



**DÜŞEY YUKARI YÖNLÜ EMME BORUSU AKIMI ETKİSİYLE SIVI
HAZNELERİNİN TABANINDAKİ SEDİMENT TABAKASINDA OLUŞAN
OYULMA ÇUKURUNUN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Ziya KABAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2025

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir,
- aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ziya KABAŞ

26/06/2025

DÜŞEY YUKARI YÖNLÜ EMME BORUSU AKIMI ETKİSİYLE SIVI
HAZNELERİNİN TABANINDAKİ SEDİMENT TABAKASINDA OLUŞAN OYULMA
ÇUKURUNUN DENEYSEL İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Ziya KABAŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2025

ÖZET

Rezervuar veya kanal tabanlarında sediment birikimi, hidrolik yapılar için tehlike oluşturabilecek bir durumdur. Biriken sedimentin su alma ağızlarıyla birlikte su iletim sistemine girmesi, su iletim sistemindeki boru, pompa ve türbin gibi elemanların aşınmalarına ve ekonomik ömürleri bitmeden kullanılamaz hale gelmelerine neden olabilir. Ayrıca biriken sediment, haznelerin depolama kapasitesini de olumsuz yönde etkiler. Bu yüzden, rezervuar veya kanallarda birikmiş sedimentin uygun yöntemlerle temizlenmesi (veya uzaklaştırılması) gerekmektedir. Tabanda biriken sedimentin temizliği için temel olarak iki yol bulunmaktadır. Bunlar (i) mekanik ve (ii) hidrolik uzaklaştırma olarak adlandırılabilir. Bu çalışmada hidrolik sediment temizleme yöntemlerinden, sadece emme yöntemi (plain suction) deneysel olarak incelenmiştir. Hidrolik emme (Hydro-suction), kanal veya rezervuar tabanında birikmiş sedimenti uzaklaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Rezervuar tabanında birikmiş sediment tabakası ile aynı kota veya taban sedimentinin bir miktar üzerine düşey olarak yerleştirilmiş yukarı doğru su alan bir emme borusu yardımıyla tabanda bulunan sediment uzaklaştırılır ve tabanda da bir oyulma çukuru meydana gelir. Bu yöntemde emme ucunda dönen bir kesme ucu bulunmadığından tabandaki sediment tekrar askıya geçmez ve olası bir kirlilik türbülansla birlikte yayılmaz. Bu çalışmada, durgun su ortamının tabanında bulunan kohezyonsuz sediment tabakasının bir pompaya bağlı olarak emme yapan düşey yukarı bir boru akımıyla uzaklaştırılması konusu deneysel olarak incelenmiştir. Bu emme nedeniyle oluşan oyulma çukuru boyutlarını etkileyen parametreler araştırılmış olup özellikle çukur hacmini arttırıcı bir rol oynayan ve daha önceki çalışmalarda denenmemiş olan boru ağzına takılmış başlığın (flanşın) etkisi belirlenmiştir. Deney sonuçları, oyulma çukuru büyüklüğü üzerinde taban sedimentinin ortalama dane boyutunun, emme borusu ağzının taban sedimenti üst yüzeyine mesafesinin, emme debisinin ve emme borusu ucuna takılan başlık çapının etkili olduğunu göstermiştir. Emme borusu debisi artması, taban sedimentinin ortalama tane büyüklüğünün azalması ve emme borusu ağzı ile sediment tabakası üst yüzeyi arasındaki mesafenin azalması oyulma çukuru boyutlarını arttırmaktadır. Emme borusu ucuna takılan başlığın da genel olarak çukur boyutlarını arttırıcı bir rol oynadığı görülmüştür. Deneysel olarak çalışılan debi (2-12 lt/sn), ortalama sediment boyutu (0,62 mm, 1,25 mm) ve emme borusu ile sediment yüzeyi arasındaki düşey mesafe (düşey mesafe/emme borusu iç çapı = 0-2) aralıkları düşünüldüğünde, sediment uzaklaştırılması açısından en verimli çalışan başlık çapının, emme borusu iç çapının 4-6 katı olduğu görülmüştür. Ayrıca emme borusuna hava girişi olayının da emme borusu debisini düşürerek özellikle çukur derinliğini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

Science Code : 91101
Anahtar Kelimeler : Başlık, emme, oyulma çukuru, rezervuar, sediment
Sayfa Adedi : 53
Danışman : Prof. Dr. Kerem TAŞTAN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SCOUR HOLE IN RESERVOIRS UNDER THE EFFECT OF VERTICALLY UPWARD FLOWING SUCTION PIPE

(M. Sc. Thesis)

Ziya KABAŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2025

ABSTRACT

Sediment accumulation on reservoir or channel bottoms is a situation that may pose a danger to hydraulic structures. Accumulated sediment entering the water transmission system through intakes may cause elements such as pipes, pumps, and turbines in the water transmission system to wear out and become unusable before the end of their economic life. In addition, the accumulated sediment negatively affects the storage capacity of the reservoirs. Therefore, accumulated sediment in reservoirs or channels must be cleaned (or removed) using appropriate methods. There are two methods to clean the accumulated bed sediment. These are called (i) mechanical and (ii) hydraulic removal. In this study, only the plain suction method is examined experimentally. Hydraulic suction is a method used to remove the accumulated sediment at the bottom of a channel or reservoir. The sediment at the bottom of the reservoir is removed with the help of a suction pipe that receives water vertically at the same level as the accumulated sediment layer at the bottom of the reservoir or a little above the bottom sediment, and a scour hole is formed at the bottom. In this method, since there are no cutterheads at the suction end, the sediment at the bottom does not get suspended again, and possible pollution does not spread with turbulence. In this study, the removal of the cohesionless sediment layer at the bottom of the stagnant water media with a vertical upward pipe flow connected to a pump is examined experimentally. The parameters affecting the dimensions of the scour hole that occur due to this suction are investigated, especially the effect of the collar attached to the suction end, which increases the volume of sediment removed and has not been tested in previous studies. The experimental results showed that the average size of the bottom sediment, the distance of the suction pipe to the bottom sediment's top surface, the suction flow rate, and the diameter of the collar attached to the suction pipe are effective on the size of the scour hole. Increasing the suction pipe flow rate, decreasing the average size of the bottom sediment, and reducing the distance between the suction pipe and the upper surface of the sediment layer increase the dimensions of the scour hole. It was observed that the collar attached to the end of the suction pipe also plays a role in expanding the scour hole dimensions in general. Considering the experimentally studied flow rate (2-12 l/s), average sediment size (0,62 mm, 1,25 mm), and the vertical distance between the suction pipe and the sediment surface (vertical distance/inner diameter of the suction pipe = 0-2), it was observed that the most efficient collar diameter in terms of sediment removal is 4-6 times the inner diameter of the suction pipe. It has also been observed that air entrainment into the suction pipe reduces the suction pipe flow rate, thus significantly reducing the scour depth.

Science Code : 91101

Key Words : Collar, suction, scour hole, reservoir, sediment

Page Number : 53

Supervisor : Prof. Dr. Kerem TAŞTAN

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde büyük emeği olan, çalışma süresince engin bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Kerem TAŞTAN'a; çalışma süresince laboratuvar deneylerinde desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Efe BARBAROS'a ve Öğr. Gör. Levent BÜTÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamı, 124M193 numaralı 1002A projesi ile destekleyen ülkemizin güzide kurumu TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Ve bu süreçte desteklerini esirgemeyen kızım Meryem Miray, oğlum Ahmed Haşim ve kıymetli eşim Yasemin KABAŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. YÖNTEM.....	9
3.1. Boyut Analizi.....	9
3.2. Deneyler.....	11
4. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ	19
4.1. Densimetrik Froude Sayısının Etkisi	20
4.1.1. F_d etkisi için oyulma profilleri	24
4.2. c/D 'nin etkisi	25
4.2.1. c/D etkisi için oyulma profilleri	32
4.3. Başlık Etkisi.....	35
4.3.1. Başlık etkisi için oyulma profilleri.....	42
4.4. Emme Borusuna Hava Girişinin Etkisi	45
5. SONUÇLAR.....	47
5.1. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	53

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deney parametrelerine ait büyüklükler	15
Çizelge 4.1. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için farklı F_d değerlerine ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Kum 1).....	23
Çizelge 4.2. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için farklı F_d değerlerine ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Kum 2).....	24
Çizelge 4.3. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Başlıksız durum ve Kum 1)	28
Çizelge 4.4. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Başlıksız durum ve Kum 2)	28
Çizelge 4.5. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($D_f/D = 4$ ve Kum 1).....	31
Çizelge 4.6. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($D_f/D = 4$ ve Kum 2).....	31
Çizelge 4.7. Başlıksız durum ile başlıklı durumlara ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($c/D = 0$ ve Kum 1)	38
Çizelge 4.8. Başlıksız durum ile başlıklı durumlara ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($c/D = 0$ ve Kum 2)	41

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Oyulma üzerinde etkili parametreler.....	9
Şekil 3.2. Durgun su ortamında yapılan deneyler için laboratuvarında bulunan deney düzeneği	12
Şekil 3.3. Atık su pompası	13
Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan iki adet sediment örneğine ait gradasyon eğrileri: a) Kum 1, b) Kum 2	14
Şekil 3.5. Üçgen savak	15
Şekil 3.6. Silindir tankta bulunan çakıl ızgara	16
Şekil 3.7. İki farklı deney süresi için oyulma çukuru boyutları: $c/D = 0$, $Q = 12$ lt/sn, Kum 1 için başlıksız durum	17
Şekil 3.8. İki farklı su yüksekliği için oyulma çukuru boyutları: $c/D = 0$, $Q = 12$ lt/sn, Kum 2 için başlıksız durum	17
Şekil 3.9. Dijital seviye ölçer	18
Şekil 3.10. Deneyler sonucunda elde edilen tipik bir oyulma çukuru geometrisi.....	18
Şekil 4.1. Oyulma çukuru oluşumunun aşamaları (Ullah 2003).....	20
Şekil 4.2. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için r_{max}/D ile F_d değişimi.....	21
Şekil 4.3. $c/D = 0$ ve $D_f/D = 4$ durumu için r_{max}/D ile F_d değişimi	21
Şekil 4.4. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için z_{max}/D ile F_d değişimi.....	22
Şekil 4.5. $c/D = 0$ ve $D_f/D = 4$ durumu için z_{max}/D ile F_d değişimi	22
Şekil 4.6. Başlıksız durum ve $c/D = 0$ farklı F_d değerleri için oyulma grafikleri	25
Şekil 4.7. Yüzey altı çevrintisi (Yıldırım ve ark. 2012).....	26
Şekil 4.8. Kum 1 ve başlıksız durum için a) z_{max}/D ve b) r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi	27
Şekil 4.9. Kum 2 ve başlıksız durum için z_{max}/D ve r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi.....	29
Şekil 4.10. $D_f/D = 4$ durumu ve Kum 1 için a) z_{max}/D ve b) r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi.....	30
Şekil 4.11. $D_f/D = 4$ durumu ve Kum 2 için z_{max}/D ve r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi.....	32

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. Kum 1 ve başlıksız durumda $F_d = 35,65$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması	33
Şekil 4.13. Kum 2 ve başlıksız durumda $F_d = 25,11$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması	33
Şekil 4.14. Kum 1 ve $D_f/D = 4$ durumunda $F_d = 35.65$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması	34
Şekil 4.15. Kum 2 ve $D_f/D = 4$ durumunda $F_d = 25.11$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması	34
Şekil 4.16. Başlık olmaması ve olması durumunda akım çizgileri ve küresel kuyu yüzeyleri.....	36
Şekil 4.17. $c/D = 0$ ve Kum 1 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	37
Şekil 4.18. $c/D = 0$ ve Kum 1 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	37
Şekil 4.19. $c/D = 1$ ve Kum 1 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	39
Şekil 4.20. $c/D = 1$ ve Kum 1 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	39
Şekil 4.21. $c/D = 0$ ve Kum 2 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	40
Şekil 4.22. $c/D = 0$ ve Kum 2 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	40
Şekil 4.23. $c/D = 1$ ve Kum 2 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	42
Şekil 4.24. $c/D = 1$ ve Kum 2 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi	42
Şekil 4.25. $c/D = 0$ ve Kum 1 için $F_d = 23,77$ ($Q = 8$ lts/sn) durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri.....	43
Şekil 4.26. $c/D = 1$ ve Kum 1 için $F_d = 29,71$ ($Q = 10$ lts/sn) durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri.....	43
Şekil 4.27. $c/D = 0$ ve Kum 2 için $Q = 8$ lts/sn durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri	44
Şekil 4.28. $c/D = 1$ ve Kum 2 için $Q = 12$ lts/sn durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri	44
Şekil 4.29. $c/D = 0$ ve Kum 2 için $Q = 8$ lts/sn durumunda hava girişi durumuna göre oyulma profilleri	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
c	Emme borusu ağzı ile taban sedimenti arasındaki düşey mesafe
ν	Suyun kinematik viskozitesi
V	Emme sonucu oluşacak oyulma çukuru hacmi
σ_g	Sedimentin uniformsuzluk katsayısı
ρ_s	Sediment malzemesine ait yoğunluk
ρ_w	Suyun yoğunluğu
D	Emme borusu iç çapı
d	Sediment malzemesinin ortalama tane çapı
D_f	Emme borusu ucuna takılacak başlık (flanş) çapı
F_d	Densimetrik Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
h_s	Taban sediment tabakası kalınlığı
h_w	Durgun su derinliği
Re	Emme borusuna ait Reynolds sayısı
r_{max}	Oyulma çukurunun en büyük genişliği
V	Emme borusu girişindeki ortalama akım hızı
z_{max}	Oyulma çukurunun en büyük derinliği

1. GİRİŞ

Rezervuar veya kanal tabanlarında sediment birikimi, hidrolik yapılar için tehlike oluşturabilecek bir durumdur. Biriken sedimentin su alma ağızlarıyla birlikte su iletim sistemine girmesi, su iletim sistemindeki boru, pompa ve türbin gibi elemanların aşınmalarına ve ekonomik ömürleri bitmeden kullanılamaz hale gelmelerine neden olabilir. Ayrıca biriken sediment, haznelerin depolama kapasitesini de olumsuz yönde etkiler. Bu yüzden rezervuar veya kanallarda birikmiş sedimentin uygun yöntemlerle temizlenmesi (veya uzaklaştırılması) gerekmektedir. Hidrolik yapılarda tabanda birikmiş sediment temizliğine birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Herbich, 2000; Herbich ve Brahme, 1991).

- Baraj rezervuarlarının tabanındaki sedimentin uzaklaştırılması
- Atık su kanallarındaki tıkanmaları önlemek için sediment veya organik maddelerin uzaklaştırılması
- Su kaynaklarına bırakılan ve taban sedimenti içerisinde sedimentle beraber bulunan zehirli atıkların uzaklaştırılması
- Ulaşım ve madencilik için tarama (dredging) işlemleri
- Arazi ıslahı ve kıyı düzenlemesi

Sedimentin tabandan temizliği için temel olarak iki yol bulunmaktadır. Bunlar; (i) mekanik ve (ii) hidrolik uzaklaştırma olarak adlandırılabilir (Ullah, 2003). Mekanik temizlemede tabandaki sedimente bir mekanik kuvvet uygulanarak sediment temizlemesi yapılır. Hidrolik temizlemede ise bir emme borusu yardımıyla sediment uzaklaştırma işlemi gerçekleştirilir. Hangi yöntemin kullanılacağı, su seviyesine, rezervuarın ve sedimentin özelliklerine bağlıdır (Herbich, 2000). Bu çalışmanın da konusu olan hidrolik temizleme (hidrolik emme-hydro-suction) de kendi içerisinde 3 gruba ayrılabilir (Herbich ve Brahme, 1991).

- Kesme uçlu hidrolik temizleme (cutterheads)
- Sadece emme ile hidrolik temizleme (plain suction)
- Hibrit yöntemler

Kesme uçlu hidrolik temizlemede, emme ucunda dönen bir kesme ucu bulunur. Bu kesme ucu özellikle konsolide olmuş kil gibi kohezyonlu malzemeleri yerinden oynatarak uzaklaştırmak için uygundur. Ancak kesme uçlu bu başlık, taban sedimentini tekrar askıya geçirdiğinden ve ortamdaki türbülansı arttırdığından ortamda bulunabilecek olan kirliliğin de yayılmasına neden olabilir (Herbich, 2000). Bilindiği gibi ince sediment taneleri organik ve organik olmayan kirleticileri kendine çekerler. Bu sedimentin tekrar askı haline geçmesi, kirliliğin yayılmasına neden olacağından istenmeyen bir durumdur (Asiabian ve ark., 2017). Bu çalışmada da incelenecek olan sadece emme ile temizlikte ise herhangi bir dönen kesici uç olmadığından böyle bir tehlike bulunmamaktadır. Hibrit yöntemler ise mekanik ve hidrolik etkiyi birleştirerek temizlik sağlarlar.

Hidrolik emme (Hydro-suction), kanal veya rezervuar tabanında birikmiş sedimenti uzaklaştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Rezervuar tabanında birikmiş sediment tabakası ile aynı kota veya taban sedimentinin bir miktar üzerine veya içerisine düşey olarak yerleştirilmiş yukarı doğru su alan bir emme borusu yardımıyla tabanda bulunan sediment uzaklaştırılır ve tabanda da bir oyulma çukuru meydana gelir. Bu yolla sediment temizleme işlemi uzun zamandan beridir kullanılmaktadır (Herbrich, 2000; Hotchkiss ve Huang, 1995). Bu yöntem ile tabandan alınan sediment-su karışımı, uygun olması durumunda sulama amaçlı olarak da kullanılabilir. Bunun uygulama örneklerine özellikle Çin’de oldukça sık rastlanmaktadır (Asiabian ve ark., 2017). Su alma ağzı ile yapılan emme işlemi, emme sisteminin iki ucundaki kot farkından yararlanılarak sifonla yapılabileceği gibi pompalar kullanılarak da gerçekleştirilebilmektedir.

Sadece emme ile sediment uzaklaştırma yönteminin diğer yöntemlere göre avantajları şunlardır:

- Üzerinde herhangi bir dönen parça olmadığından ilave türbülans oluşturmaz, bu durum da tabanda sedimentle beraber bulanabilecek kirliliğin yayılmasını engeller.
- Dönme ucu olmadığı için bu ek parçayı döndürmek için ek bir enerjiye ihtiyaç duymaz.
- Gerek pompa ile (uygun pompa kullanımı şartıyla) gerek yerçekiminden yararlanarak sifonlama yöntemiyle çalıştırılabilir.
- Bakım ve işletim maliyeti dönen başlıklı veya hibrit sistemlere göre daha düşüktür.

