

## EĞİK DÜZLEM ÜZERİNDE YERÇEKİMİ ETKİSİYLE OLUŞAN SERBEST YÜZEYLİ SU AKIMI

### GİRİŞ

Eğik düzlem üzerinde yer çekimi etkisiyle serbest yüzeysel su akımı açık kanallardaki akıma benzetilebilir. Açık kanal, sıvının serbest yüzeyinin atmosfere temas ederek aktığı yüzeydir. Akış, kanalın veya sıvı yüzeyinin eğiminden doğar. Bu tür düzeneklerde akım problemlerinin kesin çözümü oldukça zordur. Bu nedenle araştırmacılar çeşitli deneysel çalışmaların yardımıyla akım problemlerinin çözümüne gitmiştir.

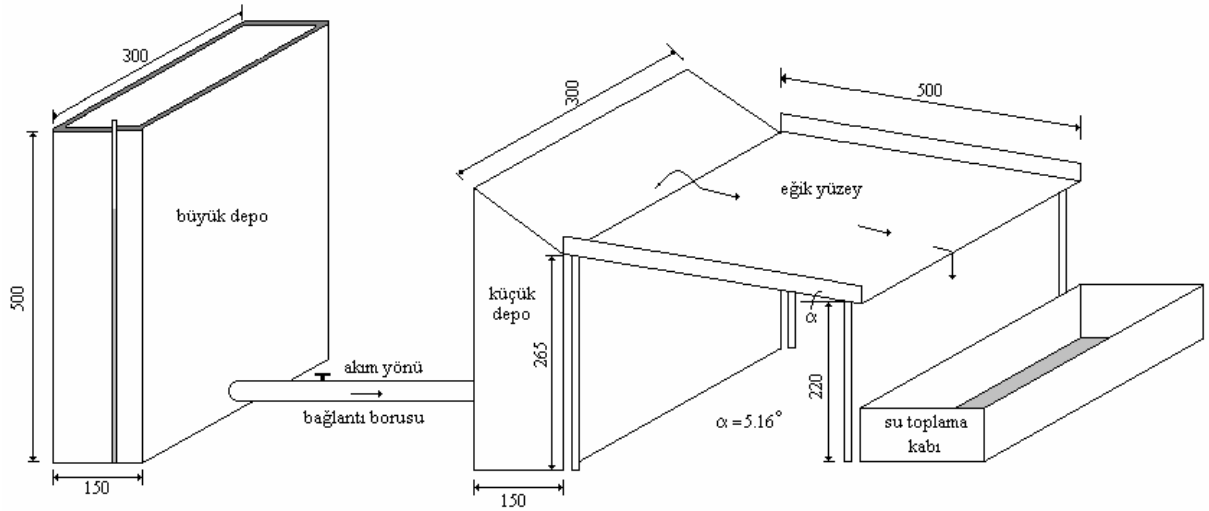
Mühendislik uygulamalarında, eğik bir düzlem üzerinde yer çekimi etkisiyle serbest yüzeysel su akımı problemlerine sıkça rastlanmaktadır. Pürüzlü eğik bir yüzey üzerinden homojen olmayan akışkanın (süspansiyon) akışıyla ortaya çıkan model, Maleki-Jirsaraei ve arkadaşları tarafından [1] incelenmiştir. Çalışmada eğim açısının belli bir eşiğin üzerinde olması durumunda global damlacıkların oluştuğu gözlenmiştir. Bu damlacıkların boyutları  $df=1.35-1.45$  olarak ölçülmüştür. Bu değer eğik yüzey üzerinden su akıtıldığı zaman ölçülen değere tekabül ettiği görülmüş ve söz konusu çalışmada yürütülen sistemin umumi sınıflandırmaya girdiği iddia edilmiştir. Tomassone ve Krim [2] benzer bir çalışmayı homojen olmayan yüzey üzerinde su akıtarak gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar akışkanın eğik yüzey üzerinde parçalara ayrılma karakterini incelemiştir. Kesirlere ayrılan damlaların  $df=1.35-1.45$  aralığında bir değere ulaştığını tespit etmişlerdir.

Çamur [3], çalışmasında pürüzlü ve pürüzsüz düzlem levha üzerinde yer çekimi etkisiyle oluşan akışkan filminin hareketini sonlu hacimler metodu kullanarak çözmeye çalışmıştır. Behr ve Abraham [4] ise ikizkenar yamuk şeklinde bir tanka su sıçraması şeklinde oluşan iki boyutlu akış problemini ve yine ikizkenar yamuk şeklindeki köprü destekli kanaldan geçen üç boyutlu akış problemini modellemişlerdir. Bunun dışında çok çeşitli kaynaklarda açık kanal akışı ve eğik yüzeysel akışlar teorik olarak anlatılmıştır [5-8].

