

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında destek ve yardımlarını esirgemeyen, zamanın çoğunu bana ayıran değerli danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Şevket Çokgör'e ve eşi Sn. Doç. Dr. Emine Çokgör'e göstermiş olduğu özveriden dolayı teşekkür ederim. Çalışmam sırasında manevi ve maddi desteklerini esirgemeyen annem Gülfinaz, babam Ahmet, ablam Hatice, abim Engin, kardeşim İsrail Albayrak'a özellikle teşekkür ederim. İ.T.Ü. Hidrolik Anabilimdalı'ndaki ve İ.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma, araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmamda, tez yazmamda bana gece-gündüz yardım eden çok sevdiğim arkadaşım Yüksek Kimyager Atilla Taşdelen'ne, aynı şekilde İşletmeci M.Tarik Eroğlu'na, Elektrik Müh. Emre Başak'a, İnş. Müh. Abdullah Fettahoğlu'na, Engin Bilgili'ye ayrıca teşekkür ederim. Yapmış olduğum çalışmanın, ileride yapacağım araştırmalar için önemli bir referans ve başlangıç noktası olacağını umar, saygılarımı sunarım.

Haziran, 2003

İsmail ALBAYRAK

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. AKARSULARDA TABAN MALZEMESİ HAREKETİNİN BAŞLAMASI	2
2.1 İki Fazlı Akımın Boyutsuz İfadesi	4
2.2 Hareketin Başlangıcı İçin Kritik Durum (Shields Diyagramı)	6
3. KORUMA TABAKASI	7
3.1 Koruma Tabakası İle Yatak Malzemesi Arasındaki Etkileşim	10
4. DENEY DÜZENEGİ	13
4.1. Deneylerde Kullanılan Tesis ve Malzemeler	13
4.2. Yapılan Deneyler	15
4.2.1 Hız ölçümleri	15
4.2.2 Akım görselleştirme deneyleri ve tek tanecik deneyleri	16
4.2.3 Sediment yatağı deneyleri	18
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	20
5.1 Deney Koşulları	20
5.2 Hız Ölçümleri	22
5.3 Sedimentin Taşlar Arasından Emilmesi	30
5.4 Sedimentin Emilmesinin Başlangıcı	34
5.5 Sediment Yatağı Deneyleri	38
6. SONUÇ VE YORUMLAR	50
KAYNAKLAR	51
EKLER	53
ÖZGEÇMİŞ	60

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Table 4.1 Sediment yatağı deneyleri.....	19
Table 5.1 Tek tanecik deneyleri sonuçları.....	21

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Akarsu tabanındaki bir taneciğin hareketine neden olan hidrodinamik kuvvetler ve harekete karşı kuvvetler.....	3
Şekil 2.2 : Hareketin başlamasına etkiyen parametreler.....	4
Şekil 2.3 : Şekil 2.3 Shields Diyagramı (tabanın alacağı şekillerde diyagramda gösterilmiştir).....	6
Şekil 3.1 : Oyulmaya karşı oluşturulmuş koruma tabakası. Sakura Köprüsü(Kino Nehri).....	8
Şekil 3.2 : Oyulmaya karşı oluşturulmuş koruma tabakası (Riprap). Melville ve Coleman(2000).....	8
Şekil 3.3 : İki farklı köprü ayağı için koruma tabakası tasarımı önerileri (d_{50} koruma tabakasını oluşturan taşların %50'sinin geçebileceği tanecik çapıdır).....	9
Şekil 3.4 : Danimarka'daki Western Köprüsü'nün ayakları için yapılan koruma tabakası.....	9
Şekil 3.5 : Koruma blokları altından sedimentlerin emilmesi.....	10
Şekil 3.6 : Koruma çapının belirlenmesi için kullanılan dizayn eğrisi ve ampirik bağıntı.....	12
Şekil 4.1 : Deney kanalı.....	14
Şekil 4.2 : Deneyde koruma tabakası olarak kullanılan taşlar.....	15
Şekil 4.3 : Taşlar üzerinde yapılan hız ölçüm noktaları.....	15
Şekil 4.4 : ADV Akustik noktasal hız ölçer (NORTEK 10Mhz).	16
Şekil 4.5 : $D=3.7\text{cm}$ 'lik dört adet taştan oluşturulmuş deney düzeneği	16
Şekil 4.6 : Taş düzeneği ve video kameranın yatağa yerleştirilmiş hali.....	17
Şekil 4.7 : Tek tanecik deneyi düzeneği.....	18
Şekil 5.1 : Logaritmik hız profili (Deney 11,Tablo1).....	22
Şekil 5.2a,b ve c : Zamansal ve uzaysal ortalamadan elde edilen türbülans büyüklüklerinin derinlikle değişimi.....	24
Şekil 5.2 devamı : Zamansal ve uzaysal ortalamadan elde edilen türbülans büyüklüklerinin derinlikle değişimi.....	25
Şekil 5.3 a,b,c ve d : Taban yakınında ortalama akım hızı ve türbülans büyüklükleri	26
Şekil 5.3 devamı : Taban yakınında ortalama akım hızı ve türbülans büyüklükleri	27

Şekil 5.4	: Üzerinde ölçüm yapılan 64 noktanın taşlar üzerinde gösterimi	27
Şekil 5.5	: $\bar{u}$ Ortalama hız dağılımı.....	28
Şekil 5.6	: $\bar{w}$ Ortalama hız dağılımı.....	28
Şekil 5.7	: $\sqrt{u'^2} / U_f$ Dağılımı.....	29
Şekil 5.8	: $\sqrt{w'^2} / U_f$ Dağılımı.....	29
Şekil 5.9	: $\sqrt{\frac{< -u' w' >}{U_f^2}}$ Dağılımı.....	30
Şekil 5.10	: Taneciğin koruma tabakasını oluşturan taşlar arasından emilmesi.....	31
Şekil 5.10 devamı	: Taneciğin koruma tabakasını oluşturan taşlar arasından emilmesi.....	32
Şekil 5.11	: Kumların taşlar arasından emilmesi.....	32
Şekil 5.12	: Taşlar arasındaki boşlukta ölçülmüş akımın üç yöndeki bileşenlerinin zaman serisi.....	34
Şekil 5.13 a ve b	: Shields parametresinin, sedimentin koruma tabakası altında hareketi (A eğrisi) ve koruma tabakası altından emilmesi (B eğrisi) kritik durumlarında d/D ile değişimi.....	36
Şekil 5.14	: Sunulan çalışmada elde edilen Shields değerleri ile d/D arasındaki grafik gösterilmiştir.....	37
Şekil 5.15	: Deneysel verilerle literatür (Sumer ve diğ.(2001)) değerlerinin kritik emilme durumunda karşılaştırılması.....	37
Şekil 5.16	: D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 1 no'lu deney sonucu.....	39
Şekil 5.17	: D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 2 no'lu deney sonucu	39
Şekil 5.18	: D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 3 no'lu deney sonucu	40
Şekil 5.19	: D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 4 no'lu deney sonucu	40
Şekil 5.20	: D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 5 no'lu deney sonucu	41
Şekil 5.21	: D = 2.82 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 6 no'lu deney sonucu.....	41
Şekil 5.22	: D = 2.82 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 7 no'lu deney sonucu.....	42
Şekil 5.23	: D = 2.82 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 8 no'lu deney sonucu.....	42
Şekil 5.24	: 2. Deneyin başlangıç durumunda koruma tabakası yerleştirilmeden önce yatak malzemesinin plan görünüşü.....	43
Şekil 5.25	: 2. Deneyin başlangıç durumunda koruma tabakası yerleştirildikten sonra yatak malzemesinin plan görünüşü.....	43
Şekil 5.26	: 2. Deneyin son durumda koruma tabakası altında yatak malzemesinin plan görünüşü.....	44
Şekil 5.27	: 2. Deneyin son durumda koruma tabakası kaldırıldıktan sonra yatak malzemesinin plan görünüşü.....	44
Şekil 5.28	: 2. Deneyin başlangıç ve son durumdaki yatak malzemesinin karşılaştırmalı plan görünüşü.....	45
Şekil 5.29	: 2. Deneyin son durumdaki koruma tabakası altındaki yatak malzemesinin yakından görünüşü.....	45

Şekil 5.30	: 3. Deneyin başlangıç durumunda koruma tabakası yerleştirilmeden önce yatak malzemesinin plan görünüşü.....	46
Şekil 5.31	: 3. Deneyin başlangıç durumunda koruma tabakası yerleştirildikten sonra yatak malzemesinin plan görünüşü.....	46
Şekil 5.32	: 3. Deneyin son durumdaki koruma tabakası altındaki yatak malzemesinin plan görünüşü.....	46
Şekil 5.33	: 3. Deneyin son durumda koruma tabakası kaldırıldıktan sonra yatak malzemesinin plan görünüşü.....	47
Şekil 5.34	: 3. Deneyin başlangıç ve son durumdaki yatak malzemesinin karşılaştırmalı plan görünüşü.....	47
Şekil 5.35	: Deney 2’de ölçülen oturma miktarının zamanla değişimi.....	49

SEMBOL LİSTESİ

D	: Ortalama koruma tabakası çapı
d	: Ortalama sediment çapı
e	: Taşlar arasından sedimentin emilmesi sonucu taşların yatak içerisine emilme derinliği
k_s	: Nikuradse denk kum pürüzlülüğü katsayısı
L	: İki komşu taş arasındaki mesafe
t	: zaman (sn)
U_f	: Kayma hızı
u,w	: Akım yönünde ve akım yönüne dik hızlar
u',w'	: Akım yönünde ve akım yönüne dik hızların çalkantı bileşenleri
y	: Teorik yataktan olan mesafe
θ	: Sediment çapına bağlı Shields parametresi
θ_{su}	: Taşlar arasından sedimentin emilmeye başlaması için, Shields parametresinin kritik değeri
κ	: Von Karman katsayısı
v	: Kinematik viskozite
-	: Zamansal ortalama
<>	: Uzaysal ortalama
s	: Tanecik özgül kütlelerinin akışkanın (akarsuyun) özgül külesine oranı
ρ_s	: Taneciğin özgül kütlesi
ρ	: Akışkanın özgül kütlesi (akarsuyun)
h	: Su derinliği

ÜNİFORM OLMAYAN TABAN MALZEMESİNDE KORUMA BLOKLARI ALTINDAN SEDİMENTİN EMİLMESİ

ÖZET

Akarsu tabanındaki oyulmaya karşı koruma için en geniş kullanıma sahip metotlardan biri, kum veya çakıl gibi taban malzemeleri üzerine kayaların dökülerek kaya tabakası oluşturulmasıdır. Böyle bir kaya tabakası (koruma tabakası) düzgün bir akımın etkisi altında kaldığında, korumanın altında kalan sediment tanecikleri akım türbülansı tarafından çalkalanmaya başlayacaktır. Akım türbülansı belli bir kritik değeri aştığında, tanecikler koruma blokları arasından emilecektir. Bu durum koruma bloklarının batmasına neden olacaktır. Koruma blokları, blokların batmasının ve taban malzemesinin emilmesinin en aza indirilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Koruma tabakası ile taban sediment malzemesi arasındaki etkileşim pek çok önemli araştırmanın konusu olmuştur. Raudkivi ve Ettema (1982) , koruma tabasının kendisinin stabilitesi üzerine araştırma yapmıştır. Daha sonraki çalışmalarında, Raudkivi and Ettema (1985) koruma tabakalı sediment tabanı içerisindeki bir silindir köprü ayağı etrafındaki oyulma üzerine çalışma yapmışlardır. Worman (1989) köprü ayağı etrafında oyulmaya karşı kullanılan koruma tabakası altından taban malzemesinin erozyona başlaması üzerine çalışma yapmıştır. Sonradan, Worman (1992) farklı oranlarda koruma tabakası ile örtülü taban malzemesinin harekete başlangıcı ile ilgili araştırma yapmıştır. Sumer et al.(2001) farklı oranlarda koruma tabakası ile örtülü taban malzemesinin emilmesi üzerine araştırma yapmıştır.

Sunulan çalışmada, koruma tabakası altındaki üniform olmayan malzemesinin emilmesi sunulmuştur. Deneyler 0.5 m genişlikte, 0.5 m derinlikte ve 12.35 m uzunluğunda bir su kanlında yapılmıştır. Kanalda kapalı devre su sirkülasyonu sağlanarak kararlı akım oluşturulmuştur. Kanalin 8 m'lik bir kısmında çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların yapıldığı 8 m'lik bölümün tam ortasında 75 cm uzunluğunda, 5 cm derinliğinde sediment kutusu oluşturulmuştur. Koruma tabakası olarak iki çeşit (çap ve şekil olarak) taş kullanılmıştır. Koruma tabakası altında üniform olmayan sediment için çapları 0,25mm ile 8mm arasında değişen kum ve çakıldan oluşan çeşitli granülometriye sahip karışımlar hazırlanmıştır. Deneylerin başlangıcında ve bitişinde, sediment çaplarının dağılımı belirlenmiştir. Başlangıç ve bitişteki taban malzemesi dağılımları arasındaki farklar belirlenmiştir. Taşlar arasına yerleştirilen su altı kamera ile sediment hareketi gözlemlenmiştir. Deneylerin ilk serisinde, akımın sediment üzerine etkisini anlamak için taban malzemesi olarak çeşitli çaplarda plastik tanecikler kullanılmıştır. Çünkü plastik taneciklerin ağırlıkları kum ve çakıldan daha küçüktür ve bundan dolayı daha küçük akım hızlarında emilmektedir ve aynı zamanda renkli oldukları için daha iyi bir akım görselleştirme ortamı sağlamaktadır. Taşlar arasındaki üç boyutlu ölçüm yapabilen akustik dopplerla hız ölçümleri yapılmıştır. Bütün derinlik boyunca akımın türbülans karakteristikleri ve Reynolds kayma gerilmesi gibi özellikleri akustic dopplerla belirlenmiştir. Deneylerden sonra, taşlar altından taban malzemesinin toplu hareketi gözlemlenmiştir.

ve taban malzemesinin üst kısmına elek analizi uygulanarak başlangıç durumu ile karşılaştırma yapılmıştır. Bütün farklı çaplardaki sedimentler için emilme durumu için kritik Shields parametreleri belirlenmiştir. Shields parametresi ve d/D oranı (sediment çapının koruma tabakası yüksekliğine oranı) arasındaki ilişkiyi veren grafikler çalışmada açıklanmıştır.

SUCTION REMOVAL OF SEDIMENT FROM BETWEEN ARMOUR BLOCKS AT NON-UNIFORM BED MATERIAL

SUMMARY

One of the methods widely used for scour protection is rock dumping on a bed material like sand or gravel. When such a rock layer (armor layer) is exposed to a steady current, sand underneath will be agitated by the flow turbulence. When the flow turbulence reaches values larger than a critical value, bed material sucked from between the armor blocks. This will cause the armor blocks to sink, leading to a general lowering of the armor layer. The armor blocks need to be designed such that the suction of bed materials and resulting sinking of the blocks is not very extensive.

The interaction between an armor layer and the base sediment bed has been subjected of a great many investigations. Raudkivi and Ettema (1982) focused on the stability of the armor layer itself. In a follow up study, Raudkivi and Ettema (1985) concentrated on a scour around a cylindrical bridge pier in a sediment bed with an armor layer of coarser sediment. Worman (1989) was concerned with the initiation of erosion of the base sediment bed underneath an armor layer used as a protection measure around a bridge pier. Subsequently, Worman (1992) has investigated the incipient motion of the base sediment covered by an armor layer with different coverage ratios. Sumer et al. (2001) studied suction of the base sediment covered by an armor layer with different coverage ratios.

In the present work suction of the non-uniform material under the armoring layer are presented. The experiments were carried out in a water flume 0.5 m wide 0.5 m wide and 18 m long. The current was achieved by recirculating water in the flume. Working section section of the flume was 6 m (stones were replaced that 6 m area). There was a sediment box 0.75 m long and 5 cm depth in the middle of the working section. Two different type (diameter and figure) stones were used for experiments to be armor layer. For the sediment under the armoring bed was prepared by mixed different diameters sand and gravel (between 0.2 mm sand to 8.5 mm gravel). Distribution of the sediment size was determined before and after the experiments and difference between initial and last bed material fractional distributions were determined. . Sediment motion was observed by using an underwater camera replaced between the stones. In the first sets; of the experiments, bed material was simulated by using different sizes plastic beads for understanding the flow effect on the sediment because their specific weight less than sand and gravel so they were sucked under the small velocities and also they had colorful this was given better visualization condition. Velocity measurements were realized by 3D acoustic Doppler between the stones and also all depth and flow properties like turbulence characteristic, Reynolds shear stress were determined by using it. After the experiments, segregation of the bed material was observed under the stones and compare with initial conditions and sieve

analysis was applied surface of the bed material. For critical flow condition which sediment was sucked from the between the armor blocks, Shields parameters were determined for all different sediment sizes. Designed graphics that shows relation between Shields and d/D (sediment diameter to armor layer height ratio) ratios also explain in the work.

1. GİRİŞ

Akarsu üst yapıları (köprü ayakları), akarsu alt yapıları (akarsu altından geçen borular) ve akarsu düzenleme yapıları (bağlama) gibi akarsu yapılarında akım-taban etkileşimi sonucunda oluşan sediment hareketi, yapının tabana oturduğu kısımlarda oyulmalara yol açacağından yapının stabilitesini etkilemektedir. Günümüzde yapı civarındaki oyulmalara karşı en sık kullanılan yöntem yapı etrafındaki tabana, akımın hareket ettiremeyeceği büyüklükteki taşların dökülerek yapı etrafına bir koruma tabakası oluşturulmasıdır.

Akım etkisinde kalan koruma tabakası zaman içerisinde gözlemlendiğinde, koruma tabakasını oluşturan taşların taban içerisine gömüldüğü, taşların altındaki ince yatak malzemesinin özellikle taşkın gibi ekstrem akım koşullarında koruma tabakası altından hareket ettiği ve/veya koruma tabakası dışına emildiği gözlenmiştir.

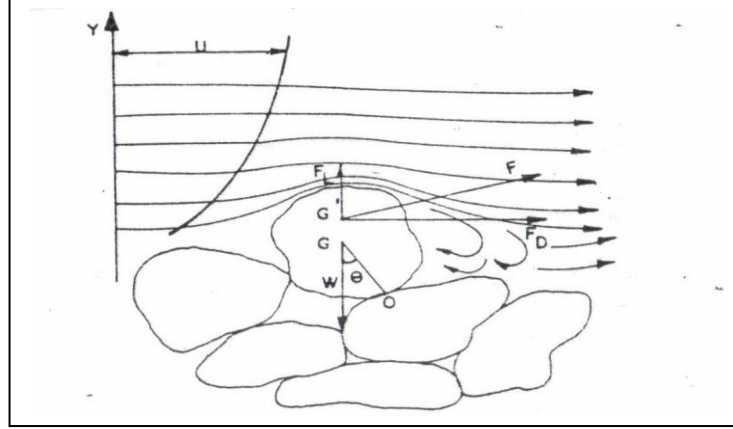
Koruma tabakasının güvenilir dizaynı için koruma tabakasının oluşturacağı yüksek pürüzlülük yakınında oluşacak hız dağılımı, türbülans karakteristikleri, türbülans toplam kayma gerilmeleri gibi akım şartları detaylı olarak belirlenmelidir. Bunun yanında koruma tabakasının oturduğu taban malzemesinin çap yada tabanda üniform olup olmaması gibi geometrik özellikler de koruma tabakasının işlevini gerçekleştirmesi açısından önemlidir.

Bu çalışmada akım-koruma tabakası-taban malzemesi etkileşimleri incelenerek, koruma malzemesinin dizaynı ve işlevini uzun süre sürdürebilmesi için önemli olan parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmada öncelikle koruma tabakasının meydana getirdiği yüksek pürüzlülük ortamında akım özellikleri belirlenmiş, tek tane deneyleri ile koruma tabakası altında taban malzemesinin hareketi ve akım ortamına emilmesi incelenmiş ve son olarak ta üniform olmayan sediment yatağının koruma tabakası altında ekstrem akım koşulları karşısındaki davranışı ve taban malzemesini granülometrisindeki değişim incelenmiştir.

2. AKARSULARDA TABAN MALZEMESİ HAREKETİNİN BAŞLAMASI

Açık kanal akımında, taban üzerindeki sediment taneciklerinin harekete başlaması, günümüze kadar pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Sediment taneciklerinin şekilleri, boyutları ve konumlarındaki düzensizliklerden ve akımın türbülans belirsizliklerinden dolayı, hareketin başlangıcının tanımlanması zordur. Tüm bunlara rağmen problemin çözümü, mühendislik yaklaşımı çerçevesinde büyük bir önem arz etmektedir ve problemin çözümü için teorik ve deneysel çalışmaların yapılmasını gerektirmektedir.

Belirli bir eğime sahip bir açık kanalda üniform, kohezyonsuz taban malzemesinin üzerindeki akım belirli bir kritik değere ulaşıncaya kadar taban malzemesinde hareket olmaz. Bu ana kadar oluşan akım şartlarında akım, buna bağlı olarak hareketsiz bir taban üzerinde hareket etmektedir diyebiliriz. Eğer debi ve taban üzerindeki kayma gerilmesi aşamalı bir şekilde artırılırsa taneciğe etkiyen hidrodinamik kuvvetlerin (Şekil 2.1) büyüklüğü de aşamalı olarak artacaktır. Kritik bir duruma ulaşıldıktan sonra, taneciklerin denge durumu bozulur ve hidrodinamik kuvvetlerden dolayı taneciklerin taban üzerinde rasgele hareketi gözlemlenir. Bu durum tanecik hareketinin kritik durumu olarak bilinir ve tanecik hareketinin başlangıcı (initiation of particle motion) olarak isimlendirilir. Bu durumda, taneciği hareket ettirmeye çalışan kuvvetler taneciğin harekete karşı koruyan kuvvetlerden daha büyüktür.



Şekil 2.1 Akarsu tabanındaki bir taneciğin hareketine neden olan hidrodinamik kuvvetler ve harekete karşı kuvvetler (F_D sürüklenme kuvveti, F_L kaldırma kuvveti ve W batmış ağırlık).

Doğada tanecik hareketini gözlemlenmesinin zorluğu sebebiyle, elde edebileceğimiz en güvenilir verilere laboratuvar deneylerinden ulaşılmaktadır. Zaman ve konum olarak rasgele özellikler gösteren taneciğin harekete başlangıcı ile ilgili laboratuvar deneylerinde, özen gösterilmeli ve teknolojik gelişmelerin beraberinde getirdiği ölçü ve akım izleme tekniklerinden geniş olarak yararlanılmalıdır. Tabanda yer alan bir tanecik üzerine etkiyen ve onu hareket ettirecek kuvvet, akım tarafından oluşturulduğundan akım ile ilgili parametreler ve bunun taban üzerindeki etkisi doğru ve detaylı açılmalıdır. Olayın gerek türbülans, gerekse tanecik şeklinin düzensizliği dolayısıyla taşıdığı rasgele davranışlar istatistiksel olarak da konunun incelenmesinin önemli olduğunu göstermektedir.

Günümüze kadar, taban malzemesinin harekete başlama durumunu formüle etmek için pek çok araştırmacı çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Hareketin başlaması ile ilgili ilk çalışmayı Brahms (2.1) yapmıştır :

$$V_{kritik} = k.W^{1/6} \quad (2.1)$$

k ampirik bir katsayı ve W taneciğin ağırlığıdır. Kramer tarafından taban malzemesinin hareketi için üç çeşit hareket tanımlanmıştır.

- 1) Zayıf Hareket : Akım yatağında yalnızca birkaç taneciğin hareketi.
- 2) Ortalama Hareket : Ortalama çapa sahip tanecikler harekete başlar. Hareket yerel bir karaktere sahip değildir. Hareket bütün taban üzerine yayılmıştır.

