

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Hareketli Tab, Aka, Köp, Ayak
Şek, Oyuş Üze, Etk.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Apaydın

1988

R150
2153

1107 - 48001

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAREKETLİ TABANLI AKARSULARDA
KÖPRÜ AYAK ŞEKİLLERİNİN
OYULMA ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MÜH.AHMET APAYDIN

İSTANBUL - OCAK 1988

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
153

Alındığı Yer : FEN. BİL. ENS.

Tarih : 15.10.1991

Fatura : - - - - -

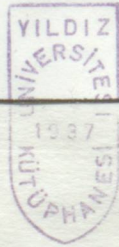
Fiyatı : 4800. TL.

Ayniyat No : 1/15

Kayıt No : 47745

UDC : 624. 378.242

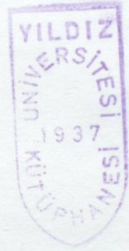
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HAREKETLİ TABANLI AKARSULARDA
KÖPRÜ AYAK ŞEKİLLERİNİN
OYULMA ÜZERİNE ETKİSİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

MÜH. AHMET APAYDIN

İSTANBUL - OCAK 1988

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
2. HIZ VE BASINÇ ALANINDAKİ DEĞİŞMELER	2
2.2. Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler	4
2.2.1. Sürüklenen vorteks sistemler	4
2.2.2. Atnalı vorteks sistem	5
2.2.3. Art-iz vorteks sistem	6
3. KATI MADDE HAREKETİ	8
3.1. Akarsularda taban hareket şekilleri	8
3.2. Taban hareketinin başlaması ve kritik kayma gerilmesi	8
3.2.1. Kritik hız	13
3.2.2. Kati madde hareketinde dinamik denge	14
3.2.3. Dinamik dengenin bozulması	15
TEŞEKKÜR	
Bu çalışmada yakın ilgisini gördüğüm, çalışmam esnasında, değerli fikirlerinden ve bana ait çalışmalardan dolayı yardımcı olan Sayın Hocam Doç.Sabahattin ÜÇ'e teşekkürlerimi sunarım.	18
4.3. Akım karakteristiklerinin oyulmaya etkisi	19
4.3.1. Akım hızının oyulmaya etkisi	19
4.3.2. Su derinliğinin oyulmaya etkisi	20
4.4. Taban malzemesi karakteristiklerinin oyulmaya etkisi	21
4.4.1. Taban sürüklenme gerilmesinin etkisi	21
4.4.2. Taban malzemesi dene çapının oyulmaya etkisi	22

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

	Sayfa No
1. GİRİŞ	1
2. HIZ VE BASINÇ ALANINDAKİ DEĞİŞMELER	2
2.2. Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler	4
2.2.1. Sürüklenen vorteks sistemler	4
2.2.2. Atnalı vorteks sistem	5
2.2.3. Art-iz vorteks sistem	6
3. KATI MADDE HAREKETİ	8
3.1. Akarsularda taban hareket şekilleri	8
3.2. Taban hareketinin başlaması ve kritik kayma gerilmesi	8
3.2.1. Kritik hız	13
3.2.2. Katı madde hareketinde dinamik denge	14
3.2.3. Dinamik dengenin bozulması	15
4. KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDAKİ OYULMAYA ETKİLİ OLAN PARAMETRELER	18
4.1. Giriş	18
4.2. Oyulmanın zamanla değişimi	18
4.3. Akım karakteristiklerinin oyulmaya etkisi	19
4.3.1. Akım hızının oyulmaya etkisi	19
4.3.2. Su derinliğinin oyulmaya etkisi	20
4.4. Taban malzemesi karakteristiklerinin oyulmaya etkisi	21
4.4.1. Taban sürüklenme gerilmesinin etkisi	21
4.4.2. Taban malzemesi dane çapının oyulmaya etkisi	22

4.5.1. Atak açısının oyulmaya etkisi	23
4.5.2. Atak açısının oyulma derinliklerine etkisinin formül yolu ile bulunması	24
4.5.3. Akıma dik ayak genişliğinin oyulmaya etkisi	26
4.5.4. Ayak şeklinin oyulmaya etkisi	27
5. MODELLER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
5.1. Giriş	30
5.2. Deneysel kanal	30
5.3. Deneysel çalışmalar	32
5.3.1. Taban malzemesinin özellikleri	34
5.3.2. Taban malzemesinin kritik hızının bulunması	34
5.3.3. Deneysel kullanılacak ayakların seçimi	36
5.4. Deneysel yapılması	36
5.5. Bulgular	43
Sonuçlar	44
Kaynaklar	

J : Kanal taban eğimi

H_d : Denge oyulma derinliği

$H_{d_{max}}$: Maksimum denge oyulma derinliği

h : Kanaldaki su derinliği

L : Uzunluk boyutu

K_s : Ayak şekil katsayısı

P : Basınç

Re : Reynolds sayısı

SEMBOOLLER

- Re : Dane reynolds sayısı
- Fr : Froude sayısı
- a_t : ayaklar arasındaki izdüşüm genişliği
- b : dikdörtgen ayağın genişliği
- B : Kanal genişliği
- b_t : Ayağın akıma dik etkili genişliği
- C_p : Basınç katsayısı
- C_s : Sürüklenme katsayısı
- C_k : Kaldırma katsayısı
- d : Taban malzemesinin dane çapı
- d_m : Karakteristik dane çapı
- d₆₀ : % 60 'ı verilen çaptaki elekten geçen dane çapı
- D : Silindirik ayak (engel) çapı
- D* : Sedimantolojik çap
- g : Yerçekim ivmesi
- dV : Taban geometrisi değişimi
- J : Kanal taban eğimi
- H_d : Denge oyulma derinliği
- H_{d max} : Maksimum denge oyulma derinliği
- h : Kanaldaki su derinliği
- L : Uzunluk boyutu
- 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

t : zaman

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 çeşitli ayaklarda, maksimum denge oyulmalarının değişimi deneysel olarak araştırıldı. Deneysel çalışma safhasından 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, hareketli tabanlı doğrusal akarsu yatağında dairesel ayaklar etrafındaki meydana gelen maksimum denge oyulma derinlikleri ile ayak çapları arasında eksponansiyel bağıntı olduğu bulunmuş ve buna ait denklem çıkarılmıştır.

Çalışmamızın esası olan deneylerin ikinci kısmında çeşitli ayak tipleri seçilerek, akımın ayağa sıfır derecelik bir açı ile gelmesi halinde ayak tipinin oyulmaya etkisi araştırılmış ve K_s katsayıları bulunmuştur.

Ayak şekline bağlı olarak oyulma derinliklerinin değiştiği görülmüş ve küt ucu akıma dik olan ayaklarda oyulma, sivri ucu akıma dik ayaklardaki oyulmaya göre daha fazla olduğu ölçümler sonucu bulunmuştur.

Scour depth variation due to pier type, measurements showed that scour around rectangular noses subject to flow is more than that of lenticular shapes

S U M M A R Y

In this study variation of maximum local scour of equilibrium state around various piers in a river with a movable bed was investigated on experimental models. This study is composed of two sections. First section is a general view of the scour phenomena, its occurrence and basic principles and it contains four units dealing with the following subjects :

Variations in the flow field unit one, Vortex systems and their effect on the scouring process unit two, sediment transport unit three, Parameters effecting the scour around piers unit four.

The results of this section applied wherever necessary.

Second section contains laboratory experiments carried out and explains their results. It is outlined in two units :

Unit One : Study of the maximum local scour of equilibrium state around piers on a straight movable bed in a river leads to an exponential relationship between the scour depth and pier diameter.

Unit two : Laboratory experiments carried on various pier types subject to a flow with a zero degree of attack angle. The effect of the pier type on scour was investigated and K_s coefficients were obtained.

Scour depth variation due to pier type, measurements showed that scour around rectangular noses subject to flow is more than that of lenticular shaped ones.

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

Birbirinin tamamlayıcısı olayların sırasıyla oyulmayı şöyle meydana getirirler.

- Engelden dolayı akım çizgileri sapar. Hız ve basınç alanlarının değiştiği görülür.

- Hız ve basınç alanlarının önemli değişikliği sonucu sınır tabakasından ayrılmalar başlar.

- Sınır tabakasının ayrılması sonucu ayak etrafında çeşitli biçim ve büyüklükte vorteks sistemlerinin oluşması

- Ayak etrafında oluşan vorteks sistemler ve sekonder akımın etkisi ile tabanda dengede bulunan malzemelerin yerinden sökülmesi ve taşınması sonucunda

- Ayak etrafında oyulmanın başlaması ile oyulma çukuru oluşmaktadır.

Oyulma olayı ile ilgili sızma yukarıdaki olaylar dizisine kısaca göz geçirelim :

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 arttırır. Bu yüksek hız bölgesinde artan sürüntü maddesinin taşıma kapasitesi, gelen malzeme miktarından fazla olduğu için oyulma olayı başlar.

Birbirinin tamamlayıcısı olayların sırasıyla oyulmayı şöyle meydana getirirler.

- Engelden dolayı akım çizgileri sapar. Hız ve basınç alanlarının değiştiği görülür.

- Hız ve basınç alanlarının önemli değişikliği sonucu sınır takasından ayrılmalar başlar.

- Sınır tabakasının ayrılması sonucu engel etrafında çeşitli biçim ve büyüklükte vorteks sistemlerinin oluşması

- Ayak etrafında oluşan vorteks sistemler ve sekonder akımın etkisi ile tabanda dengede bulunan malzemelerin yerinden sökülmesi ve taşınması sonucunda

- Ayak etrafında oyulmanın başlaması ile oyulma çukuru oluşmaktadır.

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

Basınç dağılımı genellikle; C_p basınç katsayısına bağlı olarak tanımlanmıştır.

2. HIZ VE BASINÇ ALANINDAKİ DEĞİŞMELER

Köprü ayağının akım alanına yerleştirilmesi ile yaklaşılan akımın, engelin simetri ekseninde olan sıvı ipçığının, engele 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 uzaklıkta 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

$$\rho \frac{u^2}{2} : \text{Dinamik basınç}$$

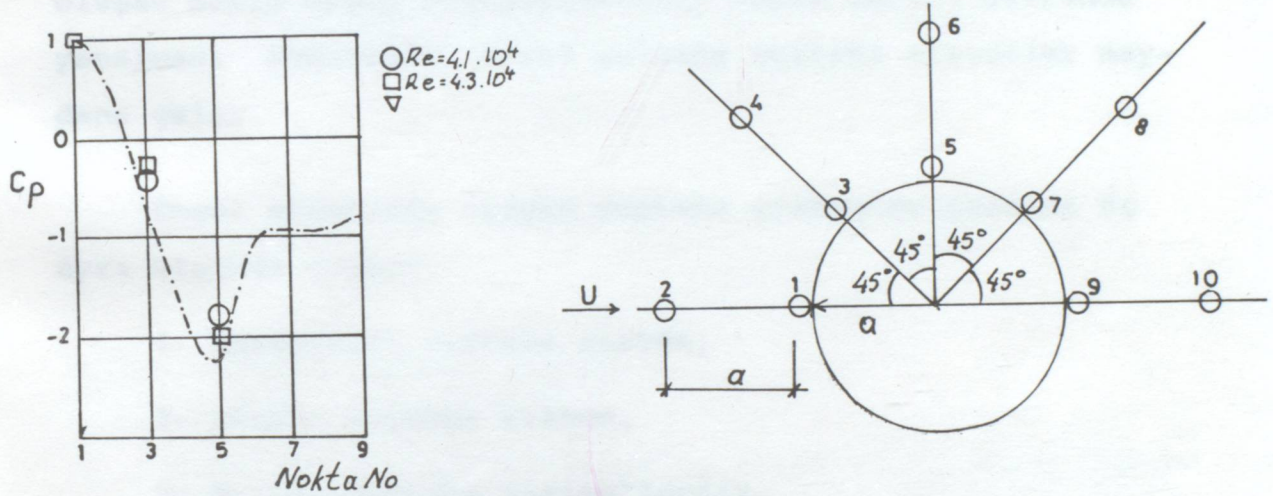
Görülüyorki, engelin menba tarafında daha büyük bir basınç oluşmaktadır. Ve bundan dolayı su yüzeyinde bir kabarma meydana gelmektedir.