Mevcut çalışmada ise eğik bir yüzey üzerinde yer çekimi etkisiyle oluşan serbest yüzeysel su akımını ölçmek amacıyla deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada hız üç ayrı yöntemle hesaplanmıştır. Bunlar; (i) eğik düzlem üzerinden akan suyun kat ettiği yolu ve o yolu alma süresinden gidilerek yapılan hız hesaplamaları, (ii) eğik düzlem üzerinden geçen suyun miktarı ve akma süresinden gidilerek debi aracılığıyla yapılan hız tespiti ve son olarak; (iii) Bernoulli denklemi yardımıyla teorik yoldan yapılan hız tayinidir. Yapılan tüm hız ölçümleri birbirleriyle kıyaslanmıştır. Neticede Bernoulli denklemi yardımıyla hesaplanan hız değerlerinin, diğer iki yöntemle bulunan değerlere nazaran çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Teorik ifadeden gidilerek hız tespit edilirken enerji kayıpları ihmal edildiğinden bu durum beklenen bir sonuçtur. Bernoulli denklemi yardımıyla hız tayin etme metodunda eğik düzlem üzerindeki suyun hızı dışında, akışın türü ve oluşan akım borusunun kesiti hesaplanmıştır. Üç ayrı yöntem için su seviyesiyle hız arasında logaritmik korelasyonlar türetilmiştir.

### DENEY DÜZENİĞİNİN TANITILMASI

Deney düzeneği Şekil 1'de görüldüğü gibi; büyük depo (su haznesi), ara bağlantı boruları, küçük depo, eğik düzlem ve su toplama kabından oluşmuştur. Büyük depo; 300x500x150 (mm) ebatlarında ve sacdan yapılmıştır. Dış kısmında içteki su seviyesini rahat ölçebilmek için deponun en alt kısmında bağlantısı sağlanan bir şeffaf boru bulunmaktadır. Ara bağlantı boruları; büyük depodan çıkan bir boru ve boru üzerindeki bir vana ile üç kola ayrılarak küçük depoya bağlanan borulardan oluşmuştur. Vana çıkışından sonra boruların üç kola ayrılmasının sebebi; suyun basıncını aynı oranda her tarafa dağıtabilmektir. Küçük depo 265x150x300 (mm) ebatlarında ve sacdan yapılmıştır. Küçük deponun orta kısmına tabandan itibaren 10 cm yükseklikte bir bent konulmuş ve suyun giriş tarafında kalan kısmına demir talaşlar doldurularak suyun akış hızının düşürülmesi amaçlanmıştır. Eğik yüzey; sacdan yapılan eğik düzlem üzerine yerleştirilen 300x500 (cm) ebatlarındaki camdan yapılmıştır. Böylece pürüzsüz bir yüzey elde edilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Deney Düzeneği

Bu çalışmada eğik düzlem üzerinde akan suyun hızı üç farklı yöntemle bulunmuştur:

- Hız=yol/zaman formülü ile,
- Kova kronometre yöntemi ile,
- Bernoulli denklemi yardımıyla.

Bu hesaplamaların hepsinde sırasıyla şu aşamalar gerçekleştirilmiştir:

- Eğik düzlem üzerinde suyun, eğik düzleme giriş noktasından, çıkış noktasına ulaştığı andaki süre ölçülmüştür,
- Eğik düzlem üzerinde giriş-çıkış ve farklı iki noktada su yükseklikleri ölçülmüştür,
- Küçük depo ile büyük deponun su seviyeleri eşitlendikten sonra, büyük depodaki suyun her 2 cm'lik yüksekliği sonunda suyun boşalma süresi ölçülmüştür,
- 2 cm yükseklikte akan suyun miktarı ölçülmüştür.

Bütün deneyler büyük depo ile küçük depo su seviyeleri eşitlendikten yani basınç farkı sıfır olduktan sonra yapılmıştır. Bu eşitlikten sonra büyük depo su yüksekliğini 2 şer cm yükselterek deneyler tekrarlanmıştır. Her 2 cm yükselme sonucu oluşacak basınç farkından dolayı suyun hızı değişecektir. Amaç bu hızın değişimini gözlemektir. Büyük deponun su alma kapasitesine göre bu deneyler 10 defa tekrarlanmıştır. Yani su seviyesi eşitlendikten sonra 20 cm su yüksekliğine kadar çıkılmıştır.

## DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

### Hızın yol/zaman Formülü ile Hesaplanması

Suyun akış hızını bulabilmek için eğik düzlem üzerinde suyun eğik düzleme giriş noktasından, çıkış noktasına ulaştığı andaki süre her 2 cm su yükselmesi için ölçülür. Burada sadece suyun çıkış noktasındaki hızı hesaplanır.

$$V=x/t \quad (1)$$

burada V suyun eğik düzlem çıkışındaki akış hızı (m/sn), t; suyun giriş noktasından çıkış noktasına ulaştığı süre (sn), x; eğik düzlemin uzunluğudur (x=500 mm).

Şekil 2'de görüldüğü gibi büyük depodaki su yüksekliği azaldıkça eğik düzlem üzerinden akan suyun hızı da azalmaktadır. Bunun suyun basıncının azalmasından kaynaklandığı aşikârdır.

### Kova Kronometre Yöntemi ile Hızın Tespit Edilmesi

Eğik düzlem üzerinde 2 cm yükseklikte akan suyun kütlesi ve bu suyun ne kadar sürede boşaldığı ölçülerek hız hesaplanır. Bu yöntem kova-kronometre yöntemi denir. Bu yöntemde debi:

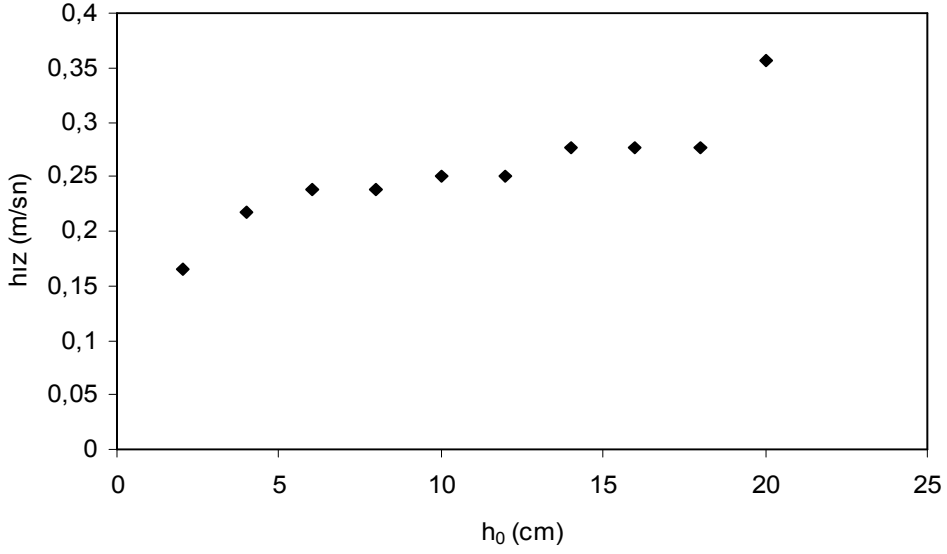
$$\dot{m} = \frac{W}{t} \quad \text{yani} \quad (2)$$

Debi=suyun miktarı/ akış süresidir. Bilindiği gibi kütleli debi şöyle ifade edilir:

$$\dot{m} = \rho_{su} V A \quad (3)$$

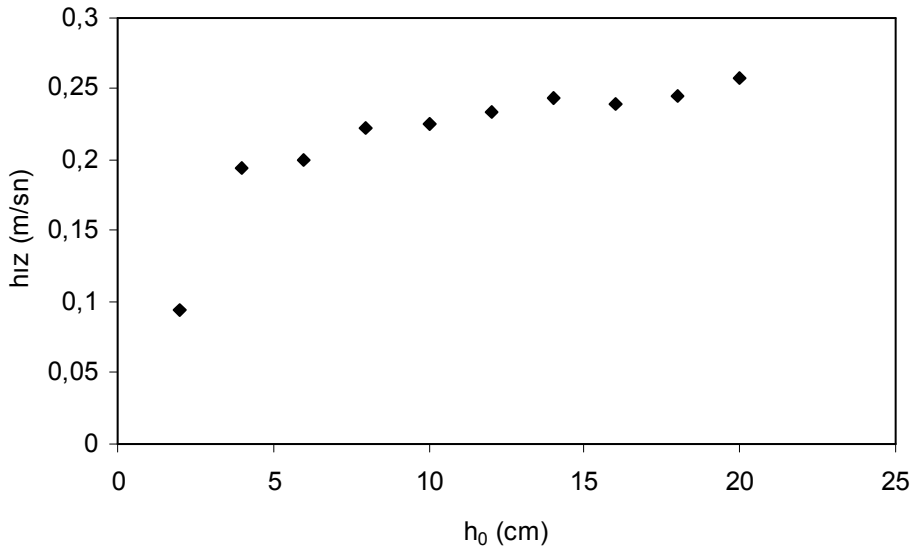
burada ; suyun debisi, V; hızı, A; bundan sonraki bölümde anlatılacak olan yöntemle bulunan kesitler,  $\rho_{su}$ ; suyun laboratuvar sıcaklığındaki yoğunluğudur ( $\rho_{su}=1000 \text{ kg/m}^3$ ).

