

57437

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARD ARDA DİZİLİ KÖPRÜ AYAKLARI
ETRAFINDA OLUŞAN OYULMANIN
ARAŞTIRILMASI

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN YAYIN MERKEZİ

İnşaat Mühendisi Shawki B.AZİZ

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Su programında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sabahattin ÜÇ

İSTANBUL - 1996

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yakın ilgisini gördüğüm, çalıőmam esnasında, değirli fikirlerinden ve bana ait çalıőmalardan dolayı yardımcı olan Sayın Hocam Prof.Dr. Sabahattin Üç'e teőekkürlerimi sunarım .

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
SEMBOLLER.....	IV
ÖZET	VI
SUMMARY.....	VII
1. GİRİŞ	1
2. HIZ ve BASINÇ ALANINDAKİ DEĞİŞMELER	2
2.2. Köprük Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler	4
2.2.1. Sürüklenen Vorteks Sistem	4
2.2.2. Atnalı Vorteks Sistem	5
2.2.3. Art-İz Vorteks Sistem.....	6
3- KATI MADDE HAREKETİ	7
3.1. Akarsularda Taban Hareket Şekilleri	7
3.2. Taban Hareketinin Başlaması ve Kritik Kayma Gerilmesi.....	7
3.2.1. Kritik Hız.....	12
3.2.2. Katı Madde Hareketinde Dinamik Denge.....	13
3.2.3. Dinamik Dengenin Bozulması	14
4- KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDAKİ OYULMAYA ETKİLİ OLAN PARAMETRELER.....	17
4.1. Giriş	17
4.2. Oyulmanın Zamanla Değişimi	17
4.3. Akım Karakteristiklerinin Oyulma Etkisi	18
4.3.1. Akım Hızının Oyulmaya Etkisi.....	18
4.3.2. Su Derinliğinin Oyulmaya Etkisi	19
4.4. Taban Malzemesi Karakteristiklerinin Oyulma Etkisi	20
4.4.1. Taban Sürükleme Gerilmesinin Etkisi.....	20

4.4.2. Taban Malzemesi Tane Çapının Oyulmaya Etkisi	21
4.5.1. Atak Açısının Oyulmaya Etkisi	22
4.5.2. Atak Açısının Oyulma Derinliklerine etkisinin Formül Yolu İle Bulunması	23
4.5.3. Akıma Dik Ayak Genişliğinin Oyulmaya Etkisi	25
5- MODELLER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
5.1. Giriş.....	26
5.2. Deney Kanalı	26
5.3. Deney Öncesi Çalışmalar	28
5.3.1. Taban Malzemesinin Özellikleri	31
5.3.2. Deneylerde Kullanılacak Ayaklar	32
5.4. Deneylerin Yapılması	32
5.4.1. Akım Doğrultusunun Ard Arda Gelen Köprük Ayakları	37
5.4.2. Atak Açısı, $\alpha=30^\circ$, Ayak çapı 5 cm Olması Hali	37
5.4.3. Atak Açısı, $\alpha=45^\circ$, Ayak çapı 5 cm Olması Hali	39
5.4.4. Atak Açısı, $\alpha=60^\circ$, Ayak çapı 5 cm Olması Hali	41
5.4.5. Atak Açısı, $\alpha=30^\circ$, Ayak çapı 7,5 cm Olması Hali	43
5.4.6. Atak Açısı, $\alpha=45^\circ$, Ayak çapı 7,5 cm Olması Hali	45
5.4.7. Atak Açısı, $\alpha=60^\circ$, Ayak çapı 5 cm Olması Hali	47
5.4.8. Sonuçlar.....	49
KAYNAKLAR.....	50

SEMBOLLER

- a_t : $\alpha > 0$ iken ayaklar arasındaki izdüşüm genişliği
- a : $\alpha = 0$ iken ayaklar arasındaki izdüşüm genişliği
- C_p : Basınç katsayısı
- C_s : Sürüklenme katsayısı
- C_k : Kaldırma katsayısı
- d : Taban malzemesinin dane çapı
- d_m : Karakteristik dane çapı
- d_{60} : %60'ı verilen çaptaki elekten geçen dane çapı
- D : Silindirik ayak (engel) çapı
- g : Yerçekim ivmesi
- dV : Taban geometrisi değişimi
- J : Kanal taban eğimi
- H_d : Denge oyulma derinliği
- H_{dmax} : Maksimum denge oyulma derinliği
- h : Kanaldaki su derinliği
- K_s : Ayak şekil katsayısı.
- P : Basınç
- Re : Reynolds sayısı
- Re_* : Dane reynolds sayısı

- Fr : Froude sayısı
- Fr_* : Dane Froude sayısı
- Q : Debi
- $Q_T(B)$: Taşıma kapasitesi (kesitten çıkan madde miktarı)
- $Q_T(S)$: Membadan gelen katı madde miktarı
- V : Oyulma çukurunun hacmi
- v : Hız vektörü
- U : Yaklaşım hızı
- U_{kr} : Kritik hız
- τ : Taban kayma gerilmesi
- ν : Kinematik viskozite
- τ_{kr} : Kritik kayma gerilmesi
- γ, γ_w : Suyun özgül ağırlığı
- γ_s : Danenin özgül ağırlığı
- α : Atak açısı
- ρ : Suyun yoğunluğu
- ρ_s : Danenin yoğunluğu

ÖZET

Bu çalışmada, tabanı hareketli bir akarsuda değişik çaplı ayaklarda, maksimum denge oyulmalarının değişimi deneysel olarak araştırıldı. Deneysel çalışma safhasında önce, oyulma olayının meydana gelişi ve oyulma hakkındaki bilgiler araştırıldı ve özet olarak anlatıldı.

Bu çalışma dört bölümde incelenmiştir. Bunlardan,

Birincisi : Akım alanındaki değişiklikler

İkincisi : Vorteks sistemlerin oluşu ve oyulma olayına etkileri

Üçüncüsü : Katı madde hareketi

Dördüncüsü : Köprü ayakları etrafındaki oyulmaya etkili olan parametreler

Bunlardan elde edilen bilgiler çalışmamızın ilgili kısımlarında kullanıldı.

Deneysel çalışma iki bölümde özetlenebilir.

Birinci bölümde atak açısı $\alpha = 0$ iken, hareketli tabanlı doğrusal akarsu yatağında dairesel ayaklar etrafındaki meydana gelen maksimum denge oyulma derinlikleri araştırıldı ve buna ait denklem çıkarılmıştır. $0.02 \leq \frac{a}{D} \leq 11.5$

İkinci bölümde atak açısı sıfırdan farklı ($\alpha > 0$) hareketli tabanlı doğrusal akarsu yatağında dairesel ayak etrafında yapılan gelen maksimum denge oyulma derinlikleri araştırıldı ve buna ait denklem çıkarılmıştır. $0.02 \leq \frac{a_1}{D} \leq 3$

SUMMARY

In this study, max. change dynamic equilibrium of scouring has been researched experimentally at circular banded piers with a movable base. Before this stage of the experimental study, formation of the scour and the information about scour have been researched and informed as a summary.

This study was examined in four sections.

The first one: The changes in the field of current.

The second one: The formation of vortex system and the effect on the factors (phenomena) of scour.

The third one: Movement of the Solid matter.

The fourth one: The effective parameters on the scour around the face of the bridge.

The information obtained from these four sections of our study have been used in concerning part of our study.

The experimental study can be summarized in two parts. In the first part, when the angle between the axis of face and the direction of current is zero, the maximum depths of dynamic equilibrium of scouring have been researched around the circular face at the linear streams with the movable (unstable) base and the equation obtained that has been found as, $0.02 \leq \frac{a}{D} \leq 11.5$.

In the second part, when the angle between, the axis of the face and the direction of the current is different from Zero ($\alpha > 0$); maximum depths of balance of scour around circular face of the bridge in the linear stream with the base movable (unstable), have been researched and the concerning equation has been determined as $0.02 \leq \frac{a_1}{D} \leq 3$.

GİRİŞ

1. OYULMA OLAYI

Tabanı hareketli bir akarsuya yerleştirilen köprü ayakları, akımın özelliklerini ve katı madde hareketini değiştirir. Köprü ayaklarından dolayı artan akım hızı, akımın taşıma kapasitesini artırır. Bu yüksek hız bölgesinde artan sürüntü maddesinin taşıma kapasitesi, gelen malzeme miktarından fazla olduğu için oyulma olayı başlar.

Kanaldaki genel akım içerisine bir köprü ayağı yerleştirildiği zaman birbirinden çok farklı, buna karşılık birbirinin tamamlayıcısı olan bir seri olaylar gözlenir. Bu olaylar zinciri şu şekilde belirlenebilir.

- Ayaktan dolayı akım çizgilerinde meydana gelen sapmaları ve bunun neticesi olarak da ayak etrafındaki hız ve basınç alanında önemli değişiklikler,
- Ayak etrafında sınır tabakasının oluşması, hız ve basınç alanındaki değişikliklerin neticesi olarak, sınır tabakasından ayrılmalar,
- Sınır tabakasından ayrılmanın neticesinde ayak etrafında çeşitli biçim ve büyüklükte vorteks sistemlerinin oluşması ve sökonder hareketlerin oluşması,
- Ayak etrafında oluşan vorteks sistemler ve sökonder akımın etkisi ile tabanda dengede bulunan malzemelerin yerinden sökülmesi ve taşınması,
- Ayak etrafında oyulmanın başlaması ve oyulma çukurunun oluşması,

Oyulma olayı ile ilgili olan yukarıdaki olaylar dizisine kısaca göz gezdirelim:

2. HIZ VE BASINÇ ALANINDAKİ DEĞİŞMELER

Köprü ayağının akım alanına yerleştirilmesi ile yaklaşan akımın, engelin simetri eksenini üzerinde olan sıvı ipçığının, engelle yaklaştıkça hızının azaldığı ve engelin cidarında sıfır olduğu araştırmalar sonucu bulunmuştur. Hızın sıfır olduğu nokta durgunluk noktasıdır. Durgunluk noktasının konumu akım yüksekliği, akım hızı ve engel önünde oluşan kabarma yüksekliğinin bir fonksiyonudur (1).

Hız alanında oluşan bu değişmelerin yanında buna bağlı olarak diğer bir değişme de basınç alanında meydana gelmektedir.

Engelin önünde yeterli uzaklıktaki bir nokta ile engel cidarındaki nokta arasında Bernoulli Denklemi uygulandığında engel önünde meydana gelen basıncın $P=P_0+\rho (U^2/2)$ olduğu bulunmuştur.

Burada,

P : Engel durgunluk düzlemindeki bir noktanın basıncı

P_0 : Engelden yeter uzaklıktaki bir noktanın basıncı

$\rho \frac{U^2}{2}$: Dinamik basınç

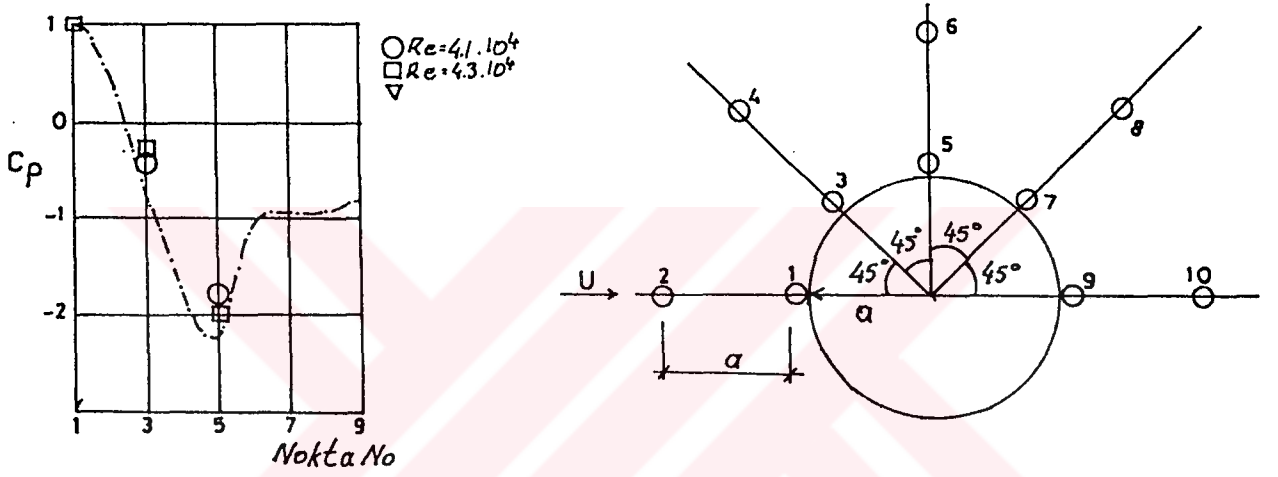
Görülüyor ki, engelin menba tarafında daha büyük bir basınç oluşmaktadır. Ve bundan dolayı su yüzündeki bir kabarma meydana gelmektedir.

Basınç dağılımını genellikle; C_p basınç katsayısına bağlı olarak tariflenmiştir.

$$C_p = \frac{P - P_o}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

Burada,

C_p : Basınç katsayısını gösterir.



Şekil 2.2. Engelden dolayı basınç alanında meydana gelen değişmeler.

Şekil (2.2)den de görüldüğü gibi, basınç, engelin menba ve mansabında max. olmaktadır. Fakat mansaptaki basınç artışı yapılan deneylerden menbadakine göre daha az olduğu görülmüştür.

2.2. KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDA OLUŞAN VORTEKS SİSTEMLER

Bir engel etrafında yer alan akımın en belirgin özelliği, büyük ölçekli çevrinti yapısı veya başka bir deyişle vorteks sistemlerdir (3).

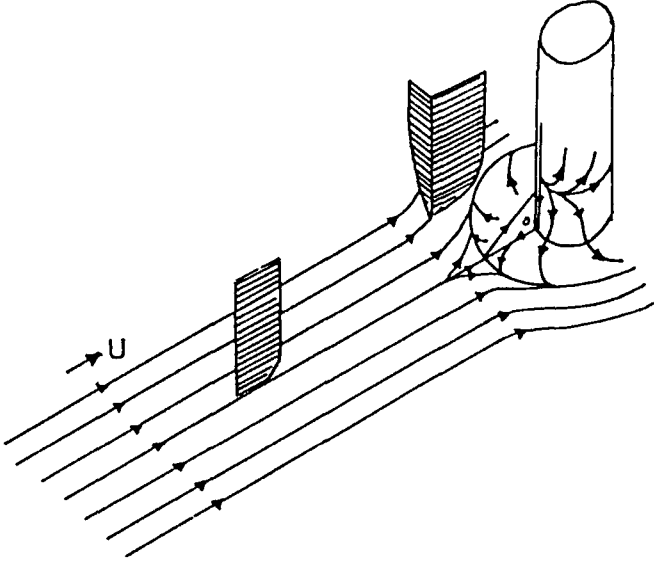
Engelin hemen önünde meydana gelen basınç gradyanındaki artımdan dolayı, engelin menbandaki sınır tabakası ayrılır. Bu ayrılma ve engelin menba durgunluk düzleminde oluşan hızın düşey bileşenlerinin, taban zemini üzerinde yansıması sonucunda engel etrafında vorteks sistemler meydana gelir.

Engel etrafında oluşan vorteks sistemler genelde üç ayrı biçimde oluşur;

1. Sürüklenen vorteks sistem,
2. Atnalı, vorteks sistem,
3. Art-iz vorteks sistem.

2.2.1. SÜRÜKLENEN VORTEKS SİSTEMLER

Bu vorteks sistemler aynı köşede birleşen yüzey arasında basınç farkları olan durumlarda meydana gelmektedirler. Engelin durgunluk düzlemiyle kanal tabanının birleştiği yerde kabarmadan dolayı oluşan yüksek basınç gradyanları bu vortekslerin oluşmasına neden olur. Genellikle tamamen batık engellerle oluşurlar (3).