Bu çalışmada, durgun su ortamının tabanında bulunan kohezyonsuz sediment tabakasının, bir pompaya bağlı olarak emme yapan dűşey yukarı bir boru akımıyla uzaklaştırılması konusu deneysel olarak incelenmiştir. Bu emme nedeniyle oluşan oyulma çukuru boyutlarını etkileyen parametreler araştırılmış olup özellikle bu uzaklaştırma hacmini arttırıcı bir rol oynayan ve daha önceki çalışmalarda denenmemiş olan boru ağzına takılmış başlığın (flanşın) etkisi araştırılmıştır.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hidrolik emme yoluyla taban sedimenti uzaklaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde sıklıkla deneysel yöntemin izlendiği görülmektedir. Jaiswal ve ark. (2024) kohezyonsuz sedimentin rezervuar tabanından uzaklaştırılması sonucunda meydana gelen oyulma çukuru geometrisini farklı yüksekliklerde konumlandırılmış ve sadece emme yapan bir boru akımı etkisinde incelemişlerdir. Beklenildiği gibi, oyulma hacminin ağzın tabana en yakın ve densimetrik Froude sayısının en büyük olduğu durumlar için oluştuğunu ifade etmişlerdir. Sediment numunesi olarak ortalama çapı 0,22 mm ile 0,36 mm arasındaki kohezyonsuz sediment, boru çapı olarak 7,6 cm ile 12,7 cm arasındaki boruları, debi değerleri olarak da 0,5 lt/sn ile 2,7 lt/sn arasındaki debileri kullanmışlardır. Çalışmalarında sediment temizliğini arttırıcı bir yöntem incelenmemiştir. Asiabian ve ark. (2017) bir haznedeki kohezyonlu ve kohezyonsuz sediment temizliği için emme borusunun ucuna takılan ve emme borusuna bir sallanma hareketi veren yeni bir mekanizmanın oyulma çukuru hacmi üzerine etkisini araştırmışlardır. Önerilen yeni mekanizma, emme borusunun sallanma hareketiyle oyulma çukuruna çarpması neticesinde kohezyonlu sedimentin uzaklaştırılmasında iyi sonuçlar verirken kohezyonsuz sedimentin uzaklaştırma verimliliğini arttırmamıştır. Shrestha (2012) kohezyonlu sedimentin emme yoluyla temizlik verimini arttırmak için emme akımının yanında taban sedimentinin üzerine bir su jeti de göndererek verimin artacağını göstermiştir. Fakat kullanılan yöntem, akım ortamındaki türbülans da oldukça arttırdığından kirlilik içeren sediment için kullanılması problemler oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Tao ve ark. (2012) emme borusundaki pürüzlülüğü azaltarak sediment temizleme verimliliğinin arttığını göstermişlerdir. Brahme ve Herbach (1986) kesme uçlu emme borusu ile sediment uzaklaştırılması durumunda, hız ve tabandan tekrar askıya geçen sediment konsantrasyon dağılımlarını tahmin etmek için Reynolds benzeşimini kullanmışlardır. Kullandıkları sediment çapları 0,09 mm ile 1,14 mm arasında değişmektedir. Chen ve ark. (2010), basit dairesel emme ucu ile kesik uçlu emme borusunun (wedge-type), taban sediment temizliği verimliliği açısından etkinliğini karşılaştırdıkları çalışmada, basit dairesel emme ucunun daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermişlerdir. Elgamal ve Fouli (2020) sifonlama ile kohezyonsuz sediment uzaklaştırılması sonucu oluşacak oyulma çukuru parametrelerinin tahmini için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneylerinde sediment numunesi olarak ortalama çapı 1 mm olan tek bir numune, sifon çapı olarak 6 mm -13,8 mm çaplı emme ağızları, sifon ağzının sediment tabakasından yüksekliği olarak da 0-7 cm arasındaki değerleri kullanılmışlardır.

Oyulma çukuru derinliği ve genişliği için önerdikleri denklemlerin deney neticeleriyle uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Yang ve ark. (2020) düşey yukarı emme ile taban sediment hareketinin başlamasını teorik olarak incelemişlerdir. Taban sediment hareketinin başladığı kritik ağız yüksekliği ile akım ve sediment özellikleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş ve model ile prototip arasında Froude sayısı benzeşimine dayalı yeni bir benzeşim modeli önermişlerdir. Ke ve ark. (2016) hidrolik emme yoluyla kohezyonlu sediment uzaklaştırılması olayı üzerinde konsolidasyonun etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Konsolidasyon zamanı arttıkça sediment uzaklaştırma performansının arttığını ancak belirli bir konsolidasyon zamanından sonra ise de sediment uzaklaştırma veriminin azaldığını ifade etmişlerdir. Moghbeli ve ark. (2021) hidrolik emme ile sediment temizliği üzerinde efektif su yükünün, emme borusu çapının ve emme borusu açısının etkilerini incelemişlerdir. Boyutsuz emme borusu çapı ve efektif su yükü arttıkça oyulma çukurunun büyüdüğünü belirtmişlerdir. En yüksek sediment taşınımı için emme borusunun düşey olarak konumlandırılması gerektiğini göstermişlerdir. Rehbindar (1994) çalışmasında hidrolik emme akımı neticesinde tabandaki sediment tanelerine etkileyen kaldırma kuvvetinin emme borusundan alınan debinin karesiyle orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Sediment uzaklaştırma verimliliği ise, uzaklaştırılan sediment hacminin bu işlem sırasında kullanılan su hacmine oranı olarak Forutan-Eghlidi (2016) ve Pishgar ve ark. (2018)'in çalışmalarında tanımlanmıştır.

Yatay olarak bir rezervuarın duvarından su alan su alma ağızları akımları neticesinde oluşan oyulma çukuru geometrileri, Powell ve Khan (2011 ve 2012), Taştan ve ark. (2023), Erat ve ark. (2023) ve bu oyulma çukurunun zamanla değişimi de Keshavarzi ve ark. (2022) tarafından araştırılmıştır. Ayrıca rezervuarların bir dipsavak ile basınçlı yıkama metodu ile sedimentten arındırılmasına yönelik deneysel çalışmalar da bulunmakla birlikte mevcut tez çalışmasındaki sistemden, akım ve geometrik şartlar açısından büyük farklılıklar göstermektedir (Fathi-Moghadam ve ark., 2010; Haghighi ve ark., 2021; Madadi ve ark., 2016)

Yukarıda sunulan literatür taraması incelendiğinde aşağıda belirtilen hususların daha önce çalışılmadığı ve bu çalışma için özgün değer içerdiği görülmektedir.

- Literatürdeki sediment emme kapasitesinin arttırılmasına yönelik çalışmalarda, taban malzemesine ya bir kesici uç yardımıyla ya da dışarıdan bir su jeti ile bir kuvvet

uygulayarak taban malzemesi uzaklaştırma verimliliğinin artırılması hedeflenmiştir. Ancak bu uygulamalar ortamdaki türbülansı arttırmaktadır. Bu çalışmada ilk defa olarak sadece emme yapılan sistemlerin ucuna bir başlık (flanş) takılarak oyulma çukuru boyutları üzerine etkisi incelenmiştir. Farklı çaplarda takılacak başlığın en uygun boyutu araştırılmış olup bu yöntemle akıma ilave bir türbülans da sağlanmamıştır. Emme ucuna takılacak başlığın olay üzerinde nasıl bir fiziksel etki oluşturacağı “Yöntem” bölümünde tartışılmıştır.

- Su alma ağzına hava girişinin sediment uzaklaştırma üzerine etkisi önceki çalışmalarda incelenmemiştir. Su seviyesi düşürüldüğünde eğer ağza hava girişi meydana gelirse ağza hava girişinin sediment temizlemesine etkisi araştırılmıştır.



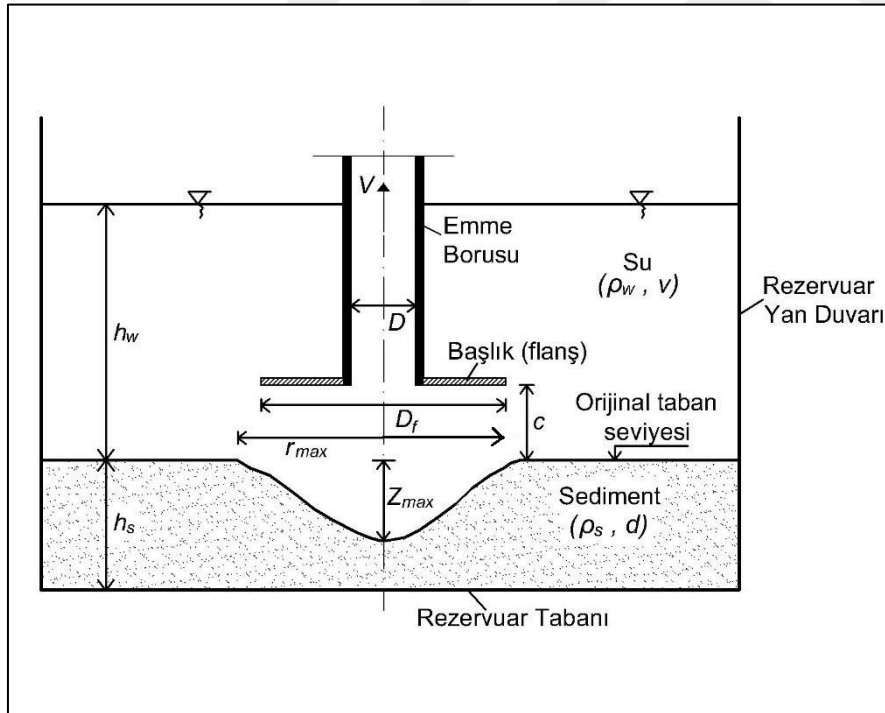


3. YÖNTEM

Bu çalışmada, durgun su ortamının tabanında bulunan kohezyonsuz sediment tabakasının bir pompaya bağlı olarak emme yapan düşey yukarı bir boru akımıyla uzaklaştırılması konusu deneysel olarak incelenmiştir. Bu emme nedeniyle oluşacak oyulma çukuru hacim ve boyutlarını etkileyen parametreler araştırılmış olup özellikle bu uzaklaştırma hacmini arttırıcı bir rol oynayacağı beklenen ağza takılan başlığın (flanşın) etkisi belirlenmiştir. Deneysel olarak incelenecek boyutsuz büyüklükleri bulabilmek için aşağıda anlatılan boyut analizi yapılmıştır.

3.1. Boyut Analizi

Durgun su ortamından düşey yukarı emme ile tabandaki sedimenti uzaklaştırmak amacıyla çalışan bir emme borusu Şekil. 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Oyulma üzerinde etkili parametreler

Bu şekilde D emme borusu iç çapını, D_f emme borusu ucuna takılacak başlık (flanş) çapını, c emme borusu ağzı ile taban sedimenti arasındaki düşey mesafeyi, V emme borusu girişindeki ortalama akım hızını, h_s taban sediment tabakası kalınlığını, h_w durgun su ortamında sediment tabakası üst kotu ile su yüzü arasındaki düşey mesafeyi (su derinliğini),

d sediment malzemesinin ortalama tane çapını, ρ_s sediment malzemesine ait yoğunluğu, ρ_w suyun yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, ν kinematik viskoziteyi göstermektedir.

Emme sonucu oluşacak oyulma çukuru hacmi (veya uzaklaştırılan sediment hacmi) $\forall$ ile gösterilirse oyulma hacmi ile etkili bağımsız parametreler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir (Eş. 3.1).

$$\forall = f(D, D_f, c, V, d, \rho_s, \rho_w, h_s, h_w, g, \nu) \quad (3.1)$$

Bu ilişkiyi yansıtacak boyutsuz büyüklükleri bulabilmek için boyut analizi uygulanırsa Eş. (3.2) veya (3.3) elde edilebilir.

$$\frac{\forall}{D^3} = f_2\left(\frac{D_f}{D}, \frac{c}{D}, \frac{d}{D}, \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, \frac{h_s}{D}, \frac{h_w}{D}, \frac{V}{\sqrt{gD}}, \frac{VD}{\nu}\right) \quad (3.2)$$

$$\frac{\forall}{D^3} = f_3\left(\frac{D_f}{D}, \frac{c}{D}, \frac{h_s}{D}, \frac{h_w}{D}, Re, F_d\right) \quad (3.3)$$

(3.3) numaralı eşitlikte, Re emme borusuna ait Reynolds sayısını, F_d ise densimetrik Froude sayısını göstermektedir.

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (3.4)$$

$$F_d = \frac{V}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g d}} \quad (3.5)$$

Deneylerde emme borusundan alınacak en küçük debi değerinde bile (yaklaşık 2 lt/s) Reynolds sayısının değeri türbülanslı akım koşullarını sağlamaktadır. Bu durum için Eş. (3.3)'de verilen Reynolds sayısının etkisi ihmal edilebilir (Madadi ve ark., 2016). Ayrıca emme borusu (iç çapı 6,54 cm), 1,90 m çaplı silindirik rezervuarın tam ortasından yukarı doğru düşey yönde emme yaptığından ve rezervuarın cidarları emme borusuna yeterince uzak olduğundan (emme boru çapı/rezervuar çapı oldukça küçük) rezervuar cidarlarının sediment uzaklaştırma açısından etkisi ihmal edilebilir.

Ayrıca bu çalışmada sediment tabakası kalınlığı da tüm deneylerde yeterince büyük (oyulmanın rezervuar tabanına kadar ulaşmasına müsaade etmeyecek büyüklükte, $h_s = 26,2$ cm) ve sabit tutulduğundan (h_s/D) değeri de Eş. (3.3)'den çıkartılabilir.

Havuz içerisindeki su yüksekliğinin etkisi de yapılan deneylerde ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmüştür (h_w/D 'nin etkisi ihmal edilebilir). Bununla ilgili grafik bir sonraki bölümde verilmiştir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında Eşitlik (3.3)'ün son hali aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{V}{D^3} = f_3 \left(\frac{D_f}{D}, \frac{c}{D}, F_d \right) \quad (3.6)$$

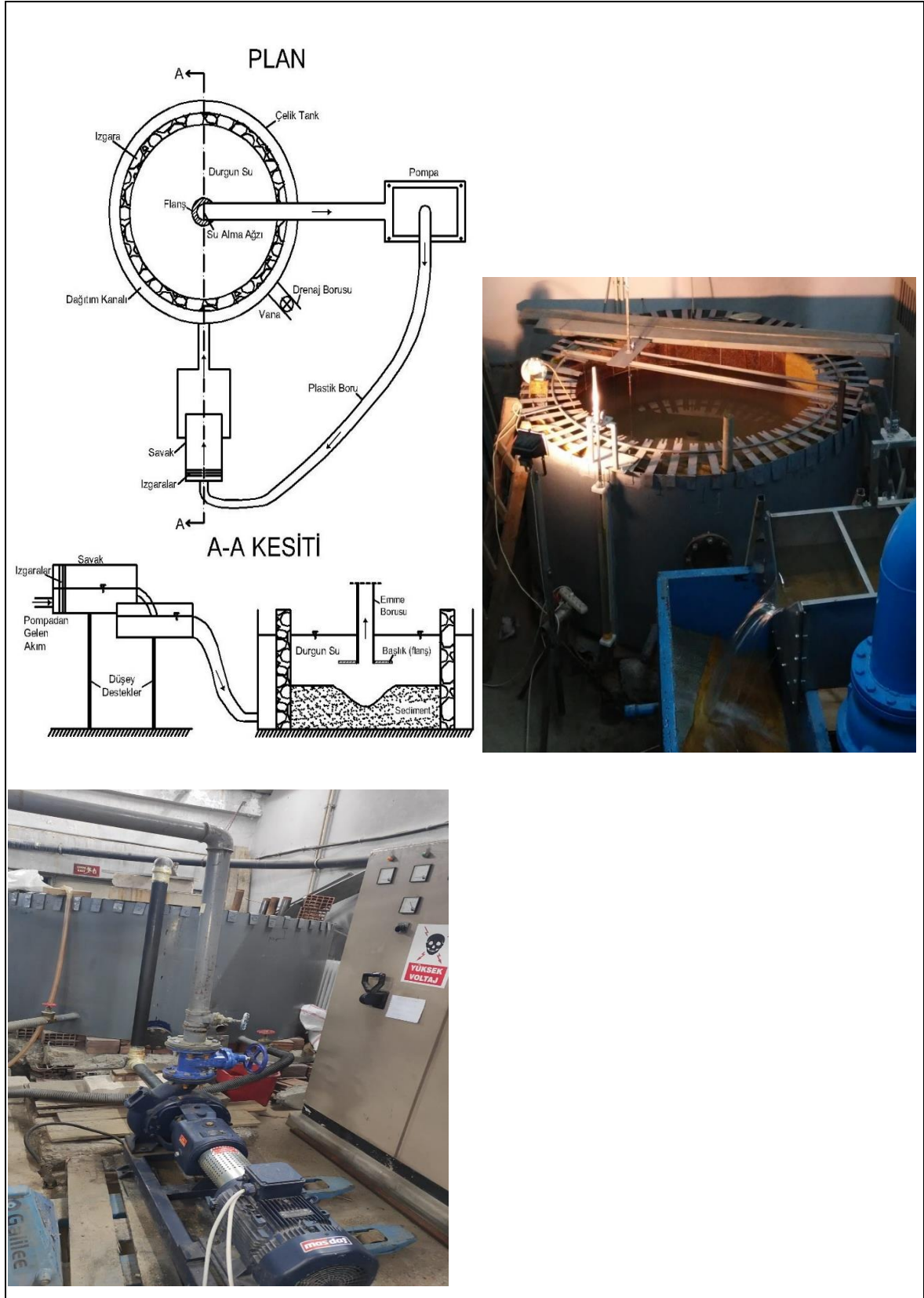
Eşitlik (3.6)'da bağımlı değişken için kullanılan oyulma çukuru hacmi yerine oyulma çukurunun en büyük derinliği (z_{max}) veya oyulma çukurunun en büyük genişliği de (r_{max}) yazılabilir (Eşitlik 3.7).

$$\frac{z_{max}}{D} = f_4 \left(\frac{D_f}{D}, \frac{c}{D}, F_d \right) \quad \text{veya} \quad \frac{r_{max}}{D} = f_5 \left(\frac{D_f}{D}, \frac{c}{D}, F_d \right) \quad (3.7)$$

Eşitlikler (3.6) ve (3.7)'de verilen ilişkiler aşağıda anlatılan deneyler yoluyla incelenmiştir.

3.2. Deneyler

Deneyler, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında yapılmıştır. Deney düzeneğinin ölçeksiz şekli ve laboratuvarında kullanılan silindir tankın bir görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir. Durgun su ortamındaki deneyler için çapı 190 cm yüksekliği 150 cm olan çelik sactan üretilmiş bir silindirik tank kullanılmıştır. Emme borusu için demir borular kullanılmış ve bu borular laboratuvarında bulunan pompaya bağlanarak su alımı sağlanmıştır. Emme işlemi, sediment içeren sıvı akımını çekebilecek nitelikte kanat yapısına sahip laboratuvarında bulunan atık su pompası ile yapılmıştır (Şekil 3.3). Deneylerde tank merkezine yerleştirilmiş düşey yukarı su alan ve tabandan yüksekliği değiştirilebilen emme boruları kullanılmıştır. Emme borusundan pompa yardımıyla çekilen akımın debisi üçgen savak ile ölçüldükten sonra (hata payı $\pm\%2$) tankın etrafında bulunan dağıtım kanalına verilerek suyun devri daimi sağlamıştır.



Şekil 3.2. Durgun su ortamında yapılan deneyler için laboratuvarında bulunan deney düzeneği

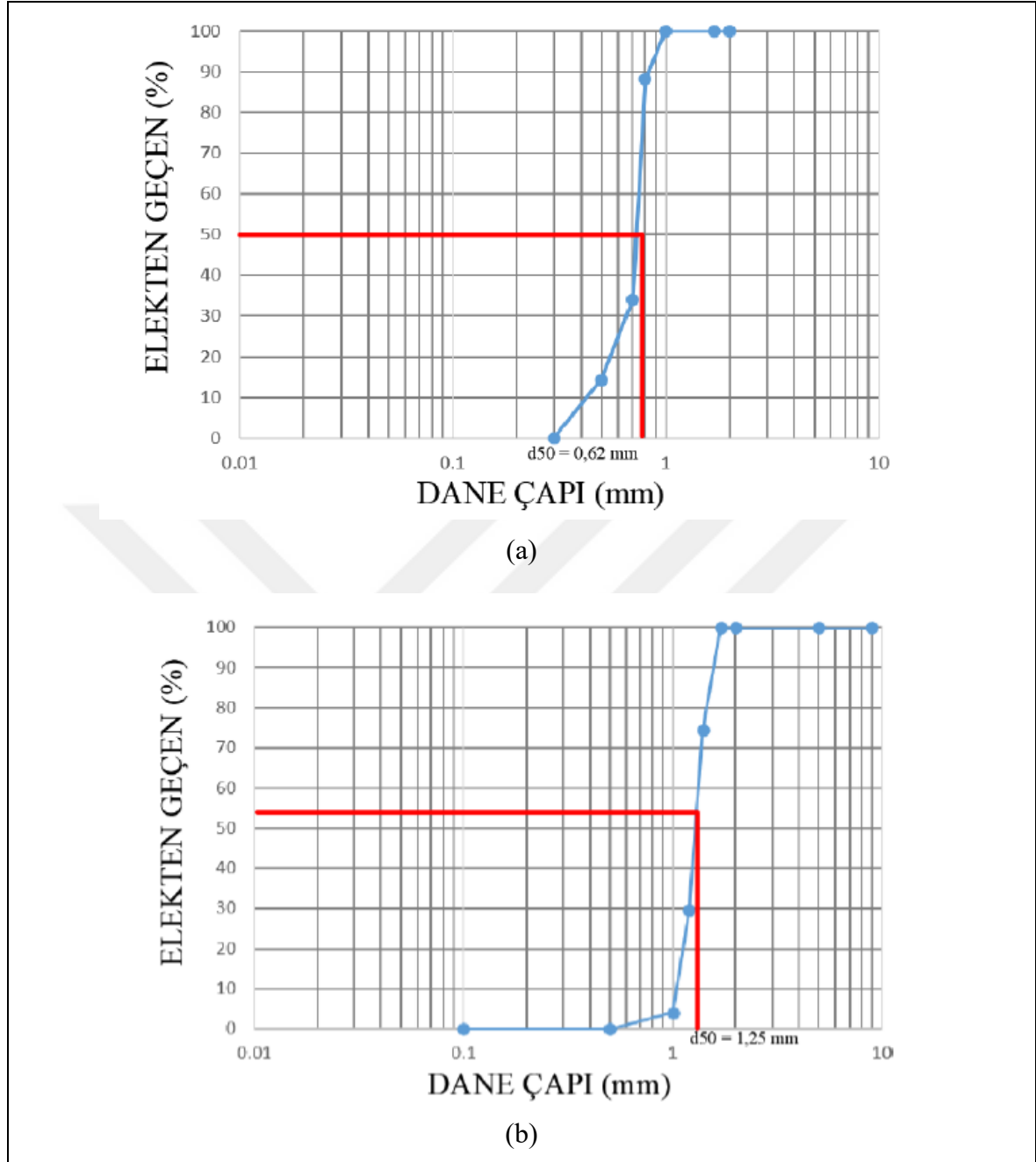


Şekil 3.3. Atık su pompası

Deneylerde öncelikli olarak rezervuar tabanına $h_s/D = 4$ kalınlığında kohezyonsuz sediment tabakası herhangi sıkıştırma yapılmadan doğal olarak serilmiştir.

