

VILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Deniz Altı Düş. Boru Hat. Etr.
Düş. Hiz. Akış Oyu. Der. Araş.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayhan Gazioğlu

1990

İns.

218-
R 150
180

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

250007L

DENİZ ALTINA DÜŞENEN BORU HATLARI
ETRAFINDA DÜŞÜK HIZLI AKIMLARDA
OYULMA DERİNLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(YÖKSEK LİSANS TEZİ)

Hazırlayan

İnş. Müh. Ş. Ayhan GAZİOĞLU

İSTANBUL - 1990

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
180

Alındığı Yer : FEN BİL. ENS.

Tarih : 21.10.1991

Fatura : - - - - -

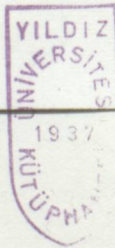
Fiyatı : 25.000.₺.

Ayniyat No : 1/15

Kayıt No : 47773
624. 378.242

UDC : - - - - -

Ek : - - - - -



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sayfa

DENİZ ALTINA DÖŞENEN BORU HATLARI
ETRAFINDA DÜŞÜK HIZLI AKIMLARDA
OYULMA DERİNLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Hazırlayan

İnş.Müh. Ş. Ayhan GAZIOĞLU



Tezi Yöneten

Prof.Dr. Sabahattin ÜÇ

İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa

TABAN ŞEKLİNİN OLUŞMASI VE TABAN DİRENCİ	Sayfa
Türkçe Özet	31
Yabancı Dilde Özet (Summary)	32
3. OYULMA HAREKETİNİN ANALİZİ	
1.1. G İ R İ Ş	1
1.2. OYULMA HAREKETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	2
1.2.1. Tuzluluk Derinlik İlişkisi	2
1.2.2. Deniz Suyu Isısı	3
1.2.3. Deniz Suyu Yoğunluğu	4
1.2.4. Denizlerde Akıntı ve Gel-Gitler	5
1.2.4.1. Rüzgârların Meydana Getirdiği Akıntılar	6
1.2.4.2. Atmosfer Basınç Farkından Doğan Akıntılar	6
1.2.4.3. Yoğunluk ve Sıcaklık Farkına Bağlı Olan Akıntılar	7
1.2.4.4. Gel-Gitler	7
1.2.5. Denizlerde Alt-Üst Olma	7
1.3. ENGELDEN DOLAYI AKIMDA VE TABANDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİKLİKLER	8
1.3.1. Akım Alanındaki Değişmeler	8
1.3.1.1. Hız Alanındaki Değişmeler	8
1.3.1.2. Basınç Alanındaki Değişmeler	10
1.3.1.3. Engel Etrafında Sınır Tabakasının Oluşumu ve Sınır Tabakasından Ayrılma	14
1.3.1.4. Engel Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler	21
1.3.1.4.1. Sürüklenen Vorteks Sistemler	22
1.3.1.4.2. Atnalı Vorteks Sistem	22
1.3.1.4.3. Art-İz (İzli) Vorteks Sistem	23
2. KATI MADDE HAREKETİ VE ENGELİN KATI MADDE HAREKETİNE ETKİLERİ	
2.1. GENEL BİLGİLER	25
2.2. SÜRÜKLENME HAREKETİNİN BAŞLAMASI	27

2.3. TABAN ŞEKLİNİN OLUŞMASI VE TABAN DİRENCİ	30
2.4. KATI MADDE TAŞINIMINDA DENGE	31
2.5. DİNAMİK DENGENİN BOZULMASI	32
3. OYULMA HADİSESİ VE LİTERATÜR İNCELEMESİ	
3.1. PROBLEMİN TANIMI	34
3.1.1. Boru Hatları Etrafında İki Boyutlu Analiz	35
3.2. KONUYLA İLGİLİ ÇALIŞMALAR	37
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	
4.1. GİRİŞ	43
4.2. DENEY KANALI, KULLANILAN ALET VE MALZEMELERİN TANITILMASI	44
4.3. KANALDAKİ DEBİ VE HIZIN BELİRLENMESİ	45
4.4. TABAN MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ	46
4.5. DENEYLERİN YAPILMASI	46
4.5.1. Deney Kanalındaki Kum Üzerine Yerleştirilmiş Engeller Etrafındaki Oyulmaların Tespiti	47
4.5.2. Zemine Yarı Gömülü Engeller Etrafındaki Oyulmaların Tespiti	51
4.5.3. Zemin Üzerine Yerleştirilen ve Akış Yönüne Yatayla 30°'lik Açılış Yapan Engeller Etrafındaki Oyulma Derinliklerinin Tespiti	56
4.5.4. Zemine Yarı Gömülü ve Akış Yönüne Yatayla 30°'lik Açılış Yapan Engeller Etrafındaki Oyulma Derinlikle- rinin Tespiti	65
4.6. YAPILAN ÇALIŞMALAR NETİCESİNDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR	70
KAYNAKLAR	72
TEŞEKKÜR	
ÖZGEÇMİŞ	

Ö Z E T

Deniz altına döşenen boru hatları etrafında düşük hızlı akımlarda oyulma derinliklerinin araştırıldığı bu çalışma aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, oyulma hareketi tanımlanmış ve bu harekete etki eden faktörler incelenmiştir. Ayrıca çeşitli engellerden dolayı akımda ve tabanda meydana gelen değişiklikler üzerinde durulmuştur.

İkinci bölümde, katı madde hareketi ve engelin katı madde hareketine etkileri üzerinde durulmuştur.

Üçüncü kısımda oyulma hadisesinin genel olarak incelenmesi yapılmış ve boru hatları etrafındaki vorteksten dolayı oluşan iki boyutlu akış konusu incelenmiştir.

Dördüncü bölümde ise konuyla ilgili yapılan deneysel çalışmadan bahsedilmiştir. Bu deney çalışmasından elde edilen maksimum oyulma derinliklerinin çeşitli çaplara bağlı olarak tablo değerlerinden de faydalanarak eğrileri çizilmiştir.

1. GYULMA HAREKETİNİN ANALİZİ

1.1. GİRİŞ

S U M M A R Y

In this study, scour depths around the pipe lines which were set up under the sea were explained. The low velocity was used as a flow rate.

The first chapter discusses the description of scour and its properties. The factors affected the scour has also been explained.

In the second chapter, the sediment transport mechanism and hadicaps which effects the scour under the pipe lines were also explained.

In the third section, scour caused by straight and unobstructed currents were examined. Two dimensional flow around the pipe lines was also explained.

In the fourth chapter, maximum scour depths under the pipe lines was examined for the different diometers of pipes by the help of experimental studies.

1. OYULMA HAREKETİNİN ANALİZİ

1.1. GİRİŞ

Atık suların ve yağmur sularının denize deşarj edilme-lerinde kullanılan deşarj borularının, o noktada akım karakteristiklerinde değişmelere neden olduğunu biliyoruz. Bunların en önemlileri, akımın engel etrafındaki basınç ve hız alanlarındaki değişmeler, bundan dolayı engel etrafında meydana gelen sınır tabakasından ayrılmalar, ayrılmalardan oluşan çeşitli biçim ve büyüklükteki vorteks sistemler ve sekonder hareketlerdir.

Diğer taraftan, böyle bir deniz ortamında taban malzemesi hareketi, akım karakteristiklerindeki yukarıda sözü edilen değişikliklerin bir fonksiyonu olduğu için denizde böyle bir değişikliğe yol açan engel etrafındaki katı madde hareketini ve varsa oyulma-yığılma gibi problemleri, inceleme ihtiyacı; bizi öncelikle ve doğrudan akım alanındaki bu değişikliklerin analizi problemiyle karşı karşıya bırakmaktadır.

Bu temel zorunluluktan hareketle, biz de konumuz olan "Denizlere yatay olarak yerleştiren boru hatları etrafında meydana gelen oyulmaların araştırılması"na geçmeden önce, genelde bir engelin ve bu tür engellerin, kendilerini çevreleyen akım karakteristiklerinde ne tür değişiklikler oluşturduklarını görelim.

1.2. OYULMA HAREKETİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

1.2.1. Tuzluluk-Derinlik İlişkisi

Denizlerde suyun tuzluluğu, derinlik ile değişmektedir.

Yüzeydeki suların tuzluluğu

- a) Yağışlara
- b) Nehirlerin boşalttığı su miktarına
- c) Buzulların erimesine

bağlı olarak genellikle az olmakta, yukarıda belirtilen faktörlerin etkisi tamamen nüfus edemediğinden tuzluluk derinlerde daha fazla olmaktadır. Diğer taraftan,

- Buharlaşmaya

- Buzulların meydana gelişine bağlı olarak bazen yüzeydeki sular, derinlerdekine oranla daha fazla tuzlu olabilmektedir.

Açık denizlerin, yağışın buharlaşmadan daha fazla olduğu ekvator(tropik) alçak tuzluluk bölgesi (‰ 33,5-35) bulunmaktadır. Tropik bölgelerin dışındaki tropik altı bölgede ise buharlaşma yağıştan daha fazla olduğundan burada bir yüksek tuzluluk (‰ 35,5-38) bölgesi meydana gelmiştir. Yüksek enlem kuşaklarına gidildikçe tuzluluk ‰ 33-34 dolaylarına düşer. Açık denizlerin kara parçalarını çevreleyen sahil şeritlerinde ise karalardan gelen nehirlerin boşalttıkları tatlı sular nedeniyle tuzluluk genellikle düşüktür (‰ 10-20).

Türkiye'de bulunan denizlerin ve dünyadaki önemli denizlerin tuzluluk oranları Tablo 1.1'de verilmektedir.

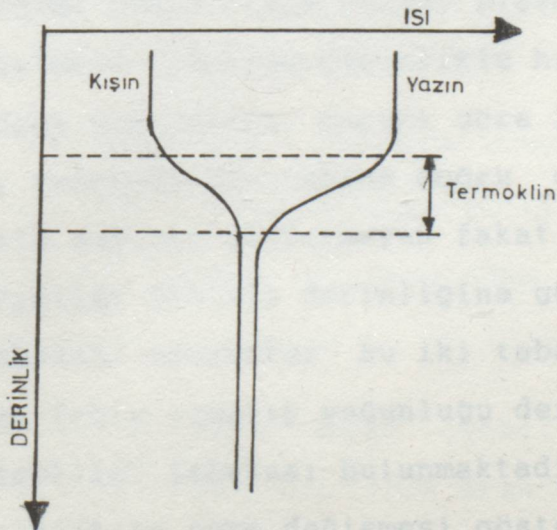
TABLO 1.1

DENİZ ADI	TUZLULUK (‰)
Karadeniz	17,5
Ak Deniz	34,3
Marmara Denizi	25,5
Baltık Denizi	8,0
Kızıl Deniz	40

Tabloda verilen değerlerden anlaşılacağı gibi kapalı denizlerin çevrili oldukları kara parçalarından aldıkları yüzeysel suları (tatlı su) katkısı, kendi sularına oranla hissedilir mertebede olduğundan bu denizlerde tuzluluk oldukça düşük olmaktadır. Kızıl deniz örneğinde ise çok kurak bölgesel iklim nedeniyle buharlaşma, gelen tatlı sulardan genellikle yüksek olduğundan sürekli buharlaşma sonucu tuzluluk normalin üzerinde olmaktadır.

1.2.2. Deniz Suyu Isısı

Deniz suyu ısısı da derinlikle tuzluluğunkine benzer biçimde bir değişim gösterir. Yaz mevsiminde yüzeysel, derinlikte değişme göstermeyen yüksek ısısı bulunan yüzeysel tabakası ile daha derinlerde yine derinlikte pek değişme göstermeyen düşük ısılı alt tabaka mevcuttur. Derinlikte değişme göstermeyen nispeten sabit ısılı iki tabaka arasında ise derinlikle ısının oldukça düşme gösterdiği, fazla derin olmayan "termoklin" tabakaları bulunur. Kışın ise durum tamamen tersine olup soğuk tabaka üstte ve nispeten sıcak tabakada alttadır. Termoklin tabakasında ısı kışın derinlikle orantılı olarak yükselme gösterir. Mevsimlere göre ısının derinlikle değişimi Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1- Deniz suyu ısısının mevsim ve derinlikle değişmesi

1.2.3. Deniz Suyu Yoğunluğu

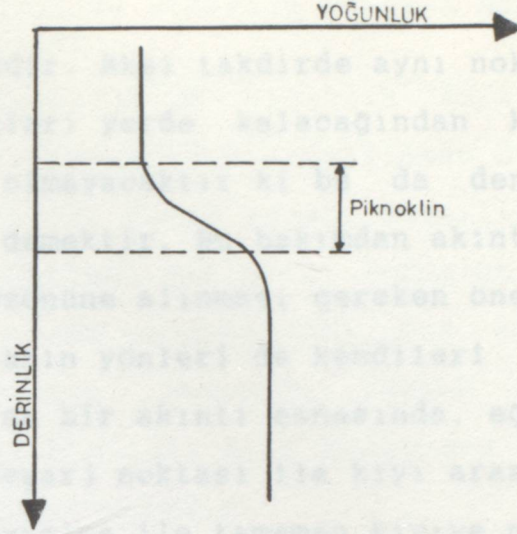
Yoğunluk (ρ) ya da özgül ağırlığı deniz suyunun en önemli özelliklerindedir. Çünkü yoğunluk deniz suyunun aşağıdaki şu özelliklerini etkilemektedir :

- Türbülans
- Tabakalaşma
- Suyun dikey doğrultudaki hareketi

Denize deşarj edilen atık sular suyun derinliği boyunca gösterdiği tabakalaşmaya bağlı olarak ya tamamen yüzeye çıkar ya da yüzeye hiç çıkmadan belli bir seviyeye yakalanıp kalabilir. Deniz suyunun yoğunluğu esasen ısıya, tuzluluğa ve basınca bağımlı olarak değişmekte olup genellikle $1,0 \text{ gr/cm}^3$ 'den biraz daha büyüktür. $1,0$ den biraz daha büyük olan sayıların ($1,002$ gibi) olduğu gibi yazılmaları birtakım zorluklar meydana getireceği gibi belki aradaki küçük farkların küçümsenerek göz önüne alınmaması temayülünü ortaya çıkarabileceğinden, yoğunluklar "yoğunluk parametresi" (σ) adı altında denklem 1.1'e göre ifade edilebilir. (Yoğunluk parametresi, Kg/m^3) $\sigma = (\text{Gerçek yoğunluk, Kg/m}^3) - (1000 \text{ Kg/m}^3)$

$$\begin{aligned}\sigma &= 1008,3 - 1000 \\ &= 8,3 \text{ Kg/m}^3 \quad (1.1)\end{aligned}$$

Yoğunluk, tuzluluk ve ısının etkisi altında bunların derinlikle gösterdiği değişimlere benzer biçimde su derinliği ile değişimler gösterir. Yüzeyle derinlikle hissedilir değişim göstermeyen düşük yoğunlukta, duruma göre 20-30 m. derinliğinde bir yüzey tabakası ile tabana doğru daha derinlerde ise yine derinlikle değişim göstermeyen fakat yüksek yoğunluğu bulunan ve derinliği denizin derinliğine göre değişen bir taban yoğunluk tabakası mevcuttur. Bu iki tabaka arasında ise derinliği nisbeten fazla olmayıp yoğunluğu derinlikle artışlar gösteren "piknoklin" tabakası bulunmaktadır. Şekil 1.2.'de yoğunluğun derinliğine göre değişmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.2- Yoğunluğun derinliğe göre değişmesi.

Tatlı su yoğunluğu yaklaşık +4 °C de en büyük olduğu halde deniz suyu tuzluluğa bağlı olarak daha düşük sıcaklıkta en yüksek yoğunluğa ulaşmaktadır. Açık denizlerde su yoğunlukları 1,024-1,030 gr/cm³ dolaylarındadır. Bu sayılarda onbinde hatta yüzbinde birkaç mertebesinde oluşan değişimler bile su kütlelerinde akıntılar oluşmasına yeterlidir. Bu nedenle denizde yoğunluk ölçümleri virgülden sonra beşinci haneye kadar yapılır.

1.2.4. Denizlerde Akıntı ve Gel-Gitler

Denizlerde akıntılarının meydana gelmesine etki eden belli başlı faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Rüzgârın su yüzeyindeki sürtünme kuvveti.
- 2) Atmosfer basıncındaki değişimler.
- 3) Deniz yüzeyinin eğiminden doğan yatay basınç gradyanı.
- 4) Yoğunluğun yatay yönde değişmesinden doğan yatay basınç gradyanı.
- 5) Gel-gitten doğan kuvvetler.

Denize deşarj edilen atık sular genellikle akıntılar yardımıyla oldukları yerlerden dağılarak arzu edilen seyrelme

elde edilebililmektedir. Aksi takdirde aynı noktaya boşaltılan atık sular oldukları yerde kalacağından konsantrasyonda önemli bir seyrelme olmayacaktır ki bu da deniz ortamı ve çevre için kirlenme demektir. Bu bakımdan akıntılar deniz deşarjı tasarımında gözönüne alınması gereken önemli hususlardan biridir. Akıntıların yönleri de kendileri kadar önemlidir. Kıyıya doğru olan bir akıntı esnasında, eğer deşaj mevcut değilse bunlar deşarj noktası ile kıyı arasında sağlanabildiği kadar bir seyrelme ile tamamen kıyıya gelecektir.

1.2.4.1. Rüzgârların Meydana Getirdiği Akıntılar

Rüzgâr akıntıları hareketsiz duran su yüzeyinde hızlı akan hava kitlesinin sürüklenme kütlesi ile oluşur. Su yüzünde hava hareket ettiğinde burada bir sürtünme kuvvetinin doğmasına neden olmakta ve bu kuvvet ile de su kütlesi harekete geçirilerek bir kısmı dalgaya dönüşmekte diğer kısmı ise akıntıyı meydana getirmektedir.

Birçok araştırmacı rüzgâr hızı ile rüzgârın oluşturduğu akıntı hızı arasındaki bağıntıyı vermeye çalışmıştır. Denklem 1.2 de bunlardan biridir.

$$A = 0,0127 R/\sqrt{\sin e} \quad (1.2)$$

A = 2-2,5 m. derinlikte akıntı hızı (m/sn)

R = Rüzgâr hızı (m/sn)

e = Enlem dairesi (derece)

1.2.4.2. Atmosfer Basıncı Farkından Doğan Akıntılar

Atmosfer basıncının yerel olarak değişmesi deniz suyu seviyesinde de değişiklikler meydana getirmektedir. Örneğin basınçtaki 1 milibarlık bir düşme deniz suyu seviyesinde 1 cm.lik bir yükselme doğuracak bu da seviyenin alçak olduğu tarafa doğru bir akıntının meydana gelmesine sebep olacaktır.

1.2.4.3. Yoğunluk ve Sıcaklık Farkına Bağlı Olan Akıntılar

Bu akıntılar tuzluluk ve sıcaklık farklarıyla ortaya çıkan yoğunluk farklılaşmasından kaynaklanan derin su akıntılarıdır. Kıyı şeridindeki deniz suları genellikle açıklardakinden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Yoğunluğu yüksek olan su ise yoğunluğu az olana nazaran daha ağır olacağından basıncı da yüksek olacaktır. Böylece, yüksek basınçlı kısım olan açıklarda, alçak basınçlı kıyı bölgesine doğru bir akıntı potansiyeli doğmuş olmaktadır.

1.2.4.4. Gel-Gitler

Ay ve güneşin, dünya üzerindeki çekim kuvvetlerinin etkisiyle genellikle okyanuslarda meydana gelen gel-gitler aynı zamanda periyodik akıntılara da neden olmaktadır. Gel-git nedeniyle denizlerde en yüksek su seviyesi ayda 2 kez, alçak su seviyesi de 2 kez meydana gelmektedir. Normal olarak gel-git periyodu 14,3 gündür. Ülkemiz kıyılarında gel-git seviye değişimleri 10-20 cm. dolaylarındadır. Gel-git'in etkisinin duyulduğu denizlerde su seviyesi her 12,4 saatte bir kez alçalır ve yükselir.

1.2.5. Denizlerde Alt-Üst Olma

Soğuk su yüksek yoğunluğu nedeniyle ağır olacağından daima tabanda bulunacaktır. Kutup bölgelerinde üst seviyelerde bulunan sular ekvator dolaylarında en alt seviyedeki sulardan daha soğuktur. Yüksek enlem dairelerinde üst tabakalarda bulunan nispeten soğuk sular aşağı enlem dairelerinde düşük ısıları nedeniyle alt seviyelere düşeceklerdir. Bu düşmenin başka bir bölgede olacak yükselme ile dengelenmesi zorunludur. işte bu yükselme genellikle ekvator bölgesinde ısınan sularda olmaktadır ki buna alt-üst olma denilmektedir.

1.3. ENGELDEN DOLAYI AKIMDA VE TABANDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİKLİKLER.

1.3.1. Akım Karakteristiklerinde Değişim

Doğrusal bir kanalda akıma yerleştirilen herhangi bir engelin, yerel olarak akımın karakteristiklerinde çok önemli değişikliklere sebep olduğunu bilmekteyiz.

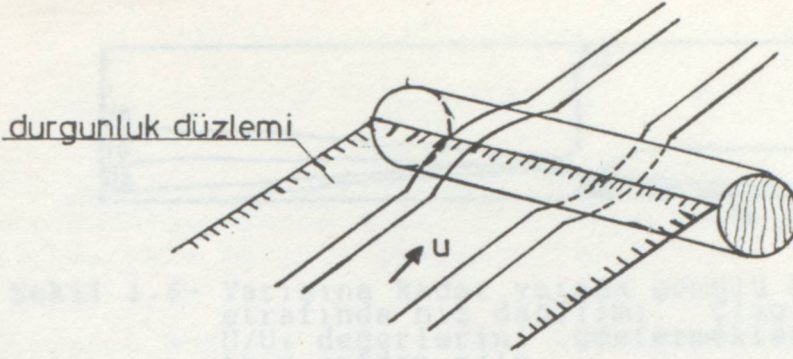
Bu değişiklikleri meydana getiren olaylar :

- 1- Engelden dolayı akım çizgilerinde meydana gelen sapmalar ve bunun neticesi olarak da, engel etrafında hız ve basınç alanlarında değişmeler.
- 2- Engel etrafında sınır tabakasının oluşması, hız ve basınç alanlarındaki değişmelerin neticesi olarak sınır tabakasındaki ayrılmalar.
- 3- Sınır tabakasındaki ayrılmanın neticesinde engel etrafında çeşitli biçim ve büyüklükte vorteks sistemlerinin oluşması ve sekonder hareketler.
- 4- Engel etrafında oluşan vortex sistemler ve sekonder akımın etkisiyle, tabanda dengede bulunan katı maddelerin yerinden sökülmesi ve taşınması.
- 5- Engel etrafında oyulmanın başlaması ve oyulma çukurunun oluşması. Üç (1979).

Şimdi sıra ile bu olayların oluşma mekanizmasını inceleyelim ve yeri geldikçe bizim örneğimizle ilgili kısımların nasıl ortaya çıktığını görelim.

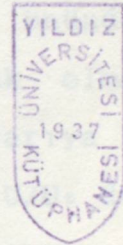
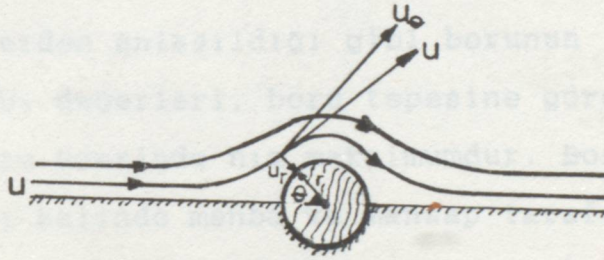
1.3.1.1. Hız Alanındaki Değişmeler

Deşarj borusuna akış hızı ile yaklaşan su ipçığının engelle yaklaştıkça hızının azaldığı ve engel cidarında sıfır olduğu bilinmektedir. Engel üzerindeki bu noktaya "durgunluk noktası" denir. Bu noktanın yatayla meydana getirdiği düzleme "durgunluk düzlemi" denir. Aşağıdaki şekil (1.3)de durgunluk düzlemi ve akım çizgilerindeki sapmalar görülmektedir.