Deneylerde kovadaki suyun ağırlığı ve akış süresi ölçülmüş böylece denklem (2)'deki debi elde edilmiştir. Akabinde denklem (2) ile bulunan debi, kesit ve yoğunluk denklem (3)'de yerine konularak hızlar bulunmuştur. Neticede elde edilen hız değerlerinin  $h_0$  ile değişimi Şekil 3'de verilmiştir. Burada da depodaki su yüksekliği azaldıkça, debinin ve dolayısıyla su hızının azaldığı açık bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 2.  $V=x/t$

yöntemiyle eğik düzlem çıkışında tespit edilen hız değerleri.



Şekil 3. Kova

kronometre yöntemiyle eğik düzlem çıkışında tespit edilen hız değerleri.

### Bernoulli Denklemi Yardımıyla Akışkan Hızının Tespiti

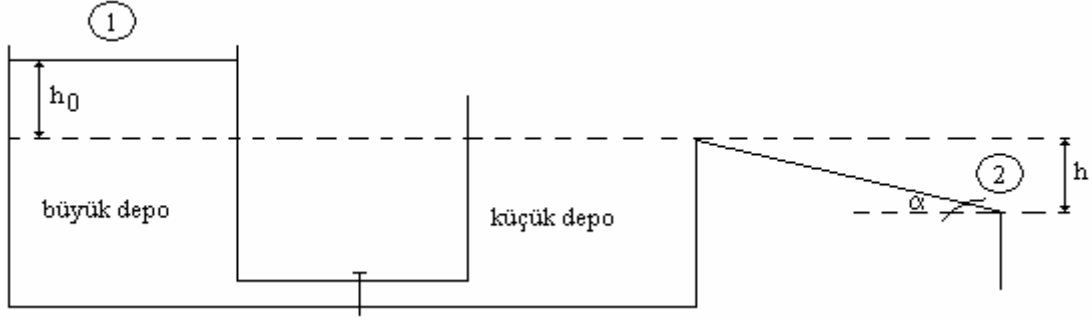
Bu yöntem teorik olarak Bernoulli denklemi yardımıyla hız ifadesini bulmayı amaçlamaktadır.

Şekil 4 yardımıyla büyük deponun girişi ile eğik düzlemin çıkışı arasında (1 ve 2 noktaları arası) Bernoulli denklemini yazarak eğik düzlem çıkışındaki hız hesaplanacak olursa:

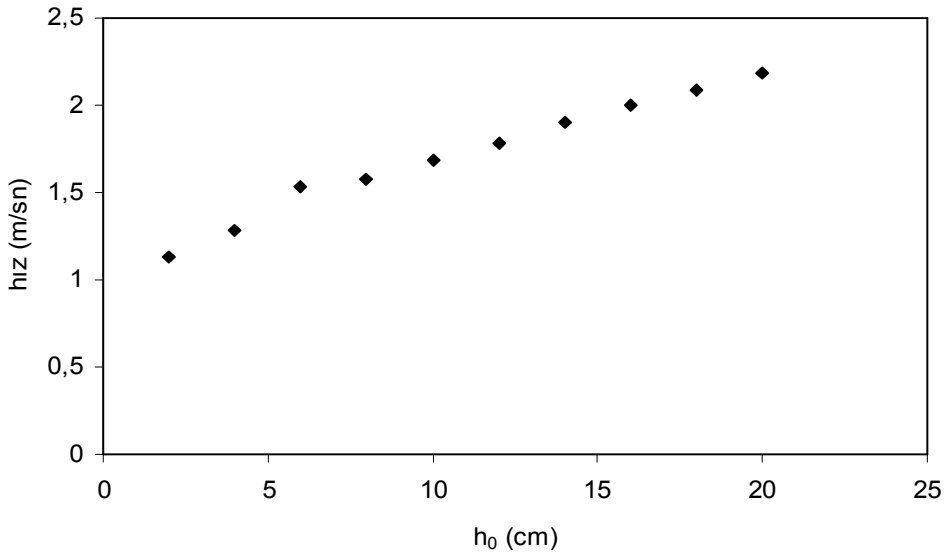
$$\frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + z_2, \quad z_2 = 0, \quad V_1 \approx 0, \quad V_2 = \sqrt{2gz_1},$$