Bu sediment tabakası kalınlığının yeterli olduğu, deneyler sonucunda oyulma çukuru derinliğinin rezervuar tabanına ulaşmadığı görüldüğünden anlaşılmaktadır. Kohezyonsuz sediment malzemesi olarak laboratuvarında halihazırda bulunan iki adet kuvarz kumu numunesi kullanılmıştır. Bu sediment numunelerine ait medyan çaplar sırasıyla 0,62 mm ve 1,25 mm'dir (Şekil 3.4).

Her iki kum numunesinin granülometrik analizleri sonucu üniformsuzluk katsayısının [non-uniformity coefficient, $\sigma_g = (d_{84,1}/d_{15,9})^{0.5}$] katsayıları 1,17 civarındadır. Buradaki $d_{84,1}$ ve $d_{15,9}$ sırasıyla, numunenin %84,1 ve %15,9'nun geçebildiği elek açıklıklarını ifade etmektedir. Dey ve Sarkar (2006) sedimente ait σ_g katsayısının 1,4'den küçük olması durumunda sedimentin üniform olarak kabul edileceğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla kullanılan her iki sediment numunesi de üniform olarak kabul edilebilir.



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan iki adet sediment örneğine ait gradasyon eğrileri: a) Kum 1, b) Kum 2 (Eroğlu, 2024)

Sediment numunelerine ait içsel sürtünme açıları yaklaşık 34° 'dir. Atık su pompasına bağlı emme borusunun iç çapı ise $D = 6,54 \text{ cm}$ 'dir. Emme borusunun sediment tabakasından düşey mesafesi içinse deneylerde $c/D = 0-2$ olacak şekilde farklı mesafeler kullanılmıştır. Bu çalışmada toplam 54 deney yapılmıştır.

Deneyde kullanılan parametrelerin büyüklük aralıklarına ait özet, aşağıda Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney parametrelerine ait büyüklükler

d_{50} (mm)	c/D	D_f/D	Q (lt/s)	F_d
0,62, 1,25	0-2	0, 2, 4, 6	2 - 12	5-35

Sediment tabakası ve emme borusunun yerleşiminin ardından rezervuar şebeke suyu ile yavaşça doldurulmuştur. Deneylerde istenen yükseklikte suyun doldurulmasının ardından havası alınmış olan atık su pompası çalıştırılarak emme işlemi başlatılmıştır. Pompadan alınan debi, sürgülü vana yardımıyla değiştirilebilmektedir. Pompadan alınan sediment ve su karışımı, keskin kenarlı bir üçgen savaktan geçirilerek debi ölçümü yapılmıştır. (Şekil 3.5). Savaktan geçirilmeden önce ızgaralar yardımıyla hem sediment tutulmuş hem de rezervuara tekrar verilecek akımın enerjisi kırılmıştır. Ayrıca rezervuarın içerisinde dairesel bir silindirik kabuk şeklinde yerleştirilmiş ve arası çakılla doldurulmuş olan ızgaralar da savaktan gelen akımın enerjisini kırmak için kullanılmıştır (Şekil 3.6). Emme ucundan alınan debiler pompanın kapasitesi de düşünüldüğünde 2 lt/sn – 12 lt/sn arasında değişiklik göstermektedir.



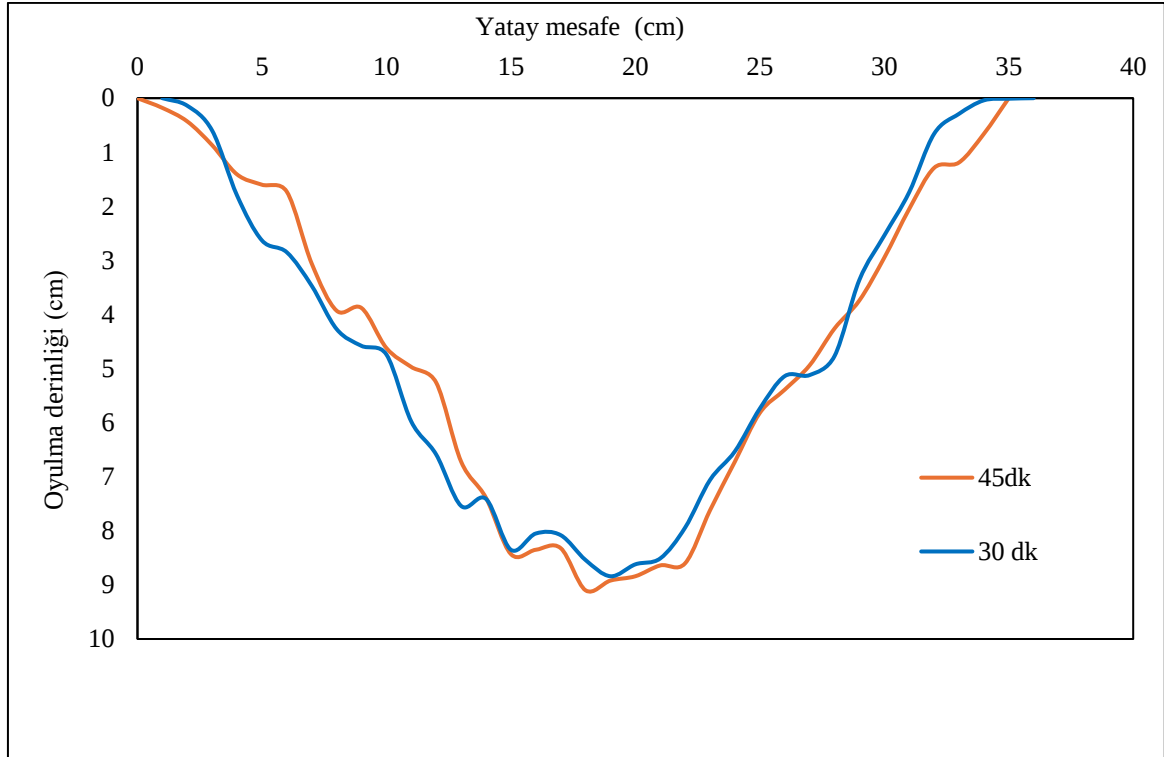
Şekil 3.5. Üçgen savak



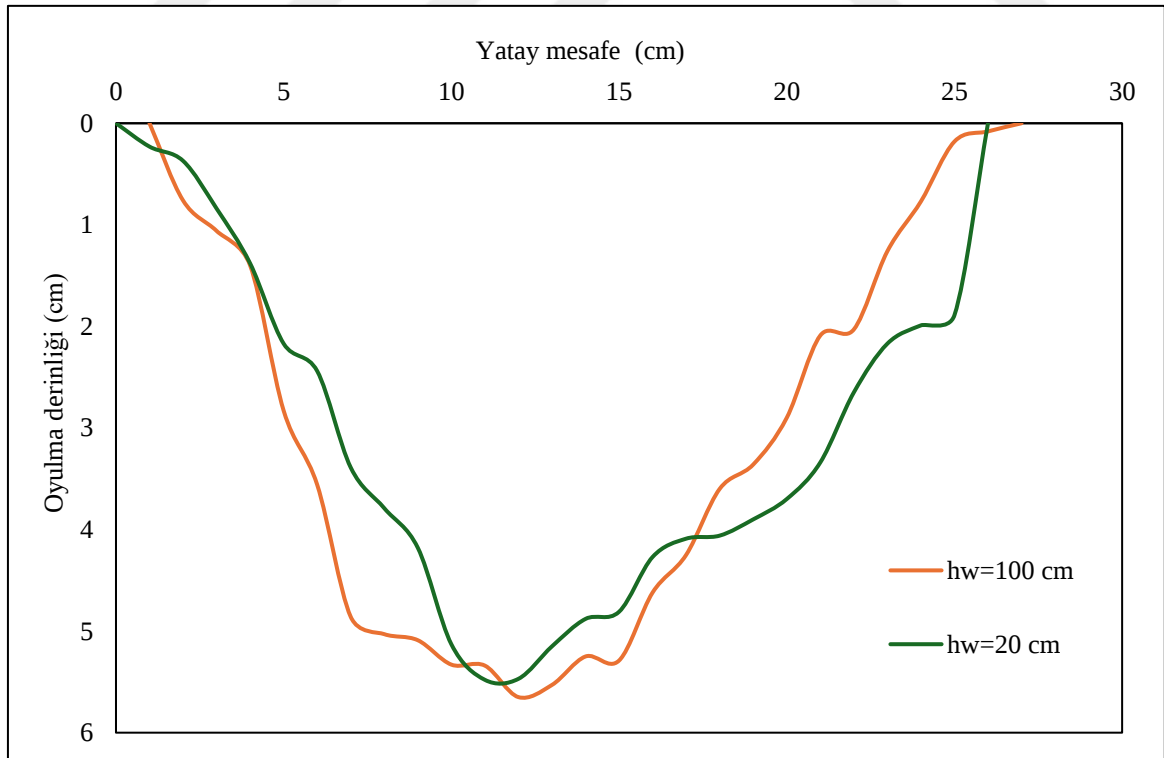
Şekil 3.6. Silindir tankta bulunan çakıl ızgara

Emmenin başlamasıyla birlikte oyulma çukuru gelişmeye başlamıştır. Önceki çalışmalar, oyulmanın tamamlanmasının (oyulma çukuru derinliği ve genişliğinin zamanla değişmediği durum) 20-30 dk civarında olduğu belirtilmektedir (Asiaban ve ark., 2017; Jaiswal ve ark., 2024). Bu çalışmada da deney süresi olarak 30 dk'nın yeterli olduğu ve 45 dk'lık deney ile oyulma profili açısından ihmal edilebilecek bir fark olduğu aşağıdaki şekilde verilen deney sonucundan da anlaşılmaktadır (Şekil 3.7).

Su seviyesinin oyulma üzerindeki etkisinin de incelenebilmesi için de $h_w = 20, 100$ cm olarak iki farklı farklı derinlikler denenmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.8.'de sunulan oyulma çukuru geometrisinde görüldüğü üzere su derinliğinin, en büyük çukur çapı ve en büyük çukur genişliğinde önemli bir fark oluşturmadığı görüldüğünden tüm deneyler 100 cm'lik su derinliği ile yapılmıştır (su seviyesinin indirilmesiyle oluşabilecek emme borusuna serbest yüzey çevrintileri yoluyla hava girişi durumu sonraki bölümde açıklanmıştır).



Şekil 3.7. İki farklı deney süresi için oyulma çukuru boyutları: $c/D = 0$, $Q = 12$ lt/sn, Kum 1 için başlıksız durum



Şekil 3.8. İki farklı su yüksekliği için oyulma çukuru boyutları: $c/D = 0$, $Q = 12$ lt/sn, Kum 2 için başlıksız durum

Deney süresi sonuna doğru yaklaşıldığında oyulma çukurunun derinliği ve genişliği limnimetre ile ölçülerek çukur boyutunun değişmediği teyit edildikten sonra pompaya bağlı basma borusunda bulunan vana kapatılıp pompanın gücü kesilmiştir. Ardından rezervuardaki su, rezervuarın tabanında bulunan bir drenaj vanası yardımıyla yavaşça boşaltılmıştır. Suyun boşaltılmasından sonra çukur geometrisi dijital seviye ölçer (Şekil 3.9) yardımıyla belli aralıklarda (yaklaşık 0.5 cm-1 cm) yapılan ölçümlerle okunmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen tipik bir çukur geometrisi Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Yukarıda sıralanan işlemler farklı emme debileri, farklı emme borusu yükseklikleri, farklı başlık çapları ve farklı kohezyonsuz kum numuneleri için tekrarlanarak Eş. (3.7)'deki ilişkiler ortaya konmaya çalışılmıştır.



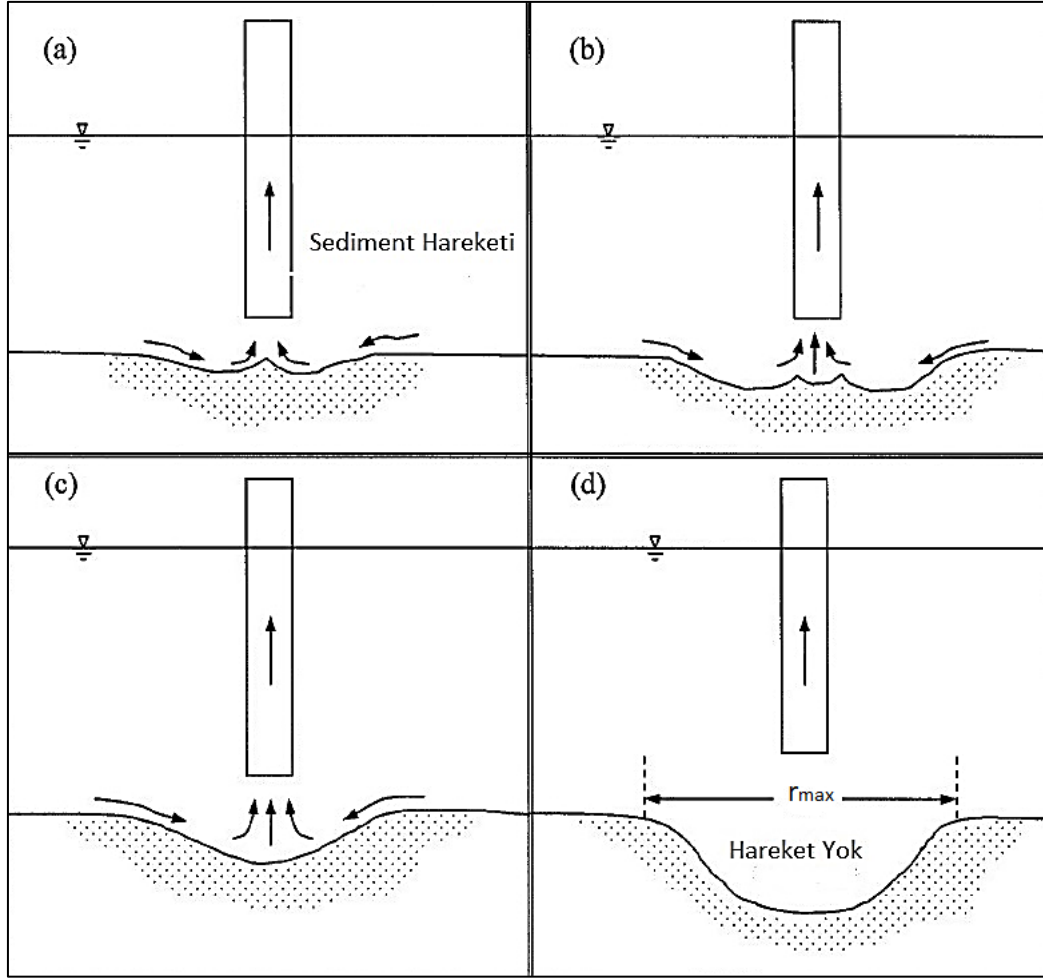
Şekil 3.9. Dijital seviye ölçer



Şekil 3.10. Deneyler sonucunda elde edilen tipik bir oyulma çukuru geometrisi

4. DENEY SONUÇLARININ ANALİZİ

Bu bölümde, öncelikle oyulma çukuru oluşumunun çeşitli aşamalarından bahsetmekte fayda vardır. Deney başladıktan hemen sonra, oluşan ani düşük basınç (emme-vakum etkisiyle) sediment taneleri, emme borusu merkezinin sediment taban üzerindeki izdüşüm noktasına radyal olarak hareket etmeye başlarlar. Bu hareket, ilgili bölgedeki sediment tanesine etkiyen kayma gerilmesinin o tanenin kritik kayma gerilmesinden yüksek olması sebebiyle gerçekleşir. Merkezde toplanan sediment taneleri o bölgede küçük bir tepe oluşturduktan sonra, emme borusuna bu tepenin uç noktasından giriş yaparlar. Çünkü bu merkez noktası, taban üzerinde bulunan ve emme borusuna doğru en büyük radyal hıza sahip olan noktadır. Dolayısıyla tüm taban taneleri emme borusuna girmek için önce bu noktadan geçmek zorundadırlar. Tabanda bulunan diğer taneler ise tabandaki merkez noktasından ağza giden tanelerin yerini doldurmak ve emme borusuna girmek üzere bu noktaya doğru bir yatay hıza sahip olmalıdırlar. Ancak sadece emme borusu akımı, hem boru merkezine doğru boru debisini sağlayacak radyal hızı hem de tabandaki merkez noktasına doğru olan yatay hızı aynı anda sağlayamayacağı için bu yatay hareket tabanın merkeze doğru eğim kazanmasıyla birlikte yerçekimi etkisiyle oluşur. Zaman ilerledikçe bu tepenin her iki tarafında taban ile emme borusu arasında oluşan yüzey altı çevrintileri, bu tepedeki sedimenti de emme borusu içine gönderir. Tepenin kaybolmasından sonra da yüzey altı çevrinti sayısı bire düşer. Bu çevrintinin yeri her ne kadar çoğunlukla emme borusu merkezi ile bu noktanın tabandaki izdüşümü arasında olsa dahi zamana bağlı olarak yer değişiklikleri gösterebilir. Bu durumda, çukur içerisinde irili ufaklı küçük girinti-çıkıntı oluşumlarına neden olmaktadır. Çukurun oluşum aşamaları aşağıdaki Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



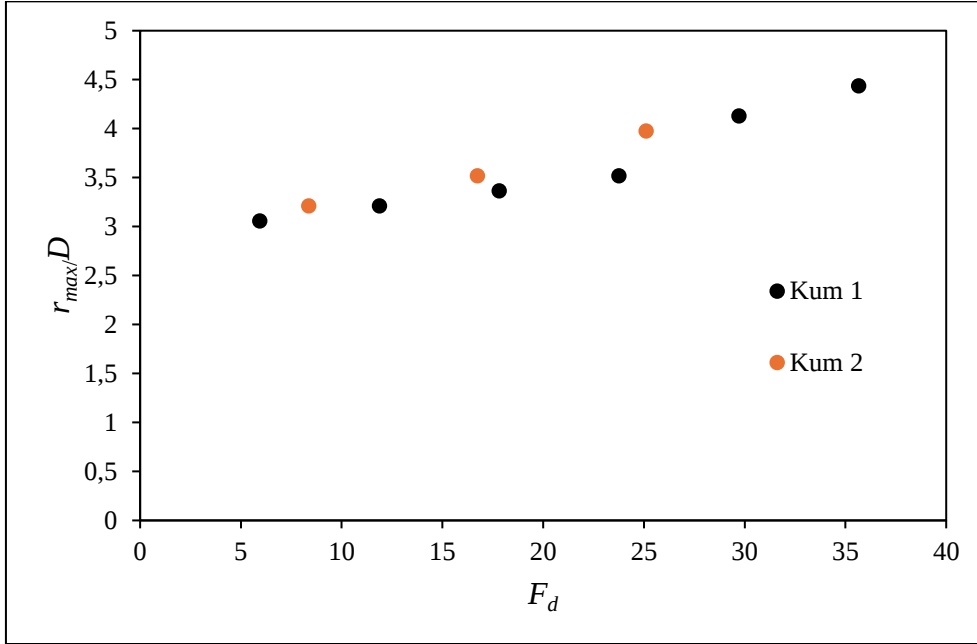
Şekil 4.1. Oyulma çukuru oluşumunun aşamaları (Ullah 2003)

Boyut analizi kısmında, oyulma çukuru geometrisinin, emme borusunun taban sediment üst kotuna göre izafi konumuna (c/D), emme borusunun ucuna takılan göreceli başlık çapına (D_f/D), densimetrik Froude sayısına (F_d) bağlı olduğu belirtilmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde, oyulma çukuru karakteristiklerinin sayılan boyutsuz parametrelerle nasıl değiştiği ayrı ayrı incelenmiştir.