Şekil 1.3- Durgunluk düzlemi ve akım çizgilerinde sapmalar

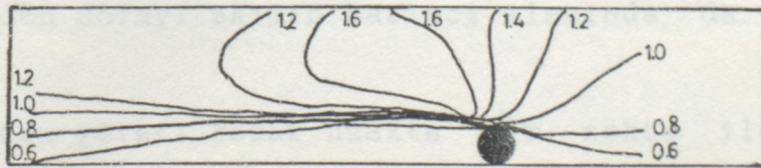
Öte yandan az çok gömülü bir boruda potansiyel ideal bir sıvı hareketi eğer yatağın simetri doğrusuna uyduğu varsayılırsa tamamen silindirik etrafındaki potansiyel iki boyutlu harekete analogdur. HJORTH (1975)



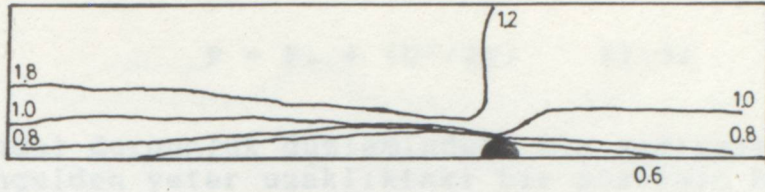
Şekil 1.4- Silindirik koordinat sistemi

Gerçekte engelin oluşturduğu türbülans dolayısı bu hız dağılımı bozulmaktadır.

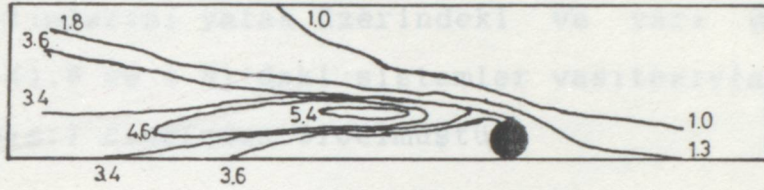
HJORTH (1975)'un deneysel çalışmalarında elde ettiği değerler Şekil (1.5)(1.6)(1.7)'de verilmiştir.



Şekil 1.5- Borunun yatak üzerinde olması halinde engel etrafında hız dağılımı. Çizgiler U/U_0 değerlerini göstermektedir. Akım sağdan sola.
 $U_0=21,7$ cm/sn $D=2$ cm $H=14$ cm



Şekil 1.6- Yarıya kadar yatağa gömülü boru etrafında hız dağılımı. Çizgiler U/U_0 değerlerini göstermektedir. Akım sağdan sola. $U_0=21,7$ cm/sn $D=2$ cm $H=14$ cm



Şekil 1.7- Yatak üzerindeki boru etrafında türbülans dağılımı. Çizgiler, yerel türbülansın, yaklaşan akımın ortalama türbülansına oranını göstermektedir. $U_0=21,7$ cm/sn $D=2$ cm $H=14$ cm

Şekillerden anlaşıldığı gibi borunun hemen önünde ve arkasında U/U_0 değerleri, boru tepesine göre küçük olmaktadır. Yani boru üzerinde hız maksimumdur. Borunun yarıya kadar gömülü olması halinde menba ve mansap tarafındaki U/U_0 değerleri tamamen yatak üzerindeki boruya oranla bir miktar artmakta, ancak boru üzerinde azalmaktadır. Yerel türbülans dağılımıysa, engelin hemen önünde çok büyük, maksimum yaklaşan akımın ortalama türbülansının 5-5,5 katıdır. Boru üzerinde ve mansapta ise eşit veya biraz fazladır.

1.3.1.2. Basınç Alanındaki Değişmeler

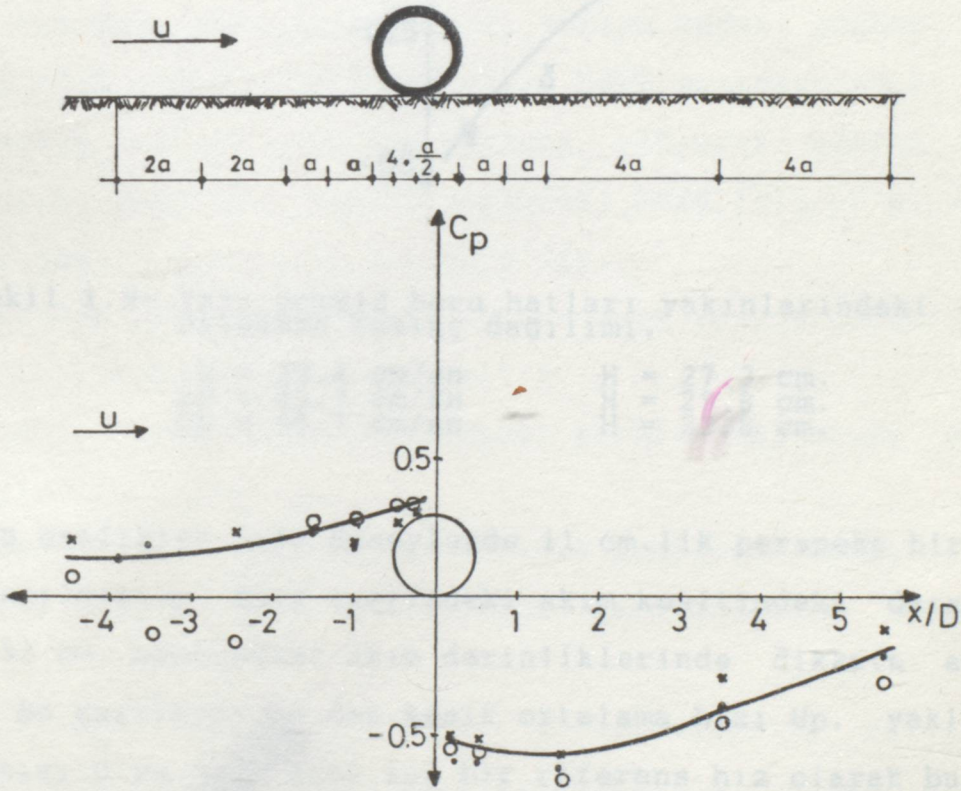
Engelden dolayı akımın basıncı alanında da değişmeler olmaktadır.

Engelden yeteri kadar uzakta bir nokta ile, engelin durğunluk düzlemindeki bir nokta arasında Bernoulli yazılırsa engel önündeki basınç :

$$P = P_0 + (U^2/2g) \quad (1.3)$$

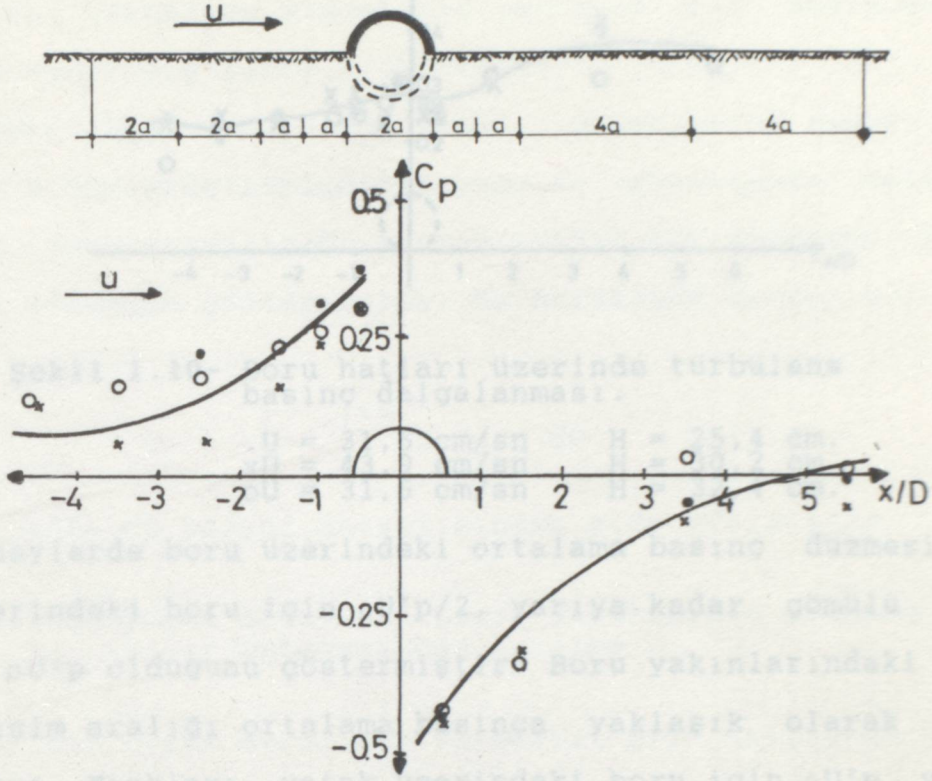
P : Engel durgunluk düzlemindeki bir noktanın basıncı
 P_0 : Engelden yeter uzaklıktaki bir noktanın basıncı,
 $U^2/2g$: Dinamik basıncı göstermektedir.

Gerçekte borular etrafındaki basınç dağılımı farklılıklar gösterir. HJORTH (1975) engel etrafında oluşan ortalama basınç dağılımlarını yatak üzerindeki ve yarı gömülü boru için şekil (1.8 ve 1.9)'daki sistemler vasıtasıyla, C_p (basınç katsayısı) cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 1.8- Yatak üzerindeki boru hatları yakınlarındaki ortalama basınç dağılımı

$.U = 31,5$ cm/sn	$H = 25,4$ cm.
$xU = 43,9$ cm/sn	$H = 30,2$ cm.
$oU = 31,6$ cm/sm	$H = 32,4$ cm.

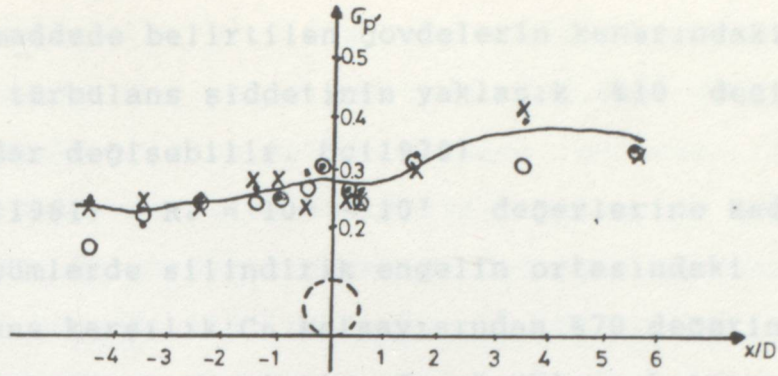


Şekil 1.9- Yarı gömülü boru hatları yakınlarındaki ortalama basınç dağılımı.

$U = 39,4$ cm/sn	$H = 27,3$ cm.
$xU = 43,7$ cm/sn	$H = 29,8$ cm.
$oU = 46,7$ cm/sn	$H = 22,8$ cm.

Bu grafikler için deneylerde 11 cm.lik perspeks bir boru kullanılmıştır. Boru üzerindeki akım kesitindeki daralmalar 23-33 cm. arasındaki akım derinliklerinde dikkate alınmıştır. Bu şartlarda en dar kesit ortalama hızı U_p , yaklaşan akımın hızı U 'ya göre daha iyi bir referans hız olarak bulunmuştur. Boyutsuz basınç katsayısı C_p , U_p ile U 'ya göre daha çok ilgilidir.

Engelden dolayı meydana gelen türbülansın, basınç alanına etkisini de unutmamak gerekir. Deneylerde bulunan basınç çalkantılarının noktalarına göre değişimi şekil (1.10)'da verilmiştir.



Şekil 1.10- Boru hatları üzerinde türbülans basınç dalgalanması.

$.U = 31,5$ cm/sn	$H = 25,4$ cm.
$xU = 43,9$ cm/sn	$H = 30,2$ cm.
$oU = 31,6$ cm/sn	$H = 32,4$ cm.

Deneylerde boru üzerindeki ortalama basınç düzmesinin, yatak üzerindeki boru için $\rho U^2 p / 2$, yarıya kadar gömülü boru için $2/5 \rho U^2 p$ olduğunu göstermiştir. Boru yakınlarındaki basınç değişim aralığı ortalama basınca yaklaşık olarak eşit bulunmuştur. Farkları, yatak üzerindeki boru için $\rho U^2 p$, yarıya kadar gömülü boru için $3/4 \rho U^2 p$ 'dir.

Yeniden birleşme noktası yakınındaki basınç dalgalanmalarının amplitüdü dikkate alınabilir.

Genel olarak türbülansın engel etrafındaki akıma etkileri şöyle özetlenebilir.

- 1) Serbest akımda türbülans şiddetinin değişimi, engel etrafındaki akış biçimini ve Reynolds gerilmelerini değiştirir.
- 2) Akımın tekrar birleşmesinin bir faktör olmadığı şekillere sahip gövdeler, artan türbülansla birlikte, artan sürüklenme katsayısına (C_D) sahip olurlar.
- 3) Artan türbülansla birlikte, tekrar irtibatlı veya yaklaşık irtibatlı gövdeler, türbülans şiddetiyle artan ve eksilen C_D katsayısına sahip olabilirler. Bu gövdenin şekline bağlıdır.
- 4) 3. maddede sözü edilen etkiye en çok duyarlı, uzunluğunun genişliğine oranı bire yakın olan gövdelerdir.

5) 3. ve 4. maddede belirtilen gövdelerin kenarındaki basınç dağılımı, türbülans şiddetinin yaklaşık %10 değişmesiyle %100'e kadar değişebilir. Üç(1979).

ROSHKO(1961) $Re = 10^6 \sim 10^7$ değerlerine kadar yaptığı yeni ölçümlerde silindirik engelin ortasındaki basınçta bir düşme, buna karşılık C_D katsayısından %70 değerine kadar bir artma olduğunu göstermiştir. C_D sürüklenme katsayısı

$$C_D = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} C_p \cos\theta \, d\theta \quad (1.4)$$

Şeklinde C_p basınç katsayısından elde edilmiştir.

1.3.1.3. Engel Etrafında Sınır Tabakasının Oluşumu ve Sınır Tabakasından Ayrılma

Katı bir cisim etrafında hareketli bir akışkanda veya az viskoziteli bir akışkan içinde hareket eden katı bir cisimde, viskoz tesirler katı cismin yüzeyine yapışık çok ince bir tabaka içinde kalırlar. Bu ince tabakada atalet kuvvetleri ile aynı mertebeden olan viskozite kuvvetleri, akışkan partiküllerinin, bu tabakanın dışındakilere göre gecikmesine sebep olurlar. Dış akımın, teşekkül ettiğini varsaydığımız bölge, kalınlığına oranla çok ince bir kalınlıkta olan sınır-daki bu tabakaya sınır tabakası denir. DURGUN(1964)

Sınır tabakası, içinde akışkan hızının sonradan istenen sıfır değerden, viskozitelere bir akışkana uygun gelen sonlu bir değere geçiş yaptığı tabakadır. Diğer bir deyişle, cidarın yavaşlatıcı etkisinin görülmediği dış akımın U hızına %1 kadar yaklaştığı bölgeye verilen addır. COMMOLET(1972).

Bir engel etrafında sınır tabakasının oluşum mekanizmasını açıklamak oldukça zordur. Bunun için en iyi yol, vorteksi göz önüne alan konularla, akışı incelemektir.

Viskozite ve yerel difüzyonun neticesi olarak, maddesel bir yüzey elemanından geçen vorteksde değişme olur. Vorteks veya sirkülasyon akışkan içinde meydana gelemez. Fakat bir defa arada varsa viskozite etkisiyle yayılır. Bu ise, üniform yoğunluklu bir akışkanda sükunetten doğmuş olan hareketlerde asıl vorteks kaynağı ile ilgili önemli bir soruyu ortaya çıkarır. Başlangıçta vorteks her yerde sıfırdır. Hareket vorteks akışkandan difüze olmadıkça tamamen irrotasyonel kalmalıdır.

Akışkan, tamamen veya kısmen bir katı ile sınırlandırıldığı zaman, böyle bir mekanizma, kaynama şartı ile sağlanır. O halde, akışkan sınırdan geçen vorteksin difüzyonunun olmaması halinde sükunetten doğacak hareket; sınırda sıfırdan farklı teğetsel bir izafi hızla birlikte bulunur. Kaymama şartı bağıl hızın teğetsel bileşiminin katı sınırın her bir noktasında sıfır olmasını gerektirdiğinden, viskozite ne kadar küçük olursa olsun bu akımdaki vorteks sınırda sonsuz olur. Sınırdaki bu sonsuz vorteksli tabaka bir defa viskozitenin hareket etmesine izin verdikten sonra, vorteksin aradan akışkan içine yapıldığı bir kaynaktır.

Hareketli akışkan içine konulan bir cisim, cismin önündeki hızın cisme doğru olduğu ve difüzyonla iletim, artan uzaklıkla zayıfladığına göre, vorteksin önünde sonlu bir uzaklığa kadar yayılabileceği açıktır. Konveksiyonun kuvvetli veya difüzyonun zayıf olduğu hallerde cismin yanında ve önünde akımın asimtotik olarak uzandığı vorteksin olmadığı geniş bir bölge vardır. BATCHELOR (1967)

Katı bir cisim, vorteksi bir noktada toplayan ve büyüterek yayan bir aygıt görevini görmektedir. CARSTER (1975)

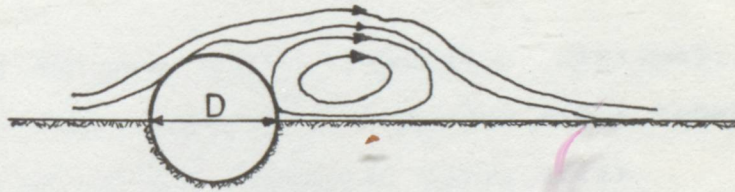
Reynolds sayısının daimi bir akımda, vorteks dağılımına etkilediği bilinmektedir. Akıma yerleştirilen katı cismin bir silindir olması halinde Re sayısı arttıkça vorteks dağılımı-

nın daha asimetric bir şekil aldığı ve odağında cisim olmak üzere akım yönünde genişleyen bir parabol içinde kalmaya eğilimli olduğu görülür.

Hem difüzyonun, hem de konveksiyonun etkili olduğu hal-lerde ($Re \ll 1$), katı sınırdan difüze olan vorteksin çok az ileride nisbeten küçük kalınlıklı bir tabaka içinde kaldığı görülür.

Bu tabakanın, Re 'nin artmasıyla kalınlığı azalırken, vorteksin şiddeti daha da artar.

Reynolds değerleri birden itibaren büyük değerlere doğru değişirken, engelin önünde cisme göre yeni değişmeyen büyük vorteksler ortaya çıkar. Cismin ön yüzüne yakın akım çizgileri, bir noktada cisimi bırakıp duran büyük vortekslerin etrafından geçerler. Şekil (1.11)



Şekil 1.11- Engelin mansabındaki çevrilen ve etrafından geçen akım çizgileri.

Ön yüzdeki sınır tabaka kalınlığının cismin büyüklüğüne göre küçük olduğu yüksek Reynolds kayıplarındaki gözlemler, cismin yan tarafına yakın yerlerde, yüzey akım çizgilerinin aynı şekilde ayrıldığını göstermiştir. Oysa cismin arkasında bulunan iz içindeki akım genellikle, düzgün kapalı akım şeklinde sabit duran vorteksler içindedir.

$Re=10$ civarında yüzey akım çizgilerinin uzaklaşması görülebilir. Ama daha büyük Re sayılarında özel bir önem taşır. Çünkü, o zaman yüzeyi bırakan akım çizgileri, yüzeyden uzağa büyük çapta vorteks taşır.

Ayrılma esas olarak üzerinde kaynama şartının sağlandığı ve vorteksin meydana geldiği katı bir sınırın varlığından

ileri gelir. Sınır tabakası, tam dışındaki akışkanın az yavaşladığı veya hiç yavaşlamadığı yerde katı sınıra bağlı kalır.

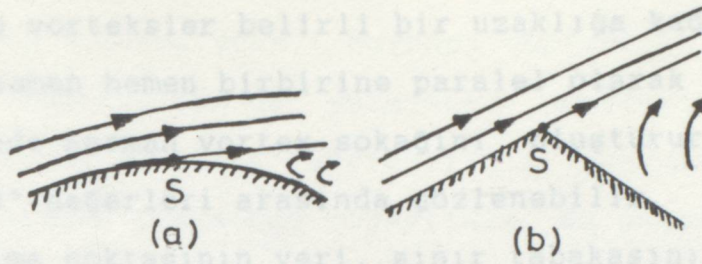
Ayrılma yeri hakkındaki gözlem ve teorik çalışmalar iki noktayı ortaya koymuştur. Bir tanesi, ayrılma yeri dış akımın hızının maximum olduğu yerde veya ondan mansaba doğru küçük bir uzaklıktadır. İkincisi, ayrılma noktası katı sınırdaki sürtünmenin sıfır olduğu yerdedir. Gözlemler bu noktaların birbirine yakın olduğunu göstermiştir.

Sınır tabaka teorisinden çıkan önemli sonuç, "dış akım hızının dağılımı değişmez kaldıkça, sıfır sürtünmeli durumun Re sayısından bağımsız olmadığı" şeklindedir. Buradan da bir noktada sıfır sürüklenmenin görünmesi ve muhtemel ayrılmayla ilgili olaylar $V \rightarrow 0$ limitini gerektirdiği sonucunu çıkarabiliriz.

Bir başka deyişle, sınır tabakanın ayrılması, cismin yüzeyinin civarından, cismin ön kısmından sınır tabaka içinde bulunan akım çizgilerinin sapmasına karşı gelir.

Düzgün geometrik forma sahip cisimlerdeki ayrılma durumunda, yüzey akım çizgileri cismin boyutlarının bir mertebesinde. Sınır tabakanın kalınlığı olmayan bir çizgi görüldüğü bir ölçüde çizilmiş olan Şekil (1.12)'de, sınır tabakası yüzeyden teğetsel olarak ayrılır. S ayrılma noktasından ayrılan akım çizgileri yukarı akımla 180° den daha küçük bir açı yaparlar. Irrotasyonel akımın parçası olan dış akım hızı ise, S'de sıfır olacaktır. Çıkıntılı bir kenarı olan cismin yüzeyinden ayrılma halinde ise, sınır tabaka daima çıkıntılı kenardadır. Yukarı akım yüzüne teğetsel olarak kenarı terkedir.

Görülüyor ki, her iki halde de, ayrılma teğetsel olarak gerçekleşmektedir. BATCHELOR(1967)



Şekil 1.12- Rijit bir yüzeyden ayrılma

- (a) çıkıntısız kenarlı.
(b) çıkıntılı kenarlı.

Sınır tabakasından ayrılma olayı, yüksek basınç artışı oluşturan, küt burunlu engellerde veya sivri burunlu olmasına rağmen, akım doğrultusuna paralel yerleştirilmemiş engellerde meydana gelir. Çünkü, engelin bütün yüzeyi üzerinde sınır tabakasının bağlanması mümkün olmadığı gibi, engelin arka kısmında dış akım önemli derecede gerilemeye uğrar. Bu ise, sınır tabakasının sürekliliği ile uyuşmayan bir özelliktir.

Engelin dairesel bir silindir olması halinde, yavaşlayan akımın etkisiyle, vortex tabakasının büyümesi ve yayılması vortexe sahip olmayan akım bölgesinin sınırını esastan değiştirir. Bu durumda sınır tabakası ayrılmış olup, vortex silindirin arka yarısından itibaren akım yönünde sürüklenmektedir. Dairesel silindir için vortex yayılmasının, ayağın menba kısmı üzerindeki sınır tabakasının durumuna bağlı olduğu bulunmuş olup, üç farklı durumla birbirinden ayrılır. HJORTH (1975)

- 1-) Sınır tabakası laminerdir. Ayrılma noktası hız arttıkça mansaba doğru ötelenir.
- 2-) Ayrılma kabarcığı meydana gelir. Bu, sınır tabakasının ayrılmakta olduğunu fakat son ayrılıştan hemen önce tabakanın tekrar cidarla birleştiğini ifade etmektedir. Ayrılma noktası birinci maddedekine göre daha mansaba doğru kayar.
- 3-) Sınır tabakası türbülanslıdır. Kendisine ters basınç gradyanlarına karşı durma kabiliyetleri oldukça artar.