Basınç dağılımı genellikle; C_p basınç katsayısına bağlı olarak tariflenmiştir.

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

Burada,

C_p : Basınç katsayısını gösterir.



Şekil 2.2 Engelden dolayı basınç alanında meydana gelen değişimler.

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.

Engel etrafında oluşan basıncın değişimini incelemek için HJORT /2/. Şekil (2.2) de görülen sistemi kurarak engel etrafındaki bütün noktalarda basıncın değişimini C_p cinsinden ölçmüş ve daha önce bulunan neticelere yakın sonuçlar bulmuştur.

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 gradyanindeki artımdan dolayı, engelin menbağındaki sınır tabakası ayrılır. Bu ayrılma ve engelin menba durgunluk düzleminde oluşan hızın düşey bileşenlerinin, taban zemini üzerinde yansımaları sonucunda, engel yolunda vorteks sistemler meydana gelir.

Engel etrafında oluşan vorteks sistemler genelde üç ayrı biçimde oluşur.

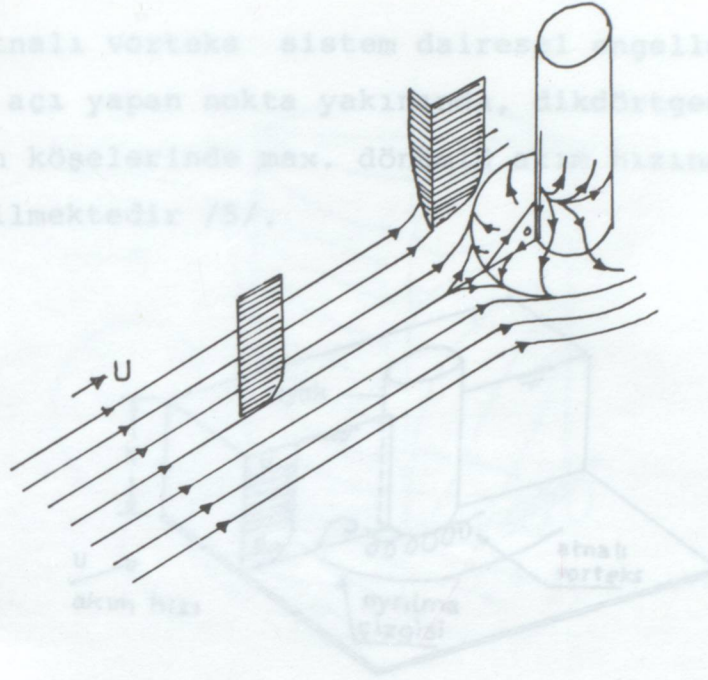
1- Sürüklenen vorteks sistem,

2- Atnalı vorteks sistem,

3- Art-iz vorteks sistem'lerdir.

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 engellerde oluşurlar /3/.



Şekil 2.3 Sürüklenen vorteks sistem

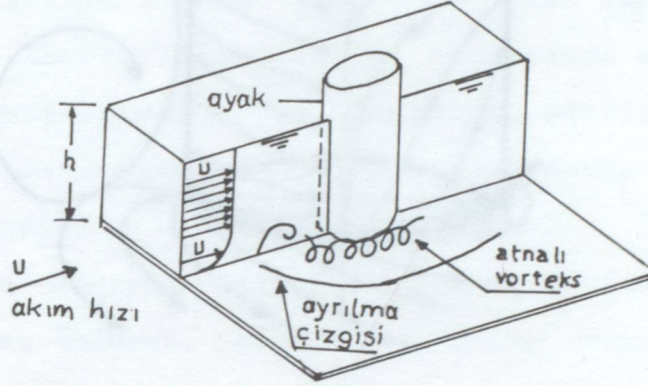
Şekil 2.4 Atmalı vorteks sistem.

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 atmalı 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 atmalı vorteksi oluştururlar.

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



Şekil 2.4 Atnalı vorteks sistem.

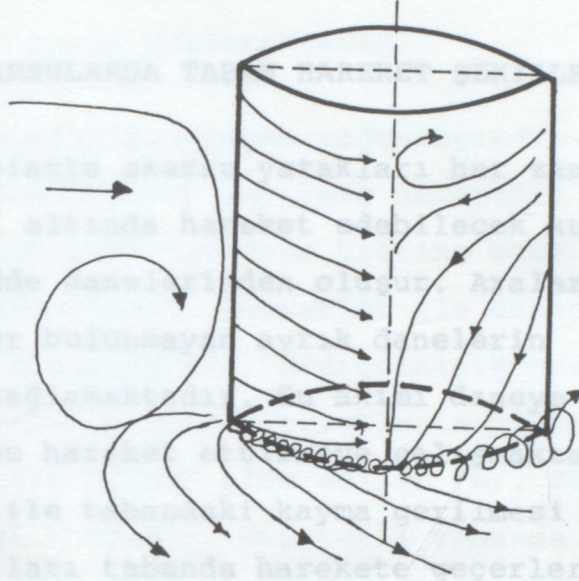
2.2.3. ART-İZ VORTEKS SİSTEM

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 (izli) 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 sökonder akımın, artan hız yükü doğrultusunda olduğu söylenebilir. Bu olay genellikle yaklaşım hızının silindire doğru artması, silindirin arkasındaki basıncın düşmesi gerçeğinden çıkarılmıştır /5/.

3. KATI MADDE HAREKETİ

3.1. AKARINLARDA TAŞINIM HAREKETLERİ :



Şekil 2.5 Bir engel etrafında oluşan vorteksler ile bazı daneler taban ve Art-iz vorteks sistemi. sonra tekrar tabana dönerler. Buna da küçük "sıçrama hareketi" denir. Sıçramanın nedeni, dane yakınındaki basıncın değişmesi veya bir başka dancenin çarpması da olabilir. Bu hareket tarzı havada önemli olmasına karşılık suda göz önüne alınmayacak kadar önemsizdir. Bunun içinde sürüntü maddesi hareketine dahil edilerek hesaplar yapılır. Danelerin bu hareket tarzları ise akım hızının daha büyümesi sonucunda taban kayma gerilmesinde büyük artışlar meydana getirir. Bu gerilme ile dane yerinden sökülür, akım hızı ve türbülans ile hareket eder. Gerilme değeri küçülmeye başladıkça dane, akımla beraber ve tabandan uzak olarak hareketine devam eder. Bu olay ile "askı hareketi" meydana gelir. Olayda önemli faktör, dancenin çökme hızını yenen türbülanstır /6/.

3.2. TABAN HAREKETİNİN BAŞLAMASI VE KRİTİK KAYMA GERİLMESİ

Kritik kayma gerilmesi danelerin harekete geçmesine se-

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 danelerinden oluşur. Aralarında elektro kimyasal kuvvetler bulunmayan ayrık danelerin ağırlığı tabanda kalmasını sağlamaktadır. Su akımı daneye kayma gerilmesi yaparak onu hareket ettirmeye çalışmaktadır. Akarsu hızının artması ile tabandaki kayma gerilmesi artacağından danelerin bazıları tabanda harekete geçerler. Kimisi yuvarlanır, kisi de birbiri üzerinden kayar. Danelerin bu hareketine "sürüntü hareketi" denir. Akım hızının tekrar artması ile bazı daneler tabandar kalkar, kısa bir süre sonra tekrar tabana dönerler. Buna da küçük "sıçrama hareketi" denir. Sıçramanın nedeni, dane yakınındaki basıncın değişmesi veya bir başka danenin çarpması da olabilir. Bu hareket tarzı havada önemli olmasına karşılık suda göz önüne alınmayacak kadar önemsizdir. Bunun içinde sürüntü maddesi hareketine dahil edilerek hesaplar yapılır. Danelerin bu hareket tarzları ise akım hızının daha büyümesi sonucunda taban kayma gerilmesinde büyük artımlar meydana getirir. Bu gerilme ile dane 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, danenin çökme hızını yenen türbülanstır /6/.

3.2. TABAN HAREKETİNİN BAŞLAMASI VE KRİTİK KAYMA GERİLMESİ

Kritik kayma gerilmesi danelerin harekete geçmesine se-

bep olan gerilmedir. Dane hareketi bu gerilmenin belli değerinden sonra başlamaktadır.

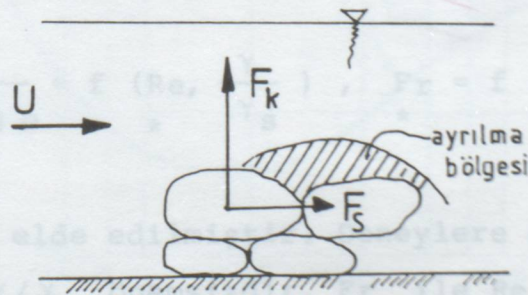
Yoğunlukları suyun yoğunluğundan daha büyük olan katı madde danelerinden yapılmış hareketli tabanlı bir yatak içerisinde akan bir dane üzerine bazı kuvvetler etkir. Bunlar, hidrodinamik kuvvetler ile danenin yerinde kalmasına çalışan kuvvetlerdir. Hidrodinamik kuvvetlerin bileşkesinin daneyi yerinde tutan kuvvetlerin bileşkesine eşit olması ile "kritik durum" elde edilir /6/. Bu durumda dane hareketine geçmek üzeredir. Hareketli tabanda belli özellikte bulunan daneler için hız arttıkça hızın belli bir değerinde bu kritik kayma elde edilebilir.

Hareketli tabanlı bir yatak içerisindeki bir katı madde danesine 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 : Danenin akıma dik alanı

V : Dane yakınındaki hız

Bu kuvvetlerden ağırlığın akım doğrultusuna dik bileşeni daneyi yerinde tutmaya, kaldırma kuvveti, sürüklenme kuvveti ve ağırlığın akım doğrultusundaki bileşeni ise daneyi harekete geçirmeye çalışırlar /6/. Danelerin 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;

$$\frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) D} = f \left(Re, \frac{\gamma}{\gamma_s} \right), \quad Fr = f \left(Re, \frac{\gamma}{\gamma_s} \right)$$

bağıntıları elde edilmiştir. Deneylere göre; bu boyutsuz sayılardan γ/γ_s önemsizdir. Fr ile Re boyutsuz sayıları arasındaki bağıntıyı shields * deneysel olarak vermiştir.