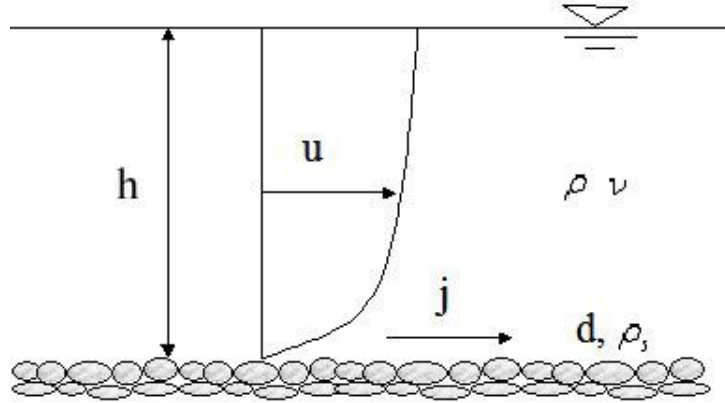
- 3) Genel Hareket : Taban malzemesi karışımındaki tüm tanecikler yatağın tüm bölümünde hareket halindedir.

Hareketin başlaması kriteri, gerek teorik yaklaşım kullanılarak veya deneysel yaklaşım kullanılarak tanımlanabilir.

2.1 İki Fazlı Akımın Boyutsuz İfadesi

Akarsularda Şekil 2.2’ de görülen, katı madde ve akışkandan meydana gelen iki fazlı akımın karakteristik parametreleri; akışkan özellikleri, katı madde özellikleri ve akım özellikleri olarak tanımlanabilir. Burada akışkan özellikleri; akışkanın özgül kütlesi (ρ) [M/L^3], akışkanın kinematik viskozitesi, (ν) [L^2/T], katı madde (tane) özellikleri ; tanecik çapı (d) [L], taneciğin özgül kütlesi (ρ_s) [M/L^3], akım özellikleri; akım derinliği (h) [L], yerçekimi ivmesi (g) [L/T^2], taban eğimi (J) olarak belirlenebilir. Akarsularda katı madde hareketi bu parametrelerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebilir;

$$f(h, d, \rho, \rho_s, \nu, g, j) = 0 \quad (2.2)$$



Şekil 2.2 Hareketin başlamasına etkiyen parametreler

Olay üzerinde etkili bu parametreler arasındaki ilişki boyut analizi yardımı ile incelenebilir. Bu parametreler arasında taban kayma gerilmesi (τ_0) ve kayma hızı arasındaki aşağıda verilen ilişkiler yardımı ile ;

$$\tau_0 = \gamma h J \quad \text{ve} \quad u_f = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (2.3)$$

boyut analizi uygulaması sonucu, parametreler arasında aşağıdaki ilişkiler bulunabilir ve iki fazlı akım (2.4) ifadesinde verilen boyutsuz sayıların fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$f\left(\frac{u_f}{\sqrt{gd}}, \frac{u_f \cdot d}{\nu}, \frac{d}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}\right) = 0 \quad (2.4)$$

Burada; $\frac{u_f}{\sqrt{gd}}$ taneciğin Froude sayısı ve $\frac{u_f \cdot d}{\nu}$ taneciğin Reynolds sayısıdır. Pratik

$h \gg d$ olduğundan, d/h parametresi ihmal edilebilir. ρ_s / ρ oranının etkisi doğada belirlenen katı madde özelliklerini çok benzer olması ve akışkan olarak su alınması durumunda sabit bir değer olacaktır. Bu iki ifadenin olay üzerinde etkileri bulunmayacağından boyutsuz sayılar arasındaki fonksiyonel ilişki aşağıdaki şekli alır;

$$f\left(\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d}, \frac{u_f d}{\nu}\right) = 0 \quad (2.5)$$

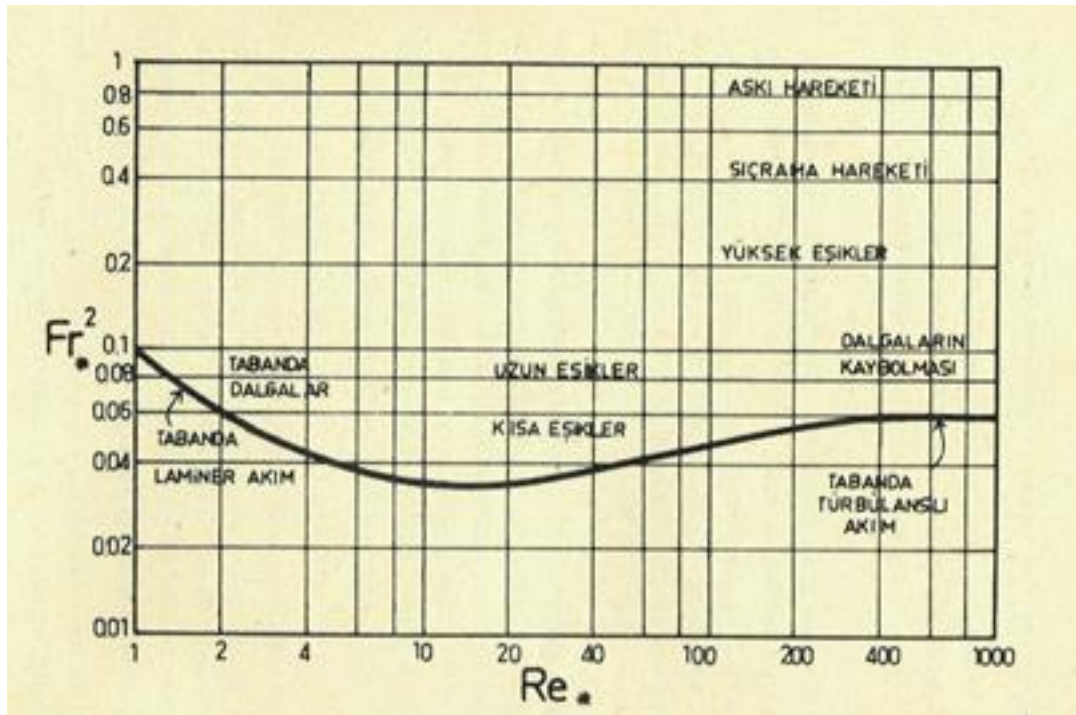
Dolayısı ile elde edilen bu iki boyutsuz sayı arasında elde edilebilecek fonksiyonel ilişki akarsu yatağında taneciğin hareket edip etmediği ile ilgili sonuçlar verecektir. Akım şartları durgun su durumundan arttırılıp tabandaki malzemenin akım etkisi ile harekete başladığı kritik durum için yukarıdaki ilişki;

$$\frac{\tau_{kr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = f\left(\frac{u_{fkr} \cdot d}{\nu}\right) \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir. τ_{kr} tabandaki kritik kayma gerilmesi, γ_s taneciğin birim hacim ağırlığı, γ suyun birim hacim ağırlığı, u_{fkr} tabandaki kritik kayma hızı, d tanecik çapı ve ν suyun kinematik viskozitesidir. Bu parametreler taneciğin hareketi ile ilgili parametrelerdir. Denklemin sol tarafındaki terim tane Froude sayısını, denklemin sağ tarafındaki terim ise tane Reynolds sayısını ifade eder.

2.2 Hareketin Başlangıcı İçin Kritik Durum (Shields Diyagramı)

Denklem 2.6 da belirlenen iki boyutsuz sayının tabanda hareketin başladığı andaki kritik değerlerinin belirlenmesi için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu konudaki ilk ve en önemli çalışma Shields (1936) tarafından deneysel, gözlem ve ölçümler sonucunda elde edilmiş çalışmadır. Bu çalışmada, çeşitli çaptaki tanecikler için (2.6) da verilen boyutsuz büyüklüklerin (Fr_*^2 ve Re_*) kritik durumdaki değerleri belirlenmiştir. Fr_*^2 değeri Shields parametresi olarak bilinir ve θ ile gösterilir. Shields in deney sonuçları ve daha sonra yapılan deneysel sonuçların da yardımı ile tabanda hareketin başladığı kritik durum için Shields diyagramı olarak da bilinen ilişki Şekil 2.3’ de verilmiştir. Bu grafikte eğrinin üzerinde hareket vardır ve eğrinin altından hareket yoktur.



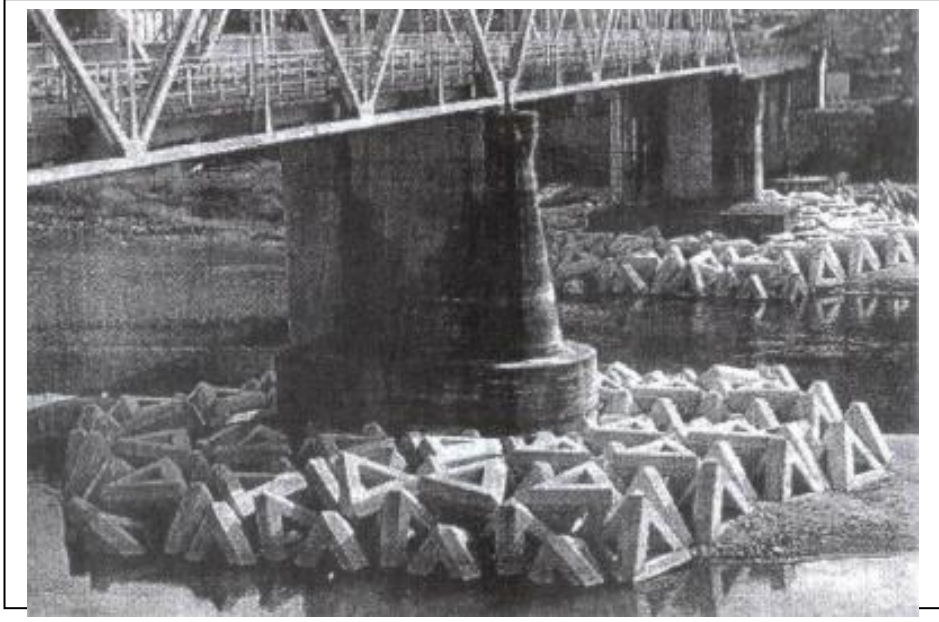
Şekil 2.3 Shields Diyagramı (tabanın alacağı şekillerde diyagramda gösterilmiştir)

3. KORUMA TABAKASI

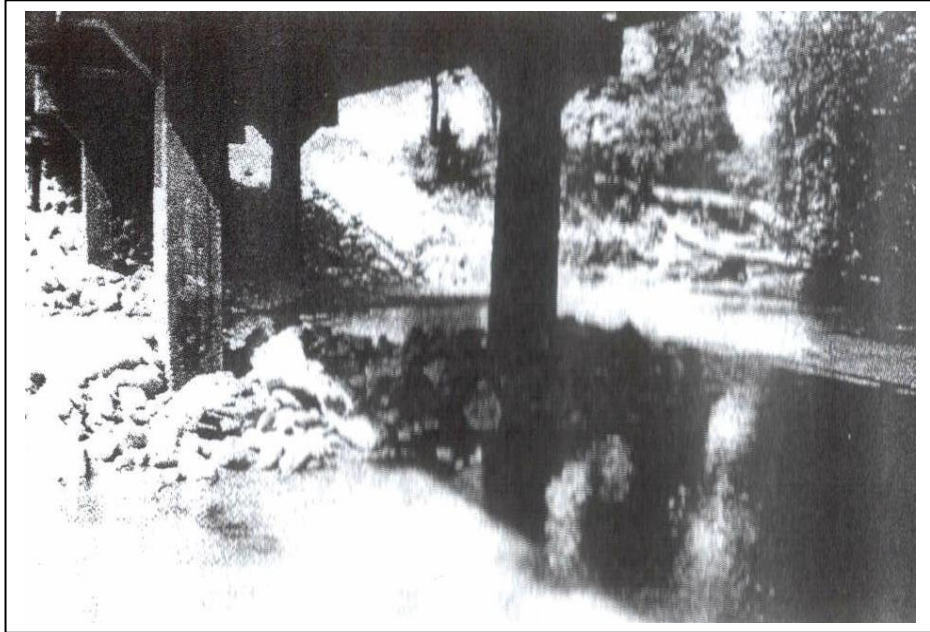
Akarsu yatağı taban malzemeleri akımın etkisi ile hareket ederek akarsu tabanında erozyona sebep olurlar. Özellikle mühendislik yapıları yakınlarındaki erozyon, yapı etrafında yerel oyulmalara yol açacağı için önemlidir. Bu durum köprü ayakları, akarsu altından geçen boruları, bağlama gibi pek çok su yapısının stabilitesini bozabilir veya işlevini engeller. Su yapıları civarında oyulma derinliğinin azaltılması daha az kaynak kullanımı ve maliyetlerin düşmesi anlamına da gelmektedir.

Su yapıları yakınlarındaki yerel oyulmaları engellemek için en sık kullanılan metotlardan biri taban üzerine akımın hareket ettiremeyeceği büyüklükte taşların ve ya değişik malzemelerin dökülmesi ile koruma tabakasının meydana getirilmesidir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de bu koruma tabakasına örnek olarak köprü ayaklarının oyulmaya karşı korunması için doğal ve doğal olmayan elemanlar ile yapılmış iki farklı koruma tabakası görülmektedir.

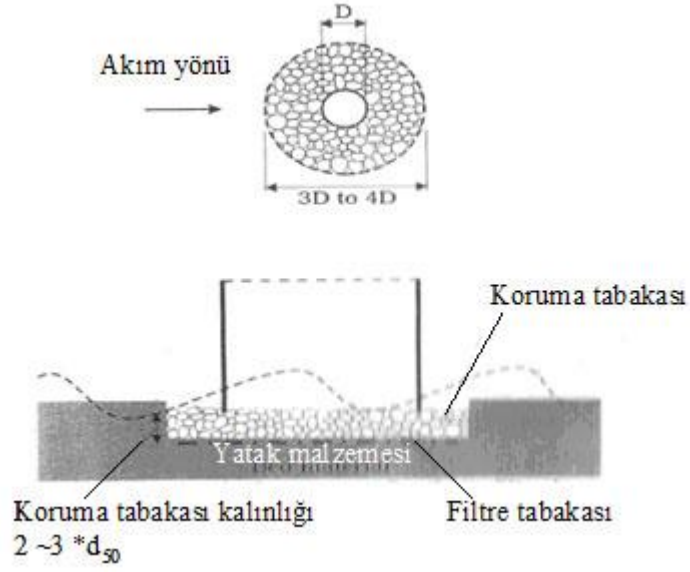
Su yapıları etrafında koruma tabakası yapılırken, koruma alanının plandaki ölçülerinin ve tabaka kalınlığının belirlenmesi anahtar rol oynamaktadır. Şekil 3.3’de iki farklı köprü ayağı şekli için koruma tabakası boyutlandırma esasları gösterilmektedir (Melville ve Coleman 2000, p348) . Özel durumlar için, genel deneyim, oyulmanın fiziksel modelinin yapılması ve son tasarım için ilgili koruma tabakası çalışmasının yapılmasıdır (Sumer ve Fredsoe 2002). Şekil 3.4’de koruma tabakasının oluşturulması ile ilgili bir boyutlandırma örneği Danimarka’ daki Western köprüsünün ayakları için görülmektedir.



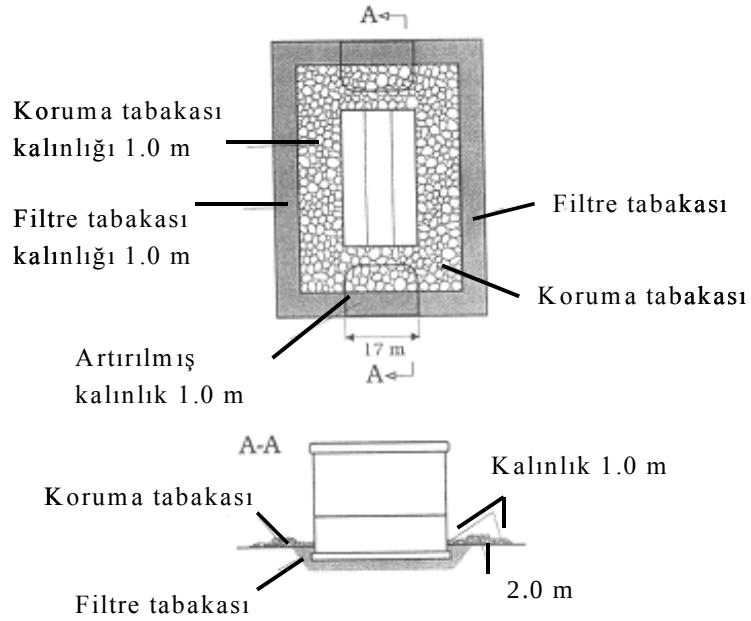
Şekil 3.1 Oyulmaya karşı oluşturulmuş koruma tabakası. Sakura Köprüsü
(Kino Nehri)



Şekil 3.2 Oyulmaya karşı oluşturulmuş koruma tabakası (Riprap).)Melville ve
Coleman (2000))



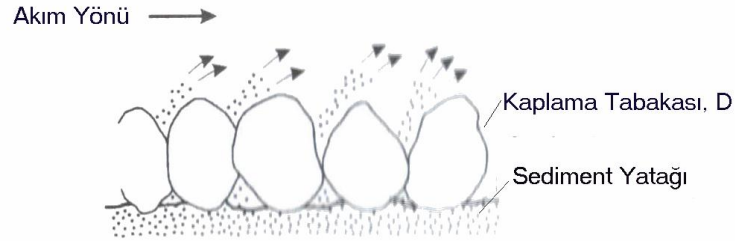
Şekil 3.3 İki farklı köprü ayağı için koruma tabakası tasarımı önerileri (d_{50} koruma tabakasını oluşturan taşların %50'sinin geçebileceği tanecik çapıdır)



Şekil 3.4 Danimarka'daki Western Köprüsü'nün ayakları için yapılan koruma tabakası ve boyutları

3.1 Koruma Tabakası İle Yatak Malzemesi Arasındaki Etkileşim

Koruma tabakası oluşturulması, altındaki yatak malzemelerini akım etkisinden koruyarak oyulma derinliğini en aza indirmek için su yapıları civarında sıkça uygulanan yöntemlerden biridir. Böyle bir kaya tabakası (koruma tabakası) akımın etkisi altında kaldığında, korumanın altında kalan sediment tanecikleri akım türbülansı tarafından rahatsız edileceklerdir. Akım hızı belli bir kritik değeri aştığında ise, tanecikler koruma blokları arasından emilecektir (Şekil 3.5). Bu durum koruma bloklarının da batmasına neden olacaktır. Koruma blokları, tabana gömülmeni ve taban malzemesinin emilmesinin en aza indirildiği durum için tasarlanmalıdır.

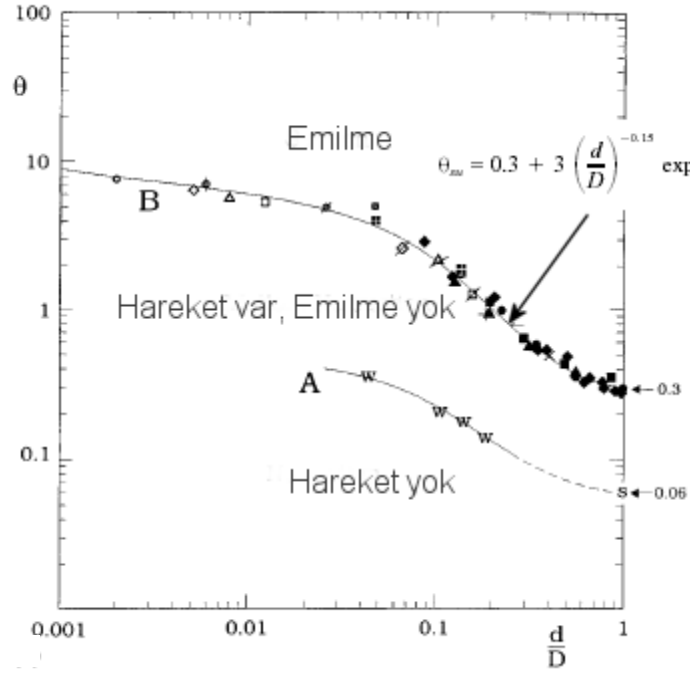


Şekil 3.5 Koruma blokları arasından sedimentlerin emilmesi

Koruma tabakası ile yatak sediment malzemesi arasındaki etkileşim pek çok önemli araştırmanın konusu olmuştur. Raudkivi ve Ettema (1982), koruma tabakasının stabilitesi üzerine araştırma yapmıştır. Çalışmada sediment yatak üzerine doğal taşlar dökülerek oluşturulan koruma tabakasının akım etkisi ile tabanda sürüklenmesi ve gömülmesi incelenmiştir. Aynı yazarların bu çalışmayı takip eden çalışmasında (Raudkivi ve Ettema (1985)) ise ince sediment yatağı üzerinde bulunan silindirik bir köprü ayağı etrafında daha kaba malzeme ile oluşturulan koruma tabakası durumunda köprü ayağı etrafındaki oyulmalar incelenmişlerdir. Çalışmada, yerleştirilen koruma tabakasının belli değerlere kadar oyulmayı önlediği belirlenmiştir. Worman (1989) da koruma tabakası altında sediment erozyonu ile ilgilenmiştir. Çalışmada permanan akım altında daha büyük çaplı koruma malzemesi altında ince sedimentin hareket etmesi ve bunun koruma tabakası elemanlarına etkisi incelenmiştir. Worman (1992) bir diğer çalışmasında ise, koruma tabakası altında sedimentin harekete geçtiği kritik akım şartlarını araştırmıştır. Çalışma sonuçlarını koruma tabakası tanecik çapı / sediment çapı oranı ile Shields parametresinin

fonksiyonu olarak vermiştir. Bu ilişki Şekil 3.6 da görülmektedir. Ayrıca çalışmadan elde edilen bir diğer sonuçta erozyona uğrayan sedimentin koruma tabakasının değişik yerlerinde tuzaklanarak birikmekte olduğudur. Worman (1992) çalışmasında ayrıca buna dayanarak filtre tabakası (koruma tabakası altına yerleştirilen taban malzemesinden kaba koruma tabakasından ince çapa sahip malzeme) yerleştirilmesinin gerekli olmadığı sonucuna varmıştır. Akarsu yatağında yapılan koruma tabakası–taban malzemesi-akım etkileşimi ile ilgili detaylı değerlendirme Raudkivi (1998) tarafından verilmiştir. Taban malzemesinin koruma tabakası altında yıkanarak koruma tabakasının stabilitesinin bozulması sıkça görülen bir problem olduğundan koruma tabakasının stabilitesini arttırmak ve sedimentin koruma tabakası altında hareketini engellemek/azaltmak için bir diğer yaklaşım da koruma tabakası ile taban malzemesi arasına koruma tabakasına göre daha ince bir filtre tabakasıdır (de Grawud ve diğ. 1984, Brauns ve diğ. 1993). Bakker ve diğ. (1994) ve Bezuijen (1987) çalışmalarında deneysel sonuçlardan yola çıkarak filtre tabakası çapı ve kalınlığı ile ilgili yarı ampirik bağıntılar önermişlerdir.

Koruma tabakasını tehdit eden bir diğer önemli olay ise ekstrem akım koşullarında taban malzemesinin koruma tabakası aralarındaki boşluklardan emilmesi ve emilen malzemenin akımın türbülans etkisi ile taşınarak koruma tabakasının sediment yatak içerisine gömülmesidir. Bu durum sedimentin koruma tabakası altından hareket etmesine göre çok daha tehlikelidir çünkü koruma tabakası altında hareket eden sediment karmaşık geometriye sahip koruma tabakası tarafından başka bir noktada tuzaklanarak tutulmaktadır. Emilme durumunda ise akım ortamına giren sediment akım ile taşınmaktadır. Sümer ve diğ (2001) çalışmalarında koruma tabakası altından ince sedimentin emilmesi olayını deneysel olarak incelemişlerdir. Sedimentin emilmesi olayında en önemli rolü taşlar arasındaki boşlukta oluşan vorteks oynamaktadır. Çalışmada koruma tabakası çapının belirlenmesi için dizayn eğrisi ve ampirik bir bağıntı da verilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Koruma çapının belirlenmesi için kullanılan dizayn eğrisi ve ampirik bağıntı

4. DENEY DÜZENEGİ

Koruma tabakası altında üniform olmayan sedimentin emilmesini ve koruma tabakası ile üniform olmayan taban malzemesinin farklı koşullardaki etkileşimi İ.T.Ü Hidrolik Laboratuvarı'ndaki laboratuvar kanalında yapılan deneyler ile incelenmiştir. Deneylerde çeşitli ortalama pürüzlülük yüksekliğine sahip koruma tabakası altından çeşitli çaplardan oluşan taban malzemesinin emilmesi incelenmiştir.