Kopan vorteksler belirli bir uzaklığa kadar gözlenebilirler ve hemen hemen birbirine paralel olarak doğrusal bir sıra üzerinde Karman vortex sokağını oluştururlar. Bu olay $70 < R < 3,5 \times 10^5$ değerleri arasında gözlenebilir.

Ayrılma noktasının yeri, sınır tabakasının laminer veya türbülanslı olmasıyla değişir. Çünkü türbülanslı sınır tabakası, laminer sınır tabakasına göre ayrılmaya karşı daha fazla dirençlidir.

Re sayısı belirli bir değeri aştığı zaman, sınır tabakasındaki daimi akım veya laminer akım kararsızdır. Türbülanslı akımla yer değiştirir. IDEE'CIK(1969)

Akım boruya yaklaştıkça vortekslik kaynağı mukavemeti azalmakta ve tam borunun önünde sıfır olmaktadır.

Borunun üst tarafına yakın olan yerlerde vortekslik kaynağı mukavemeti düşük olup, konveksiyon yüzeyden uzaktadır. Bu sebeple sınır tabaka hızla kalınlaşır ve akış ayrılır Şekil (1.13)



Şekil 1.13- Boru hatları yakınında ayrılma yüzeyleri

Yaklaşan akımın sınır kayma gerilmesi, ayrılma noktasında sıfır olacak şekilde azalır. Ayrılma yüzeyinin altındaki akış son derece komplike olup, teorik analizlere uygun değildir. Bununla birlikte ortalama sınır kayma gerilmesi dikkate alınarak sayısal sonuçlar çıkarılabilir.

Akım enerjisini ayrılma yüzeyinden difüze olan vortekslikten alır. Bu şekilde tahrik olan akım, yatağın karşı tarafından bir vortekslik yaratır. Bu vortekslik yukarıdan difüze olanlardan bir kısmını giderecek şekilde difüze olacaktır.

Ayrılma noktasının yanında, yataktaki vortekslik sıfırdır. Böylece ayrılma yüzeyi boyunca vortekslik üretimi artacağı gibi, konveksiyon da yüzeydeki vorteksliği arttırmaya eğilimlidir. bu koşullar vorteksliğin maximum U^* değerine ulaştığı borunun tepesinde geçerlidir. Bu nedenle difüze olma uzaklığının kısa olduğu yerlerde vortekslik üretimi ve transferi küçüktür. Bu sebeple, boru ve ayrılma noktası arasındaki ortalama sınır kayma gerilmesi yaklaşan akımın kayma gerilmesinden epeyce küçük olacaktır.

Boru tepesinin menba tarafında akım çizgileri ayrılmıştır. Bu akımda, ikinci ayrılmalara neden olur Menba akışı ayrılma davranışının tersi olarak isimlendirilebilecek bir ayrılma davranışı başlamıştır. Bu halde konveksiyon ayrılma yüzeyinden uzağa sürüleceğinden, menba tarafında ayrılma yüzeyi boyu daha büyüktür. Deneysel araştırmalar bu boyun, engel yüksekliğinin yaklaşık altı katı olduğunu göstermiştir.

Ortalama yatak kayma gerilemesi menba tarafında daha küçük olacaktır. Mansap ortalama sınır kayma gerilmesi ise, boru altının oyulmasına neden olabilir. Tekrar birleşme noktasında ortalama sınır kayma gerilemesi sıfırdır. Bu noktanın aşağısında ise belli bir değerde olup, bu değer, engelden yeter uzaklıktaki bozulmamış akımın sınır kayma gerilmesine yaklaşıncaya kadar yavaş yavaş artar.

Bu sebeple borunun varlığı sınırın herhangi bir yerinde bozulmamış akışın ortalama kayma gerilmesinin üstündeki sınırın artmasına neden olmaz.

Bununla birlikte bu tür akımlarda kayma gerilemesindeki değişiklikler, akımın oyma kapasitesini arttırmakta pek etkili değildirler.

Boru hatlarının altındaki oyulmaların nedeni, muhtemelen borunun o noktada akımda oluşturduğu basınç değişimleridir. Borunun menba tarafındaki ortalama basınç, borunun yatak ile tepesi arasında bir yere karşı gelir. Boru mensap tara-

fındaki basınç, ayrılma noktasının hemen alt tarafındaki basınca uyar. Potansiyel akış çözümleri maksimum ve minimum basınç farklarını verirler.

Yatakla temasta olan boru çevresi küçük olduğunda, basınç gradyeni boru altındaki kumları harekete geçirebilir. Harekete geçirmese bile, meydana gelecek borulanma olayı, borunun stabilitesini etkiler Normal koşulların çok altındaki kayma gerilmelerinde bile oyulma başlayabilir.

Akımdaki türbülansın neden olduğu basınç dalgalanmalarından dolayı, ortalama basınç farkı daha da fazla olabilir. Pek önemli olmamasına rağmen, bu basınç farklarının büyüklüğünü tahmin etmek zordur. Basınç dalgalanmaları, hız dalgalanmalarının karesiyle orantılıdır. Ancak bunların analitik çözümleri henüz mümkün olmadığı için, büyüklüklerinin hesabı için doğrudan ölçme yapmak en iyi yoldur.

1.3.1.4. Engel Etrafında Oluşan Vorteks Sistemler

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

Çevrinti sistemleri akım yapısının bütünleyici bir parçasıdır. Engelin yakınındaki hızın düşey bileşenine etki ederler. SHEN(1969)

Akıma yerleştirilmiş bir silindirik engel göz önüne alınırsa, burada taban jeodezikleri, doğrular, silindirin jeodezikleri ise, helisler olacağından sınır tabakası dışındaki akım çizgileri bu eğrilerden hiç birine uymayacaktır. böylece sınır tabakası içinde sekonder hareketlere neden olacak akım yönünde olmayan basınç gradyenleri ortaya çıkar. Yani sınır tabakası dışındaki akımın bir engelle karşılaşması nedeniyle, engelin menba tarafında harekete ters bir basınç artması meydana gelir. DURGUN (1964)

Bu basınç gradyanlarındaki artım, engelin menbaında üç boyutlu sınır tabakasından ayrılma olayına götürür. Bu ayrılma ve engelin menba duraklama düzleminde oluşan hızın düşey bileşenlerinin, taban zemini üzerinde yansması ve sapması neticesinde, engel yakınında vorteks sistemler meydana gelir. QUESNOT (1970)

Bu sistemler genelde üç türlü olmakla birlikte engel özelliklerine ve olayın mekanizmasına bağlı olarak, her olayda hepsi görülmeyebilir. Görülseler bile aynı derecede etkili olmayabilirler. Bu vorteks sistemler :

- 1) Sürüklenen vorteks sistemler.
- 2) Atnalı vorteks sistem.
- 3) Art-iz vorteks sistem.

1.3.1.4.1. Sürüklenen Vorteks Sistemler

Bu tip vorteks sistemler aynı köşede birleşen yüzeyler arasında sonlu basınç farkları olan durumlarda meydana gelir. Engelin duraklama düzlemi ile kanal tabanının birleştiği yerde, kabarmadan dolayı oluşan yüksek basınç gradyanları bu vortekslerin oluşmasına neden olur. Genelde tam batık engellerde oluşur.

Duraklama düzleminde aşağı doğru inen akımın sınır tabakasından ve taban akımın sınır tabakasından ayrılması neticesinde meydana gelen çeviri hareketlerinin bu vorteks sistemi meydana getirdiği SHEN (1966) tarafından belirtilmiştir.

1.3.1.4.2. Atnalı Vorteks Sistem

Akışkan içindeki engelin menbaında oluşan aşağı yönlü düşey hız bileşeninin tabana vardığında yansıdığı veya saptığını biliyoruz. Yön değiştiren bu hız bileşenlerinin bir bölümü sürüklenen vorteks sistemini oluştururken, diğer bir

bölümü de tekrar yükselerek hareketlerine devam ederler. Böylece engelin tabanına doğru bir çevrinti hareketi oluşur. Bu yeni çevrinti hareketine atnalı vorteksi denir. Bu hareketin hızları, genel hareketin hızları ile birleşerek bir helikoidal hareket oluştururlar TISOM (1940)

Yeter büyüklükte bir basınç değişiminin olması, atnalı vorteks sistemin oluşması için gereklidir. Bu da, küt burunlu engeller için söz konusudur. Bu durumda sınır tabakasından ayrılma olur.

Öyleyse, küt burunlu engel, yukarıdaki olayı başlatacak yeter büyüklükteki yüksek basınç değişimini ortaya çıkaran engellere verilen addır. Diğer bütün engeller, sivri burunlu engel adını alır. Sivri burunlu engeller etrafında vorteks sistemler olmasına rağmen burun kısmında hiç bir vorteks sistem oluşmaz.

Engelin geometrisi atnalı vorteksin şiddetinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. HJORTH (1975)

Ancak bu vorteks sistem, bütün akım şartlarında kararlı değildir. SCHWIND (1962) ve MELVILLE tarafından da gözlenmiştir.

Atnalı vorteks sistem dairesel engellerde, ana akımla 70° açı yapan nokta yakınında, dikdörtgen engellerde ise, engelin köşelerinde maksimum dönümlü akım hızına sahip olduğu belirtilmektedir. SHEN (1977)

CARSTENS (1975) ise, dairesel engeller için, atnalı vorteksin maksimum şiddetinin 45° civarında olacağını belirtmektedir.

2.1.1.4.3. Art-Iz (Izli) Vorteks Sistem

Engel yüzeyindeki kararsız sürtünme tabakasının yukarı doğru dönerek çıkmasından meydana gelir. Bu sistem içinde konsantre olan çevriler engelin kendisi tarafından meydana

getirilir. Sürtünme tabakaları, ayrılma hattının her iki tarafından koparak ayrılırlar. Art-iz vorteks sistemde çevrilerin şiddeti, engelin şekline ve akım hızına bağlı olarak çok değişir. Ayağın arka tarafında, tabandan yukarıya doğru kalan bir akım gözlenir.

Düşük Reynolds sayılarında ($3 < Re < 50$) bu vorteksler stabildir ve ayağın mansabına yakın kalırlar. Ancak Re'nin daha büyük değerlerinde stabil değildir ve ayaktan mensaba doğru yayılırlar. Bu vortekslerin şiddeti, ayak şekline ve akım hızına bağlıdır.

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. SHEN (1969)

Yüksek hızlar olduğu zaman basınç gradyeni düşer ve sekonder alan aşağı yönelir. Hız düşünce, vorteks yayılmasının şekli değişeceğinden akım tekrar yukarı yönelir. Böylece, yüzeyde oluşan vorteksler mansaba doğru yayılırken, yerine tabandan yeni bir vorteks oluşur ve yayılır. SHEN (1977)

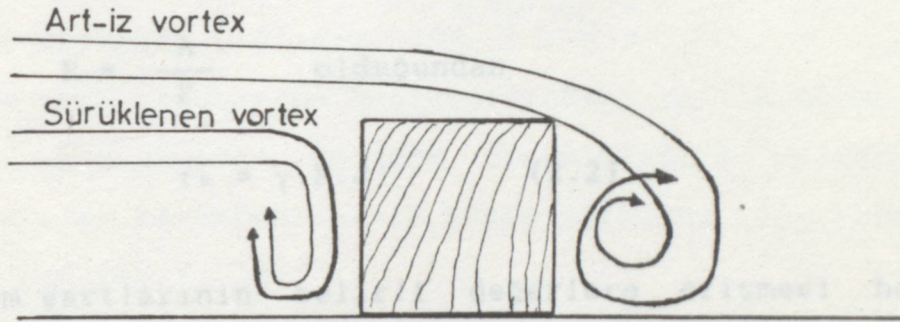
TISOM (1940), bu çevrilerin oluşumunu ve gelişmesini şu şekilde açıklamaktadır :

Hızların daha büyük ve akım çizgilerinin eğrilik yarı çaplarının küçük olduğu hallerde, sekonder hareketin artan hız yönünde yükselerek gittiği açık olarak görülür. Yüzeyden kaçmak için dönerek yükselmekte olan bu iki çeviri, genel hareket tarafından sürekli olarak beslenir. Bunun sonucu olarak, bu hareketin de helikoidal yörüngeli olacağı açıktır.

Olay aslında çok basit değildir. Engelin mansabındaki bu iki çevrinin, genel hareketle tamamlanmasının neticesi olarak hızın normal değerinde instabl bir hale dönüşür. Çevrilerden biri, ötekinden daha önce oluşur. Fakat bu çevri,

kendi partikülleri ile genel hareketin sürtüşmesi neticesinde frenlenir. Bu olay derhal küçük olan diğer çevrinin biraz daha küçük ölçekte oluşmasına neden olur. Bu olaylar ardarda sürekli olarak meydana gelir.

Bizim uygulamasını yapacağımız konuda bu vorteks sistemlerinden sürüklenen ve art-iz vorteks sistemleri etkili olmaktadır. Atnalı vorteks sisteminin bir etkisi görülmemektedir.

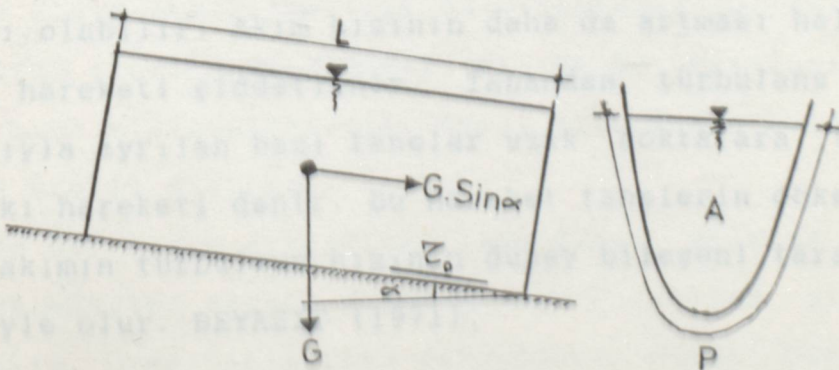


Şekil 1.14- Akışa yatay bir engel etrafında meydana gelen vorteks sistemler.

2. KATI MADDE HAREKETİ VE ENGELİN KATI MADDE HAREKETİNE ETKİLERİ

2.1. Genel Bilgiler.

Zemindeki, akımın belli şartları altında hareket eden katı madde taneleri de oyulma hadisesine etki eden faktörlerdendir.



Şekil 2.1- Uniform bir kanalın birin boyunda etkili kuvvetler

Şekil (2.1)'de verilen üniform bir akımda kuvvetlerin dengesi, akışkanın kanal sınırlarına etkilediği kayma gerilmesinin (τ_0), akışkan kütlesini etkileyen yerçekimi kuvvetinin kanal eksenine paralel bileşenine eşit olmasını gerektirir. Bu, eşitlik (2.1)'de gösterilmiştir.

$$G \cdot \sin \alpha = \tau_0 \cdot L \cdot F \quad (2.1)$$

Bu eşitlik ara işlemlerle şu hali alır.

$$\gamma \cdot L \cdot A \cdot \sin \alpha = \tau_0 \cdot L \cdot F$$

$$R = \frac{A}{F} \quad \text{olduğundan}$$

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot J \quad (2.2)$$

Akım şartlarının belirli değerlere erişmesi halinde (3.22) eşitliği bozulacaktır. Bu durumda bazı tanelerin kayarak veya yuvarlanarak hareket ettikleri görülür. Bu hareket şekline sürüntü hareketi denir. Akımın taban kayma gerilmesinin daha artması halinde, sürüntü hareketi tanelerden bir kısmı tabandan ayrılarak akıma karışacak, kısa bir süre akımla birlikte hareket ettikten sonra tekrar tabana dönecektir. Böylece sıçrama hareketi başlamış olacaktır. Bunun nedeni, tane yakınındaki basıncın değişmesi veya bir başka tanenin çarpması olabilir. Akım hızının daha da artması halinde, tanelerin hareketi şiddetlenir. Tabandan türbülans çevrileri vasıtasıyla ayrılan bazı taneler uzak noktalara taşınırlar. Buna askı hareketi denir. Bu hareket tanelerin çökme hızlarının, akımın türbülans hızının düşey bileşeni tarafından yenilmesiyle olur. BEYAZIT (1971).

2.2. Sürüklenme Hareketinin Başlaması

Taneler, tabandaki kayma gerilmesinin belirli bir değerinden itibaren hareket ederler. Bu değere kritik kayma gerilmesi denir (τ_{kr}).

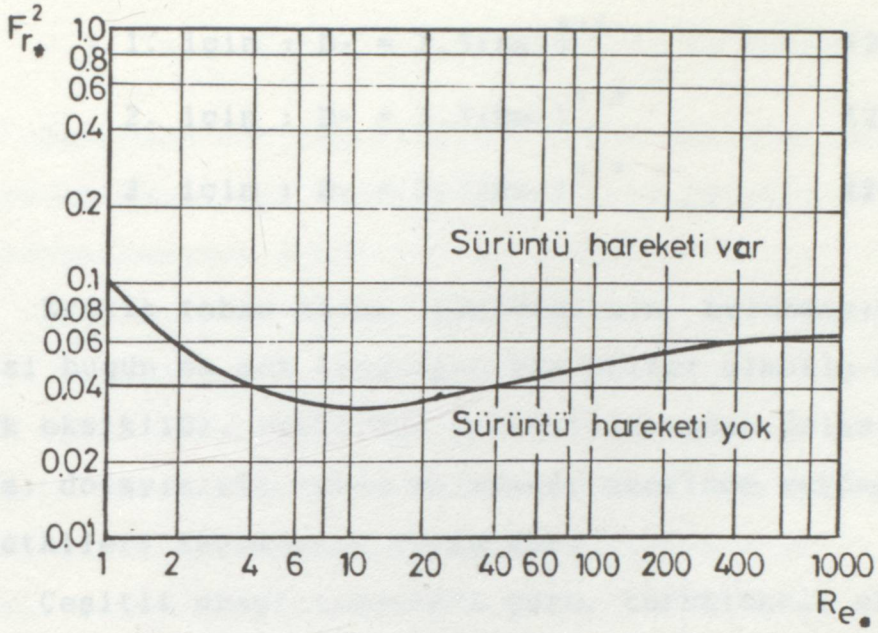
Bu terimi ilk defa Shields (1936) kullanmıştır. Kayma gerilmesine yalnızca hidrodinamik kuvvetlerin rol oynadığını varsaymış ve 1936'dan önce yapılmış çalışmalarla, kendi deneylerinden şu fiziki yorumu varmıştır;

- 1-) Taban kayma gerilmesi, yalnızca, belli bir sıvıdaki, belli bir malzeme tipi için, sürüklenme başlangıcı, tane Reynolds sayısına bağlıdır. ($Re_* = V_* \cdot d / \nu$)
- 2-) Malzemenin sürüklenme başlangıcındaki kritik kayma gerilmesi, tane çapıyla, uniform granülometrik malzeme için ($\gamma_s - \gamma$), su altındaki birim hacim ağırlığı ile orantılıdır. ($\tau_{kr} / (\gamma_s - \gamma) \cdot d$)

Bu özellikler su altındaki yoğunlukları ($\gamma_s - \gamma$) 0,03-3,3 olan malzemeler için geçerlidir.

Yukarıda çıkartılan sonuçlarla, tane Froude sayısının, tane Reynolds sayısına göre değişimini gösteren eğri Şekil (2.2)'de verilmiştir. Eğrinin altında kalan bölgede taban hareketsiz, üstünde kalan bölgelerde ise hareketlidir. Eğri üzerinde laminer, geçiş ve türbülanslı olmak üzere üç bölge vardır.

- 1-) Bir kısım araştırmacılar, bu diyagramın kullanılabilirliği olmadığını ileri sürmüşlerdir. Fr_* ve Re_* sayılarında bulunan V_* hızı bilinmemektedir. Ancak tatonmanla bulunabileceğinden pratik değildir.
- 2-) Yine bir kısım araştırmacılara göre, Shields diyagramının elde ederken sadece düzen bozucu kuvvetler dikkate alınmıştır. Oysa tabiattaki akarsuların hemen hepsinde belli miktarda türbülans vardır. Türbülansın akım alanına ve buna bağlı olarak da taban malzemesi üzerine etkileri dikkate alınmamıştır.



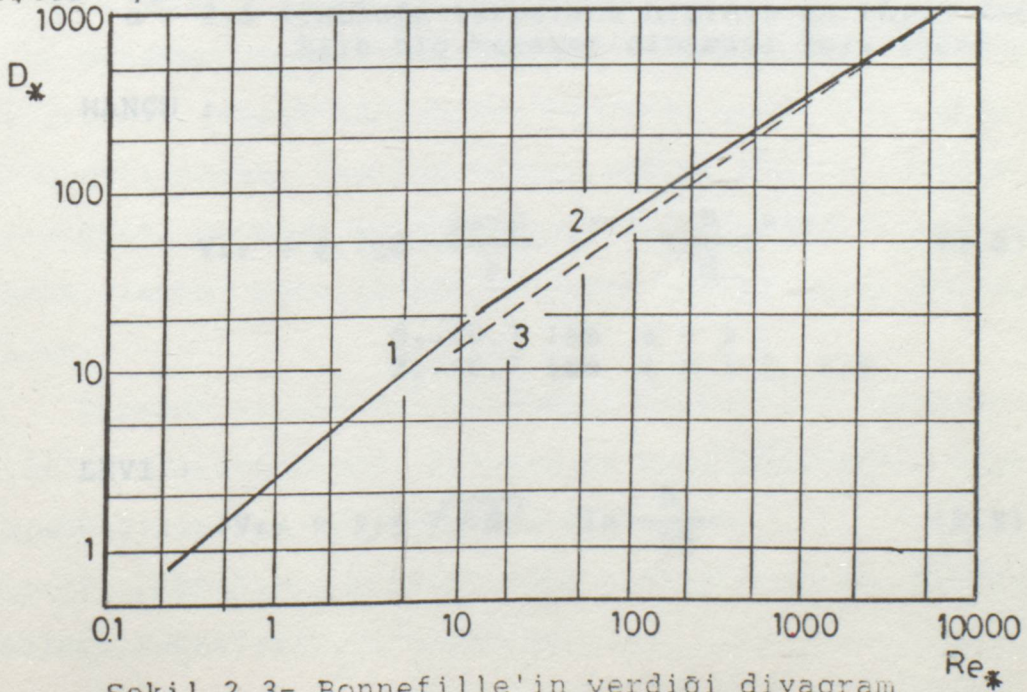
Şekil 2.2- Shields Diyagramı

Shields diyagramına yapılan itirazlardan biri BONNEFILLE (1964)'e aittir.

Fr_*^2/Re_* oranından elde edilen "sedimentolojik çap" olan

$$D_* = [(\rho_s - \rho)/gV^2]^{1/3} D \quad (2.3)$$

ile Re_* arasında bağıntı kurarak, Shields diyagramını yeniden çizmiştir. Şekil (2.3)



Şekil 2.3- Bonnefille'in verdiği diyagram

$$1. \text{ için : } D_* = 2,5(Re_*)^{4/5} \quad (2.4)$$

$$2. \text{ için : } D_* = 3,7(Re_*)^{5/8} \quad (2.5)$$

$$3. \text{ için : } D_* = 2,7(Re_*)^{2/3} \quad (2.6)$$

Kritik taban kayma gerilmesinin bulunmasında, Shields eğrisi bugün en çok uygulanan bir kriter olmakla birlikte, en büyük eksikliği, türbülans çalkantılarından dolayı akım alanında, dolayısıyla taban malzemesi üzerinde meydana gelebilecek etkileri kapsamamış olmasıdır.

Çeşitli araştırmacılara göre, türbülanslı akımdan sürüklenme başlangıcını veren kritik hız denklemleri aşağıda verilmiştir.