3.2. 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 gerilmesi shields eğrisinden bulmak ancak deneme yoluyla kabil olabilir /6/.

Bazı araştırmacılar bu diyagramın kullanışlı olmadığını Fr ve Re sayıları arasında U_* bilinmeyen olduğundan sonuç için tatonman gerektiğini söylemişlerdir. Bunu önlemek için $\frac{Re_*^2}{Fr_*^2}$ oranından yararlanarak;

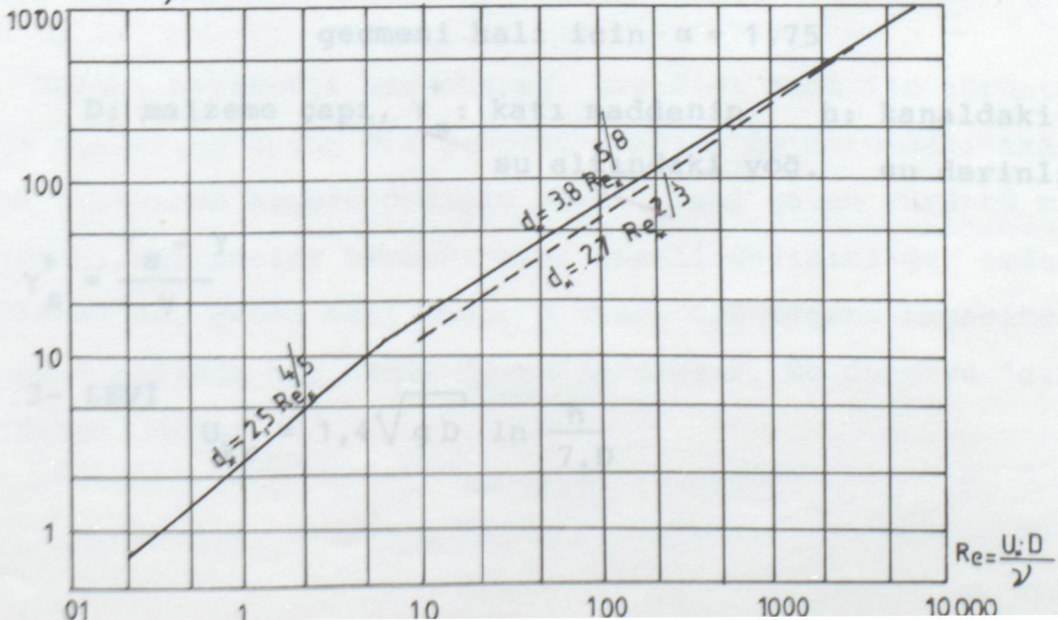
$$D_* = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\rho v^2} \right)^{1/3} D \text{ bulunmuştur. Buradaki } D_* \text{ ye}$$

sedimentolojik çap denilmektedir.

Bonafille, sedimentolojik çap ile Re arasında bağıntı kurarak shields diyagramını yeniden düzenlemiştir.

Bu yeni diyagram Şekil (3.4)'de verilmiştir.

$$d_* = \left(\frac{\rho' g}{\gamma^2} \right)^{1/3} d$$



3.2.1. KRİTİK HIZ

Tabanda danelerin 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 vermişlerdir /6/.

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

$$a \text{ için : } D_{90} > 0.7 \text{ ise } a = 1$$

$$D_{90} < 0.7 \text{ ise } a = 1,2 \sim 1,4$$

$$2) \text{ GONCHAROV : } U_{kr} = \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_s^+ \cdot D}{\alpha}} \cdot \log \frac{8,8 h}{D}$$

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

b) Danelerin ortalama hız değerinde harekete geçmesi hali için $\alpha = 1,75$

D: malzeme çapı, γ_s^+ : katı maddenin su altındaki yoğ. su derinliği

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

3- LEVİ

$$U_{kr} = 1,4 \sqrt{g D} \ln \frac{h}{7 \cdot D}$$

4- MEYER-PETER: türbülanslı akımda danenin 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

$$D_m \approx D_{50}$$

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 sürüntü madde miktarına uygun bir dengeye ulaşır. Bu durumdaki akarsuyun tabanında hiçbir 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 değişme olursa, akarsu tabanı da değişir. Bu olay 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: Göz önüne alınan kesitteki oyulan ya da yığılan miktar,

$Q_T(B)$: Bu 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

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

Eğer, $Q_T(B)$ ile $Q_T(S)$ eşit değillerse 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 DENGİNİN BOZULMASI

Kararlı özellikte bir katı madde hareketi olan açık kanal içerisine bir engel yerleştirildiği zaman akımın özel-

liklerini ve katı madde hareketini değiştirdiğini biliyoruz. Engelden dolayı artan akım hızı, akımın taşıma kapasitesini arttırır. 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 akım alanını da 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 $Q_T(S)$ maddeye 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 danelerin direncini yenecek şiddette ise bu durumda engel yakınında oyulma başlar.

Sürüklenme çevri sistemi oyulmayı başlatır. Yani vorteks'ler taban danelerini koparacak ve askıda tutacak kadar kayma gerilmesine sahip olduğu andan sonra oyulma başlar. Atnalı vorteks sistem oyulan malzemeyi engelin arkasına taşıyarak emme görevi yapan Art-iz çevri sistemi de bölgeden uzaklaştırır.

Oyulma çukuru derinliği arttıkkça, sınırdaki malzemeler tabana doğru iner. Çünkü vorteks dengesizdir. Bu halde oyulan çukur genişler, oyulma vorteksın 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 daimi sürüntü maddesi taşınımı halindeki oyulma denir.

Yukarıda 2. nolu değerlendirmede sürüntü hareketi yokken oyulma olayı vardır. Çünkü engel civarında taban kayma gerilmelerini etkileyen türbülans ve vorteksler neden olmaktadır.

SHEN /8/, /9/ taban kayma gerilmesinin engelin menba tarafında $0^\circ - 45^\circ$ arasındaki 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/.

- 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 deneyler çalışmalarda max. oyulma derinliğine, 150 saat süren deney sonuçları

4. KÖPRÜ AYAKLARI ETRAFINDAKİ OYULMAYA ETKİLİ OLAN PARAMETRELER

4.1. GİRİŞ

Haraketli 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. Bunun sebebi, oyulma olayına etkiyen nedenlerin fazla olmasıdır. 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

Oyulmaya 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 saat süren deney sonucun-

da 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)

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

$$m = 0,026 e^{2,932 h}$$

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

CUNHA (1971) ise,

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

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

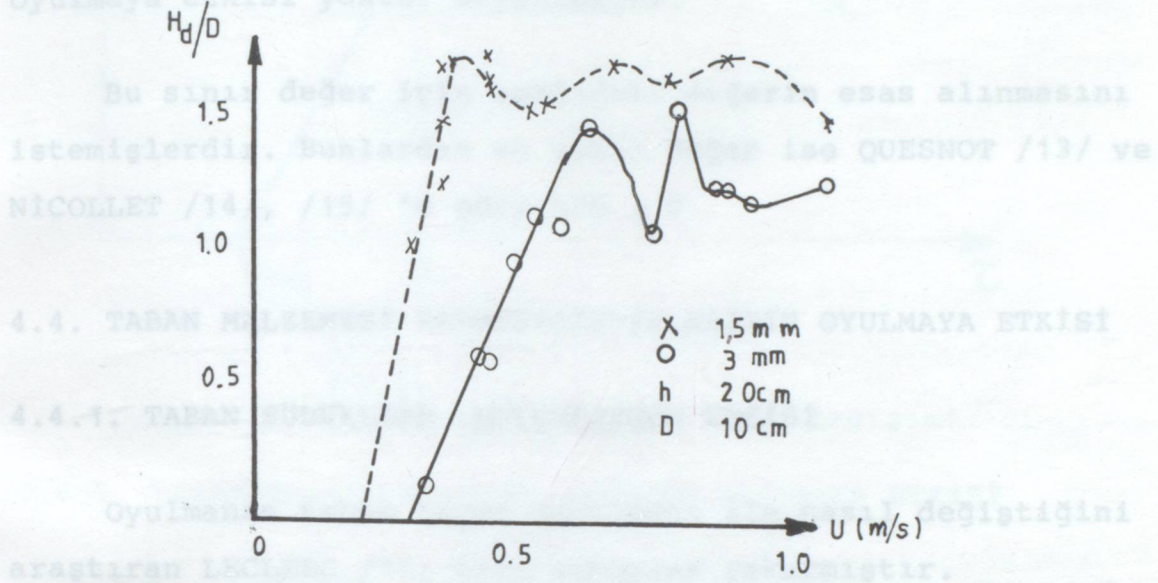
4.3. AKIM KAREKTERİSTİKLERİNİN OYULMAYA ETKİSİ

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 taşınan 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 arttırır.

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 bulmuşlar-

dır.

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 NICOLLET /14/, /15/ 'e göre $h/D \geq 2$

4.4. TABAN MALZEMESİ KAREKTERİSTİKLERİNİN 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.

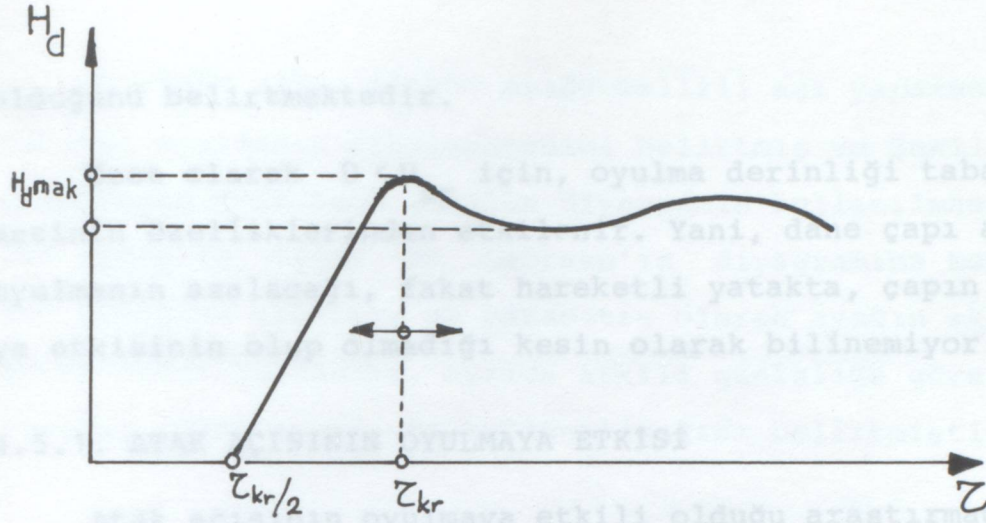
- Oyulmanın başlangıcına karşı gelen bu τ değeri iki ayrı durumu meydana getirir.

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 değerler 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.