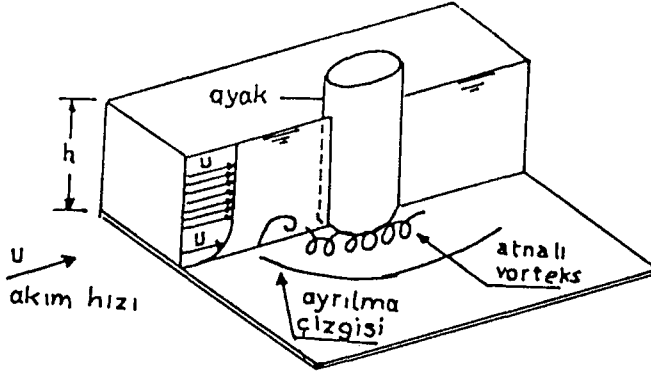
Şekil 2.3. Sürüklenen Vorteks Sistem

2.2.2. ATNALI VORTEKS SİSTEM

Engelin önünde meydana gelen aşağı yönlü düşey durumdaki hız bileşeni tabana ulaşır ve sapar. Yön değiştiren bu hız bileşenlerinin bir bölümü sürüklenen vorteksleri oluştururken, diğerlerinin bir bölümü de tekrar yükselir ve hareketine devam ederler. Bu olayların sonucunda engelin tabanı yakınında bir çevrinti hareketi oluşur. Bu yeni çevri hareketine atnalı vorteks sistem denir (4).

Bu vorteksin oluşması basınç değişiminin büyük olmasına bağlıdır. Bu da ayak şekilleri ile ilgilidir. Sivri uçlu ayakların uç kısmında vorteksler olmaz, çünkü sivri uçlar yüksek basınç değişimi oluşturmazlar. Ancak küt (geniş) burunlu ayaklarda genişlikten dolayı yüksek basınç değişimi olur. Bundan dolayı, sınır tabakasından ayrılmalar ile engel önünde yuvarlanarak atnalı vorteksi oluştururlar.

Atnalı vorteks sistem dairesel engellerde ana akımla 70° açı yapan nokta yakınında, dikdörtgen engellerde ise engelin köşelerinde dönümlü akım hızına sahip olduğu belirtilmektedir (5).

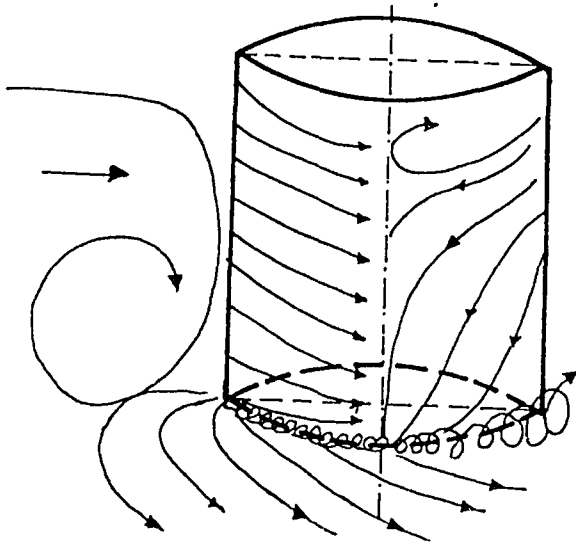


Şekil 2.4. Atnalı Vorteks Sistem

2.2.3. ART-İZ VORTEKS SİSTEM

Engel yüzeyindeki kararsız sürtünme tabakasının yukarı doğru dönerek çıkmasından meydana gelir. Bu sistem içinde konsantre olan çevrilen engelin kendisi tarafından meydana getirilir. Sürtünme tabakaları, ayrılma hattının her iki tarafından ayrılırlar. Art-iz (İzli) vorteks sistemde çevrilerin şiddeti, engelin şekline ve akım hızına bağlı olarak çok değişir. Ayağın arka tarafında, tabandan yukarı doğru kalkan bir akım gözlenir (3).

Viskoz akımlarda, genellikle, bir silindirin art-iz bölgesindeki sekonder akımın, artan hız yükü doğrultusunda olduğu söylenebilir. Bu olay, genellikle yaklaşım hızının silindire doğru artması, silindirin arkasındaki basıncın düşmesi gerçeğinden çıkarılmıştır (5).



Şekil 2. 5. Bir engel etrafındaki oluşan vorteksler ve Art-İz vorteks sistemi.

3. KATI MADDE HAREKETİ

3.1. AKARSULARDA TABAN HAREKET ŞEKİLLERİ

Tabiatta akarsu yatakları her zaman akımın belirli şartları altında hareket edebilecek kum, çakıl, kaya gibi katı madde tanelerinden oluşur. Aralarında elektro kimyasal kuvvetler bulunmayan ayrık tanelerin ağırlığı, tabanda kalmasını sağlamaktadır. Akarsu hızının artması ile tabandaki kayma gerilmesi artacağından tanelerin bazıları tabanda harekete geçerler. Kimisi yuvarlanır, kimisi de birbiri üzerinden kayar. Tanelerin bu hareketine “sürüntü hareketi” denir. Akım hızının tekrar artması ile bazı taneler tabandan kalkar, kısa bir süre sonra tekrar tabana dönerler. Buna da “sıçrama hareketi” denir. Sıçramanın nedeni, tane yakınındaki basıncın değişmesi veya bir başka tanenin çarpması olabilir. Bu hareket tarzı havada önemli olmasına karşılık suda göz önüne alınmayacak kadar önemsizdir. Bunun içinde sürüntü maddesi hareketine dahil edilerek hesaplar yapılır. Tanelerin bu hareket tarzları ise akım hızının daha büyümesi sonucunda taban kayma gerilmesinde büyük artımlar meydana getirir. Bu gerilme ile tane yerinden sökülür, akım hızı ve türbülans ile hareket eder. Gerilme değeri küçülmedikçe dane, akımla beraber ve tabandan uzak olarak hareketine devam eder. Bu olay ile “askı hareketi” meydana gelir. Olayda önemli faktör, tanenin çökme hızını yenen türbülanstır (6).

3.2. TABAN HAREKETİNİN BAŞLAMASI VE KRİTİK KAYMA GERİLMESİ

Kritik kayma gerilmesi, danelerin harekete geçmesine sebep olan gerilmedir. Tane hareketi, bu gerilmenin belli değerinden sonra başlamaktadır.

Yoğunlukları suyun yoğunluğundan daha büyük olan katı madde tanelerinden yapılmış hareketli tabanlı bir yatak içerisinde akan bir tane üzerine bazı kuvvetler etkir. Bunlar, hidrodinamik kuvvetler ile tanenin yerinde kalmasına çalışan kuvvetlerdir. Hidrodinamik kuvvetlerin bileşkesinin taneyi

yerinde tutan kuvvetlerin bileşkesine eşit olması ile “kritik durum” elde edilir (6). Bu durumda tane harekete geçmek üzeredir. Hareketli tabanda belli özellikte bulunan taneler için hız arttıkça hızın belli bir değerinde bu kritik kayma elde edilebilir.

Hareketli tabanlı bir yatak içerisindeki bir katı madde tanesine etki eden kuvvetler şunlardır:

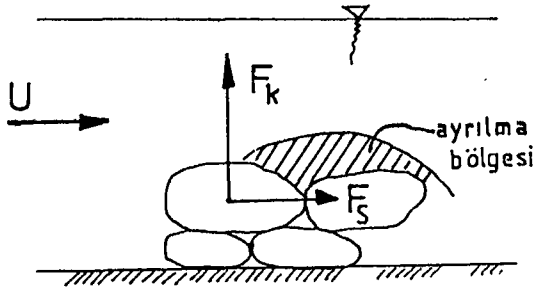
1- Ağırlık kuvveti (G)

2- Kaldırma kuvveti (F_k)

3- Sürüklenme kuvveti (F_s)

$$F_k = \frac{1}{2} C_k \rho A v^2$$

$$F_s = \frac{1}{2} C_s \rho A v^2$$



Şekil 3.1.

Burada;

C_k : Kaldırma katsayısı

C_s : Sürüklenme katsayısı

A : Tanenin akıma dik alanı

V : Tane yakınındaki hız

Bu kuvvetlerden ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni taneyi yerinde tutmaya, kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvveti ve ağırlığın akım doğrultusundaki bileşeni ise taneyi harekete geçirmeye çalışırlar (6). Tanelerin tabanda harekete geçtiği anı, kesin olarak tespit etmek mümkün değildir. Ancak akımın ortalama hızının bir değere ulaşması halinde, bütün taban aynı anda harekete geçebilir.

Olayı etkileyen değişkenler şunlardır:

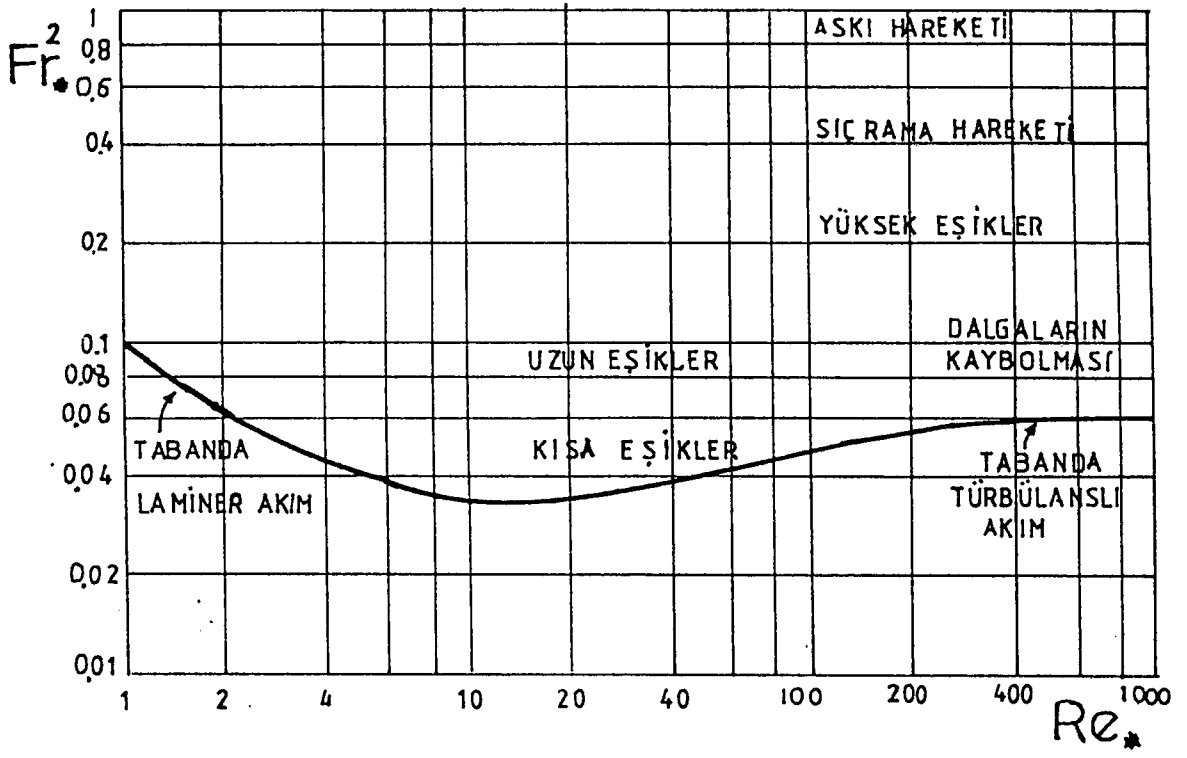
1. Akışkanın özellikleri : γ, ν
2. Taban malzemesinin özellikleri : d, γ_s
3. Akımın Özellikleri : τ
4. Yer çekim ivmesi : g

Bu değişkenler arasında boyut analizi uygulayarak;

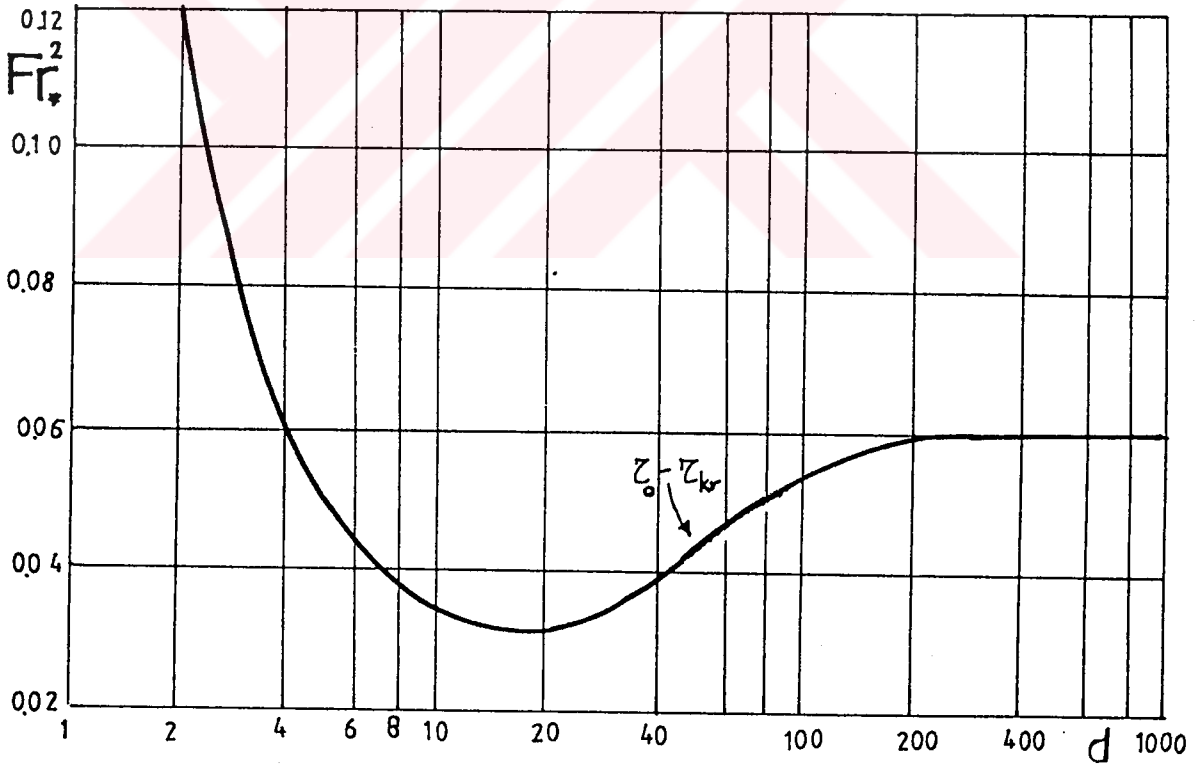
$$\frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma)d} = F(\text{Re}_*, \frac{\gamma}{\gamma_s})$$

$$Fr_* = F(\text{Re}_*, \frac{\gamma}{\gamma_s})$$

bağıntıları elde edilmiştir. Deneylere göre; bu boyutsuz sayılardan γ/γ_s önemsizdir. Fr_* ile Re_* boyutsuz sayıları arasındaki bağıntıyı Shields deneysel olarak verilmiştir.



Şekil 3.2. Shields diyagramı



Şekil 3.3.

Şekil (3.2)deki diyagrama göre; Eğrinin üst bölgesinde taban hareketlidir. Eğrinin altında kalan bölgede ise taban hareketi yoktur. Eğri üzerinde herhangi bir noktaya ait kayma gerilmesi “kritik kayma gerilmesi” olmaktadır. Belli bir taban malzemesinin harekete geçmesine yol açacak kritik kayma gerilmesini Shields eğrisinden bulmak ancak deneme yanılma yoluyla olabilir (6).