GONCHAROV :

$$V_{kr} = \sqrt{\frac{2\rho\gamma_s^* d}{\alpha} \log \frac{8,8 H}{d}} \quad (2.7)$$

γH : Kanaldaki su derinliği

γ_s^* : Bağıl özgül ağırlık

α : 1,75 (tanelerin ortalama hız değerinde harekete geçmesi hali için)

α : 3,5 (tabanda türbülans hızının en büyük değerinde bile hiç hareket olmaması hali için)

HANÇU :

$$V_{kr} = a. \left(g d \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{0.2} \quad (2.8)$$

$d_{s0} > 0,7$ ise $a = 1$

$d_{s0} < 0,7$ ise $a = 1.2, 1.4$

LEVI :

$$V_{kr} = 1,4 \sqrt{\rho d} \ln \frac{h}{7d} \quad (2.9)$$

2.3. Taban Şekillerinin Oluşması ve Taban Direnci

Tabandan sökülen taneler, taban yakınlarında, sürüklenme, yuvarlanma veya küçük sıçramalarla belirli bir yol aldıktan sonra yeniden sükûnetle geçerler.

Katı maddelerin hareket ettirilmesi akımın belli bir enerji kaybını gerektireceği gibi, tanelerin harekete geçmesiyle taban yakınındaki akım hızı ve özellikle türbülans karakteristikleri önemli miktarda değişime uğrar. Bunun sonucu olarak da, taban kayma gerilmelerinin dağılımı da değişir. Bu değişme oranı, hareket eden tanelerin yüzdesi arttıkça, daha büyük önem kazanır.

Akım hızının biraz daha artırılmasıyla artık tabanın düzlem kalmadığı, buna karşılık, tabanda geometrik şekillerin oluştuğu görülür. Tabanda oluşan bu şekillere "Taban şekilleri" adı verilir.

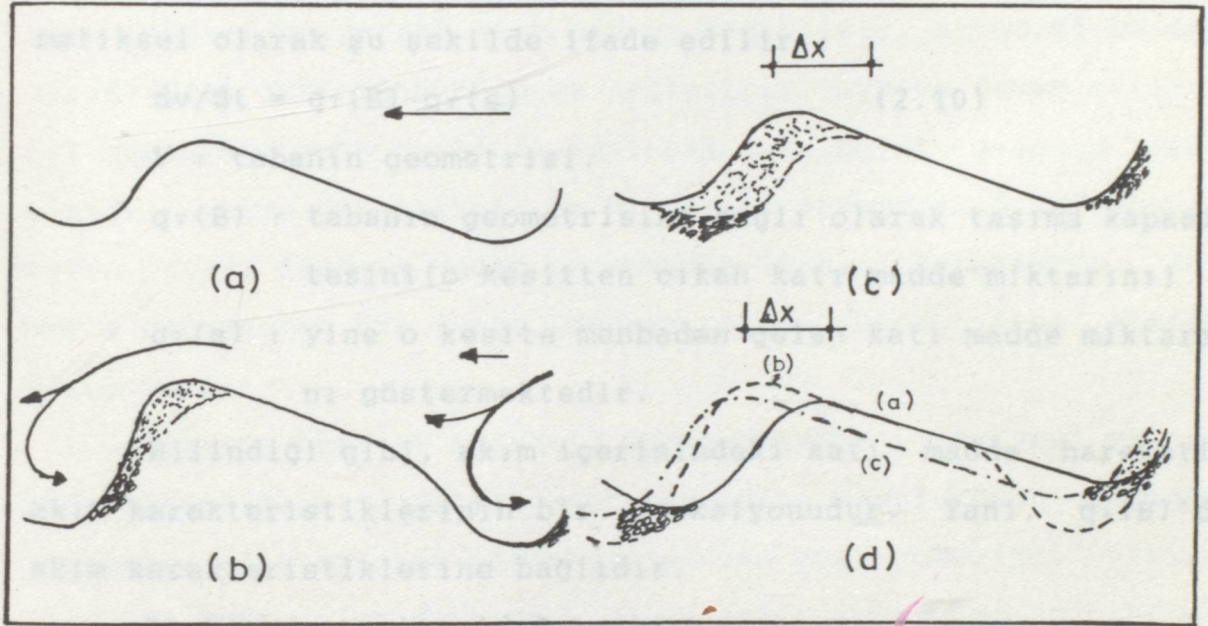
Türbülansın, taban şekilleri oluşumunda önemli bir yeri olduğunu daha evvel belirtmiştik. Bu olay şu şekilde açıklanabilir : Taban yakınlarındaki laminer alt tabaka zaman zaman türbülans çevrileri tarafından yırtılmakta, çevriler tabandaki taneleri geçici bir zaman için hareket ettirerek küçük yığıntılar oluşturmaktadır. Bu yığıntının etkisi mansaba doğru ancak yığıntı yüksekliğinin bir kaç katı kadar bir uzaklık için devam ettiği için, taneler tekrar tabana oturur. Böylece, yeni bir yığıntı meydana gelir. Bu olayların sürekliliği neticesi olarak, taban, uzunlukları yaklaşık olarak eşit dalgacıklarla kaplanır.

Tabanda oluşan dalgacıkların oluşumu ve gelişmesi, Şekil (2.4)'de görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, olayın oluşum mekanizmasını şöylece özetleyebiliriz :

1) Daha hızlı hareket eden tanelerin yavaş hareket eden taneleri engelleyip yavaşlatması.

2) Türbülans çevrilerinin tabandan söktüğü tanelerin bir kısmının ortalama akım hızı ile taşınmadıkları için yeniden yığılmaları.

3) Tanelerin üniform olmayışı halinde, iri tanelerin harekete geçmeyişi, taban şekillerinin oluşumunun nedenidirler.



Şekil 2.4- Dalgacıkların oluşum mekanizması.

Taban hareketi, akımın değişimine paralel olarak, sürekli bir biçimde değişim içindedir. Tabanda oluşan dalgalar, taban yakınındaki hidrostatik basınç dağılımında ve taban kayma gerilmesinde önemli değişmelere neden olur LARRAS (1972)

Taban şekillerinin başlangıcını belirlemek amacıyla LIV(1957) akışkanla taban arasındaki ayırım yüzeyinin stabilitesinin neticesinde oluştuğunu kabul ederek, Shields'in hareket başlangıcına ait verdiği eğriye benzer bir eğri vermiştir.

2.4. Katı Madde Taşınımında Denge

Hareketli tabanlı bir kanal taşıdığı debi ve katı madde miktarına uygun bir denge konumuna ulaşır. Böyle bir akarsuyun tabanı hareketli olmakla birlikte taban seviyesinde bir değişme olmaz. Yani, gelen malzeme miktarındaki değişmeler, kanalın

tabanında kısa süreli değişmelere neden olmakla birlikte, neticede gelen malzeme miktarı ile, taşıma kapasitesinin eşit olacağı bir denge durumu oluşur. Bu şekilde oluşan dengeye dinamik denge adı verilir.

Dinamik denge durumunda yerel bir değişiklik olması halinde tabanda bir değişim meydana gelecektir. Bu değişim matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir :

$$dv/dt = q_r(B) - q_r(s) \quad (2.10)$$

V : tabanın geometrisi.

$q_r(B)$: tabanın geometrisine bağlı olarak taşıma kapasitesini (o kesitten çıkan katı madde miktarını)

$q_r(s)$: yine o kesite menbadan gelen katı madde miktarını göstermektedir.

Bilindięi gibi, akım içerisindeki katı madde hareketi, akım karakteristiklerinin bir fonksiyonudur. Yani, $q_r(B)$ 'de akım karakteristiklerine bağlıdır.

Denklemden anlaşıldığı gibi,

$q_r(B) = q_r(s)$ olması halinde $dv/dt = 0$ olmaktadır. Yani hareketli yatakta dinamik bir denge vardır. Aksi halde, iki durumla karşılaşır;

$q_r(B) > q_r(s)$ olması halinde yerel oyulma

$q_r(B) < q_r(s)$ olması halinde yerel oyulma

Dinamik denge halinin en büyük özelliği, katı madde hareketinin permanan karakterde oluşudur. Halbuki, oyulma ve yığılma olayı için artık permanan bir karakterden söz edilemez.

2.5. Dinamik Dengenin Bozulması

Permanan karakterde katı madde hareketi olan akımın önüne bir engel yerleştirecek olursak, akım karakteristiklerinde önemli bir değişikliklere sebep olmuş oluruz. Öte yandan katı madde hareketi, taban yakınlarındaki akım karakteristiklerinin bir fonksiyonu olduğu için, katı madde taşınımındaki yukarıda

sözünü ettiğimiz dinamik denge halindeki $q_T(B) = q_T(s)$ eşitliği hazırlanacaktır. Dolayısıyla bu bozulma, oyulma ve ardından yığılma şeklinde kendini gösterecektir. Çünkü bu engel, akım hızının, yerel olarak büyümesi nedeniyle akımın katı madde taşıma kapasitesinin artmasına neden olmuştur.

Oyulma çukurunun sınır geometrisinin zamanla değişimi, akım alanını ve yerel akım hızını değiştirir. Akımdaki bu değişiklikler sürüntü yükünü de değiştirir. Oyulma devam ettikçe hız azalacağı için $q_T(B)$ de azalacak ve nihayet $q_T(s)$ 'e eşit olacak, oyulma duracaktır. bu bir sınır durumudur. Engel konulmadan önceki dinamik denge durumundan farklı karakterde, zamanla değişmeyen bir denge durumu oluşacaktır. Buna statik denge denir.

Engelin sürüntü hareketi üzerine etkisi, sadece akımın karakteristiklerini değiştirmek değildir. Oluşturduğu vorteks sistemler ve türbülans nedeniyle oyulma olayı üzerinde etkili olur. Bu vorteksler daha önce de belirttiğimiz gibi üç türdür. Bunların oluşturduğu dönümlü akımın hızlarından doğan oyulma potansiyeli, tanelerin harekete karşı direncini yenecek şiddette ise, engel yakınlarında oyulma başlar.

Bu olayda atnalı vorteks sistemle, art-iz vorteks sisteminin rolü büyüktür. QUESNOT (1969)

Oyulma çukuru derinleştikçe sınırdaki malzemeler çukura doğru kayar. Bunun nedeni, vorteks sistemin dengede olmayışıdır. Böylece oyulma uçkuru genişler. Vorteksin taban malzemesini taşıyacak veya askıda tutacak şiddeti kalmadığı zaman oyulma son bulur.

Oyulma olayının durmasının sebepleri net olarak açıklanamamakla beraber, muhtemelen, oyulma olayının esas fonksiyonu olan vorteks sistemlerinin hız ve şiddeti ile yayılma frekanslarının oyulma çukurunun büyümesiyle ters orantılı olarak azalmasıdır.

3.1.1. Boru Hatları Etrafında İki Boyutlu Akış

Oyulma olayının kantitatif değerlendirilmesi LAURSEN (1963) tarafından şöyle yapılmıştır;

$q_T(B) = q_T(s)$ ise, oyulma yoktur.

$q_T(B) \gg q_T(s)$ ise, yatakta katı madde sürüntü hareketi yokken oyulma vardır. Bunun nedeni, engelden dolayı oluşan vorteks sistem ve türbülans olayıdır. Bu durumdaki oyulmaya "temiz su halindeki oluyuma" adı verilir.

$q_T(B) > q_T(s)$ ise, daimi sürüntü hareketi ile oyulma vardır. Yani yatakta hem sürüntü hareketi hem de oyulma olayı vardır. Bu durumdaki oyulmaya "daimi sürüntü maddesi taşınımı halindeki oyulma" adı verilir.

Görüldüğü gibi, tabanda sürüntü hareketi olmadığı halde bile engel etrafında oyulma meydana gelmektedir. Bunun nedeni, engelden dolayı oluşan türbülans ve vortekslerdir. Çünkü, engel etrafındaki taban kayma gerilmesini etkileyen bu olaylar, tabanda oyulmaya neden olurlar.

Engelin menba tarafındaki taban kayma gerilmesi, engel olmadığı zamanki taban kayma gerilmesinin 12 katı kadar bir büyüklükte olduğu yapılan ölçümler neticesinde elde edilmiştir. Aynı zamanda türbülanslı bölgelerde ise bu değer 2,5 katı mertebesindedir HJORTH (1971).

3. OYULMA HADİSESİ VE LİTERATÜR İNCELEMESİ

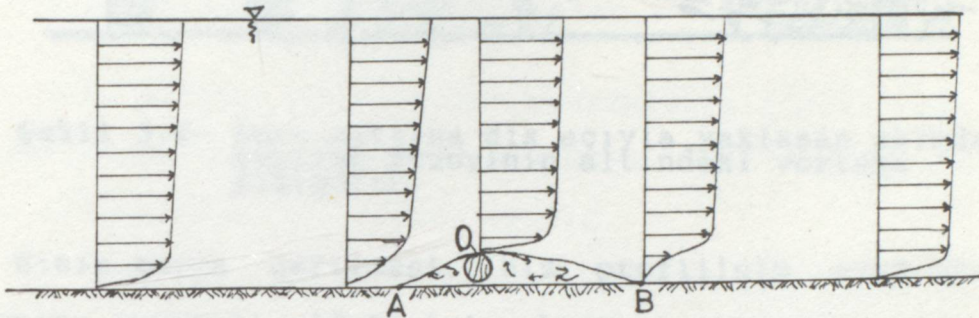
3.1. Problemin Tanımı :

Bugüne kadar hareketli tabanlı akışkanlara yerleştirilen çeşitli engel tipleri etrafındaki yerel oyulma problemi, üzerinde çokça durulmuş bir konudur.

Bu konudaki çalışmalara bakmadan önce, olayın kendisini inceleyelim.

3.1.1. Boru Hatları Etrafında İki Boyutlu Akış

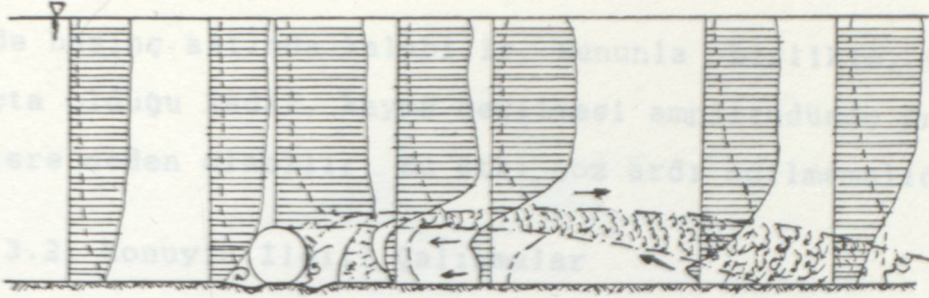
Boru hattına yaklaşan akışın, düz bir plakadaki duruma uyan dik bir hız değişimine sahip olduğu varsayımıyla Şekil (3.1)'deki akımı göz önüne alalım.



Şekil 3.1. Boru hattı etrafında iki boyutlu akış

Borunun menba tarafındaki akışta, borunun varlığı ile bir basınç alanı doğar. Bu basınç alanının etkisi, yaklaşan akış engele yaklaştıkça azalır. Zıt basınç gradyeni, A noktasında yaklaşan akışın ayrılmasına neden olabilecek büyüklüğe ulaşır. A noktasının yeri ise akıştaki hız ve basınç dalgalanmaları ile değişmektedir. Borunun çevresi boyunca herhangi bir yerde akış "O" noktası yakınında sınıra birleşir ve tekrar ayrılır. Borunun mansap tarafında B gibi bir yerde akış yine sınırla birleşir. Bu birleşme noktası, verilen akım şartlarında ayrılma noktasına göre belirli bir değer etrafında salınım gösterir.

Ayrılan akımlar altında, iki alt akış sistemi oluşur. Bu akış sistemleri Şekil (3.2)'de verilen üç vorteks sistemi içinde bulundurulur. Bunlardan birincisi, menba ayrılma yüzeyinin altındadır. İkincisi, biri primer, diğeri sekonder olmak üzere mansap ayrılma yüzeyinin altındadır. Ayrılanın menba tarafındaki borudan uzaklığı, yatak üzerindeki engel yüksekliğine eşittir. Mansap tarafındaki "yeniden birleşme" hattının borudan uzaklığı, boru yüksekliğinin yaklaşık altı katıdır. Böylece mansaptaki primer vorteksin boyu eninin beş katı iken menba vorteksinin yaklaşık dairesel olduğu kabul edilir.



Şekil 3.2- Boru hattına dik açıyla yaklaşan akımda ayrılma yüzeyinin altındaki vorteks sistemler.

Sınır kayma gerilmesi, hız profilinin ayağından hız gradyenine orantılı olduğu için, borunun ortalama sınır kayma gerilmesine etkileri hesaplanabilir. Yaklaşan akışın sınır kayma gerilmesi, A'da sıfır oluncaya kadar azalır. B noktasının gerisinde "yeniden birleşme" profili, menba profiline benzer bir şekle gelinceye kadar sürekli olarak yeniden dağılır A ve B noktaları arasında ayrılma yüzeyleri üzerindeki akış hiç bir yerde yatak ile temas etmez. Temiz su oyulma durumunda bu üst akış katı madde hareketine neden olmaz. Sürekli katı madde taşınımı halinde ise, A noktasının menbaında kayma gerilmesi azalır. Bundan dolayı akımın katı madde taşıma kapasitesinde bir azalma olursa da, fazla sürmeyip, yatakta denge durumu oluşur. Bu arada B'de üst akım belirli bir erezyona neden olmaktadır. Fakat bu olay borudan yeter miktarda uzakta olduğu için temel stabilitesini etkilemeyecektir.

Bunlardan dolayı, oyulmanın sebebi ikincil akışta aranmalıdır. Boru üstü akışta bir basınç artışı, altta ise bir basınç azalması vardır. Eğer boru boyunun yatak ile temasta olan kısmı küçükse, basınç gradyenleri yatağın direncini azaltacaktır. Bu da, boru hatlarında oyulma probleminin en önemli mekanizmasıdır.

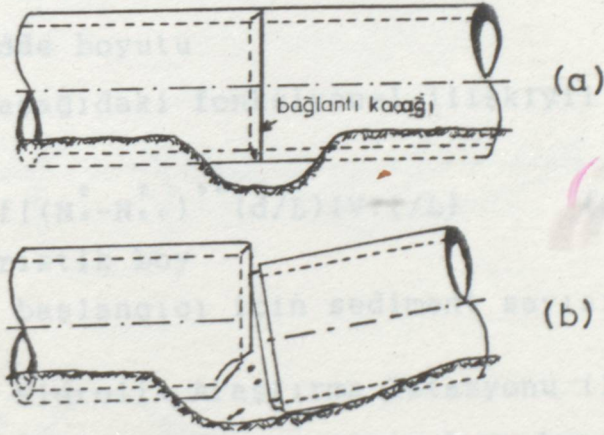
Ayrılma yüzeyi üzerindeki akışın yatakla teması olmadığı için, alttaki ikincil akışın ortalama sınır kayma gerilmesi, yaklaşan ortalama sınır kayma gerilmesinden küçük olacak

şekilde basınç altında kalabilir. Bununla birlikte, türbülans basınçta olduğu kadar, kayma gerilmesi amplitüdünde önemli değişmelere neden olabilir. Bu etki göz ardı edilmemelidir.

3.2. Konuyla İlgili Çalışmalar

Boru hatları etrafındaki oyulmalarla ilgili yapılmış ilk çalışmalardan birisi RAWN ve BOWERMAN (1950)'ındır. Onlara göre bu oyulmaların iki sebebi vardır.

1- Bağlantı kaçaqlarından sızan su, Şekil (3.3)'de görüldüğü gibi, boruyu çevreleyen kumda borulanmalar ve sonunda küçük oyulma çukurları oluşturur. Sonra oyulma çukuru nedeniyle yersel olarak bozulan akış karakteristikleri, dinamik bir dengeye varıncaya kadar oyulma çukurunu genişletir.



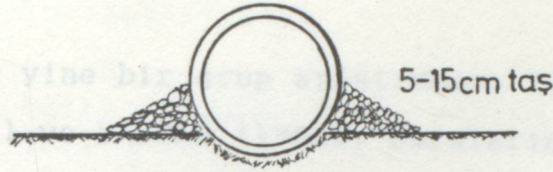
Şekil 3.3- (a): Bağlantı kaçağından sızan suyun sebep olduğu küçük oyulma çukuru.

(b): Vortexlerle oyulma çukurunun genişleyip, borunun desteğini kaybetmesi.

2) Akım karakteristikleri boru hattı tarafından bozular. Böylece oluşan vorteksler 1. maddede olduğu gibi dinamik denge durumuna varıncaya kadar oyulmayı sürdürür.

Burada asıl konumuz ikinci durumdur.

Bu araştırmacıların çalışmalarında, her iki oyulma türüne karşı Şekil (3.4)'de verilen 5-15 cm. boyutlu "rip rap"ın yeterli korumayı sağladığı görülmüştür.



Şekil 3.4- Rawn ve Bowerman tarafından oyulmaya karşı önerilen "rip rap"

CARSTENS (1966) ise, çalışmaları sonucu, oyulmanın her zaman akım karakteristiklerinin bozulduğu yerden başladığını bulmuştur. Bu sonuç, Rawn ve Bowerman'ın çalışmalarını doğrulamaktadır. Carstens ayrıca oyulmanın derecesini sediment sayısına bağlamaya çalışmıştır.

$$N_s = U / [(S_s - 1)gd]^{1/2} \quad (3.1)$$

d : katı madde boyutu

Daha sonra aşağıdaki fonksiyonel ilişkiyi önermiştir.

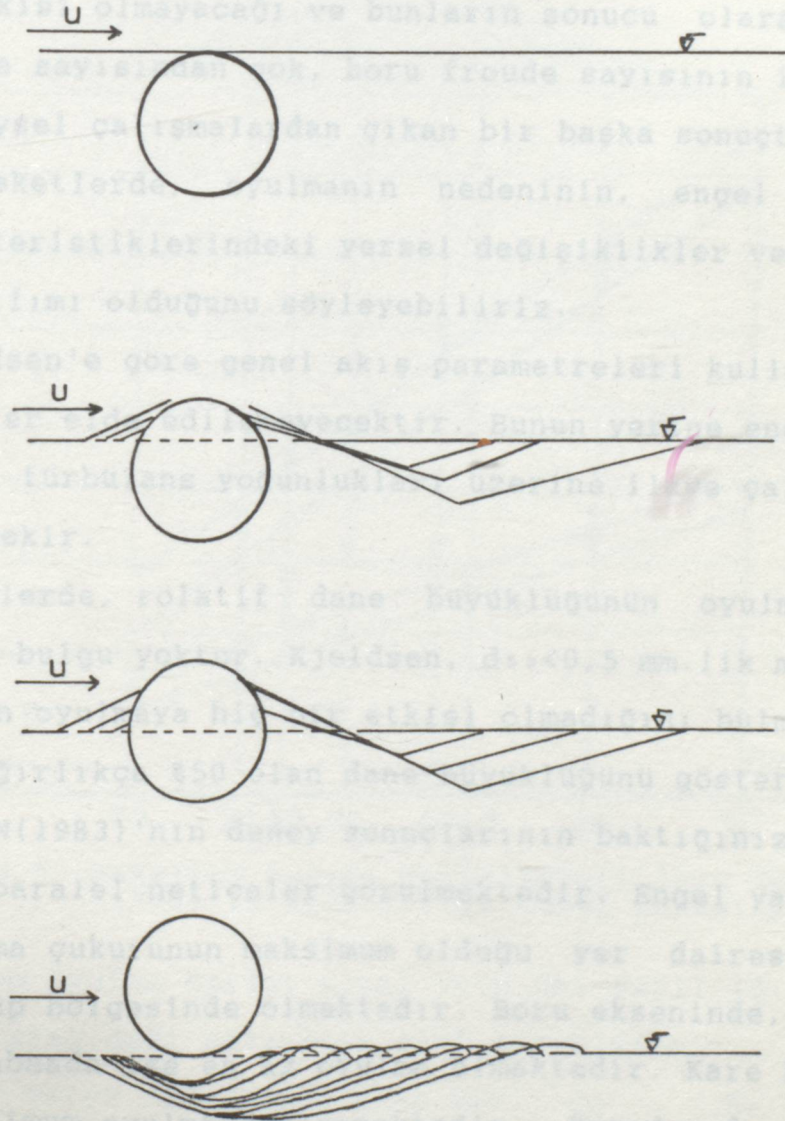
$$d_s/L = f[(N_s^2 - N_{sc}^2)^{5h} (d/L)(V.t/L) \quad (3.2)$$

L : karakteristik boy
t : zaman
N_{sc} : hareket başlangıcı için sediment sayısı

Wallingford Hidrolik Araştırma İstasyonu (1973) tarafından yapılan deniz dibine yerleştirilmiş boru hatlarıyla ilgili çalışmada ise, borular hendekler içinde ve düzenli aralıklarla kum bloklarla destekli olmasına rağmen, boru hatlarının büyük bir kısmında alt oyulmalar tesbit edilmiştir. Boruların menba tarafındaki yatakta, genel olarak mansaptakine göre daha dik ve yaklaşık olarak kumun içsel sürtünme açısına eşit şev eğimli oyulma çukurları meydana gelmiştir. Mansapta ise, eğim daha düzgün ve yığıntı maddesi borudan uzakta birikmiştir. En derin oyulma çukurunun boruların mansap tarafında olduğu görülmüştür. Bu da Carstens'in çalışmalarıyla uyum göstermektedir.