NICOLLET /14/, /15/ d dane çapıyla oyulmanın değişimini incelemiş ve çap arttıkça oyulmanın sabit bir değere asimtotik kaldığını ve bu nedenle dane çapının oyulmaya etkisinin kalmıyacağını, yani bu durumda oyulmanın çapta bağımsız



Şekil 4.2

Oyulmanın taban kayma gerilmesi ile değişimi.

4.4.2. TABAN MALZEMESİ DANE ÇAPININ OYULMAYA ETKİSİ

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

Oyulmanın dane çapından bağımsız olduğunu, LARRAS /16/ COLEMAN /17/ kabul etmişlerdir.

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

LAURSEN ve TOCH /18/, $d_m = 0,5 \sim 5$ mm. çapındaki daneler BONASOUNDAS /19/, $d_m = 0,6 \sim 3,3$ mm. çapındaki daneler için oyulmanın dane çapıyla arttığını bu değer dışındaki dane çapları için ise bağımsız kaldığını belirtmektedirler.

NICOLLET /14/, /15/ d dane çapıyla oyulmanın değişimini incelemiş ve çap arttıkça oyulmanın sabit bir değere asimtotik kaldığını ve bu nedenle dane 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, dane çapı artarsa oyulmanın azalacağı, fakat hareketli yatakta, çapın oyulmaya etkisinin olup olmadığı kesin olarak bilinmiyor /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,

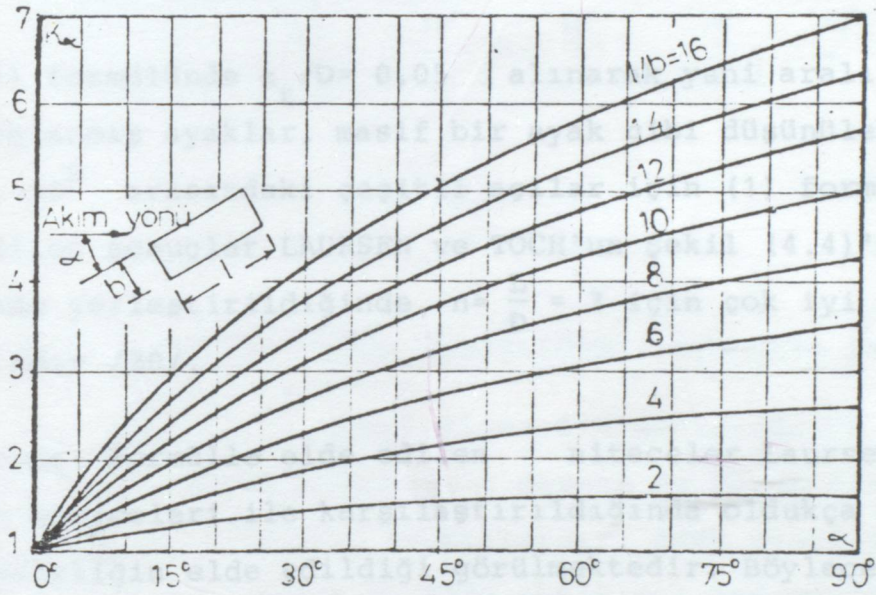
- Oyulma çukuru deforme olur. Bunun neticesinde max. denge oyulma derinliği yer değiştirdiğini

- Fakat max. denge oyulması yine ayağın yakınında oluştuğunu belirtmektedir. $H_{d_{max}} = 1,05 \cdot D^{0,75}$ 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, Laursen'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

$$Hd_{\alpha} / Hd_0 = \left(1 + \frac{\sin \alpha}{3}\right) \cdot (a_t/D)^{-\sin \alpha / 66} \quad (1)$$

formülü elde edilmiş

Burada;

Hd_{α} : atak açısında oluşan oyulma derinliği

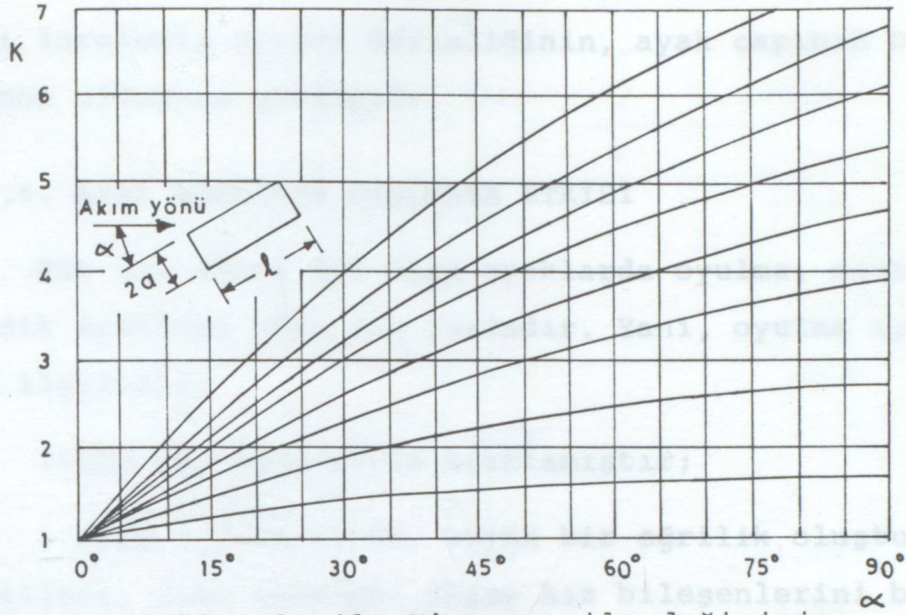
Hd_0 : $\alpha=0^{\circ}$ halindeki oyulma derinliği

a_t : ayaklar arasındaki izdüşüm genişliği

D : ayak çapını göstermektedir.

(1) formülünde $a_t/D = 0,05$ alınarak yani 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 niteceler Laursen ve Toch'un neticeleri 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.



— Formül yolu ile K'nın α ile değişimi

Şekil (4.4)

4.5.3. AKIMA DİK AYAK GENİŞLİĞİNİN OYULMAYA ETKİSİ

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

$$\text{LARRAS /16/ } H_{d_{\max}} = 1.05 D^{0,75}$$

$$\text{BREUSER /21/ } H_{d_{\max}} = 1.4 D$$

$$\text{SHEN /22/ } H_{d_{\max}} = D^{0,619} \quad (\text{sabit hız için})$$

$$\text{BAŞAK /12/ } H_{d_{\max}} = 0,558 D^{0,586} \quad (\text{dikdörtgen için})$$

$$\text{ÜÇ /3/ } H_{d_{\max}} = 0,61 D^{0,766}$$

NICOLLET /14/, oyulma derinliğinin D/d 'ye göre değişimi

mini incelemiş oyulma derinliğinin, ayak çapının bir fonksiyonu olduğunu görmüştür.

4.5.4. AYAK ŞEKLİNİN OYULMAYA ETKİSİ

Küt ucu akıma dik olan ayaklarda oyulma, sivri ucu akıma dik ayaklara göre çok fazladır. Yani, oyulma ayak şekli ile ilgilidir.

TISON /4/ Bunu şöyle açıklamıştır;

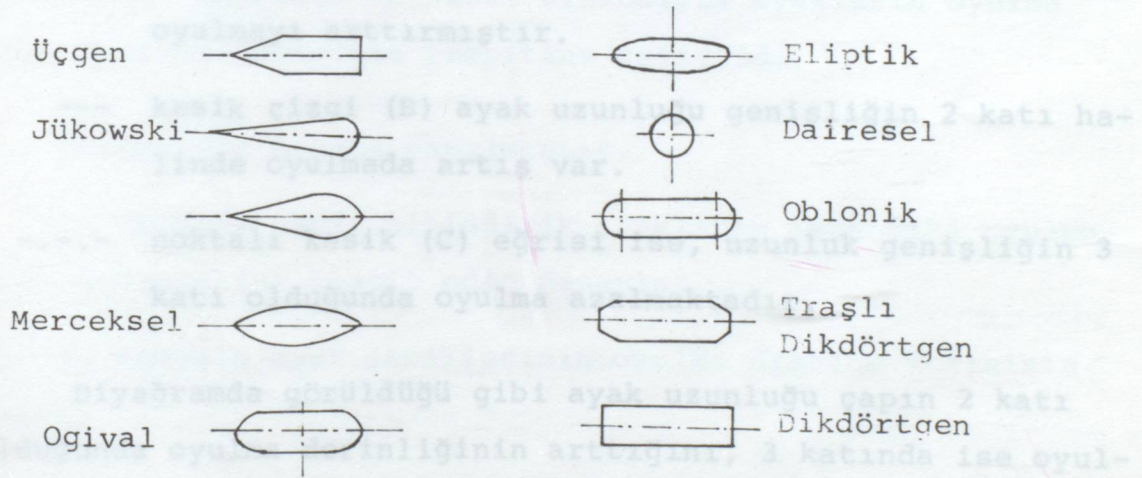
- Akım çizgilerinde, büyük bir eğrilik oluşturan ayak şekilleri, ayak önündeki düşey hız bileşenlerini büyüterek oyulmanın artmasına neden olurlar.

- Ön yüzü keskin olan ayak şekillerinde, bu eğrilik daha küçük olduğundan oyulma daha az olur.

LARRAS /16/ dairesel silindirik ayak için çıkardığı $H_{d_{max}} = 1,05 D^{0,75}$ formülü ile bütün ayaklar için uygulanabilir demesine rağmen, formül sonuçlarını, ayak biçimine bağlı olan $K = 0,41 \sim 1,40$ arasında olan katsayı ile çarpılarak elde edilebileceğini belirtmiştir. BAŞAK /23/ ise kare, dikdörtgen, oblonik ve dairesel silindirik ayaklar için çıkarmış olduğu sonuçlar, dairesel ayaklara göre, oblonik ayaklarda % 10 daha az, yine kare kesitli ayaklara göre dairesel ayaklarda % 20 daha az bir oyulma olmaktadır. Larras ve Başak'ın bulduğu K değerleri Tablo 4.2'de verilmektedir.

TABLO- 4.2

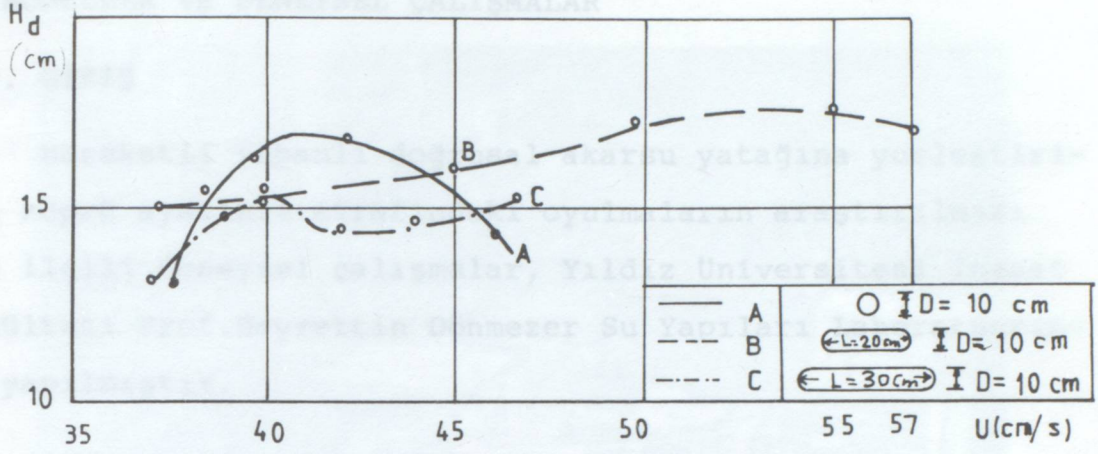
Ayak Biçimi	LARRAS	BAŞAK
	K	
Daire	1.00	1.00
Jukowski	0.80	-
Üçgen	-	-
Elips	0.83	-
Mercek	0.41-0.91	-
Traşlı dikdörtgen	1.01	-
Dikdörtgen	1.40	1.20
Oblonik	1.00	1.90



Şekil (4.5)

Çeşitli ayak formları.