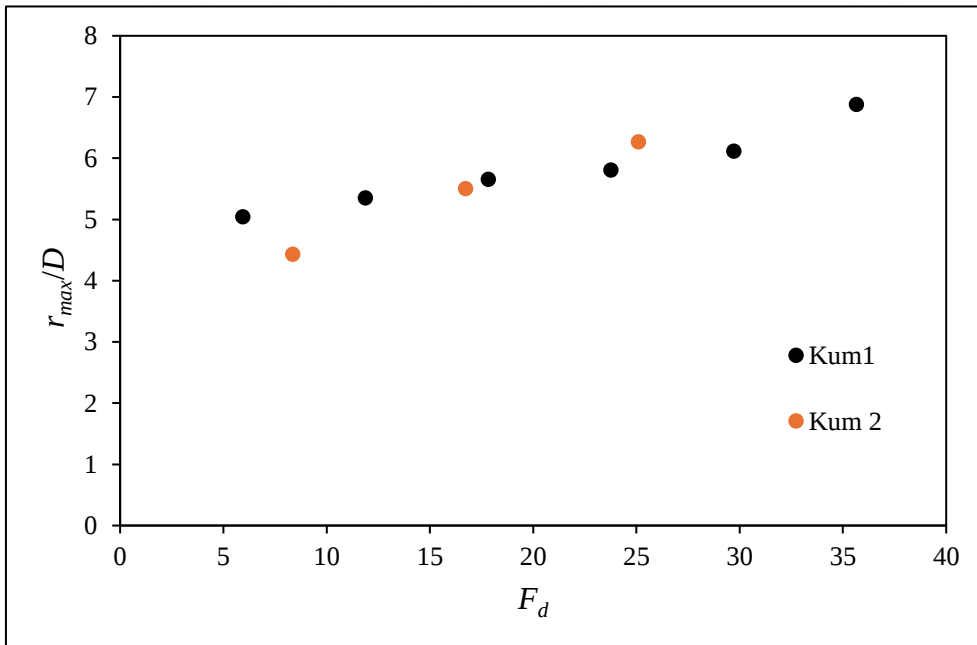
4.1. Densimetrik Froude Sayısının Etkisi

Aşağıda verilen Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de sırasıyla oyulma çukurunun çapının başlıksız ve başlıklı bir durum için densimetrik Froude sayısı ile değişimi gösterilmektedir. Bu çalışmaya ait yapılan ölçümlerin neredeyse tamamında, oyulma çukuru çapı birbirine dik iki farklı yönden ölçüldüğünde, aradaki farkın çok ciddi olmadığı gözlemlendiğinden ($<|\pm\%2|$) çukur çapı sadece tek bir doğrultuda ölçülmüş ve grafiklerde gösterilmiştir.

Aşağıdaki grafiklerde densimetrik Froude sayısının etkisini ortaya koymak adına seçilmiş bazı düzeneklere ait sonuçlar gösterilmiştir.



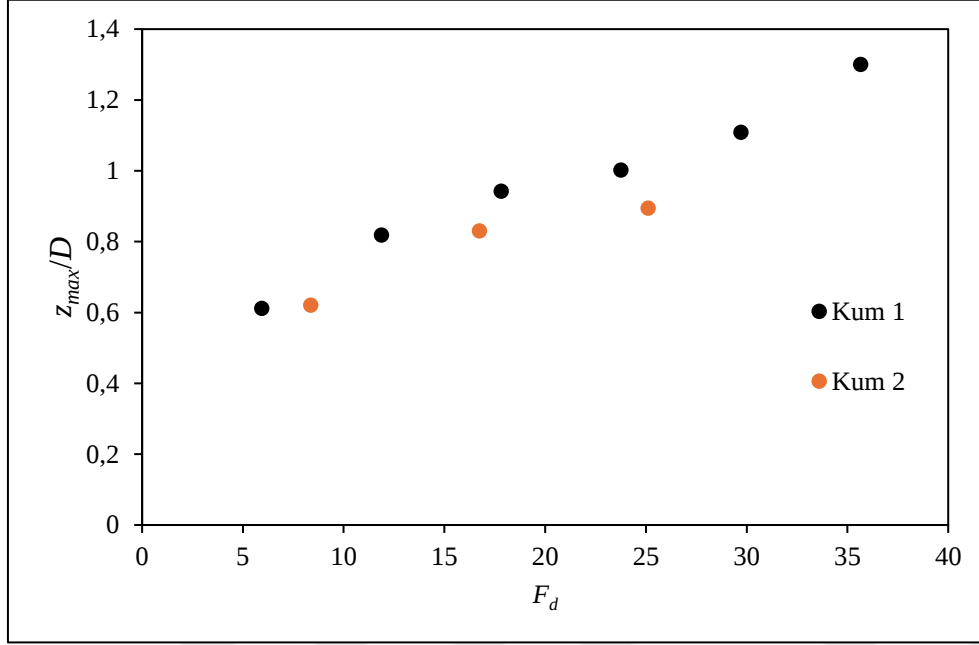
Şekil 4.2. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için r_{max}/D ile F_d değişimi



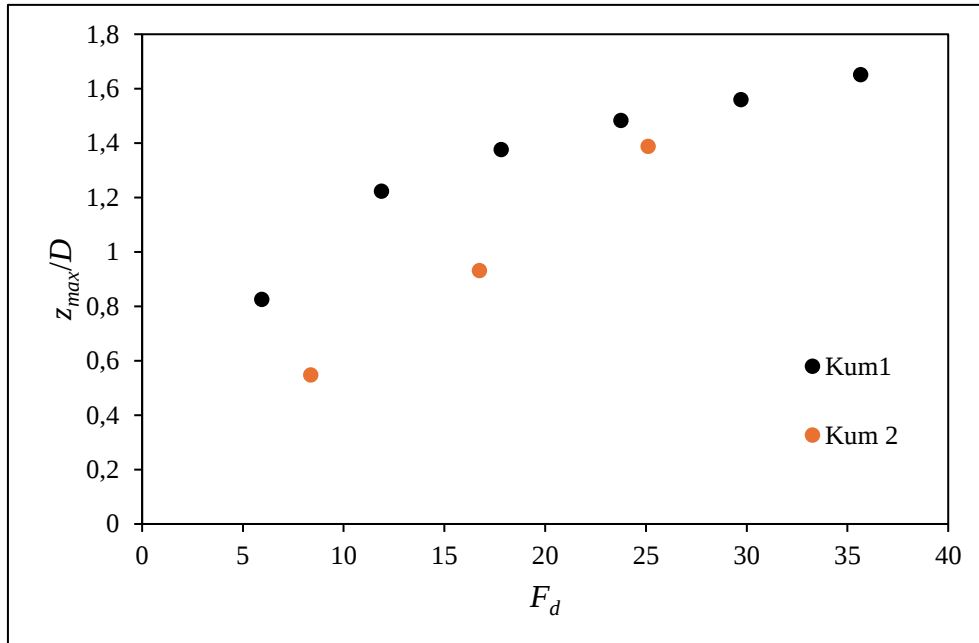
Şekil 4.3. $c/D = 0$ ve $D_f/D = 4$ durumu için r_{max}/D ile F_d değişimi

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de sırasıyla oyulma çukurunun en büyük derinliğinin başlıksız ve başlıklı bir durum için densimetrik Froude sayısı ile değişimi gösterilmektedir. En büyük

derinlik çoğunlukla emme borusu merkezinin sediment tabakası üzerindeki izdüşümünde elde edilse de önceki kısımda anlatılan çevrintilerin etkilerinden dolayı bazı koşullarda merkezden bir miktar sapma gösterebilmektedir. Aşağıdaki grafiklerde oyulma çukurunun en derin noktasının gösterildiği unutulmamalıdır.



Şekil 4.4. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için z_{max}/D ile F_d değişimi



Şekil 4.5. $c/D = 0$ ve $D_f/D = 4$ durumu için z_{max}/D ile F_d değişimi

Densimetrik Froude sayısı, F_d , arttıkça, tabandaki sediment danelerine uygulanan hem sürüklenme hem de kaldırma kuvvetleri ve daha sonra açıklanacak olan yüzey altı çevrintilerinin gücü artar. Bu nedenle z_{max}/D , r_{max}/D değerleri de artar. Ayrıca sediment çapı arttıkça, sediment danelerinin ağırlığı ve bu daneler arasındaki sürtünme kuvvetleri arttığından z_{max}/D , r_{max}/D azalır. Farklı sediment dane çaplarının çukur genişliğine etkisi, F_d boyutsuz parametresi açısından benzer eğilim gösterirken çukur derinliği bakımından farklılık içermektedir.

Bu çalışmada tanımlanan F_d , Shields parametresine benzerdir ve hem emme borusu debisini hem de sediment çapını içerir. Densimetrik Froude sayısı, F_d , sediment taşınımı ile ilgili mevcut çalışmalarda sıklıkla kullanılmıştır (Aguirre-Pe ve ark., 2003; Oertel ve Bung 2015). Şekil 4.2-Şekil 4.5'den de görülebileceği gibi çukura ait tüm geometrik özellikler F_d ile artmaktadır.

Başlıksız durum ve $c/D = 0$ 'daki $F_d = 5,94$ değeri için r_{max}/D ve z_{max}/D referans olarak alınırsa (referans durum aşağıdaki tabloda "0" alt indisi ile gösterilmiştir) başlıksız durum ve Kum 1 için $c/D=0$ 'daki farklı F_d değerlerinin çukurun en büyük çapını ve derinliğini nasıl değiştirdiği aşağıdaki Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için farklı F_d değerlerine ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Kum 1)

F_d	c/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
11,89	0	1,05	1,34
17,83	0	1,1	1,54
23,77	0	1,15	1,64
29,72	0	1,35	1,82
35,66	0	1,45	2,13

Bu çizelgeden de görüldüğü üzere F_d 'nin etkisi daha çok çukur derinliğinde kendini göstermektedir. F_d 'nin değerinin 5,94'den 35,66'ya yükseltilmesi çukur derinliğini yaklaşık 2,13 katına çukur genişliğini de 1,45 katına çıkarmaktadır.

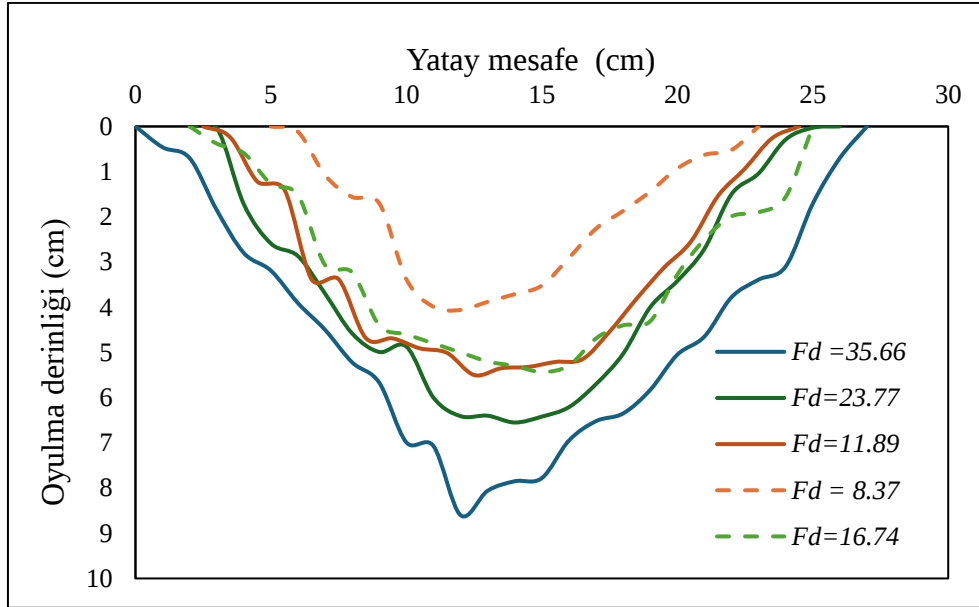
Kum 2 için başlıksız durum ve $c/D = 0$ 'daki $F_d = 8,37$ değeri r_{max}/D ve z_{max}/D referans olarak alınır (referans durum aşağıdaki tabloda "0" alt indisi ile gösterilmiştir), $c/D=0$ 'daki farklı F_d değerleri için çukurun en büyük çapının ve derinliğini nasıl değiştiği ise aşağıdaki Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Bu çizelgeden de görüldüğü üzere referans F_d değerinin yaklaşık 3 katına çıkması çukur genişliğini yaklaşık %24, çukur derinliğini ise yaklaşık %39 arttırmıştır. İnce kum numunesi olan Kum 1 ile kıyaslandığında F_d sayısındaki benzer değişimin, Kum 2'de çukur derinliği açısından daha düşük artış değerleri sağladığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. $c/D = 0$ ve başlıksız durum için farklı F_d değerlerine ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Kum 2)

F_d	c/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
16,74	0	1,095	1,33
25,11	0	1,238	1,39

4.1.1. F_d etkisi için oyulma profilleri

Farklı F_d sayıları (veya emme debileri ile) ile çukur profilinin nasıl değiştiğinin daha detaylı gösterebilmek adına aşağıdaki Şekil 4.6'da $c/D = 0$ ve başlıksız durum için farklı F_d değerlerinde elde edilen oyulma profilleri verilmiştir. Bu grafikte dolu çizgi Kum 1, kesikli çizgi ise Kum 2'yi ifade etmektedir.



Şekil 4.6. Başlıksız durum ve $c/D = 0$ farklı F_d değerleri için oyulma grafikleri

Bu grafikten de görüldüğü üzere Froude sayısının artması oyulma derinliğini daha çok artırırken oyulma genişliğini görece olarak daha az arttırmıştır. Bunun sebebi daha önce de anlatıldığı gibi debi veya Froude sayısının artması emme borusu merkezinin taban üzerindeki izdüşüm noktası civarındaki hızı arttırdığından bu bölgedeki sediment daha çok emme borusuna girdirilerek en büyük oyulma derinliğini arttırmaktadır. Ayrıca şev açılarının F_d sayısı ile çok değişmediği $30-35^\circ$ aralığında olduğu görülmektedir (şev açıları hesaplanırken ortalama değerler kullanılmıştır).

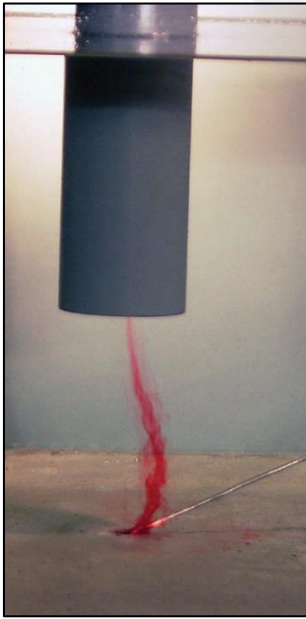
4.2. c/D 'nin etkisi

Oyulma çukuru boyutları, sediment tabanı civarında oluşan hız alanından etkilenir. Bu bölgedeki hız değerleri arttıkça sediment tanelerine etkiyen hidrodinamik sürüklenme ve kaldırma kuvvetleri de artarak çukur boyutunun büyümesine sebep olur. Ayrıca emme akımı merkezi, yani emme borusu merkezi ile taban arasında oluşan yüzey altı çevrintileri de (sub-surface vortices) tabandaki sedimenti yerinden kaldırıp emme borusuna girdirir.

Silindir rezervuarda emme borusu akımından dolayı oluşan hız değerleri, emme borusuna doğru yaklaştıkça beklendiği gibi artış gösterirken, emme borusu girişinden uzaklaştıkça akım alanındaki hız değerleri küçülür.

Dolayısıyla emme borusu girişı ile taban sediment seviyesi aynı kotta olduğu durumda sediment tanelerine daha büyük kuvvetler uygulanırken emme borusu ağız sediment tabandan uzaklaştıkça taban civarındaki hız ve sediment tanelerine uygulanan kuvvetler azalır ve çukur boyutları da küçülür.

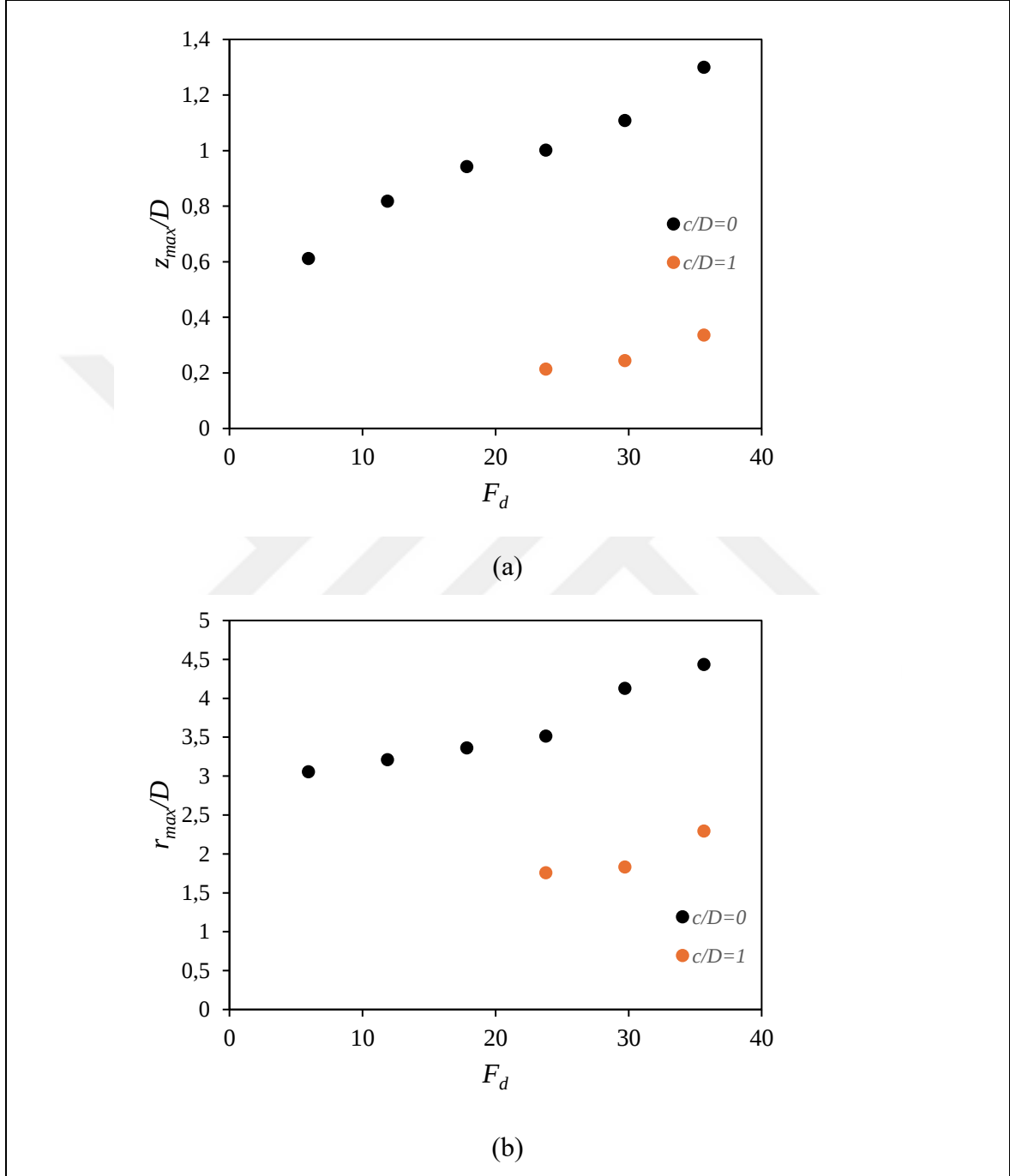
Sediment tanelerinin emme borusuna girişı esnasında yüzey altı çevrintileri de büyük bir rol oynar. Akım alanında kritik kayma gerilmesinin üzerine çıkıldığında tabandaki sediment taneleri harekete geçerler. Ancak harekete geçen sediment tanelerinin tabanla aynı seviyede veya özellikle tabandan bir miktar yukarıda bulunan emme ağızına girişı, yüzey altı çevrintileri nedeniyle olur (Ullah 2003). Bu çevrintiler emme ağız ile taban arasındaki yüksek hız gradyanının sonucu olan yüksek vortisite sebebiyle oluşurlar. Sediment tanelerine ilave kuvvetler uygulayıp tanelerin titremelerine ve yerinden ayrılmasına neden olurlar. Aşağıdaki Şekil 4.7’de tipik bir yüzey altı çevrintisi gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Yüzey altı çevrintisi (Yıldırım ve ark. 2012)

Şekil 4.8’de sırasıyla oyulma çukurunun en büyük derinliğinin ve en büyük çapının, c/D mesafesi ile değişimi gösterilmektedir. Bu şekillerden de anlaşıldığı üzere en büyük çukur derinliği ve çukur çapı $c/D = 0$ değerleri için elde edilmiştir. Deneylerde çalışılabilen debi aralığında (2-12 lt/sn), başlıksız durum için $c/D = 1$ ’in üzerinde bir çukur oluşumu gözlemlenmemiştir ($c/D = 1,5$ ve $c/D = 2$ değerleri denenmiştir). Kum 1 için başlıksız durumda $c/D=1$ değerinde $Q = 6$ lt/sn’nin ($F_d = 17,83$) altında oyulma gözlemlenmemiştir.