Bu sonuçlar YAZGAN (1983) tarafından da tespit edilmiştir.

Bu konuyu yine bir grup araştırmacı KJELDSEN, GJORSVIK, BRINGAKER (1974) ve YAZGAN (1983), boruların yatak üzerinde ve çeşitli seviyelerde yatağa gömülü halleri için incelediler. Bu araştırmacıların oyulmanın biçim ve gelişimiyle ilgili bulguları şekil (3.5)'de verilmiştir. Buradan çıkan en önemli sonuç şudur: Boru en azından yarısına kadar yatağa gömülüyse, alt oyulma riski çok küçük hatta hiç yoktur.



Şekil 3.5- Boru hatları yakınında genelleşmiş oyulma profilleri

Bu araştırmacılar oyulma derinliği için (3.3) formülünü vermektedirler.

$$H_a = (U^2/2g)^{1/5} \cdot D^{4/5} \quad (3.3)$$

H_a : Boru hattı dibinden aşağı, denge oyulma derinliği
 D : boru çapı

Bu formülden, denge oyulma derinliğinin esas olarak boru geometrisine ve bir dereceye kadar da, akış hızına bağlı olduğu sonucu çıkmaktadır.

Su derinliğinin, boru çapına oranı, $H/D=3-5$ ise, oyulmaya hiç bir etkisi olmayacağı ve bunların sonucu olarak, oyulmaya akım froude sayısından çok, boru froude sayısının ilişkili olduğu, deneysel çalışmalardan çıkan bir başka sonuçtur. Bu sonuçtan hareketlerde, oyulmanın nedeninin, engel etrafındaki akım karakteristiklerindeki yersel değişiklikler ve yersel türbülans dağılımı olduğunu söyleyebiliriz.

Kjeldsen'e göre genel akış parametreleri kullanılarak yeni gelişmeler elde edilemeyecektir. Bunun yerine engel etrafındaki yersel türbülans yoğunlukları üzerine ilave çalışmalar yapılması gerekir.

Deneylerde, rölatif dane büyüklüğünün oyulmaya etkisi üzerine bir bulgu yoktur. Kjeldsen, $d_{50} < 0,5$ mm.lik malzeme dane büyüklüğünün oyulmaya hiç bir etkisi olmadığını bulmuştur. Burada d_{50} , ağırlıkça %50 olan dane büyüklüğünü göstermektedir.

YAZGAN(1983)'nin deney sonuçlarınının baktığınızda da yukarıdakilere paralel neticeler görülmektedir. Engel yatak üzerindeki oyulma çukurunun maksimum olduğu yer dairesel kesitli boruda mansap bölgesinde olmaktadır. Boru ekseninde, mansapdan daha az, menbaada ise en az oyulma olmaktadır. Kare kesitte ise ekseninde maksimum oyulma gözlenmektedir. Burada da menbaadaki oyulma mansapdan biraz fazla olmaktadır.

Oyulma çukurlarının yatay boyları için de şu bağıntılar çıkartılmıştır.

Dairesel kesitte, menbaada 1D

mansapda 2D

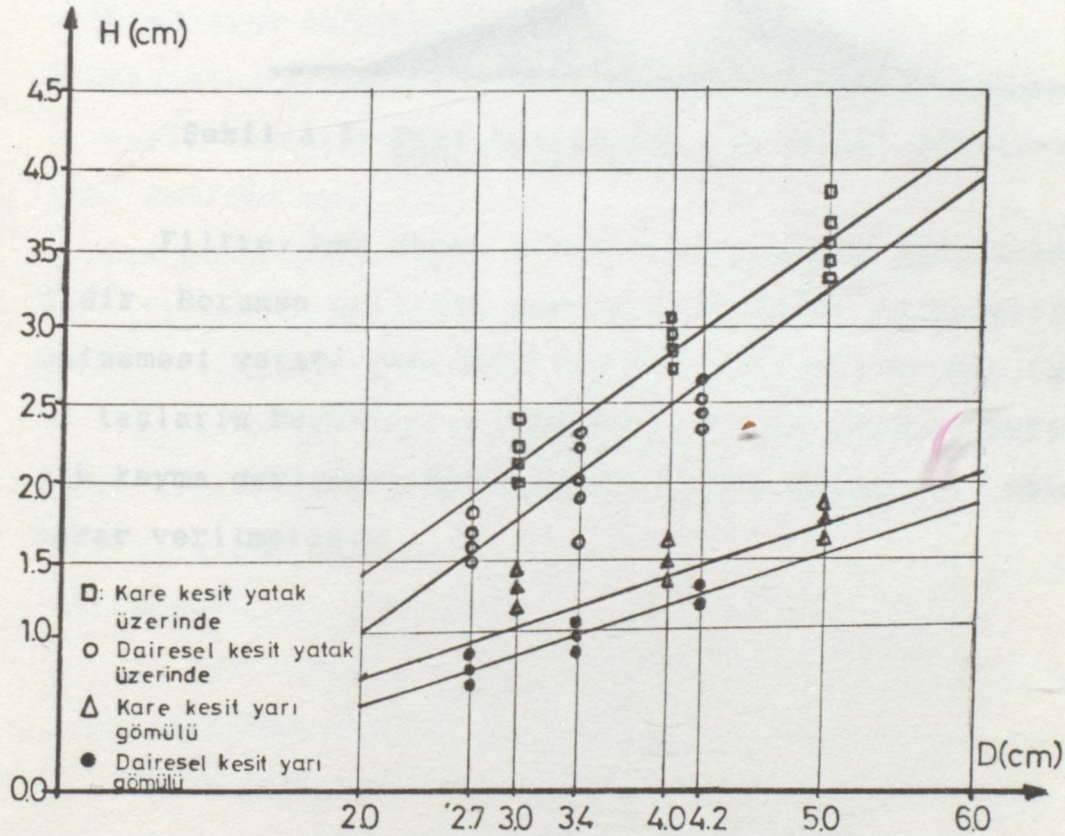
Kare kesitte, menbaada 1D

mansapda 2D

Boruların yarı gömülü olarak kullanıldığı deneylerde sadece mansap bölgesinde oyulma olmuştur. Maksimum oyulmanın olduğu yer ile engel arası mesafeler ise şöyle tesbit edilmiştir.

Dairesel kesit için 1,7 D

Kare kesit için 2,5 D



Şekil 3.6- Maksimum oyulma derinlikleri için Yazgan (1983)'in elde ettiği deney sonuçları.

Maksimum oyulma derinlikleri için de; Şekil (3.6)'da görüldüğü gibi aşağıdaki neticeler elde edilmiştir.

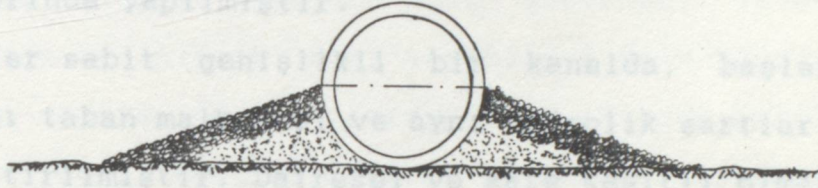
Tamamen yatak üzerindeki kare kesit de $H_a = 0,7 D$

Tamamen yatak üzerindeki daireysel kesit de $H_a = 0,6 D$

Yarı gömülü kare kesit de $H_a = 0,35 D$

Yarı gömülü daireysel kesit de $H_a = 0,30 D$

HJORTH (1975)'a göre de bu çalışmalar, boru hatları altındaki oyulmaların sebebinin basınç kuvveti olduğunu göstermektedir. Yanlara doğru dikey olarak büyüyecek çukurda akışkanın kayma gerilmesi ilk olarak oyulma çukurunu şekillendirecektir. Boruyu altında böylece oluşacak oyulmaya karşı korumak için şekil (3.7)'da gösterilen ters filtreler tarafından etrafında stabilize bir yatak oluşturulmalıdır.



Şekil 3.7- Boru hatlarında alt oyulma problemine karşı ters filtre

Filtre, her zaman filtre kriterlerine göre dizayn edilmiştir. Borunun ortalama yüksekliğine kadar genişletilen filtre malzemesi yatağı emniyetle korur. Filtrenin en üst tabakasındaki taşların boyutlarına, yaklaşan akımın meydana getirdiği kritik kayma gerilmesi değerine ve filtre yüzeyinin eğimine göre karar verilmelidir.

4) Yarısına kadar kum yatağına gömülü kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin belirlenmesi.

5) Tamamen yatay üzerine 30° yatay düzlemde, akış yönüne 30° (sağa ve sola) açılı yapacak şekilde yerleştirilmiş kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin bulunması.

6) Yarı gömülü ve yatayla, akış yönüne 30° dereceye kadar eğilmiş kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin belirlenmesi.

7) Tüm sonuçların değerlendirilmesi.

4.2. Deneysel Kanalın Kullanılan Alet ve Malzemelerin Tanıtılması :

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel kanal olarak laboratuvardaki, bir motor ve hazne-

4.1. GİRİŞ

si bulunan; boyutlarıyla devamlı devridaim yapabilen ve şekil

(4.1) Denize yatay olarak yerleştirilen boru hatları etrafındaki oyulma derinliklerinin araştırıldığı bu çalışmada deneyler Yıldız Üniversitesi İnşaat Bölümü, Hidrolik ve Su Yapıları Laboratuvarında yapılmıştır.

Deneysel deneyler sabit genişlikli bir kanalda, başlangıçtan itibaren aynı taban malzemesi ve aynı hidrolik şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Dairesel ve kare kesitli olmak üzere iki çeşit engel kullanılmıştır. Ayrıca akışa 30° lik açı yapacak şekilde kare kesit üzerinde de deneyler yapılmıştır. Çalışma programı da aşağıdaki gibi düzenlenmiştir :

1) Zemin üzerine yerleştirilmiş dairesel kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin araştırılması.

2) Yine zemin üzerine yerleştirilmiş kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin ölçülmesi.

3) Yarısına kadar kum yatağına gömülü dairesel engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin tesbit edilmesi.

4) Yarısına kadar kum yatağına gömülü kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin belirlenmesi.

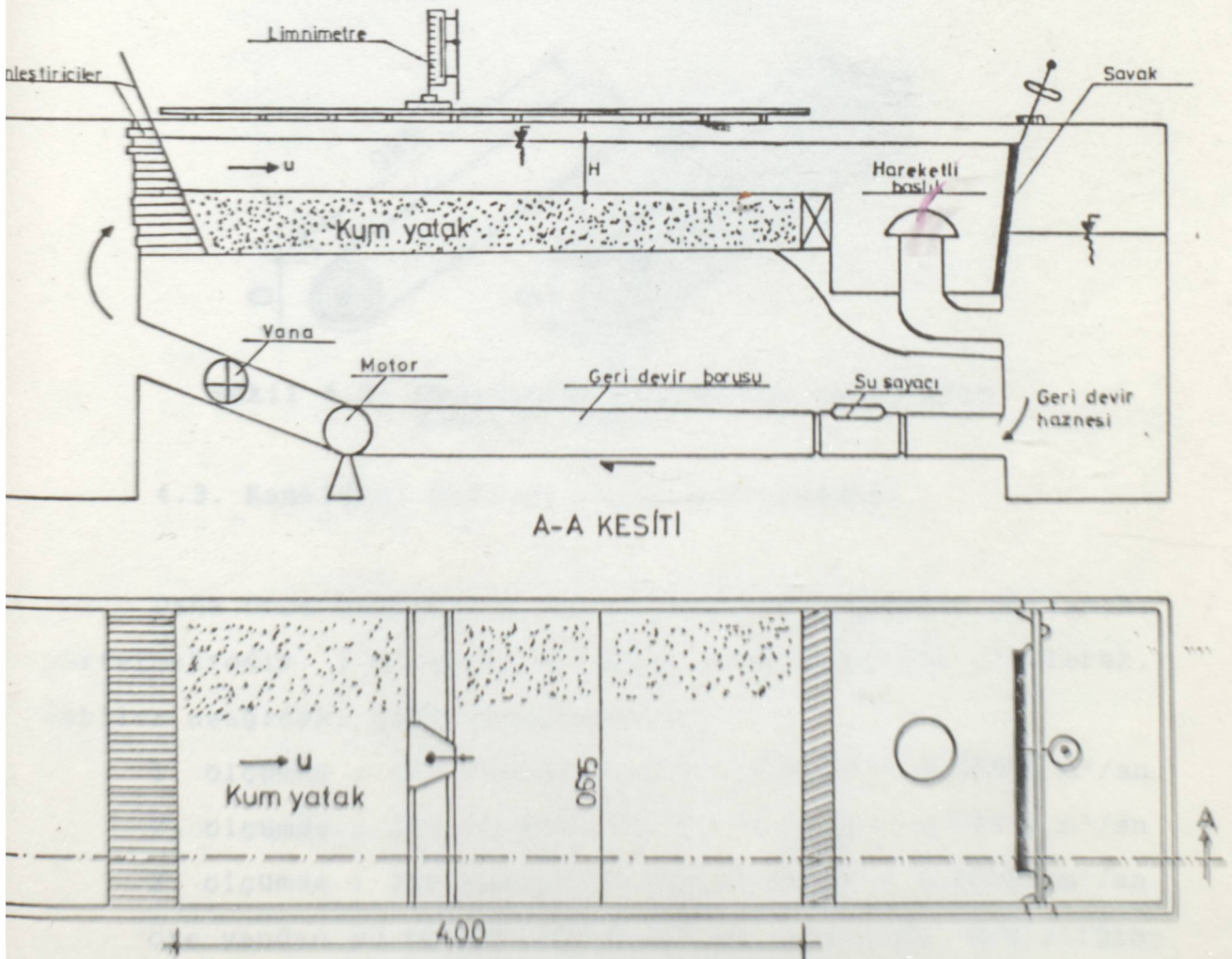
5) Tamamen yatak üzerine ve yatay düzlemde, akış yönüne 30° (sağa ve sola) açı yapacak şekilde yerleştirilmiş kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin bulunması

6) Yarı gömülü ve yatayla, akış yönüne 30° derecelik (sağa ve sola) açı yapacak şekilde yerleştirilmiş kare kesitli engeller etrafındaki oyulma derinliklerinin tesbiti.

7) Tüm sonuçların değerlendirilmesi.

4.2. Deney Kanalı, Kullanılan Alet ve Malzemelerin Tanıtılması :

Deney kanalı olarak labaratuardaki, bir motor ve haznesi bulunan; böylelikle devamlı devridaim yapabilen ve Şekil (4.1)'de şematik resmi verilen kanal kullanılmıştır. Kanalın boyu 4 m. genişliği ise 0,615 m.dir. Deney ölçümleri kanalın 2,65 metre mesafesinde yapılmıştır. Kanalın sonundaki savak en dik hale getirilerek maksimum debi geçerken, istediğimiz hız değeri elde edilmiştir. Bunu yapabilmek için kanalın baş tarafında kum seviyesinden itibaren suyun akışına paralel 15-20 cm. boyunda demir borular konarak su seviyesi yükseltilmeye ve ayrıca suyun enerjisi kırılmaya çalışılmıştır.

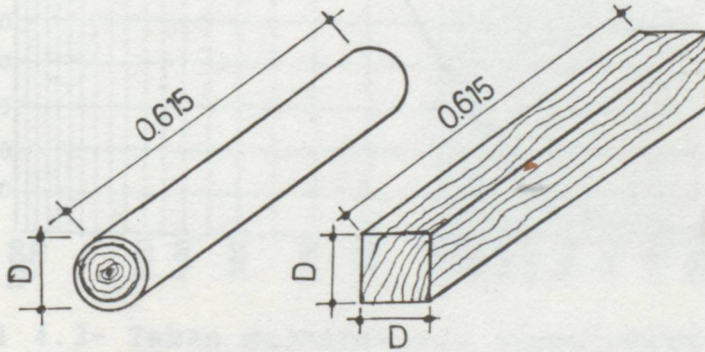


Şekil (4.1.) Deney kanalı şematik resmi

Deney kanalında, gerekli ölçümleri yapabilmek için ileri geri hareket eden bir limnometre aleti bulunmaktadır.

Kanalın altında da ne kadar su geçtiğini gösteren bir sayaç vardır. Bu sayaç sayesinde debi belirlenebilmektedir. Kanal kesiti ve su yüksekliği belli olduğundan dolayı debi süreklilik denklemi yardımıyla kesit hızı tesbit edilmiştir.

Deneylerde kullanılan dairesel kesitli ahşap malzemenin çapları 2,5 ve 4 cm.'dir. Kare kesitli ahşap çubuklarda 2,5x2,5 ve 4x4 cm. ebadlarındadır. Çubukların boyları, suyun altında durabilmeleri için kanal genişliğine eşit yani 0,615 metredir. 30° eğimli kare ahşap malzemeler ise yine 2,5x2,5 ve 4x4 olup, bunların boyları 1,23 metredir. Aşağıda şekil (4.2)'de çubukların şematik resmi verilmiştir.



Şekil 4.2- Deneylerde kullanılan çubukların şematik resmi.

4.3. Kanaldaki Debi ve Hızın Belirlenmesi

Daha önce bahsedilen sayaç suyun m³ cinsinden miktarını göstermektedir. 1 m³ suyun ne kadar sürede geçtiği ölçülerek, debiler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

1. ölçümde : 177 saniye → $Q_1 = 1/177 = 0,00565 \text{ m}^3/\text{sn}$
2. ölçümde : 186 saniye → $Q_2 = 1/186 = 0,00538 \text{ m}^3/\text{sn}$
3. ölçümde : 180 saniye → $Q_3 = 1/180 = 0,00555 \text{ m}^3/\text{sn}$

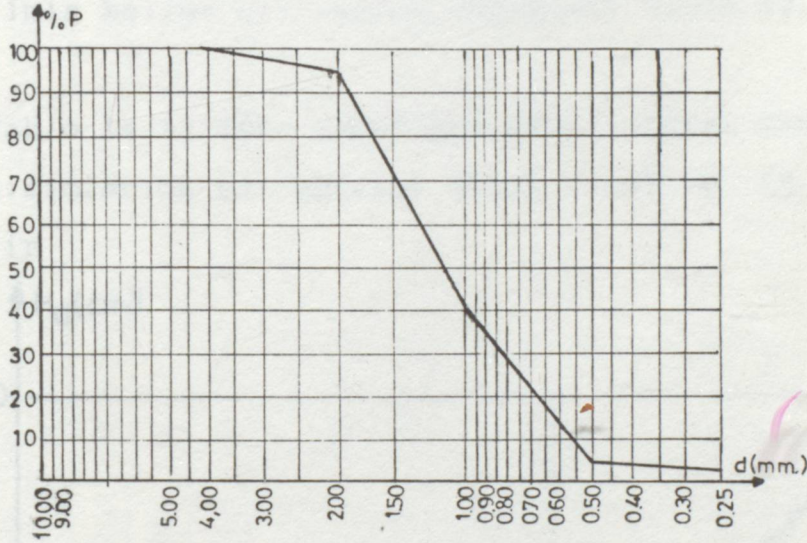
Öte yandan su yüksekliği 6,7-7 cm. arasında değiştiğinden, ortalama hız, 0,135 m/sn olarak tesbit edilmiştir.

4.4. Taban Malzemesinin Özellikleri

Taban malzemesi olarak kullanılan kuvars kumunun özgül ağırlığı ve granülometrisi daha evvel bu kum üzerinde çalışan hocamız Y.Doç.Dr. Yalçın Yüksel tarafından belirlenmiştir.

Kullanılan kuvars kumunun özgül ağırlığı $\gamma_s=2.65 \text{ t/m}^3$ bulunmuştur.

Granülometri eğrisi de yine malzeme laboratuvarında Şekil (4.3)'deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.3- Taban malzemesinin granülometri eğrisi

Bu eğriden kumun önemli büyüklükleri şöyle sıralanabilir:

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

$$d_{90} = 1,86 \text{ mm.}$$

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

Kullanılan malzeme yeterince uniform olduğundan deneylerde malzeme yığılması gibi dinamik denge hali için uygun olmayan durumlara neden olacak şartlarla karşılaşılmamıştır.

4.5. Deneylerin Yapılması

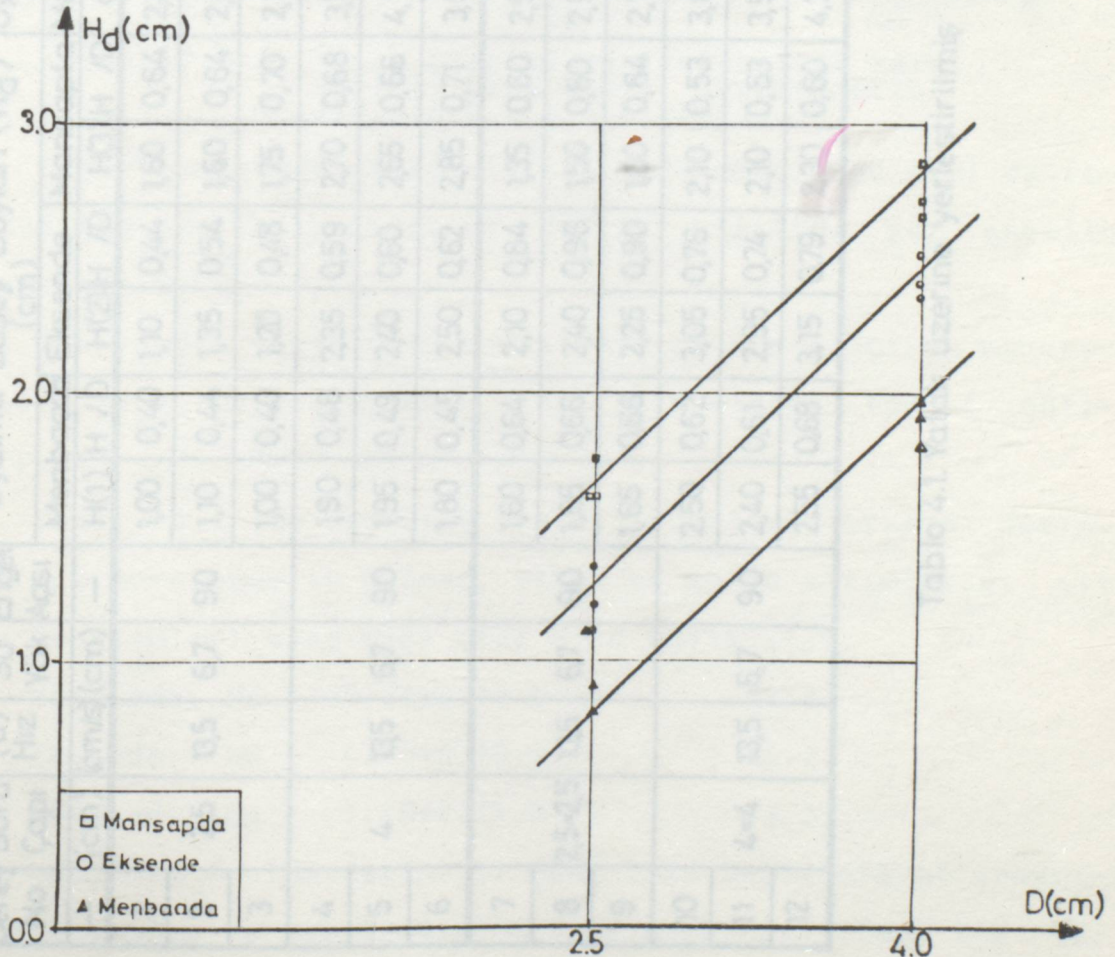
Deneyler, her değişik ebatlı boruda üç kez tekrar edilmek suretiyle yapılmıştır. Deney sonuçları birer saat bekledikten sonra ölçülmüştür. Bu süreden sonra oyulma çukurunda fazlaca bir değişiklik görülmemiştir.