Bazı araştırmacılar bu diyagramın kullanışlı olmadığını Fr_* ile Re_* sayıları arasında U_* bilinmeyen olduğundan sonuç için tatonman gerektiğini söylemişlerdir. Bunu önlemek için Re_*^2 / Fr_*^2 oranından yararlanarak;

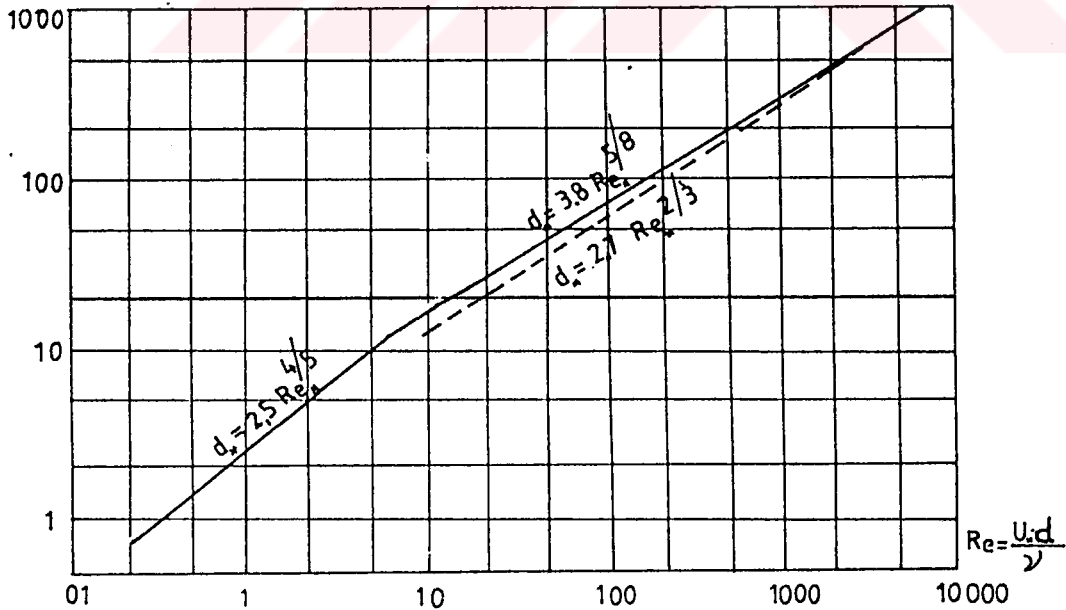
$$d_* = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\rho v^2} \right)^{1/3} d \text{ ifadesi elde edilmiştir. Buradaki } d_* \text{ ye sedimentolojik çap}$$

denilmektedir.

Bonefillerle, sedimentolojik çap ile Re_* arasında bağıntı kurarak Shields diyagramını yeniden düzenlemiştir.

Bu yeni diyagram şekil (3.4)'de verilmiştir.

$$d_x = \left(\frac{\rho'g}{v^2} \right)^{1/3} .d$$



Şekil 3.4. Bonefillerin hazırladığı diyagram

3.2.1. KRİTİZ HIZ

Tabanda tanelerin harekete geçmesi taban kayma gerilmesine bağlıdır. Pratikte çoğu zaman kayma gerilmesi yerine akımın ortalama hızını (kritik hız) almak daha kolaydır (6).

Birçok araştırmacı, çeşitli parametrelere bağlı olarak, kritik hız formülleri verilmişlerdir (6).

$$1) \text{ HANCU: } U_{kr} = a \sqrt{g \cdot d \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \left(\frac{h}{d} \right)^{0.2}$$

a için : $d_{90} > 0.7$ ise $a=1$

$d_{90} < 0.7$ ise $a= 1.2 \sim 1.4$

$$2) \text{ GONCHAROV : } U_{kr} = \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_s^+ \cdot d}{\alpha}} \cdot \log \frac{8.8h}{d}$$

a) tabanda türbülans hızının en çok olduğu anda bile tabanda hareket olmadığı zaman $\alpha=3,50$

b) Tanelerin ortalama hızı değerinde harekete geçmesi hali için $\alpha=1,75$

D : malzeme çapı

γ_s^+ : katı maddenin su altında yoğ.

h : kanaldaki su derinliği

$$\gamma_s^+ = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

$$3) \text{ LEVİ } \quad U_{kr} = 1.4 \cdot \sqrt{gd} \ln \frac{h}{7 \cdot d}$$

4- MEYER-PETER: Türbülanslı akımda tanenin sürüklenmeye başladığı andaki kritik hızı vermiştir.

$$0.99 = \frac{\tau}{\tau_{kr}} = \frac{\gamma h J}{A(\gamma_s - \gamma) d_m}$$

$$J = \frac{U_{kr}^2}{k_m^2 \cdot h^{4/3}} \rightarrow U_{kr} \text{ Çekilir .}$$

K_m : taban pürüzlülük katsayısı

$$d_m \cong d_{50}$$

d_m : Ortalama çap

5 - Kum tabanlı kanallarda tabanda hiç hareket olmadığında kritik hız formülü:

$$U_{kr} = 5,7 h^{1/6} d^{1/3}$$

denklemden h, d (metre) U: m/sn. olarak alınmalıdır.

3.2.2. KATI MADDE HAREKETİNDE DİNAMİK DENGE

Tabanı hareketli bir akarsu, taşıdığı debi ile sürtünlü madde miktarına uygun bir dengeye ulaşır. Bu durumdaki akarsuyun tabanında hiç bir değişim olmaz. Yani gelen sürüntü miktarındaki değişimler tabanda kısa süreli değişikliğe neden olurlarsa da, gelen katı madde miktarı ile taşıma kapasitesinin eşit olacağı bir denge durumuna ulaşır. Bu dengeye “dinamik denge” denir (3).

Hareketli tabanlı bir akarsu taşıdığı sürüntü maddesi miktarında bir değişim olursa, akarsu tabanı da değişir. Bu olayı oyulma yığılma şeklindedir. Oyulan kesitten çıkıp taşınan miktarda artma varsa tabanda oyulma, eğer azalma varsa tabanda yığılma söz konusu olur.

Olayın genel denklemi şöyledir:

$$\frac{dV}{dt} = Q_T(B) - Q_T(S)$$

Burada.

V : Gözönüne alınan kesitteki oyulan ya da yığılan miktar.

$Q_T(B)$: Kesitten çıkan katı madde miktarı,

$Q_T(S)$: Kesite giren madde miktarı.

Giren ve çıkan katı madde miktarlarının eşit olması halinde yani, $Q_T(B)=Q_T(S)$ olursa,

$$\frac{dV}{dt} = 0 \text{ olur. Bu yatakta dinamik denge halindedir.}$$

Eğer, $Q_T(B)$ ile $Q_T(S)$ eşit değilse o zaman,

$Q_T(B) < Q_T(S)$ olması hali için yerel oyulma,

$Q_T(B) > Q_T(S)$ olması hali için yerel yığılma oluşur.

Oyulma ve yığılma madde hareketinin kararsız halinde meydana gelmektedir.

3.2.3. DİNAMİK DENGENİN BOZULMASI

Kararlı özellikte bir katı madde hareketi olan açık kanal içerisine bir engel yerleştirildiği zaman akımın özelliklerini ve katı madde hareketini değiştirdiğini biliyoruz. Engelden dolayı artan akım hızı, akımın taşıma kapasitesini artırır. Sonuçta oyulma meydana gelir. Taşıma kapasitesi, taban geometrisine, akım ve katı madde özelliklerine bağlıdır.

Oyulma çukurundaki sınır geometrisi devamlı olarak değişir. Bu değişim, akım hızı ve akımı değiştirir. Sonucunda taşınan sürüntü madde yükü de değişir. Oyulma süresince hız azalır. Kesitten çıkan katı madde miktarı $Q_T (B)$ da azalarak sonunda kesite giren sürüntü $Q_T (S)$ 'ye eşit olur. Bu durumda $\frac{dV}{dt} = 0$ olacağından,oyulma durur. Dinamik denge sağlanmış olur. Bu denge durumuna “statik denge” denir.

Engel etrafında katı madde hareketi ile akım karakteristikleri değişir ve bunların yanında vorteks'lerin oluşturduğu dönümlü akımın hızlarından doğan oyulma potansiyeli harekete karşı tanelerin direncini yenecek şiddette ise bu durumda, engel yakınında oyulma başlar.

Sürüklenme çevri sistemi oyulmayı başlatır. Yani vorteks'ler taban tanelerini koparacak ve askıda tutacak kadar kayma gerilmesine sahip olduğu andan sonra oyulma başlar.

Oyulma çukuru derinliği arttıkça, sınırdaki malzemeler tabana doğru iner. Çünkü vorteks dengesizdir. Bu halde oyulan çukur genişler, oyulma vorteksin taban malzemelerini taşıyacak güce sahip olmadığı an durmuş olur.

LAURSEN (7) Dinamik denge formülünden hareket ederek oyulma olayının kantitatif değerlendirilmesini şu şekilde yapmıştır:

1 - $Q_T (B) = Q_T (S)$ ise oyulma yoktur.

2- $Q_T (B) \gg Q_T (S)$ ise oyulma vardır. (akarsu tabanında sürüntü hareketi yokken bile oyulma olabilir). Bu ise temiz su oyulmasıdır.

3 - $Q_T (B) > Q_T (S) > 0$ ise oyulma vardır. Hem de katı madde hareketi vardır. Bu oyulma şekline “daima sürüntü maddesi taşınımı halindeki oyulma” denir.

Yukarıdaki 2. nolu değerlendirmede sürüntü hareketi yokken oyulma olayı vardır.

SHEN (8),(9) taban kayma gerilmesinin engelin menba tarafında 0 - 45° arasında bölgede oluştuğunu belirtmiştir.

Engelin menba tarafındaki taban kayma gerilmesi, engelden önceki taban kayma gerilmesinin 12 katı büyük olduğu ölçümlerde bulunmuştur. Türbülanslı bölgelerde ise bu değer 2,5 katı mertebesindedir (2).



4- KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDAKİ OYULMAYA ETKİLİ OLAN PARAMETRELER

4.1. GİRİŞ

Hareketli tabanlı bir akarsuya inşa edilen ayaklardaki oyulmaların incelenmesini, ilk olarak TISON (4) ele almıştır. Daha sonraları güncel konu olmuş fakat matematiksel bir çözüm elde edilememiştir. Bu yüzden yapılan bütün çalışmaların sonucu deneysel verilere dayanır. Parametrelerin çokluğundan dolayı araştırmacılar, önemsiz gördükleri parametreleri ihmal etmişlerdir.

Oyulma olayının incelenmesinde önemli gelişmeler elde edilmiştir. Bunlardan olaya etkili birçok parametre açıklığa kavuşturulmuştur.

Yapılmış çalışmaların hepsi doğrusal kanallara aittir (3).

Bizim de doğrusal kanaldaki deneysel çalışmamızda bulunacak sonuçlar aşağıdaki bilgiler ile karşılaştırılacaktır.

4.2. OYULMANIN ZAMANLA DEĞİŞİMİ

Oyalmaya zamanın etkisi olmaktadır, oyulmanın zamanla değişimi,

- Temiz su halindeki oyulma
- Daimi sürüntü maddesi taşınımı halindeki oyulma durumuna göre meydana gelmektedir.

Temiz su oyulmasında en büyük oyulma derinliği çok uzun bir zamanda oluşmaktadır. CHABERT (10) yaptığı deneysel çalışmalarda max. oyulma derinliğine, 150 sat süren deney sonucunda ulaşmıştır. Halbuki daimi sürüntü maddesi taşınımı halinde, oyulma çukurunun çok kısa bir sürede derinleştiği görülür. Bundan sonra derinlik bu değer etrafında salınım göstermektedir.

Oyulmanın zamanla değişimi için araştırmacılar deneysel çalışmalar yapmış bu konuda formüller vermişlerdir.

Bazı formüller:

SHEN (1966)

$$\frac{Hd_{\max}}{h} = 2,5 F_r^{2/5} \cdot \left(\frac{D}{h}\right)^{3/5} \cdot \left(1 - e^{-ml}\right)^2$$

$$m = 0.026 e^{2,032 h}$$

$$E = \left(\frac{D}{h}\right)^{1/3} F_r^{1/3} L_n \frac{Vt}{h}$$

CUNHA (1971) ise,

$$\frac{Hd_{\max}}{h} = at^b$$

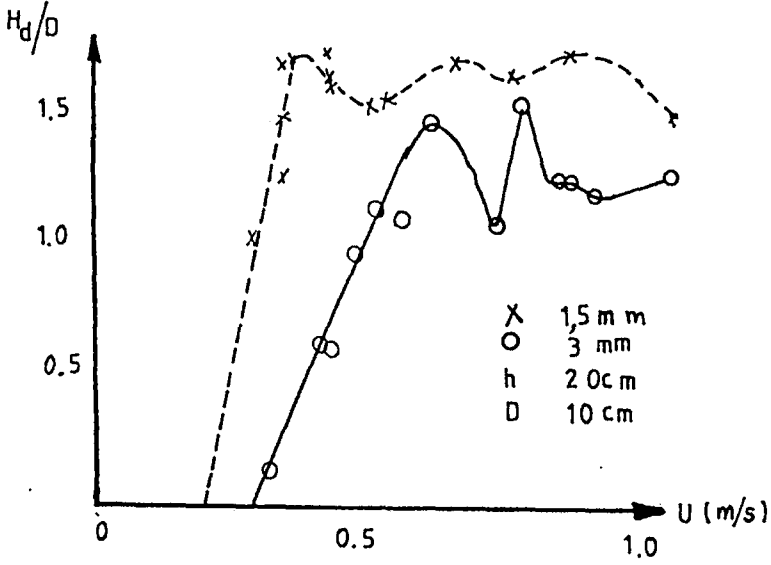
bağıntısını vermektedir. a, b birer sabit katsayı olup deneylerden tayin edilir.

4.3. AKIM KARAKTERİSTİKLERİNİN OYULMAYA ETKİSİ

4.3.1. AKIM HIZININ OYULMAYA ETKİSİ

Oyulmaya etki eden en önemli parametrenin yaklaşım hızı olduğunu bütün araştırmacılar kabul etmişlerdir.

Oyulma, bir u hızından itibaren başlamakta ve U_{kr} değerine kadar yaklaşık Lineer olarak artmaktadır. U_{kr} değerini aştıktan sonra, artık tabanda katı madde hareketi başlamıştır. Bu durumda oyulma max. oyulma derinliği etrafında salınım gösterir (3).



Şekil 4.1. Oyulmanın hıza bağlı değişimi

U hızı U_{kr} den fazla ise oyulmanın derinliği bilinmektedir. Bu halde 2 değişik durum ortaya çıkar.

a) Hız arttıkça taşınan malzemelerin artan miktarı askı hareketine dönüşür. Hızın bu etkisi oyulma çukurunun malzeme dengesini bozar. Birçok araştırmacı ise bu etkiyi göz önüne almamışlardır (2).

b) U_{kr} den büyük hızlarda, hız değişimi yatak şeklinde bir değişime neden olabilir. Bu ise şekil direncini artırır.

4.3.2. SU DERİNLİĞİNİN OYULMAYA ETKİSİ

Araştırmacılar, derinliğin oyulmaya etkisini çeşitli görüşlerde ileri sürmüşlerdir:

1- **Görüş** : Su derinliğinin oyulmaya etkisi olmadığını iddia eden araştırmacılar LECLERC (11), BAŞAK (12) deneylerinde oyulmaya su derinliğinin etkisi olmadığını bulmuşlardır.

2. Görüş: Su derinliğinin belirli bir değerden itibaren oyulmaya etkisi yoktur diyenlerdir.

Bu sınır değer için aşağıdaki değerler esas alınmasını istemişlerdir. Bunlardan en yakın değer ise QUESNOT (13) ve NİCOLLET (14), (15)'e göre $h/D \geq 2$.

4.4. TABAN MALZEMESİ KARAKTERİSTİKLERİNİN OYULMAYA ETKİSİ

4.4.1. TABAN SÜRÜKLEME GERİLMESİNİN ETKİSİ

Oyulmanın taban kayma gerilmesi ile nasıl değiştiğini araştıran LECLERC (11) bazı sonuçlar çıkarmıştır.

