$ vdy; J ruleti ise $\int v^3$ dy değerlerini verir. Bütün hız diyagramları için bu ölçüm tekrarlanır ve neticeler bir tabloda toplanır.

6.3.3. — **Hesap tarzı :**

1. **Debi hesabı :** F ruletinden okunan değerler ölçüm kolunun 500 mm alınması halinde A = 1000'e tekabül eden 0.3 âlet katsayısı ile çarpılırsa (*) cm^2 olarak hız diyagramının alanı bulunur. Bundan sonra debiyi hesaplamak için yukarıda anlatıldığı şekilde hareket edilir. (Şekil : 4).

2. **$\int v^3$ dy hesabı :** J ruletinden okunan değerler âlet sabiti olan 160 ile çarpılırsa $\frac{1}{3} \int v^3\,dy$ elde edilir. Bunun da 3 katı alınarak cm^4/sec^3 eb'adında $\int v^3$ dy bulunur. Hakikî değer ise :

$\int v^3\,dy = 3 \times 160 \times$ (J okuması) $\times\ bc^3 \times 10^{-8}$ m^4/sec^3 tür.

Bundan sonra daha önce anlatıldığı şekilde A (x) = $\int v^3$ dy eğrisi çizilerek $\int$ A (x) d x alanı hesaplanır. Bu alandaki 1 cm^2, Şekil : 5 de gösterildiği gibi $abc^3d \times 10^{-10}$ m^5/sn^3'e tekabül eder.

3 — **α'nın hesabı :**

ω ıslak kesiti ve Q debisi bilindiğine göre ortalama hız : $U = \frac{Q}{\omega}$ olarak bellidir.

$$\alpha = \frac{\int A(x)\,dx}{U^3 \omega}$$

formülünde bulunan değerler yerlerine konularak α hesaplanır.

6.3.4 — **Misâller :**

1. Seyhan nehrinde yapılan hız ölçümünden faydalanılarak A.OTT integratörü ile α katsayısı hesaplanmış ve $\alpha = 1.20$ değeri bulunmuştur.

2. Meriç nehrinde α katsayısı doğrudan doğruya hesap yoluyla tâyin edilmiş olduğundan integratör ölçüsü ile doğrudan doğruya hesap neticelerinin sıhhat derecesi hakkında bir fikir edinilmek üzere, ayni makta için integratörle ölçüm yapılarak α değeri bulunmuş ve hesap neticesi $\alpha = 1.91$'e mukabil inintegratörle $\alpha = 1.95$ değeri elde edilmiştir. İntegratörle çalışmadaki sür'at, α'nın hesapla bulunmasına nazaran takriben 5 misli büyüktür.

6.3 5 — **β katsayısının integratörle hesabı :**

Enerji dağılımı katsayısı β da, α katsayısına benzer şekilde integratör ölçüsü ile bulunur. Bunun için M ruleti değerlerini okumak kâfidir. M ruleti $\int y^2$ dx integralini verir.

(*) Bak. Operating Instructions for the Curve-Controlled Integrator. A.OTT.

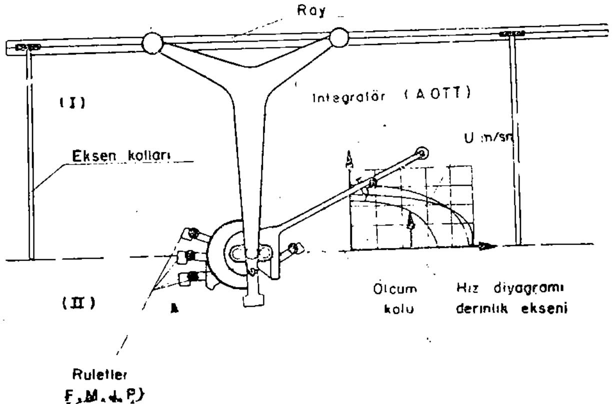
$$\beta = \frac{\int\int_\omega v^2 d\,\omega}{U^2 \cdot \omega}$$