$$z_1 = h_0 + h, \quad V_2 = \sqrt{2g(h_0 + h)} \quad (4)$$

$h_0$  ve  $h$  değerlerinin bilinmesi halinde eğik düzlemin çıkışındaki hız değeri denklem (4) ile bulunur. Şekil 5, eğik düzlemin çıkışında hesaplanan hız değerlerinin su yüksekliğiyle değişimini vermektedir.

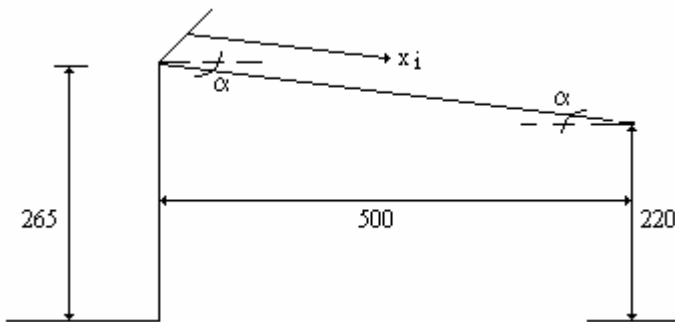


Şekil 4. Eğik düzlem üzerinde seçilen referans kesitler.



Şekil 5. Bernoulli

denklemini yöntemiyle eğik düzlem çıkışında tespit edilen hız değerleri.



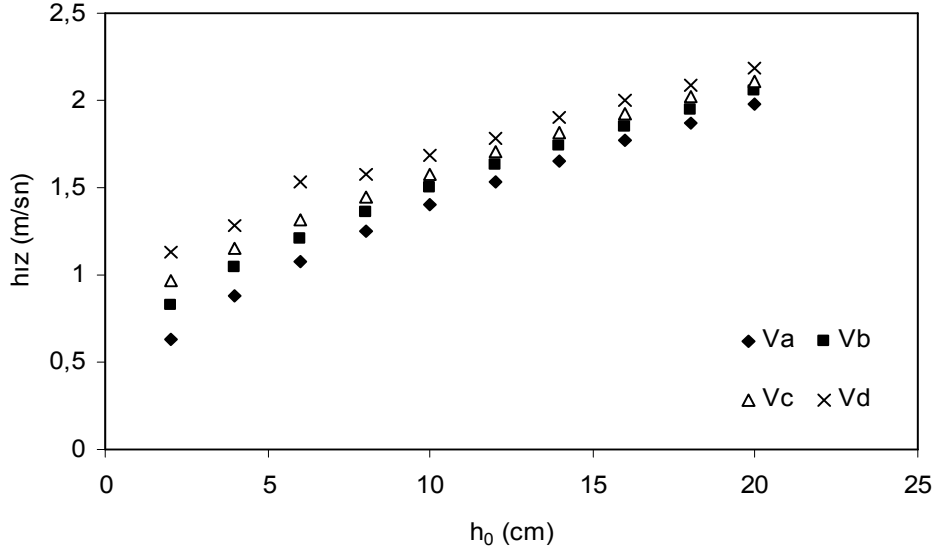
Şekil 6. Eğik düzlem üzerinde hızı hesaplamak üzere seçilen kesitler

Eğik düzlem üzerinde herhangi bir noktadaki hızı bulabilmek için denklem (4), Şekil 6 yardımıyla yeniden düzenlenirse;

$\sin a = (265 - 220) / 500 = 0.09$  olur. O halde  $a = 5.16^\circ$  elde edilir.  $h = x \sin a$  olduğundan;

$$V_x = \sqrt{2g(h_0 + x \sin a)} \quad (5)$$

elde edilir, burada  $V_x$  eğik düzlem üzerinde herhangi bir  $x$  mesafesindeki hızdır.  $x_a = 0$  (giriş),  $x_b = 170$  mm,  $x_c = 315$  mm ve  $x_d = 495$  mm için sırasıyla  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$ ,  $V_d$  hızları hesaplanmıştır. Böylece diğer iki yöntemden farklı olarak bu yöntemle sadece eğik düzlem çıkışında değil, aynı zamanda eğik düzlem boyunca hız değerlerinin değişimi hesaplanabilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Bernoulli

denkleminin kullanılarak eğik düzlemin 4 ayrı noktasında hesaplanan hız değerleri.