Kum 2 için ise başlıksız durumda $c/D=1$ değerinde $Q = 10$ lt/sn'nin ($F_d = 20,92$) altında oyulma gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.8. Kum 1 ve başlıksız durum için a) z_{max}/D ve b) r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi

Başlıksız durumdaki $c/D = 0$ değerleri için r_{max}/D ve z_{max}/D referans olarak alınır (referans durum aşağıdaki çizelgede "0" alt indisi ile gösterilmiştir), Kum 1 ve $c/D=1$ için çukurun en büyük çapının ve derinliğinin nasıl değiştiği aşağıdaki Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Başlıksız durum ve Kum 1)

F_d	c/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
35,65	1	0,52	0,26
29,71	1	0,44	0,23
23,77	1	0,50	0,21

Bu çizelgeden de görüldüğü üzere c/D 'nin etkisi daha çok çukur derinliğinde kendini göstermektedir. c/D 'nin değerinin 0'dan 1'e yükseltilmesi çukur derinliğini yaklaşık beşte birine düşürürken çukur genişliğini de yaklaşık yarı yarıya düşürmüştür. Densimetrik Froude sayısının c/D 'nin 0'dan 1'e yükseltilmesinin referans duruma göre çukur çapında ve derinliğinde incelenen F_d sayıları göz önüne alındığında önemli bir etkisi olmamıştır.

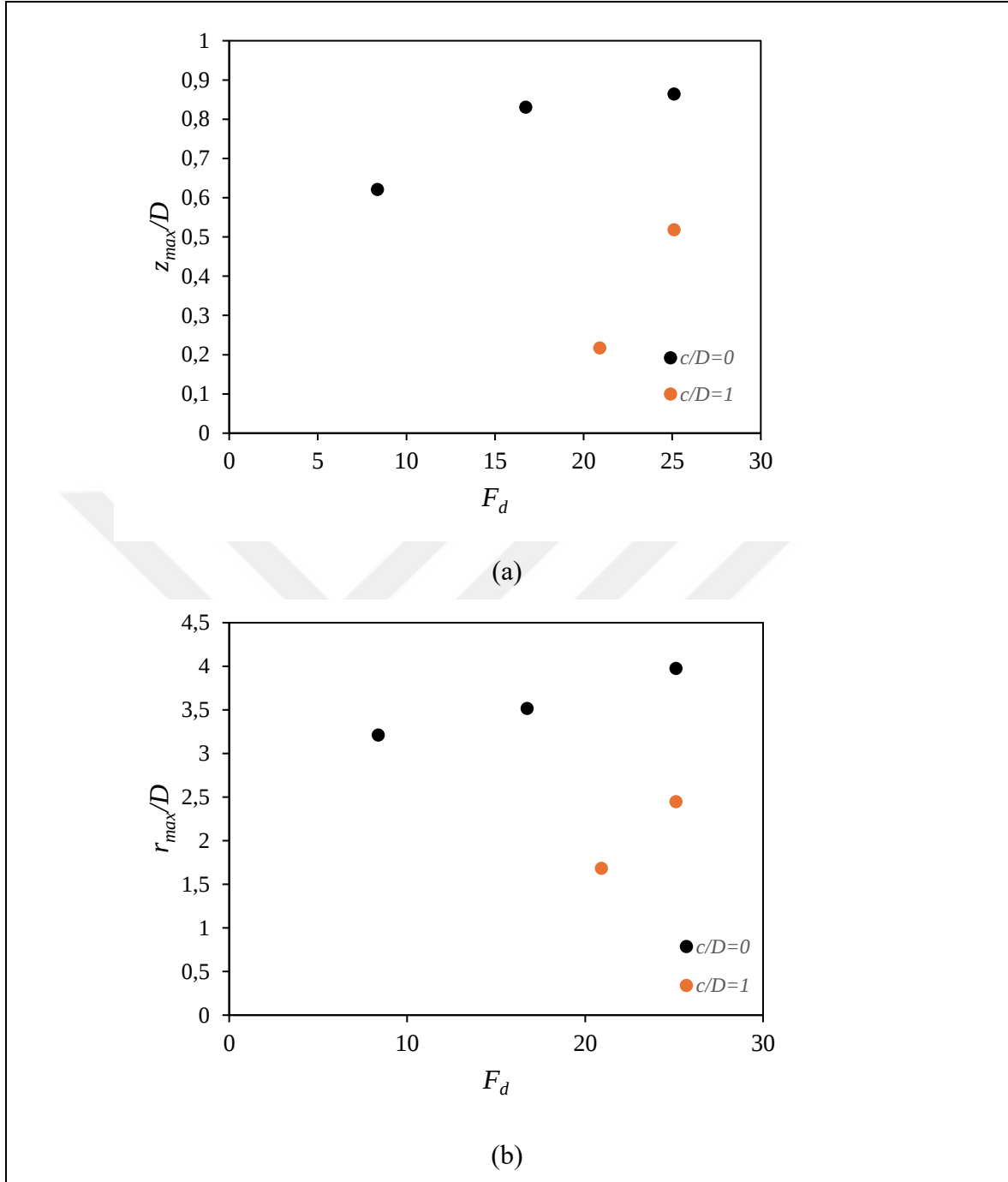
Benzer durum Kum 2 için de Şekil 4.9 ve Çizelge 4.4'de görülmektedir. Ancak Kum 2 için $c/D=1$ değerinde $Q=10$ lt/sn değerinin altında oyulma gözlenmemiştir.

Başlıksız durumdaki $c/D = 0$ değerleri için r_{max}/D ve z_{max}/D referans olarak alınırsa (referans durum aşağıdaki çizelgede "0" alt indisi ile gösterilmiştir) başlıksız durum ve Kum 2 için $c/D=1$ 'deki çukurun en büyük çapını ve derinliğini nasıl değiştirdiği aşağıdaki Çizelge 4.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması (Başlıksız durum ve Kum 2)

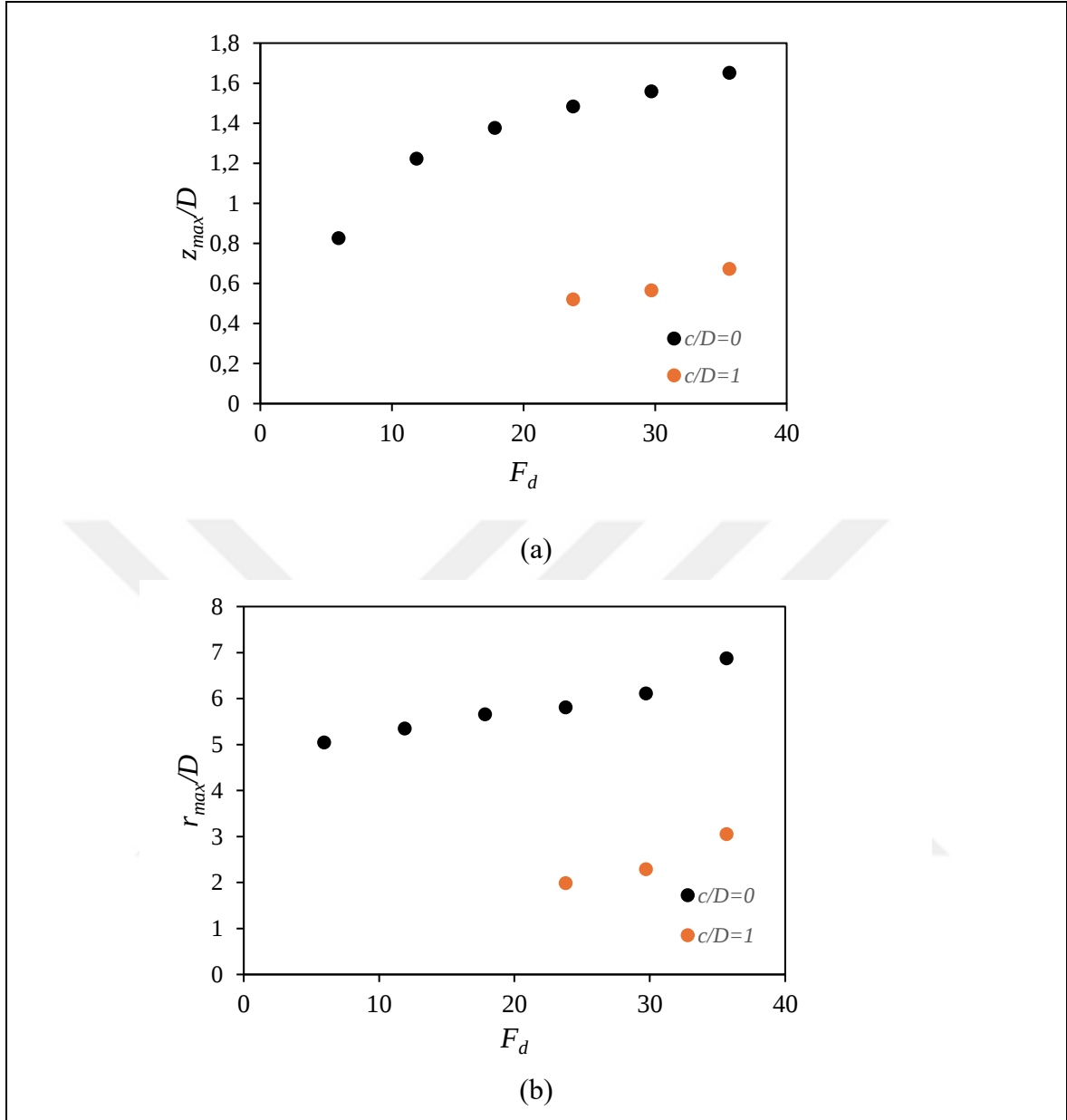
F_d	c/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
25,11	1	0,61	0,6
20,92	1	0,42	0,39

Bu tablodan görüldüğü üzere c/D 'nin değerinin 0'dan 1'e yükseltilmesi hem çukur derinliğinde hem de çukur genişliğinde yaklaşık olarak benzer oranlarda düşüşe neden olmuştur. Dolayısıyla kalın kum olan Kum 2 numunesinde, c/D 'nin artışı, Kum 1'den farklı olarak hem çukur genişliğini hem de çukur derinliğine etkisi yakın olmaktadır.



Şekil 4.9. Kum 2 ve başlıksız durum için z_{max}/D ve r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi

Şekil 4.10'da başlıklı bir durum ($D_f/D = 4$) ve Kum 1 için c/D değişiminin oyulma parametreleri üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 4.10. $D_f/D = 4$ durumu ve Kum 1 için a) z_{max}/D ve b) r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi

$D_f/D = 4$ durumdaki $c/D = 0$ değeri için r_{max}/D ve z_{max}/D referans olarak alınırsa (referans durum aşağıdaki tabloda "0" alt indisi ile gösterilmiştir) başlıksız durum ve Kum 1 için $c/D=1$ 'deki çukurun en büyük yarıçapını ve derinliğini nasıl değiştirdiği aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($D_f/D = 4$ ve Kum 1)

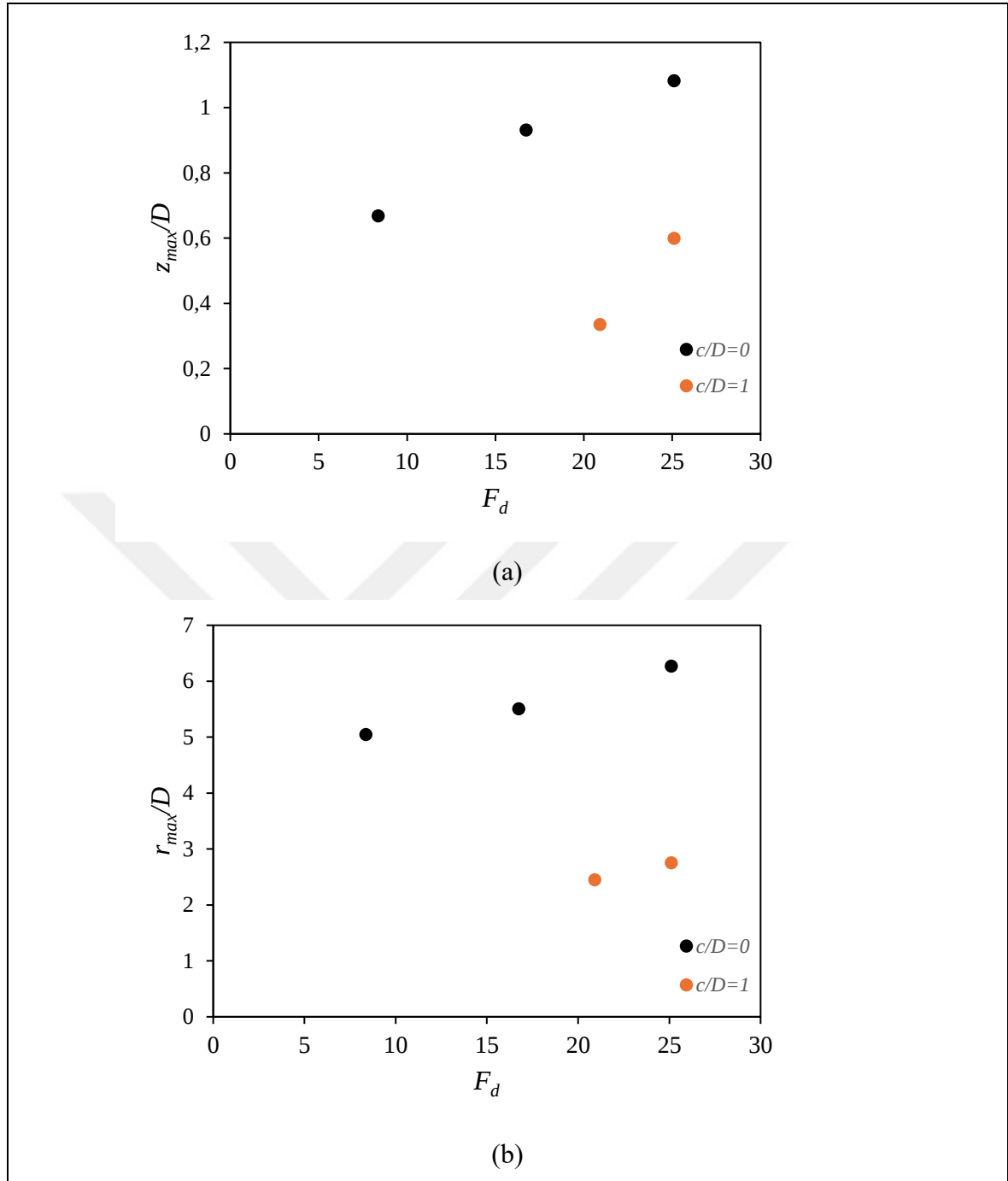
F_d	c/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
35,65	1	0,51	0,4
29,71	1	0,37	0,35
23,77	1	0,34	0,35

Bu tablodan görüldüğü üzere başlık kullanıldığı durumda c/D 'nin etkisi hem çukur derinliğinde hem de çukur genişliğinde kendini yaklaşık olarak benzer oranlarda göstermektedir. Benzer durum Kum 2 için de Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. $c/D = 0$ ve $c/D = 1$ 'e ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($D_f/D = 4$ ve Kum 2)

F_d	c/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
25,11	1	0,61	0,43
20,92	1	0,42	0,33

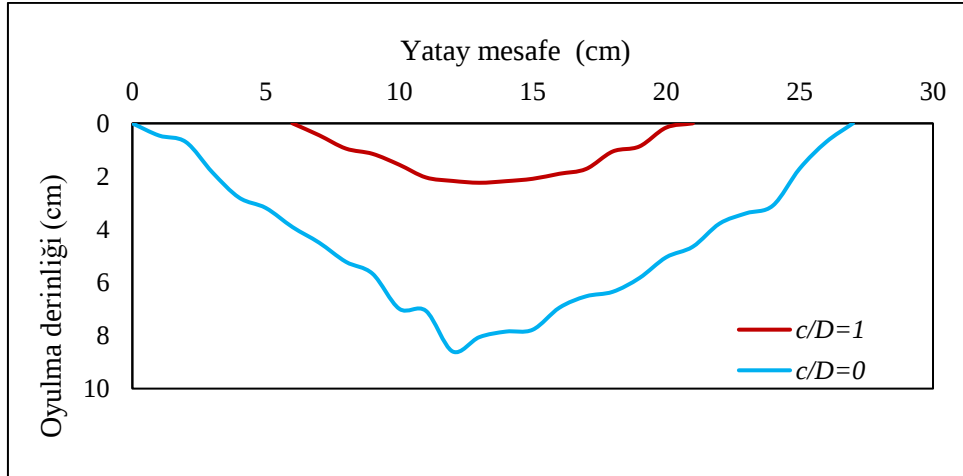
Bu tablodan görüldüğü üzere başlık kullanıldığı durumda Kum 2 için c/D 'nin etkisi hem çukur derinliğinde hem de çukur genişliğinde kendini kabaca yaklaşık olarak benzer oranlarda göstermektedir.