$$\int\int v^2\,dxdy = \int_0^L dx \int v^2\,dy = \int_0^L$$

$$B(x)\,dx = \beta \cdot U^2 \cdot \omega \qquad (21)'$$

Debi hesabındaki q (x) ve α hesabındaki A (x) e, burada B (x) değeri tekabül etmektedir. M ruletinden B (x = $\int v^2$ dy değerleri elde edildikten sonra α hesabındakine benzer şekilde hareket edilerek β değeri bulunur.

Seyhan nehrinde yapılan ölçüm neticelerine göre, yukarıda verilen $\alpha = 1.20$ değerine mukabil $\beta = 1.07$ bulunmuştur.



Şekil : 6

7 — **α katsayısı 1'e eşit kabul edildiği takdirde yapılacak hatanın tetkiki :**

Herhangi bir kesitteki enerji :

$$H = h + \alpha \frac{U^3}{2g} \qquad (22)$$

Enerjinin kesitten, kesite değişimi ise :

$$\Delta H = \Delta h + \alpha \Delta \left(\frac{U^2}{2g}\right) \qquad (23$$

gösterilebilir.

α nın bir kesitten, diğer kesite değişmediği kabu edilerek $\Delta\alpha = 0$ alınmıştır. Filhakika α'nın bu değişi mi, fevkalâde küçük olduğundan ihmâl edilebili $\alpha = 1$ alındığı takdirde, hatalı olacak olan enerji de ğişimi ise :

$$(\Delta H)_e = \Delta h + \Delta \left(\frac{U^2}{2g}\right) \qquad (24) \text{ di}$$

Δ H'ın hatasını δ (Δ H) sembolü ile gösterelim :

$\delta(\Delta H) = \Delta H - (\Delta H)_e$ (23) ve (24) te

$\delta(\Delta H) = (\alpha - 1)\,\Delta \left(\frac{U^2}{2g}\right)$ (25) bulunur. Diğe taraftan enerji hattı meyli

$$j_E = \frac{\Delta H}{l} \text{ ve } \frac{\delta J_E}{j_E} = \frac{\delta'(\Delta H)}{\Delta H} \qquad (26) \text{ dı}$$

(23) ve (25) teki değerler (26) da yerine konulursa :

$$\frac{\delta j_E}{j_E} = \frac{(\alpha - 1)}{\alpha + \dfrac{\Delta H}{\Delta (U^2/2g)}} \quad (27) \text{ bulunur.}$$

Meselâ Manning formülü kullanılarak pürüzlülük hesabı yapıldığını farzedelim :

$$j_E = \frac{U^2 n^2}{R^{4/3}} \quad (28)$$

Eğer yalnız α'danmütevellit hatayı nazarı itibara alarak diğer ölçümlerin hatasız olduğunu kabul edersek :

$$\frac{\delta j_E}{j_E} = 2 \frac{\delta n}{n} \quad (29) \text{ yazılabilir.}$$

(27) ve (29) un sağ taraflarını eşit yazıp, gerekli ameliyeler yapıldıktan sonra :

$$\alpha - 1 = \left[1 + \frac{\Delta h}{\Delta (\dfrac{U^2}{2g})} \right] \times \frac{2 \dfrac{\delta n}{n}}{1 - \dfrac{2 \delta n}{n}}$$

(30) bulunur.

Pürüzlülük katsaysında α dan mütevellit izafî hatanın muayyen bir değerden küçük kalması şartını koyarsak (30) formulü yardımı ile, bu şart dahilinde, α'nın hangi değerden sonra nazarı itibara alınması gerektiğini bulabiliriz.