Şekil (4.5)'te ayak şekilleri her ne kadar oyulmaya etkili ise de, ayak uzunluğunun da oyulmaya etkili olduğu Şekil (4.6)'da verilmiştir. İlk olarak TISON ayak uzunluğunun oyulmaya etkili olacağını ortaya atmıştır. NICOLLET /14/ bu konudaki deneysel çalışmasında Şekil 4.6'daki ayak uzunluklarının oyulma üzerine değişimini elde etmiştir.



Şekil (4.6)

Ayak uzunluğunun oyulmaya etkisi.

- düz çizgi (A) dairesel ayak belli hızlar arasındaki oyulmayı arttırmıştır.
- kesik çizgi (B) ayak uzunluğu genişliğin 2 katı halinde oyulmada artış var.
- .-.- noktali kesik (C) eğrisi ise, uzunluk genişliğin 3 katı olduğunda oyulma azalmaktadır.

Diyağramda görüldüğü gibi ayak uzunluğu çapın 2 katı olduğunda oyulma derinliğinin arttığını, 3 katında ise oyulmanın azaldığı görülmektedir.

Bu çalışmada oyulmaya etkili parametrelerden ayak şeklinin oyulma olayı üzerine etkisi konusu deneysel olarak araştırıldı.

te sulu bir limnometre yerleştirilmiştir Fotoğraf (5.1).

5. MODELLER VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. GİRİŞ

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

Deneyler sabit genişlikli olan kıvrımlı kanalın 14m. lik doğrusal kısmında aynı taban malzemesi ve aynı akım hızında yapılmıştır.

Çalışmada 100 mm. genişliğinde çeşitli ayak şekilleri ile değişik çaplarda dairesel silindirik ayakların oyulma olayı üzerine etkisinin tespitine çalışıldı.

Deneyler 2 grupta yapılmıştır.

1- Değişik çaplı silindirik ayakların tabandaki oyulmaların değerlerini tespit eden deneyler

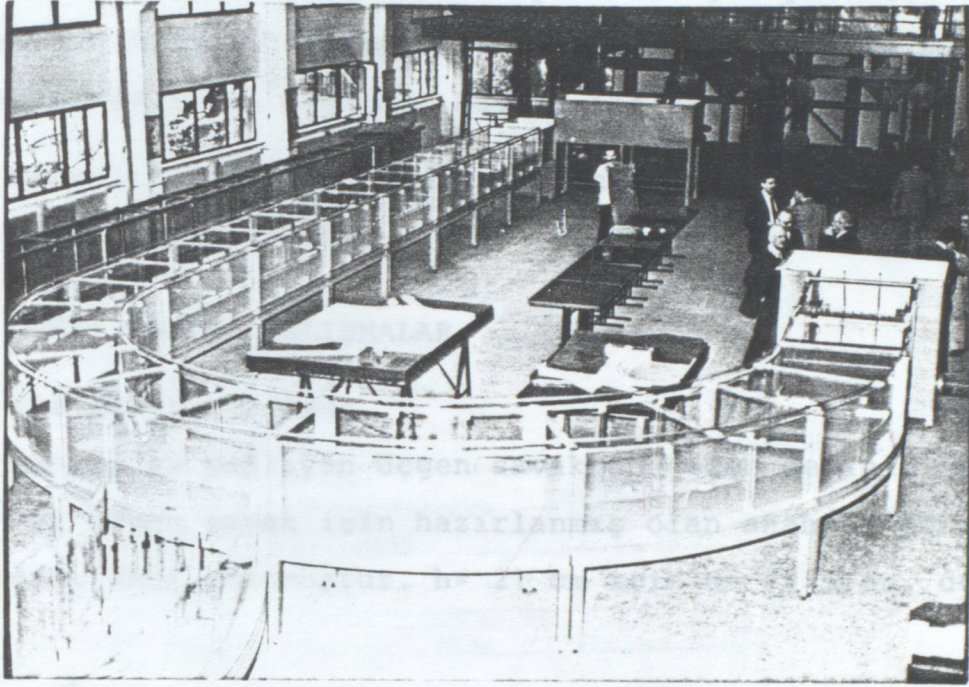
2- Değişik ayak şekillerinin oyulma üzerine etkisinin tespiti

5.2. DENEY KANALI

Kanal 0.90 m. genişlikli yaklaşık 29 m. uzunluğu ve 0.60m. yüksekliğinde yapılmış olup, vaziyet planı ve boy kesiti Şekil (5.2)'de görülmektedir. Kanal beş bölümden meydana gelmiştir.

1- Savaktan önceki dinlendirme havuzu: Bu havuza terfi ile gelen su, havuzu ortadan ikiye bölen delikli tuğla duvar ile sakinleştikten sonra üçgen savaktan 2.dinlendirme havuzuna akmaktadır. Debinin ölçümü için, savağın üst kısmında mon-

te edilmiş bir limnimetre yerleştirilmiştir Fotoğraf (5.1).



Deney kanalının genel görünüşü

Fotoğraf (5.1)

2- İkinci dinlendirme havuzu:

Savaklanan su 0.90 x 0.90 m. ebadındaki ikinci havuzda dinlendirilmekte havuzu ortasından enlemesine bölen delikli saçdan perdeler bulunmaktadır. Buradan dinlenerek geçen su kanal girişindeki taban malzemesini bozmadan akması için, girişe 2.50 m. uzunlukta kısma tuğla ve ondan sonra 0.80 m. uzunluğunda 0.26 yüksekliğinde bir eşik konulmuştur.

3- Kanalın doğrusal kısmı 14 m. uzunluğunda bir bölümdür. Taban malzemesinin kalınlığı 0.20 m. $J= 0.001$ dir. Ayrıca o-yulma dirinliklerinin ölçümü için kanalın üstünde hareketli bir limnimetre bulunmaktadır.

4- Kanalın kıvrımlı bölümü 3.2 m yarıçaplı olup 180° lik açı yapmaktadır.

5- İkinci doğrusal bölümü toplam 3 m. uzunluğundadır. Bu bölümün sonunda 1.0 x 0.9 m. boyutunda eşik yerleştirilerek malzemenin kayması önlenmiştir. Ayrıca, kum toplama havuzu, hareketli kapak ve deşeraj havuzu ile tamamlanmaktadır.

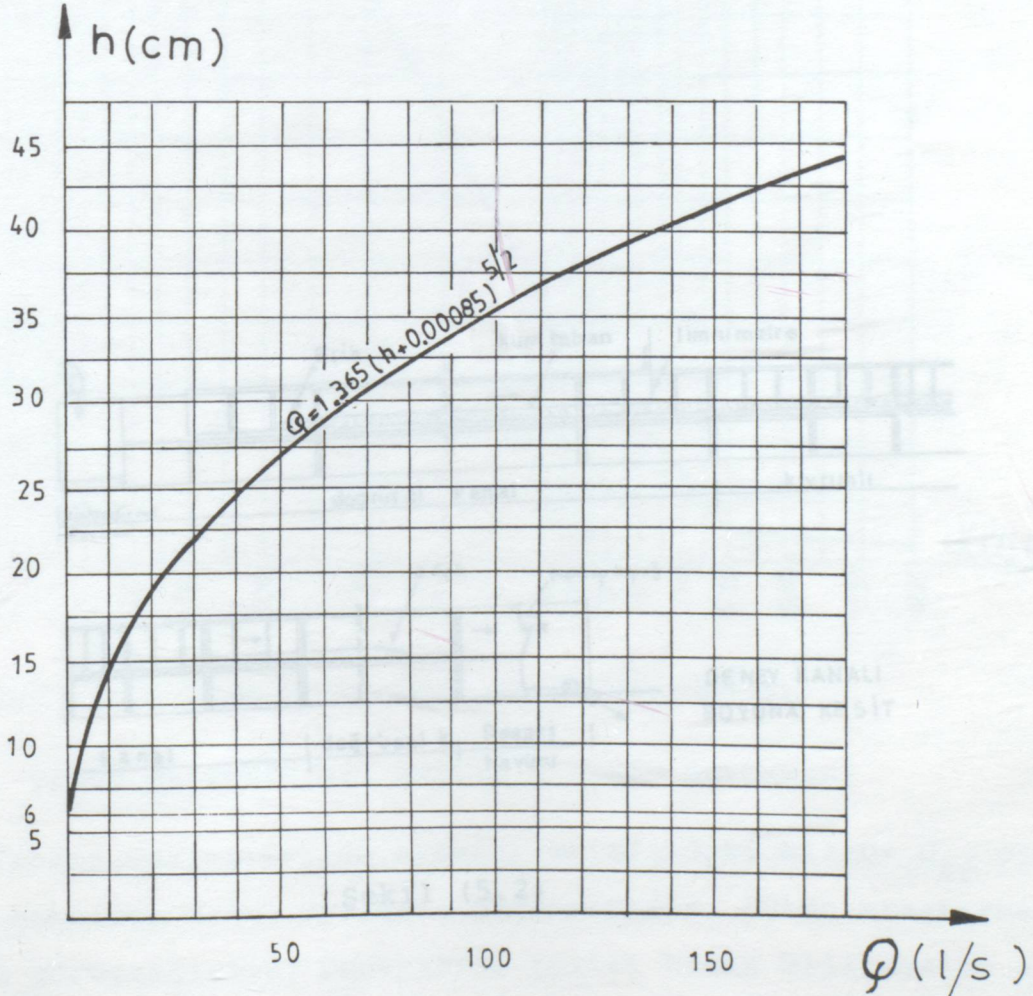
Deneyler doğrusal kısmın başlangıcından itibaren 9 m. lik kısmında yapılmıştır.