Şekil 4.11. $D_f/D=4$ durumu ve Kum 2 için z_{max}/D ve r_{max}/D 'nin c/D ile değişimi

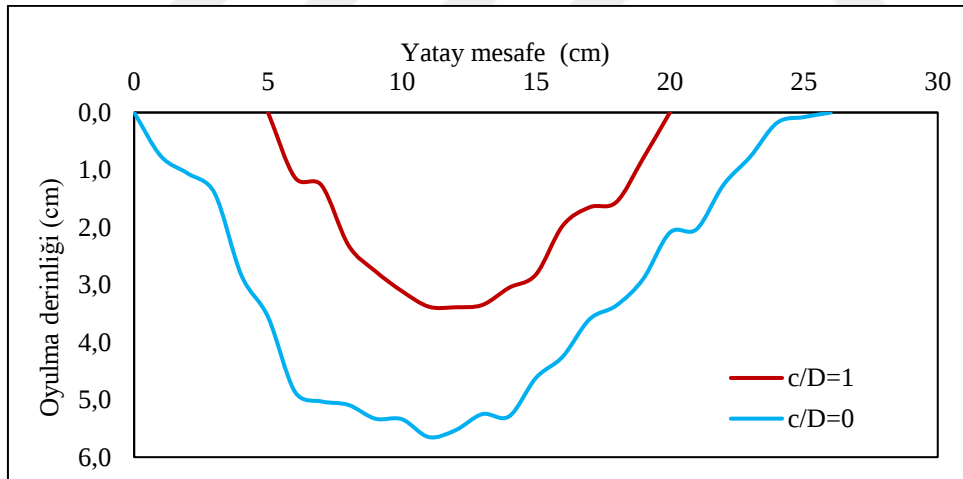
4.2.1. c/D etkisi için oyulma profilleri

Aşağıda Şekil 4.12 ve 4.13'de c/D etkisinin daha net görülebilmesi için oyulma profilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kum 1 ve başlıksız durumda $F_d = 35,65$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması

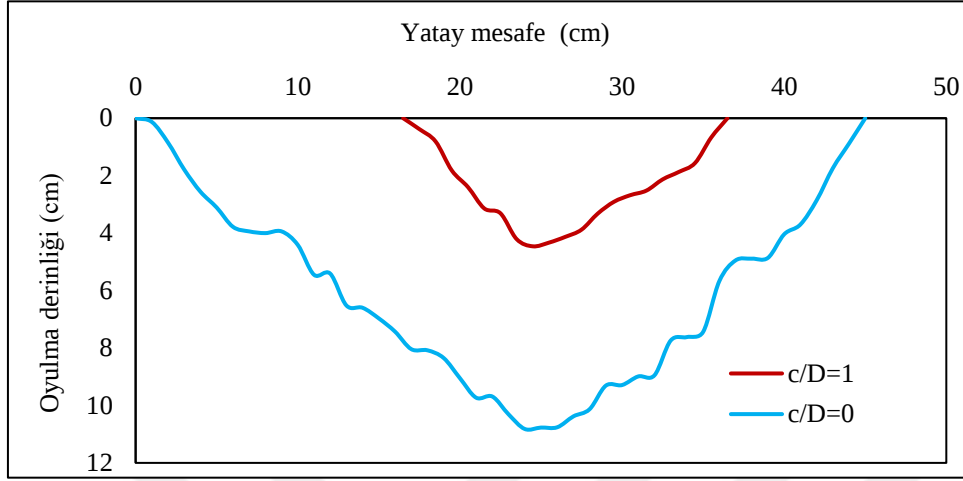
Şekil 4.12'den görüldüğü üzere $c/D = 0$ 'dan 1'e değişimi $F_d = 35,65$ ($Q = 12$ lt/sn) ve başlıksız durum için oyulma derinliğini yaklaşık dörtte birine düşürürken çukur genişliği de yaklaşık yarısına düşmüştür. Çukura ait şev açısı $c/D = 1$ durumunda yaklaşık 18° iken $c/D = 0$ durumunda bu açı yaklaşık 30° olmuştur.



Şekil 4.13. Kum 2 ve başlıksız durumda $F_d = 25,11$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması

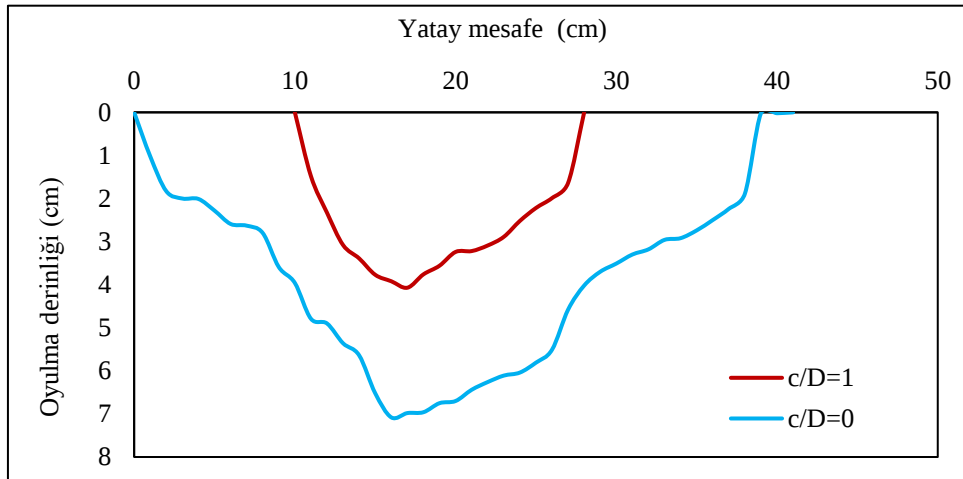
Şekil 4.13'den görüldüğü üzere $c/D = 0$ 'dan 1'e değişim $F_d = 25,11$ ($Q = 12$ lt/sn, Kum 2) ve başlıksız durum için oyulma derinliğini ve çukur genişliğini yaklaşık yarısına düşmüştür. Çukura ait şev açıları ise $c/D = 1$ ve $c/D = 0$ durumunda yaklaşık 28° olmuştur. Kum 1den farklı olarak Kum 2'deki genişlik ve derinlikte değişimler benzer olmuştur.

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de ise c/D etkisinin başlıklı bir durumda daha net görülebilmesi için oyulma profilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Kum 1 ve $D_f/D = 4$ durumunda $F_d = 35.65$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması

Şekil 4.14’de görüldüğü üzere $c/D = 0$ ’dan 1’e değişimi $F_d = 35.65$ ($Q = 12$ lt/sn) ve $D_f/D = 4$ durumu için oyulma derinliğini yaklaşık yarısına yakın düşürürken çukur genişliği de yaklaşık yarısına düşmüştür. Çukura ait şev açısı $c/D = 1$ ve $c/D = 0$ durumu için benzer olup yaklaşık 28° olmuştur.



Şekil 4.15. Kum 2 ve $D_f/D = 4$ durumunda $F_d = 25.11$ ($Q = 12$ lt/sn) için 2 farklı c/D 'nin oyulma profillerinin kıyaslanması

Şekil 4.15’de Kum 2 için başlıklı durumda c/D 'nin oyulma profilleri üzerinde etkisi görülmektedir. $c/D = 0$ ’dan 1’e değişimi $F_d = 25.11$ ($Q = 12$ lt/sn) ve $D_f/D = 4$ durumu Kum

2 için oyulma derinliğini yaklaşık yarısına yakın düşürürken çukur genişliği de yaklaşık yarısına düşmüştür.

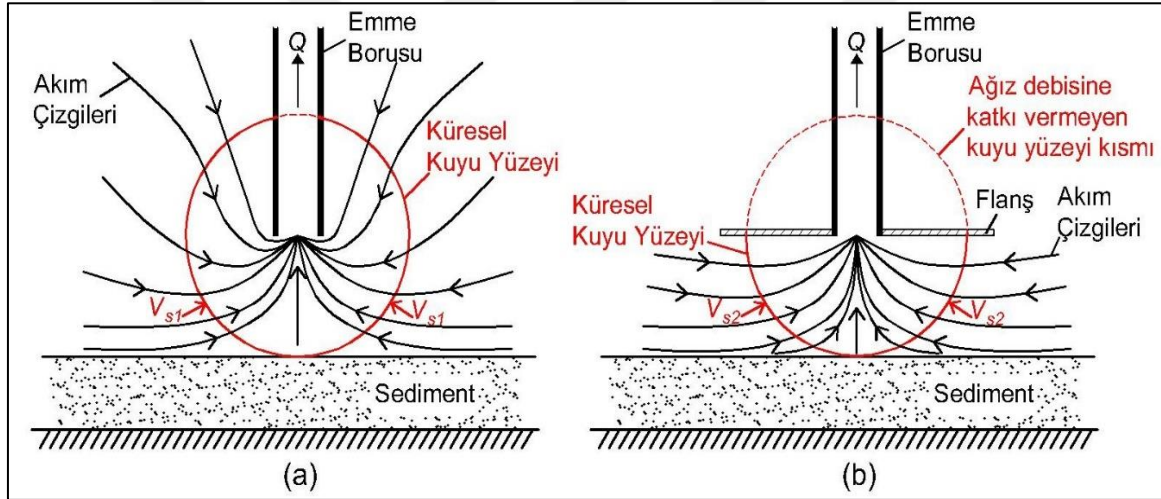
4.3. Başlık Etkisi

Emme borusunun ucuna takılan farklı çaplarda başlıkların oyulma profilleri üzerine etkisi daha önce literatürde incelenmemiş olup bu çalışmanın temel özgün değerini oluşturmaktadır. Emme borusu ucuna takılan başlık çapının emme borusu çapına oranına bağlı olarak oyulma profillerinde değişiklikler olduğu görülmüştür.

Emme borusu ucuna takılan başlık, temel olarak emme borusu ucunun üst kısmından boru içine girmeye çalışan akım için fiziksel bir engel etkisi oluşturur. Bu etki neticesinde akımın büyük bir bölümü emme borusuna, emme borusu ucu ile taban arasındaki bölgeden girmeye çalıştığından bu bölgedeki akım hızları artar ve sedimentin harekete geçme potansiyeli yükselir. Ancak bu etki aşağıdaki grafiklerde görüleceği gibi göreceli başlık çapına (D_f/D), F_d sayısına ve c/D değerine göre farklılıklar göstermektedir.

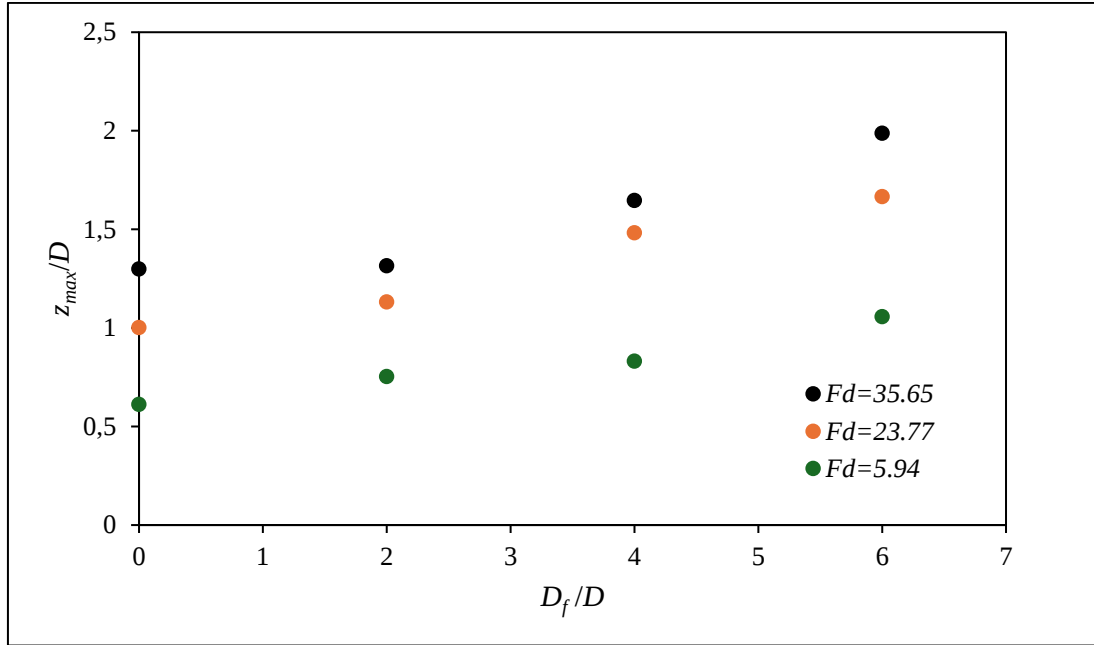
Emme ucuna takılacak olan başlığın nasıl bir fiziksel etkisi olduğu ise aşağıda açıklanmıştır. Yıldırım ve Kocabaş (1995) dairesel su alma ağzlarına hava girişinin bulunması ile ilgili yaptıkları çalışmada su alma ağzına doğru olan akımı bir noktasal kuyu olarak kabul etmişlerdir. Dolayısıyla ağza doğru olan akım, ağız borusunun sınır etkilerinin olduğu bölgeler dışında ağız merkezine doğru radyal kabul edilebilir (Ullah, 2003). Bu yüzden emme borusu ucundan ağza giren akım debisi; gerek emme borusu ucuyla sediment tabakası arasından, gerekse emme borusu ucuyla serbest su yüzeyi arasındaki bölgeden giren debilerin toplamı şeklinde yazılabilir. Emme borusu merkezini merkez olarak kabul edip Şekil 4.16'daki gibi bir küre çizildiğinde (noktasal kuyu kabulü gereği eş potansiyel yüzeyi bir küredir) küre yüzeyindeki radyal hız, ağız debisinin küresel kuyu yüzeyinin alanına oranına eşittir (Şekil 4.16a, V_{sl}). Kuyu yüzeyindeki hızın artması, sediment tanelerine etkileyen sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerini de arttıracığından sediment taşınımını arttırıcı bir etkiye sahiptir. Bu açıklamadan anlaşılacağı üzere akım ortamındaki sediment tabakası civarındaki akım hızının arttırılması daha çok sediment uzaklaştırılmasını sağlayacaktır. Bu noktada, emme ucuna farklı çaplarda takılan basit bir başlık (flanş), emme ucundan alınacak debinin büyük ölçüde emme ucuyla sediment tabakası arasındaki bölgeden alınmasına neden olmuştur. Çünkü flanşın varlığı emme ucunun üst kotlarından (emme ucuyla serbest su

yüzeyi arasındaki bölge) suyun ağza girmesi önünde fiziksel bir engel oluşturarak akımın aşağı bölgeden alınmasına sebep olup bu bölgedeki akım hızlarını arttırarak sediment uzaklaştırılmasına olumlu bir etki yaratmıştır. (Şekil 4.16b, V_{s2} , $V_{s2} > V_{s1}$). Sediment uzaklaştırılması amacıyla emme ucuna başlık takılması uygulaması literatürde bulunmamaktadır ve ilk defa bu çalışmada denenmiştir. Ancak sıvı alma ağızlarına bir başlık takılmasının uygulamasına, özellikle tabakalı sıvılarda istenilen sıvının çekilmesi (selective withdrawal) olayında rastlanmaktadır. İki tabakalı bir sıvı ortamında, üst taraftaki sıvıyı rezervuarın tabanından düşey aşağı sıvı alan bir ağız vasıtasıyla daha verimli bir şekilde çekebilmek için ağız ucuna başlık takıldığı çalışmalar vardır (Sharp ve ark., 1996). Bu uygulamanın ağız akımını istenilen tarafa doğru yönlendirerek planlanan sıvının alınmasında olumlu katkısı olduğu görülmüştür (Sharp ve ark., 1996).

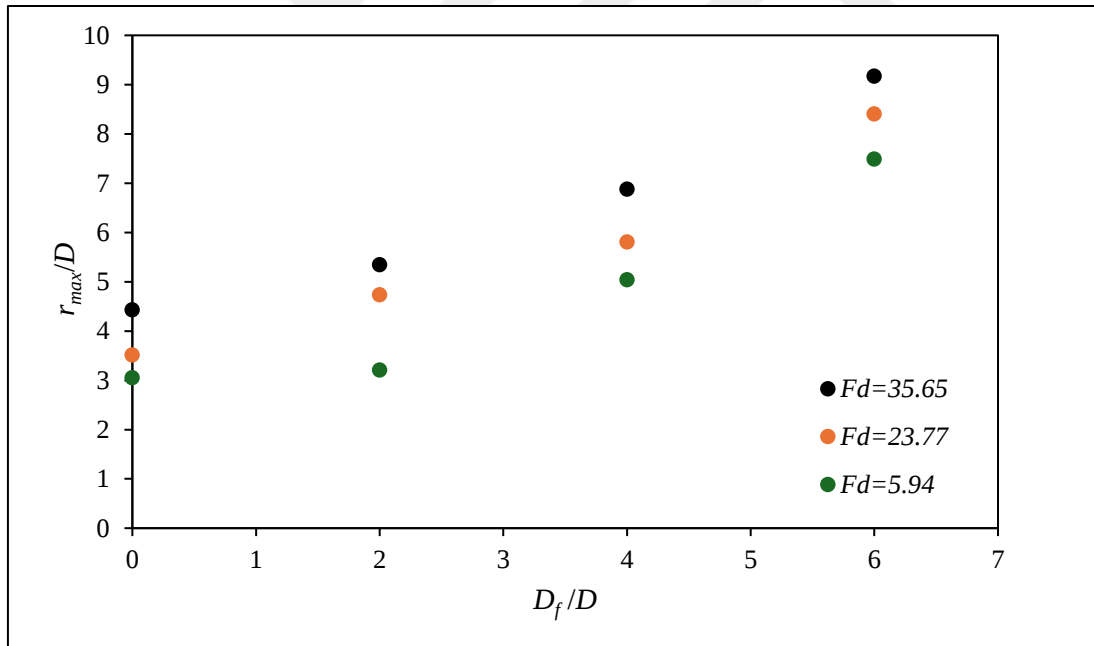


Şekil 4.16. Başlık olmaması ve olması durumunda akım çizgileri ve küresel kuyu yüzeyleri

$c/D = 0$ olduğu durumlarda Kum 1 ve farklı F_d sayıları için $D_f/D = 0$ (başlıksız), 2, 4 ve 6 değerlerinde elde edilen en büyük çukur genişliği ve derinliği (r_{max}/D , z_{max}/D) aşağıdaki Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir. Görüldüğü gibi başlık çapı arttığında genel olarak hem çukur derinliği hem de çukur çapı artmaktadır. Artış daha çok çukur genişliğinde kendini daha fazla hissettirmektedir. Debi veya Froude sayısı küçüldükçe başlık çapının büyümesi çukur derinliğinde, büyük Froude sayılarına kıyasla daha az bir artışa neden olmaktadır. Ayrıca Şekil 4.17 ve 4.18’de görüldüğü gibi çukur derinliğinde ve de özellikle çukur genişliğindeki daha büyük artışlar $D_f/D = 4$ değerinden sonra görülmektedir..



Şekil 4.17. $c/D = 0$ ve Kum 1 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi



Şekil 4.18. $c/D = 0$ ve Kum 1 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi

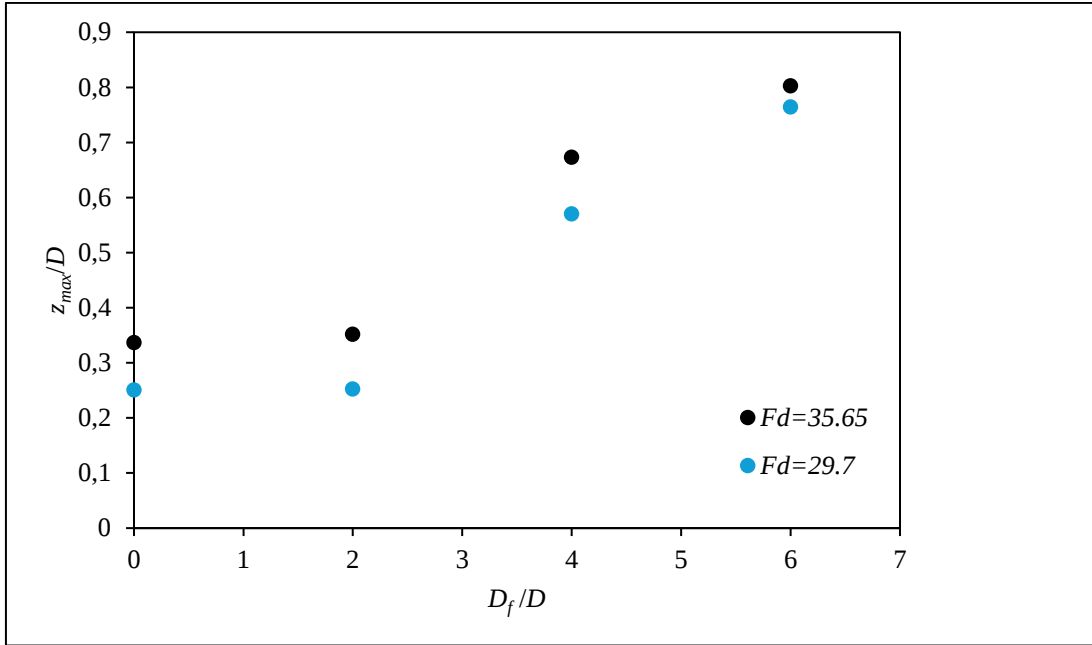
Başlıksız durumdaki r_{max}/D ve z_{max}/D referans olarak alınırsa (referans durum aşağıdaki tabloda "0" alt indisi ile gösterilmiştir) $c/D = 0$ ve Kum 1 için farklı başlık çaplarının çukurun en büyük genişliğini ve derinliğini nasıl değiştirdiği aşağıdaki Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Başlıksız durum ile başlıklı durumlara ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($c/D = 0$ ve Kum 1)