Deney sonuçları tablolar halinde aşağıda ve ileriki sayfalarda verilecektir.

4.5.1. Deney Kanalındaki Kum Üzerine Yerleştirilmiş Engeller Etrafındaki Oyulmaların Tesbiti

2,5 ve 4 cm. çapındaki dairesel ve 2,5x2,5, 4x4 ebadındaki kare kesitli boruların birer birer kum zemin üzerine yerleştirilmiş haline ait oyulma değerleri Tablo (4.1)'de verilmiştir.

Tablo (4.1)'deki değerlere bağlı olarak mansap, eksen ve menbaa kısımlarına ait eğriler Şekil (4.4) ve (4.5)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4- Yatak üzerine yerleştirilmiş dairesel kesitli borulardaki oyulma derinliğinin D ile değişimi.

Deneç No	(D) Çapı (cm)	(u) Hız (cm/s)	(h) Su Yük (cm)	(α°) Engel Açısı	Oyulma Düşey Boyları (H _d) (cm)			Oyulma Yatay Boyları (cm)			Engel ve Zemin Durumu				
					Menbaada H(1) H / D	Eksende H(2) H / D	Mansapta H(3) H / D	Menbaada a	b	Mansapta b		b/D			
1					1,00	0,40	1,10	0,44	1,60	0,64	2,20	0,88	5,20	2,08	
2	2,5	13,5	6,7	90	1,10	0,44	1,35	0,54	1,60	0,64	2,50	1,00	5,50	2,20	
3					1,00	0,40	1,20	0,48	1,75	0,70	2,70	1,08	5,70	2,28	
4					1,90	0,48	2,35	0,59	2,70	0,68	3,50	0,88	7,90	1,98	
5	4	13,5	6,7	90	1,95	0,49	2,40	0,60	2,65	0,66	4,10	1,02	8,50	2,12	
6					1,80	0,45	2,50	0,62	2,85	0,71	3,90	0,98	8,20	2,05	
7					1,60	0,64	2,10	0,84	1,35	0,60	2,90	1,16	3,50	1,40	
8	2,5*2,5	13,5	6,7	90	1,65	0,66	2,40	0,96	1,50	0,60	2,50	1,00	3,00	1,20	
9					1,65	0,66	2,25	0,90	1,60	0,64	2,70	1,08	3,00	1,20	
10					2,50	0,62	3,05	0,76	2,10	0,53	3,60	0,90	5,00	1,25	
11	4*4	13,5	6,7	90	2,40	0,61	2,95	0,74	2,10	0,53	3,50	0,88	5,50	1,38	
12					2,55	0,68	3,15	0,79	2,30	0,60	4,20	1,05	5,00	1,25	

Tablo 4.1. Yatak üzerine yerleştirilmiş borulara ait oyulma değerleri

$$Hd_{max} = 0,65 D \quad (4.4)$$

Dairesel kesitli engelin menba ve mansap kısımlarındaki oyulma çukurlarının boyları aşağıdaki gibi ölçülmüştür.

Menbaada : 1 D

Mansapda : 2 D

Ölçülen bu değerler daha evvel yapılan YAZGAN (1983)'de bulunan değerlerle karşılaştırılarak, bu boyların ve oyulma çukurlarının yaklaşık aynı olduğu tesbit edilmiştir.

Kaynaktaki sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Dairesel kesitte : $Hd_{max} = 0,6 D$

Yatay boylar : Menbaada = 1 D Mansapda = 2 D

Şekil (4.5)'de kare kesit için elde edilen oyulmanın maksimum olduğu yer engelin eksen kısmında ölçülmüştür. Bununla birlikte menbaadaki oyulma eksenindeki oyulma ile mansaptaki oyulma derinliği arasında kalmış, ancak mansapdaki oyulma derinliği ile fazlaca fark olmadığı görülmüştür. Bunun yanında dairesel kesitin eksenindeki oyulma derinliğinin mansapdaki oyulma derinliğinden çok daha fazla olduğu yapılan deneyler neticesinde elde edilmiştir.

Aşağıdaki mansap, eksen ve menba için ayrı ayrı elde edilen oyulma derinliklerine ait denklemler, Şekil (4.5)'deki eğriler yardımıyla bulunmuştur.

$$\text{Eksende : } Hd = 0,6 + 0,6267 D \quad (4.5)$$

$$\text{Menbaada : } Hd = 0,02 + 0,6267 D \quad (4.6)$$

$$\text{Mansapda : } Hd = -0,10 + 0,613 D \quad (4.7)$$

Tablo (4.1)'e ve D'ye bağlı olarak bulunan maksimum oyulma derinliği kaynak Yazgan (1983)'daki değerlerle karşılaştırılarak aşağıdaki ifade elde edilmiştir.

$$Hd_{max} = 0,80 D \quad (4.8)$$

$$Hd_{max} = 0,70 D \quad \text{Yazgan(1983)}$$

Engelin menba ve mansap kısımlarında ölçülen oyulma yatay boyları daha evvel Yazgan(1983) tarafından yapılmış değerlerle karşılaştırılarak aşağıda verilmiştir.

Menbaada : 1 D

Mansapda : 1,25 D

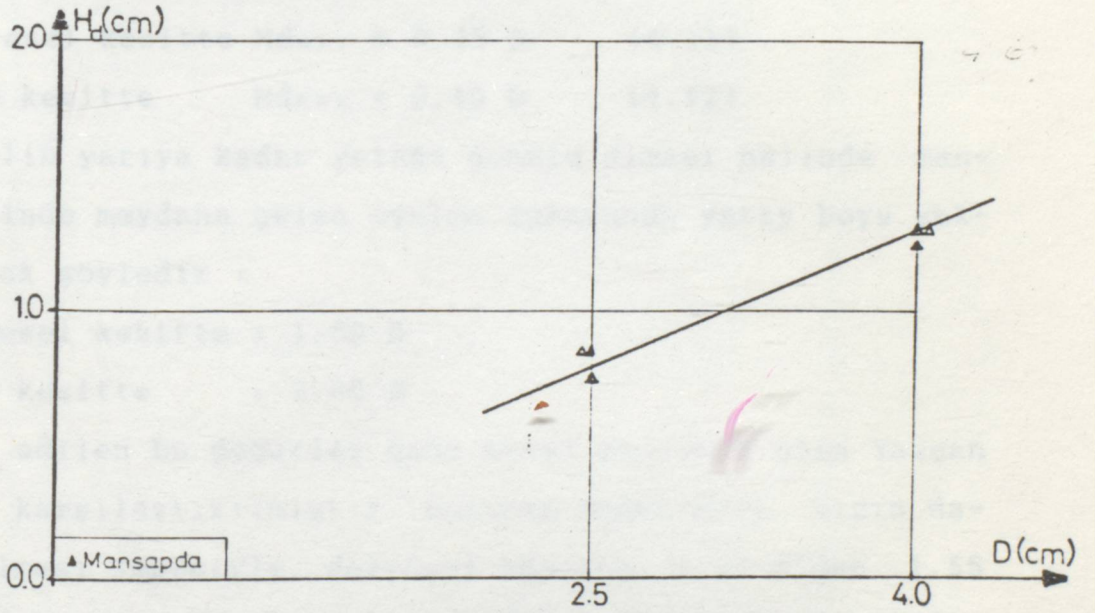
Menbaada : 1 D YAZGAN (1983)

Mansapda : 1,2 D YAZGAN (1983)

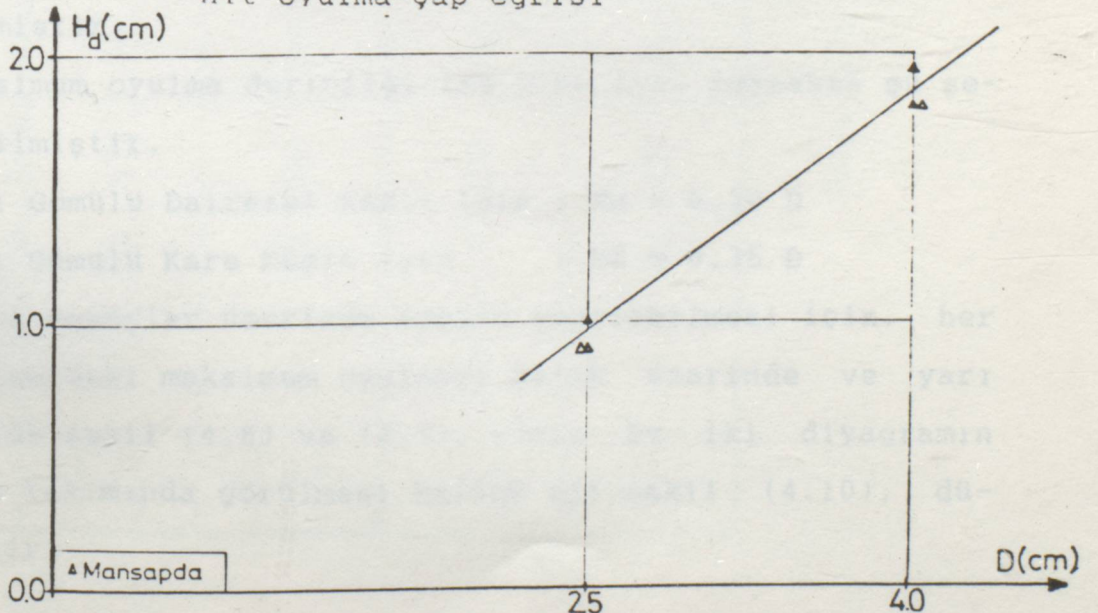
4.5.2. Zemine Yarı Gömülü Engeller Etrafındaki Oyulmaların Tesbiti.

2,5x2,5, 4x4 ebadındaki kare kesitli ve 2,5, 4 cm çapındaki dairesel boruların ayrı ayrı kum zemine yarı gömülü halde yerleştirilmeleri sonucunda elde edilen değerler Tablo (4.2)'de verilmiştir.

Tablo (4.1)'deki değerlerden faydalanılarak yarı gömülü duruma ait her iki tip kesit içinde, çap-oyulma eğrileri, mansap, eksen ve menba bölgeleri için Şekil (4.6) ve (4.7)'de görüldüğü gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.6- Yarı gömülü durumda dairesel kesite ait oyulma-çap eğrisi



Şekil 4.7- Yarı gömülü duruma ait kare kesitin oyulma-çap eğrisi.

Şekil (4.6) ve (4.7)'de de görüldüğü gibi dairesel ve kare kesitli boruların etrafındaki oyulmalar, sadece mansap bölgesinde meydana gelmiştir. Mansap bölgesinde meydana gelen oyulma değerlerine ait elde edilen denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Dairesel kesitte : } Hd = -0,06+0,34 D \quad (4.9)$$

$$\text{Kare kesitte : } Hd = -0,45+0,593 D \quad (4.10)$$

Hd_{max} , maksimum oyulma derinliğinin tesbiti için, Tablo (4.2) ve yukarıdaki denklemler kullanılarak aşağıdaki değerler tesbit edilmiştir.

$$\text{Dairesel kesitte } Hd_{max} = 0,35 D \quad (4.11)$$

$$\text{Kare kesitte } Hd_{max} = 0,40 D \quad (4.12)$$

Engelin yarıya kadar yatağa gömülü olması halinde mansap bölgesinde meydana gelen oyulma çukurunun yatay boyu yaklaşık olarak şöyledir :

$$\text{Dairesel kesitte : } 1,60 D$$

$$\text{Kare kesitte : } 2,00 D$$

Elde edilen bu değerler daha evvel yapılmış olan Yazgan (1983) ile karşılaştırılmıştır. Bulunan değerlerin, hızın daha küçük olması sebebiyle, dairesel kesitte, 1,70 D'den 1,55 D değerine, Kare kesitte ise 2,50 D'den 2,00 D değerine indiği gözlenmiştir.

Maksimum oyulma derinliği ise yine aynı kaynakta şu şekilde verilmiştir.

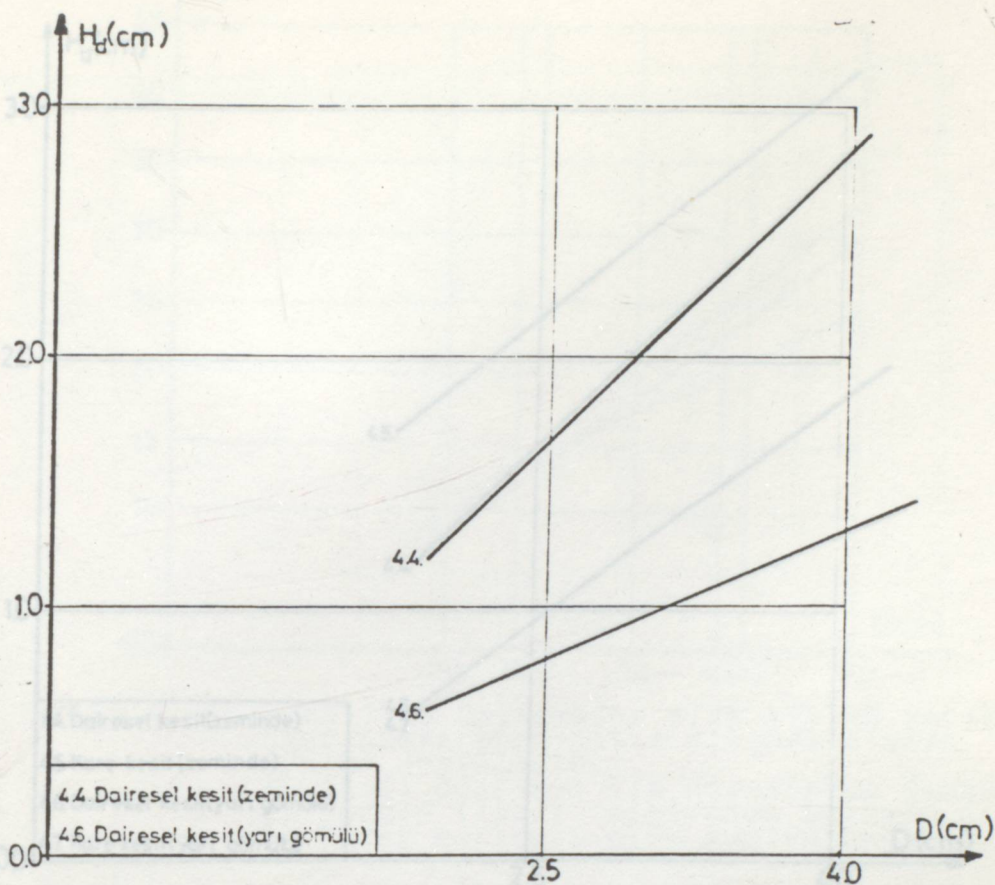
$$\text{Yarı Gömülü Dairesel Kesit için : } Hd = 0,30 D$$

$$\text{Yarı Gömülü Kare Kesit için : } Hd = 0,35 D$$

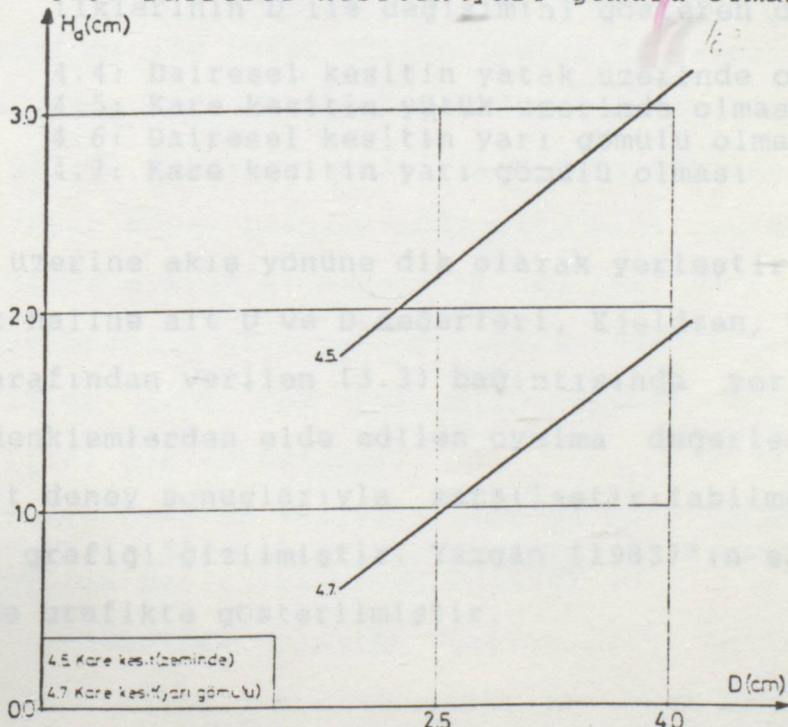
Bütün sonuçlar üzerinde analiz yapılabilmesi için, her iki tip engeldeki maksimum oyulmayı yatak üzerinde ve yarı gömülü halde şekil (4.8) ve (4.9), sonra bu iki diyagramın aynı eksen takımında görülmesi haline ait şekil (4.10), düzenlenmiştir.

Deneç No	Boru Çapı (D) (cm)	Hız (u) (cm/s)	Su Yükl. (h) (cm)	Engel Açısı (°)	Oyulma Düşey Boyları		Oyulma Yatay Boyları				Engel ve Zemin Durumu	
					Hd (cm)	Hd/D	a (cm)	a/D	d (cm)	a'/D		
-				-								
1					0.85	0.34	4.00	1.60	8.00	3.20		
2	2.5	13.5	6.70	90	0.75	0.30	3.80	1.52	8.20	3.28		
3					0.85	0.34	4.20	1.68	8.10	3.24		
4					1.30	0.33	6.00	1.50	12.00	3.00		
5	4	13.5	6.70	90	1.25	0.31	5.80	1.45	12.00	3.00		
6					1.30	0.33	6.00	1.50	12.00	3.00		
7					1.00	0.40	4.50	1.80	11.00	4.40		
8	2.5x25	13.5	6.70	90	0.90	0.36	5.00	2.00	11.00	4.40		
9					0.90	0.36	5.00	2.00	10.50	4.20		
10					1.80	0.45	8.00	2.00	15.00	3.75		
11	4x4	13.5	6.70	90	1.95	0.48	8.20	2.05	15.50	3.88		
12					1.80	0.45	8.50	2.12	15.00	3.75		

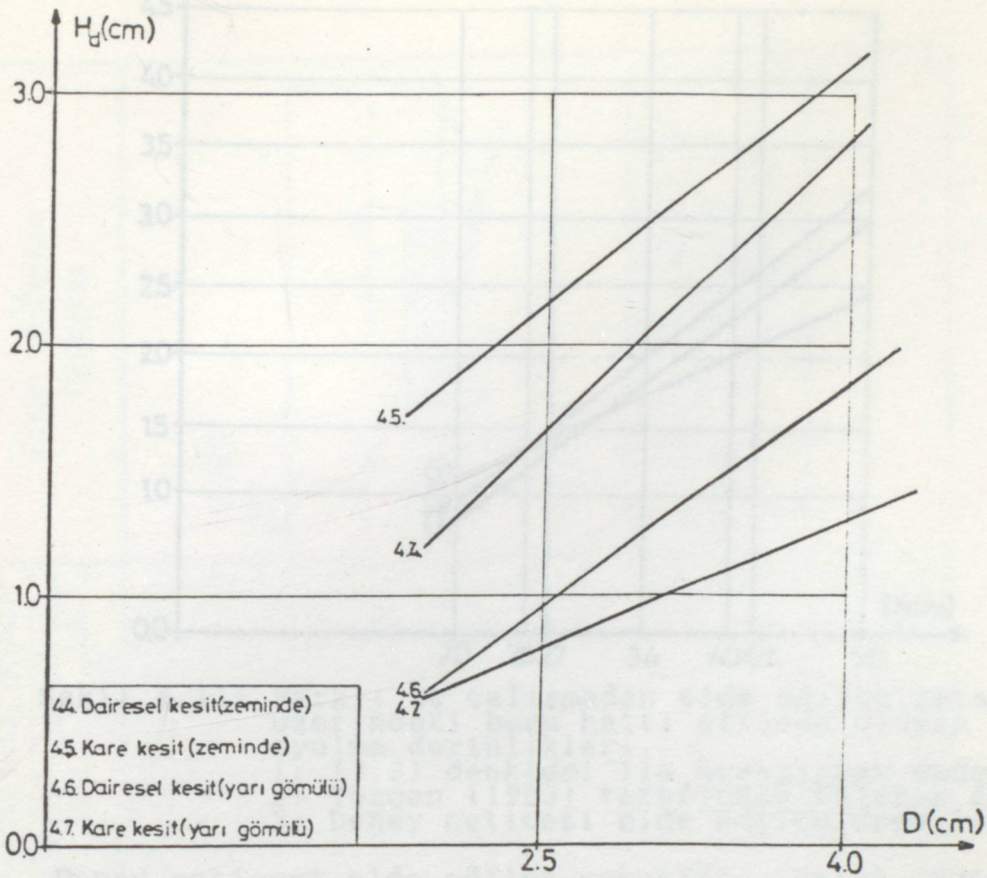
Tablo 4.2 Yarı gömülü haldeki borulara ait oyulma değerleri



Şekil 4.8- Dairesel kesitin iki durumuna ait maksimum oyulma derinliğinin D ile değişimi.
 4.4: Dairesel kesitin zeminde olması durumu
 4.6: Dairesel kesitin yarı gömülü olması



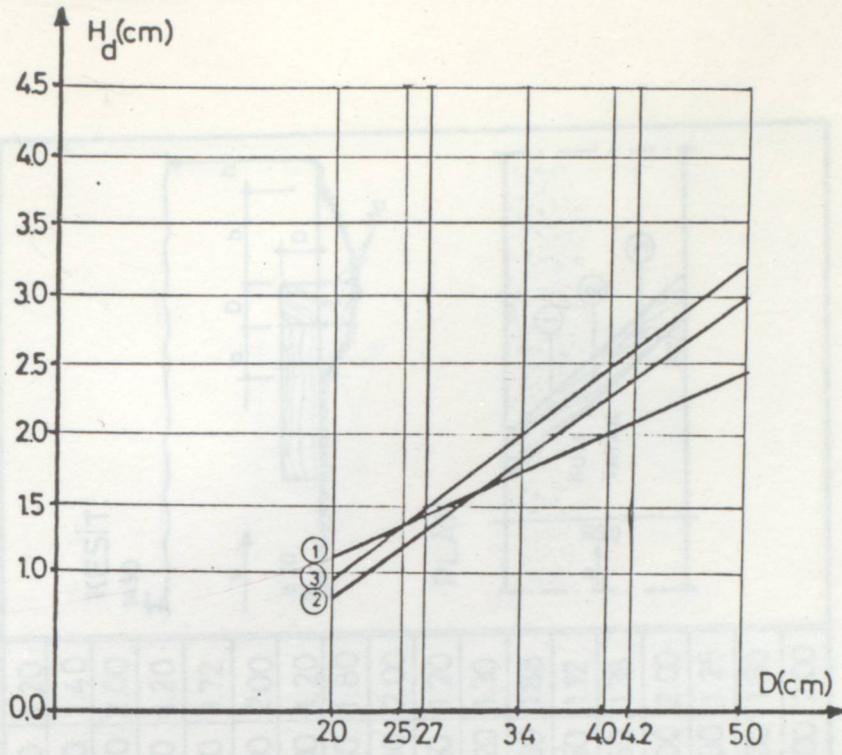
Şekil 4.9- Kare kesitin iki durumuna ait maksimum oyulma derinliğinin D ile değişimi.
 4.5: Kare kesitin zeminde olması durumu.
 4.7: Kare kesitin yarı gömülü olması.