4.1 Deneylerde Kullanılan Tesis ve Malzemeler

Deneyler Şekil 4.1'de şematik olarak gösterilen 12.35 m uzunluğundaki kanalda yapılmıştır. Kanalin genişliği 0.50 m, yüksekliği 0.45 m ve tabanı yataydır. Kanalin yan cidarları camdan yapılmıştır. Kanalda kapalı devre su sirkülasyonu sağlanarak permanan akım oluşturulmuş, bunun için kanalın giriş ve çıkış kesitinde tek hat $\phi 200$ 'lük boru kullanılmıştır. Sirkülasyon 15 KW'lık bir pompayla sağlanmıştır.

Kanaldaki su, kanala girmeden önce kanalın başına yerleştirilmiş tuğlalarla sakınleştirilmiştir. Tuğla deliklerinin çapı 3 cm'dir. Suyla birlikte kanala yabancı madde girmesini önlemek ve hareket eden sedimentin yakalanması için kanal çıkışına 1 mm'lik elek telinden yapılmış bir ızgara konulmuştur. Kanala giren debi, kanal girişindeki üçgen savakla ölçülmüştür.

Savağın gerisinde suyun biriktiği bir depo bulunmaktadır. Deponun genişliği 1 m, yüksekliği 1.02 m, uzunluğu 3.70 m'dir. Kanaldaki suyun derinliği, kanalın mansap ucuna konulan, bir kapağın hareket ettirilmesiyle değiştirilmiştir. Kanalda su seviyesi kanal üzerine yerleştirilmiş limnimetreyle ölçülmüştür.

Çalışmalar kanalın 8 m'lik bir bölümünde yapılmıştır (Şekil 4.1). Kanal içindeki 8m'lik bölümün tam ortasından 75cm'lik kanal tabanından 5cm derinlikte bir sediment haznesi oluşturulmuştur. Koruma tabakası sediment haznesinin 4 m memba ve mansabına yerleştirilmiştir. Sediment haznesi içerisine çeşitli çaplardan oluşturulmuş üniform olmayan sedimentler yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Tek

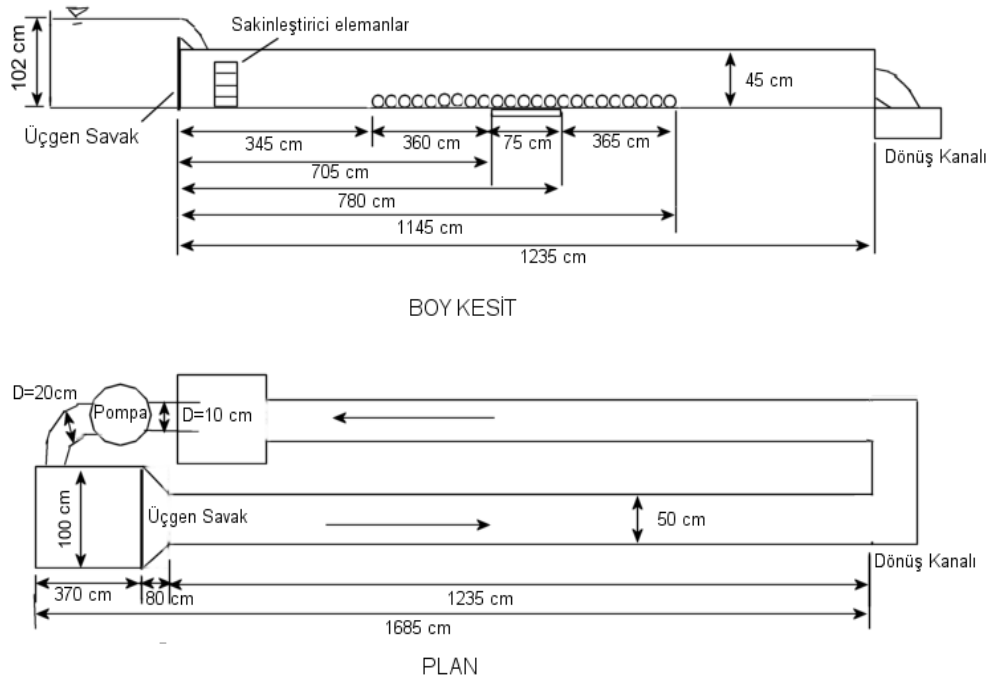
tane ve hız ölçüm deneylerinde sediment haznesi kapatılarak pürüzsüz yüzey sağlanmıştır.

Koruma tabakasını simüle etmek için iki çeşit taş kullanılmıştır (Şekil 4.2). Taşların çapları $D=2,80$ cm ve $D= 3,85$ cm'dir. Taşların özellikleri Tablo 5.1' de verilmiştir.

Koruma tabakasının performansı ve üniform olmayan sedimentin koruma tabakası altından emilmesi işlemlerinin incelenmesi sırasında üç çeşit deney yapılmıştır:

- 1) Hız ölçümleri,
- 2) Akım görselleştirme deneyleri ve tek tanecik deneyleri,
- 3) Sediment yatağı deneyleri,

Deneyler Şekil 4.1'de görülen kanalın orta kısmına denk gelen çalışma bölgesinde yapılmıştır.



Şekil 4.1 Deney kanalı



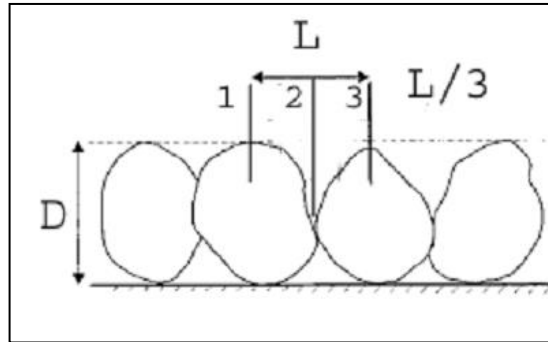
Şekil 4.2 Deneyde koruma tabakası olarak kullanılan taşlar

4.2 Yapılan Deneyler

Yapılan deneylerde su derinliği koruma tabakası üzerinde 20 cm olarak alınmıştır.

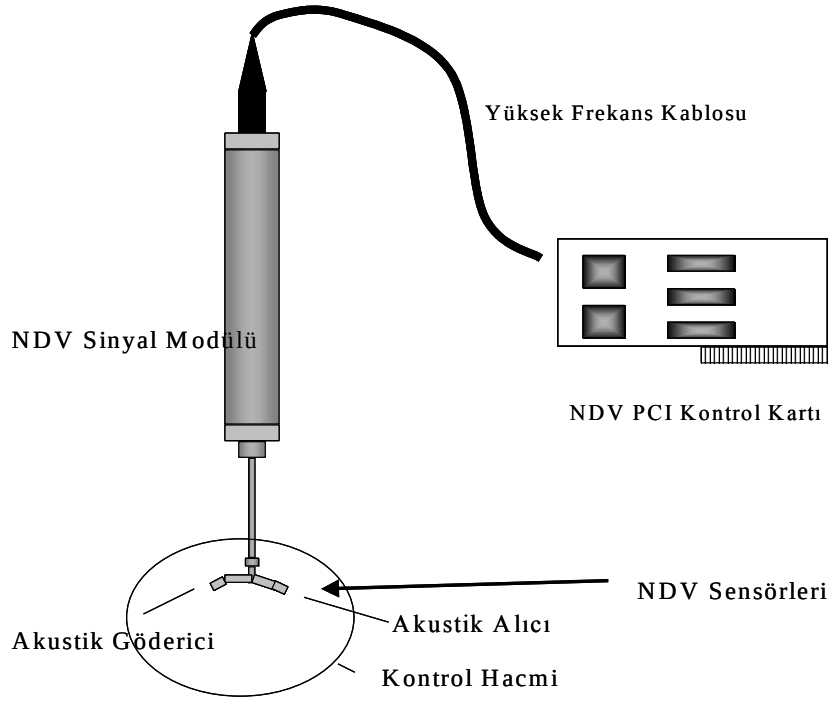
4.2.1 Hız ölçümleri

Koruma tabakası üzerinde akım koşullarının detaylı olarak belirlenmesi için koruma tabakasını oluşturan taşlarda seçilen bir oyuk etrafında ve içinde detaylı hız ölçümleri yapılmıştır. Hız ölçümleri Şekil 4.3'te $D=3.7$ cm'lik taşlar için 3 farklı noktada derinlik boyunca yapılmıştır. Dört adet taş seçilip bu taşlar üzerinde hız ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.5). $D=2,85$ cm'lik taş için yalnızca iki taşın tam ortasından tek noktada derinlik boyunca hız ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 4.3 Taşlar üzerinde yapılan hız ölçüm noktaları

Hız ölçümleri NORTEK firmasının Nortek 10 Mhz Velocimeter (NDV) ürünü (Şekil 4.4) ile yapılmıştır. NDV (Nortek Doppler Velocimeter) üç boyutlu olarak akım hızı ölçebilmektedir. x,y ve z doğrultularında sırasıyla u,v ve w olmak üzere 3 yöndeki akım hızlarını 25 Hz'lik bir frekansla ölçmektedir.



Şekil 4.4 ADV Akustik noktasal hız ölçer (NORTEK 10Mhz).

4.2.2 Akım görselleştirme deneyleri ve tek tanecik deneyleri

$D=3.7$ cm'lik taş büyüklüğü için dört adet taş bir araya getirilmiş ve silikonla yapıştırılmıştır (Şekil 4.5). Bu dört taş kullanılarak akım-görselleştirme ve tek tanecik deneyleri yapıldı.



Şekil 4.5 $D=3.7$ cm'lik dört adet taştan oluşturulmuş deney düzeneği

Akım-görselleştirme ve tek tanecik deneyleri Şekil 4.5'deki taş düzeneğinde 1 ile 2 numaralı taşların karşısına, taşların arasındaki boşluğu görecektir şekilde Philips PCVC740K model kamera yerleştirilerek yapılmıştır (Şekil 4.6). Philips PCVC740K model kamera 640*480 piksellik bir görüntü ayarında saniyede 30 kare ve 320*240 piksellik bir görüntü ayarında saniyede 60 kare video çekimi yapabilmektedir. Deneylerimizde 320*240 piksel çözünürlükte saniyede 30 kare kayıt yapacak şekilde video kamera ayarlanmıştır. Gerçekçi olmayacak geniş bir boşluk oluşmasını engellemek için taşlarla kamera arasına tam şeffaf bir pleksiglas malzeme konulmuştur. Yeterli kalitede görüntü alınabilmesi için spot ışıklar kullanılmıştır.



Şekil 4.6 Taş düzeneği ve video kameranın yatağa yerleştirilmiş hali

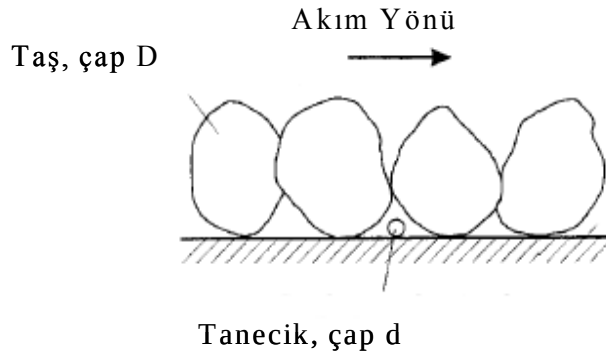
Akım etkisi ile taneciklerin gözlenen oyuktan emilme mekanizmasının çalışılması amacıyla tek tanecik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde iki çeşit tek tanecik deneyi yapılmıştır.

İlk deneyde, Şekil 4.6'da görülen deney düzeneği kullanılmıştır. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi rijit taban üzerindeki taneciğin hareketi videoya kaydedilmiştir. Bu deneyde, $d=0,3\text{cm}$ 'den $d=1,12\text{ cm}$ ye kadar çeşitli çaplarda altı çeşit plastik tanecik kullanılmıştır (Tablo 6.1). Bazı deneylerde akımın ve taneciklerin hareketi deney süresince videoya kaydedilmiştir.

İkinci tek tanecik deneyinde, Taneciğin taşlar arasındaki boşluktan emildiği kritik şart göz önüne alınmıştır. Kritik şartı belirlemek için aşağıda belirttiğimiz prosedüre göre hareket edilmiştir.

- 1) Akım hızı sıfırdan yavaş yavaş daha yüksek değerlere artırılmıştır
- 2) Video kamerayla taneciğin hareketi gözlemlenmiştir
- 3) 2 dakikalık süre için taneciğin emilmesinin gerçekleşip gerçekleşmediğine bakılmış, eğer emilmediyse 1. ve 2. basamaklar tekrarlanmıştır.

Deneydeki 2 dakikalık süre taneciğin bütün türbülans etkisi altında kalması için yeterli bir süre olarak alınmıştır. Deneyler her tanecik için $D=2,82$ cm ve $D=3,7$ cm koruma tabakaları altında 4 kez tekrarlanarak yapılmıştır (Tablo 6.1).



Şekil 4.7 Tek tanecik deneyi düzeneği

4.2.2 Sediment yatağı deneyleri

Sedimentler (Şekil 4.1) 50cm genişliğinde 75 cm uzunluğunda ve 5 cm derinliğinde kanal yatağı içine açılmış bir kutu içerisine yerleştirilmiştir. Taban malzemesi $D=3,7$ cm'lik koruma tabakası altında beş farklı granülometre durumunda ve $D=2,82$ cm'lik koruma tabakası altında üç farklı granülometrede sediment haznesine yerleştirilmiştir (Tablo 4.1).

Üniform olmayan taban malzemesi çapları 0,25mm ile 8mm arasında değişen kum ve çakıl karışımı şeklinde sediment haznesine konulmuştur. Sediment haznesi deneylerinin amacı bazı çaplar için emilmenin görüldüğü koşulların aşılması durumunda, başlangıç durumundaki sediment granülometrisi ile son durumda oluşan sediment granülometrisinin araştırılmasıdır. Mevcut akım koşulunda koruma tabakasının oturmasının zamanla değişimi incelenmiştir. Üniform olmayan taban malzemesinin taşlar arasından emilmesi işlemi video olarak kaydedilmiştir.

Tablo 4.1 Sediment Yatağı Deneyleri

Deney numarası	D koruma tabakası çapı	Granülometri		
		d ₃₅	d ₅₀	d ₆₅
1	3,7cm	0,40mm	0,68mm	0,80mm
2	3,7cm	0,65mm	0,85mm	1,2mm
3	3,7cm	0,63mm	0,90mm	1,3mm
4	3,7cm	0,5mm	0,74mm	1,5mm
5	3,7cm	0,6mm	0,95mm	4mm
6	2,82cm	0,42mm	0,75mm	1mm
7	2,82cm	0,65mm	0,80mm	1,6mm
8	2,82cm	0,7mm	1,5mm	4mm

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Deney Koşulları

Su derinliği, deneyler sırasında koruma tabakası + 20 cm olarak sabit tutulmuştur. Tek tanecik deneyleri için deney koşulları Tablo 5.1’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1’de, D ortalama koruma tabakası yüksekliğidir ve σ_D ise taş yüksekliklerinin standart sapmasıdır. 30 farklı örnekten elde edilen değerlerin ortalaması D olarak alınmıştır. Tabloda, d , ise tanecik çapı (Tablo 5.1), s ise taneciğin birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. k_s ise taşların Nikuradse eşdeğer kum pürüzlülük yüksekliğidir. Tabloda gösterilen k_s değerleri ölçülmüş hız profillerinden elde edilmiştir.

V ortalama akım hızıdır, savaktan ölçülen de Tablodaki kayma hızı U_f iki farklı metotla hesaplanmıştır.

- 1) Reynolds kayma gerilmesi ölçümlerinden (taban yakınından maksimum

$\tau_t = \rho \sqrt{-u'w'}$ den hesaplanmış Reynolds kayma gerilmesi(türbülans kayma gerilmesi))

- 2) Ölçülen hız profillerinden (Ünlversal hız profili kullanılarak)

Tablo 5.1’den görüleceği gibi, birinci metotla belirlenen kayma hızı diğer metotla belirlenen kayma hızında daha küçüktür. Reynolds kayma gerilmesinin maksimum olduğu yer tam olarak taban üzerinde olmadığı için ve sadece türbülansın yarattığı kayma gerilmesi ölçüldüğü, laminar kayma gerilmesi göz önüne alınmadığı için ölçülen kayma hızı diğer metoda göre daha küçüktür. Hesaplamalarda ikinci metotla elde edilen kayma hızı kullanılmıştır.

Tablo 5.1’de, θ Shields parametresi aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır.

$$\theta = \frac{U_f^2}{g(s-1)d} \quad (5.1)$$

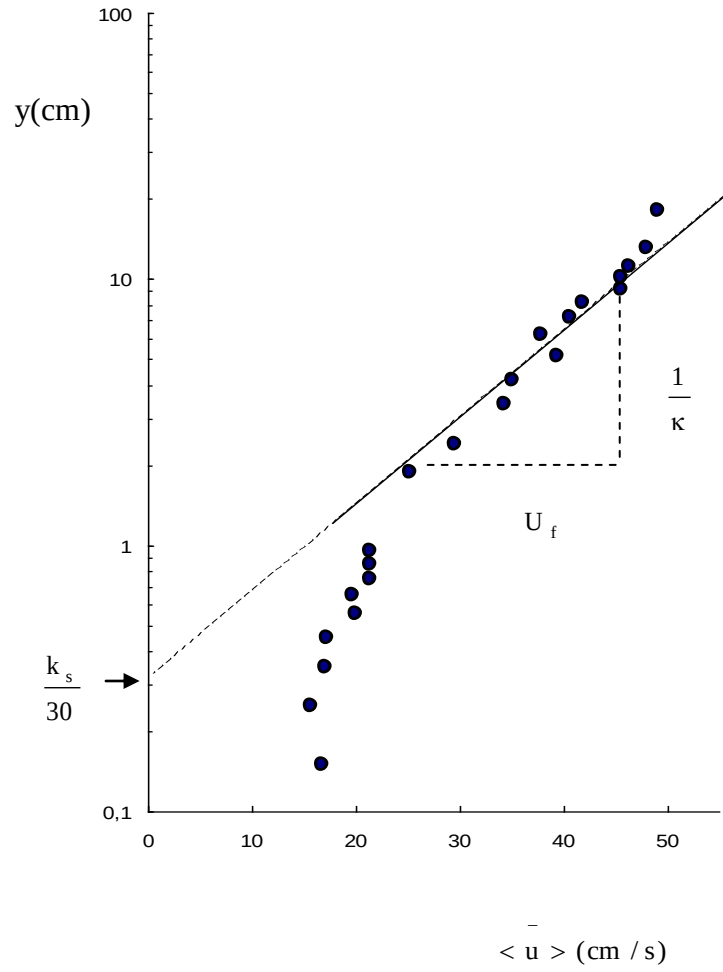
g yerçekimi ivmesidir. θ tanecik çapına bağlı olarak elde edilen Shields parametresidir. Tablo 5.1'da gösterilen akım özellikleri taneciklerin emilmeye başladığı kritik şartlara tekabül etmektedir.

Tablo 5.1 Tek Tanecik Deneyleri Sonuçları

Deney numarası	Koruma Tabakası Taşlarının Özellikleri					Taneciklerin Özellikleri		Akım Özellikleri			
	D (cm)	k_s (cm)	σ_D (cm)	Malzeme	d (cm)	$s = \rho_s / \rho$	d/D	V (cm/s)	Reynolds gerilmesi	Hız profili	Shields parametresi θ
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
1	2,82	6,9	0,39	Kırma Taş	0,3	1,01381	0,11	27,1	2,47171	2,91	2,08
2	2,82	6,9	0,39	Kırma Taş	0,38	1,02238	0,13	35,7	2,76973	3,30	1,30
3	2,82	6,9	0,39	Kırma Taş	0,48	1,031	0,17	46,8	3,47998	4,17	1,19
4	2,82	6,9	0,39	Kırma Taş	0,58	1,03354	0,21	47,5	3,71924	4,37	1,00
5	2,82	6,9	0,39	Kırma Taş	0,82	1,0296	0,29	44,8	3,33568	4,02	0,68
6	2,82	6,9	0,39	Kırma Taş	1,12	1,06644	0,4	56,3	4,88908	5,73	0,45
7	3,7	9	0,67	Kırma Taş	0,3	1,01381	0,08	26,75	3,0104	3,55	3,10
8	3,7	9	0,67	Kırma Taş	0,38	1,02238	0,1	38,76	3,54888	4,24	2,16
9	3,7	9	0,67	Kırma Taş	0,48	1,031	0,13	52,36	4,46688	5,28	1,91
10	3,7	9	0,67	Kırma Taş	0,58	1,03354	0,16	52,5	4,56355	5,35	1,50
11	3,7	9	0,67	Kırma Taş	0,82	1,0296	0,22	50,8	4,1	5,00	1,05
12	3,7	9	0,67	Kırma Taş	1,12	1,06644	0,3	61,2	5,9885	7,25	0,72

5.2 Hız Ölçümleri

Hız ölçümleri, akım doğrultusunda, akım doğrultusuna dik ve akım enkesiti doğrultusunda Tablo 5.1’de verilen deney koşulları için ölçülmüştür. Şekil 5.1’te hızın derinlikle değişimi yarı logaritmik eksen takımında gösterilmektedir (Deney 11, Tablo 5.1). Hız profili için zamansal ve uzaysal ortalama hızlar kullanılmıştır



Şekil 5.1. Logaritmik hız profili (Deney 11,Tablo 5.1)

Uzaysal ortalama hız :

$$\langle \bar{u} \rangle = \frac{1}{L} \int_0^L \bar{u} dx \quad (5.2)$$

şeklindedir.

Akıma ait türbülans özellikleri :

$$\langle \sqrt{u'^2}, \sqrt{v'^2}, -u'v' \rangle = \frac{1}{L} \int_0^L (\sqrt{u'^2}, \sqrt{v'^2}, -u'v') dx \quad (5.3)$$

ifadeleri ile hesaplanmıştır. Türbülans çalkantı bileşenleri de uzaysal ortalama ile belirlenmiştir. İfadelerde, L , iki komşu taş arasındaki mesafe, Şekil 5.3 de gösterildiği gibi. Üst çizgi (-) zaman ortalamasını, $\langle \rangle$ ise uzaysal ortalamasını göstermektedir. Deneylerde, uzaysal ortalama üç ölçüm bölgesinde ölçülen üç hız profilinden hesaplanmıştır (Şekil 5.3).