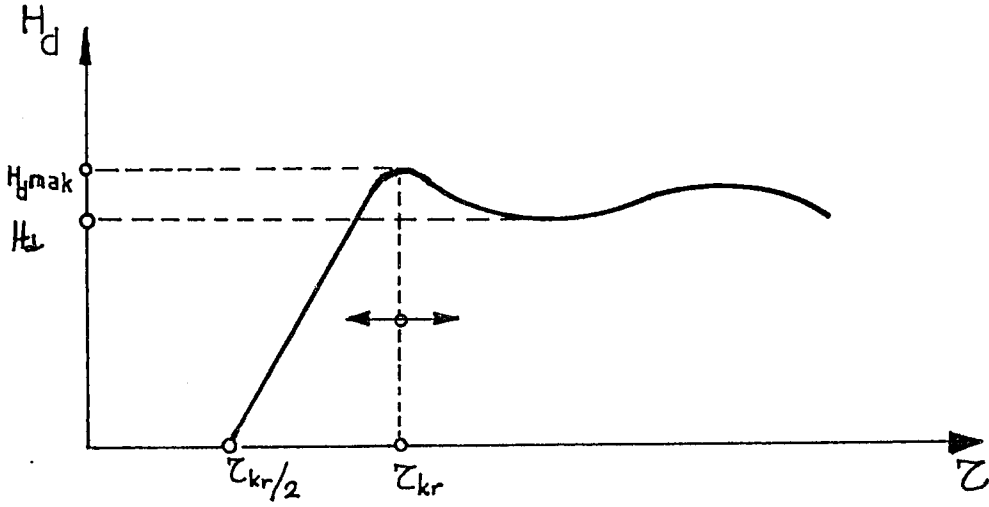
- Oyulma belli bir τ değerinden sonra başlamaktadır.

- Oyulmanın başlangıcına karşı gelen bu τ değeri iki ayrı durumu meydana getirir.

a - $\tau < \tau_0$ da oyulma yoktur.

b- $\tau > \tau_0$ da oyulma vardır.

Taban kayma gerilmesi ile oyulmanın değiştiği Şekil (4.2)'de görülmektedir. Yani max. denge oyulmasına kadar lineer artmakta sonra da bu değer etrafında salınım göstermektedir. max. denge oyulmasını yapan kayma gerilmesi tayin edilemez. Çünkü olaya dalgalar girer. Bazıları max. oyulmanın τ_{kr} te olduğunu, $\tau_{kr}/2$ de ise oyulma başladığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.2. Oyulmanın taban kayma gerilmesi ile değişimi

4.4.2. TABAN MALZEMESİ TANE ÇAPININ OYULMAYA ETKİSİ

Taban malzemesi tane çapının oyulma üzerine etkisini araştırmacılar tarafından incelenmiş değişik görüşler ileri sürmüştür.

Oyulmanın tane çapından bağımsız olduğunu, LARRAS (16), COLEMAN (17) kabul etmişlerdir.

İkinci bir grup araştırmacılar ise oyulmanın tane çapının belirli sınırları arasında tane çapı ile birlikte arttığını kabul etmişler, sınır değerleri de ayrıca vermişlerdir.

LAURSEN ve TOCH (18), $d_m=0.5\sim 5$ mm. Çapındaki taneler BONASOUNDAS (19), $d_m=0.6\sim 3.3$ mm. çapındaki taneler için oyulmanın tane çapıyla arttığını bu değer dışındaki tane çapları için ise bağımsız kaldığını belirtmektedirler.

NICOLLET (14), (15) tane çapıyla oyulmanın değişimini incelemiş ve çap arttıkça oyulmanın sabit bir değere asimtotik kaldığını ve bu nedenle tane çapının oyulmaya etkisinin kalmıyacağını, yani bu durumda oyulmanın çapta bağımsız olduğunu belirtmektedir.

Özet olarak $U < U_{kr}$ için, oyulma derinliği taban malzemesinin özelliklerinden etkilenir. Yani, tane çapı artarsa oyulmanın azalacağı (3).

4.5.1. ATAK AÇISININ OYULMAYA ETKİSİ

Atak açısının oyulmaya etkili olduğu araştırmacılar tarafından anlaşılmış ve şu tariflerde bulunmuşlardır.

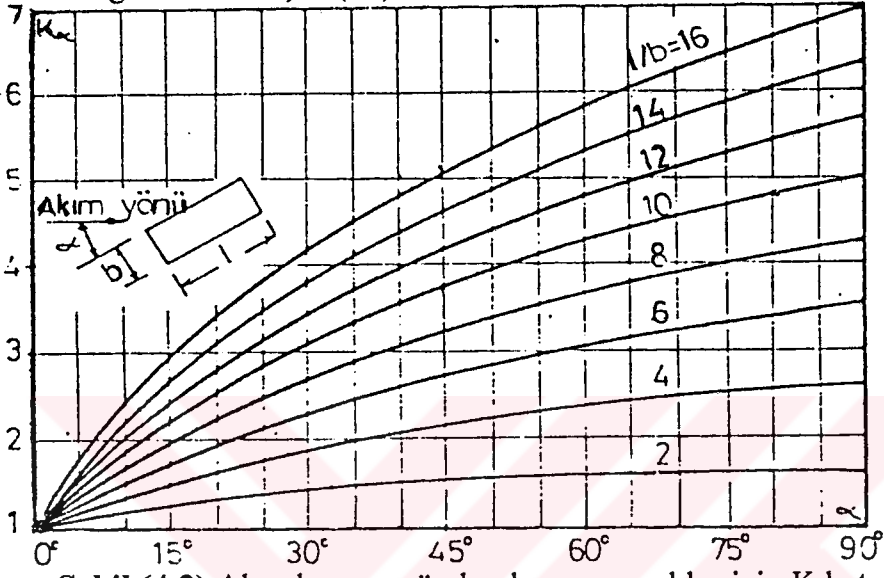
LARRAS (16), akımın ayağa belli bir açı ile gelmesi halinde,

- Oyulma çukuru deforme olduğunu ve bunun neticesinde max. denge oyulma derinliği yer değiştirdiğini,
- Fakat max. denge oyulması yine ayağın yakınında oluştuğunu belirtmektedir. $H_{dmax} = 1,05.D^{0,75}$ formülünden çıkan sonuçların tablo 4.1’de verilen katsayılar ile çarpılması gerektiğini söylemişlerdir (1).

Tablo- 4.1.

Ayak Biçimi	K Katsayısı					
	0°	10°	15°	20°	30°	45°
Dairesel	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mercek	0.8	0.98	1.05	1.24	1.3	2.0
Jukowski	0.86	-	1.09	-	1.4	1.97
Oblonik	1.0	1.02	1.15	1.24	1.55	-
Dikdörtgen	1.11	-	1.4-2.4	-	1.55-3.4	1.65-4.1

LAURSEN (18), akımın ayağa belirli açı yaparak gelmesi halinde oyulmanın etkileneceğini belirtmiş ve Şekil (4.3) de dikdörtgen ayak için verilen diyagramın kullanılmasını teklif etmiştir. BAŞAK'da, LOURSEN'in diyagramına benzer bir diyagram çıkarmış ve parametre olarak ayağın akıma dik genişliğini kullanmış, ayrıca etkili genişliğe göre bu diyagramı diğer ayaklarda kullanılacağını belirtmiştir (12).



Şekil (4.3) Akımla aynı yönde olmayan ayaklar için K katsayısı

4.5.2. ATAK AÇISININ OYULMA DERİNLİKLERİNE ETKİSİNİN FORMÜL YOLU İLE BULUNMASI

Formüllerin elde edilmesi:

Belli bir α atak açısı doğrusal olarak sıralanmış dairesel kesitli ayak grubunda meydana gelen oyulma derinliği üçlü ayak grubu için

$$H_{d\alpha} / H_{do} = \left(1 + \frac{\sin\alpha}{3}\right) \cdot (a_t / D)^{-\sin\alpha/66} \quad (1)$$

formülü elde edilmiş. (TISON)

Burada;

$H_{d\alpha}$: atak açısında oluşan oyulma derinliği

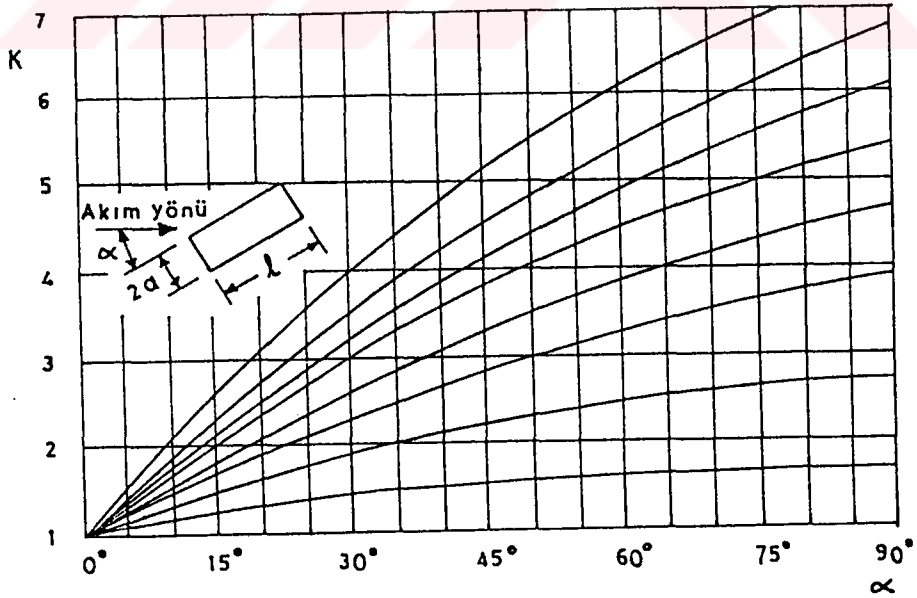
H_{d0} : $\alpha=0^\circ$ halindeki oyulma derinliği

a_t : ayaklar arasındaki izdüşüm genişliği

D : ayak çapını göstermektedir.

(1) formülünde $a_t/D = 0.05$ alınarak yeni aralıklı olarak sıralanmış ayaklar, masif bir ayak gibi düşünülebilir. $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ arasındaki çeşitli açılar için (1) formülünde elde edilen sonuçlar LAURSEN ve TOCH'un Şekil (4.4)'deki diyagrama yerleştirildiğinde $n = \frac{L}{D} = 3$ için çok iyi sonuç vermektedir (20).

Sonuç: Formülle elde edilen neticeler Laursen ve Toch'un netilecelir ile karşılaştırıldığında oldukça büyük bir benzerliğin elde edildiği görülmektedir. Böylece bu formülün belirli bir α atak açısına maruz masif köprü ayakları için uygulanabileceği sonucu çıkmaktadır.



Şekil 4.4. Formül yolu ile K'nın α ile değişimi

4.5.3. AKIMA DİK AYAK GENİŞLİĞİNİN OYULMAYA ETKİSİ

Araştırmacıların hepsi akıma dik genişliği ne kadar bu yüksek ayaktaki oyulmanın da o derece de büyük olacağı şeklinde görüş birliğine varmışlardır. Ayak genişliğine bağlı maksimum oyulma için elde ettikleri bağıntılar;

$$\text{LARRAS (16)} \quad H_{d\max} = 1.05 D^{0.75}$$

$$\text{BREUSER (21)} \quad H_{d\max} = 1.4 D$$

$$\text{SHEN (22)} \quad H_{d\max} = D^{0.619} \text{ (sabit hız için)}$$

$$\text{BAŞAK (12)} \quad H_{d\max} = 0,558 D^{0.586} \text{ (dikdörtgen için)}$$

$$\text{ÜÇ (3)} \quad H_{d\max} = 0.61 D^{0.766}$$

NICOLLET (14), oyulma derinliğinin D/d 'ye göre değişimini incelemiş oyulam derinliğinin, ayak çapının bir fonksiyonu olduğunu görmüştür.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. GİRİŞ

Hareketli tabanlı doğrusal akarsu yatağına yerleştirilen köprü ayakları etrafındaki oyulmaların araştırılması ile ilgili deneysel çalışmalar, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Prof. Hayrettin Dönmezer Su Yapıları Labratuarında yapılmıştır.

Deneyler uzunluğu 12 m. olan düz bir kanalın 8 m.lik bölümünde gerçekleştirilmiştir. Kanalın bu bölümüne aynı malzemedeki kum serilmiş ve yaklaşık aynı akım hızı sağlanmıştır.

Çalışmada çapları en küçük 5 cm, en büyük 7,5 cm arasında olan dairesel ayaklar kullanılmıştır. Ayakların dairesel biçimde olmasının oyulmasının. Oyulma olayı üzerine etkisinin tespitine çalışıldı.

Deneyler 2 grupta yapılmıştır.

1. Değişik çaplı dairesel ayakların tabandaki oyulmaların değerlerini tespit eden deneyler.
2. Ayak grubu eksenine ile, akım yönü arasındaki açılarının oyulmaya yaptığı etkinin tespiti.

5.2. DENEY KANALI

Kanal 0.40 m genişlikli yaklaşık 12 m uzunluğu ve 0.60 m yüksekliğinde yapılmış olup, vaziyet planı ve boy kesiti şekil (5.2)de görülmektedir. Kanal üç bölümden meydana gelmiştir.

1- Kanaldan önceki dinlendirme havuzu. Bu havuza terfi ile gelen su, havuz sonunda bir delikli sac ile ardından delikli tuğla duvar ile sakinleştirir.

2. Kanalin uzunluğu 12 m'dir. Kanalin eğimi $J=0,001$ 'dir. Serilen kumun yksekliği 0.16 m'dir. Kanalin kum serilen 8m.lik bklmünün bir başından birde sonunda olmak üzere iki tane eşik yerleştirilmiştir. Bu eşiklerin taban uzunluğu 0,57 m genişliği ise 0.40 m. dir. Eşiklerin yksekliği serilen kumun yksekliği aynıdır. Kanalin kum serilen kısmının ikinci metresinin sonunda hareketli bir kapak ve birde kanalın bitiminde ikinci bir hareketli kapak vardır. Ayrıca kanalın sonuna kumların deşarj havuzuna dklmemesi için bir eşik daha konmuştur. Yukarda sölüne ettiğimiz iki eşiğin kullanılma nedeni ise, malzemenin kaymasını engellemektir. Oyulma derinliklerinin ölçümü için kanal üstünde hareketli bir limnimetre bulunmaktadır.

3. şekil 5.2'de görüldüğu gibi deşarj havuzunu sol tarafında suyun hızına dűřürmek için iki tane delikli sađ bulunmaktadır. İkinci delikli sağın, 90 cm. uzađ bir üçgen savak yerleştirilmiştir. Savağın yksekliği 45 cm. dır. Savağın üzerinde su derinliğini ölçmek için bir limnimetre bulunmaktadır.

Deneyley başından beri 8 m'lik kısmında yapılmıştır.

5.3. DENEY ÖNCESİ ÇALIŞMALAR

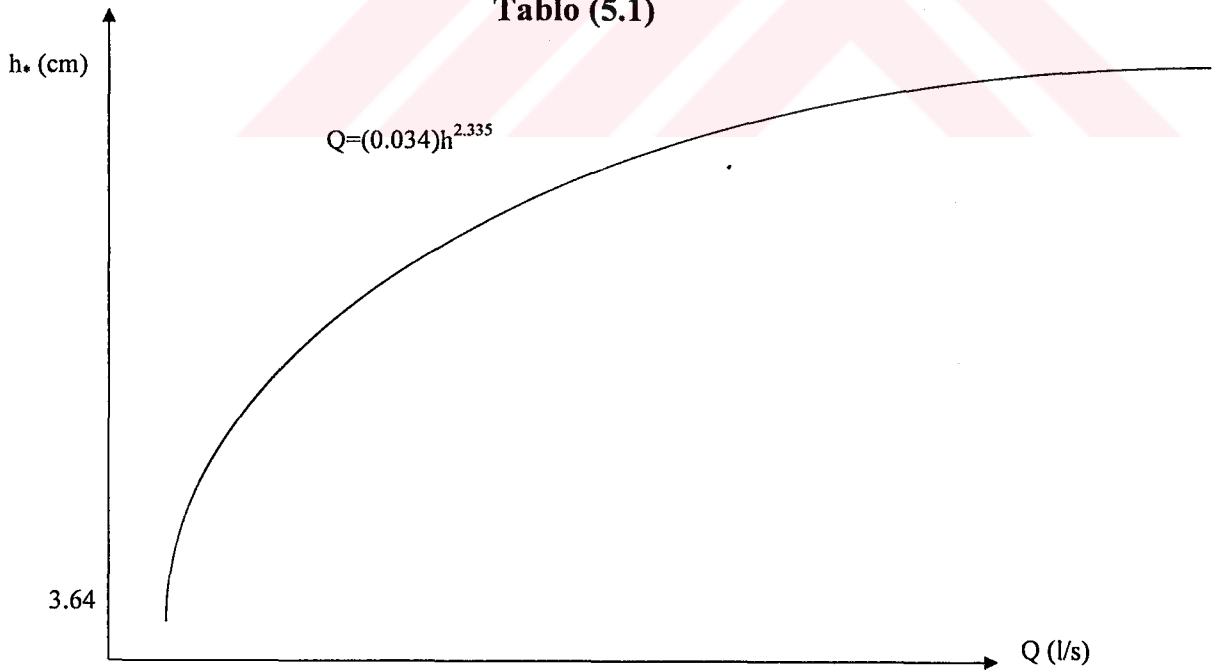
Hız Yaklaşık Sabit Tutulmuş

Kanala su sağlayan üçgen savaktan geçen debinin bulunması; Dik Üçgen şeklinde savak için hazırlanmış olan anahtar eğrisinden geçen debi okunmuştur.