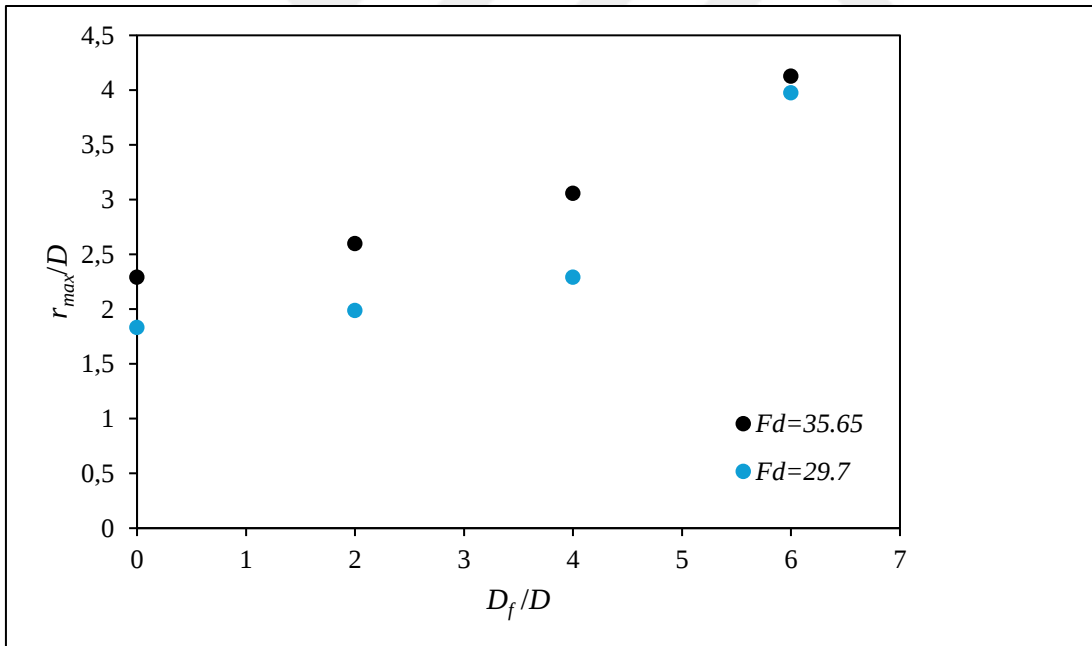
F_d	D_f/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
35,65	2	1,21	1,02
	4	1,55	1,27
	6	2,07	1,53
23,77	2	1,35	1,13
	4	1,65	1,48
	6	2,39	1,66
5,94	2	1,05	1,22
	4	1,65	1,36
	6	2,45	1,72

Yukarıdaki çizelgeden de görüleceği üzere başlıksız duruma kıyasla, $D_f/D = 6$ durumunda en büyük oyulma derinliği, yaklaşık en çok 1,5 -1,7 kat, en büyük oyulma genişliği ise yaklaşık en çok 2-2,45 kat artmaktadır. Oyulma genişliklerindeki artış oyulma derinliklerindeki artıştan daha büyük olmuştur. Bunun nedeni ise başlık kullanımı, artan hızlar ve çukur eğimi sebebiyle çukurun kenarlarındaki sedimenti daha kolay harekete geçerek çukurun çapını genişletmiştir. Çukurun kenarlarından harekete geçip çukurun merkezinde toplanan sedimentin ise ancak bir bölümü yerinden kaldırılarak emme borusuna girmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de Kum 1 için $c/D = 1$ durumunda farklı başlık çaplarının oyulmanın en büyük derinliğine ve genişliğine etkisi gösterilmektedir. $c/D = 0$ durumu için elde edilen duruma benzer şekilde göreceli başlık çapı arttıkça çukur genişliği ve çukur derinliği artmaktadır. Daha büyük artışlar ise $D_f/D = 4-6$ değerlerinde elde edilmiştir.

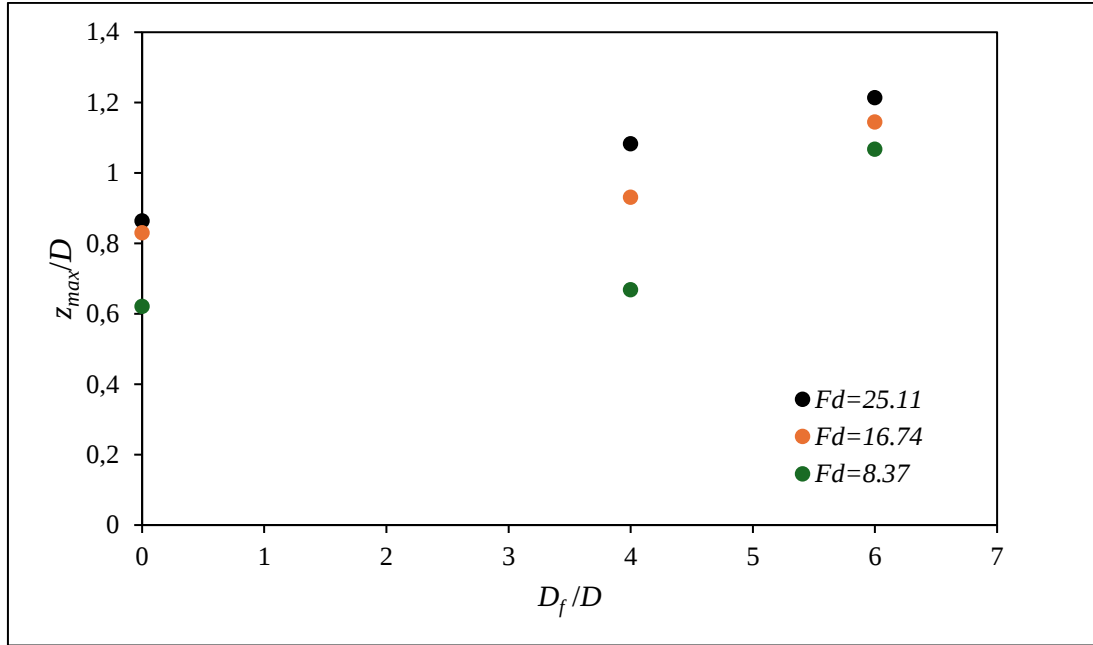


Şekil 4.19. $c/D = 1$ ve Kum 1 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi

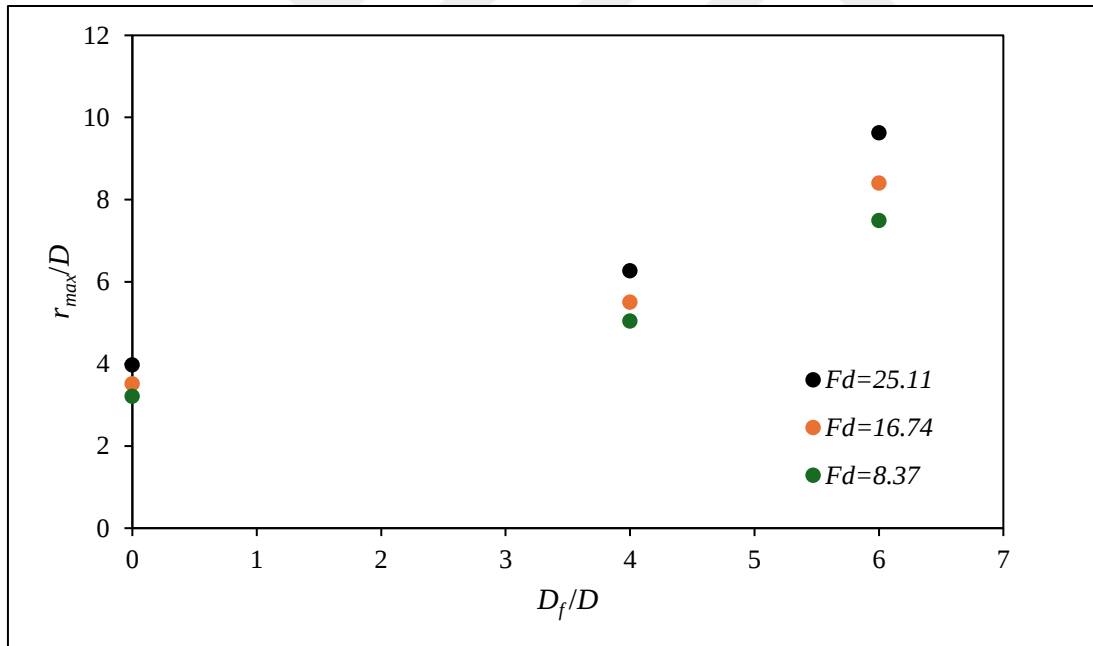


Şekil 4.20. $c/D = 1$ ve Kum 1 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi

Aşağıdaki Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 ve Çizelge 4.8'de Kum 2 için $c/D = 0$ durumunda farklı başlık çaplarının oyulmanın en büyük derinliğine ve genişliğine etkisi gösterilmektedir. Çukur genişliğinde ve derinliğindeki daha büyük artışların $D_f/D = 4$ değerinden sonra olduğu bu şekillerde de görülmektedir.



Şekil 4.21. $c/D = 0$ ve Kum 2 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi



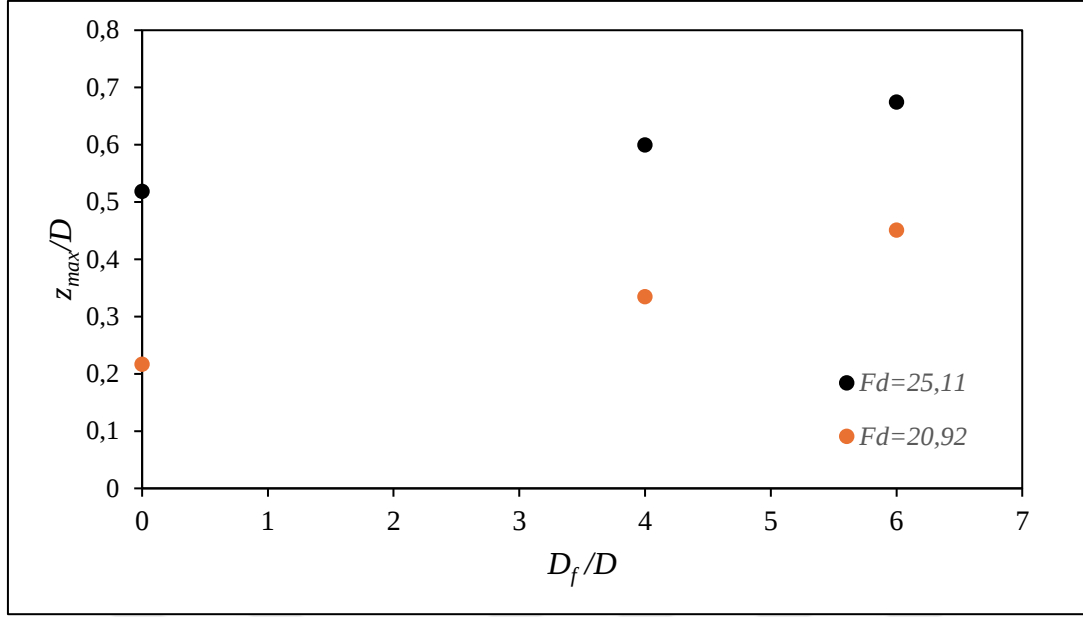
Şekil 4.22. $c/D = 0$ ve Kum 2 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi

Çizelge 4.8. Başlıksız durum ile başlıklı durumlara ait oyulma parametrelerinin kıyaslanması ($c/D = 0$ ve Kum 2)

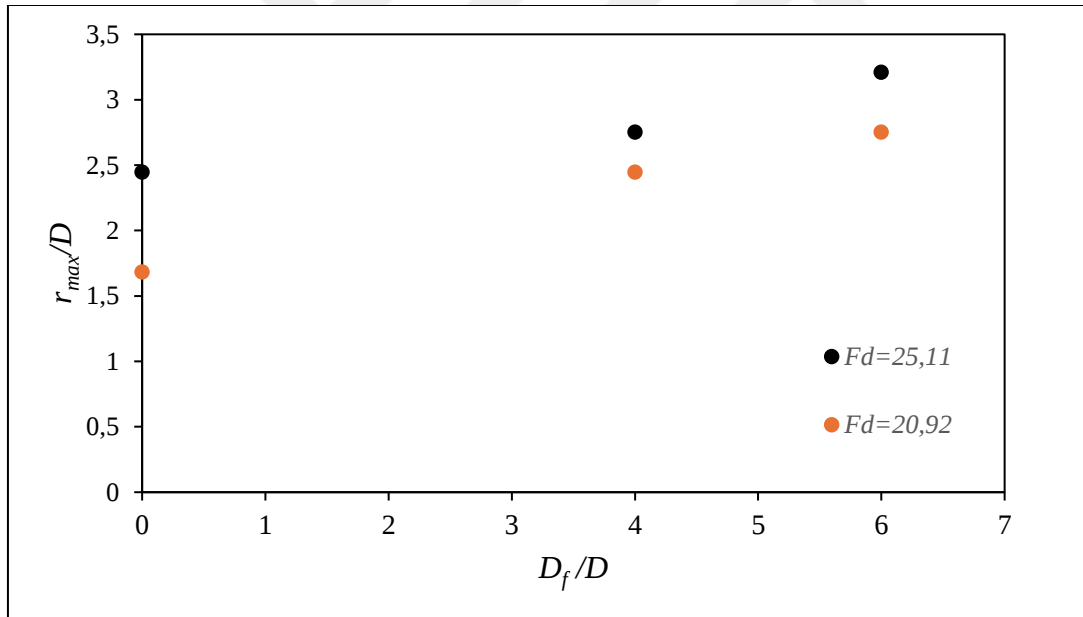
F_d	D_f/D	$\frac{(\frac{r_{max}}{D})}{(\frac{r_{max}}{D})_0}$	$\frac{(\frac{z_{max}}{D})}{(\frac{z_{max}}{D})_0}$
25,11	4	1,58	1,25
	6	2,42	1,40
16,74	4	1,56	1,12
	6	2,39	1,37
8,37	4	1,57	1,07
	6	2,33	1,71

Yukarıdaki çizelgeden de görüleceği üzere başlıksız duruma kıyasla, $D_f/D = 6$ durumunda en büyük oyulma derinliği yaklaşık 1,40-1,7 kat, en büyük oyulma genişliği ise yaklaşık 2,33-2,42 kat artmaktadır. Oyulma genişliklerindeki artış oyulma derinliklerindeki artıştan daha büyük olmuştur. Bunun nedeni ise başlık kullanımı ile birlikte artan hızlar, çukurun kenarlarındaki sedimenti daha kolay harekete geçerek çukurun yarıçapını genişletmesidir. Çukurun kenarlarından harekete geçip çukurun merkezinde toplanan sedimentin ise ancak bir bölümü yerinden kaldırılarak emme borusuna girmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de Kum 2 için $c/D=1$ durumunda farklı başlık çaplarının oyulmanın en büyük derinliğine ve genişliğine etkisi gösterilmektedir. $c/D= 0$ durumu için elde edilen duruma benzer şekilde göreceli başlık çapı arttıkça çukur genişliği ve çukur derinliği artmaktadır.



Şekil 4.23. $c/D = 1$ ve Kum 2 için z_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi

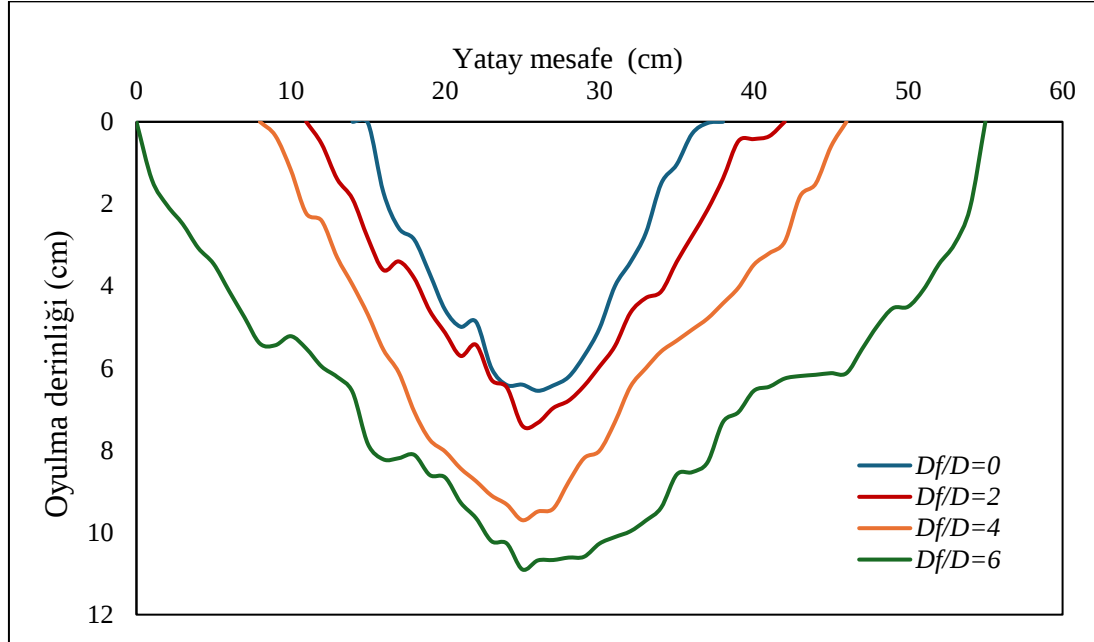


Şekil 4.24. $c/D = 1$ ve Kum 2 için r_{max}/D 'nin D_f/D ile değişimi

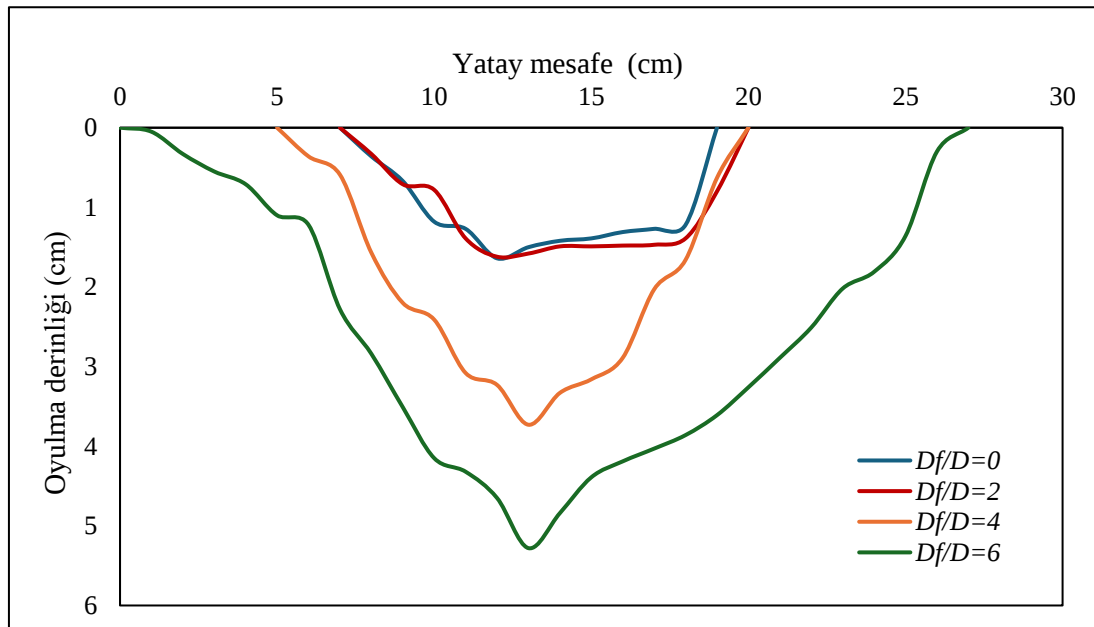
4.3.1. Başlık etkisi için oyulma profilleri

Aşağıdaki grafiklerde farklı durumlar için başlık etkisini daha net görebilmek için oyulma profilleri sunulmuştur. Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sırasıyla $c/D = 0$ ve Kum 1 için $F_d = 23,77$ ($Q = 8$ lt/sn) durumunda ve $c/D = 1$ ve Kum 1 için $F_d = 29,71$ ($Q = 10$ lt/sn) durumunda farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri verilmiştir.

Başlık çapının artışı ile beraber oyulma genişliğindeki artış oyulma derinliğindeki artıştan daha fazladır. Şev açıları ise başlık çapının artışı ile birlikte genelde azalmaktadır.