5.3. DENEY ÖNCESİ ÇALIŞMALAR

Hız sabit tutulmuş,

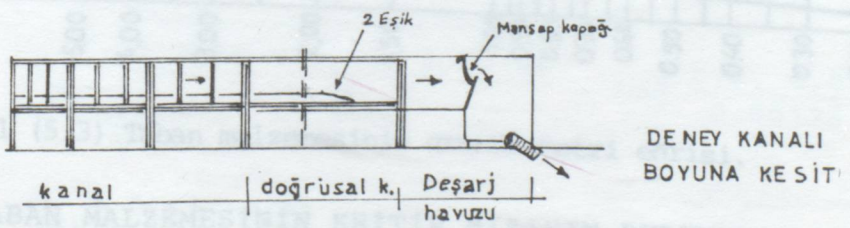
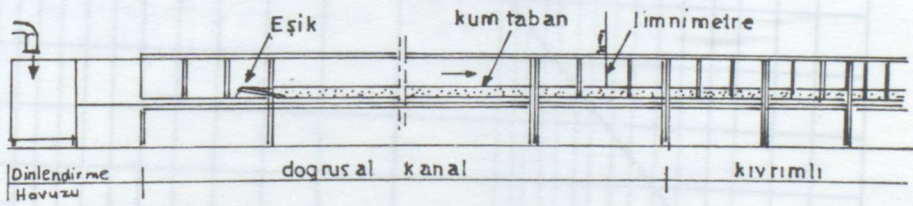
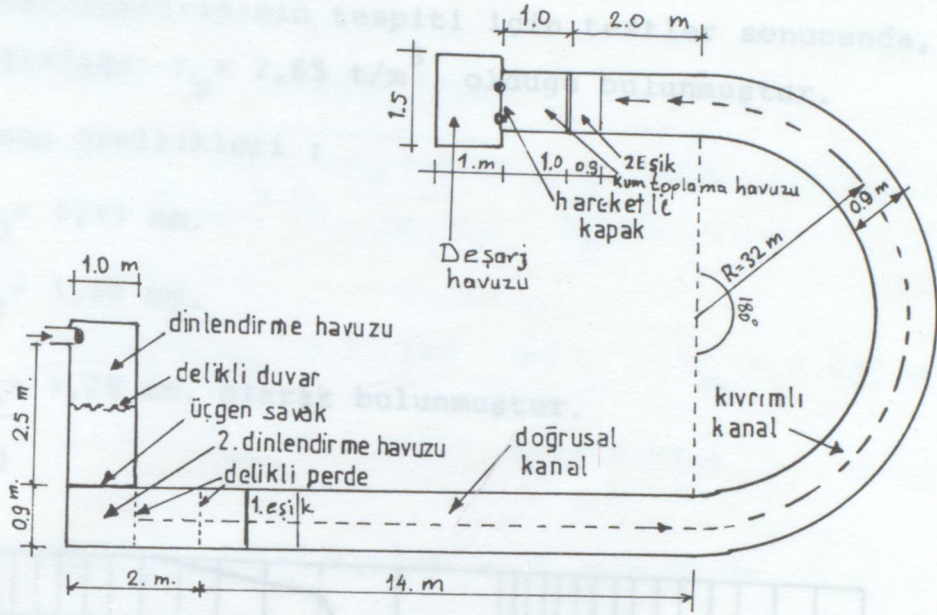
Kanala su sağlayan üçgen savaktan geçen debinin bulunması;

Dik üçgen savak için hazırlanmış olan anahtar eğrisinden geçen debi okunmuştur. $h = 21$ cm için $Q = 27$ l/sn. dir.



Şekil (5.1) Savak anahtar eğrisi.

DENEY KANALI PLANI



DENEY KANALI
BOYUNA KESİTİ

Şekil (5.2)

5.3.1. TABAN MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

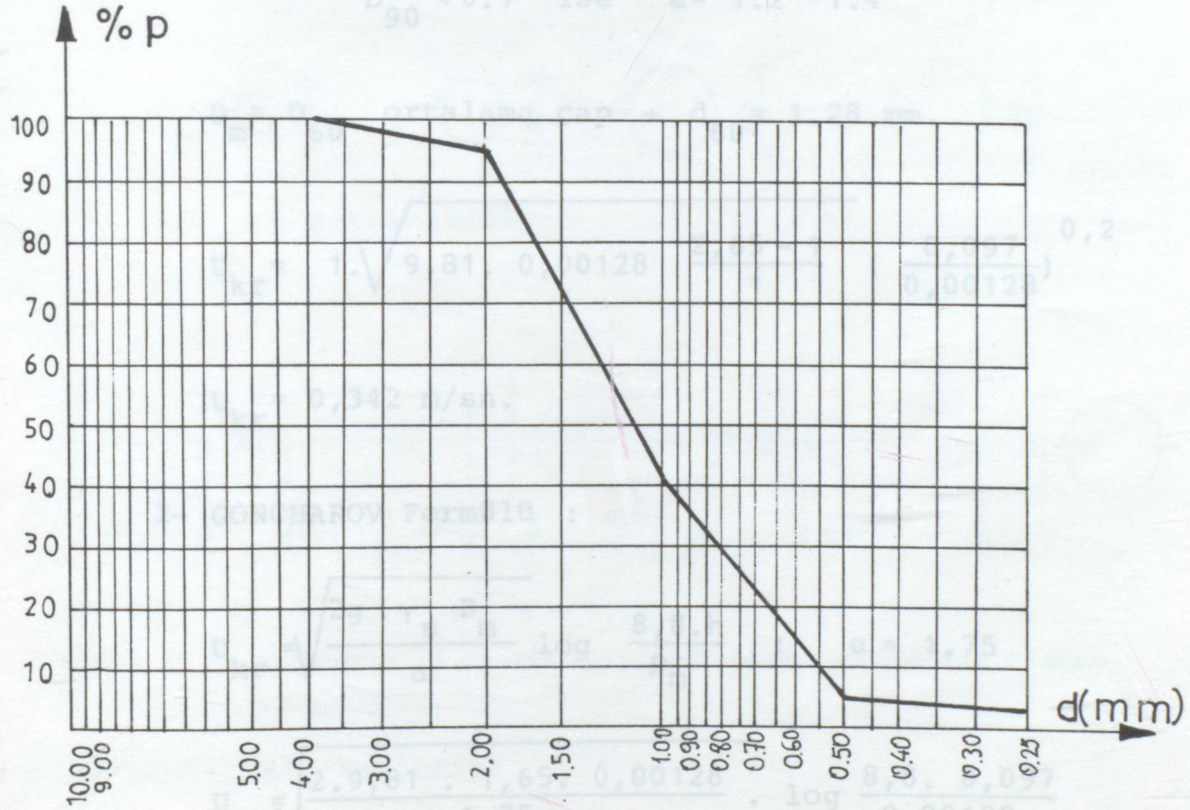
Taban malzemesinde kuvars kumu kullanılmış, özgül ağırlığı ve granülometrisinin tespiti için testler sonucunda, kumun özgül ağırlığı $\gamma_s = 2,65 \text{ t/m}^3$ olduğu bulunmuştur.

Kumun özellikleri :

$$d_{50} = 1,13 \text{ mm.}$$

$$d_m = d_{60} = 1,28 \text{ mm.}$$

$$d_{90} = 1,28 \text{ mm. olarak bulunmuştur.}$$



Şekil (5.3) Taban malzemesinin granülometri eğrisi.

5.3.2. TABAN MALZEMESİNİN KRİTİK HIZININ BULUNMASI

Tabana yerleştirilen ayaklar etrafındaki hız $U = U_{kr}$ olduğunda maksimum denge oyulması oluşmaktadır. Bütün araştırmacılar bu görüştedirler. Deneylerde kritik hızın bilinmesine ihtiyaç vardır. Bunun için Hancu ve Levi'nin verdiği formül-

5.3.3. DENEYLERDE KULLANILACAK AYAKLARIN SEÇİMİ
 lerle iki ayrı hız bulunur. İkisinin ortalaması taban malzemesinin kritik hızı olarak alınabilir. silindirik ayak kullanılacaktır. Bunlar $D=3.8$ cm., $D=5.4$ cm., $D=8.6$ cm. $D=10$ cm. 1- HANCU'nun verdiği formül : (5.4).

2- Ayak şekilleri d olan $\rho_s - \rho$ olan h 0.2 dik, kare, dikdörtgen, oblong şeklindeki ayakların seçimine karar verilmiştir. Şekil (5.5).

$$U_{kr} = a \cdot \sqrt{g D_m \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot \left(\frac{h}{D_m} \right)^{0.2}}$$

Ayak a , için $D_{90} > 0.7$ ise $a = 1$ $h_{su} = 0.097$ m

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

$D_m = D_{60}$ ortalama çap $\rightarrow d_{60} = 1.28$ mm.

$$U_{kr} = 1 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,00128 \cdot \frac{2,65 - 1}{1} \cdot \left(\frac{0,097}{0,00128} \right)^{0,2}}$$

$$U_{kr} = 0,342 \text{ m/sn.}$$

2- GONCHAROV Formülü :

$$U_{kr} = \sqrt{\frac{2g \cdot \gamma_s D_m}{\alpha} \log \frac{8,8 \cdot h}{D_m}} ; \alpha = 1,75$$

$$U_{kr} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1,65 \cdot 0,00128}{1,75} \cdot \log \frac{8,8 \cdot 0,097}{0,00128}}$$

$$U_{kr} = 0,434 \text{ m/sn}$$

ortalaması alınarak kritik hız $U_{kr} = 0,388$ m/sn bulunur.

bu verecek ön çalışmalar yapılmıştır.

5.3.3. DENEYLERDE KULLANILACAK AYAKLARIN SEÇİMİ

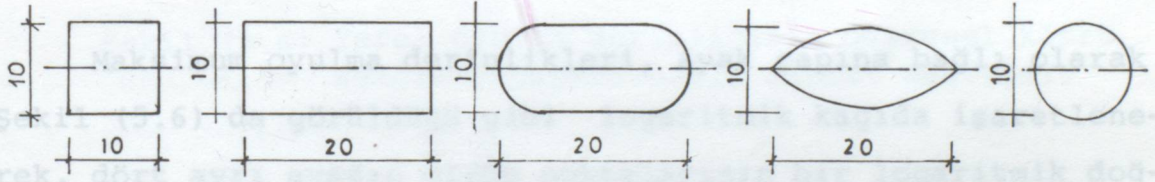
1- Deneyde değişik dört ayrı çapta dairesel silindirik ayak kullanılacaktır. Bunlar $D= 3.8$ cm., $D= 6.4$ cm., $D= 8.6$ cm. $D= 10$ cm. çaplı ayaklardır. Şekil (5.4).

2- Ayak şekilleri değişik olan silindirik, kare, dikdörtgen, oblonik, mercek tipi ayakların seçimine karar verilmiştir. Şekil (5.5).

Ayak Şekilleri;



Şekil (5.4)



Şekil (5.5) Ayakların 10 cm.lik tarafları akım yönüne dik olarak konulmuştur.

5.4. DENEYLERİN YAPILMASI

Kanalın doğrusal kısmında tabana yerleştirilen köprü ayaklarının taban üzerine etkileri ve oluşturdukları olayların incelenmesini şöyle araştırdık.

- Önce çapları değişik, aynı tip silindirik ayakların tabandaki oyulma olayı araştırılarak maksimum denge formülünü verecek ön çalışmalar yapılmıştır.

$H_d(m)$

- İkinci bölümde değişik ayak şekillerinin oyulma üzerine etkilerini ve ayak uzunluğunun oyulma üzerine etkisi araştırılmıştır.