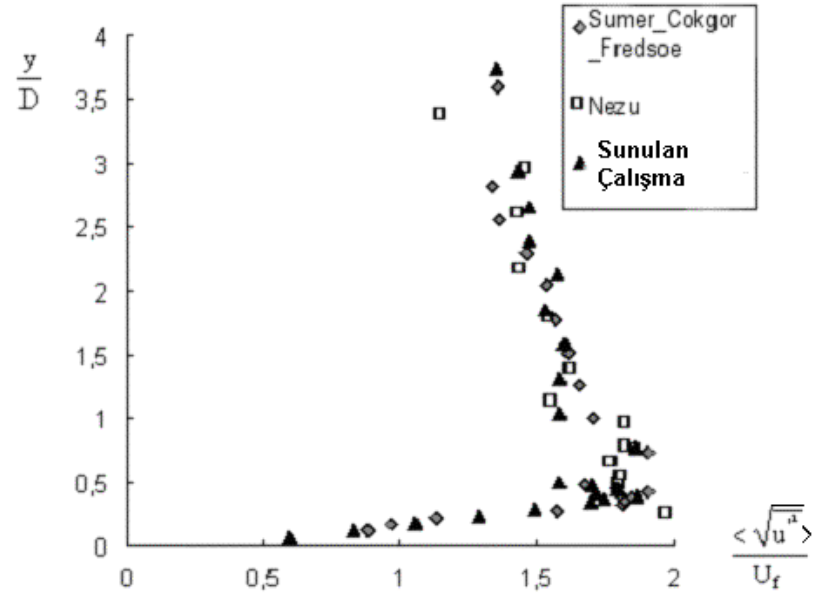
Zaman ve yer ortalaması alınmış hız profili aşağıdaki universal hız dağılımında;

$$\frac{\langle u(y) \rangle}{U_f} = \frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{30(y - \Delta y)}{k_s} \right) \quad (5.4)$$

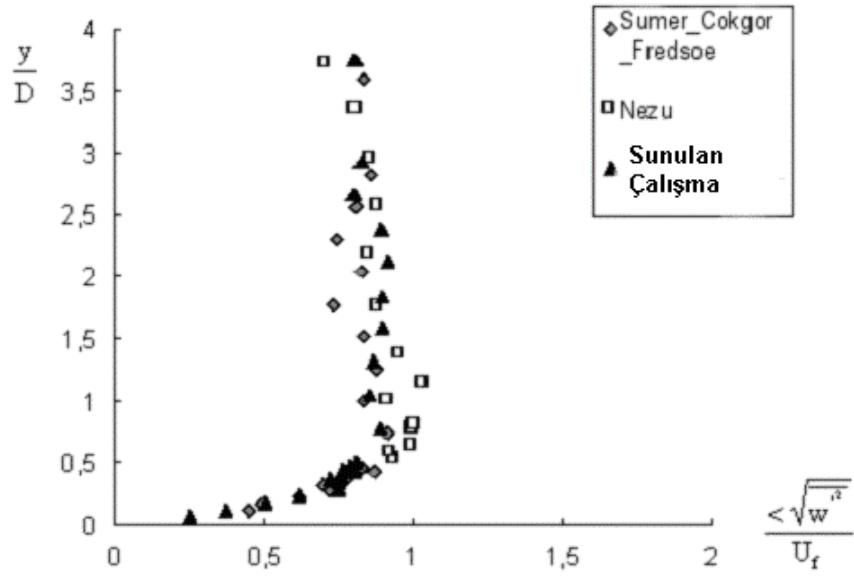
orijin y 'nin Δy kadar ötelenmesi ile desteklenir. κ = vonKarman katsayısıdır. Verilmiş bir hız profilinden (Şekil 5.1), U_f ve $\kappa=0,4$ içindoğrunun eğiminden ve düşey eksen kestiği noktadan k_s belirlenebilir(Fredsoe et al. (1999))

Bu işlem ile Deney 11'de belirlenen k_s değeri 9 dur($k_s=9.25$, $k_s=2.5*D$). Bizim bulduğumuz k_s değerleri (Tablo 5.1) literatürde belirtilenlerden çok farklı değildir. Literatürde, $k_s = (2 \sim 4)D$ aralığındadır(Kamphuis(1974) ve Bayazit(1983)).

Şekil 5.2, Deney 11 deki taban yakınında ölçülen türbülans büyüklükleri U_f ile bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Sunulan çalışmada elde edilen sonuçlar, Nezu (1997) ,Nezu ve Nakagawa (1993, p.57) ve Sumer,Cokgor ve Fredsoe (2001) bu çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışmalarda elde edilen sonuçlar, bu üç çalışmanın sonuçlarıyla uygundur. Sunulan çalışmada $DU_f/\nu = 1841$, Nezu'nun çalışmaların bu değer 140 ve Sumer,Cokgor ve Fredsoe çalışmalarında 2000 dir. Bu farklılıklara rağmen Şekil 5.2 'de görüldüğü gibi sonuçlar sınır tabakasının tamamen türbülanslı olması sebebiyle birbirine uymaktadır.

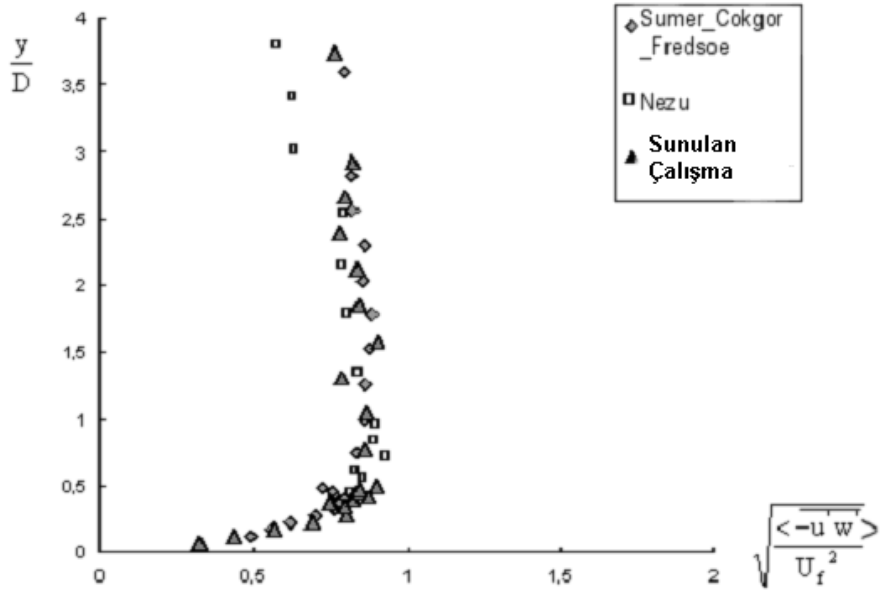


a)



b)

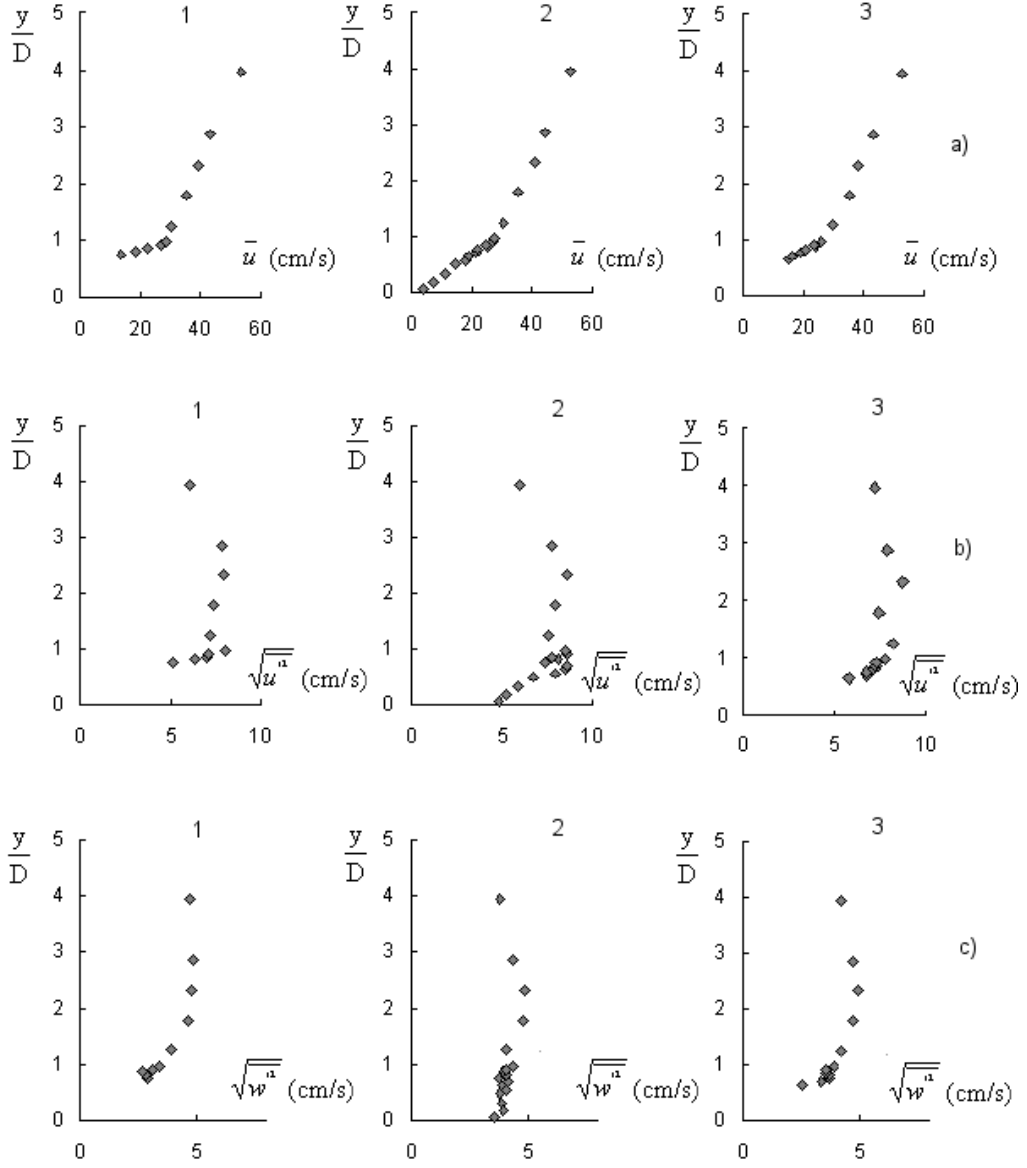
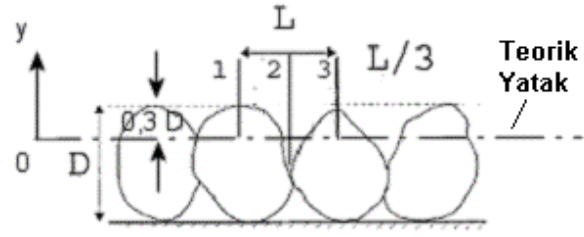
Şekil 5.2 a,b ve c Zamansal ve uzaysal ortalamadan elde edilen türbülans büyüklüklerinin derinlikle değişimi



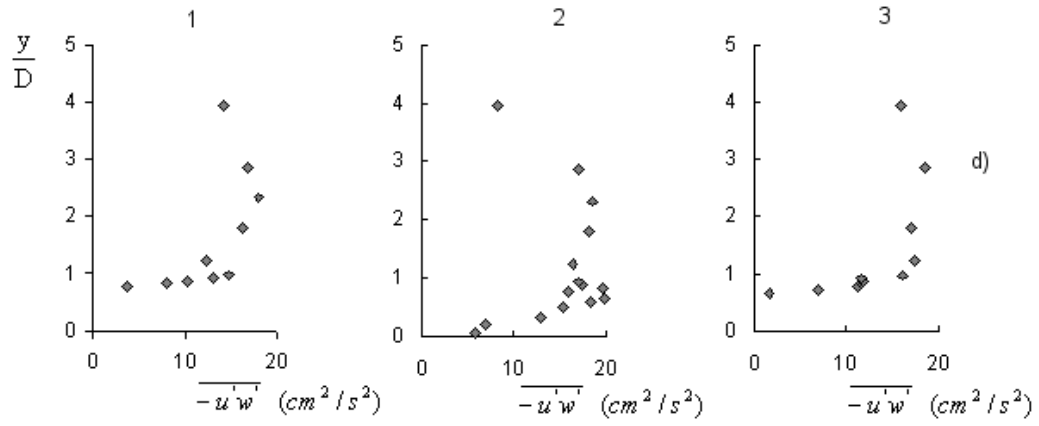
c)

Şekil 5.2 devamı

Şekil 5.3’de üç farklı noktada akım boyunca ölçülen türbülans büyüklükleri gösterilmiştir. y mesafesi teorik taban 0 alınarak ölçülmüş mesafedir. Şekil 5.3’te görüleceği gibi 1. ve 3. bölümdeki ölçülen ortalama hızlar diğer bölümden daha büyüktür. Buna sebep, taşın üstünde akımın hızlanmasıdır. Şekil 5.3’de b ve d grafiklerinin 2. bölümünde görülen durum ilginçtir. Taşlar arasındaki boşluğa nüfuz eden türbülans dolaylı, bu bölümdeki türbülans büyüklükleri büyük değer almıştır. Bu durum taneciklerin taşlar arasından emilmesi ile ilgili önemli bir durumu da göstermektedir.

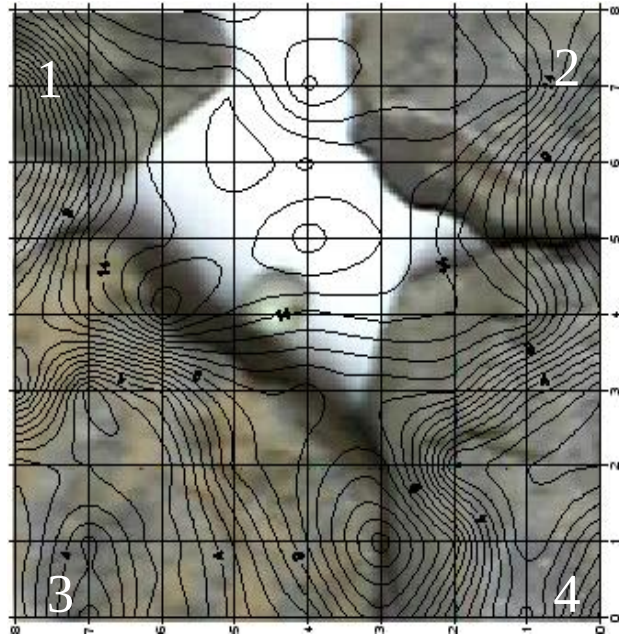


Şekil 5.3 a,b,c ve d Taban yakınında ortalama akım hızı ve türbülans büyüklükleri



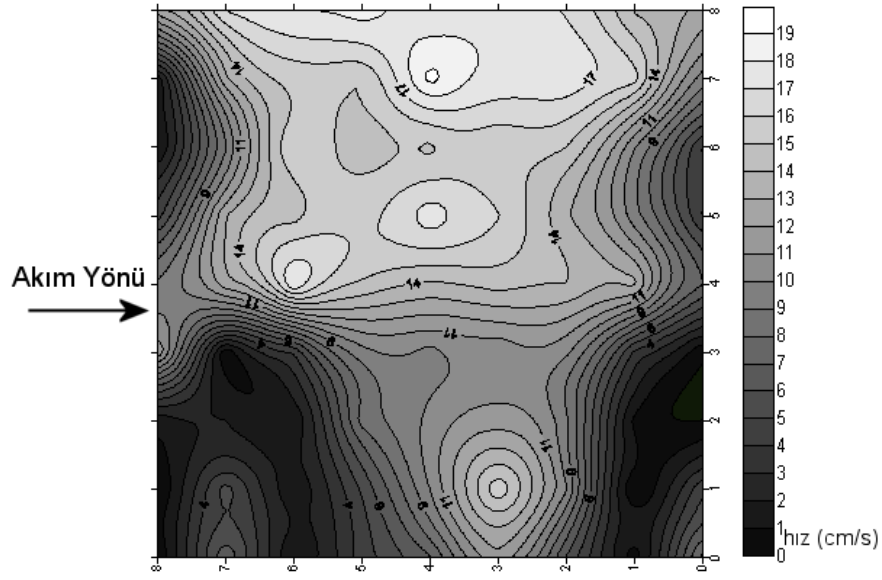
Şekil 5.3 devamı

Şekil 5.4 ve 5.5’de, ortalama hızın 50 cm/s olduğu durumda, 3 numaralı taşın tepe noktasından (tabandan 3.7 cm) itibaren oluşturulan 1 cm’lik ortagonal bir ağda 64 farklı noktada ortalama akım hızları (u, w) ve türbülans büyüklükleri emilmenin olduğu oyuk üzerinde ve yakınlarında gösterilmiştir (Şekil 5.4).

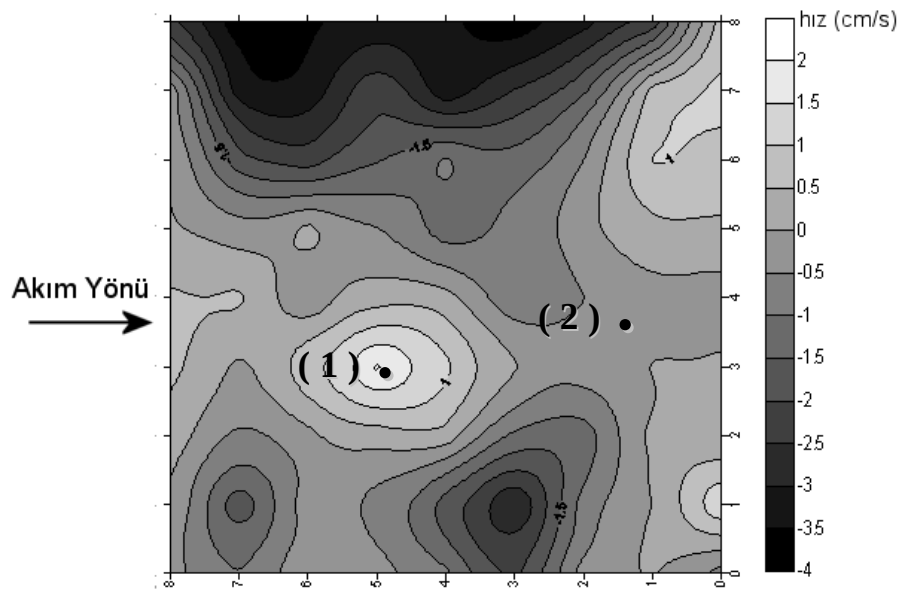


Şekil 5.4 Üzerinde ölçüm yapılan 64 noktanın taşlar üzerinde gösterimi

Şekil 5.6 incelendiğinde, taşlar arasındaki boşlukta ortalama $\bar{w}$ hızı iki farklı karakter göstermektedir. 1 noktasında $+\bar{w}$ değerleri yukarı doğru momentum transferi göstermektedir. 2 noktasında ise bu durum tersi yöndedir. Bu oluşum bize emilen taneciğin (taneciklerin) gözönüne alınan aralıktan çıkış yerini (Şekil 5.6'da 1 noktası) ve akımın boşluğa giriş yerini (Şekil 5.6'da 2 noktası) göstermektedir.

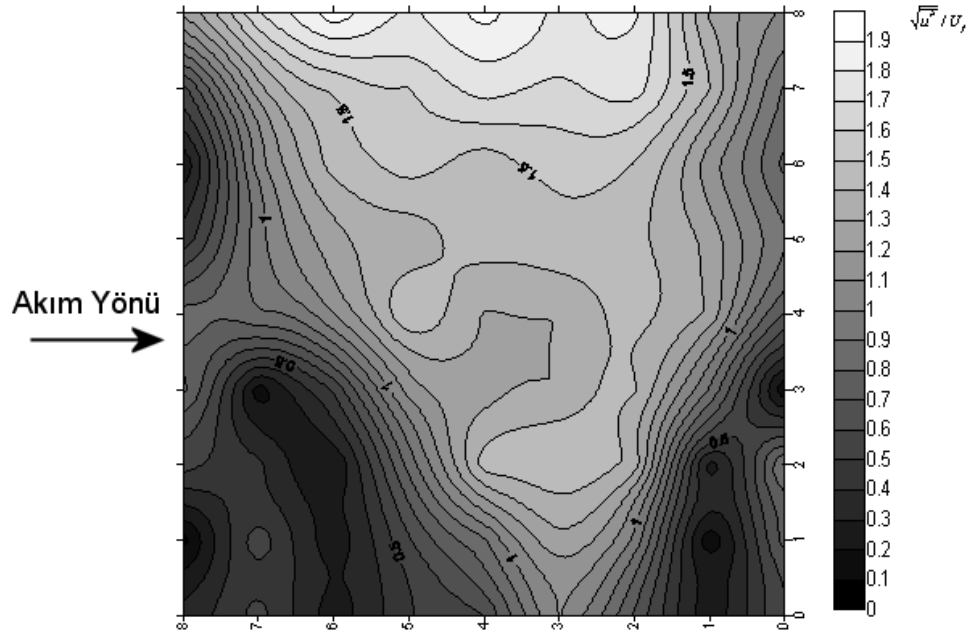


Şekil 5.5 $\bar{u}$ Ortalama Hız Dağılımı

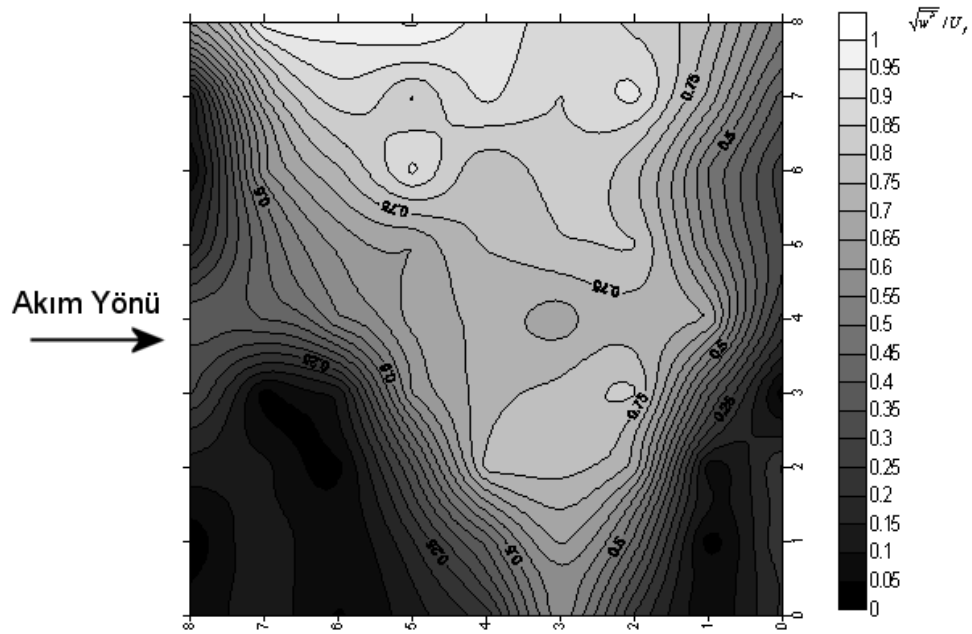


Şekil 5.6 $\bar{w}$ Ortalama Hız Dağılımı

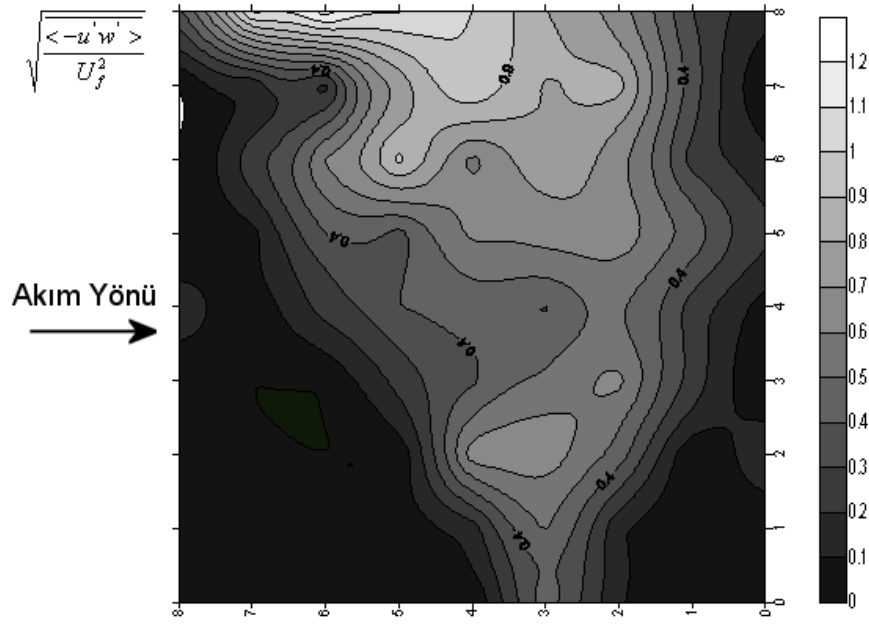
Şekil 5.7,8 ve 9'da akımın $\sqrt{u'^2}/U_f$, $\sqrt{w'^2}/U_f$ ve $\sqrt{\frac{<-u'w'>}{U_f^2}}$ dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 5.7 $\sqrt{u'^2}/U_f$ Dağılımı



Şekil 5.8 $\sqrt{w'^2}/U_f$ Dağılımı

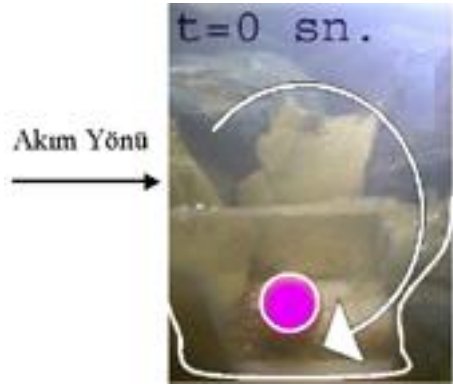


Şekil 5.9 $\sqrt{\frac{\langle -u'w' \rangle}{U_f^2}}$ Dağılımı

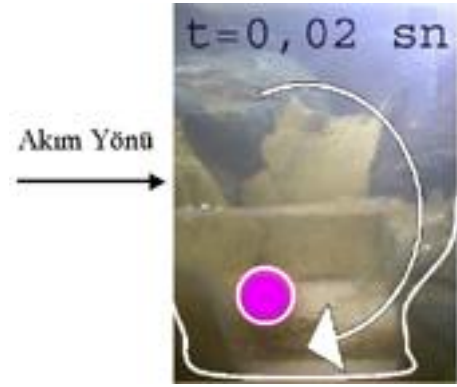
U=13.5 cm/sn ortalama akım hızı durumunda, D=3.7 cm'lik koruma tabakası üzerinde 16 farklı noktada akımın $\bar{u}$ ve $\bar{w}$ hızları derinlik boyunca ölçülmüştür. Grafikler EK1'de gösterilmiştir.