Şekil 4.10- Her iki tip engelin yatak üzerinde ve yarı gömülü halleri için, maksimum oyulma derinliklerinin D ile değişimini gösteren diyagram

- 4.4: Dairesel kesitin yatak üzerinde olması
 4.5: Kare kesitin yatak üzerinde olması
 4.6: Dairesel kesitin yarı gömülü olması
 4.7: Kare kesitin yarı gömülü olması

Yatak üzerine akış yönüne dik olarak yerleştirilen dairesel kesit haline ait U ve D değerleri, Kjeldsen, Gjorsvik, Bringaher tarafından verilen (3.3) bağıntısında yerine konmuştur. Bu denklemlerden elde edilen oyulma değerleri, yine aynı hale ait deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilmesi için Şekil (4.11) grafiği çizilmiştir. Yazgan (1983)'in elde ettiği değerlerde grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.11- Farklı üç çalışmadan elde edilen, yatak üzerindeki boru hattı altında oluşan oyulma derinlikleri.
 1: (3.3) denklemi ile hesaplanan değerler
 2: Yazgan (1983) tarafından bulunan değerler
 3: Deney neticesi elde edilen değerler

Deney neticesi elde edilen sonuçlar, yatak üzerindeki dairesel kesitin eksenindeki oyulma değerleridir. Zira (3.3) bağıntısı boruların altındaki oyulma değerleri için verilmiştir. (3.3) denklemi ile hesap edilen oyulma değerleri arasından geçirilen uygun bir doğrunun (1), deney neticesi bulunan doğrular (2) ve (3) arasında benzerlik olduğu şekilden anlaşılmaktadır. Ancak deney çalışmasında akım hızı oyulmaya etki eden bir parametre olarak alınmamıştır. Bu ise, boru hatları etrafındaki oyulmaların akım parametreleri ile pek fazla ilgisinin olmadığını, daha çok engelelin geometrisine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

4.5.3. Zemin Üzerine Yerleştirilen ve Akış Yönüne Yatayla 30°'lik Açı Yapan Engeller Etrafındaki Oyulma Derinliklerinin Tesbiti :

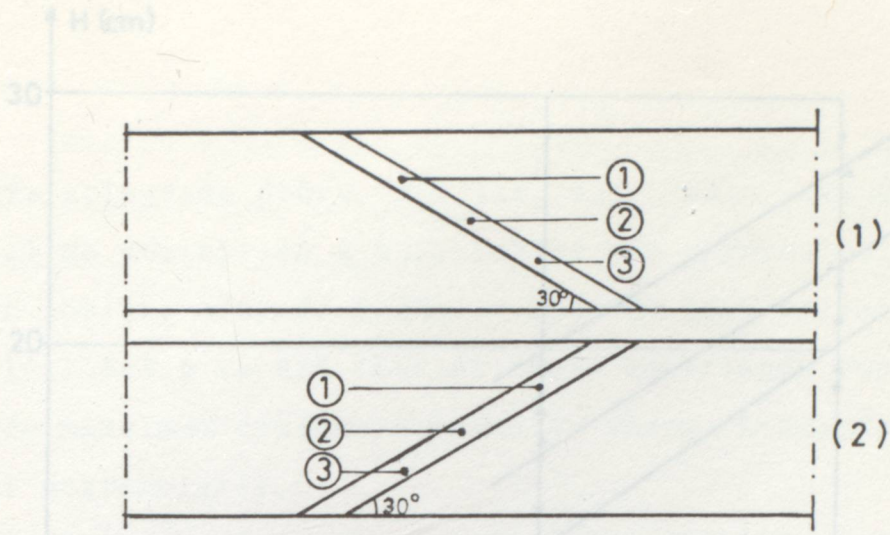
(4.5.1) maddesinde yapılan çalışmalar, 30°'lik hal içinde aynen tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo (4.3) ve (4.4)'de verilmiştir. Buradaki deneyler sadece kare kesitler üzerinde yapılmıştır.

Deney No	Boru Çapı (D) (cm)	Hız (u) (cm/s)	Su Yük. (h) (cm)	Engel Açısı (°)	Oculm Yeri	Oyulma Düşey Boyları			Oyulma Yatay Boyları			Engel ve Zemin Durumu				
						MENBAADA H_d (cm)	EKSENDE $H_d \cdot H_d/D$ (cm)	MANSAPDA H_d (cm)	MENBAADA a (cm)	MANSAPDA a/D	MANSAPDA b (cm)		MANSAPDA b/D			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
1					1	0.90	0.36	1.15	0.46	0.75	0.30	2.00		0.80	3.00	1.20
2					2	1.55	0.62	1.80	0.72	1.15	0.46	2.50		1.00	3.50	1.40
3					3	2.10	0.84	2.45	0.98	1.90	0.76	2.50		1.00	5.00	2.00
2	2.5x2.5	13.5	6.7	30	1	0.80	0.32	1.00	0.40	0.60	0.24	2.50		1.00	3.00	1.20
2					2	1.60	0.64	1.75	0.70	1.20	0.48	3.00		1.20	4.30	1.72
3					3	2.00	0.80	2.40	0.96	1.90	0.76	3.00		1.20	5.00	2.00
1					1	1.15	0.46	1.40	0.56	0.90	0.36	2.50		1.00	3.00	1.20
2					2	1.75	0.70	1.90	0.76	1.35	0.54	3.00		1.20	4.50	1.80
3					3	2.20	0.88	2.50	1.00	1.95	0.78	3.00		1.20	5.00	2.00
1					1	1.90	0.48	2.20	0.55	1.65	0.41	3.00		0.75	4.50	1.20
2					2	2.25	0.56	2.70	0.68	1.90	0.47	4.40		1.10	5.20	1.30
3					3	2.65	0.66	2.95	0.74	2.40	0.60	4.50		1.12	7.50	1.88
1	4x4	13.5	6.7	30	1	2.10	0.52	2.20	0.55	1.55	0.39	3.50		0.88	4.50	1.12
2					2	2.30	0.58	2.70	0.68	1.70	0.42	4.50		1.12	5.50	1.38
3					3	2.80	0.70	3.05	0.76	2.55	0.64	4.50		1.12	8.00	2.00
1					1	2.05	0.51	2.10	0.53	1.50	0.38	3.50		0.88	5.00	1.25
2					2	2.30	0.58	2.85	0.71	1.85	0.46	4.50		1.12	6.00	1.50
3					3	2.75	0.68	3.15	0.78	2.60	0.65	4.50		1.12	8.00	2.00

Tablo 4.3. Zemin üzerindeki boruların, suyun akışına 30°'lik açı yapması (sağa doğru) durumunda oyulma derinlikleri

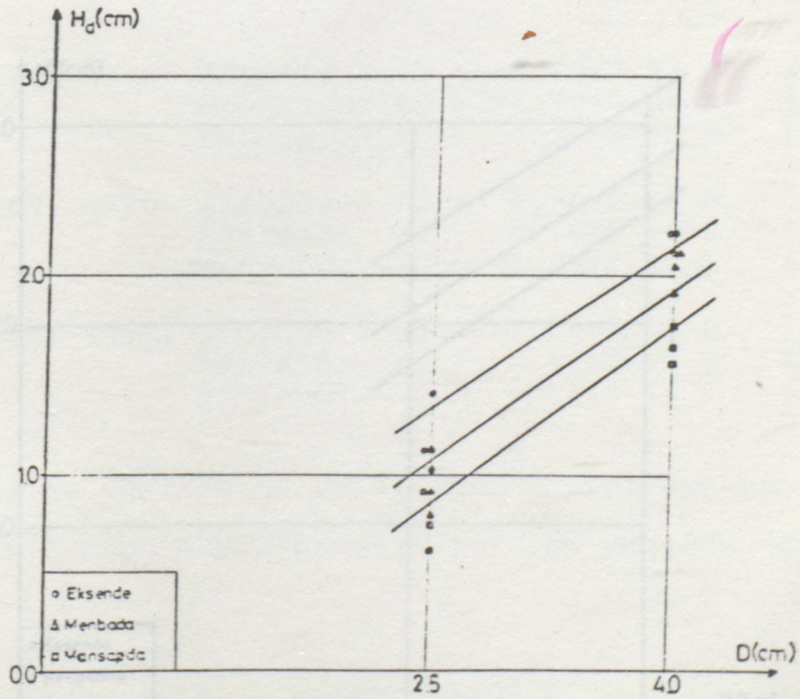
Deney No	Boru Çapı (D) (cm)	Hız (u) (cm/s)	Su Yük (h) (cm)	Engel Açısı (°)	Çıkış Yeri	Oyulma Düşey Boyları				Oyulma Yatay Boyları				Engel ve Zemin Durumu		
						MENBAADA		EKSENDE		MANSAPDA		MENBAADA			MANSAPDA	
						H _d (cm)	H _d /D	H _e (cm)	H _e /D	H _d (cm)	H _d /D	a (cm)	a/D		b (cm)	b/D
-	-	-	-	-	-	H _d (cm)	H _d /D	H _e (cm)	H _e /D	H _d (cm)	H _d /D	a (cm)	a/D	b (cm)	b/D	-
1					1	195	0.78	2.25	0.90	1.80	0.72	2.50	1.00	5.40	2.16	
2	25x25	13.5	6.7	30	2	170	0.68	1.90	0.76	1.35	0.54	2.40	0.96	4.20	1.68	
3					3	105	0.42	1.40	0.56	0.90	0.36	2.20	0.88	2.80	1.12	
4					1	210	0.84	2.45	0.98	2.05	0.82	2.50	1.00	4.70	1.88	
5	4x4	13.5	6.7	30	2	245	0.61	2.80	0.70	2.05	0.51	4.50	1.12	7.00	1.75	
6					3	210	0.52	2.40	0.60	1.80	0.45	4.00	1.00	4.70	1.18	
					1	280	0.70	3.00	0.75	2.60	0.65	3.90	0.98	7.00	1.75	
					2	250	0.62	2.75	0.69	2.10	0.52	3.80	0.95	7.00	1.75	
					3	180	0.45	2.15	0.54	1.65	0.41	3.50	0.88	4.50	1.12	

Tablo 4.4. Zemin üzerindeki boruların, suyun akışına 30°'lik açı yapması (sola doğru) durumunda oyulma değerleri.

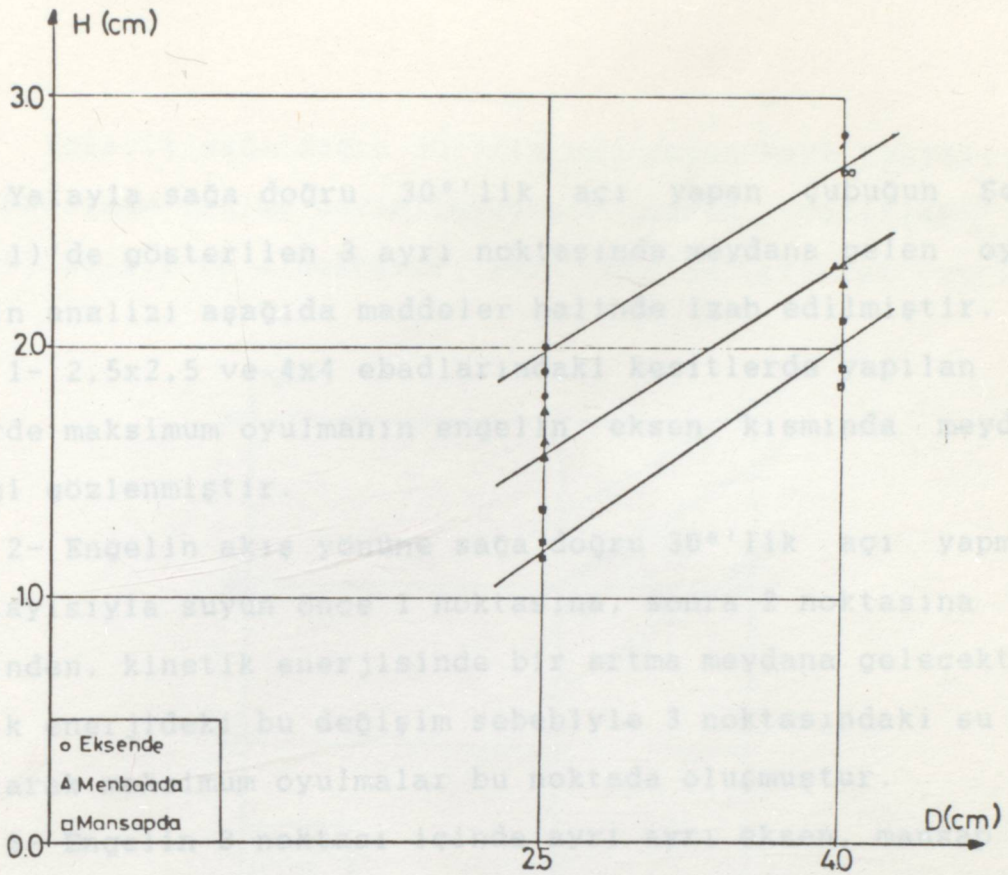


Şekil 4.12- Yatayla 30° 'lik açı yapan engellerin kanaldaki plânları.
 (1): Sağa doğru 30° 'lik açı yapan engel plânı.
 (2): Sola doğru 30° 'lik açı yapan engel plânı.

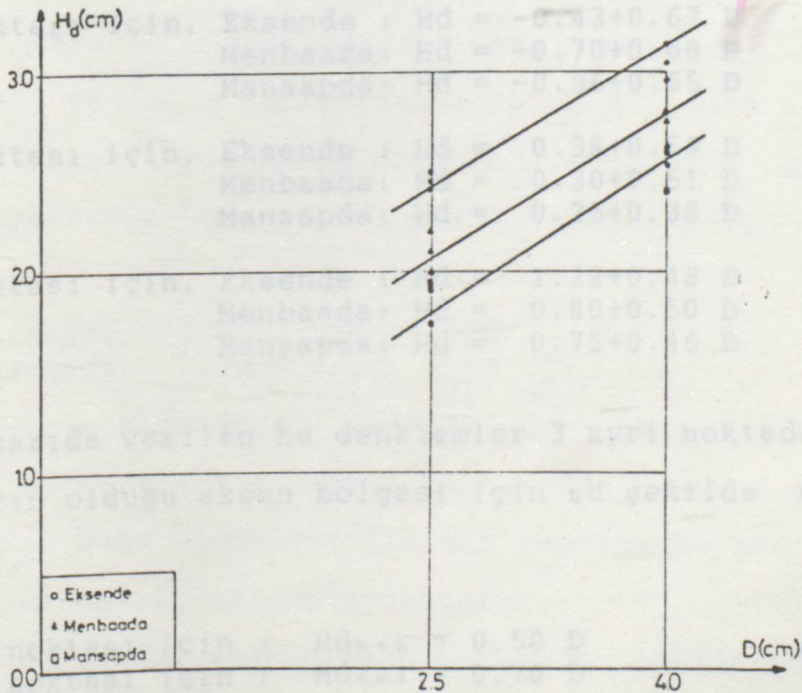
Yukarıdaki Şekil (4.12.1)'deki 1,2 ve 3 noktalarındaki oyulma derinlikleri ayrı ayrı ölçülerek Tablo (4.4)'de gösterilmiş ve her bir nokta için Şekil (4.13), (4.14) ve (4.15)'de eğriler çizilmiştir.



Şekil 4.13- Yatayla sağa doğru 30° 'lik açı yapan kare kesitli borunun 1 noktasındaki oyulma-çap ilişkisi.



Şekil 4.14- Zemin üzerinde yatayla sağa doğru 30° açı yapan kare kesitli borunun 2 noktasındaki oyulma-çap ilişkisi.



Şekil 4.15- Zemin üzerinde yatayla sağa doğru 30° açı yapan kare kesitli borunun 3 noktasındaki oyulma-çap ilişkisi.

Yatayla sağa doğru 30° 'lik açı yapan çubuğun Şekil (4.12.1)'de gösterilen 3 ayrı noktasında meydana gelen oyulmaların analizi aşağıda maddeler halinde izah edilmiştir.

1- 2,5x2,5 ve 4x4 ebadlarındaki kesitlerde yapılan deneylerde maksimum oyulmanın engelin eksen kısmında meydana geldiği gözlenmiştir.

2- Engelin akış yönüne sağa doğru 30° 'lik açı yapması ve dolayısıyla suyun önce 1 noktasına, sonra 2 noktasına geleceğinden, kinetik enerjisinde bir artma meydana gelecektir. Kinetik enerjideki bu değişim sebebiyle 3 noktasındaki su yükü artarak maksimum oyulmalar bu noktada oluşmuştur.

3- Engelin 3 noktası içinde ayrı ayrı eksen, mansap ve menbalarına ait grafikler Şekil (4.13), (4.14) ve (4.15)'de çizilerek herbirine ait ampirik denklemler aşağıdaki gibi çıkarılmıştır.

$$(1) \text{ noktası için, Eksende : } Hd = -0.43 + 0.67 D \quad (4.13)$$

$$\text{Menbaada: } Hd = -0.70 + 0.68 D \quad (4.14)$$

$$\text{Mansapda: } Hd = -0.96 + 0.65 D \quad (4.15)$$

$$(2) \text{ noktası için, Eksende : } Hd = 0.38 + 0.59 D \quad (4.16)$$

$$\text{Menbaada: } Hd = 0.30 + 0.51 D \quad (4.17)$$

$$\text{Mansapda: } Hd = 0.25 + 0.38 D \quad (4.18)$$

$$(3) \text{ noktası için, Eksende : } Hd = 1.22 + 0.48 D \quad (4.19)$$

$$\text{Menbaada: } Hd = 0.80 + 0.50 D \quad (4.20)$$

$$\text{Mansapda: } Hd = 0.75 + 0.46 D \quad (4.21)$$

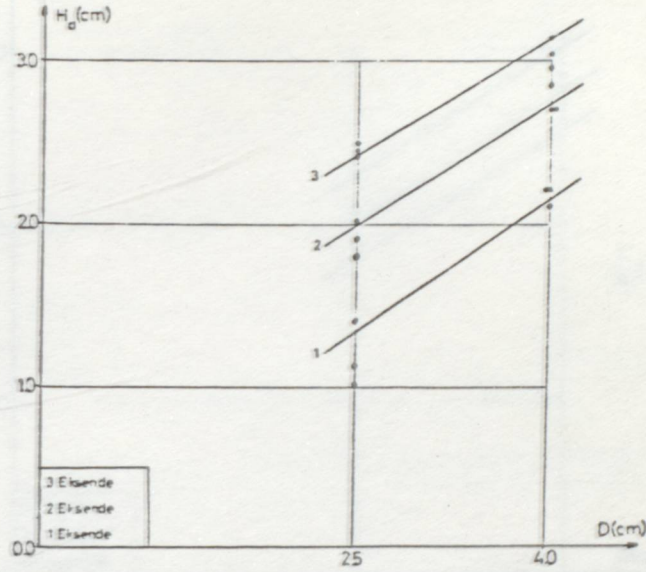
Yukarıda verilen bu denklemler 3 ayrı noktada maksimum oyulmaların olduğu eksen bölgesi için şu şekilde genelleştirilmiştir.

$$1. \text{ noktası için : } Hd_{\max} = 0,50 D \quad (4.22)$$

$$2. \text{ noktası için : } Hd_{\max} = 0,70 D \quad (4.23)$$

$$3. \text{ noktası için : } Hd_{\max} = 0,90 D \quad (4.24)$$

Yatayla sağa doğru 30° 'lik açı yapan kare kesitli engel için maksimum oyulma derinliğine ait eksen grafikleri Şekil (4.16)'da 1,2 ve 3 noktaları için birleştirilerek verilmiştir.



Şekil 4.16- Zemin üzerine yatayla sağa doğru 30° 'lik açı yapan kare kesitli borunun maksimum oyulma derinlikleri.

4- Eksenin 2 noktasındaki maksimum oyulma 1 noktasına oranla %40 fazla, 3 noktasına göre de %25 daha az olmaktadır.

5- Engelin önünde ve arkasında, meydana gelen oyulma yatay boylarının boru çapına oranları şu şekilde ifade edilebilir:

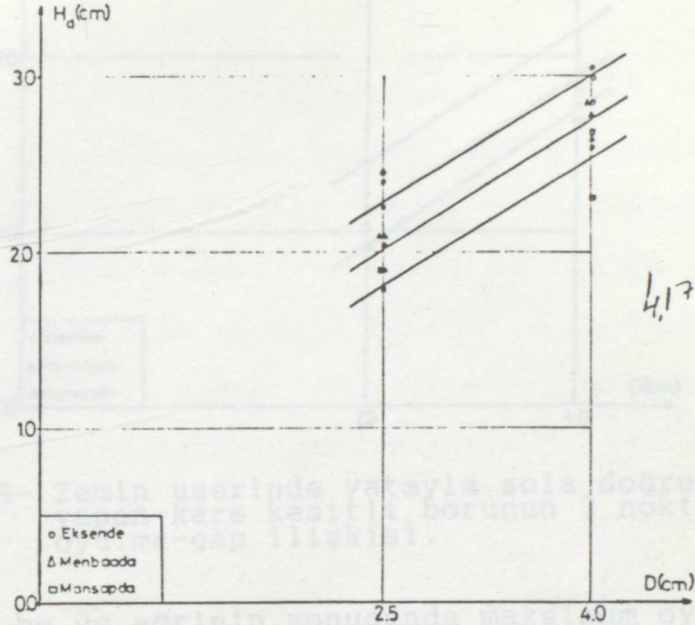
$$\text{Menbaada} : 0.80 < a/D < 1.20$$

$$\text{Mansapda} : 1.20 < a/D < 2.00$$

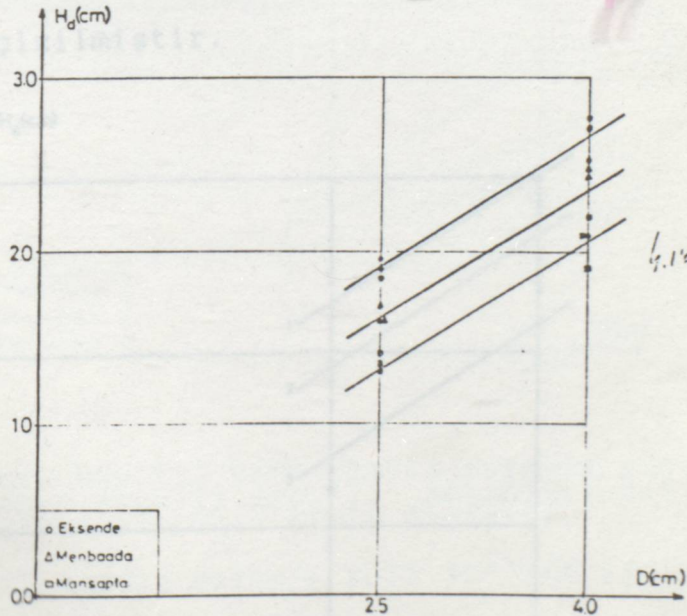
Yatayla sola doğru 30° 'lik açı yapan çubuğun Şekil (4.12.2)'de gösterilen 3 ayrı noktasında meydana gelen oyulma analizleri, sağa doğru 30° 'lik açı yapması haline ait sonuçlarla büyük benzerlik göstermektedir.

Ancak bu hal için oluşan maksimum oyulma değerleri 1 noktasında gözlenmiştir. Bu değerler 30° sağa açı yapan engelin 3 noktasındaki oyulma değerlerine tekabül etmektedir. 2 noktası her ikisinde de yaklaşık olarak ayrı değerleri almaktadır.