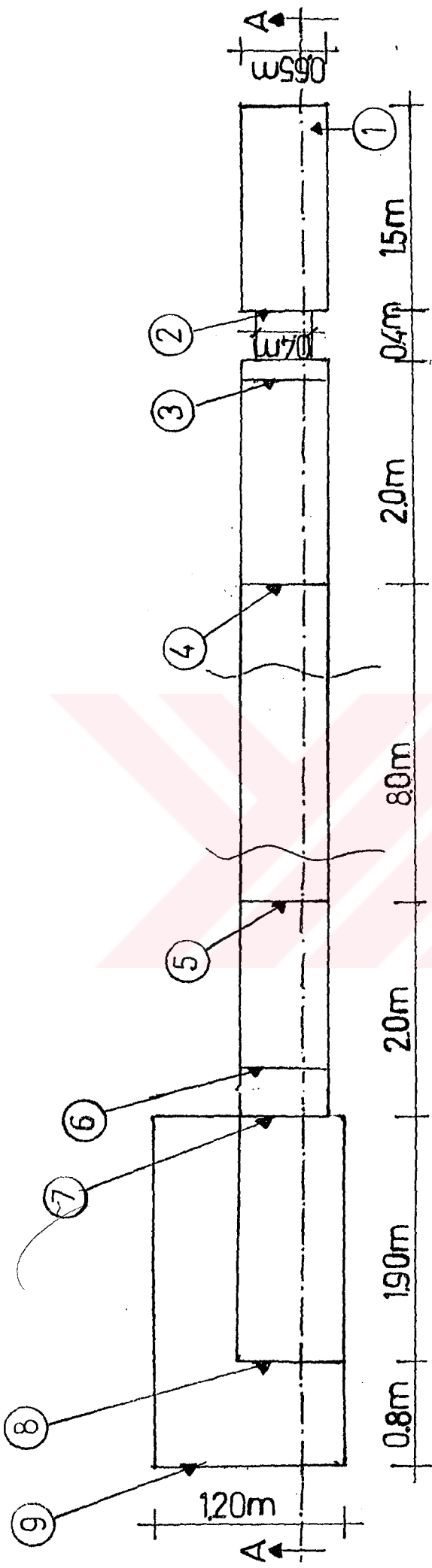
h (cm)	$h_* = h - h_o$ (cm)	lt (lt)	t (s)	Q lt/sn
22.46	3.64	14.88	20.11	0.73990
23.13	4.31	17.98	17.14	1.04540
24.10	5.28	16.22	10.08	1.60900
24.36	5.54	10.63	5.77	1.84280
25.01	6.19	16.93	6.97	2.42890
26.50	7.68	11.33	2.87	3.94870
26.58	7.76	16.52	4.08	4.04900
27.12	8.30	16.72	3.59	4.65730
28.16	9.34	14.55	2.34	6.21790
28.83	10.01	15.31	2.09	7.32530
29.57	10.75	12.27	1.40	8.76420
29.88	11.06	14.46	1.55	9.32900
30.87	12.05	15.21	1.33	11.4360
31.23	12.41	13.81	1.11	12.4414
31.62	12.80	11.92	0.90	13.2444
32.35	13.53	15.99	1.05	15.2285
32.71	13.89	10.88	0.67	16.2388
33.21	14.39	14.90	0.84	17.7380

$h_o = 18.82$ cm

Tablo (5.1)

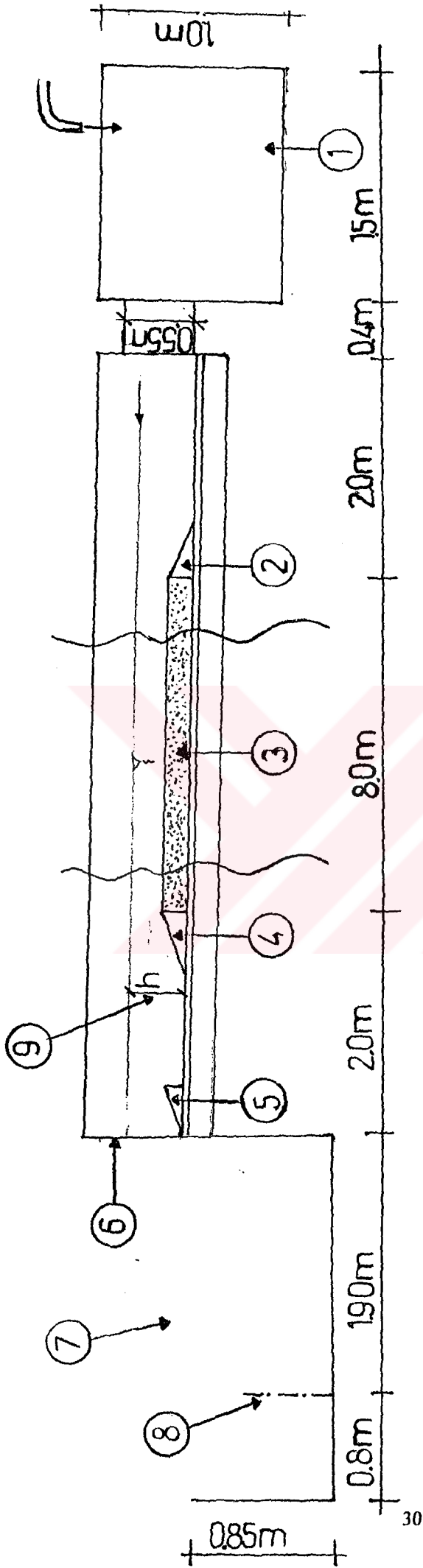


Şekil (5.1) Savak anahtar eğrisi



Şekil 5.2. Deney kanalı planı

1. dinlendirme havuzu
2. delikli sac
3. delikli duvar
- 4.5.6. eşik
7. dip savak
8. üçgen savak
9. deşarj havuzu



Şekil 5.2. Deney kanal boyuna kesit (A-A Kesiti)

1_ dinlendime havuzu

2.4.5_ eşik

3_ kum tabanı

6_ dip savak

7_ deşarj havuzu

8_ üçgen savak

9_ su yüksekliği

5.3.1. TABAN MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

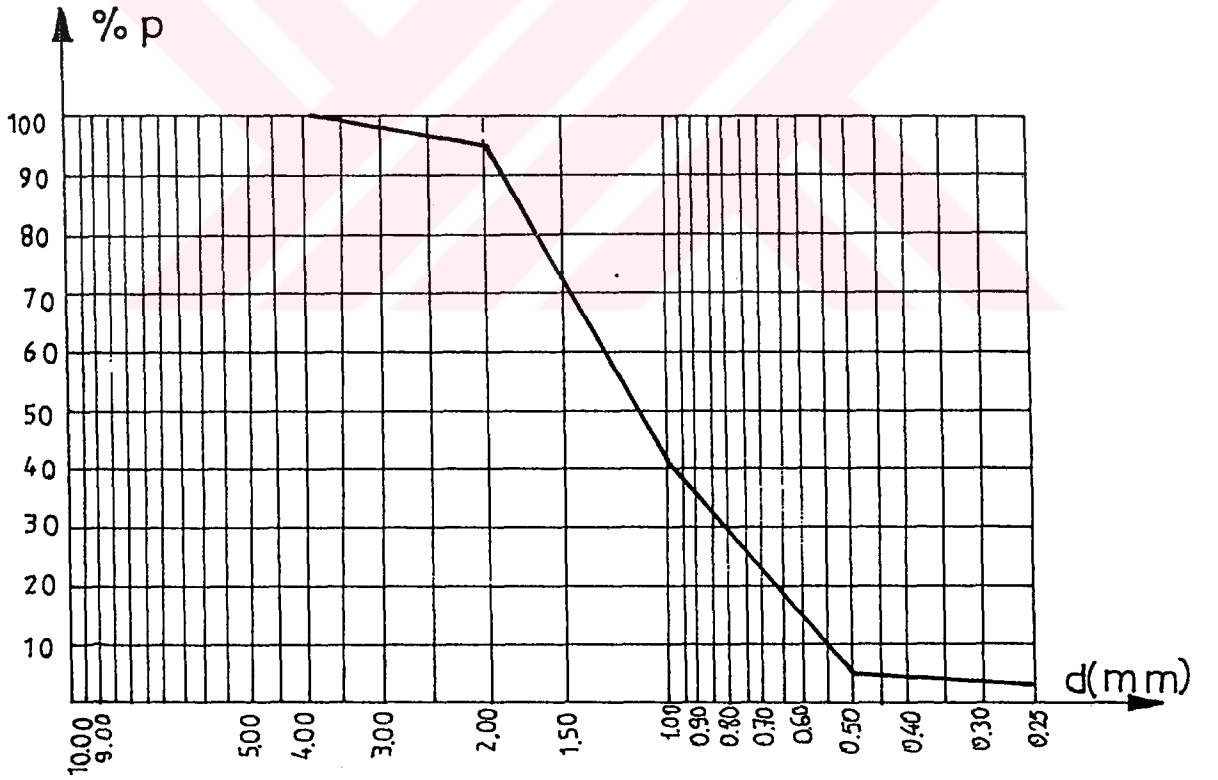
Taban malzemesinde kuvars kumu kullanılmış, özgül ağırlığı ve garülo metrisinin tespiti için testler sonucunda, kumu özgül ağırlığı $\gamma_s = 2.65 \text{ t/m}^3$ olduğu bulunmuştur.

Kumun Özellikleri:

$$d_m : d_{50} = 1.13 \text{ mm}$$

$$d_m : d_{60} = 1.28 \text{ mm}$$

$$d_m : d_{90} = 1.28 \text{ mm. olarak bulunmuştur.}$$

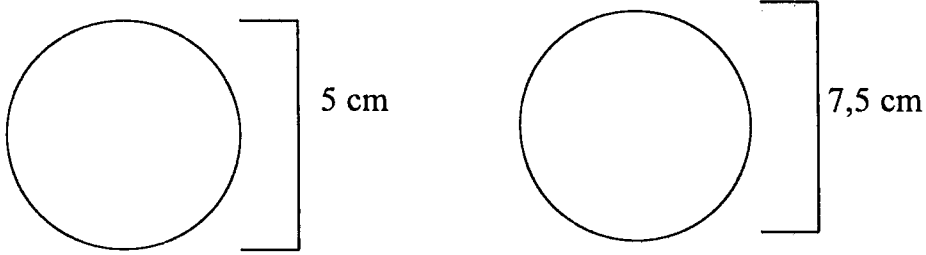


Şekil (5.3) Taban malzemesinin granülo metrisi eğrisi

5.3.2. DENEYLERDE KULLANILACAK AYAKLAR

Deneyde iki ayrı çapta dairesel silindirik ayak kullanılacaktır. Bunlar $D=5$ cm, $D=7,5$ cm çaplı ayaklardır. Şekil (5.4)

Ayak Şekilleri



5.4. DENEYLERİN YAPILMASI

Önce 5 cm çaplı ayaklar arka arkaya yerleştirildi ve ayaklar arasındaki mesafe sıfırdan başlayarak her bir ayaktaki oyulma derinlikleri ölçüldü sonra münferit haldeki (1) nolu ayakta oluşan denge oyulma derinliği, H_{do} ile her bir ayakta ölçüleri oyulma derinlikleri H_{d1}/H_{do} rölatif oyulma derinliklerin olarak elde edildi ve $\frac{a}{D}$ oranına bağlı olarak değişimleri, şekil (5.5) de verildi.

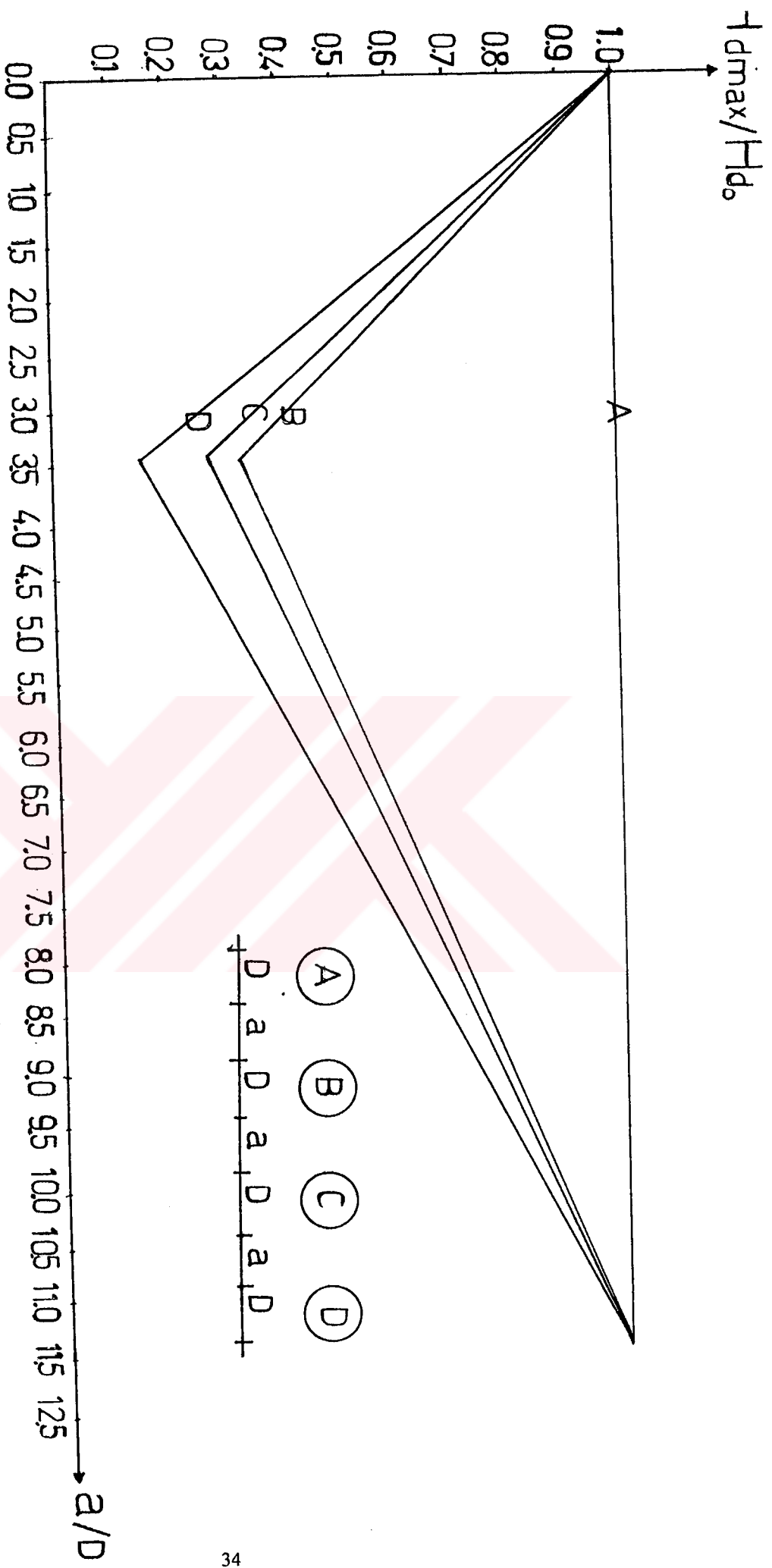
Deneylerden çıkan sonuçların incelenmesi halinde $0.02 \leq \frac{a}{D} \leq 11.5$ değerleri için köprü ayakları, oyulma yönünden birbirini etkilemektedir.