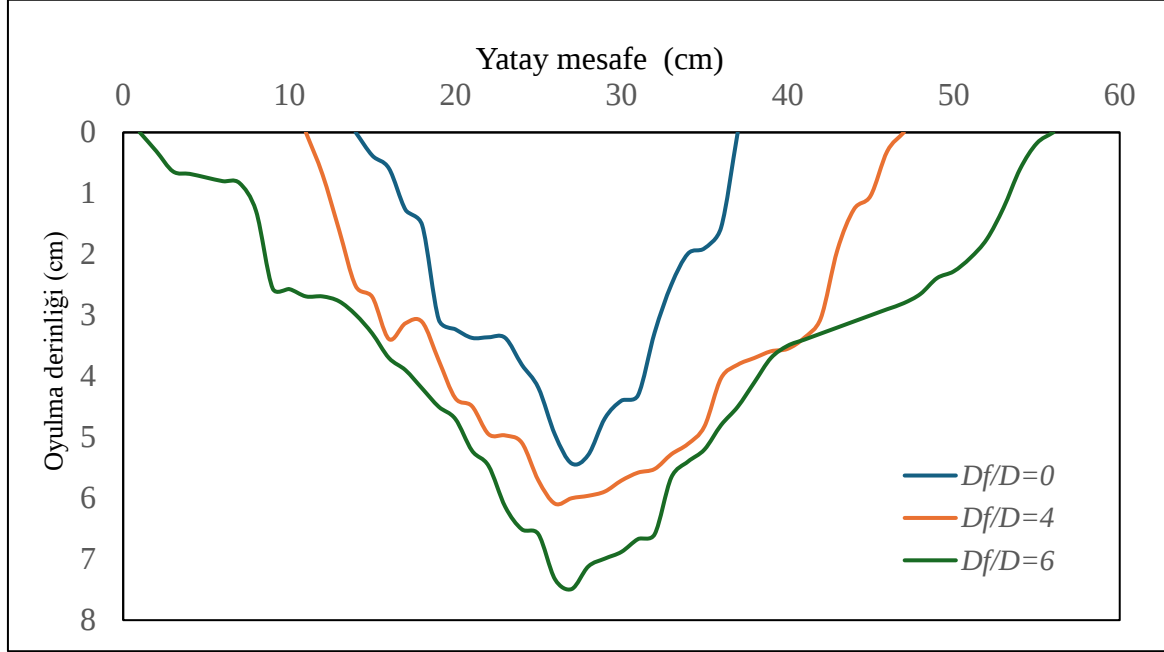


Şekil 4.25. $c/D = 0$ ve Kum 1 için $F_d = 23,77$ ($Q = 8$ lts/sn) durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri

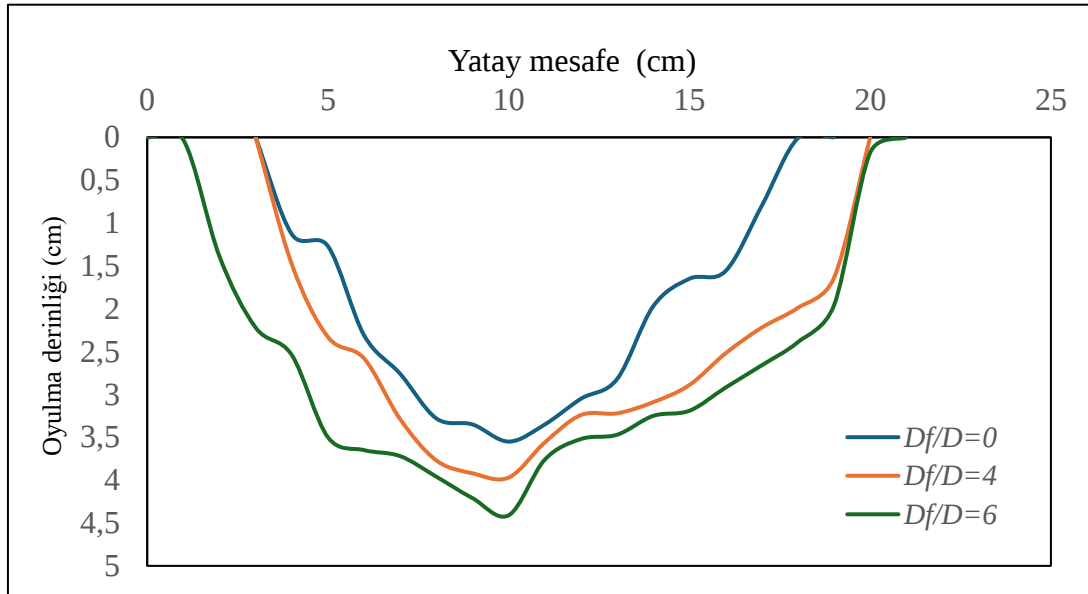


Şekil 4.26. $c/D = 1$ ve Kum 1 için $F_d = 29,71$ ($Q = 10$ lts/sn) durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de ise sırasıyla $c/D = 0$ ve Kum 2 için $F_d = 23.77$ ($Q = 8$ lt/sn) durumunda ve $c/D = 1$ ve Kum 2 için $F_d = 25.11$ ($Q = 12$ lt/sn) durumunda farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri verilmiştir. Başlık çapının artışı ile beraber oyulma genişliğindeki artış oyulma derinliğindeki artıştan daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.27. $c/D = 0$ ve Kum 2 için $Q = 8$ lt/sn durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri



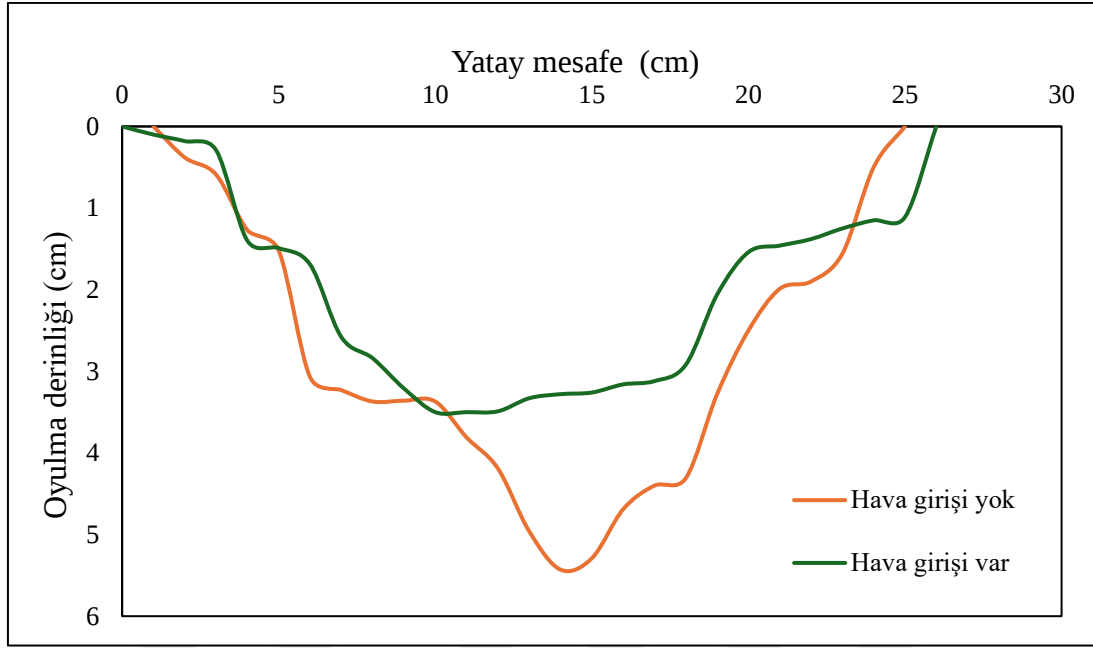
Şekil 4.28. $c/D = 1$ ve Kum 2 için $Q = 12$ lt/sn durumundan farklı başlık çaplarına göre oyulma profilleri

Taban sediment temizliği için literatürde ilk defa bu tez çalışmasıyla önerilen emme borusuna takılan başlık etkisi için aşağıdaki değerlendirmeler yapılabilir.

- Emme ucuna takılan başlık genel olarak hem çukur genişliğini hem de çukur derinliğini arttırmaktadır.
- Göreceli başlık çapı arttıkça çukur genişliği ve çukur derinliği de genel olarak artmaktadır.
- Göreceli başlık çapına göre çukur genişliğindeki artış, çukur derinliğindeki artıştan daha büyüktür.
- Göreceli başlık çapına göre çukur genişliği ve derinliğindeki artış miktarı $D_f/D = 4$ ve büyük değerlerde daha fazla olmaktadır.
- Küçük başlık çapları ($D_f/D = 2$) özellikle çukur derinliği açısından önemli bir fark oluşturmamıştır.
- Yukarıdaki bilgiler ışığında bu çalışmada kullanılan debi ve sediment çapı aralıklarında tam olarak gözlemlenemese de başlık çapının artışı oyulmanın gözlemlenebildiği düşey mesafeyi de arttıracığı düşünülmektedir.

4.4. Emme Borusuna Hava Girişinin Etkisi

Önceki bölümde, iki farklı su seviyesinde ($h_w = 20$ cm ve 100 cm) deneyler yapıldığı ancak oyulma çukuru geometrisi bakımından önemli farklar oluşmadığı belirtilmişti. Ancak bu yorum, emme borusuna yüzeyde oluşan serbest hava girişli çevrıntiler (free air-entraining vortices) olmaması durumunda geçerlidir. Çünkü su seviyesi daha da indirilirse veya debi daha da yükseltirirse su yüzeyinde önce bir çöküntü oluşur. Debi ve su yüksekliğine bağlı olarak bu çöküntü, emme borusu ağzına doğru uzayıp hava girişi meydana gelebilir. Emme borusuna hava girişi istenilen debinin çekilememesine (yani azalmasına) ve debi değerinde giren havanın miktarına bağlı olarak salınımlara neden olur. Sonuç olarak da hava girişi olması durumunda oyulma çukuru geometrisi, hava girişi olmadığı duruma göre küçülür ve daha az sediment uzaklaştırılır. Aşağıdaki Şekil 4.29'da Kum 2, $c/D = 0$ ve $Q = 8$ lt/sn için hava girişi olması ($h_w = 12$ cm) ve olmaması ($h_w = 100$ cm) durumlarının oyulma geometrisi açısından farkı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi hava girişi belirtilen debide özellikle çukur derinliğini önemli ölçüde azaltarak (yaklaşık %35) daha az sediment uzaklaştırılmasına neden olmuştur.



Şekil 4.29. $c/D = 0$ ve Kum 2 için $Q = 8$ lts/sn durumunda hava girişı durumuna göre oyulma profilleri

5. SONUÇLAR

Rezervuar veya kanal tabanlarında sediment birikimi, hidrolik yapılar için tehlike oluşturabilecek bir durumdur. Biriken sedimentin su alma ağzlarıyla birlikte su iletim sistemine girmesi, su iletim sistemindeki boru, pompa ve türbin gibi elemanların aşınmalarına ve ekonomik ömürleri bitmeden kullanılamaz hale gelmelerine neden olabilir. Bu çalışmada hidrolik sediment temizleme yöntemlerinden, sadece emme yöntemi deneysel olarak incelenmiştir. Bu yöntemde rezervuar tabanında birikmiş sediment tabakası ile aynı kota veya taban sedimentinin bir miktar üzerine veya içerisine düşey olarak yerleştirilmiş yukarı doğru su alan bir emme borusu yardımıyla tabanda bulunan sediment uzaklaştırılır ve tabanda da bir oyulma çukuru meydana gelir.

Bu çalışmada, durgun su ortamının tabanında bulunan kohezyonsuz sediment tabakasının bir pompaya bağlı olarak emme yapan düşey yukarı bir boru akımıyla uzaklaştırılması konusu deneysel olarak incelenmiştir. Bu emme nedeniyle oluşan oyulma çukuru boyutlarını etkileyen parametreler araştırılmış olup özellikle bu uzaklaştırma hacmini artırıcı bir rol oynayan ve daha önceki çalışmalarda denenmemiş olan boru ağzına takılmış başlığın (flanşın) etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- F_d sayısının artması çukur derinliğini ve genişliğini arttırmaktadır.
- Diğer etkili parametreler sabitken, F_d sayısının artmasının çukur derinliğine etkisi çukur genişliğine olan etkisinden daha büyüktür.
- Diğer etkili parametreler sabitken, F_d sayısının artmasının çukur şev açısını çok fazla değiştirmedeği görülmüştür.
- c/D 'nin artması oyulma çukuru derinliği ve genişliğini azaltmaktadır.
- Deneylerde çalışılabilen debi aralığında (0-12 lt/sn) başlıklı ve başlıksız tüm durumlar için $c/D = 1$ 'in üzerinde bir çukur oluşumu gözlemlenmemiştir ($c/D = 1.5$ ve $c/D = 2$ değerleri denenmiştir).
- $c/D = 1$ durumunda Kum 1 için $Q = 6$ lt/sn , Kum 2 için ise $Q = 10$ lt/sn değerinin altında çukur oluşumu gözlemlenmemiştir.
- Diğer etkili parametreler sabitken c/D 'nin arttırılması ile birlikte oyulma çukuru derinliğindeki azalış oyulma genişliğindeki azalıştan daha fazladır.

- Diğer etkili parametreler sabitken c/D 'nin artmasıyla oyulma çukuru şev eğim açıları azalmıştır.
- Emme ucuna takılan başlık genel olarak hem çukur genişliğini hem de çukur derinliğini arttırmaktadır.
- Göreceli başlık çapı arttıkça çukur genişliği ve çukur derinliği de genel olarak artmaktadır.
- Göreceli başlık çapına göre çukur genişliğindeki artış çukur derinliğindeki artıştan daha büyüktür.
- Göreceli başlık çapına göre çukur genişliği ve derinliğindeki artış miktarı $D_f/D = 4$ ve büyük değerlerde daha fazla olmaktadır.
- Küçük başlık çapları ($D_f/D = 2$) özellikle çukur derinliği açısından başlıksız duruma kıyasla önemli bir fark oluşturmamıştır.
- Bu çalışmada kullanılan debi ve sediment çapı aralıklarında tam olarak gözlemlenmese de başlık çapının artışı oyulmanın gözlemlenebildiği düşey mesafeyi de arttıracaktır.
- Emme borusuna su yüzeyinde oluşan serbest çevrintiler yoluyla hava girişi, emme borusuna giren debiyi düşürerek oyulma çukuru boyutlarını azaltmaktadır.

5.1. Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

İleride yapılacak çalışmalar için aşağıdaki konuların araştırılmasında fayda vardır.

- Farklı emme borusu çaplarının etkisi araştırılarak boyut etkisinin varlığı hakkında değerlendirmelerin yapılmasında fayda vardır.
- İlgilenilen c/D aralığı ve sediment çapı değiştirilerek hem deney sayısı artırılmalı hem de oyulmanın gözlemlenmediği limit c/D ve D_f/D hakkında daha kesin yargılara varılmalıdır.
- Oyulmayı etkileyen parametrelere ait aralık genişletilerek deney sayısı artırıldığında, oyulmanın en büyük derinliği ve en büyük genişliği ile ilgili ampirik eşitlikler bulunabilir.

KAYNAKLAR

1. Aguirre-Pe, J., Olivero, M. L., Mocada, A. T. (2003). Particle densimetric Froude number for estimating sediment transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(6), 428-437.
2. Asiaban, P., Kouchakzadeh, S., Asiaban, S. (2017). Enhanced hydrosuction performance for cohesive sediment removal in low-head reservoirs. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(4), 491-497.
3. Brahme, S. B., Herbich, J. B. (1986). Hydraulic model studies for suction cutterheads, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 112(5), 591-606.
4. Chen, S.C., Wang, S.C., Wu, C.H. (2010.) Sediment removal efficiency of siphon dredging with wedge-type suction head and float tank. *International Journal of Sediment Research*, 25(2), 149-160.
5. Dey, S., Sarkar, A. (2006). Scour downstream of an apron due to submerged horizontal jets, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(3), 246-257.
6. Elgamal, M., Fouli, H. (2020). Sediment removal from dam reservoirs using syphon suction. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18):943.
7. Erat, B., Barbaros, E., Taştan, K. (2023). Experimental and Numerical Investigation on Flow and Scour Upstream of Pipe Intake Structures. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-15.
8. Eroğlu A.B. (2024). *Rezervuarların basınçlı yıkanması sonucu oluşan oyulma çukuru geometrisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
9. Fathi-Moghadam, M., Emamgholizadeh, S., Mahmoud, B., Mehdi, G. (2010). Physical modeling of pressure flushing for desilting of non-cohesive sediment. *Journal of Hydraulic Research*, 48(4), 509-514.
10. Forutan Eghlidi, M. (2016). *Experimental study of hydrosuction system function for cohesionless and adhesive sediment*. Yüksek Lisans Tezi. Kerman: Shahid Bahonar University of Kerman.
11. Haghjouei, H., Rahimpour, M., Qaderi, K., Kantoush, S. A. (2021). Experimental study on the effect of bottomless structure in front of a bottom outlet on a sediment flushing cone. *International Journal of Sediment Research*, 36(3), 335-347.
12. Herbich, J. B. (2000). *Handbook of Dredging Engineering* (2. Basım). New York: McGraw-Hill, 7-12.
13. Herbich, J. B., Brahme, S. B. (1991). Literature review and technical evaluation of sediment resuspension during dredging.
14. Hotchkiss, R. H., Huang, X. (1995). Hydrosuction sediment-removal systems (HSRS): principles and field test. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(6), 479-489.

15. Jaiswal, A., Ahmad, Z., Mishra, S. K. (2024). Experimental study on hydro-suction removal of cohesionless bed material. *International Journal of Sediment Research*, 39(2), 291-304.
16. Ke, W. T., Chen, Y. W., Hsu, H. C., Toigo, K., Weng, W. C., Capart, H. (2016). Influence of sediment consolidation on hydrosuction performance. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(10), 04016037.
17. Keshavarzi, A., Mohammadi, G. R., Hamidifar, H. (2022). Time evolution of scour hole and flow characteristics upstream of a flushing orifice. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 28(sup1), 199-206.
18. Madadi, M. R., Rahimpour, M., Qaderi, K. (2016). Sediment flushing upstream of large orifices: An experimental study. *Flow Measurement and Instrumentation*, 52, 180-189.
19. Moghbeli, A., Khanjani, M. J., Zounemat-Kermani, M. (2021). An experimental study of the geometric performance of the hydrosuction dredging system. *Acta Geophysica*, 69, 271-283.
20. Oertel, M., Bung, D.B. (2015). Stability and scour development of bed material on crossbar block ramps. *International Journal of Sediment Research*, 30, 344-350.
21. Pishgar, R., Ayyoubzadeh, S. A., Ghodsian, M., Saneie, M. (2021). The influence of burrowing-type suction pipe geometrical and mechanical specifications on the hydro-suction method performance. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 27(2), 170-179.
22. Powell, D. N., Khan, A. A. (2011). Sediment transport mechanics upstream of an orifice. *Journal of Visualization*, 14(4), 315-320.
23. Powell, D. N., Khan, A. A. (2012). Scour upstream of a circular orifice under constant head. *Journal of Hydraulic Research*, 50(1), 28-34.
24. Reh binder, G. (1994). Sediment removal with a siphon at critical flux. *Journal of Hydraulic Research*, 32(6), 845-860.
25. Sharp, J. J., Parchure, T. M., Guo Z.M. (1996). Selective withdrawal through an intake fitted with a collar. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(12), 683-686.
26. Shrestha, H. S. (2012). Application of hydrosuction sediment removal system (HSRS) on peaking ponds. *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*, 11, 43-48.
27. Tao, Y., Li, C., Min, X., min, Z. (2012). Siphon pipeline resistance characteristic research. *Procedia Engineering*, 28, 99-104.
28. Taştan, K., Erat, B., Barbaros, E., Eroğlu, N. (2023). Flow boundary effects on scour characteristics upstream of pipe intakes. *Ocean Engineering*, 278, 114343.
29. Ullah, S. M. (2003). *Siphon removal of cohesionless materials*. Yüksek Lisans Tezi. Windsor: University of Windsor.
30. Yang, P., Wang, G., Zhong, L. (2020). Suction removal of cohesionless sediment, *Energies*, 13(20), 5436.

31. Yıldırım, N, Eroğlu, N., Taştan, K. (2012). Noktasal Kuyu Özellikli Su Alma Ağzında Çevri Oluşumu. *Teknik Dergi*, 23(111), 5799-5812.
32. Yıldırım, N., Kocabaş, F. (1995). Critical submergence for intakes in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), 900-905.







Gazili olmak ayrıcalıktır