5.3 Sedimentin Taşlar Arasından Emilmesi

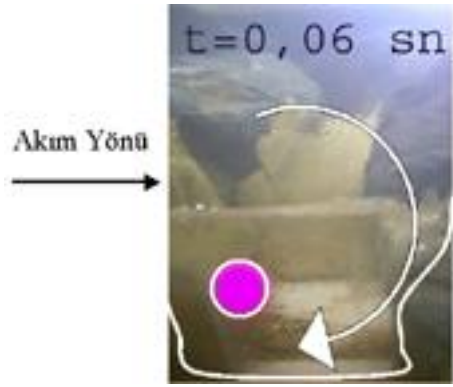
Şekil 5.10'da tek bir taneciğin taşlar arasından emilmesi video kaydından tek tek alınan karelerle görselleştirilmiştir (Deney 11, Tablo 5.1). Şekil 5.10'da görüleceği gibi, vorteks taşlar arasındaki boşlukta oluşmakta ve vorteks taneciği içerisine almaktadır. Vorteks taşlar arasından akıma doğru emilirken içindeki taneciği (sedimenti) akıma doğru çıkarmaktadır.



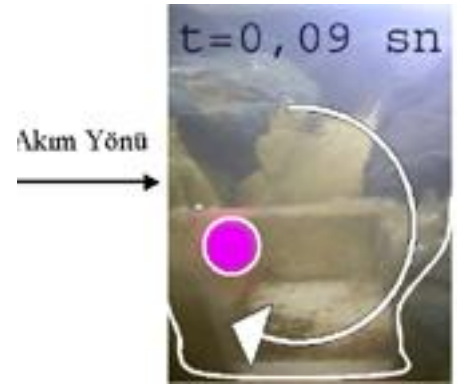
a)



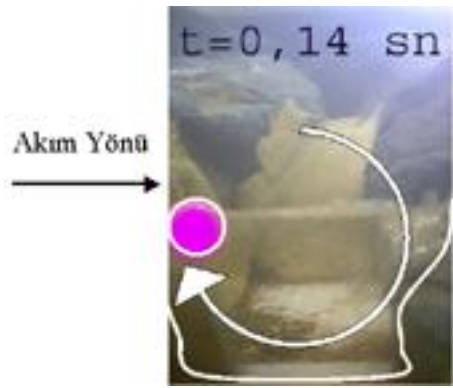
b)



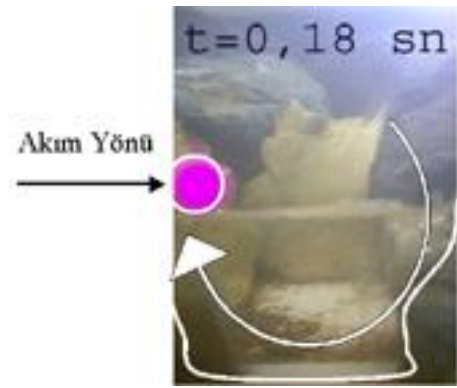
c)



d)

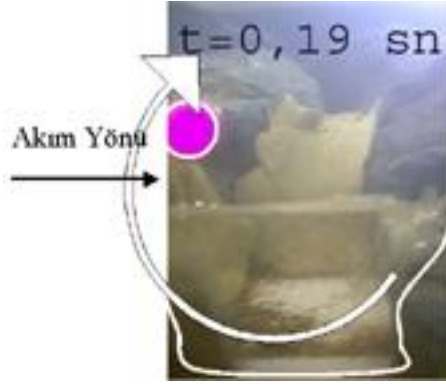


e)

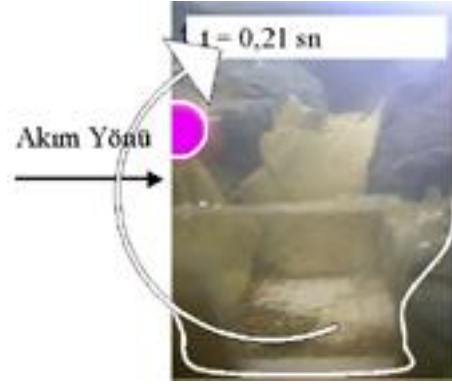


f)

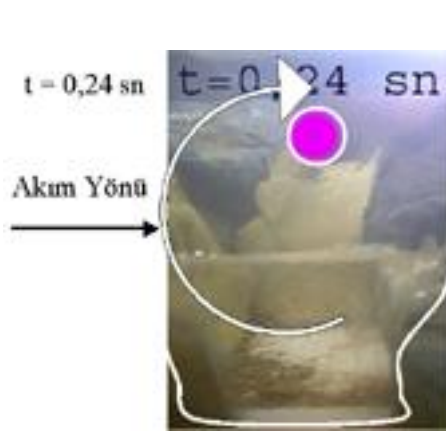
Şekil 5.10 Taneciğin koruma tabakasını oluşturan taşlar arasından emilmesi



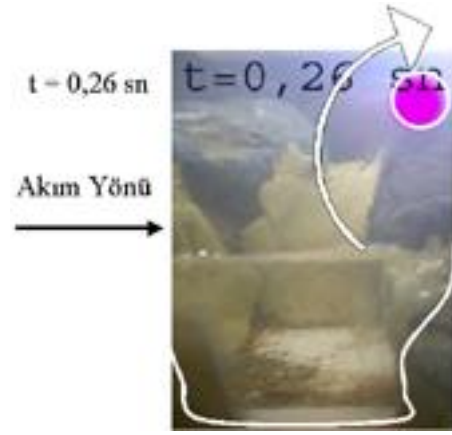
g)



h)



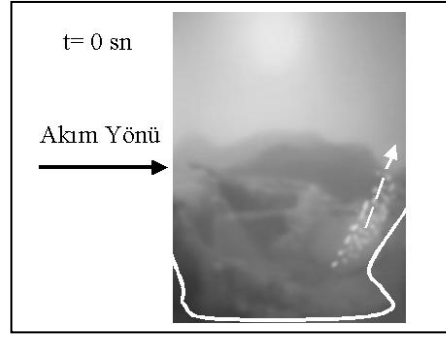
i)



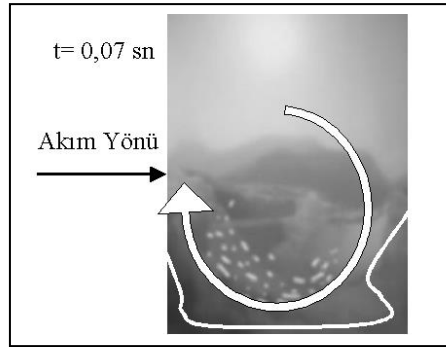
j)

Şekil 5.10 Devamı Taneciğin koruma tabakasını oluşturan taşlar arasından emilmesi

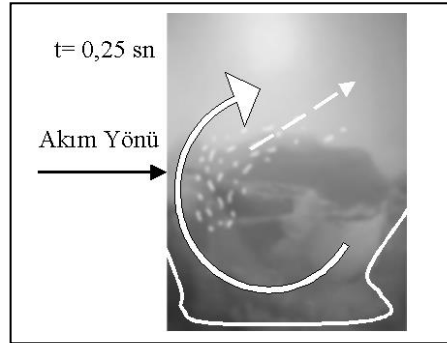
Şekil 5.11’de, sediment yatağı deneyinde videoya kaydedilen emilme işleminin kare kare görüntüleri gösterilmiştir. Resimlerinin gösterildiği deney Tablo 4.1’deki deney 1’dir. Görüntü kalitesi yetersiz olduğundan belirli sayıda hareket eden tanecik görüntü işleme ile belirginleştirilmiştir. Şekil 5.11’de bir önceki vorteks ile çıkan parçacıklardan sonra oluşan vorteksin tabandan malzemeyi emişi görülmektedir.



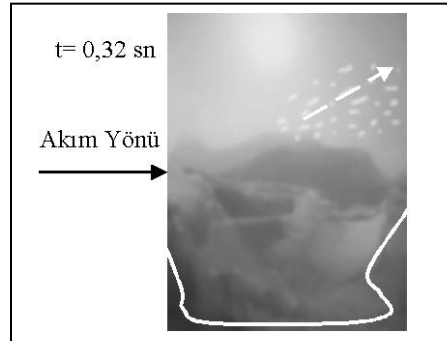
a)



b)



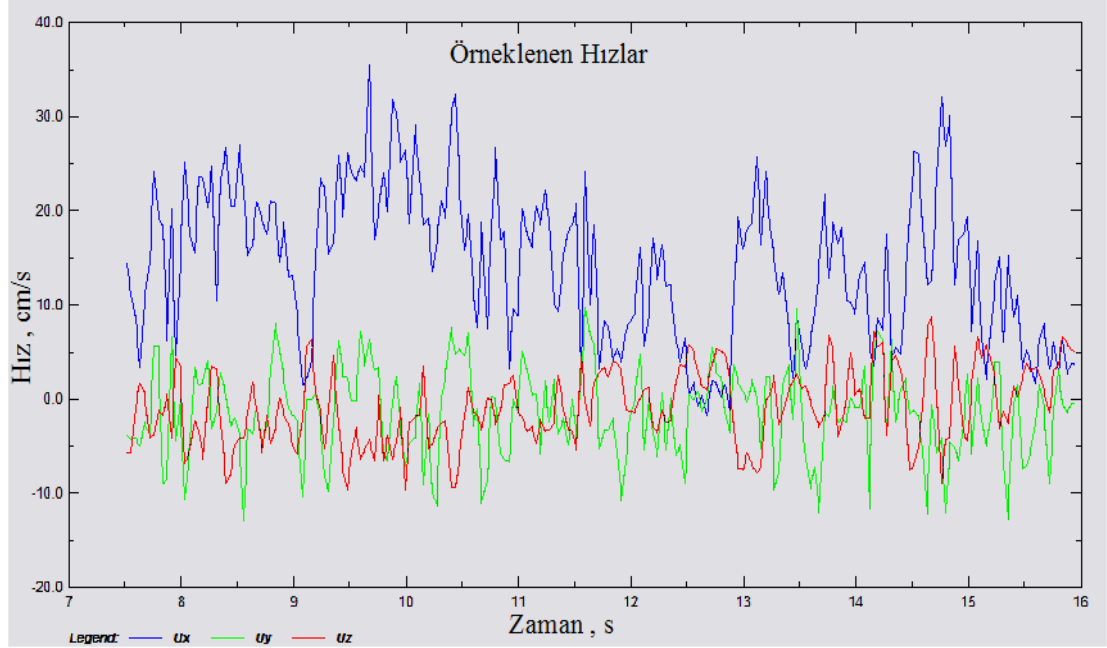
c)



d)

Şekil 5.11 Kumların taşlar arasından emilmesi

Şekil 5.12’de, ise taneciğin taşların arasından emildiği sırada akımın her üç yöndeki ölçülen hızların zaman serisi gösterilmektedir (Şekil 5.10,Deney 11, Tablo 5.1,teorik tabandan 1 cm yukarıda boşluğun ortasında ölçülen hız değerleri). Şekilde u hızının pozitif piklerinde boşluk içerisine akışkan girişi olmaktadır. w’nın negatif olduğu olması (tabana doğru) buna işaret etmektedir. u’nun küçük değerlerinde ise tabandan vorteks akıma doğru çıkmaktadır. w+ vorteksin düşük hızı u’nun değerini küçültmekte ve u’ - olmaktadır.



Şekil 5.12 Taşlar arasındaki boşlukta ölçülmüş akımın üç yöndeki bileşenlerinin zaman serisi

5.4 Sedimentin Emilmesinin Başlangıcı

Boyutsal temelde emilme işlemini incelersek eğer, sedimentin taşlar arasından emildiği kritik durumu şu şekilde ifade edebiliriz :

$$\theta_{su} = f\left(\frac{d}{D}\right) \quad (5.5)$$

θ_{su} emilmenin meydana geldiği durumdaki Shields parametresidir. Denklemin sol

tarafı iki kuvvetin oranını göstermektedir, $\frac{F_D}{F_R}$. Burada F_D , sedimenti taşlar arasındaki

boşluktan çıkaran kuvvettir ve F_R ise bu kuvvetin tam tersi olan koruyucu kuvvettir.

Temelde, F_D aşağıdaki üç kuvvetin toplamıdır:

- 1) Vorteksin kopmasına neden olan düşey basınç gradyan kuvveti
- 2) Düşey yöndeki taneciği hareket ettiren sürüklenme kuvveti
- 3) Diğer tüm hareket ettirici kuvvetler (sürüklenme kuvveti)

$$F_D \sim \rho U_f^2 d^2 \quad (5.6)$$

Diğer taraftan, koruyucu kuvvet ise temel olarak sedimentin batmış ağırlığından dolayı mevcut olan bir kuvvettir.

$$F_R \sim \rho (s - 1) g d^3 \quad (5.7)$$

Eğer Shields parametresi büyükse, $\frac{F_D}{F_R}$ büyüktür, bundan dolayı, daha çabuk etkilenen sediment emilecektir.

Diğer parametre (d/D) 'dir. d/D 'nin akımın tabana etkisi olarak açıklamak mümkündür. D büyüdükçe taban malzemesinin akımdan etkilenmesi azalacaktır. Ayrıca D 'nin artması ile taban yakınında türbülans karakteristikleri de düşecektir(Sumer ve diğ.(2001)).

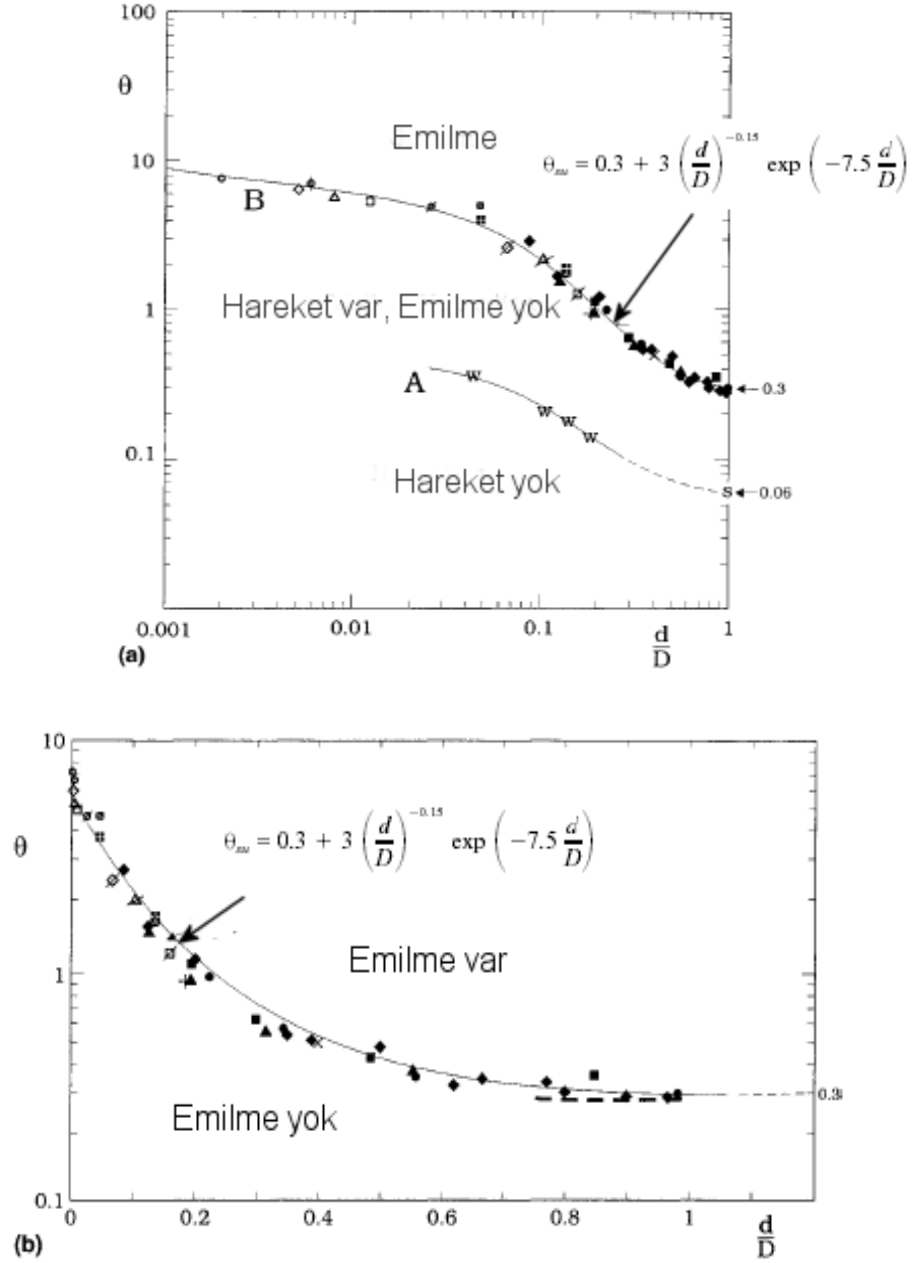
Aşağıdaki denklemde (5.8) θ_{su} ile d/D arasında ilişki gösterilmiştir. Şekil 5.13'de emilmenin başlangıcına karşı gelen verilerden, ampirik olarak elde edilen denklem (Sumer,Cokgor ve Fredsoe 2001):

$$\theta_{su} = 0,3 + 3\left(\frac{d}{D}\right)^{-0,15} \exp\left(-7,5 \frac{d}{D}\right) \quad (5.8)$$

şeklindedir.

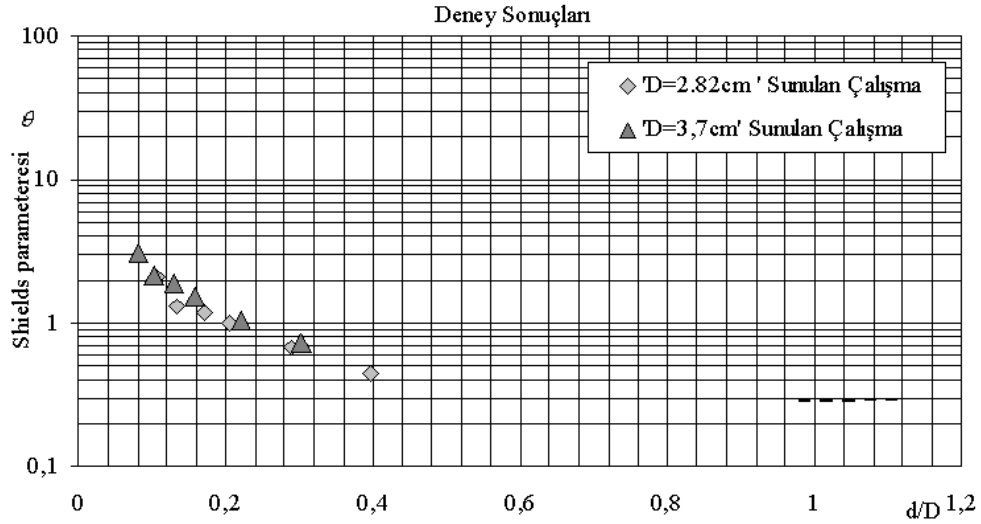
Şekil 5.13a'da , A eğrisi taban tabanından sedimentin harekete başladığı andaki Shields parametresi ile d/D arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Worman 1992), B eğrisi ise taşlar arasından sedimentin emildiği kritik durum daki Shields parametresi ile d/D arasındaki ilişkiyi göstermektedir (d/D oranı logaritmik çizilmiştir). Şekil 5.13b'de ise taşlar arasından sedimentin emildiği kritik durum daki Shields parametresi ile d/D arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 5.14'da ise sunulan çalışmadan elde edilen çeşitli taneciklerin Shields parametreleri (Tablo 5.1) ile d/D oranı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil 5.13a'daki grafikte A eğrisinin altında hareket olamamaktadır. B eğrisi ile A eğrisi arasındaki kısımda ise koruma tabakası altından sediment hareketinden söz edilebilir fakat emilme yoktur. B eğrisinin

üzerinde ise koruma tabakası altından akıma doğru emilme vardır. Şekil 5.13b 5.14,5.15'deki verilen eğrilerin altında emilme yoktur fakat eğrilerin üst kısmında ise emilme vardır.

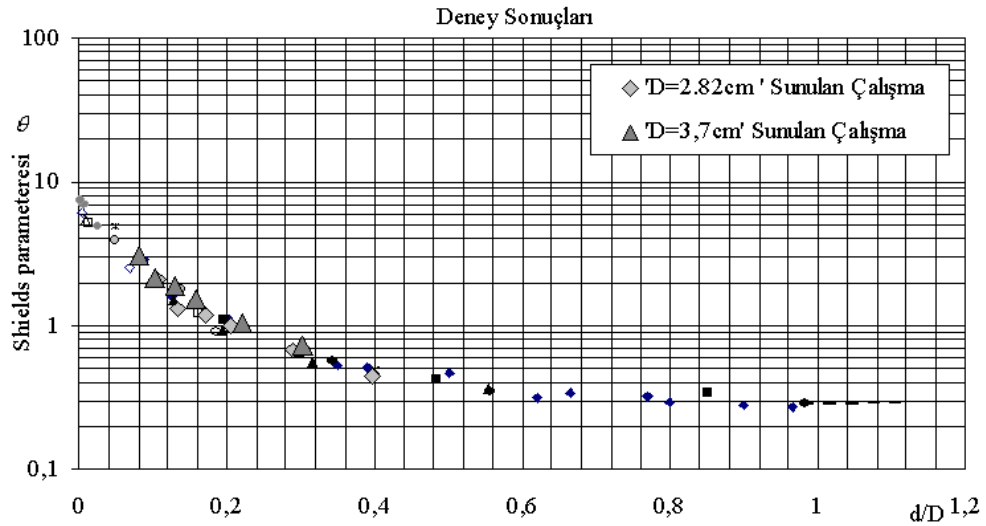


Şekil 5.13 a ve b Shields parametresinin, sedimentin koruma tabakası altında hareketi (A eğrisi) ve koruma tabakası altından emilmesi (B eğrisi) kritik durumlarında d/D ile değişimi

Şekil 5.15’de, sunulan çalışma ile Şekil 5.13b ’deki değerler bir arada sunulmuştur. Şekil 5.15’den görüleceği gibi sunulan çalışmada elde edilen değer, literatürde yer alan çalışma ile oldukça iyi bir uyum sağlamaktadır. Şekil 5.15’deki eğrilerin altında emilme yoktur fakat eğrilerin üst kısmında ise emilme vardır.