$\frac{a}{D} > 11,5$ halinde köprü ayaklarının birbirine etkisi kalmamakta ve her eleman oyulma bakımından münferit ayak gibi davranmaktadır. Grubu teşkil eden ayak sayısı ve aralığı ne olursa olsun ilk köprü ayağı ön yüzündeki oyulma, daima H_{do} oyulmasına eşit olmaktadır. Grubu oluşturan ayaklar arası açıldıkça ($\frac{a}{D}$ oranı büyür) $\frac{a}{D}=3,5$ değerine kadar azalmakta ve nihayet $\frac{a}{D}=3,5$ da minimuma ulaşmaktadır.

Daha sonra artmaya başlayarak eşit olmaktadır. 7,5 cm çaplı olan köprü ayakları içinde aynı deneysel çalışmalar yapıldı ve elde edilen sonuçlar aynıdır. Şekil (5.6)

Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	d_0	d_1	d_1/d_0	d_2	d_2/d_0	d_3	d_3/d_0	a/D
1.61	0.26	5	0	1.94	1.67	0.91	1.60	0.87	1.60	0.87	0.000
1.60	0.26	5	0	1.84	1.49	0.81	1.39	0.76	1.23	0.67	0.500
1.50	0.25	5	0	1.81	1.30	0.72	1.21	0.67	1.12	0.62	1.000
2.70	0.39	5	0	2.37	1.51	0.64	1.37	0.58	1.23	0.52	1.500
2.71	0.39	5	0	2.37	1.32	0.56	1.21	0.51	0.99	0.42	2.000
2.87	0.40	5	0	2.40	1.17	0.49	0.98	0.41	0.82	0.34	2.500
2.75	0.39	5	0	2.39	0.96	0.45	0.81	0.34	0.57	0.24	3.000
2.85	0.39	5	0	2.46	0.79	0.32	0.66	0.27	0.37	0.15	3.500
2.90	0.40	5	0	2.41	0.84	0.35	0.72	0.30	0.48	0.20	4.000
2.87	0.40	5	0	2.41	0.96	0.40	0.92	0.34	0.60	0.25	4.500
2.86	0.39	5	0	2.40	1.05	0.44	0.91	0.38	0.70	0.29	5.000
2.70	0.39	5	0	2.37	1.16	0.49	0.99	0.42	0.80	0.34	5.500
2.60	0.39	5	0	2.32	1.23	0.53	1.07	0.46	0.88	0.38	6.000
2.90	0.40	5	0	2.41	1.39	0.58	1.20	0.50	1.04	0.43	6.500
2.80	0.39	5	0	2.39	1.48	0.62	1.28	0.54	1.47	0.48	7.000
2.75	0.39	5	0	2.39	1.55	0.65	1.38	0.58	1.27	0.53	7.500
2.95	0.40	5	0	2.41	1.68	0.70	1.52	0.63	1.37	0.57	8.000
2.90	0.40	5	0	2.41	1.78	0.74	1.64	0.68	1.52	0.63	8.500
2.70	0.39	5	0	2.37	1.85	0.78	1.75	0.74	1.63	0.69	9.000
2.82	0.39	5	0	2.39	1.98	0.83	1.86	0.78	1.77	0.79	9.500
2.93	0.40	5	0	2.42	2.10	0.87	2.00	0.83	1.94	0.80	10.00
2.65	0.39	5	0	2.34	2.10	0.90	2.03	0.87	1.99	0.85	10.50
2.80	0.39	5	0	2.39	2.29	0.96	2.24	0.94	2.22	0.93	11.00
2.75	0.39	5	0	2.39	2.37	1.00	1.00	1.00	2.38	1.00	11.50

Tablo (5.2)



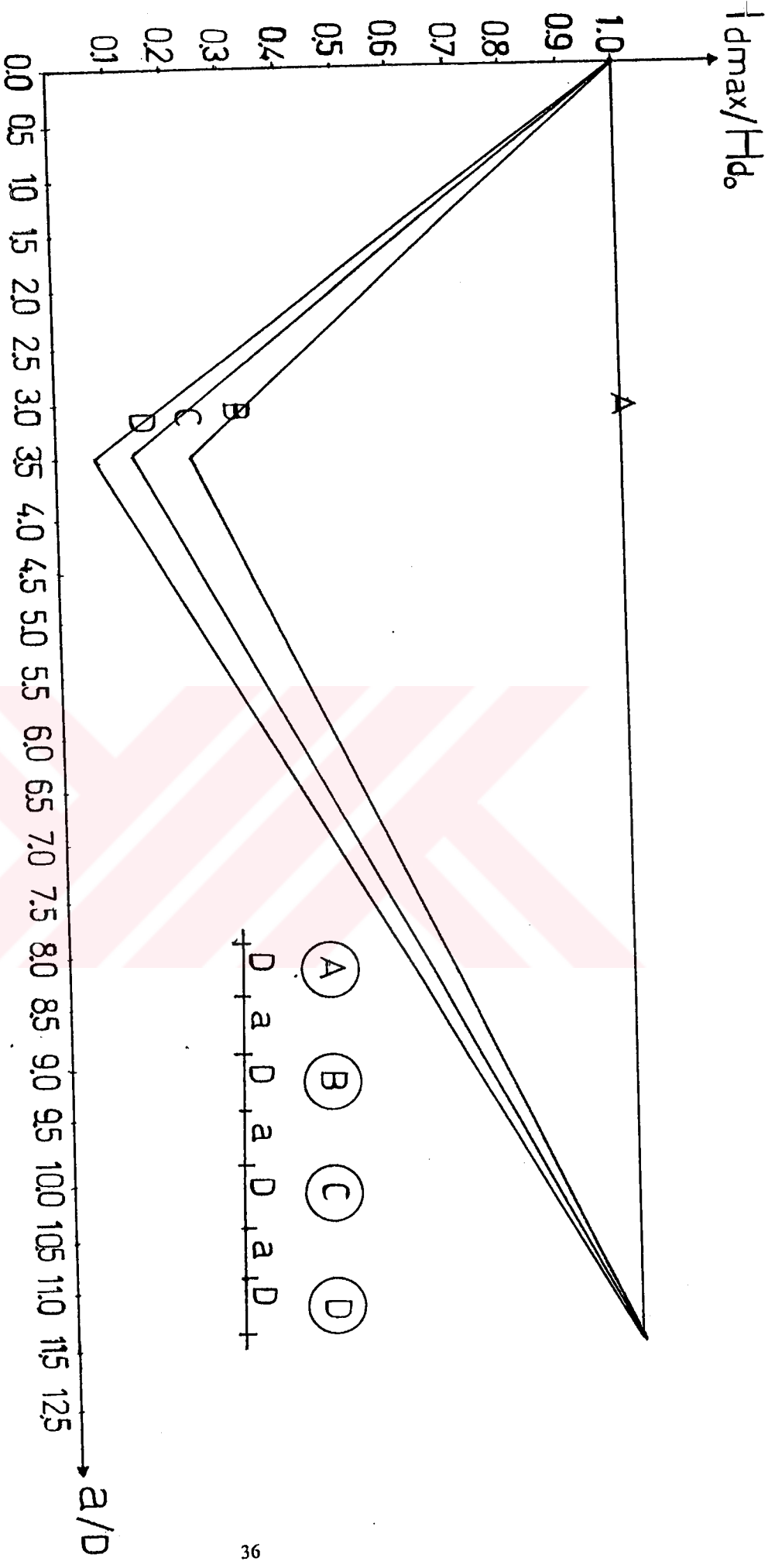
Şekil 5.5. Daire kesitli köprü ayaklarında, θ halinde bir ayak grubunda a/D oranına bağlı olarak oluşan Max. oyulma derinlikleri.

Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	d_0	d_1	d_1/d_0	d_2	d_2/d_0	d_3	d_3/d_0	a/D
2.95	0.41	7.5	0	2.42	2.15	0.89	2.10	0.87	2.01	0.83	0.000
2.90	0.40	7.5	0	2.41	1.86	0.77	1.83	0.76	1.73	0.72	0.500
2.72	0.39	7.5	0	2.37	1.61	0.68	1.54	0.65	1.44	0.61	1.000
2.87	0.40	7.5	0	2.40	1.44	0.60	1.32	0.55	1.17	0.49	1.500
2.60	0.39	7.5	0	2.33	1.19	0.51	1.02	0.44	0.88	0.38	2.000
2.98	0.42	7.5	0	2.43	1.02	0.42	0.80	0.33	0.66	0.27	2.500
2.70	0.39	7.5	0	2.37	0.76	0.32	0.54	0.23	0.38	0.16	3.000
2.77	0.39	7.5	0	2.39	0.55	0.23	0.31	0.13	0.17	0.07	3.500
2.85	0.40	7.5	0	2.40	0.67	0.28	0.46	0.19	0.29	0.12	4.000
2.93	0.41	7.5	0	2.41	0.79	0.33	0.55	0.23	0.41	0.17	4.500
2.65	0.38	7.5	0	2.34	0.89	0.38	0.68	0.29	0.54	0.23	5.000
2.55	0.37	7.5	0	2.32	0.99	0.43	0.79	0.34	0.65	0.28	5.500
2.73	0.39	7.5	0	2.37	1.11	0.47	0.95	0.40	0.78	0.33	6.000
2.84	0.39	7.5	0	2.40	1.25	0.52	1.05	0.44	0.94	0.39	6.500
2.99	0.42	7.5	0	2.43	1.38	0.57	1.19	0.49	1.07	0.44	7.000
2.64	0.39	7.5	0	2.34	1.45	0.62	1.26	0.54	1.46	0.49	7.500
2.75	0.39	7.5	0	2.38	1.57	0.66	1.40	0.59	1.28	0.54	8.000
2.70	0.39	7.5	0	2.37	1.66	0.70	1.51	0.64	1.42	0.60	8.500
2.90	0.40	7.5	0	2.41	1.80	0.75	1.66	0.69	1.59	0.66	9.000
2.95	0.40	7.5	0	2.40	1.99	0.79	1.80	0.75	1.73	0.72	9.500
2.72	0.39	7.5	0	2.38	2.00	0.84	2.02	0.85	1.95	0.78	10.00
2.98	0.42	7.5	0	2.43	2.16	0.89	2.11	0.87	2.06	0.85	10.50
2.70	0.39	7.5	0	2.37	2.25	0.95	1.96	0.93	2.18	0.92	11.00
2.77	0.39	7.5	0	2.39	2.39	1.00	2.37	1.00	2.37	1.00	11.50

Tablo 5.3.

	BAŞAK	Aziz
Minimum oyulma	$\frac{a}{D} = 4$	$\frac{a}{D} = 3,5$
Köprü ayağının oyulması H_{do} a eşit halde	$\frac{a}{D} = 25$	$\frac{a}{D} = 11,5$

Tablo 5.4



Şekil 5.6. Daire kesitli köprü ayaklarında, 0° halinde bir ayak grubunda a/D oranına bağlı olarak oluşan Max. oynulma derinlikleri.

5.4.1. AKIM DOĞRULTUSUNUN ARDARDA GELEN KÖPRÜ AYAKLARI EKSENİ İLE BİR AÇI TEŞKİL ETMESİ HALİ

Bu deneylerde ard ardaya gelen 2'li köprü ayakları arasındaki (a_t) mesafesi, (0~25) arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu, grubu teşkil eden köprü ayaklarının etrafında meydana gelen oyulma derinliklerinin $\left(\frac{a_t}{D}\right)$ oranına bağlı olarak değişimi araştırılmıştır.

5.4.2 ATAK AÇISI $\alpha=30^\circ$, AYAK ÇAPI 5 cm OLMASI HALİNDE

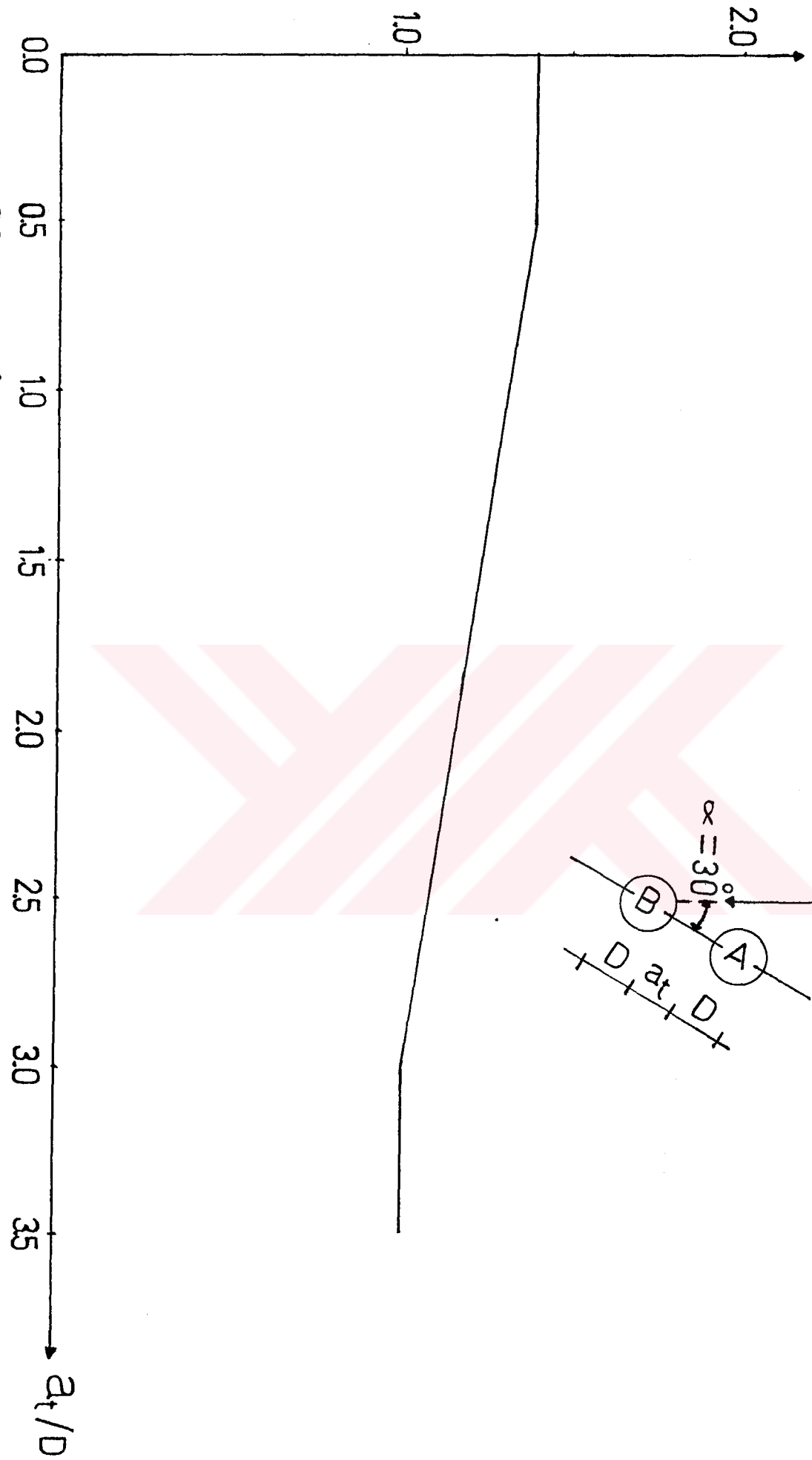
Köprü ayakları arasındaki a_t mesafesi (0~15) cm arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Max. oyulma derinliği 1 nolu deneyde iki köprü ayağının etrafında meydana gelmekte ve her iki ayak etrafındaki oyulma, blok oyulma derinliğini oluşturmaktadır. $0.02 \leq \left(\frac{a_t}{D}\right) \leq 3$ aralığında, oyulma açısından her bir köprü ayağının birbirine etkisi vardır. $\frac{a_t}{D} > 3$ olması halinde grubu teşkil eden köprü ayaklarındaki bütün oyulmalar, münferit köprü ayağındakine eşit olmaktadır. Başka bir deyişle köprü ayaklarının ikincisindeki oyulmalar birinci köprü ayağını etkilemektedir. (Şekil 5.7)

Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	H_{d0}	H_{d1}	H_{d0}/H_{d1}	a_t/D
1.87	0.34	5	30	2.32	1.65	1.40	0.00
1.91	0.35	5	30	1.98	1.49	1.32	0.50
1.79	0.28	5	30	1.89	1.53	1.23	1.00
1.84	0.33	5	30	1.95	1.65	1.18	1.50
1.72	0.27	5	30	1.84	1.69	1.09	2.00
2.39	0.38	5	30	2.18	2.07	1.05	2.50
2.38	0.38	5	30	2.15	2.12	1.01	3.00

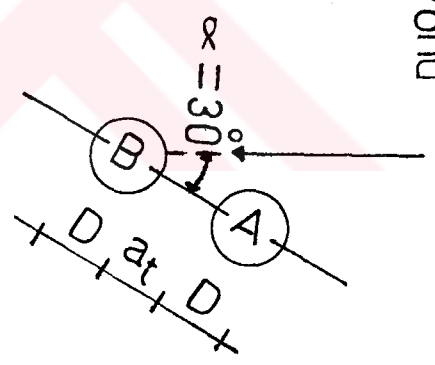
Tablo 5.5

H_{d_0}/H_{d_1}

Akım
Yönü



Şekil 5.7. $\alpha=30^\circ$ iken rölatif oyulmanın a_t/D 'ye göre değişimi



5.4.3. ATAK AÇISI $\alpha = 45^\circ$, AYAK ÇAPI 5 mc OLMASI HALİ

Köprü ayakları arasındaki (a_t) mesafesi (0~15) cm arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Max oyulma derinliği (1) Nolu deneyde her bir köprü ayağının etrafında meydana gelmekte ve her iki ayak etrafındaki oyulma, blok oyulma derinliği oluşturmaktadır. $0.02 \leq \frac{a_t}{D} \leq 3$ aralığında oyulmalar yönünden köprü ayaklarının birbirlerine etkisi vardır. $\frac{a_t}{D}$ oranı azaldıkça bu etki artmaktadır. $\frac{a_t}{D} > 3$ olması halinde her ayakta meydana gelen oyulmaların tamamı münferit köprü ayağındakine eşit olmaktadır. (Şekil 5.8)

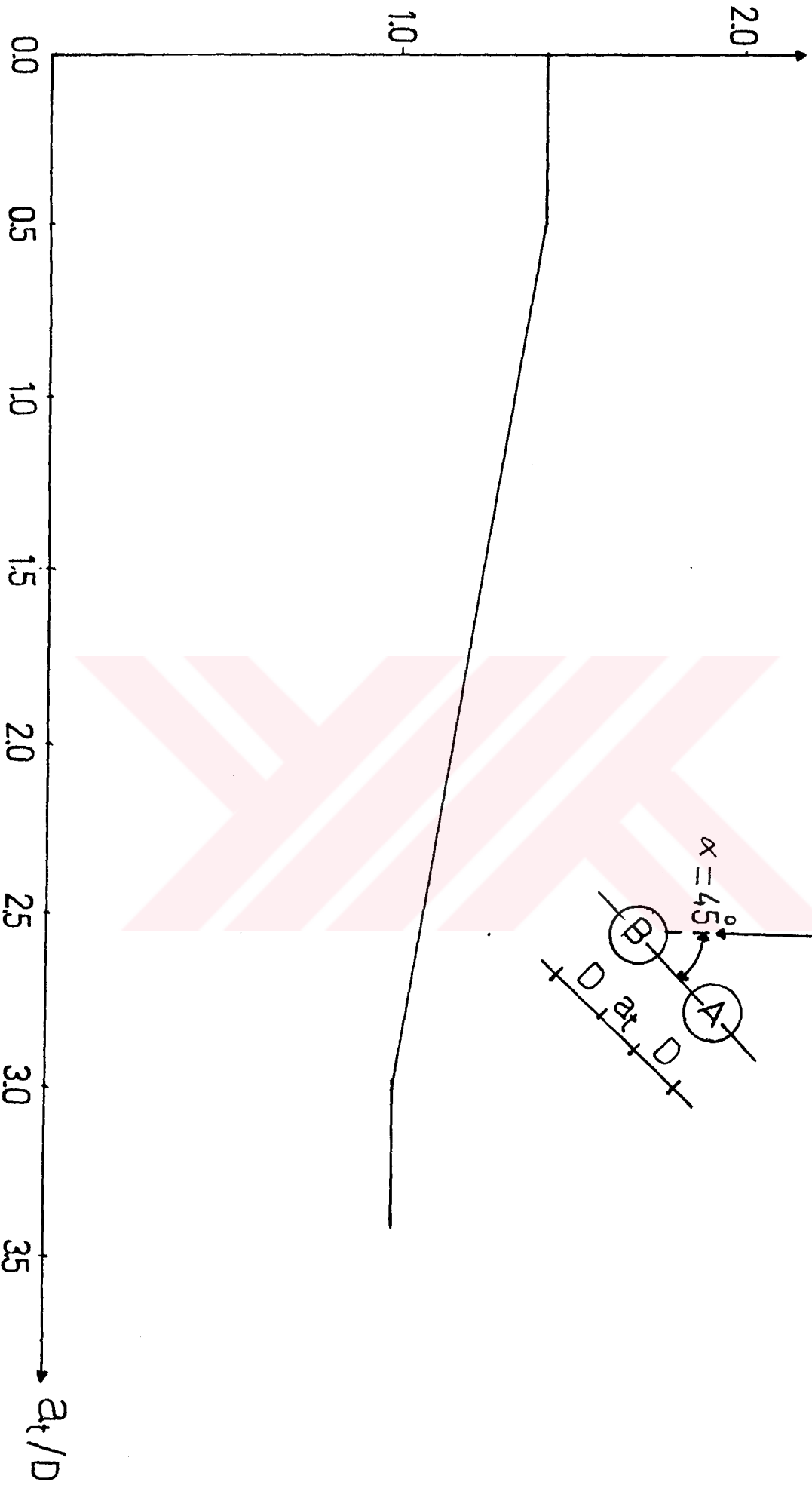
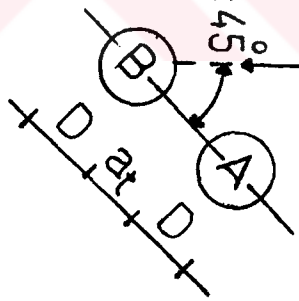
Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	H_{do}	H_{d1}	H_{d0}/H_{d1}	a_t/D
2.63	0.39	5	45	2.33	1.63	1.43	0.00
2.45	0.37	5	45	2.21	1.65	1.34	0.50
2.87	0.39	5	45	2.40	1.95	1.23	1.00
1.91	0.35	5	45	2.01	1.65	1.21	1.50
2.72	0.39	5	45	2.37	2.05	1.15	2.00
2.45	0.37	5	45	2.20	2.11	1.04	2.50
2.52	0.38	5	45	2.23	2.21	1.01	3.00

Tablo 5.6

H_{d_0}/H_{d_1}

Akım
Yönü

$\alpha = 45^\circ$



Şekil 5.8. $\alpha=45^\circ$ iken rölatif oyulmanın a_t/D 'ye göre değişimi

5.4.4. ATAK AÇISI $\alpha=60^\circ$, AYAK ÇAPI 5 cm OLMASI HALİ

Köprü ayakları arasındaki (a_1) mesafesi (0~15)cm arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Max oyulma derinliği (1) Nolu deneyde her bir köprü ayağının etrafında meydana gelmekte ve her iki ayak etrafındaki oyulma, blok oyulma derinliği oluşturmaktadır. $0.02 \leq \frac{a_1}{D} \leq 3$ aralığında, oyulmalar yönünden köprü ayaklarının birbirlerine etkisi vardır. $\frac{at}{D}$ oranı azaldıkça bu etki artmaktadır. $\frac{a_1}{D} > 3$ olması halinde her ayakta meydana gelen oyulmaların tamamı münferit köprü ayağınındekine eşit olmaktadır (Şekil 5.9)

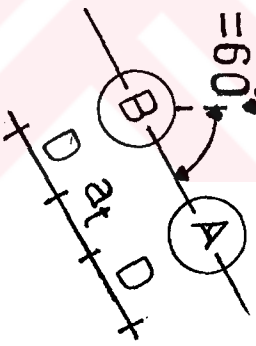
Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	H _{do}	H _{d1}	H _{d0} /H _{d1}	at/D
2.60	0.38	5	60	2.40	1.67	1.44	0.00
1.92	0.35	5	60	2.15	1.56	1.37	0.50
2.40	0.36	5	60	2.17	1.65	1.32	1.00
2.38	0.36	5	60	2.15	1.70	1.26	1.50
2.55	0.38	5	60	2.27	1.98	1.14	2.00
1.98	0.35	5	60	2.17	2.01	1.08	2.50
2.35	0.36	5	60	2.16	2.14	1.01	3.00

Tablo (5.7)

I/H_{d1}

Akım
Yönü

$\alpha = 60^\circ$



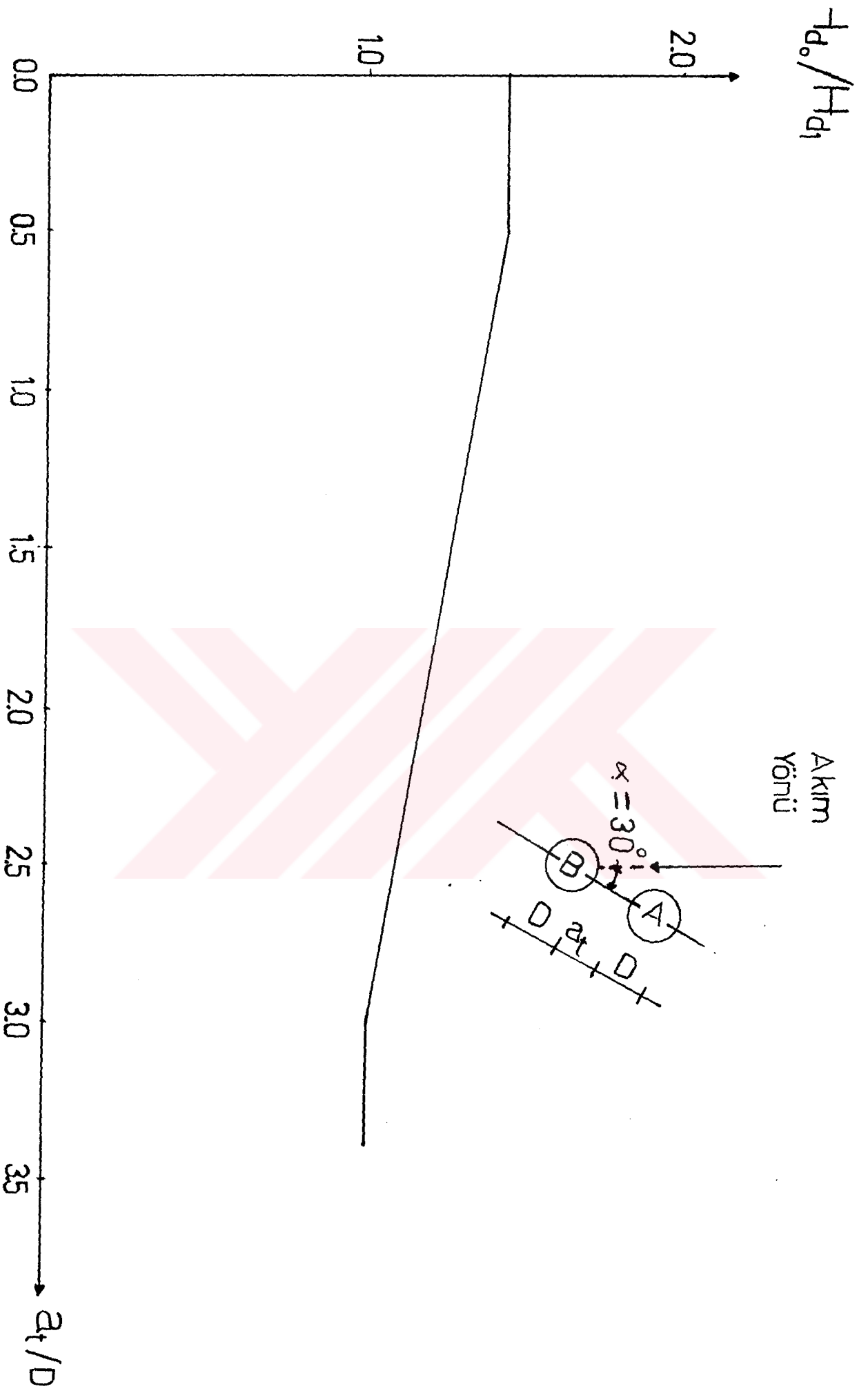
Şekil 5.9. $\alpha=60^\circ$ iken rölatif oyulmanın a_t/D 'ye göre değişimi.

5.4.5. ATAK AÇISI $\alpha=30^\circ$, AYAK ÇAPI 7,5 cm OLMASI HALİ

Köprü ayakları arasındaki (a_t) mesafesi (0~22,5)cm arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Max oyulma derinliği (1) Nolu deneyde her bir köprü ayağının etrafında meydana gelmek ve her iki ayak etrafındaki oyulma, blok oyulma derinliği oluşturmaktadır. $0.02 \leq \frac{a_t}{D} \leq 3$ aralığında, oyulmalar yönünden köprü ayaklarının birbirlerine etkisi vardır. $\frac{a_t}{D}$ oranı azaldıkça bu etki artmaktadır. $\frac{a_t}{D} > 3$ olması halinde her ayakta meydana gelen oyulmaların tamamı münferit köprü ayağınındekine eşit olmaktadır (Şekil 5.10)

Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	H_{d0}	H_{d1}	H_{d0}/H_{d1}	a_t/D
2.39	0.36	7.5	30	2.16	1.49	1.45	0.00
2.39	0.36	7.5	30	2.16	1.60	1.35	0.50
1.89	0.34	7.5	30	1.99	1.55	1.58	1.00
2.57	0.38	7.5	30	2.31	1.96	1.18	1.50
2.33	0.35	7.5	30	2.04	1.85	1.10	2.00
2.40	0.36	7.5	30	2.17	2.06	1.05	2.50
2.40	0.36	7.5	30	2.17	2.14	1.01	3.00

Tablo (5.8)



Şekil 5.10. $\alpha=30^\circ$ iken rölatif oyulmanın a_t/D 'ye göre değişimi.