Pürüzlüülk katsayısı hesabında α'dan dolayı % 2 lik bir izafî hata kabul edelim. (Filhakika diğer faktörlerden mütevellit hata % 8 mertebesinde olduğundan netice itibariyle n katsayısında % 10 luk bir hata kabul etmiş oluyoruz.) Buna göre : $\frac{\delta n}{n} \leqslant \frac{2}{100}$ veya :

$$\frac{2 \delta n}{n} \leqslant \frac{1}{25}$$

Bu değer (30) da yerine konulursa :

$$\alpha - 1 \leqslant \left[1 + \frac{\Delta h}{\Delta (\dfrac{U^2}{2g})} \right] \times 0.0417 = \alpha_o - 1 \quad (30)'$$

Buradan $\frac{\Delta h}{\Delta (\frac{U^2}{2g})}$ nin muhtelif değerlerine göre % 2 lik haat limiti içinde kalmak şartı ile ihmâl edilebilecek α_o değerleri hesaplanır; eğer hesaplanan kesitte $\alpha > \alpha_o$ ise bu α değerinin hesaplara ithali icabeder.

Tablo 2: α_o değerleri

$\frac{\Delta h}{\Delta (\frac{U^2}{2g})}$	α_o
1	1.0834
2	1.1251
3	1.1668
4	1.2085
5	1.2502
6	1.2919
7	1.3336
8	1.3753
9	1.4170
10	1.4587
11	1.5004
12	1.5421
13	1.5838
14	1.6255
15	1.6672
16	1.7089
17	1.7506
18	1.7923
19	1.8340
20	1.8757

Misâl :

$\Delta h = 0.50$ m

$\Delta (\frac{U^2}{2g}) = 0.05$ m

$$\frac{\Delta h}{\Delta (\dfrac{U^2}{2g})} = \frac{0.50}{0.05} = 10; \ \alpha = $$

$$\alpha_o = 1.4587$$

Şu halde kesitteki $\alpha \leqslant 1.4587$ ise hesaplarda $\alpha = 1$ almak mümkündür. Bu suretle yapılacak hata % 2 limiti içinde kalacaktır.

Gerek debi, gerek pürüzlülük ölçümlerindeki hatalar, muline ve insan faktöründen ileri gelen kaçınılmaz hatalar olduğundan, meselenin önem derecesine göre, hata limitini arttırmamak için α dan gelecek hatayı % 2 den büyük kabul etmemek uygun olur.

8 — **Netice :**

Hız dağılımı katsayıları enerji ve momentamla ilgili hesaplarda, hesapların yaklaşım derecesine bağlı olarak, nazarı itibara alınmalıdırlar. α katsayısının 1 den büyük değerler alması mutlaka hesaplara ithalini gerektirmez. Bu husus mevzu ile ilgili bir hata analizi ile tesbit olunabilir.

Bilhassa büyük akarsularda, ilk yaklaşım olarak logaritmik hız dağılımı kabul edilmek suretiyle, kısa bir hesap sonunda katsayıların mertebesi tesbit olunabilir.

Yapılan hesapların hassasiyeti katsayıların ithalini gerektiriyorsa, α ve β nın hesabı için doğrudan doğruya hesap metodu yerine integratör kullanılması tercih olunmalıdır. Grafik metodla debi hesabı ile α ve β katsayılarının hesabı arasındaki benzerlik integratör kullanarak sür'atle neticeye varmayı mümkün kılmaktadır.

Not : Bu yazının dizilmesinde teknik güçlüklerle karşılaşılmış ve bazı harflerdeki yanlışlıklar giderilememiştir. Özür dileriz.

Bibliyografya :

1 — Open Channel Hydraulics — Wen Te Chow
2 — Hidrolik Cilt I — Burhanettin Berken
3 — Hydraulique Technique — C. Jaeger
4 — Hız dağılım katsayısının tâyini (Meriç nehrinde α hesabı) R. No. 181 — DSİ Araştırma Dairesi.
5 — Operating Instructions for curve — controlled integrator A.OTT — A.OTT.