Şekil 5.14 Sunulan çalışmada elde edilen Shields değerleri ile d/D arasındaki grafik gösterilmiştir



Şekil 5.15 Deneysel verilerle literatür (Sumer ve diğ.(2001)) değerlerinin kritik emilme durumunda karşılaştırılması

5.5 Sediment Yatağı Deneyleri

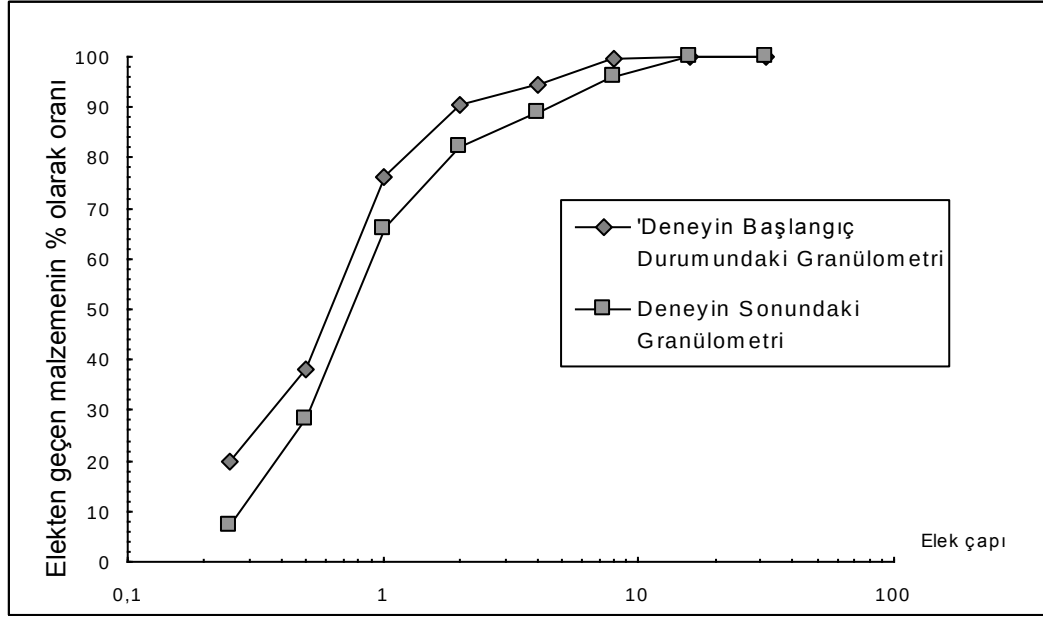
Sediment yatağı deneylerinde, $D = 3,7$ cm'lik koruma tabakası için beş farklı granülometriye sahip taban malzemesi oluşturulmuştur ve aynı şekilde $D = 2.82$ cm'lik koruma tabakası için üç farklı granülometriye sahip taban malzemesi oluşturulmuştur. Tablo 4.1'de $D = 3,7$ cm ve $D = 2.82$ cm için oluşturulan taban malzemelerinin granülometrik özellikleri gösterilmiştir.

Taban malzemesi deneylerinde her deney aşağıdaki sıralanan prosedüre göre yapılmıştır :

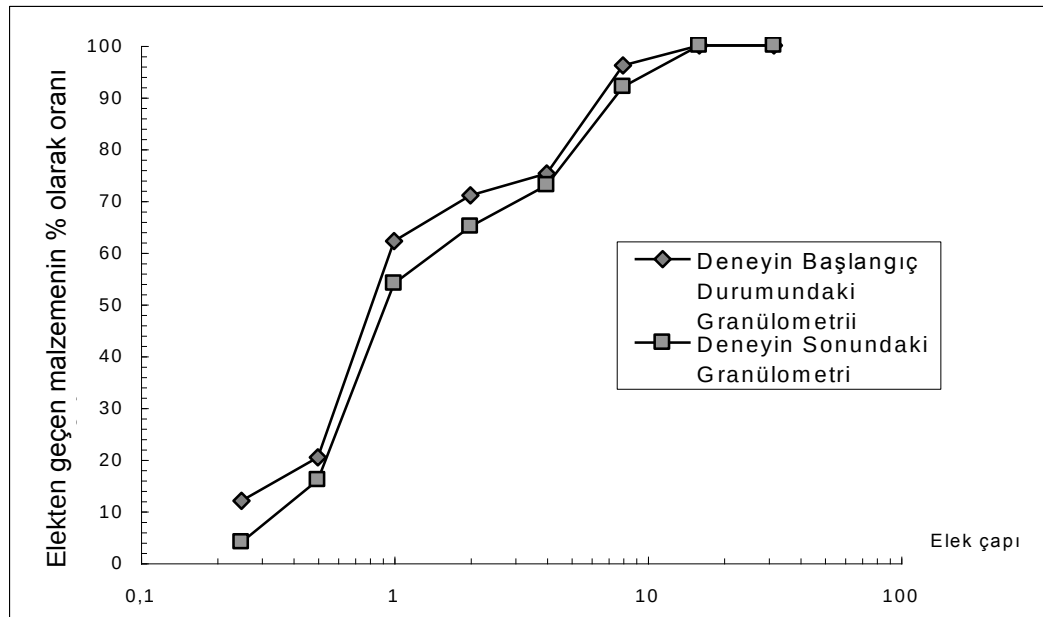
- 1) Kanala içinde oluşturulan sediment kutusunun içerisine çeşitli granülometrideki taban malzemeleri yerleştirilmiştir. Taban malzemesi içinden 10 farklı noktadan granülometrisi incelenmek üzere numune taban malzemesi alınmıştır (Şekil 5.16,17,18,19,20,21,22ve23) ve plan fotoğrafı çekilmiştir.
- 2) Taban malzemesinin üzerine koruma tabakası yerleştirilmiştir ve kamera taban içerisine gömülerek yine plan fotoğraf çekilmiştir.
- 3) Akım hızı 2 dakikalık aralıklarla ortalama U hızı 80 cm/sn olana kadar hız artırılmıştır ve taşların tam ortasından tabandan akım yüzeyine kadar hız ölçümü yapılmıştır ve U_f belirlenmiştir.
- 4) Maksimum hızda (80cm/sn) yaklaşık bir saat boyunca koruma tabakası taban malzemesi içine maksimum gömülene kadar deney devam etmiştir.
- 5) Koruma tabakasının oluşturan taşlardan 2 tanesinin taban içerisine gömülme derinliği limnimetre ile ölçülmüştür.
- 6) Koruma tabakası gömülüp artık stabil olduğu durumda, deney sistemi kapatılarak son durumun plan fotoğrafı çekilmiştir.
- 7) Koruma tabakası taban malzemesi üzerinden kaldırılarak tekrar plandan fotoğraf çekilmiştir ve taban malzemesi içerisinden 3cm derinlikte 10 farklı noktadan taban malzemesinin son durumdaki granülometrisini belirlemek için numune alınmıştır.

- 8) Başlangıçta ve son durumda alınan numuneler incelenerek granülometri eğrileri çıkarılmıştır.

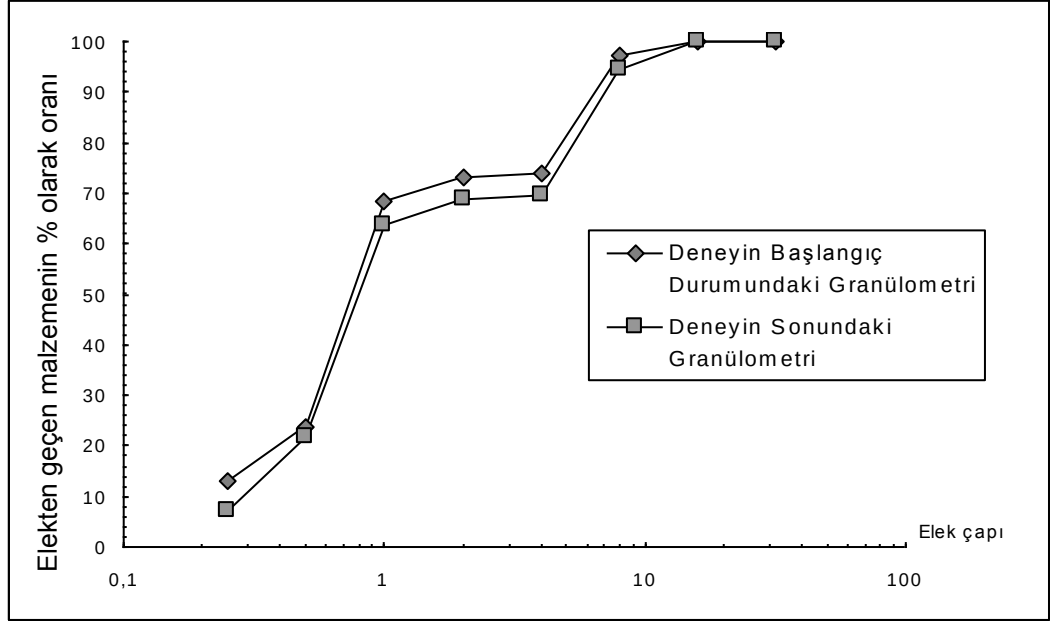
Yukarıdaki sıra ile bütün taban malzemesi deneyleri yapılmıştır. Şekil 5.16,17,18,19,20 'de $D = 3.7$ cm'lik koruma tabakası altına yerleştirilen beş farklı üniform olmayan taban malzemesinin deney başlangıcında ve kararlı akıma geldiği son durumdaki granülometrilere gösterilmektedir.



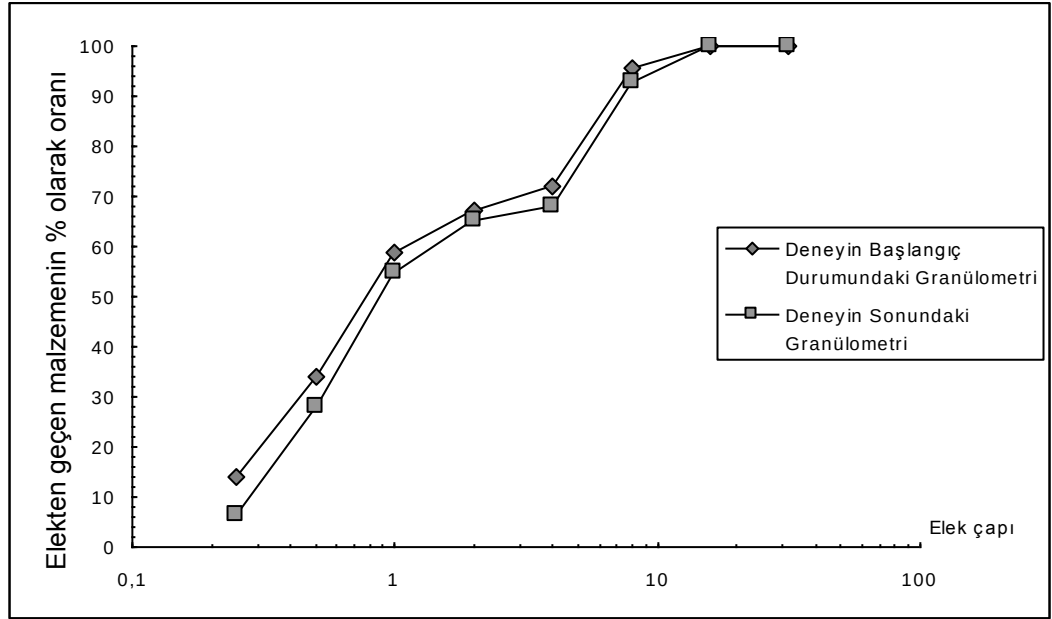
Şekil 5.16 $D = 3.7$ cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 1 no'lu deney sonucu



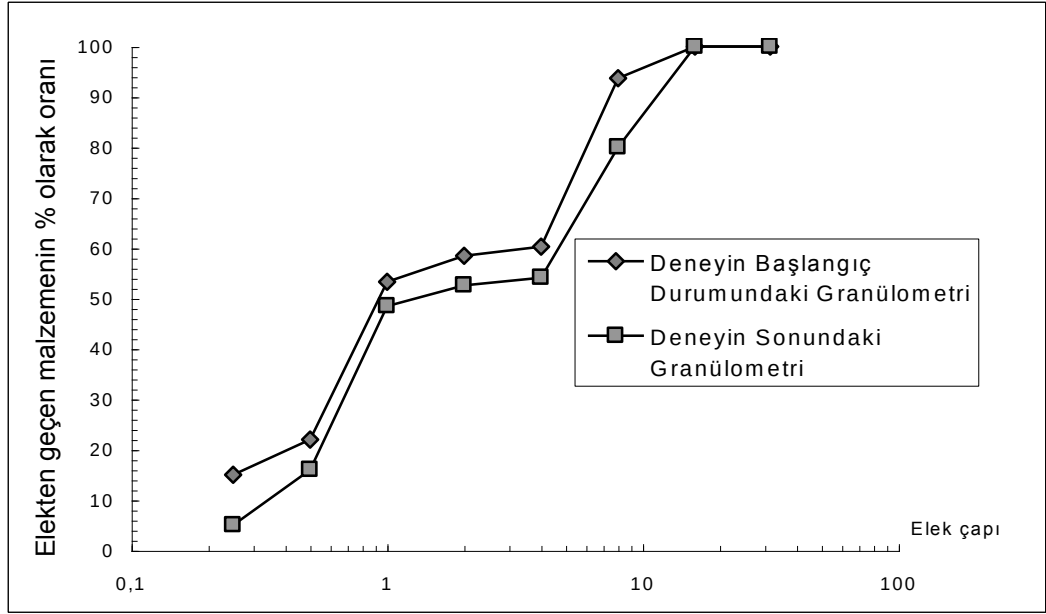
Şekil 5.17 $D = 3.7$ cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 2 no'lu deney sonucu



Şekil 5.18 D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 3 no'lu deney sonucu

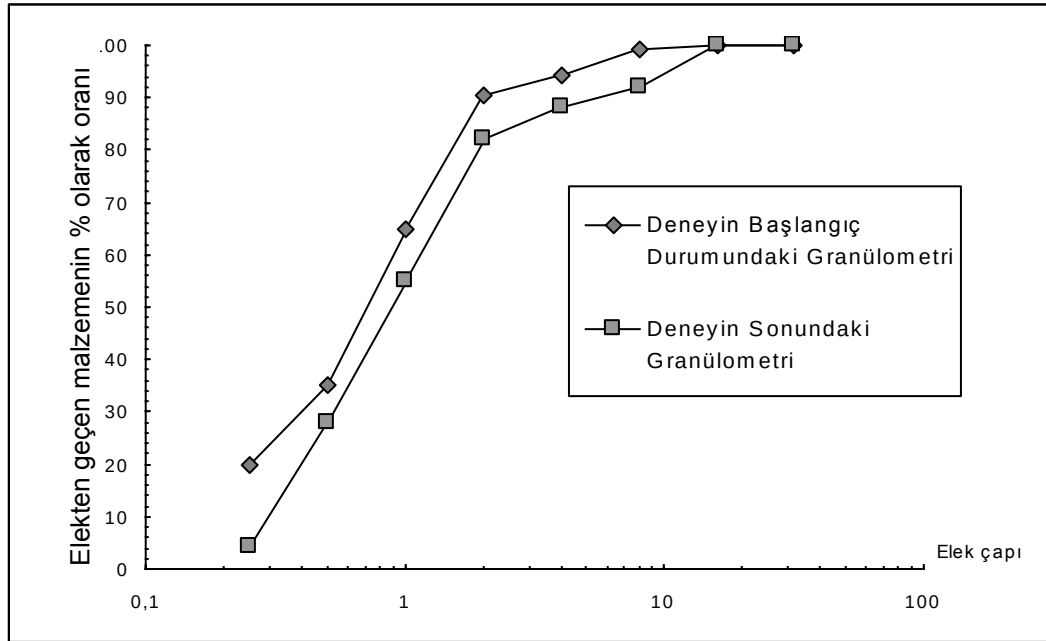


Şekil 5.19 D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 4 no'lu deney sonucu

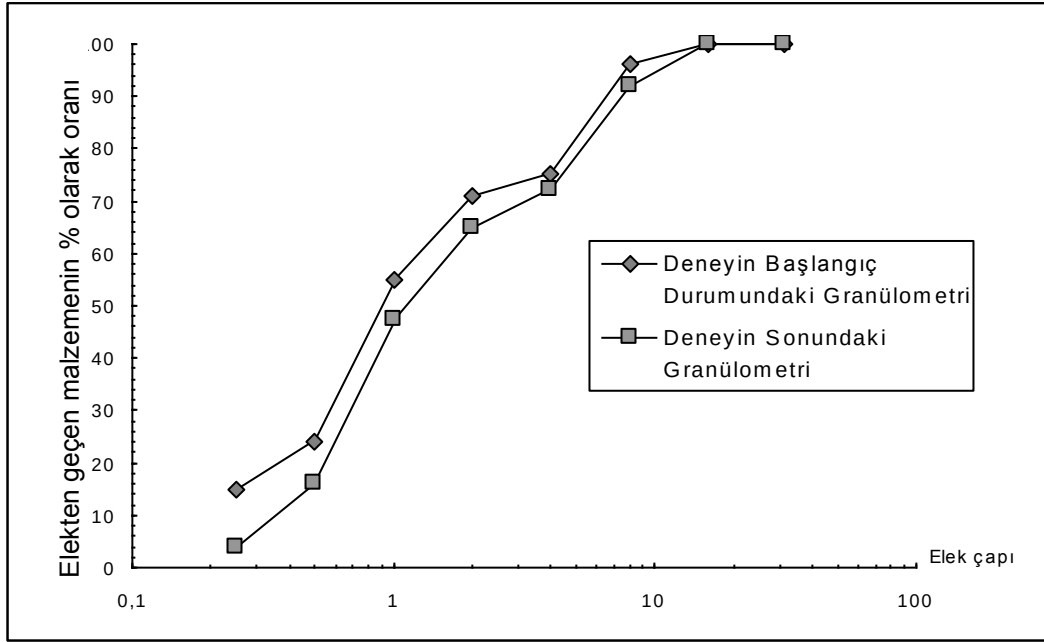


Şekil 5.20 D = 3.7 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 5 no'lu deney sonucu

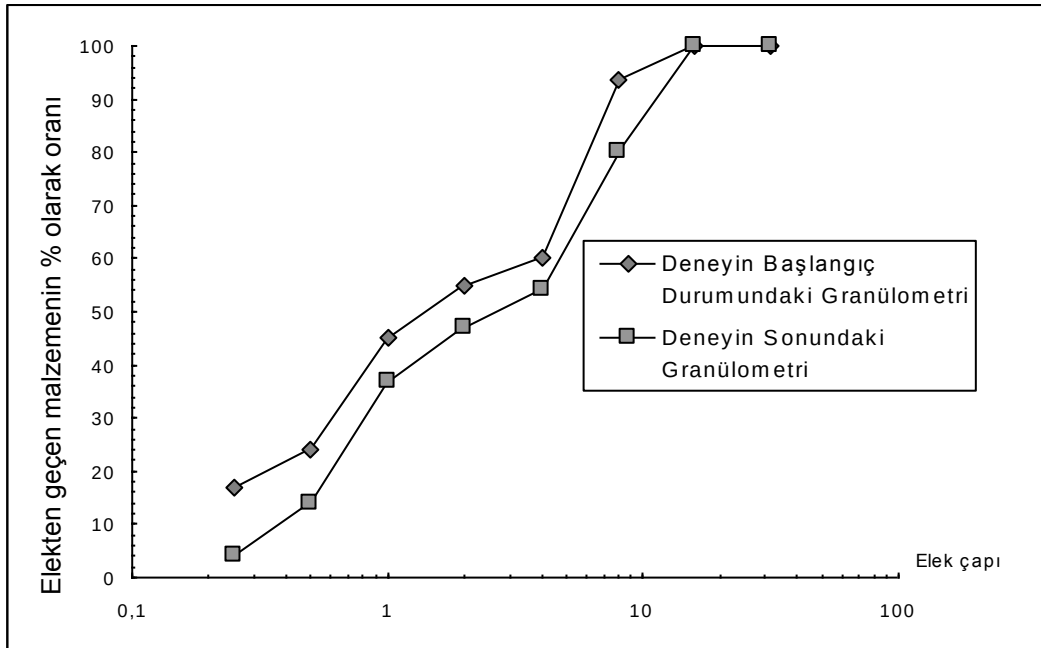
Şekil 5.21,22,23'de D = 2.82 cm'lik koruma tabakası altına yerleştirilen üç farklı üniform olmayan taban malzemesinin başlangıç ve son durumdaki granülometrileri gösterilmiştir.



Şekil 5.21 D = 2.82 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 6 no'lu deney sonucu



Şekil 5.22 D = 2.82 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 7 no'lu deney sonucu



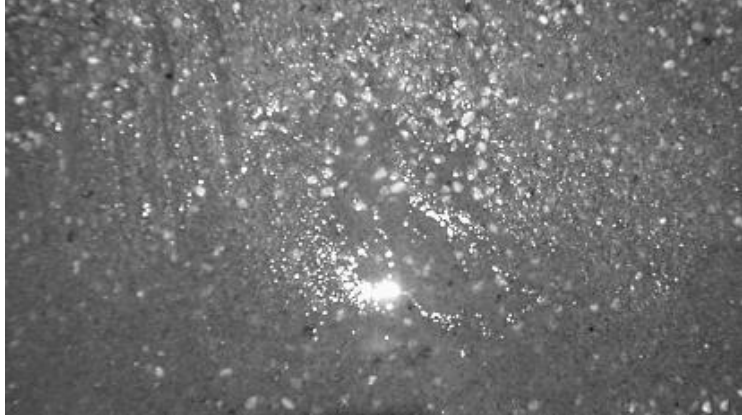
Şekil 5.23 D = 2.82 cm'lik taş düzeneğinde yapılmış 8 no'lu deney sonucu

Yapılan sekiz deneyde de başlangıç durumuna göre son durumda taban malzemesinden ince olan malzemelerin emildiği gözlenmiştir. Başlangıç durumuna göre son durumda, üniform olmayan taban malzemesinde çapı büyük olan emilemeyen malzemelerin toplam taban malzemesindeki oranı artmış olduğu

gözlemlenmiştir. Son durumda taban malzemesinde ince sedimentlerin oranı azalmıştır.

Taban malzemesi deney 2 (Tablo 4.1)'nin başlangıç ve son durumdaki çekilen fotoğraflar Şekil 5.23,24,25,26,27,28 ve 29'de gösterilmiştir.