### Akış Türünün Belirlenmesi

Açık kanal akışlarında önemli bir boyutsuz büyüklük olan Froude sayısının hesaplanması ise şöyle yapılır:

$$Fr = V^2 / gL \quad (6)$$

burada  $V$  akışkan hızı,  $L$  uzunluk,  $g$  yerçekimi ivmesidir. Yukarıda sırasıyla anlatılan yöntemler (bölüm 3.1, 3.2 ve 3.3.) neticesinde hesaplanan Froude sayısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

$h_0$	Yöntem 1	Yöntem 2	Yöntem 3
20	0,02	0,0135	0.98
18	0,01	0,0122	0.89
16	0,01	0,02	0.82
14	0,01	0,012	0.74
12	0,012	0,011	0.65
10	0,012	0,01	0.58
8	0,011	0,01	0.5
6	0,011	0,0081	0.42

4	0,0096	0,0077	0.33
2	0,0056	0,00018	0.26

Tablo 1. Eğik düzlem çıkışındaki hıza göre hesaplanan Froude sayıları

Eğik düzlem üzerinde hızların düşük seyretmesi dolayısıyla Froude sayıları da düşük çıkmıştır. Eğik düzlemin çıkışında ölçülen/hesaplanan hızlara bağlı olarak bulunan Fr sayıları 1'in altında çıkmıştır. Bu da eğik düzlem üzerinde sel rejiminin oluşmadığını, akımın nehir rejiminde seyrettiğini gösterir.

### Akım Borusunun Tespiti

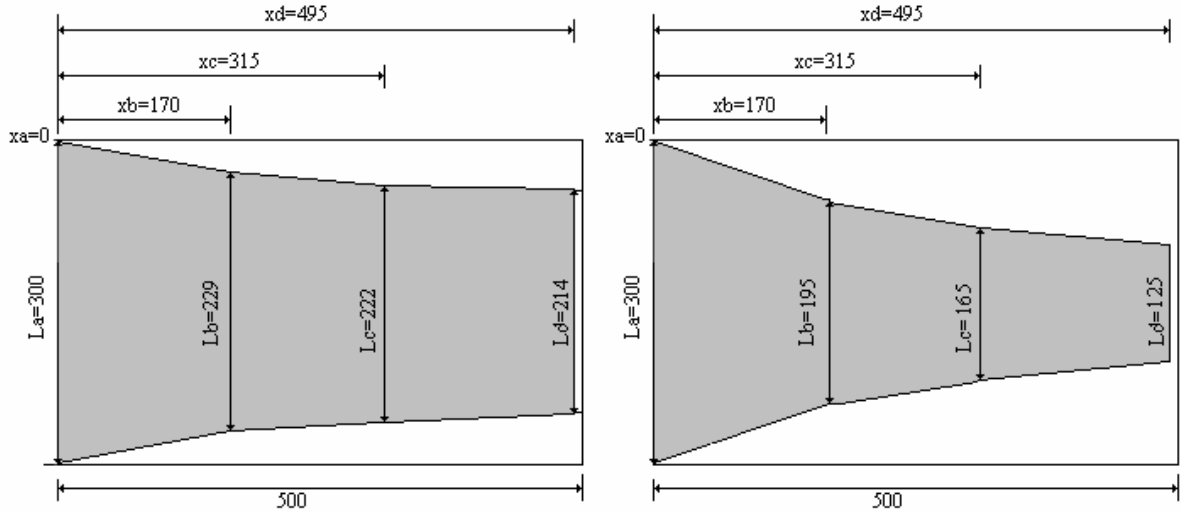
Eğik düzlem üzerinde aşağıya doğru hız artış göstermektedir ve kesiti daralan bir akım borusu oluşturulmuştur. Yöntem 3'deki deneysel veriler yardımıyla daralan bu kesiti ve suyun eğik düzlem üzerindeki genişliğini bulmak kolay olacaktır:

$$A_i = h_i \cdot L_i \quad (7)$$

burada  $A_i$ ; ( $A_a, A_b, A_c, A_d$ ) sırasıyla  $x_a, x_b, x_c$  ve  $x_d$  noktalarında oluşan akım borusuna ait kesitleridir.  $h_i$  eğik düzlem üzerindeki akan suyun yüksekliği,  $L_i$  eğik düzlem üzerinde akan suyun her bir  $h_i$  yüksekliğinde oluşturduğu genişliktir (akım borusu genişliği). Sırasıyla her bir  $h_0$  değerinde okunan  $x_a, x_b, x_c$  ve  $x_d$  noktalarındaki  $h_i$  yükseklikleri ve  $L_i$  genişlikleri ölçülmüş akabinde tüm kesitler denklem (7) yardımıyla hesaplanmıştır. Tablo 2'de ölçülen  $h_i$  değerleri, hesaplanan genişlikler ve kesitler verilmiştir. Yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda görülüyor ki; yukarıdan aşağıya doğru suyun genişliği azalmaktadır. Dolayısıyla kesiti de daralmaktadır. Ayrıca su yüksekliği azaldıkça kesit daralmasının daha fazla olduğu gözlenmiştir. Şekil 8'de  $h_0=20$  cm ve  $h_0=2$  cm için akım borusunun oluşumu gösterilmiştir.

$h_0$	$h_a$	$h_b$	$h_c$	$h_d$	$L_a$	$L_b$	$L_c$	$L_d$	$A_a$	$A_b$	$A_c$	$A_d$
20	1.9	2.4	2.4	2.4	300	229	222	214	570	550	533	533
18	1.9	2.2	2.4	2.4	300	245	219	212	570	540	527	510
16	1.7	2	2.2	2.4	300	244	213	187	510	487	470	450
14	1.6	2	2.2	2.4	300	227	198	173	480	487	440	416
12	1.6	2	2.2	2.4	300	225	195	172	480	450	430	412
10	1.5	2	2	2.2	300	210	199	170	450	420	398	375
8	1.3	1.8	1.8	2	300	199	186	156	390	358	336	312
6	1.3	1.8	1.8	1.8	300	193	163	138	390	348	321	294
4	1.2	1.6	1.6	1.8	300	191	173	138	360	306	277	250
2	1.2	1.4	1.4	1.6	300	195	165	125	360	273	213	200

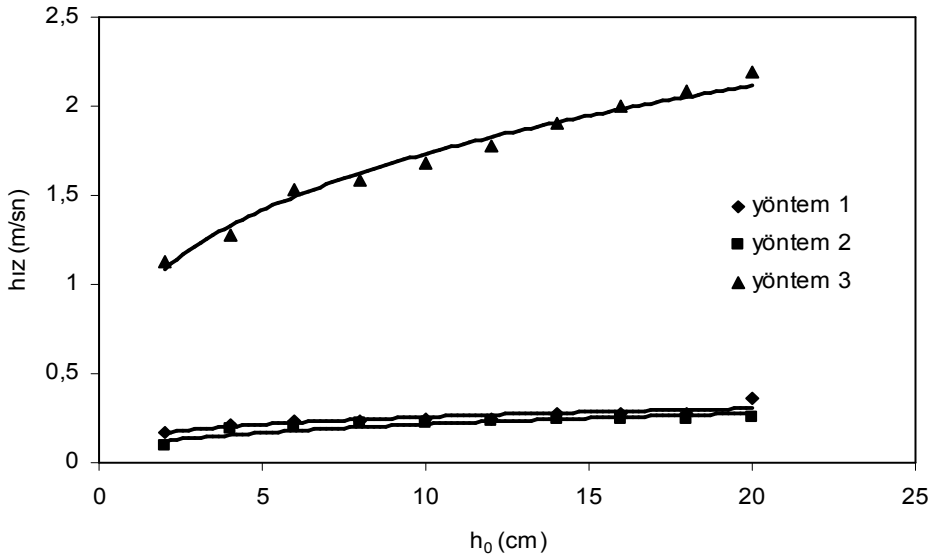
Tablo 2. Eğik düzlem üzerinde oluşan akım borusunun genişlik ve kesit değerleri (tüm boyutlar mm'dir).



Şekil 8. a)  $h_0=20$  cm b)  $h_0=2$  cm için kesit daralmasını gösterilişi tüm birimler (mm).