Önce ayaklarda oyulmanın oluşması için, maksimum denge oyulma derinliğini verecek yaklaşım hızını tespit edebilmek için ön deney çalışması yapılmıştır. Bunun amacı oyulmanın daha kısa sürede elde edilebilmesidir.

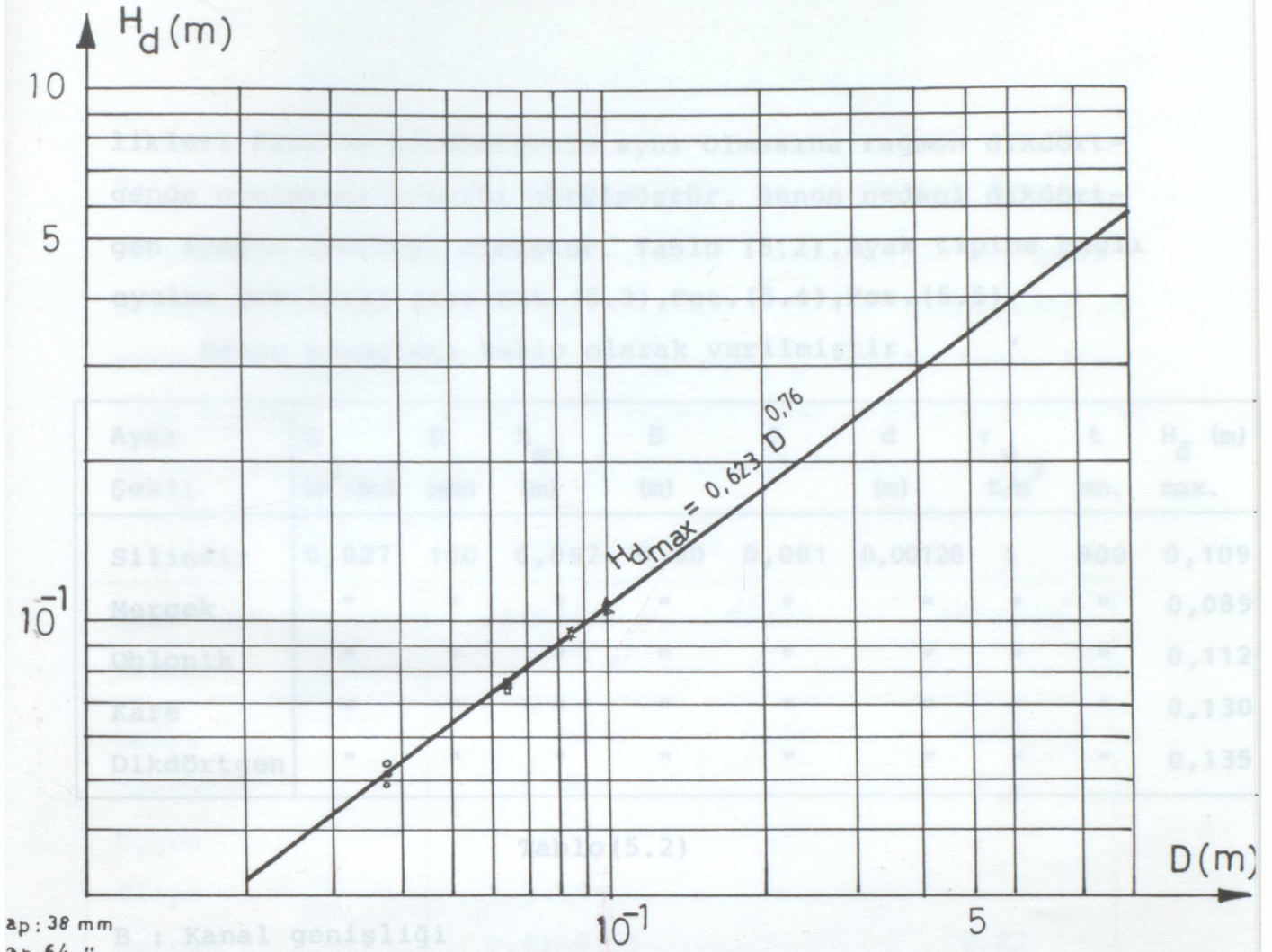
Daha önce hazırlanan dört ayrı çaplı silindirik ayak modelleri, kanalın eksenine üstündeki bir noktaya yerleştirilerek taban tesviye edildi. Onbeş dakika süreli akım verilerek, ayaklar etrafında oluşan yerel oyulmanın, oyulma derinlikleri limnimetre ile ölçülerek not edildi. Bütün ayaklar için aynı hız ve aynı debide olmak üzere en az üç ayrı deney yapılmıştır. Tablo (5.1), oyulma çukur şekilleri Fotoğraf (5.2)

Maksimum oyulma derinlikleri, ayak çapına bağlı olarak Şekil (5.6) da görüldüğü gibi logaritmik kağıda işaretlenerek, dört ayrı ayağın ölçüm noktalarının bir logaritmik doğru üzerinde olduğu görülmektedir.

Oyulma ile ayak çapı arasında bağıntısının olduğunu bu logaritmik doğru göstermektedir.

$$H_{d \max} = 0,623 D^{0,76} \text{ olarak elde edildi.}$$

Daha sonra ikinci bölümde değişik ayak şekillerinden beş ayrı tip için yine kanal ekseninde yaptığımız deneylerde oyulma derinliklerinin birbirinden tamamen farklı çıktığı görülmüştür. En az mercek, sırasıyla dairesel, oblong, kare ve dikdörtgen ayaklarda giderek artmıştır. Akıma dik çeh-



ap: 38 mm

ap 64 "

ap 85 "

ap 100 "

Sekil (5.6) Yerel oyulma derinliğinin dairesel köprü ayağının çapına bağlı olarak değişimi.

Tablo (5.1)

D (m)	0,038	0,064	0,085	0,1
H _d (m)	0,052	0,077	0,095	0,109

$H_{d \max} = 0,623 D^{0,76}$ olarak elde edildi.

Daha sonra ikinci bölümde değişik ayak şekillerinden beş ayrı tip için yine kanal ekseninde yaptığımız deneylerde oyulma derinliklerinin birbirinden tamamen farklı çıktığı görülmüştür. En az mercek, sırasıyla dairesel, oblonk, kare ve dikdörtgen ayaklarda giderek artmıştır. Akıma dik geniş-

likleri kare ve dikdörtgenin aynı olmasına rağmen dikdörtgende oyulmanın arttığı görülmüştür. Bunun nedeni dikdörtgen ayağın uzunluğu olmuştur. Tablo (5.2). Ayak tipine bağlı oyulma şekilleri ise; Fot.(5.3), Fot.(5.4), Fot.(5.5)

Deney sonuçları tablo olarak verilmiştir.

Ayak Şekli	Q (m ³ /sn)	D (mm)	h _{su} (m)	B (m)	J	d (m)	γ_w t/m ³	t sn.	H _d (m) max.
Silindir	0,027	100	0,097	0,90	0,001	0,00128	1	900	0,109
Mercek	"	"	"	"	"	"	"	"	0,089
Oblonik	"	"	"	"	"	"	"	"	0,112
Kare	"	"	"	"	"	"	"	"	0,130
Dikdörtgen	"	"	"	"	"	"	"	"	0,135

Tablo (5.2)

B : Kanal genişliği

J : Kanal taban eğimi

d : taban malzemesi ortalama çapı

t : deney süresi

Yapılan deneylerde akımın ayağa 0° lik bir açıyla gelmesi halinde seçilen 5 ayrı ayak şeklinin oyulma derinlikleri bulunmuş ve K_s katsayıları elde edilmiştir. Tablo (5.3)

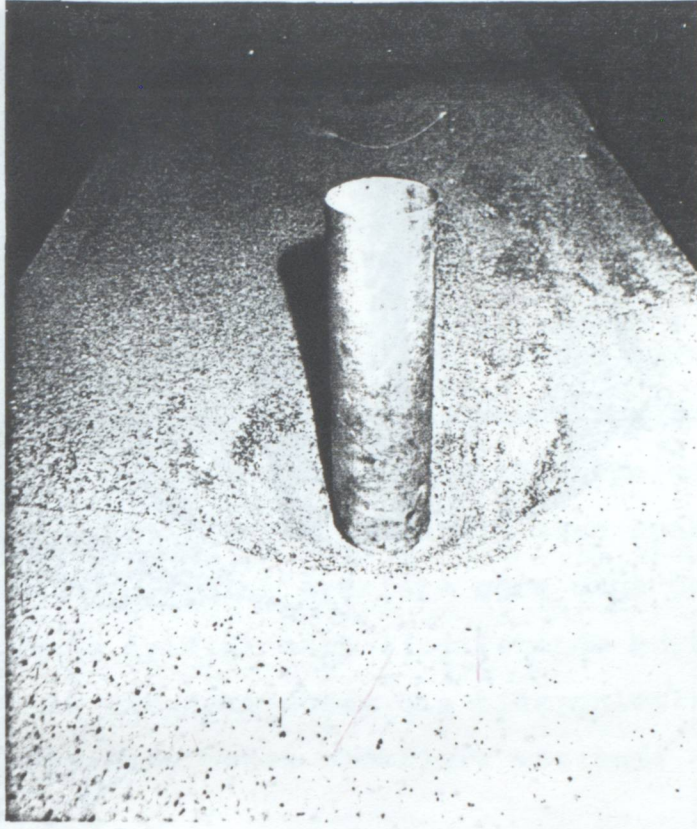
Tablo (5.3)

Ayak Şekli	Silindir	Mercek	Oblonik	Kare	Dikdörtgen
H _{do} (cm)	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
H _{dk} (cm)	10.9	8.9	11.2	13.0	13.5
H _{dk} /H _{do} = K _s	1.00	0.82	1.03	1.20	1.24

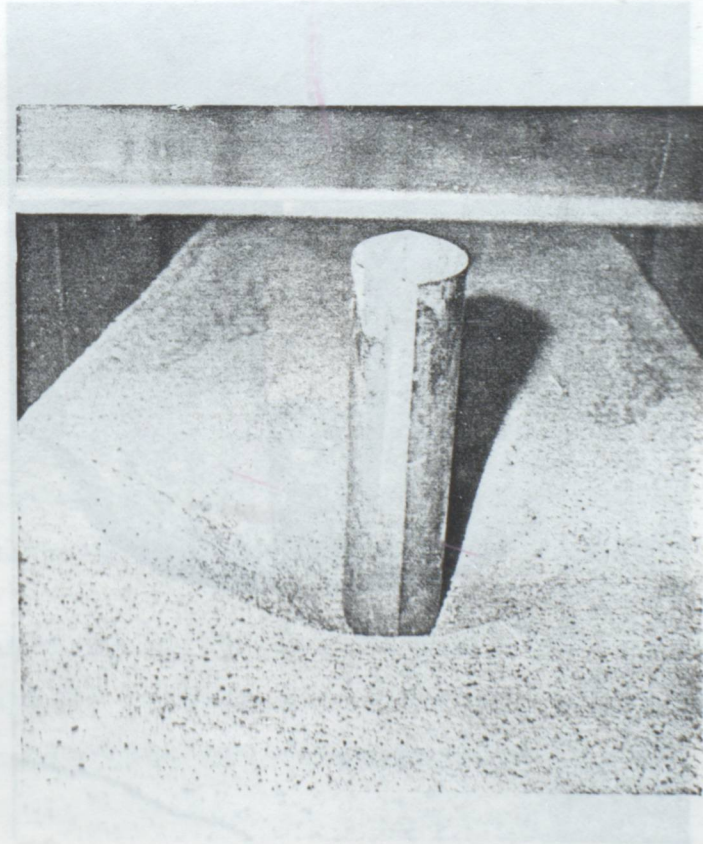
Dairesel silindirik ayak için elde ettiğimiz $H_{d_{max}} = 0,623 D^{0,76}$ formülünün diğer ayaklar için de uygulanabilmesinin ancak sonuçların tablo (5.3)'de ayak şekillerine göre bulunan K_s katsayıları ile çarpılması gerekmektedir. Çalışmamızda bulduğumuz K_s katsayıları ile daha önceden iki araştırmacının bulduğu ayak biçimine bağlı katsayıları tablo (5.4)'de karşılaştırdık.