Akım Yönü



Şekil 5.24 2. Deneyin başlangıç durumda koruma tabakası yerleştirilmeden önce taban malzemesinin plan görünüşü

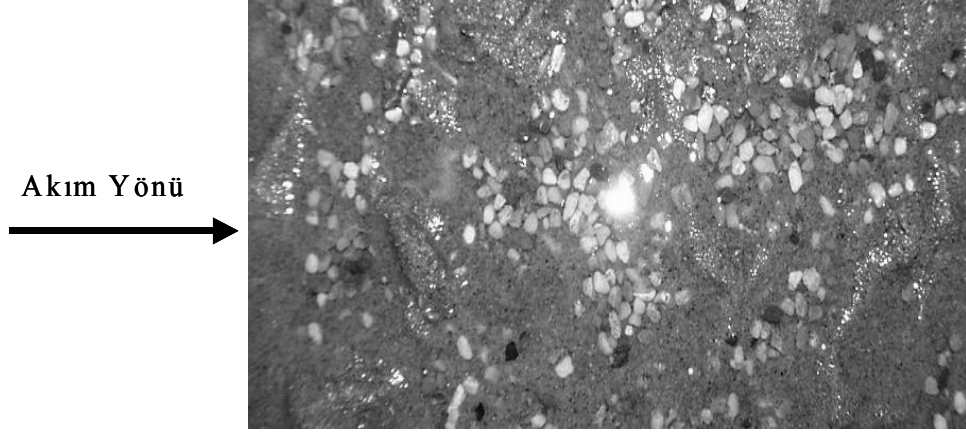
Akım Yönü



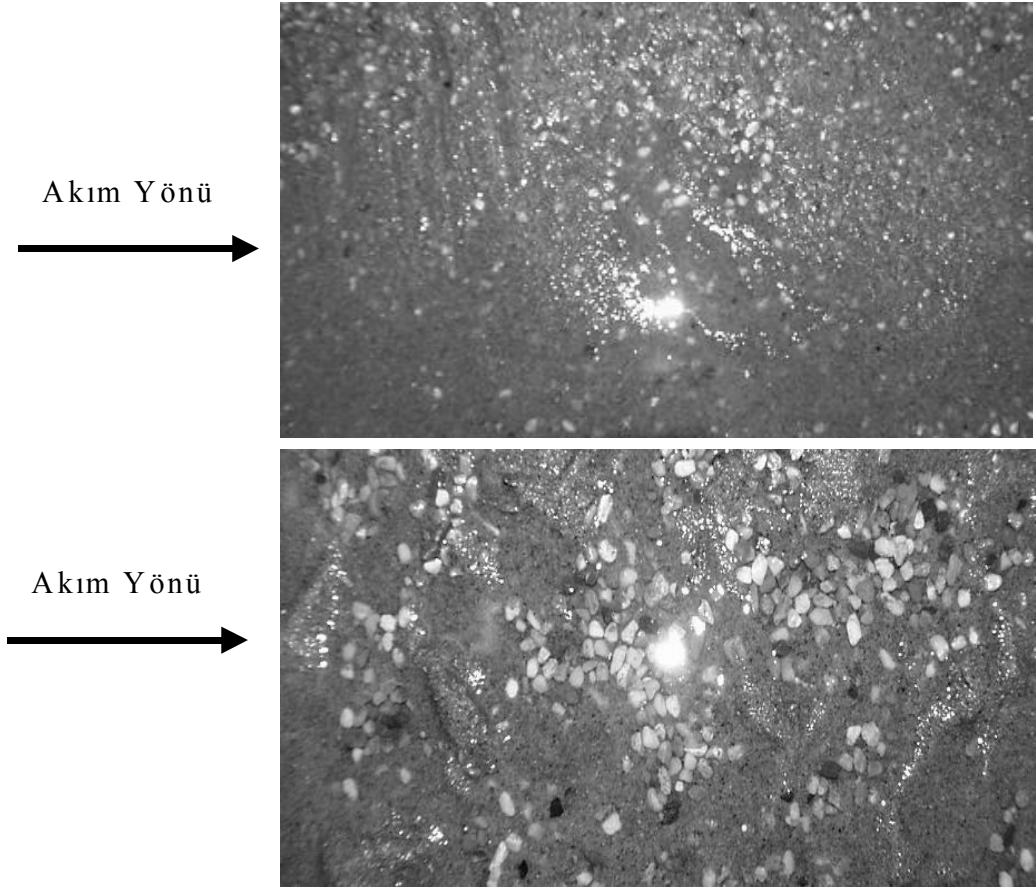
Şekil 5.25 2. Deneyin başlangıç durumda koruma tabakası yerleştirildikten sonra taban malzemesinin plan görünüşü



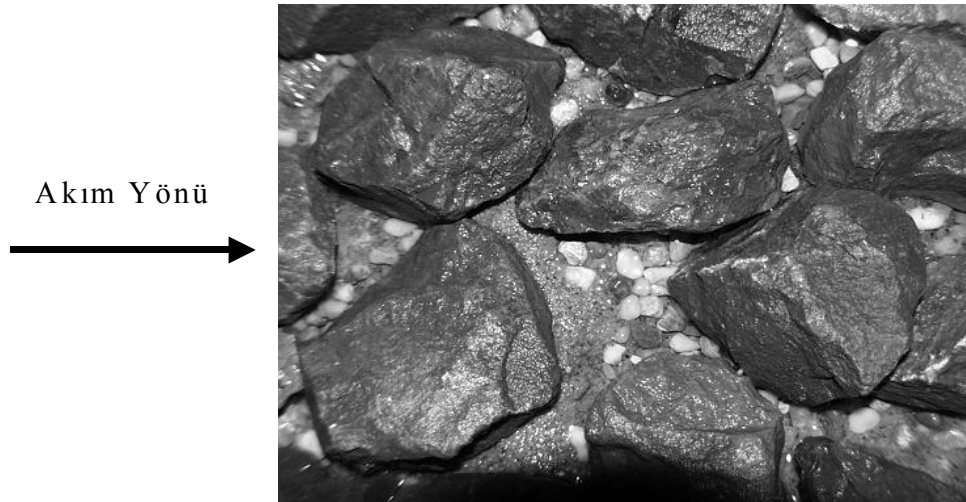
Şekil 5.26 2. Deneyin son durumda koruma tabakası altında taban malzemesinin plan görünüşü



Şekil 5.27 2. Deneyin son durumda koruma tabakası kaldırıldıktan sonra taban malzemesinin plan görünüşü



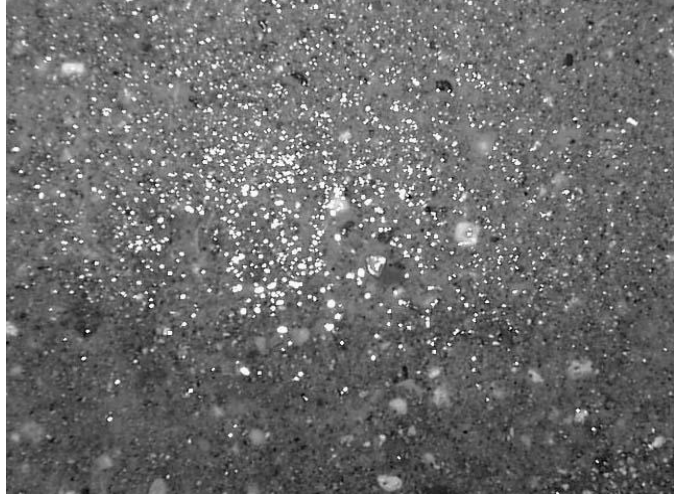
Şekil 5.28 2. Deneyin başlangıç ve son durumdaki taban malzemesinin karşılaştırmalı plan görünüşü



Şekil 5.29 2. Deneyin son durumdaki koruma tabakası altındaki taban malzemesinin yakından görünüşü

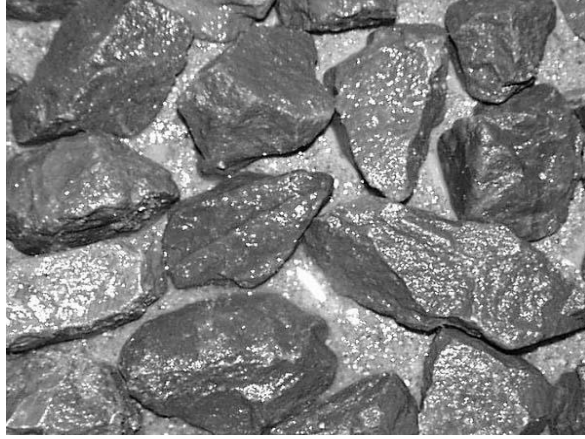
Sediment yatağı deney 3'ün başlangıç ve son durumdaki plandan çekilen fotoğrafları Şekil 5.30,31,32,33 ve 34' de gösterilmiştir.

Akım Yönü
→



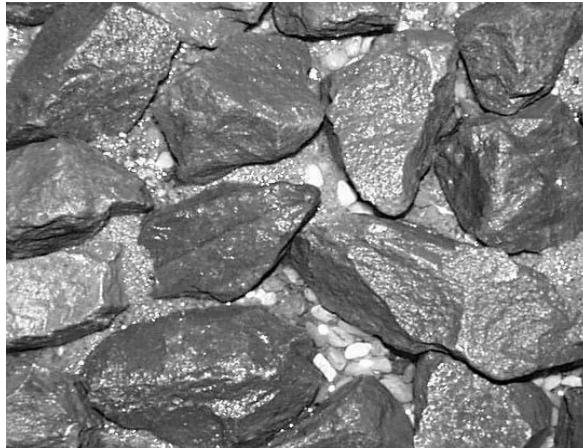
Şekil 5.30 3. Deneyin başlangıç durumunda koruma tabakası yerleştirilmeden önce taban malzemesinin plan görünüşü

Akım Yönü
→

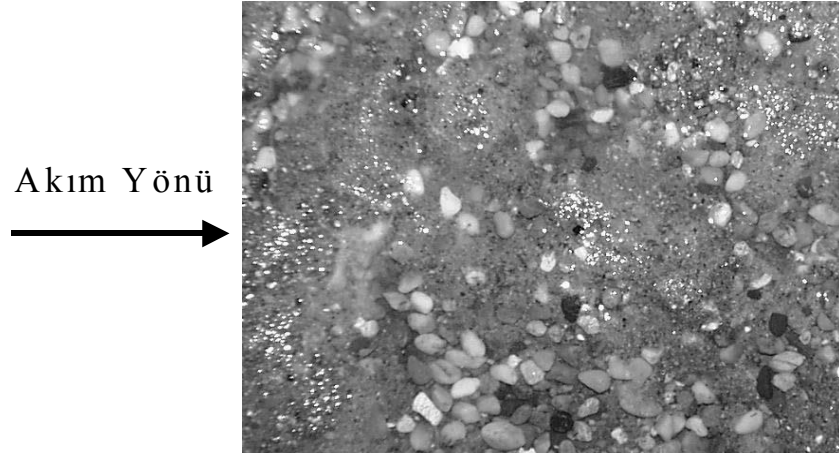


Şekil 5.31 3. Deneyin başlangıç durumunda koruma tabakası yerleştirildikten sonra taban malzemesinin plan görünüşü

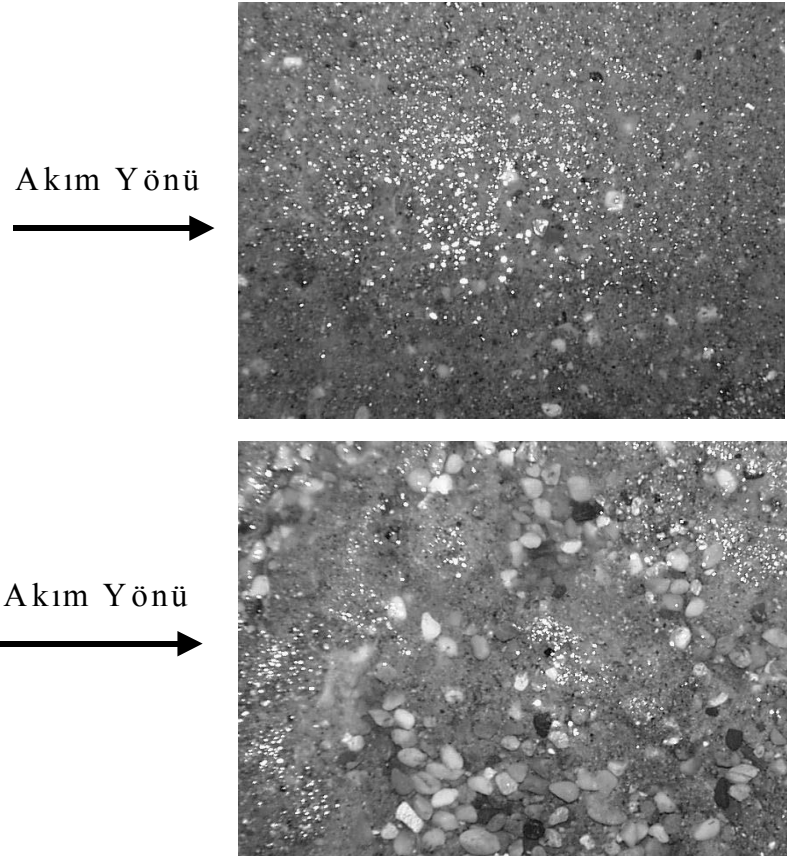
Akım Yönü
→



Şekil 5.32 3. Deneyin son durumdaki koruma tabakası altındaki taban malzemesinin plan görünüşü



Şekil 5.33 3. Deneyin son durumda koruma tabakası kaldırıldıktan sonra taban malzemesinin plan görünüşü



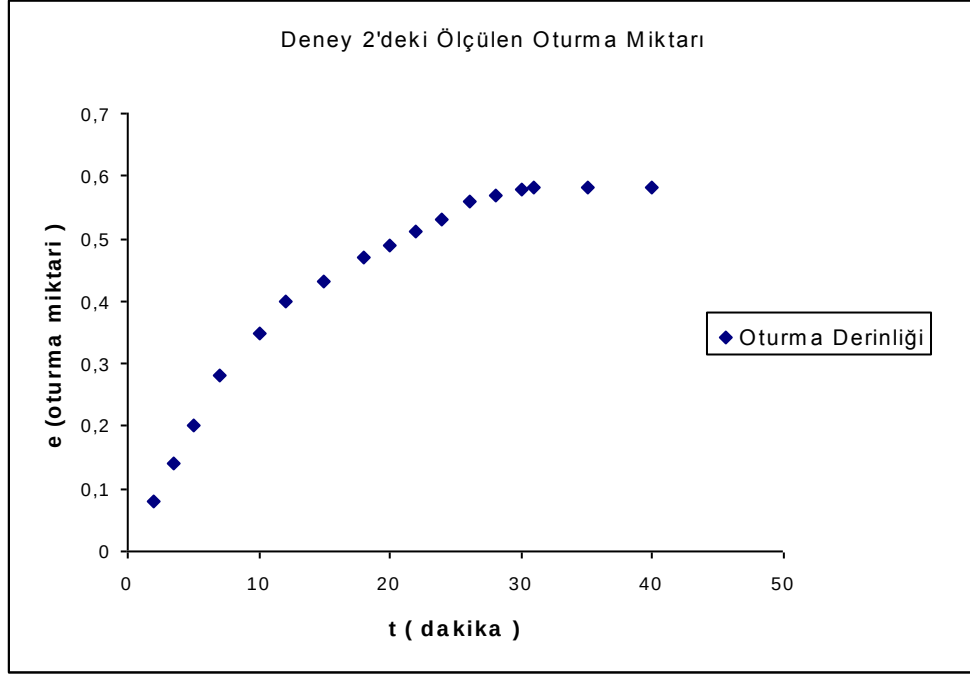
Şekil 5.34 3. Deneyin başlangıç ve son durumdaki taban malzemesinin karşılaştırmalı plan görünüşü

Şekil 5.28’de görüldüğü gibi, başlangıçta ince malzeme oranının fazla olmasına rağmen, deney sonunda ince malzemenin çoğunun emilmesi nedeniyle iri malzeme oranı arttığı görülmüştür. Deney 2’nin granülometre eğrisine baktığımızda (Şekil 5.17) son durumda taban malzemesinin kalınlaştığı (iri malzeme oranının arttığı)

görülmüştür. Şekil 5.26 ve 5.29 incelediğimizde ise, iri malzemenin koruma tabakasını oluşturan taşların arka kısmında toplandığı görülmüştür. Daha küçük çaplardaki ve akımın ememediği malzemesi taşların ön kısmında birikmiş olduğu görülmüştür. Akımın sadece hareket ettirebildiği fakat ememediği büyüklükteki malzemeler taşların ön kısmında birikmiştir. Daha büyük çaptaki iri malzemeler ise yıkanarak taşların arka kısmında birikmiş ve stabil bir hale gelmiştir. Deneyin son durumunda zaten koruma tabakası gömülebileceği kadar gömülmüştür ve son konumlarında stabil kalmışlardır(Şekil 5.29). Bu durumda koruma tabakasında artık bir gömülme meydana gelmemektedir ve sistem iri malzemeler taşların arka kısmında, daha küçük çaptaki malzemeler taşların ön kısmında toplanarak stabil bir hale gelmiştir. Son durumda görüldüğü gibi koruma tabakası gömüldüğü için hız azalmıştır ve emilme işlemi durmuştur ve sistem stabil bir hale gelmiştir. Bu son durumda, koruma tabakası, onun altında koruma tabakasına göre daha küçük çaptaki malzemelerden oluşan ince bir filtre tabakası ve onun altında taban malzemesinden oluşan üç tabakalı bir sistem oluşmuştur. Aynı şekilde deney 3'deki fotoğraflar incelenmiştir ve deney 2 yapılan yorumların aynısı bu deney içinde geçerli olduğu görülmüştür.

Bu oluşum akarsularda cluster oluşumuna benzemektedir. Küçük tanecikler büyük hareket etmeyen taşların (burada koruma tabakası elemanı) etrafında birikerek akıma daha dirençli bir topluluk oluştururlar. Akarsularda iri elemanın akımın geldiği kısmında büyük çaplı taneler birikmekte (Şekil 5.32) ve iz bölgesinde ise kum gibi küçük tanecikler saklanmaktadır (Şekil 5.32). Bu oluşum sediment deneylerinde de görülmüştür.

Üniform olmayan taban malzemesi deneylerinin sonuncusu koruma tabakasının taban içerisine gömülmesinin zamanla değişimi incelenmiştir(Şekil 5.35). Shields parametresinin ince taneler için $> \theta_{su}$ olduğu durumda, taşların altı oyularak taşlar batmaktadır. Emilme işlemi devam ederken, kum taneciklerinin emilmesinden dolayı taban malzemesinde genel bir kaymanın meydana geldiği bir durum meydana gelir (Terzaghi 1948, p.118). Bu durum taşların batarak yer değiştirmesine öncülük eder. Şekil 5.35'de, 2. deney sırasında ölçülen zamanla bir taşın yer değiştirmesinin grafiği yer almaktadır. ($D = 3,7$ cm, $d_{50} =$, $U = 80$ cm/sn, $U_f = 17,4$ cm/sn). Şekil 5.35'den görüleceği gibi, yer değiştirme işlemi zaman içerisinde sonradan bir denge durumuna gelmektedir. Bu durum aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 5.35 Deney 2’de ölçülen oturma miktarının zamanla değişimi

Emilme işlemi stabil bir duruma ulaşmaktadır. Çünkü taşlar arasındaki boşluk öyle derin olur ki; akımın taneciklerin emilmesine neden olan hareket etkisi artık boşluktaki kum tanelerine ulaşamamaktadır. Taşlar arasındaki boşluktaki vorteksin akım içindeki görüntüsü şunu göstermiştir; denge durumuna ulaşıldığından sonra emilme boşluğunun altına vorteks ulaşamamaktadır. Denge durumunda akımın ortalama hızının biraz azaldığı söylenebilir. Çünkü koruma tabakası yatağın içine gömülürken su seviyesi pratik olarak değişmemiştir. Ortalama akım hızındaki bu küçük azalma (yaklaşık %3) Shields parametresinde bir azalmaya neden olacaktır (yaklaşık %5). Bu durumda akımın emme gücünde küçük de olsa bir azaltma meydana getirmektedir. Bu son durum emilme işleminin bitmesine yardım edebilir. Fakat bu etki tek başına emilme işleminin bitmesine neden olduğunu söyleyemeyiz; çünkü Shields parametresindeki %5 lik bir azalma olsa da, bu Shields parametresi ($\theta = 7,6$) yinede kumun emildiği durum için belirlenmiş kritik Shields parametresinden hala büyüktür ($\theta_{su} = 6,35$).

6. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ve yorumlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Akım hızı gitgide artan bir şekilde arttığında, sedimentin taşlar arasından emildiği bir kritik duruma ulaşılır.
- Taşlar arasındaki boşlukta oluşan vorteks, emilme işlemi için önemli bir etkidir. Sediment vorteksin içine girer ve sonradan vorteks koptuğu ve akımın içerisine karıştığı zaman, sediment de bununla birlikte akımın ana gövdesine yerleşerek emilme gerçekleşir.
- Taşlar arasından sedimentin emildiği kritik durum iki parametreden etkilenir. Shields parametresi θ ve sediment çapının d , koruma tabakası çapı D 'ye oranı olan d / D oranından etkilenir.
- Üniform olmayan taban malzemesi durumunda, akımın belli bir kritik değeri aştığı durumda emilme sürekli devam etmekte ve belli bir süre sonra durmaktadır.
- Üniform olmayan taban malzemesi durumunda, emilmeden dolayı koruma tabakası taban içerisine batmaktadır. Emilme durana kadar bu yerdeğiştirme işlemi devam etmektedir ve emilme durduğunda yerdeğiştirme bitmekte ve koruma tabakası stabil kalmaktadır.
- Üniform olmayan taban malzemesi durumunda, emilme bittiğinde koruma tabakasını oluşturan taşların arka kısmında iri taneler birikmekte, ön kısmında ise daha ince malzeme birikmektedir ve bu durumda koruma tabakası daha stabil bir yapıya sahip olmaktadır. Koruma tabakasının altında bir filtre tabakasının oluştuğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Bayazit, M. (1971). "Hareketli tabanlı akımların hidroliği", İ.T.Ü. ,Türkiye, 34-48

Bayazit, M. (1976). "Free surface flow in a channel of large relative roughness." J.Hydr. Res., Delft, The Netherlands, 14(2), 115-125.

Bayazit, M. (1983). "Flow structure and sediment transport mechanics in steep channel." Proc., Euromech 156, Mech. Of Sediment transport, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 197-206.

Fredsøe, J., Andersen, K.H., and Sumer,B.M. (1999). "Wave plus current over a ripple covered bed." Coast.Engrg.,Amsterdam,The Netherlands,38,177–221.

Brahms, A. (1753), "Anfangsgrunde der deich und wasserbaukunst Aurich"

Kamphuis, J W. (1974). "Determination of sand roughness for fixed beds." J. Hydr. Res., Delft, The Netherlands, 12(2), 193-203.

Kramer, H. (1935), "Sand mixtures and sand movement in fluvial models", Transactions, ASCE, Vol. 100, 798-878

Nezu, I. (1977). "Turbulence structures in open-channel flows." PhD thesis, Kyoto University, Kyoto, Japan.

Nezu, I.and Nakagawa, H. (1993). "Turbulence in open-channel flow." IAHR Monograph, Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

Raudkivi, A.J., and Ettema, R. (1982). "Stability of armor layers in rivers." J. Hydr. Div., ASCE, 108(9), 1047-1057.

Raudkivi, A.J., and Ettema, R. (1982). "Scour at cylindrical bridge piers in armored beds." J. Hydr. Engrg., ASCE, 111(5), 713-731.

Shields, A. (1936). "Anwendug der Aehnlichketsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung." Mitteilungen der Preussischen Versuchsanstalt fur Wasserbau und Schiffbau, 6 (in German).

Sumer, B. M. (1986). "Recent developments on the mechanics of sediment transport." Proc., Euromech 192, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 3-13.

Sumer, B. M., and Deigaard, R. (1981). " Particle motions near the bottom in turbulent flow in an open channel-Part 2." J.Fluid Mech., Cambridge, U.K., 109, 311-337

Sumer, B. M. and Fredsoe J. (2000). "The Mechanics of scour in the marine Environment" , Advanced Series on Ocean Engineering, Vol.17, 212-217

Sumer, B. M. , Cokgor S. And Fredsoe J. (2001). "Suction removal of sediment from between armor blocks", ASCE Vol. 127, 293-305

Terzaghi, K. (1948). Theoretical soil mechanics, Wiley, New York.

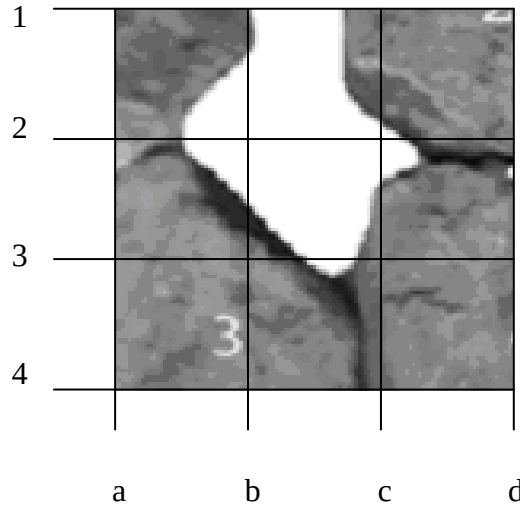
UNESCO, DSI, (1996). "Sediment Transport Technology", Post Graduate Course, proceedings Vol. 1,Chapter 4.

Worman, A. (1989). " Riprap protection without filter layers." J.Hydr. Engrg., ASCE, 115(12), 1615-1630.

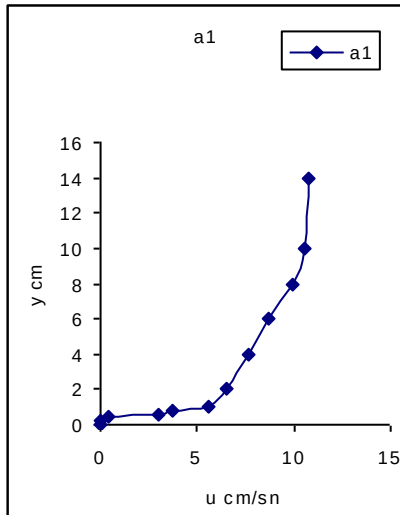
Worman, A. (1992). "Incipient motion during static armoring." J.Hydr.Engrg., ASCE, 118(3), 496-501.