Şekil (4.12.2)'de 1,2 ve 3 noktalarındaki oyulma derinlikleri de Tablo (5.5)'e bağlı olarak herbir nokta için Şekil (4.17)(4.18) ve (4.19)'de çizilmiştir.

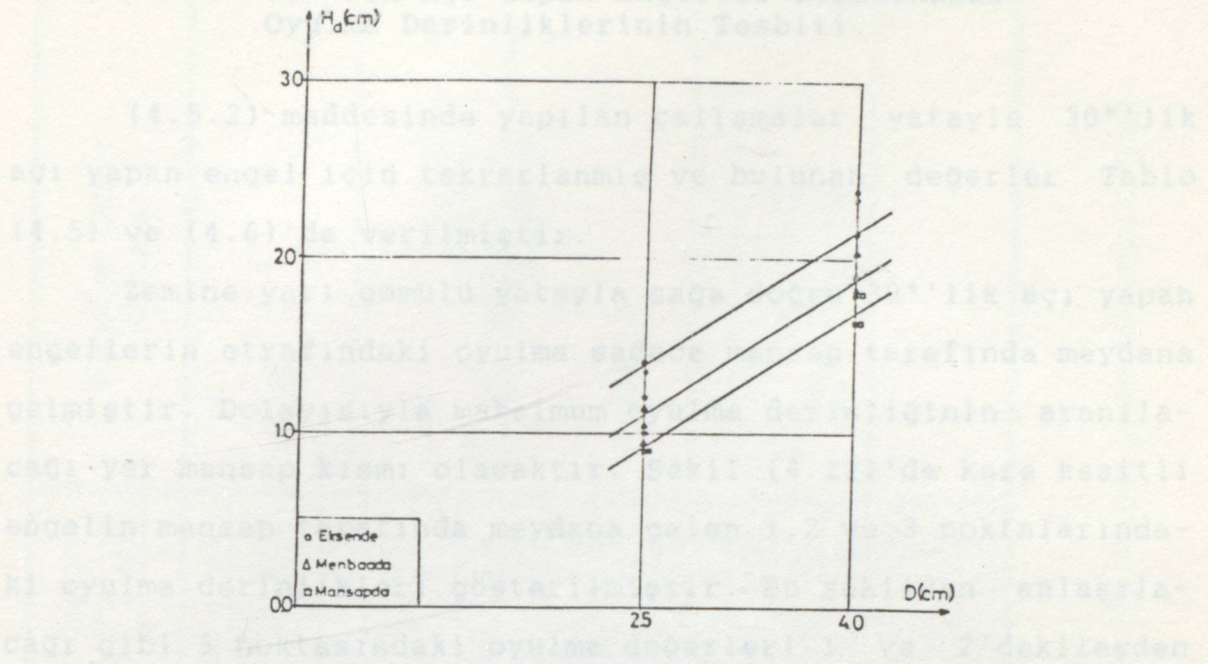


Şekil 4.17- Zemin üzerinde yatayla sola doğru 30° açı yapan kare kesitli borunun 1 noktasındaki oyulma-çap ilişkisi.

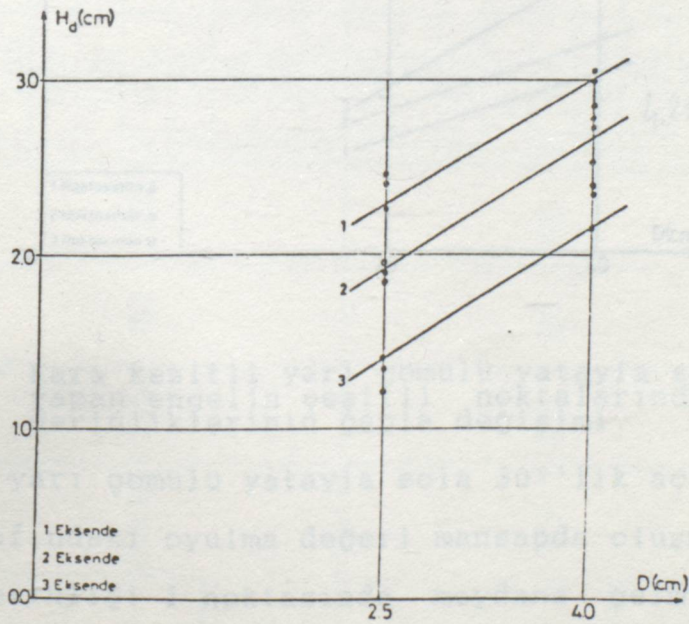


Şekil 4.18- Zemin üzerinde yatayla sola doğru 30° açı yapan kare kesitli borunun 2 noktasındaki oyulma-çap ilişkisi.

4.5.4. Zemin Yarı Gömülü ve Akış Yönüne Yatayla
30°'lik Açı Yapan Engeliler Strafindaki
Oyulma Derinliklerinin Tesbiti.



Çizilen bu üç eğrinin sonucunda maksimum oyulma derinliği yine eksen üzerinde olduğu belirlenmiş ve eksen üzerindeki üç nokta için ayrı ayrı maksimum oyulma derinlikleri Şekil (4.20)'de çizilmiştir.

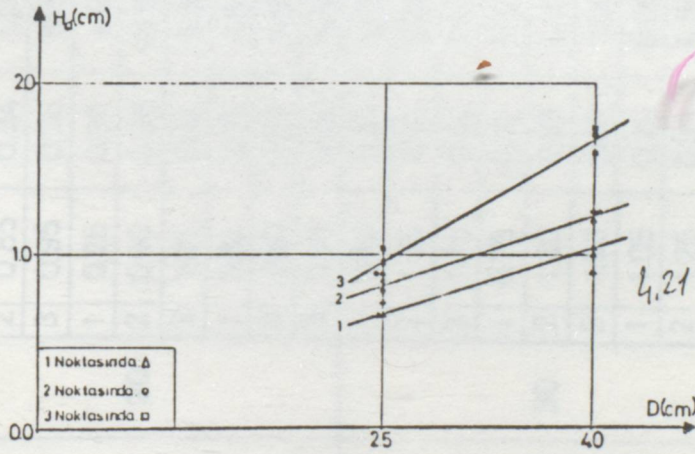


Şekil 4.20- Zemin üzerinde yatayla sola doğru 30° açı yapan kare kesitli borunun maksimum oyulma derinlikleri.

4.5.4. Zemine Yarı Gömülü ve Akış Yönüne Yatayla 30°'lik Açı Yapan Engeller Etrafındaki Oyulma Derinliklerinin Tesbiti.

(4.5.2) maddesinde yapılan çalışmalar yatayla 30°'lik açı yapan engel için tekrarlanmış ve bulunan değerler Tablo (4.5) ve (4.6)'da verilmiştir.

Zemine yarı gömülü yatayla sağa doğru 30°'lik açı yapan engellerin etrafındaki oyulma sadece mansap tarafında meydana gelmiştir. Dolayısıyla maksimum oyulma derinliğinin aranacağı yer mansap kısmı olacaktır. Şekil (4.21)'de kare kesitli engelin mansap tarafında meydana gelen 1,2 ve 3 noktalarındaki oyulma derinlikleri gösterilmiştir. Bu şekilden anlaşılacağı gibi 3 noktasındaki oyulma değerleri 1 ve 2'dekilerden oldukça büyük değerler almıştır.



Şekil 4.21- Kare kesitli yarı gömülü yatayla sağa 30° açı yapan engelin çeşitli noktalarındaki oyulma derinliklerinin çapla değişimi.

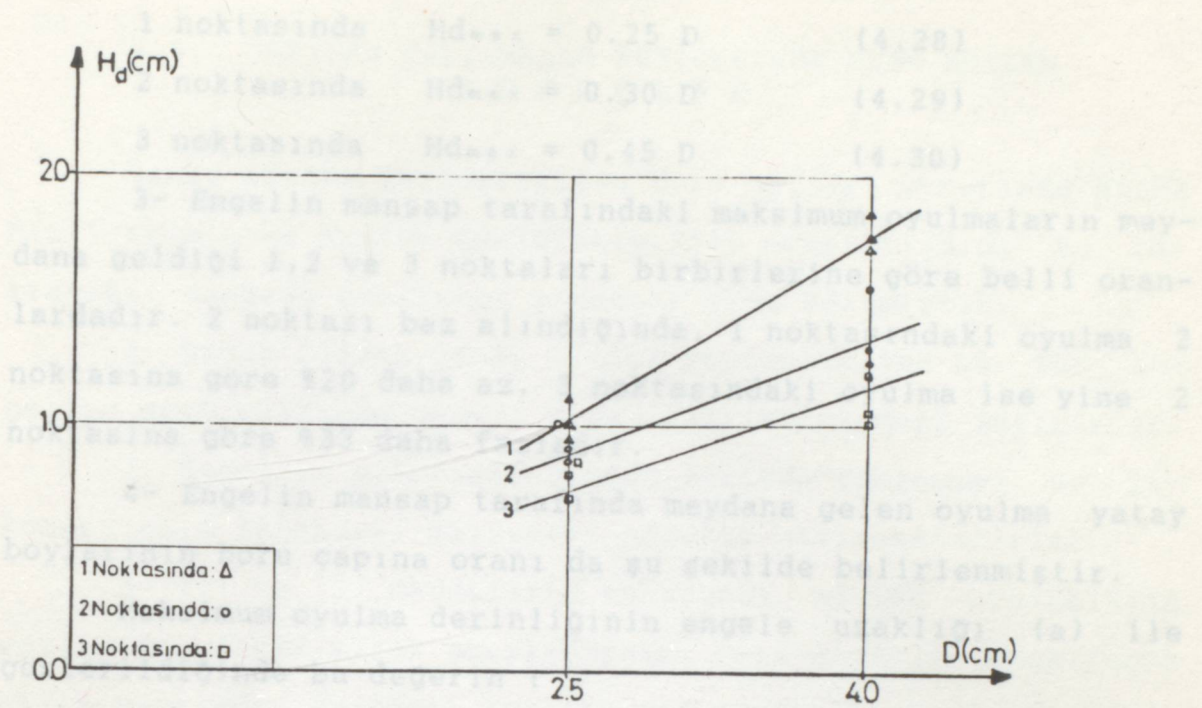
Zemine yarı gömülü yatayla sola 30°'lik açı yapan engellerin etrafındaki oyulma değeri mansapta oluşmuş ve maksimum oyulma derinliği 1 noktasında meydana gelmiştir. Şekil (4.22)'de kare kesitli engelin mansap tarafında meydana gelen 1,2 ve 3 noktalarındaki oyulma derinlikleri gösterilmiştir.

Deneysel No	Boru Çapı (D) (cm)	Hız (u) (cm/s)	Su Yük (h) (cm)	Engel Açısı (α) (°)	KESİTİM	Oyulma Düşey Boyları		Oyulma Yatay Boyları			Engel ve Zemin Durumu
						H_d (cm)	H_d/D	a (cm)	a/D	a' (cm)	
-	-	-	-	-	KESİTİM	-	-	-	-	-	
1	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.065	0.26	4.00	1.60	8.50	
2	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.85	0.34	5.00	2.00	11.00	4.40
3	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.95	0.38	5.50	2.20	13.00	5.20
4	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.75	0.30	4.00	1.60	8.00	3.20
5	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.90	0.36	5.50	2.20	11.00	4.40
6	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.05	0.42	5.50	2.20	13.50	5.40
7	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.65	0.26	4.50	1.80	8.50	3.40
8	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.80	0.32	5.50	2.20	11.50	4.60
9	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.90	0.36	5.50	2.20	13.50	5.40
10	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.90	0.22	5.00	1.25	9.50	2.38
11	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.25	0.31	6.00	1.50	12.50	3.12
12	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.75	0.44	7.50	1.88	15.00	3.75
13	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	0.75	0.19	5.00	1.25	9.50	2.38
14	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.20	0.30	6.00	1.50	14.00	3.50
15	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.60	0.40	7.00	1.75	14.50	3.62
16	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.05	0.26	5.00	1.25	9.00	2.25
17	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.25	0.31	6.50	1.62	13.50	3.38
18	25x25	13.5	6.7	30	PLÂN	1.70	0.42	7.50	1.88	15.50	3.88

Tablo 4.5. Yarı gömülü boruların, suyun akışına 30°'lik açı yapması (sağa doğru) durumunda oyulma değerleri.

Deneç No	Boru Çapı (D) (cm)	Hız (u) (cm/s)	Su Yük (h) (cm)	Engel Açısı (α°)	Ölçüm Yeri	Oyulma Düşey Boyları		Oyulma Yatay Boyları				Engel ve Zemin Durumu
						H_d (cm)	H_d/D	a (cm)	a/D	a' (cm)	a'/D	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1					1	1.10	0.44	5.70	2.28	13.00	5.20	
					2	1.00	0.40	4.50	1.80	11.00	4.40	
					3	0.80	0.32	3.70	1.48	8.00	3.20	
2	25x25	13.5	6.7	30	1	0.95	0.38	5.50	2.20	13.50	5.40	
					2	0.85	0.34	5.00	2.00	10.50	4.20	
					3	0.70	0.28	4.00	1.60	8.00	3.20	
3					1	1.00	0.40	5.50	2.20	13.50	5.40	
					2	0.90	0.36	5.00	2.00	11.50	4.60	
					3	0.85	0.34	4.00	1.60	8.50	3.40	
4					1	1.85	0.46	7.00	1.75	15.50	3.88	
					2	1.55	0.39	6.00	1.50	14.00	3.50	
					3	1.20	0.30	5.50	1.38	10.50	2.62	
5	4x4	13.5	6.7	30	1	1.70	0.42	7.00	1.75	15.00	3.75	
					2	1.30	0.32	5.50	1.38	13.00	3.25	
					3	1.05	0.26	5.00	1.25	10.50	2.62	
6					1	1.75	0.44	6.50	1.62	15.00	3.75	
					2	1.25	0.31	5.50	1.38	13.50	3.38	
					3	1.00	0.25	5.00	1.25	10.00	2.50	

Tablo 4.6. Yarı gömülü boruların suyun akışına 30° lik açı yapması (sağa doğru) durumunda oyulma değerleri.



Şekil 4.22- Kare kesitli yarı gömülü yatayla sola doğru 30° açı yapan engelin çeşitli noktalarındaki oyulma derinliklerinin çapla değişimi.

Yatayla sağa doğru 30°'lik açı yapan yarı gömülü engelin Şekil (4.21)'de gösterilen grafiğindeki değerlere ait sonuçlar şöyle özetlenebilir.

1- 2,5x2,5 ve 4x4 ebadlarındaki kesitlerde yapılan deneylerde maksimum oyulma engelin mansap tarafında geldiği tesbit edilmiştir.

2- Engelin 3 noktası içinde ayrı ayrı mansaba ait grafikler Şekil (4.21)'de çizilerek herbirine ait amprik denklemler aşağıda çıkarılmıştır.

$$1 \text{ noktası için } H_d = 0.03 + 0.26 D \quad (4.25)$$

$$2 \text{ noktası için } H_d = 0.12 + 0.27 D \quad (4.26)$$

$$3 \text{ noktası için } H_d = -0.23 + 0.47 D \quad (4.27)$$

Yukarıda verilen bu denklemlere ait maksimum oyulma değerleri çapa bağlı olarak mansap bölgesi için şu şekilde genelleştirilebilir.

$$1 \text{ noktasında } Hd_{max} = 0.25 D \quad (4.28)$$

$$2 \text{ noktasında } Hd_{max} = 0.30 D \quad (4.29)$$

$$3 \text{ noktasında } Hd_{max} = 0.45 D \quad (4.30)$$

3- Engelin mansap tarafındaki maksimum oyulmaların meydana geldiği 1,2 ve 3 noktaları birbirlerine göre belli oranlardadır. 2 noktası baz alındığında, 1 noktasındaki oyulma 2 noktasına göre %20 daha az, 3 noktasındaki oyulma ise yine 2 noktasına göre %33 daha fazladır.

4- Engelin mansap tarafında meydana gelen oyulma yatay boylarının boru çapına oranı da şu şekilde belirlenmiştir.

Maksimum oyulma derinliğinin engele uzaklığı (a) ile gösterildiğinde bu değerler :

$$1.25 D < a < 2.20 D$$

değerleri arasında değiştiği görülmüştür.

Oyulma nihai noktasının engele uzaklığı (a') ile gösterildiğinde bu değerinde,

$$2.25 D < a' < 5.40 D$$

Burada tesbit edilen yatay boyların (a ve a') minimum değerleri, suyun engele en yakın noktası olan 1 noktasında, maksimum değerleri de en uzak nokta olan 3 noktasında meydana gelmektedir.

Yatayla 30° sola açı yapan yarı gömülü engelin 3 ayrı noktasında ölçülen oyulma miktarları, sağa doğru 30° açı yapması haline ait sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Ancak bu hal için oluşan maksimum oyulma değerleri 1 noktasında gözlenmiştir. Bu değerler diğer duruma ait engelin 3 noktasındaki oyulma değerlerine benzerdir.

Yatay Üzerinde 90° Kara Kesitte

30° Kara Kesitte

Mansapta 1 D

Mansapta 2 D

Mansapta 1 D

Mansapta 1.25 D

Mansapta 0.8 D-1.2 D

Mansapta 1.2 D-2.0 D

4.6. YAPILAN ÇALIŞMALAR NETİCESİNDE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Deniz altına yerleştirilen boru hatları etrafında düşük hızlı akımlarda oyulma derinliklerinin araştırıldığı bu çalışmada, aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

1- Deniz altına yatay olarak yerleştirilen bu tür engeller akım alanında önemli değişiklikler meydana getirirler.

2- Engeller etrafında oluşan vorteks sistemler ve sekonder akım tabandaki malzemeyi hareket ettirmektedirler.

3- (1) ve (2) maddelerin sonucunda oluşan oyulmaların maksimumu, engel yatak üzerindeyken, kare kesitli engellerde eksen üzerinde, dairesel kesitte ise mansap kısmında oluşmuştur.

4- Dairesel ve Kare kesitli engellerin zemine yarı gömülü olması halinde maksimum oyulmanın meydana geldiği bölgenin mansab bölgesi olduğu tesbit edilmiştir. Yarı gömülü halde meydana gelen oyulma engele mansap yönünde uzak, engelin zemin üzerinde olması halinde ise oyulma engele yakın olan mansap kısmında meydana gelmiştir.

5- Kare kesitli ve akış yönüne 30° açı yapacak şekilde yerleştirilen engellerin yarı gömülü olması halinde maksimum oyulmanın mansab bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Aynı pozisyondaki engelin zemin üzerinde olması halinde maksimum oyulmanın, eksen bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

6- Oyulma derinliklerinin yatay boyları :

Yatak Üzerinde	[90° Dairesel Kesitte	[Menbaada 1 D
				Mansabda 2 D
		90° Kare Kesitte	[Menbaada 1 D
				Mansabda 1,25 D
		30° Kare Kesitte	[Menbaada 0,8 D-1,2 D
				Mansabda 1,2 D-2.0 D

Yarı Gömülü Halde	[90° Dairesel Kesitte 1,60 D
		90° Kare Kesitte 2.0 D
		30° Kare Kesitte 1,25-2.20 D

7- Yukarıda bahsedilen maksimum oyulma derinliklerinin matematiksel değerleri.

Yatak Üzerinde	[90° Dairesel Kesitte $H_{max} = 0,65 D$
		90° Kare Kesitte $H_{max} = 0,80 D$
		30° Kare Kesitte $H_{max} = 0,90 D$

Yarı Gömülü Halde	[90° Dairesel Kesitte $H_{max} = 0,35 D$
		90° Kare Kesitte $H_{max} = 0,40 D$
		30° Kare Kesitte $H_{max} = 0,45 D$

8- Engel geometrisinde ve pozisyonundaki değişim maksimum oyulma derinliğine etki etmektedir. Bu etki 30° derecelik açı değişiminde, maksimum oyulma derinliği, her iki durumda da 90°'liğe nazaran %10-15 arasında fazlalık göstermektedir.

9- Engelin akım yönüne 30°'lik açı ile yerleştirilmesi haline ait her iki durumda da engelin su ile ilk temas ettiği bölgede maksimum oyulma değerleri, en son temas noktasına nazaran daha küçük olmaktadır.

10- Yapılan çalışmaların ışığında daha sonra yine aynı konu üzerinde çalışıldığı takdirde, dalga hareketinin boru hatlarına oyulma yönünden etkisi incelenebilir. Ayrıca denize deşarj borularının uç kısmındaki oyulmalar üzerinde çeşitli çalışmalar yapılabilir.

K A Y N A K L A R

- 1- ÜÇ, S. (1979); "Akarsu Kıvrımlarındaki Köprü Ayakları Etrafında Oluşan Yerel Oyulmalar", Doçentlik Tezi, İ.D.M.M.A.
- 2- KJELDEN, S.P., GJÖRSVIK, O., BRINGAKER, K.G. (1974); "Experiments With Local Scour Around Submarine Pipelines in a Uniform Current", River and Harbour Laboratory at the Technical University of Norway, Oppdrag No:600849.
- 3- HYDRAULICS RESEARCH STATION WALLINGFORD, (1973); "A study of Scour Around Submarine Pipelines", Hydraulics Research Station, Wallingford, Berkshire, Report No.INT.113.
- 4- CARSTENS, M.R.(1966); "Smilarity Laws for Localized Scour" Journal of the Hydraulics Division, A.S.C.E., Vol.92, No.Hy3, pp.13-36.
- 5- YAZGAN, S.M. (1983), "Akarsulara Yatay Olarak Yerleştirilen Boru Hatları ve Tüneller Etrafındaki Yerel Oyulmalar", Master Tezi, Yıldız Üniversitesi.
- 6- ÜÇ, S. (1988); "Vorteks Yayılma Frekansının Oyulma Derinliğine Etkisi" Doktora Tezi, Yıldız Üniversitesi, İst.
- 7- LAURSEN, E.M.(1963); "An Analysis of Relief Bridge Scour", Proc. A.S.C.E., HY3, p.3516.
- 8- ROSKHO, A. (1961); "Experiment on the Flow Past a Circular Cylindir at a very High Reynolds Number", A.S.C.E.

- 9- HJORTH, P. (1975); "Studies on the Nature of Local Scour"
Lund.
- 10- CARTENS, T. SHARMA, H.R. (1975); "Local Scour Around Large
Obstructions", Proc. I.A.H.R.
- 11- BATCHELOR, G.K. (1967); "An Introduction to Fluid Dina-
mics Tercüme: ERDOĞAN, E. (1972), İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı
873.
- 12- SHEN; H.W., SCHNEIDER; V.R.; KAZAKI; S.S. (1966): Mecha-
nics of Local Scour", Fort Collin, Colorado.
- 13- BAYAZIT, M. (1971): "Hareketli Tabanlı Akımların Hidroli-
ği", İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 835.
- 14- SHIELDS, A. (1936): "Adwendung der Aehnlichkeitsmechanih
und Turbulenz forschung auf die Geschiebebewegung" Berlin
- 15- QUESNOT, C. (1970): "Affovillement Autour des Piles de
Ponts Cylindriques Circulaires", 1., n.h. Chatau, Paris.
- 16- RAWN, A.M., BOVERMAN, F.R. (1959): "Factors Influencing
and Limiting the Location of Sewer Ocean Outfalls", First
Conferance on Coastal Engineering, Proc. Long Beach,
California.
- 17- YÜKSEL, Y. (1987): "Dairesel Köprü Ayakları Etrafındaki
Maksimum Oyulmanın 180°'lik Akarsu Kıvrımı Boyunca Deği-
şiminin Araştırılması", Doktora Tezi, Yıldız Ün. İst.



Ö Z G E Ç M İ Ş

Şükrü Ayhan GAZIOĞLU, 9-09-1965'de Tokat'da doğmuş, orta öğrenimini 1982-83 öğretim yılında Tokat Gazi Osman Paşa Lisesi'nde tamamlamıştır. 1983-84 yılında Yıldız Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başlayıp 1987-88 öğretim yılında mezun olmuştur. 1988-89 yılında yine aynı Üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı Çevre Programında Lisans Üstü öğrenimine başlamıştır. 1989 yılının mart ayından itibaren de aynı bölümde Araştırma Görevliliği görevini sürdürmektedir.