## SONUÇLAR

Yapılan tüm deney ve hesaplamalardan görülmüştür ki eğik düzlem üzerinde yukarıdan aşağıya doğru yerçekimi etkisiyle akan akışkanın hızı artmakta buna karşılık kesiti daralmaktadır. Şekil 9'da eğik düzlem çıkışındaki hızı hesaplamada kullanılan üç yöntem yukarıdaki anlatılış sırasına göre grafiğe dökülmüştür. Şekilde açıkça görüldüğü gibi yöntem 1 ile 2 arasında oldukça yakın bir uyum varken yöntem 3 hem yöntem 1'den hem 2'den farklılık göstermektedir. Yöntem 1 ile 2 arasında % 15 'lik bir sapma varken yöntem 3' ün yöntem 1'e göre %85, yöntem 2'ye göre %87 oranında sapma yaptığı görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, yöntem 3'te ihmal edilen sürtünme kayıplarının etkisinin çok büyük olmasıdır.



Şekil 9. Hız

ölçümlerinin uygulanılan yöntemlere göre kıyası.

Hesaplanamayan kayıpların miktarını bulmak için Şekil 9 üzerinde bazı korelasyonlar oluşturulmuştur. Şöyle ki; önce bir doğrusal fonksiyonla yöntem 1 ile yöntem 2'yi ortalama olarak temsil eden bir bağıntı bulunmuştur:

$$V=0.118 h_0^{0.3015} (R^2=0.6912) (8)$$



ardından Bernoulli denklemi yardımıyla hesaplanan hız değerleri için:

$$V=0.869 h^{0.3014} (R^2=0.9805) (9)$$

bağıntısı bulunmuştur. (Burada R; deneysel verilere göre elde edilmiş denklemin regresyon katsayısıdır)

İlk iki yöntemde deneysel, yani gerçek değerler, üçüncü yöntemde teorik değerler olduğuna göre; gerçek ile teorik arasındaki oran kayıp katsayısı olarak nitelendirilebilir. Yani:

$$V_{\text{teorik}} = C \cdot V_{\text{deneysel}} (10)$$

şeklinde yazılır. Denklem (8) ile (9)'da üsler birbirine çok yakındır, yaklaşık olarak eşit alındığı varsayılarak, her iki bağıntı arasında oran yapıldığında C kayıp katsayısı 7.364 bulunmuştur. Denklem (10)'da yerine koyulduğunda:

$$V_{\text{teorik}} = 7.364 V_{\text{deneysel}} (11)$$

gibi bir bağıntı bulunur. Böylece hesaplanamayan enerji kayıplarının miktarı belirlenmiş olur.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde emeği geçen emekli öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Ömer Erkin PEREMECİ 'ye saygılarımızı sunar, teşekkürü borç biliriz.

### SEMBOLLER

A Akışkanın akma esnasında oluşturduğu her bir istasyondaki kesit alanı (m<sup>2</sup>)

Fr Froude sayısı (-)

g Yerçekimi ivmesi (m/sn<sup>2</sup>)

h Eğik düzlem üzerinde ölçülen su yüksekliği, (m)

h<sub>0</sub> Depoda ölçülen su yüksekliği (cm)

L Akışkan akarken oluşan genişlik (m)

V Akışkan hızı (m/sn)

x eğik düzlem üzerinde seçilen keyfi uzunluk, (m)

İndis

i eğik düzlem üzerinde seçilen ölçüm istasyonlarının her biri (a, b, c, d)

### KAYNAKÇA

1. Maleki-Jirsaraei, N., Ghan-Motlagh, B., Baradaran, S., Shekarian, E., Rouhani, S., Fractal Behavior of Flow of an Inhomogeneous Fluid over a Smooth Inclined Surface, Reprint arXiv: cond-mat/0103247, pp.1-8, 2001.

2. Tomassone, M.S., and Krim, J., Fractal Scaling Behaviour of Water Flow Patterns on Inhomogeneous Surfaces,

Physical Review E, vol.54. no.6, pp.6511-6515, 1996.

**3. Çamur, H.,** Pürüzsüz ve Pürüzlü Düzlem Levha Üzerinde Yer Çekimi Etkisiyle Akışkan Filmi Hareketinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Ens., Elazığ, 2000.

**4. Behr, M.,** and **Abraham, F.,** Free Surface Flow Simulations in the Presence of Inclined Walls, Comp. Meth. in Applied Mechanics and Engineering, pp.1-20, 2002.

**5. Umur, H.,** Akışkanlar Mekaniği, Uludağ Üniversitesi, 1998.

**6. Blevins, R.D.,** Applied Fluid Dynamics Handbook, Florida, 1992.

**7. Sümer, B.M., Ünsal, İ., Bayazıt, M.,** Hidrolik, Birsen Yayınevi, 1998.

**8. Özgür, C.,** Deneysel Hidromekanik, İTÜ, 1980.