EK1: $U=13.5$ cm/sn ortalak akım hızı durumunda, $D=3.7$ cm'lik koruma tabakası üzerinde 16 farklı noktada akımın $\bar{u}$ ve $\bar{w}$ hızları derinlik boyunca değişimi

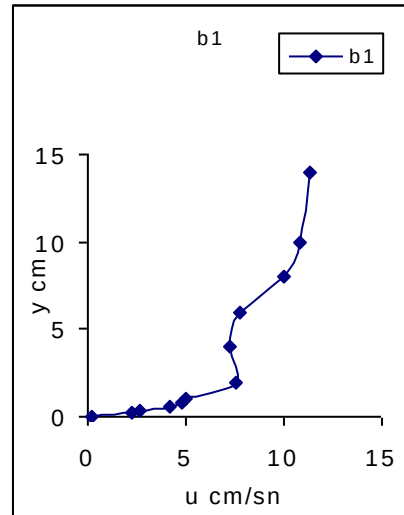
$D=3.7$ cm, $U=13.5$ cm/sn olduğu durumda 16 farklı noktada (Şekil A.1) taşların üst noktalarından, taşları arası boşlukta ise teorik yataktan itibaren derinlik boyunca 11 farklı noktadaki $\bar{u}$ hızları Şekil A.2'de ve $\bar{w}$ düşey hızları ise Şekil A.3'de gösterilmiştir.



Şekil A.1 Düşey doğrultuda ölçüm yapılan noktalar (a1,a2,a3,a4,b1,b2,b3,b4,c1,c2,c3,c4,d1,d2,d3 ve d4)

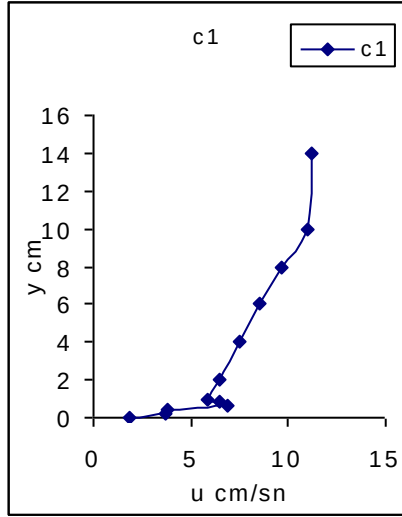


a) a1 Noktası

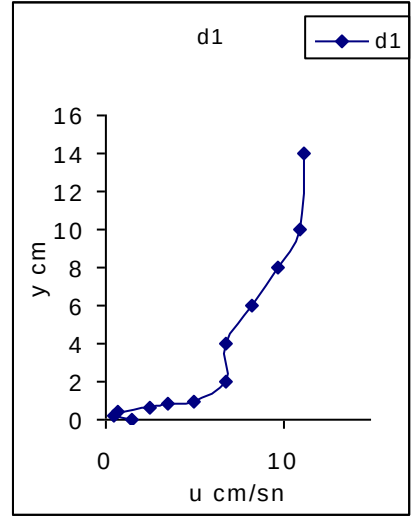


b) b1 Noktası

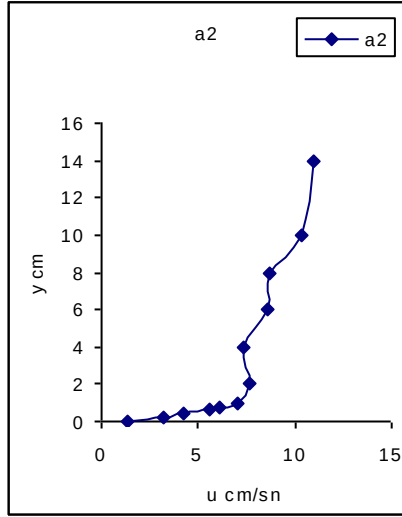
Şekil A.2 a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o ve p $\bar{u}$ hızının derinlikle değişimi



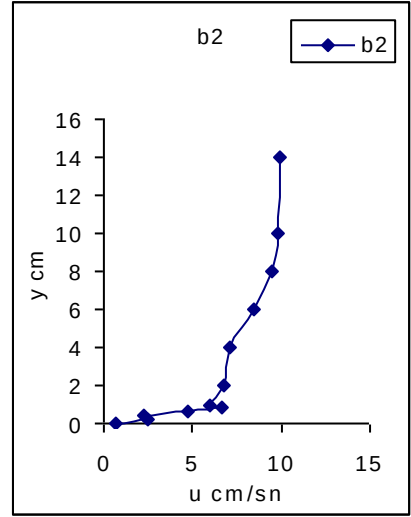
c) c1 Noktası



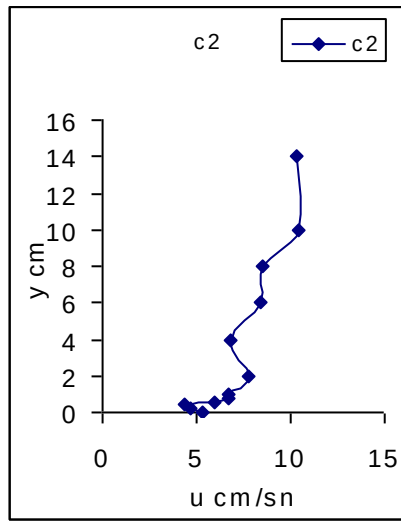
d) d1 Noktası



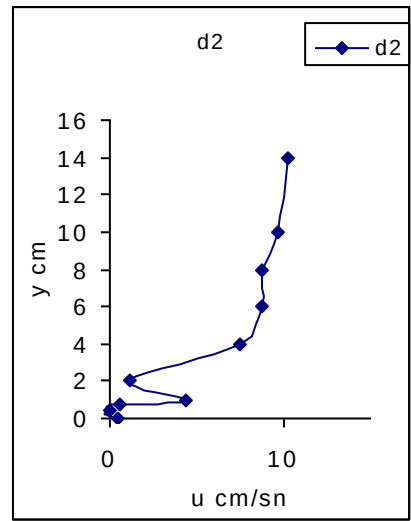
e) a2 Noktası



f) b2 Noktası

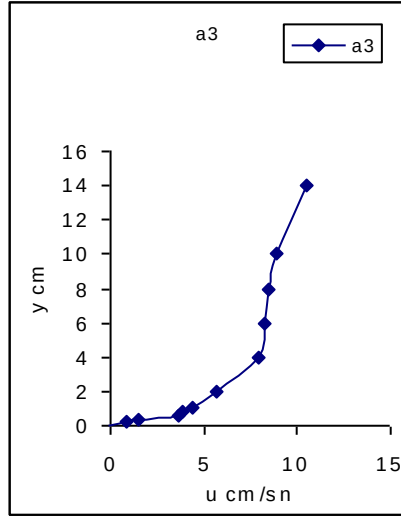


g) c2 Noktası

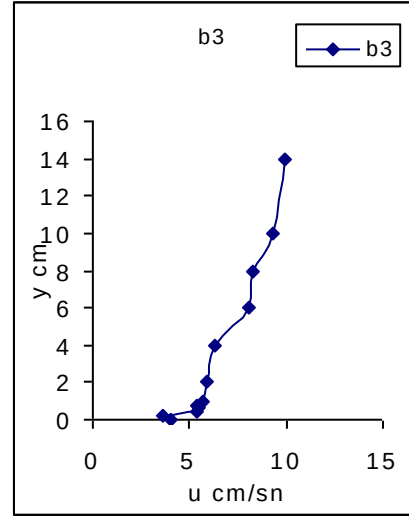


h) d2 Noktası

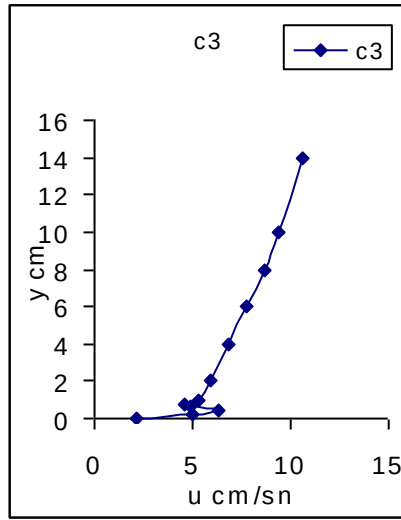
Şekil A.2 devamı



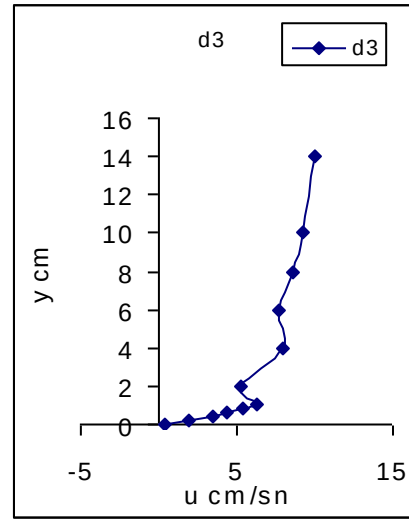
i) a3 Noktası



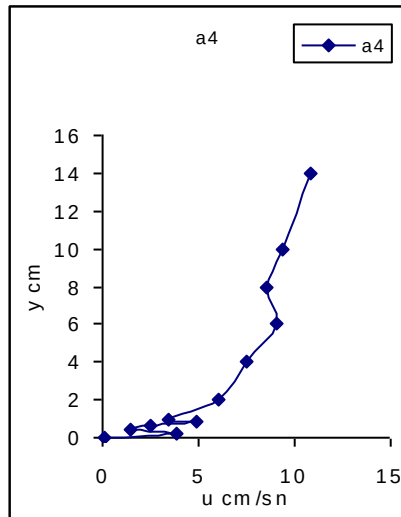
j) b3 Noktası



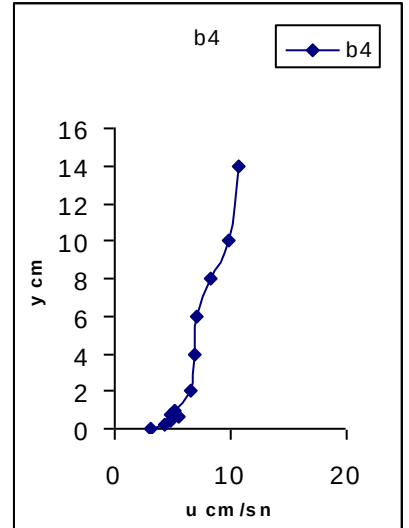
k) c3 Noktası



l) d3 Noktası

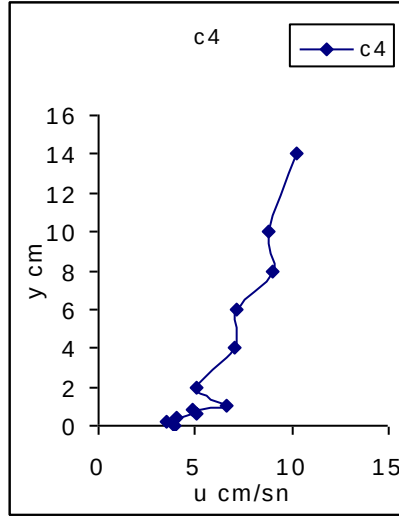


m) a4 Noktası

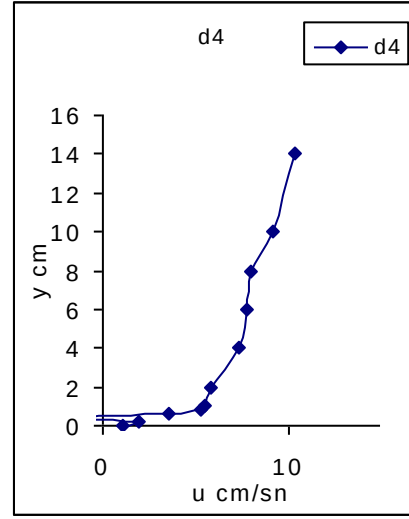


n) b4 Noktası

Şekil A.2 devamı

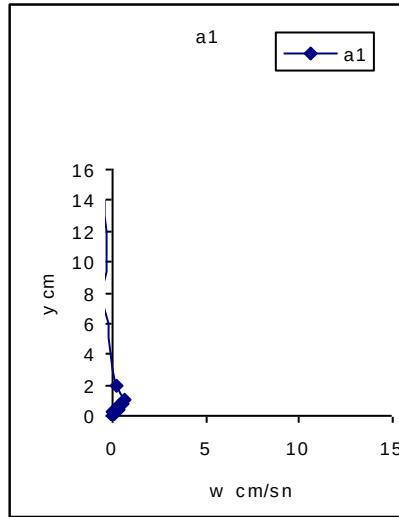


o) c4 Noktası

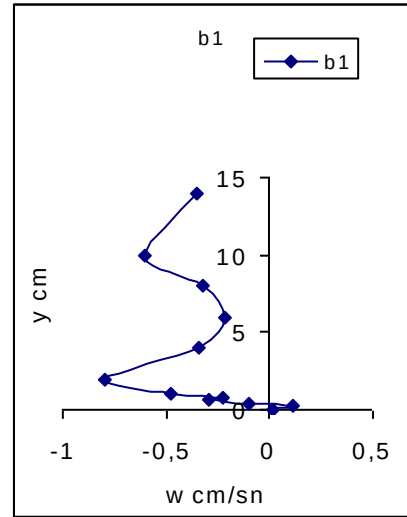


p) d4 Noktası

Şekil A.2 devamı

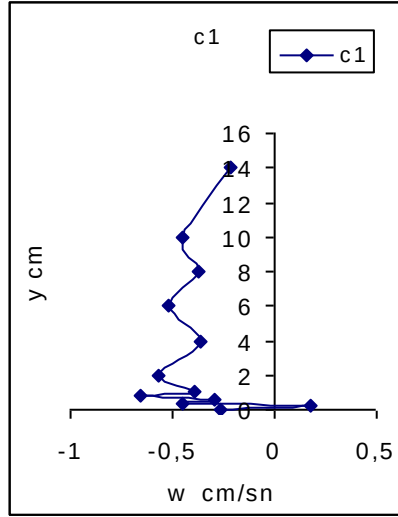


a) a1 Noktası

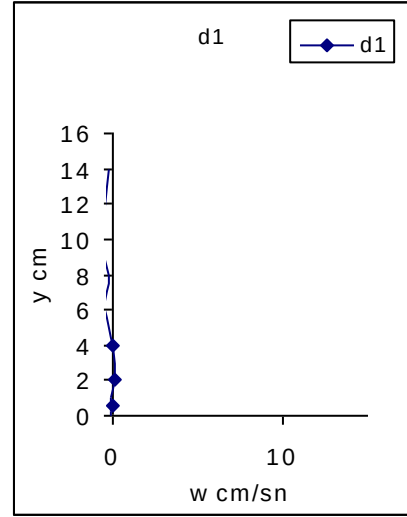


b) b1 Noktası

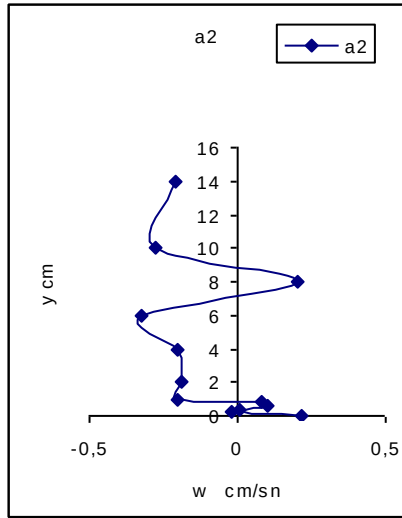
Şekil A.3 a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l,m,n,o ve p $\bar{w}$ hızın derinlikle değişimi



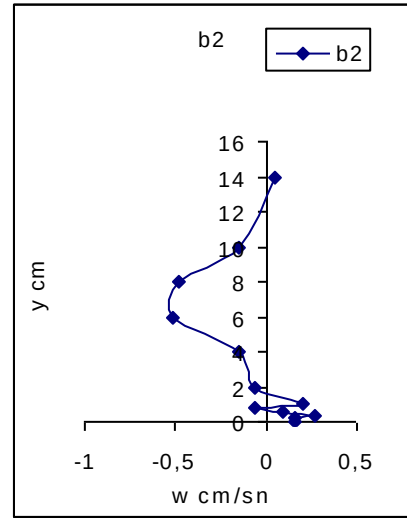
c) c1 Noktası



d) d1 Noktası

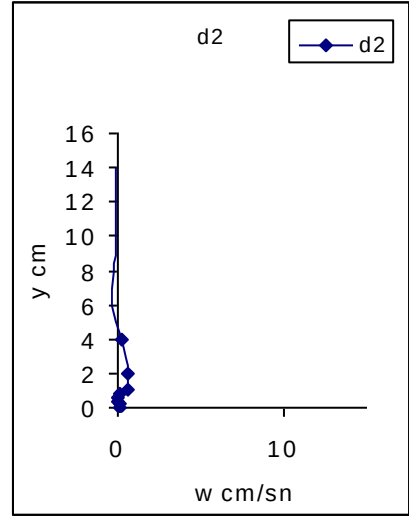
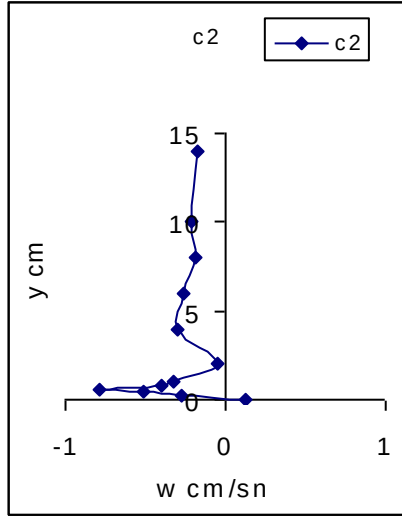


e) a2 Noktası



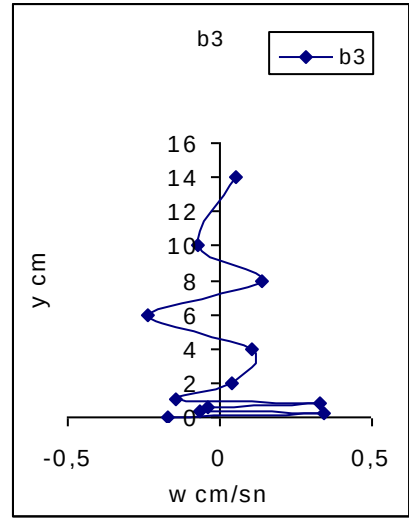
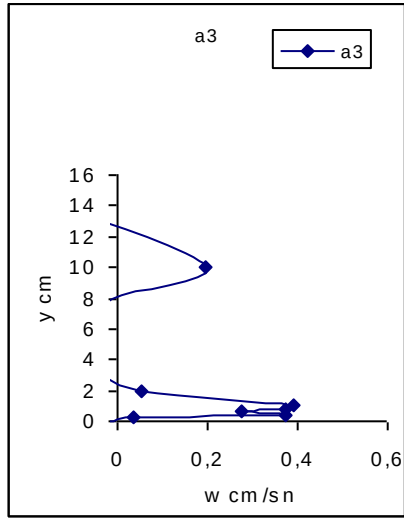
f) b2 Noktası

Şekil A.3 devamı



g) c2 Noktası

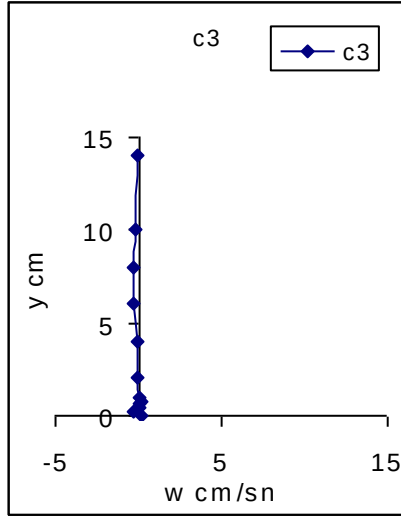
h) d2 Noktası



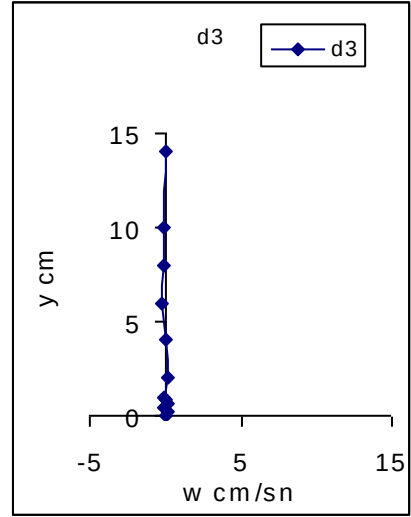
i) a3 Noktası

j) b3 Noktası

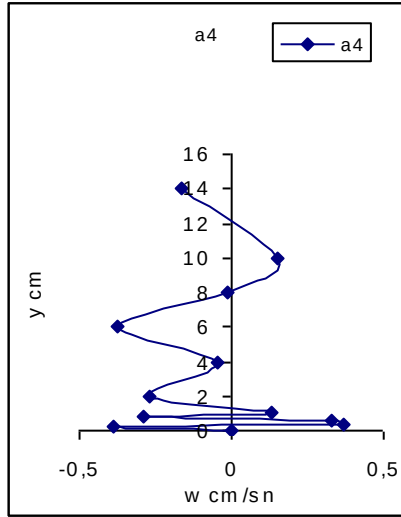
Şekil A.3 devamı



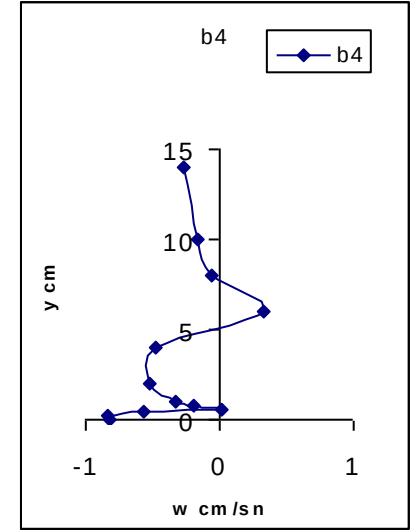
k) c3 Noktası



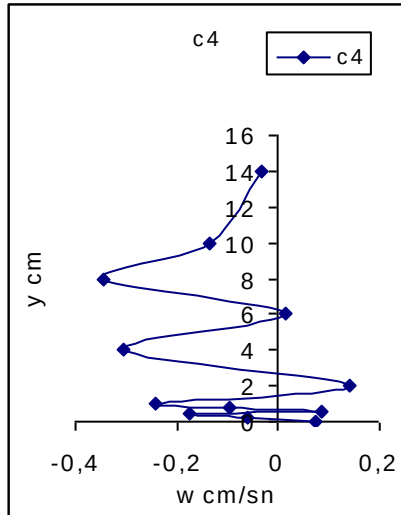
l) d3 Noktası



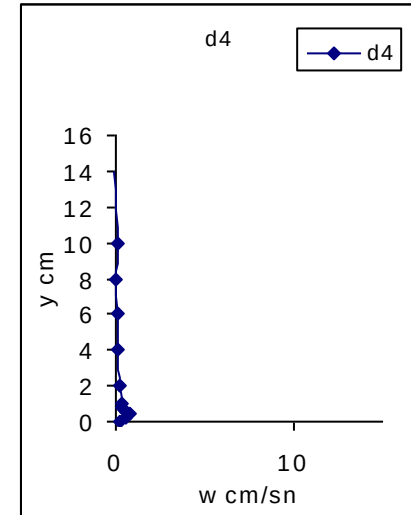
m) a4 Noktası



n) b4 Noktası



o) c4 Noktası



p) d4 Noktası

Şekil A.3 devamı

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul’da doğan İsmail Albayrak, ilk ve orta öğrenimini İstanbul’da, lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 1996 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girerek, 2000 yılında mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Su Mühendisliği Programı’da yüksek lisans eğitimine başladı. Halen İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.