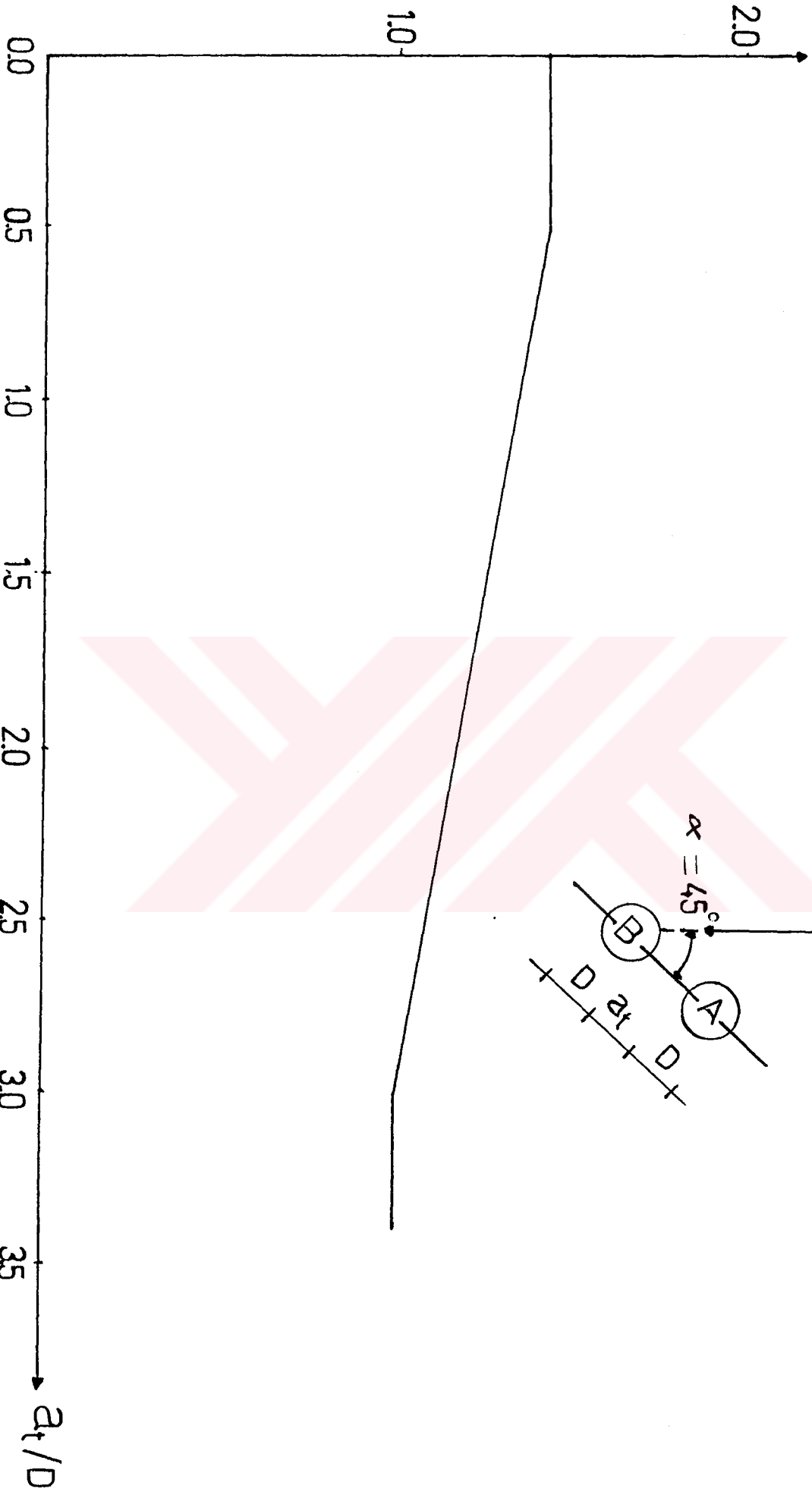
5.4.7. ATAK AÇISI $\alpha=45^\circ$, AYAK ÇAPI 7,5 cm OLMASI HALİ

Köprü ayakları arasındaki (a_t) mesafesi (0~22,5)cm arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Max oyulma derinliği (1) Nolu deneyde her bir köprü ayağının etrafında meydana gelmekte ve her iki ayak etrafındaki oyulma, blok oyulma derinliği oluşturmaktadır. $0.02 \leq \frac{a_t}{D} \leq 3$ aralığında, oyulmalar yönünden köprü ayaklarının birbirlerine etkisi vardır. $\frac{a_t}{D}$ oranı azaldıkça bu etki artmaktadır. $\frac{a_t}{D} > 3$ olması halinde her ayakta meydana gelen oyulmaların tamamı münferit köprü ayağınındekine eşit olmaktadır (Şekil 5.11)

Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	H _{do}	H _{d1}	H _{d0} /H _{d1}	a _t /D
2.60	0.38	7.5	45	2.32	1.62	1.43	0.00
2.59	0.38	7.5	45	2.32	1.68	1.38	0.50
2.55	0.37	7.5	45	2.30	1.75	1.31	1.00
2.40	0.36	7.5	45	2.16	1.72	1.26	1.50
2.63	0.38	7.5	45	2.33	1.95	1.19	2.00
2.55	0.37	7.5	45	2.30	2.09	1.10	2.50
2.42	0.36	7.5	45	2.18	2.16	1.01	3.00

Tablo (5.9)

H_{d_0}/H_{d_1}



Sekil 5.11. $\alpha=45^\circ$ iken rölatif ovulmanın a_t/D 'ye göre değişimi

5.4.7. ATAK AÇISI $\alpha=60^\circ$, AYAK ÇAPI 7,5 cm OLMASI HALİ

Köprü ayakları arasındaki (a_1) mesafesi (0~22,5)cm arasında değiştirilerek oyulma derinliklerinin ölçümleri yapılmıştır. Max oyulma derinliği (1) Nolu deneyde her bir köprü ayağının etrafında meydana gelmekte ve her iki ayak etrafındaki oyulma, blok oyulma derinliği oluşturmaktadır. $0.02 \leq \frac{a_1}{D} \leq 3$ aralığında, oyulmalar yönünden köprü ayaklarının birbirlerine etkisi vardır. $\frac{a_1}{D}$ oranı azaldıkça bu etki artmaktadır. $\frac{a_1}{D} > 3$ olması halinde her ayakta meydana gelen oyulmaların tamamı münferit köprü ayağınadekine eşit olmaktadır (Şekil 5.12)

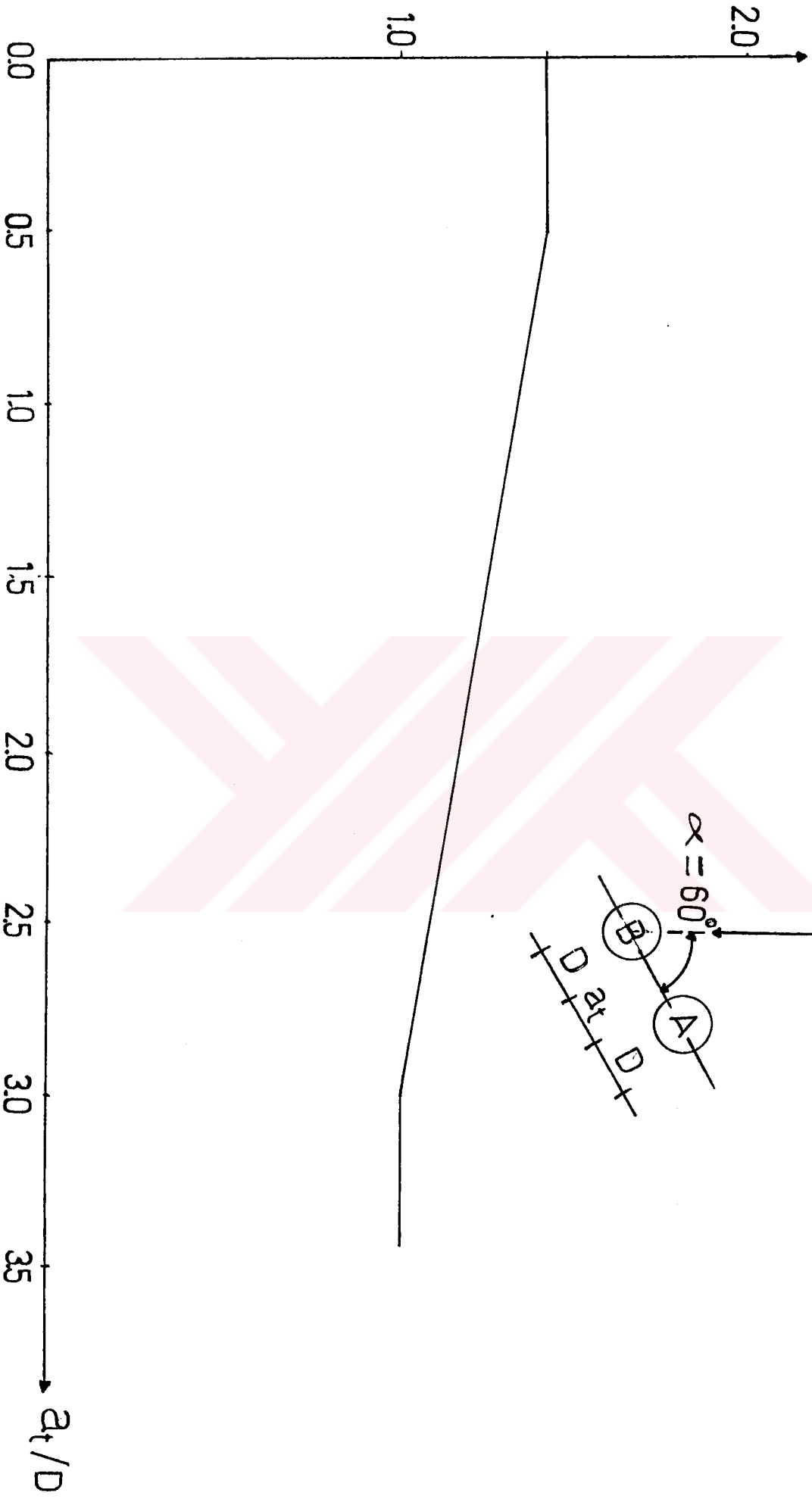
Q t/sn	V m/sn	D (cm)	α	H_{do}	H_{d1}	H_{d0}/H_{d1}	a_1/D
2.40	0.36	7.5	60	2.16	1.51	1.43	0.00
2.40	0.36	7.5	60	2.16	1.56	1.38	0.50
2.56	0.37	7.5	60	2.30	1.77	1.30	1.00
2.42	0.36	7.5	60	2.17	1.78	1.22	1.50
2.61	0.38	7.5	60	2.33	1.99	1.17	2.00
2.38	0.35	7.5	60	2.14	1.96	1.09	2.50
2.55	0.37	7.5	60	2.32	2.29	1.01	3.00

Tablo (5.10)

	BAŞAK	AZİZ	α
Köprü ayağının oyulması H_{do} 'a eşit halde	$\frac{a}{D} = 7$	$\frac{a}{D} = 3$	30°
	$\frac{a}{D} = 7$	$\frac{a}{D} = 3$	45°
	$\frac{a}{D} = 7$	$\frac{a}{D} = 3$	60°

Tablo (5.11)

H_{D_0}/H_{D_1}



Şekil 5.12. $\alpha=60^\circ$ iken rölatif oyulmanın a_t/D 'ye göre değişimi.

5.4.8. SONUÇLAR

Köprü ayaklarındaki yerel oyulma ile ilgili yapılan bu deneysel çalışmada elde edilmiş sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1- $\alpha=0$ olması halinde, hareketi tabanlı akarsuda köprü ayaklarından dolayı akım karakteristiklerinde değişimler olmakta ve bunun sonucu olarakta ayaklar etrafında oyulma meydana gelmektedir. Deneysel çalışmalar sonucunda gerek 5 cm'lik ve gerekse 7,5 cm'lik ayak için minimum oyulma derinlikleri her ayak grubu için $a/D=3,5$ değerinde oluşmaktadır.

2- $a/D = 11,5$ değerinden daha büyük olarak yerleştirilen ayaklar etrafında oluşan oyulma derinliği aynı olmakta diğer bir değişle münferit olarak çalışmaktadır. Yeni ayakların birbirine etkisi bulunmamaktadır.

3- $\frac{a}{D} < 0.02$ halinde ise, ayaklar blok ayak gibi çalışmakta ve oyulma çukuru ortak olarak meydana gelmekte ve maksimum oyulma derinliği ön ayakta oluşmaktadır.

4- $\alpha > 0$ olması halinde $a_{v/D}=3$ değeri için oyulma derinlikleri münferit ayaklardaki gibi oluşmaktadır. Yani ayak çapları ne olursa olsun oyulma derinlikleri $a_{v/D}=3$ değerinden sonra münferit çalışmaktadır.

5- Dairesel ayak gurublarında $\frac{a_1}{D} > 3$ sonra ayakların birbirine etkisi kalmadığı tesbit edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. DURGUN, K. (1964): Laminer Üç Boyutlu Sınır Tabakası Denklemlerinin İnvariant Özellikleri ve Bir Bağlama Ayağı Etrafındaki Laminer Üç Boyutlu Sınır Tabakasının Etüdü, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
2. HJORTH, P. (1975): Studies on the Nature of Local Socur Lund.
3. ÜÇ, SABAHATTİN, (1979): Akarsu Kıvrımlarındaki Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Yerel Oyulmalar.
4. TISON, L.J. (1940) "Erosion Autour des Pilles de Pont en Riviere" Annales Des Travaux de Belgique, Vol 41, No:3.
5. BREUSER, H.N.C., NICOLLET; G.SHEN, H.W. (1977): "Local Scour Around Cylindrical Piers" Journal of I.A.H.R. Vol.3, P.1.
6. BAYAZIT, M. (1971) Hareketli Tabanlı Akımların Hidroliği.
7. LAURSEN, E.M. (1963) "An Analysis of Relief Bridge Scour" Prof. A.S.C.E. HY3, p.3516.
8. SHEN, H.W., SCHNEİDER, V.R. KARAKI, S.S. (1966): "Mecanics of Local Scour", Fort Collin, Colorado.
9. SHEN, H.W. SCHNEİDER, V.R., KARAKI, S.S. (1969): "Local Scour Around Bridge Piers", Prof. A.S.C.E. HY, p.6891.
10. CHABERT, J.ENGELDİNGER, P. (1956): "Etude des Affo Uilliments Autour des Piles de Ponts", Chatou, Paris.

11. LECLERC, J.p. (1971): "Recherche des lois Regissant les Phenomen d' Affouillemet au pied des Pilles de Pont premi ers resultats" Prof. I.A.H.R. Vol.3, p.323.
12. BAŞAK, V. (1975): "Doğrusal Eksenli Bir Kazık Curbunda Oluşan Yerel Oyulma Derinlikleri", D.S.İ. Araştırma Dairesi.
13. QUESNOT, C. "Affuouillements Autourde Piles de Ponts Cylindriques Circulaires" LNH. Chatau, 1971.
14. NİCOLLET, G., RAMETTE, M. (1971 a): "Affouillements au Voisinage de Piles de Pont Cylindriques Circulaires", Prof. I.A.H.R. Vol.3, p.315.
15. NİCOLLET, G., (1971b): "Sur Problem des Affouille Monts au Pied des Piles de Pont Cylindriques", L.N.H. Chatau, Paris.
16. LARRAS, J. (1963): "Profondeurs Maximales D'eroson des Fonds Mobiles Autour des Piles en Riviere", Annales des ponts et Chaussees, Vol.133, No.4.
17. COLEMAN, N.L. (1971): "Analizing Laboratory Measurem ents of Scours at Cylindrical Piers in Sand Beds", Prof. I. A.H.R. Vol.3, p.307.
18. LAURSEN, E.M., TOCH (1956): "Scour Around Bridge Piers and Abutments", Iowa Highway Research Board Bulletin, No.4.
19. BONASAUNOAS, M. (1973): "Strömungsvorgang und Kolk Problem Amrunden Brüekenpfeiler" Versuchs Anstalt Für Waser Bauder Technisch Universität Munchen.
20. Üç, S. "Köprü Ayakları Etrafinda Oyulma Derinliklerinin Atak Açısı ile Değişimi", Y.Ü.Araştırma Makalesi (1984).

21. RREUSER, H.N.C. (1965): “Scouring Around Drilling Platforms” Journal Of. I. A.H.R. Vol.19, p.276.
22. SHEN, H.W., SCHNEIDER, V.R., KARAKI, S.S. (1969): “Local Scour Around Bridge Piers”, Prof. A.S.C.E., HY6, p.6891.
23. BAŞAK V. (1977): “Doğrusal Eksenli ve Dairesel Kesitli Kazık Grubu Etrafındaki Yerel Oyulmalar”, D.S.İ. Araştırma Dairesi.