Tablo (5.4)

Ayak Biçimi	LARRAS	BAŞAK	APAYDIN
	K		
Daire	1.00	1.00	1.00
Jukowski	0.80	-	-
Üçgen	-	-	-
Elips	0.83	-	-
Mercek	0.41-0.91	-	0.82
Traşlı dikdörtgen	1.01	-	-
Dikdörtgen	1.40	1.20	1.24
Oblonik	1.00	1.00	1.03



Fotoğraf (5.2) Dairesel silindirik ayak



Fotoğraf (5.3) Mercek ayak.

5.5. BULGULAR

Köprü

deneysel

1- H

yı akın k

meydana g

leri gözle

sivri ucu

Çünkü ucu

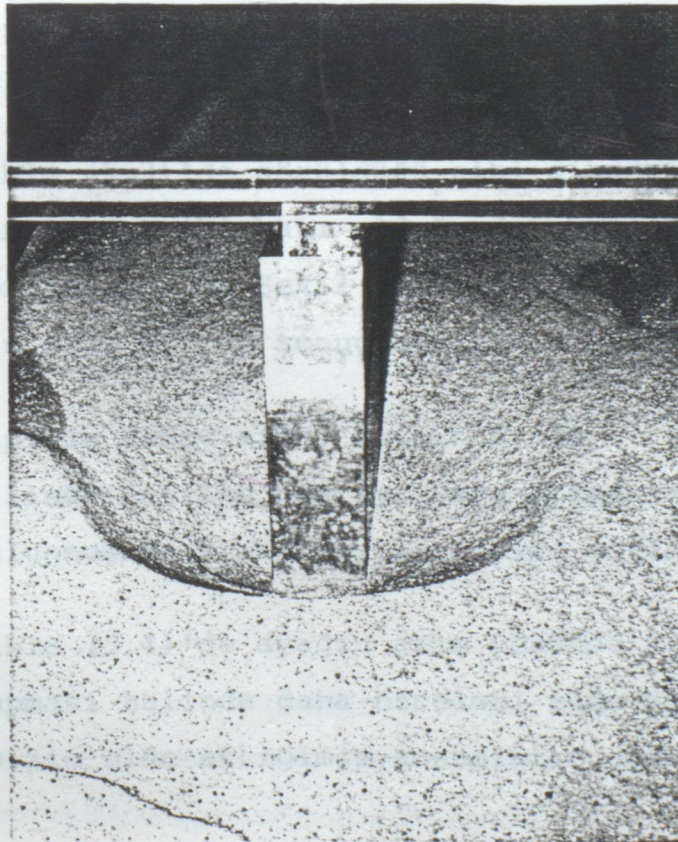
tururlar,

oyulmanın

2- Bu çalışmada çeşitli çaptaki çairesel ayaklarda

oyulmalar

Fotoğraf (5.4) Oblonik ayak. derinliğini veren



Fotoğraf (5.5) Dikdörtgen ayak.

5.5. BULGULAR

Köprü ayaklarındaki yerel oyulma ile ilgili yapılan deneysel çalışmada ;

1- Hareketli tabanlı akarsuda köprü ayaklarından dolayı akım karakteristiklerinde değişmeler sonucu oyulmalar meydana gelip, oyulmaların ayak şekillerine göre değiştikleri gözlenmiştir. Küt ucu akıma dik olan ayaklarda oyulma, sivri ucu akıma dik olan ayaklara göre daha çok olmuştur. Çünkü ucu geniş ayaklar akım çizgilerinde büyük eğrilik oluştururlar, ayak önündeki düşey hız bileşenlerini büyütürük oyulmanın artmasına neden oldukları gözlemlendi.

2- Bu çalışmada çeşitli çaptaki dairesel ayaklarda oyulmalar ölçülerek maksimum denge oyulma derinliğini veren

$$H_{d_{max}} = 0,623 D^{0,76} \text{ formülü elde edilmiştir.}$$

3- Tablo (5.3)'de görüldüğü gibi dikdörtgen ayak kare ayağın uzunluğunun iki katı olduğunda, oyulmanın daha fazla çıktığı görüldü. Bu da Şekil (4.6)'da verilen TISON ve NICOLLET'in elde ettiği sonuçlara yakın bulunmuştur.

4- Yapılan deneylerde, akımın ayağa 0° lik bir açıyla gelmesi halinde seçilen beş ayrı ayak tipinin oyulma derinlikleri bulunmuş ve K_g katsayıları elde edilmiştir.

5- Tablo (5.4)'de ayağın akım yönünde sıfır derecelik bir açı yapması halinde daha önceleri elde edilen K katsayıları ile bizim elde ettiğimiz sonuçların uyum içinde olduğu görüldü.

6- Dairesel silindirik ayak için elde ettiğimiz $H_{d_{max}} = 0,623 D^{0,76}$ formülü ile tablo (5.3)'de bulduğumuz K_s katsayıları çarpılarak diğer ayak şekillerindeki maksimum oyulma derinlikleri bulunabilecektir.

SONUÇLAR

Hareketli tabanlı akarsu yatağına yerleştirilen köprü ayaklarının taban üzerine etkileri ve oluşturdukları olayların belirlenmesi amacı ile yapılan teorik ve deneysel çalışmalardan çıkarılan sonuçlarını özetleyebiliriz.

1- Akarsuda köprü ayaklarında akım karakteristiklerinde çok önemli değişikliklere neden olur ve vorteksler meydana getirir. Bu olaylar dizisi oyulmanın sebebidir.

2- Çalışmada deneylerin sonucu doğrusal kanalda ayak etrafında oluşan maksimum denge oyulma derinliği için

$$H_{d_{max}} = 0,623 \cdot D^{0,76}$$

formülü ile elde edilmiştir.

3- Ayrıca, dairesel silindirik ayak için elde ettiğimiz $H_{d_{max}} = 0,623 \cdot D^{0,76}$ formülü ile ayak şekillerine göre bulduğumuz K_s katsayıları çarpılarak, diğer ayak şekillerinde meydana gelen maksimum oyulma derinlikleri de bulunabilecektir.

4- Tablo (5.3)'de bulduğumuz sonuçlara göre ayak uzunluğunun, akıma dik olan ayak genişliğinin iki katı olduğunda oyulma derinliğinin arttığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

5- Ayak uzunluğu akıma dik ayak genişliğinin üç katı kadar olduğunda oyulma olayının ne olacağı araştırılmalıdır.

1. Baskın, M. (1975): "Akarsu Akışının Yerel Oyulma Özellikleri ve Bir Bağlama Ayak: Stratifondaki Laminer Üç Boyutlu sınır Tabakasının Etüdü, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
2. HJORTH, F. (1975): "Studies on the Nature of Local Scour." Lund.
3. UÇ, SABAHATTİN, (1979): "Akarsu kıvrımındaki köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulmalar."
4. TISON, L.J. (1940) "Erosion Autour des piles de pont en riviere" annales des Travaux de Belgique, Vol 41, No.3
5. BREUSER, H.N.C., NICOLLET, C. 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 hidrodinamiği"
7. LAURSEN, E.M. (1963): "An Analysis of Relief Bridge Scour" Prof.A.S.C.E., NY3, p.3516
8. SHEN, H.W., SCHNEIDER, V.R., KARAKI, S.S. (1966): "Mechanics of Local Scour", Fort Collins, Colorado.
9. SHEN, H.W., SCHNEIDER, V.R. KARAKI, S.S. (1969): "Local Scour Around Bridge Piers", Proc.A.S.C.E., NY, p.6891.
10. CHABERT, J. ENGELDINGER, P. (1956): "Etude des Affo uillements Autour des piles de Ponts", Chatou, Paris.

KAYNAKLAR

1. DURGUN, K. (1964): Laminer Üç Boyutlu Sınır Tabakası Denklemlerinin İnvaryant 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 Scour. Lund.
3. ÜÇ, SABAHATTİN, (1979): Akarsu kıvrımlarındaki köprü ayakları etrafında oluşan yerel oyulmalar.
4. TISON, L.J. (1940) "Erosion Autour des piles 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., SCHNEIDER, V.R., KARAKI, S.S. (1966): "Mecanics of Local Scour", Fort Collin, Colorado.
9. SHEN, H.W., SCHNEIDER, V.R. KARAKI, S.S. (1969) : Local Scour Around Bridge Piers", Proc.A.S.C.E., HY, p.6891.
10. CHABERT, J. ENGELDİNGER, P. (1956): "Etude des Affo uillements Autour des piles de Ponts", Chatau, Paris.

11. LECLERC, J.P. (1971): "Recherche des lois Regissant les phenomen d'Affouillement au Pied des Pilles de Pont Premiers resultats" Proc.I.A.H.R.Vol.3, p.323.
12. BAŞAK, V. (1975): "Doğrusal Eksenli bir kazık Grubunda oluşan yerel oyulma derinlikleri"; D.S.İ.Araştırma Dairesi.
13. QUESNOT, C. "Affouillements Autour de Piles de Ponts Cylindriques Circulaires" LNH.Chatau, 1971.
14. NICOLLET, G., RAMETTE, M. (1971 a): "Affouillements au voisinage de Piles de Pont Cylindriques Circulaires", Proc.I.A.H.R., Vol.3, p.315.
15. NICOLLET, G., (1971 b): "Sur Problem des Affouillements au Pied des Piles de Pont Cylindriques", L.N.H.Chatau, Paris.
16. LARRAS, J. (1963): "Profondeurs Maximales D'erosion des Fonds Mobiles Autour des Piles en Riviere", Annales des Ponts et Chaussees, Vol. 133, No.4.
17. COLEMAN, N.L. (1971): "Analizing Laboratory Measurements of Scours at Cylindrical Piers in Sand Beds", Proc. 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 am runden brückenpfeiler", Versuchs anstalt Für Wasserbau der Technisch Universität München.

20. ÜÇ,S. "Köprü ayakları etrafında oyulma derinliklerinin atak açısı ile değimi", 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", Proc.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.



